ENERGIE ȘI MEDIU – PROVOCĂRI MAJORE ALE SECOLULUI XXI

Lucrările ediţiei a XIII-a a Conferinţei Anuale
„ZILELE ACADEMICE ALE A.S.T.R.“

ENERGY AND ENVIRONMENT – MAJOR CHALLENGES OF THE 21st CENTURY

Proceedings of the XIIIth edition of the Annual Conference
”THE ACADEMIC DAYS OF A.T.S.R.“

Manifestare organizată la Constanţa în zilele de 18-19 octombrie 2018
la sediul UNIVERSITĂȚII PETROL - GAZE DIN PLOIEȘTI

THE TECHNICAL SCIENCES ACADEMY
OF ROMANIA

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEȘTI

PROCEEDINGS

ENERGY AND ENVIRONMENT – MAJOR CHALLENGES OF THE 21ST CENTURY

The XIIIth edition of the Conference

”THE ACADEMIC DAYS OF T.S.A.R.“

Ploiești
October 18-19
2018

Edition Editors:

Prof. Ph.D. Em. Eng. **Napoleon ANTONESCU**
Honorary Rector of the Petroleum-Gas University of Ploiești

Prof. Ph.D. Em. Eng. **Valeriu V. JINESCU**
Secretary General of the Technical Sciences Academy of Romania

ISSN 2066-6586

AGIR Publishing House
Bucharest, 2018

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PROCEEDINGS

ENERGIE ȘI MEDIU – PROVOCĂRI MAJORE ALE SECOLULUI XXI

Ediţia a XIII-a a Conferinţei anuale

„ZILELE ACADEMICE ALE A.S.T.R.“

Ploiești
18-19 octombrie
2018

Editorii ediţiei:

Prof. em. dr. ing. **Napoleon ANTONESCU**
Rector onorific al Universității Petrol-Gaze din Ploiești

Prof. em. dr. ing. **Valeriu V. JINESCU**
Secretar general al Academiei de Științe Tehnice din România

ISSN 2066-6586

Editura AGIR
Bucureşti, 2018

ASOCIAŢIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA

Copyright © Editura AGIR, 2018
Editură recunoscută de CNCSIS

Adresa: Calea Victoriei, nr.118, sector 1,
010093 Bucureşti, România
Tel./Fax: 4021-316 89 92, 4021-316 89 93 (redacţie)
4021-319 49 45 (difuzare), fax: 2021-316 89 92
e-mail: editura@agir.ro
www.edituraagir.ro

Îngrijire editorială: dr. ing. **Ioan Ganea**
ing. **Dan Bogdan**
Coperta: ing. **Ion Marin**

ISSN 2026-6586

Imprimat în România

Cuprins

Mihai Mihăiță, **Energie și Mediu – provocări majore ale secolului XXI** 1

Florin Teodor Tănăsescu, **Formarea inginerului pentru societatea de mâine şi creşterea atractivităţii tânărului pentru această meserie** 4

Secțiunea I. ***SURSE DE ENERGIE***

I.01. *Dan Stematiu,* **Potențialul hidroenergetic al României componentă semnificativă în portofoliul surselor regenerabile** 12
I.02. *Valentin I. Popa,* **Biomass as renewable raw material for energy and bioproducts** 16
I.03. *Dumitru Fodor, Tiberu Trotea, Ionut Predoiu,* **Cărbunele din Oltenia în strategia energetică a României** 19
I.04. *Gheorghe Manolea, Laurentiu Alboteanu,* **Analiza evoluției surselor de energie din Oltenia** 27
I.05. *Adrian Toni Radu, Mircea Eremia, Lucian Toma,* **Rolul electromobilității în integrarea surselor regenerabile de energie și a generării distribuite** 33
I.06. *Dragos Popa, Mirela Maria Codescu,* **Aplicații ale magneților permanenți în industria aeronautică – alegere și stabilitate** 38

Secțiunea II. ***CONVERSIA, STOCAREA ȘI UTILIZAREA ENERGIEI***

II.01. *Ionel M. Dan,* **Dezvoltări recente în domeniul technologiei stocării energiei electrice – perspective din SUA** 48
II.02. *Nicolae Golovanov, Andrei Marinescu* **Alimentarea cu energie electrică a centrelor de încărcare a vehiculelor electrice într-o reţea inteligentă** 53
II.03. *Ioan Stefanescu, Mihai Varlam, Elena Carcadea, Mihai Culcer,* **Integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații mobile și staționare** 58
II.04. *Nicolae Vasiliu, Daniela Vasiliu, Constantin Călinoiu, Toma Cojocaru-Greblea,* **Dynamic performance of the hybrid electrohydraulic servo systems** 64

Secțiunea III. ***TEORIA SISTEMELOR***

III.01. *Emil Ceangă, Marian Barbu, Sergiu Caraman,* **Controlul automat al digestoarelor anaerobe în abordarea MFC: acordare şi performanțe** 72
III.02. *Ioan Cuncev,* **Scaffolding în planificarea sistemelor distribuite** 78
III.03. *Vasile Sima,* **Improving accuracy of solutions of discrete-time algebraic Riccati equations** 82

Secțiunea IV. ***PROTECȚIA MEDIULUI***

IV.01. *Alexandru Woinaroschy,* **Environment protection solutions for air, water and soil** 90
IV.02. *Lazar Avram, Monica Stoica, Andronela Barbulescu,* **Managementul deşeurilor rezultate în urma depoluării situurilor poluate cu hidrocarburi** 95
IV.03. *Georgeta Alecu, Wilhelm Kappel,* **Tehnologie responsabilă pentru fabricaţie durabilă** 98
IV.04. *Horatiu Raul Olar, Mihail Malos,* **Managementul riscurilor în cadrul secției de producție gaze Grebeniș** 104
IV.05. *Alexandru Mereuță, Nicolae Ajtai, Horațiu Ștefănie, Livio Belegante, Alexandru Ozunu,* **A desert dust intrusion over cluj-napoca, romania identified using remote sensing technique** 109

IV.06. *Cornelia-Florentina Dobrescu,* **Răspunsul semnificativ al parametrilor de rezistenţă pentru pământuri stabilizate ecologic** 115
IV.07. *Cornelia-Florentina Dobrescu,* **Modelarea reologică a compactării pământurilor în regimuri vibratorii controlate**. 119

Secțiunea V **.** ***PETROL ȘI GAZE***

V.01**.** *Napoleon Antonescu, Mihail Minescu, Marius Stan,* **Studiul cauzelor principalelor opriri necontrolate la sistemul top drive în timpul forajului cu propunerea planului de mentenanță** 126
V.02. *Lazăr Avram,* **Forarea sondelor cu diametre mari între uitare și speranță** 132
V.03. *Napoleon Antonescu, Marius Stan, Lazar Avram,* **Siguranță și mediu în producția offshore a petrolului și a gazului** 135
V.04. *Sorin Alexandru Avram,* **Elemente de optimizare a procesului de uscare a gazelor naturale, în cadrul sistemului de înmagazinare subterană** 140
V.05. *Ion Bostan, Valeriu Dulgheru, Maxim Vaculenco, Iulian Malcoci,* **Transmisii planetare precesionale în echipamente pentru extragerea țițeiului și conducte magistrale pentru trasportarea gazelor** 143
V.0.6. *Sebastian Tudor, Georgiana Marin, Cristinel Balan, Georgeta Stoianovici, Cristinel Bălan,* **Principiul de foraj în tufă pentru instalații staționare cu deplasare în pași** 148
V.07. *Dan Radacina, Napoleon Antonescu, Lazar Avram,* **Elemente de optimizare a programului de inspectie al garniturii de foraj** 157

Secțiunea VI **.** ***EFICACITATE ȘI EFICIENȚĂ ÎN INGINERIE (I)***

VI.01. *Costică Atanasiu, Nicolae Iliescu, Ștefan Sorohan,* **Analiza experimentală și numerică a distribuției tensiunilor într-o placă perforată** 164
VI.02. *Polidor Bratu,* **Evaluarea parametrică a dispozitivelor antiseismice în funcție de natura excitației cinematice** 168
VI.03. *Polidor Bratu, Ovidiu Vasile, Adrian Leopa, Cristina Oprițescu, Amalia Țârdea,* **Modelarea reologică complexă a sistemelor de izolare a bazei, la cutremure de pământ** 173
VI.04. *Polidor Bratu, Cristina Opritescu, Amalia Țârdea, Cătălin Zaharia,* **Sisteme antiseismice de rezemare și legătură în configurații reologice complexe pentru izolarea dinamică** 177
VI.06. *Oana Tonciu, Cornelia Dobrescu, Adrian Leopa,* **Regimuri dinamice optime ale echipamentelor de compactare prin vibrare** 181
VI.05. *Oana Tonciu,* **Modelarea dinamică a echipamentelor vibratoare de înfigere a palplanșelor și piloților în pământ** 184
VI.07. *Gheorghe Ion Gheorghe,* **Mecatronica și cyber-mixmecatronica la baza dezvoltării industriei 4.0 în România** 188
VI.08. *Ionel Staretu,* **Considerații privind roboții subacvatici și utilizarea lor** 201
VI.09. *Mihaela Trif, Ciprian Rad, Veturia Chiroiu, Cornel Brisan,* **Aspects concerning the relationship between circular economy and robotics** 206

Secțiunea VII **.** ***EFICACITATE ȘI EFICIENȚĂ ÎN INGINERIE*** **(II)**

VII.01. *Dumitra Lucan, Serban Constantin Valeca, Gheorghita Jinescu, Lucian Velciu,* **Procese specifice coroziunii materialelor structurale ale reactorului LFR** 214
VII.02. *Mihai Cojocaru, Leontin Druga, Florica Tudose,* **Rezistența la oxidare a superaliajelor cu bază de nichel** 222
VII.03. *Adrian Ion Ciocodeiu,* **Comportarea panourilor „Sandwich” la acțiuni exterioare în cazul clădirilor ușoare** 227

ENERGIE ŞI MEDIU – PROVOCĂRI MAJORE ALE SECOLULUI XXI

Prof. asoc. dr. ing. EurIng Mihai MIHĂIȚĂ

Președintele Academiei de Științe Tehnice din România

Rezumat. Când vrem să analizăm necesarul de energie este util să amintim cele patru cicluri energetice prin care a trecut omenirea: omul izolat, cu posibilitățile de conversie biologică a energiei chimice, societatea de vânători care utiliza arderea lemnului, societatea agricolă, care a condus la distrugerea pădurilor, societatea industrială modernă, caracterizată prin utilizarea combustibililor fosili și a energiei regenerabile. Creșterea consumului de energie reflectă creșterea nivelului de trai, dar a dus și la agravarea continuă a condițiilor ambientale. Astfel, societatea contemporană se confruntă cu o triadă de probleme foarte complexe: creșterea economică și demografică, consumul de energie și conservarea mediului înconjurător.

Cuvinte cheie: energie, combustibili, civilizație, mediu, societate, consum, resurse, conservare.

Abstract. When we want to analyze the energy needs, it is usefull to remind the four energy cycles that humanity has gone through: the man in isolation, with his possibilities of biological conversion of chemical energy, the society of hunters which used the wood burning, the agricultural society which led to the destruction of the forests, the modern industrial society featured by the use of fossil fuels and renewable energy. The increase of the energy consumption reflects the growth of the standard of living, but it led to the continuous worsening of the conditions of the ambient. Thus, today's society faces a triad of very complex problems: economic and demographic growth, energy consumption and environmental conservation.

Keywords: energy, fuels, civilization, environment, society, consumption, resources, conservation.

Una dintre problemele principale, care a revenit pe primul plan al preocupărilor oamenilor de ştiinţă de a cărei soluţionare depinde dezvoltarea civilizaţiei noastre, este asigurarea cu energia necesară dezvoltării activităţilor de bază, care condiţionează evoluţia progresivă a nivelului de trai al populaţiei. Creşterea nivelului de trai nu poate avea loc fără o creştere corespunzătoare a consumului de energie.

De aceea, atunci când vrem să analizăm necesarul consumului de energie este util să trecem în revistă evoluția istorică a acestuia. Consumul minim de energie necesar unui om este cantitatea de energie obţinută din hrana necesară pentru a trăi. În urmă cu un milion de ani, ca de altfel şi astăzi, în unele regiuni de pe glob, oamenii trăiesc cu hrana ce conţine circa 1800 calorii pe zi de fiecare om sau, dacă am măsura energia în unităţile cu care ne-am obişnuit, doi kilowaţi-ore pe zi şi pe om. Această energie este consumată în două scopuri: asigurarea unei temperaturi constante a corpului şi asigurarea energiei mecanice necesară pentru mişcările cu care omul îşi procură hrana şi diferite deplasări. Transformarea energiei chimice din alimente în energie termică, căldura necesară menţinerii temperaturii corpului, cât şi în energia mecanică a muşchilor, se realizează prin procedee biologice. Sursa principală de energie acum un milion de ani, ca de altfel până la descoperirea energiei nucleare, era energia solară care, prin procesul de fotosinteză, producea hidrocarburile necesare hranei. În urmă cu aproximativ o sută de mii de ani s-a facut un salt important, prin utilizarea controlată a focului. Energia solară, transpusă prin fotosinteză în lemn, este prima sursă de energie pe care omul o transformă, prin mijloace externe, în formele de energie necesare lui, în primul rând în căldură. Lemnul devine primul combustibil care, printr-un proces chimic de combinare a carbonului cu oxigenul din aer, se transformă în energie termică. Energia termică astfel produsă este utilizată pentru prepararea hranei, încălzirea şi iluminarea locuinţei. Totodată, ea îi permite omului să prelungească ziua și să sperie animalele periculoase în cursul nopții, când acestea devin periculoase. Un salt simţitor, care a deschis o nouă eră în economia energetică, s-a făcut cu circa 7000 de ani înaintea erei noastre, când omul a învăţat să domesticească animalele şi să facă agricultură.

În societatea agricolă, hrana este produsă prin cultivarea pământului şi omul nu numai că poate mânca mai mult, consumând circa 4 kWh pe zi, dar are un surplus cu care poate să hrănească animalele domesticite, Dezvoltarea agriculturii a condus la o despădurire accentuată a suprafeţelor terestre, pentru a se obţine terenurile necesare cultivării plantelor agricole. Astfel, în regiunile populate, a început o

despădurire intensă. Întrucât prin despădurire această sursă începe să se micşoreze, era de aşteptat ca, în timp, să se ivească o problemă a resurselor de energie termică. Energia solară se manifestă la suprafaţa Pământului şi sub formă de energie mecanică a vânturilor şi a apelor. Deşi aceste surse au fost folosite cu câteva sute de ani înaintea erei noastre, totuşi, utilizarea lor intensivă începe abia în jurul anului 1400 al erei noastre, când se extinde utilizarea energiei apei şi a vântului. Aceasta introduce o producţie suplimentară de energie şi atrage după sine un consum industrial de energie. Dispariţia treptată a pădurilor şi creşterea consumului casnic şi industrial împing oamenii către introducerea în circuitul energetic a combustibililor fosili: cărbune, petrol şi gaze, care, în raport cu lemnul, au o putere calorifică mult mai mare pe unitatea de masă sau volum.

După anul 1800, cărbunele începe să fie utilizat intens, odată cu introducerea în circuitul industrial al maşinilor cu abur. Apoi, odată cu apariţia motoarelor cu explozie, începe exploatarea tot mai intensă a petrolului. În secolul al XIX- lea structura cosumului de energie începe să reflecte aspectele societăţii industriale. Consumul pentru hrană creşte la 8 kWh/zi/om, consumul casnic este mult mai mare, de 36 kWh/zi/om, consumul industrial devine 27 kWh/zi/om, iar consumul pentru transport creşte apreciabil, la 16 kWh/zi/om. Al XX-lea secol introduce ca noutate posibilitatea transformării energiei termice şi a energiei mecanice în energie electrică. Energia electrică se substituie din ce în ce mai mult altor forme de energie, datorită uşurinţei cu care este transportată la distanţă şi a posibilităţii de a o transforma în alte forme de energie utilă ca: energie mecanică, lumină, căldură, energie chimică. Aceasta a făcut ca astăzi, din totalul energiei consumate, peste 30% să fie energie electrică. Deci, cele patru cicluri energetice prin care a trecut omenirea sunt:

• omul izolat, cu posibilităţile de conversie biologică a energiei chimice, având un consum de 2 kWh/zi/om;

• societatea de vânători, care utiliza arderea lemnului ca o posibilitate de conversie externă a energiei regenerative înmagazinate prin fotosinteză, cu un consum de 5 kWh/zi/om;

• societatea agricolă, care conduce la distrugerea pădurilor, a sursei de energie regenerativă, cu un consum de 8 kWh/zi/om;

• societatea industrială modernă, caracterizată prin utilizarea energiei regenerabile, a combustibililor fosili şi nucleari şi prin posibilităţi de conversie a energiei dintr-o formă în alta, cu un consum în continuă creştere. Creşterea consumului de energie reflectă o creştere a nivelului de trai. Un aspect, deloc neglijabil, al creşterii nivelului de trai îl constituie posibilitatea de izolare a omului de mediul nociv extern şi crearea unor condiţii care să-i asigure o viaţă sănătoasă, un număr cât mai mare de ani.

Viaţa medie creşte odată cu nivelul de trai şi cu consumul specific de energie. Unica sursă de energie, care a alimentat civilizaţia noastră până în acest secol, a fost energia solară înmagazinată sub formă de energie chimică, prin procesul de fotosinteză, în surse regenerative (lemnul, apele, vântul) sau în combustibili fosili (cărbune, petrol, gaze naturale), a căror constantă de formare este de ordinul milioanelor de ani.

O analiză sumară a obiectivelor pentru care este necesar să consumăm energie în vederea menţinerii unui nivel de trai adecvat, evidenţiază că acestea sunt: *• asigurarea apei potabile; • asigurarea hranei; • asigurarea metalelor, a fibrelor şi materialelor de construcţie; • asigurarea unui mediu înconjurător tolerabil.*

Evaluarea problemelor de mediu, în ultimii 35-40 de ani, a înregistrat o agravare continuă a condiţiilor ambientale. Succesiv, au fost parcurse următoarele etape: pentru început, s-a vorbit despre poluarea mediului înconjurător, pentru ca apoi modul de abordare să fie acela al gazelor cu efect de seră (GES), în mod deosebit dioxid de carbon (CO_2); în continuare, s-a dovedit existenţa încălzirii globale, avînd ca efect schimbările climatice, pentru ca, în ultima perioadă de timp, să se manifeste o serie de catastrofe ecologice.

În acelaşi interval de timp, contextul general şi reglementările s-au schimbat fundamental.

Până în 1990, preocupările generale se refereau practic exclusiv la energie, pentru ca apoi să apară dihotomia energie – mediu; în zilele noastre, cei doi factori majori s-au inversat, respectiv mediu – energie, pentru ca în perspectiva următoarelor decade să rămână ca factor de control-mediul.

S-a ajuns la concluzia că temperatura Pământului nu trebuie să crească cu mai mult de 2 °C faţă de anii 1900, cînd temperatura medie a Pămîntului era de 14°C. Astăzi, această valoare este de aproape 15°C şi este deja o preocupare generală pentru a limita această creştere. Cauza principală a încălzirii globale o constituie emisiile de GES, în special CO_2, provenite din activităţile energetice şi industriale.

Până în 1990, preocupările generale se refereau practic exclusiv la energie, pentru ca apoi să apară dihotomia energie – mediu; în zilele noastre, cei doi factori majori s-au inversat, respectiv mediu – energie, pentru ca în perspectiva următoarelor decade să rămână ca factor de control mediul.

Politica energie – mediu a Uniunii Europene, în care trebuie să se încadreze şi România, are ca obiectiv strategic reducerea emisiilor de GES în medie cu 20% până în anul 2020, iar în perspectivă cu 40% până în 2030 şi cu 80% până în 2050, faţă de anul 1990. Se prevede folosirea surselor regenerabile de energie şi creşterea eficienţei energetice, respectiv reducerea pierderilor de energie.

Se creeează – o nouă profesie, relativ nouă, dar cu o lungă istorie – **Ingineria mediului.** Titlul descriptiv de “inginerie a mediului” nu a fost folosit până în anul 1960, când programe academice din inginerie şi-au extins domeniile. Profesia îşi trage rădăcinile din mai multe discipline, inclusiv ingineria civilă, sănătate

publică, ecologie, chimie şi meteorologie. Din fiecare, ingineria mediului îşi extrage sferele de cunoştiinţe, competenţe şi profesionalism.

Din etică, ingineria mediului extrage conceptul de "mai binele tuturor". Inginerii de mediu sunt angajaţi în prezent în aproape toate industriile şi în companii, în domeniul lucrărilor publice şi management al acestora. Specialiştii din acest domeniu se ocupă cu calitatea aerului, calitatea apei şi managementul acesteia, calitatea solului, managementul resurselor naturale ale pădurilor etc. Ingineria controlului poluării este o altă direcţie care solicită specialişti de mediu. Inginerii de mediu au o istorie mândră şi un viitor luminos. Este o carieră care poate să fie competitivă, plăcută şi cu satisfacţii personale.

Energia este un produs cu o mare valoare economică, socială, strategică şi politică. Este indispensabilă pentru întreaga economie a unei ţări, respectiv pentru industrie, servicii şi activităţi sociale. Lipsa accesului la energie are consecinţe mari, iar rolul strategic şi politic al energiei a fost în mod clar evidenţiat în ultimii 30-40 de ani de diferitele crize petroliere sau energetice, conflicte regionale, care au degenerat în războaie, avarii energetice grave, tensiuni sociale sau erori în politica energetică a unei ţări.

Ca particularităţi specifice ale sectorului energetic ies în evidenţă, în mod special, patru dintre acestea: în primul rând, este caracterizat de o inerţie mare, cu o diferenţă de timp între decizie şi realizare practică de ordinul a 4-15 ani; în al doilea rînd, alături de sectorul transporturilor, este principalul contribuitor la poluarea ambientală şi schimbările climatice; în al treilea rând, necesită investiţii considerabile, de multe ori foarte greu de obţinut; în al patrulea rând, este absolut necesară existenţa unui cadru instituţional şi legislativ adecvat, precum şi a unei strategii energetice pe termen mediu şi lung, însoţite de politici energetice naţionale şi instrumente specifice economiei libere.

Alături de fenomene de o amploare deosebită, precum rata ridicată la care populaţia globului continuă să se mărească, creşterea asociată şi inevitabilă a consumului de energie, descreşterea resurselor minerale şi realitatea rezultantă a deteriorării îngrijorătoare a mediului ambiant, însoţită de încălzirea globală, societatea contemporană este confruntată cu o triadă de probleme foarte complexe – creşterea economică şi demografică, consumul de energie şi de resurse, conservarea mediului înconjurător – cu alte cuvinte, lumea se găseşte astăzi în faţa unei trileme fără precedent.

FORMAREA INGINERULUI PENTRU SOCIETATEA DE MÂINE ŞI CREŞTEREA ATRACTIVITĂŢII TÂNĂRULUI PENTRU ACEASTĂ MESERIE

Prof. dr. ing. Florin Teodor TĂNĂSESCU

Academia de Ştiinţe Tehnice din România

REZUMAT. Progresele în ştiinţă şi tehnologie, volumul impresionant de cunoştinţe noi care apar, schimbările continue ale tehnologiilor şi modului de operare cu ele, impun o pregătire adecvată a inginerului care va lucra în societatea de mâine. Se pune in discuţie problema formării inginerului, opţiunea pentru cultura inginerească "largă" sau "îngustă", interdisciplinaritatea necesară în noile abordări, cultura inginerească aptă să răspundă cu competenţă schimbărilor care apar în societate. Complexitatea carierelor inginereşti, educaţia continuă care trebuie însuşită pe tot timpul vieţii de către un tânăr atras de inginerie, impun o reevaluare a locului şi rolului inginerului în societate, evaluarea financiară corespunzătoare activităţii şi responsabilităţii sale. Doar găsirea unor stimulente financiare care să se adauge pasiunii tânărului pentru inginerie, pot creşte atractivitatea pentru asemenea cariere, autorul propunând o serie de soluţii.

Cuvinte cheie: formare inginer, învăţământ "larg", "îngust", modele, stimulente.

ABSTRACT. The advances in science and technology, the impressive volume of new knowledge that arises, the continued changes in technology and the way it works, require an adequate training of the engineer who will work in tomorrow's society. The question of engineer training, the option of "broad" or "narrow" engineering culture, the necessary interdisciplinarity in new approaches, the engineering culture capable of responding to changes in society appear to be discussed. The complexity of engineering careers, the continuing education that must be acquired throughout life by a young man attracted by engineering, require a reassessment of the engineer's place and role in society, the financial assessment of his activity and responsibility. Only finding financial incentives to add to the young man's passion for engineering can increase the attractiveness of such careers, the author proposing a series of solutions.

Keywords: engineer training, "large", "narrow" education, models, incentives.

1. INVĂŢĂMÂNT "LARG" SAU "ÎNGUST" ? EXISTĂ MODELE GENERAL VALABILE ?

WG Sheperd [1], profesor în conducerea unor universităţi de inginerie americane şi preşedinte al cunoscutei asociaţii ale inginerilor electricieni IEEE opinia încă din anul 1968 că nu există un singur model de educaţie care să fie considerat ca cel mai bun în toate ţările; mai mult decât atât, chiar şi într-o singură ţară, uniformitatea modelului pentru toate instituţiile ar fi lipsită de utilitate. Un studiu al fundaţiei americane Carnegie care a urmat acestei iniţiative a menţionat complexitatea acestei probleme datorită: cerinţelor schimbătoare ale activităţilor industriale şi ale dezvoltării, zeci de studii fiind elaborate fără a putea spune că există astăzi un model în întregime satisfăcător.

Proiectul Bologna adoptat de europeni, pe lângă unele avantaje a prezentat şi el numeroase direcţii în care mai trebuie gândit, în special în ceeae ce priveşte pregătirea inginerească: profil îngust sau un profil mai larg care să răspundă cerinţelor actuale care presupun ca inginerul să aibă un alt tip de cultură inginerească, să fie creativ, rapid şi flexibil la multiplele şi continuele schimbări.

Cum trebuie să fie educaţia inginerească şi cine să o facă, a fost o problemă întâlnită de multă vreme la societăţile profesionale, în America spre exemplu încă din anul 1893, se analiza cum trebuia să răspunndă învăţământul la progresele tehnicii, care să fie pregătirea inginerului. In Europa anilor 1910-1925 se punea frecvent problema dacă pregătirea inginerească trebuia făcută în Universităţi, Scoli Politehnice sau în ambele.

În România spre exemplu în domeniul chimiei şi a electricităţii, în perioada anilor 1910-1936 chiar a funcţionat în paralel cu pregătirea inginerului în politehnici, o pregătire inginerească şi în universităţi, după care din anul 1936 pregatirea inginerească a revenit doar în responsabilitatea politehnicilor.

In privinţa structurii educaţiei, inginerul societăţii viitoare trebuie să fie omul cu o vastă cunoaştere a ştiinţei, fizicii fundamentale şi matematicii, inventiv şi în stare de a proiecta sau conduce sisteme complexe, cunoscător al ţelurilor şi aspiraţiilor umane, versat în ştiinţele sociale, încât să poată evalua corect influenţele activităţii sale asupra societăţii.

Masa de cunoştinţe pe care trebuie să o folosească un inginer cât şi aşteptările societăţii de la acesta, se schimbă şi cresc în mod rapid încât o structură de

învăţământ îngust nu va fi adecvată pentru a răspunde unei asemenea situaţii.

Dilema profesiei apare din faptul că atât masa de cunoştinţe pe care trebuie să le folosească un inginer cât şi aşteptările societăţii se schimbă şi cresc în mod rapid iar o pregătire îngustă nu permite îndeplinirea misiunilor complexe pe care un inginer trebuie să le rezolve în societatea viitorului.

Relativ la cultura unui inginer, ultimele decenii au fost dominate de găsirea unui răspuns la o problemă pe care o consider esenţială: ***Educaţie îngustă pe un domeniu bine definit care asigură industriaşului o forţă de muncă imediat adaptabilă sau o educare inginerească mai largă cu prezentarea problemelor generale ale ingineriei, cunoştinte interdisciplinare, specializarea fiind făcută ulterior atunci când va activa într-un anumit domeniu ?***

Exista presiuni opuse împotriva studiilor generale şi în favoarea programelor care vor îndrepta studenţii spre o concentrare timpurie asupra subspecialităţilor care pot asigura o competenţă imediată în tratarea problemelor prezentate de industrie, dar aceasta va îngusta posibilităţile de angajare ale titratului în viitor, pentru că pregătirea sa îl va face mai puţin adaptabil şi poate să-l supună unei rapide învechiri profesionale.

După opinia multor specialişti, o specializare timpurie va conduce şi la o subfolosire a unei resurse ştiinţifice preţioase.

Complexitatea problemei şi opiniile formatorilor arată că este nevoie de studii continui dacă se doreşte menţinerea competenţei în domenii în permanentă dezvoltare, iar întreprinderile trebuie să fie cei mai interesaţi susţinători ai acestei politici. [2]

Specializarea prin studii post universitare, studii în continuare după terminarea facultăţii, cursuri de adâncire cunoştinţe, vor constitui o bună bucată de vreme, o formă utilă de formare chiar dacă poate ele nu răspund în întregime la ceeace se aşteaptă de la ele. Dar aşa cum sunt ele astăzi, sunt ele folosite ? Intreprinderile care financiar au condiţiile de a organiza aceste cursuri - cheltuielile de organizare fiind deductibile din impozitul pe profit- o fac ?

Unele experienţe făcute de DACIA cu Universitatea din Piteşti, Continental cu Universităţile din Timişoara, dovedesc că asemenea cursuri pot deveni un real mijloc de ridicare a cunoştinţelor, de a pregăti specialiştii la schimbările care apar în tehnică. Este greu de crezut că învăţarea continuă -care presupune efort- va fi agreată de toţi iar stimulente şi restricţii în promovare vor trebui gândite.

Pentru ca perfecţionarea să fie o necesitate nu numai pentru întreprindere ci şi pentru participantul la cursuri, iniţierea unor stimulente financiare: premii, avansări profesionale, stagii de specialitate în ţară şi străinătate, pot reprezenta soluţii, deja practicate în multe ţări.

Importanţa pregătirii inginereşti, cere ca raspunderea pentru învăţământul continuu să fie împărţită între şcoala şi întreprindere, întrucât a o lăsa doar numai în responsabilitate uneia din părţi, nu ar avea forţa necesară şi nu va putea să conducă la pregatirea complexă cerută de omul de industrie.

Recent, s-a desfăşurat la Bucureşti o Reuniune care a abordat problema formării tânărului pentru cercetare şi ştiinţă, o tendinţă a pregătirii tânărului inginer pentru o lume complexă şi continuă schimbare. Vorbind de pregătirea inginerească, un profesor italian Marco Ragazzi [3] menţiona o practică a italienilor de **organizarea a doctoratelor industriale. Doctorat plătit de firmă şi obligaţi ca după terminarea lui o perioadă de timp, beneficiarii doctoratului să lucreze în acea unitate. Este un lucru care cred că ar trebui gândit şi de noi.**

O situaţie paradoxală pe care o trăim şi o revedem cu frecvenţă pe ecranele TV este lipsa forţei de muncă cu pregătire mică-medie, pentru care se oferă stimulente financiare substanţiale pentru angajarea acestui personal.

La polul opus se pune problema personalului cu studii superioare -inginerie, matematică, fizică- în surplus şi obligat să lucreze în domenii diferite de pregătirea sa profesională, în timp ce multe întreprinderi cu o lipsă de personal cu pregătire superioară şi care ar avea o nevoie acută de ei, dar nu-şi pot permite angajarea lor din lipsa resurselor financiare. Găsirea unei scheme de sprijin - aşa cum se face cu personalul cu studii medii- nu ar avea un impact în creşterea competenţei acestor întreprinderi prin inovare ?

Găsirea unor scheme de finanţare care să stimuleze angajarea în întreprinderile industriale şi a personalului cu studii inginereşti -complementar celui făcut pentru personalul cu studii medii-, ar conduce la o mai bună utilizare a tinerilor ingineri, creşterea competenţei tehnice a întreprinderilor noi, competitivitatea lor, utilizarea fondului de cadre ingineresc, corespunzător nivelului lui de pregătire.

2. INGINERIA ŞI INTERDISCIPLINARITATEA

Propunându-mi să dezvolt acest subiect, încerc să motivez de ce cultura inginerului trebuie să fie largă, nevoia ca pentru rezolvarea unei probleme tehnice interacţiunea ingineriei cu specialităţi şi domenii diferite trebuie să fie o prezenţă -inclusiv interacţiuni cu ştiinţele sociale şi biologie- transferul de cunoştinţe dintre ele conturându-se cu mare frecvenţă astăzi !

Ingineria este obligată să gândească interdisciplinar întrucât coeficientul de schimbare a bazei de cunoştinţe ştiinţifice cu care va fi obligată sa opereze, cu siguranţă ca va fi mult mai mare decât cea utilizată în trecut.

Incă în prezent, cu toate mijloacele informatice de documentare tot mai performante, inginerul este de multe ori depăşit nu doar de mulţimea informaţiilor dar şi de noutatea lor. ***El trebuie să aibă capacitatea intelectuală de a înţelege fenomenele fundamentale cu care va trebui să opereze, să le transmită personalului cu care lucrează şi chiar să se implice în extindere lor.***

O analiză a cuceririlor tehnicii din ultimele decenii, arată că o soluţie nu este doar de natură mecanică, electrică sau chimică, ci o sinteză de cunoştinţe care se integrează în mod creator într-o soluţie. Mai mult, cunoştinte din biologie trec în inginerie, vezi conversia energiei la o frunză sau generarea electricităţii de licurici

și procesele de aici care migrează spre inginerie ! Sau simulări și dispozitive medicale care intră în cultura unui medic. Doar câteva exemple care arată că ele nu vor putea fi abordate decât de un inginer cultivat, cu bogat bagaj de cunoștințe, capabil ca în mod creator să sintetizeze noțiuni sau principii în dezvoltarea unui produs nou!

Interdisciplinaritatea micșorează la maxim diferența dintre omul de știință și inginer, membrană care în trecut îi despărțea net, ea devenind tot mai permeabilă: oameni de știință care acționează ca ingineri valorificându-și o descoperire, ingineri devenind oameni din știință prin apariția unor noi științe urmare a unor realizări inginerești apărute în procesul de inovare.

Si tot mai mulți, consideră că modelul linear conceput de Vanevar Bush și care a stat la baza proiectului Manhatna care a dominat cercetarea americană -filosofie însușită și de europeni- nu mai corespunde cu evoluția pe care a avut-o tehnica în ultimele decenii. Descoperirea nu este doar urmarea activității unui savant care de la ideie generează aplicația, ci poate apare și din procesul de inovare, atunci când inginerul oferă o realizare pentru care știința nu are încă o explicație, dar va da naștere unor noi științe așa cun practica deja a arătat-o !

Se recunoaște că ***marile descoperiri care au însemnat revoluții în societate nu au fost doar datorită unor studii teoretice, ci si urnare a unor inovații care au condus apoi la crearea unor teorii care să le explice.***

Si voi încerca să dezvolt această ideie cu câteva exemple care cred că vor susține această opinie.

Edison nu știa atunci când a realizat lampa cu filament incandescent Teoria emisiei radiante a metalelor fiebinți, Marconi știa doar puține lucruri din teoria câmpurilor electromagnetice dezvoltate mai târziu de Maxwell și Hertz, sau despre principiul mașinii cu aburi simbol al epocii industriale realizată de Newcommen-Watt cu mai bine de 50 de ani înainte de publicarea eseului lui Sadi CARNOT "Reflecții asupra puterii motoare a focului" care a pus bazele termodinamicii clasice. Atunci când frații Wright își încercau avionul, nu exista știința aerodinamicii, dar această inovație a deschis drumul pentru apariția unei noi științe aerodinamica și curgerea fluidelor !

In "oglindă", există situații în care teoria a stat la baza unor inovări.

Fermi a realizat reactorul de fisiune nucleară după ce a pus bazele teoretice în fizica nucleară, apariția supraconductorilor la temperatură joasă a fost posibilă doar după descoperirea unor fenomene noi de către Bednorz- Muller (Premiul Nobel 1987) sau elaborarea unor dispozitive semiconductoare de Brattain Bardeen Shooklyn laboratoarele Bell (teoria BBS).

Iată cum interdisciplinaritatea permite o rapidă deplasare dintr-un domeniu în altul adiacient, chiar strucural pare a fi cu mari diferențe, așa cum a fost cazul unui teoretician cunoscut în domeniul termodinamicii JOSHU JIBBS care a realizat o dizertație de excepție nu numai în domeniul său ci și în alt domeniu cel al angrenajelor !

3. ȘCOALA INGINEREASCĂ ROMÂNEASCĂ

Scoala de inginerie românească a fost și rămâne o școală bună indiferent de faptul că se exprimă uneori aprecieri nepotrivite despre ea. Cine vrea să se realizeze are în România condițiile necesare. S-a dovedit acest lucru atât în trecut cât și astăzi, ingineri plecați în alte zone ale lumii au cariere inginerești de prestigiu, sunt profesori în reputate Universități din lume, cercetători în mari laboratoare ! Dacă școala nu ar fi bună, nici aceștia nu ar fi.

Sigur că sunt multe probleme de ameliorat așa cum ar fi nivelul de cunoștințe al celor care intră în universități - nevoia de a fi în permanență tot mai înalt- stimularea pasiunii pentru inovare încă din primii ani de studiu, legătura cu cercetarea și industria.

Ele nu vor face însă obiectul comunicării mele, eu propunându-mi să semnalez doar o serie de elemente care pot permite stabilirea unei mai apropiate abordări de realitate, a modului în care apreciez că va trebui să se dezvolte școala de inginerie românească, care studiind cu atenție modelul Bologna sau sistemul american STEM, să nu neglijeze tradiția și multele elemente pozitive pe care școala românească de inginerie le-a validat în ani !

Când am absolvit Facultatea de Electrotehnică, cu mai bine de 60 de ani în urmă, le-a fost posibil profesorilor mei să-mi spună aproape tot ce era cunoscut în domeniul curenților tari. Aveam convingerea și garanția că voi fi în stare să practic ingineria corect și nu voi avea surprize. Și a fost adevărat, practica arătându-mi că și în situația apariției unor probleme noi de care nu fusesem învățat am fost în stare să le studiez, să le adâncesc și rezolv.

Cunoștințele în electricitate și limitele exterioare ale tehnicii erau limpede vizibile și cel mai avansat aparat sau mașină electrică nu conținea nici un fel de enigmă pentru cineva care terminase cursuri de bază de electrotehnică, chiar dacă în structura lui-mașina sau aparatul- aveau elemente care se vor dezvolta în viitor și aparținând electronicii, automatizării, calculatoarelor, discipline care se vor contura mai târziu.

Pe baza cunoștințelor căpătate, puteai înțelege redresarea cu tuburi electronice pornind de la redresoarele mecanice sau cu celule redresoare, amplificarea cu tuburi în corespondența cu amplificatoarele magnetice, automatizările cu circuite electronice pornind de la scheme cu contactoare și relee sau logica lui Gr. Moisil în schemele logice care anticipau calculatoarele ș informatica.

Astăzi situația este mult diferită ! Cunoștințele noi care au apărut în ingineria electrică clasică de la noile sale surori: electronica, automatizările și tehnologia informației aproape depășesc tot ceeace cunoșteam cu ani în urmă. La câteva secunde apare un articol, iar sarcina profesorului devine mult mai dificilă de a selecta ceeace este esențial și trebuie să transmită viitorului inginer**.**

El nu mai poate aprecia cât timp ar fi necesar pentru pregătirea unui inginer și ce cunoștințe ar

trebui să-i dea studentului pentru a-l pregăti pentru societatea viitoare !

Va trebui mărit numărul de ani aşa cum se face la medicină ? Ar fi necesar să se treacă la un curs pregătitor în care să se prezinte elementele de bază ale matematicii şi fizicii, probleme de creativitate şi interdisciplinaritate pentru ca apoi să se treacă la elemente specifice meseriei inginereşti ? Aşa cum încearcă acum americanii să facă cu educarea tânărului în sistemul STEM ?

S-ar putea aprecia tinpul necesar pentru formarea unui inginer ?

Extinderea volumului de cunoştinţe în domeniul fizicii, matematicii, stiinţelor vieţii, va face pregătirea inginerului tot mai complexă, cu posibile noi forme de pregătire altele decât cele existente astăzi: masteratele sau doctoratele.

Absolvirea unei forme de învăţământ ingineresc va fi tot mai dificilă datorit efortului ce va trebui depus pentru acumularea unui volum tot mai ridicat de cunoştinţe şi recompensarea acestui efort în procesul muncii va trebui corect evaluat, lucru de care deja inginerul se plânge astăzi că nu este recompensat corespunzător locului şi rolului său în societate, comparativ cu alte meserii mai uşor de însuşit dar răsplatite mai bine decât o activitate inginerească.

4. SOCIETATEA TREBUIE SĂ FIE MAI ATENTĂ CU ROLUL ŞI LOCUL INGINERULUI

Una din marile probleme cu care se confruntă societatea este cererea tot mai mare de ingineri, în condiţiile în care atractivitatea şi interesul pentru disciplinile inginereşti, matematica şi fizica este redus. ***Explicaţia care se dă, se datorează în principal volumului mare de muncă depusă pentru obţinerea unei diplome inginereşti şi aprecierea muncii inginereşti în societate, inegală dată de alte discipline la care o diplomă se obţine cu un mai mic efort ceeace scade interesul pentru activităţile inginereşti.***

Cererea tot mai mare de ingineri obligă statele să se îndrepte cu mai multă atenţie spre acest fenomen şi sa promoveze soluţii pentru reducerea impactului produs de lipsa de ingineri pe piaţa Uniunii Europene, evaluând deja un deficit de 40-50.000 ingineri anual şi anticipând un exod de care nici România nu este ferită !

Creşterea atractivităţii pentru meseria de inginer nu va pute fi realizată decât în condiţiile în care societatea va stabili o corespondenţă corectă între efortul depus pentru însuşire meseriei de inginer în condiţiile continuiei necesităţi de însuşire a noi cunoştinţe derivate din progresele în ştiinţă, responsabilitatea inginerului în societate şi corecta echivalare a acestor eforturi în aprecierea financiară a muncii sale. [4, 5]

La o altă scară, aş putea menţiona o experienţă pozitivă a învăţământul ingineresc românesc întâmplat cu ani în urmă în domeniul ingineriei construcţiilor. La nivelul promoţiei mele, câştigurile mai mari oferite în construcţii decât în alte discipline inginereşti, au determinat ca mulţi şi performanţi tineri să se îndrepte spre acest domeniu, cu rezultate deosebite atât din punct de vedere al soluţiilor tehnice oferite -s-a creiat în România o autentică şcoală de construcţii- al asigurării cu personal, măsură care explică performanţele atinse de România în ingineria construcţiilor.

Iată cum stabilirea unei corecte echivalente între volumul de cunoştinţe mare şi presupunând un efort ridicat de acumulare cunoştinţe, dar corect re-compensat de societate, a conturat atractivitatea faţă de această meserie, competenţa tehnică la care s-a ajuns, direcţia de urmat.

Multe întrebări se pot pune astăzi privind utilizarea inginerului. Tot ceeace face astăzi un inginer, este şi ceeace ar trebui să facă ? Ar putea fi gândită o degrevare a atribuţiilor pe care astăzi la are dirijându-le spre o altă categorie de personal, în timpul eliberat el urmând să facă alte activităţi corespunzătoare pregătirii sale ?

Mari mutaţii se intuiesc ca vor apare în psihologia muncii şi în etica inginerească. Spunem că pregătirea inginerească trebuie să ţină seama de schimbările care apar în tehnică, de volumul tot mai mare de cunoştinţe care trebuie acumulate şi este un lucru acceptat de toţi. Dar aceasta va presupune un efort mai mare şi continuu întreţinut !

Va accepta tânărul acest efort -care-l exclude de la tentante plăceri- dacă nu va avea justificarea pentru a-l face ? Va accepta să muncească mai mult ca să primească mai mult sau se va plasa în zona de efort minim/câştig maxim ? Care va fi etica sa în ceeace priveşte activitate pe care o desfăşoară dacă rezultatul ei poate fi contrar idealurilor societăţii ? In afara banului, va exista un alt element care să-l "împingă" în continuare să depună eforturi suplimentare care să conducă la progresul societăţii ?

La complexitatea problemelor de rezolvat în inginerie, rezultatul nu mai este individual ci colectiv, va apare o competenţă combinată dar care în final este colectivă, iar inginerul va fi apt să evalueze corect contribuţiile aduse de membrii echipei, îşi va creia capacitatea intelectuală şi critică de şef de echipă, apt să evalueze corect munca altora ?

Sunt de asteptat să apară schimbări majore în procesul muncii, între om-om, om-maşină şi aici sunt de asteptat mutaţii esenţiale. Szent Gyorgyi -laureat al Premiului Nobel- anticipa aceste schimbări încă de acum câţiva zeci de ani "Ele se petrec sub ochii noştri, aştept progrese istorice nu doar în cercetarea ştiinţifică ci în domeniul făuririi unei etici noi, instaurarea unor raporturi şi relaţii de tip noi între oaneni".

CONCLUZII

1. Mediul industrial şi economic, sectoarele care absorb forţa de muncă, ministerele, societatea civilă, asociaţiile profesionale şi academiile de ştiinţă sunt solicitate să găsească căi şi să propună soluţii pentru creşterea atractivităţii pentru cariera inginerească şi recompensarea ei la valoarea contribuţiei aduse în societate.

2. Realitatea contemporană cu schimbarea necontenită a proceselor de fabricaţie, a cunoştinţelor cu care se operează dar şi a pieţelor, inovarea în toate domeniile vieţii cer formarea unui viitor inginer capabil să răspundă provocărilor care apar.

3. Inginerul societăţii viitoare treuie să fie "cultivat" şi "flexibil", "cultivat" pentru a fi apt să găsească răspuns la sarcini complexe, "flexibil" şi rapid în găsirea unor soluţii noi pentru problemele noi pe care le are de rezolvat.

4. Tinerii societăţii de mâine trebuie să îmbine cunoştinţele de specialitate -de natură verticală- cu aptitudinile -mai mult orizontale din alte discipline- de a generaliza şi a realiza o integrare interdisciplinară. Cultivare-mobilitate-flexibilitate-studiu permanent, reprezintă cuvintele cheie a adaptării forţei de muncă inginereşti la problemele tot mai complexe care vor apare în tehnică.

5. Neadaptarea forţei de muncă la schimbări nu are doar un caracter tehnic şi organizatoric ci şi un profund caracter folosofic implicând schimbări permanente care necesită ca tinerii să fie mobili, flexibili şi doritori să continuie să înveţe în permanenţă.

6. Creşterea atractivităţii pentru meseria de inginer nu va putea fi realizată decât în condiţiile în care societatea va stabili o corespondenţă corectă între efortul depus pentru însuşirea meseriei de inginer în condiţiile continuei necesităţi de însuşire a noi cunoştinţe derivate din progresele în ştiinţă, responsabilitatea inginerului în societate şi corecta echivalare a acestor eforturi în aprecierea financiară a muncii sale.

BIBLIOGRAFIE

[1] WG Sheperd: *Education for the engineering mission*. In Electronics & Powerr, vol 14, apr, 1968, p. 157-162

[2] FT Tănăsescu: *Politici ale Academiilor de inginerie europene în problema formării tânărului pentru cariera inginerească*. In Proceedingd of ASTR, 2002, Buc, Ed AGIR

[3] M Ragazzi*: Policies to attract young people for resercc career. Italan case.* Proceedins Internat WS ICPE-CA, Buc, 21-22 june, 2018

[4] FT Tănăsescu: *Atragerea tinerilor către ştiinţă, deziderat al societăţii cunoaşterii*. In Proceedings Internat WS ICPE-CA, Buc, 21-22 june, 2018

[5] FT Tănăsescu*: Stiinţa, Educaţia şi Cercetarea*. Conferinţa Zilele ASTR, Timişoara

\

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secțiunea I

„ SURSE DE ENERGIE “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Dan Stematiu
- Prof. dr. ing. Mircea Eremia
- Prof. dr. ing. Gheorghe Manolea

I.01. *Dan Stematiu,* **Potențialul hidroenergetic al României componentă semnificativă în portofoliul surselor regenerabile** 9

I.02. *Valentin I. Popa,* **Biomass as renewable raw material for energy and bioproducts**.....13

I.03. *Dumitru Fodor, Tiberu Trotea, Ionut Predoiu,* **Cărbunele din Oltenia în strategia energetică a României**.....16

I.04. *Gheorghe Manolea, Laurentiu Alboteanu,* **Analiza evoluției surselor de energie din Oltenia**.....24

I.05. *Adrian Toni Radu, Mircea Eremia, Lucian Toma,* **Rolul electromobilității în integrarea surselor regenerabile de energie și a generării distribuite** 30

I.06. *Dragos Popa, Mirela Maria Codescu,* **Aplicații ale magneților permanenți în industria aeronautică – alegere și stabilitate** 35

POTENȚIALULUI HIDROENERGETIC AL ROMÂNIEI COMPONENTĂ SEMNIFICATIVĂ ÎN PORTOFOLIUL SURSELOR REGENERABILE

Profesor Dan STEMATIU[1]

[1]*Academia de Ştiinţe Tehnice din Romania*

REZUMAT. Hidroenergia este una dintre principalii contribuitori in portofoliul surselor regenerabile. În trecut valorificarea acestei surse a fost impulsionată de cerinţele dezvoltării industriale. În prezent situaţia este semnificativ diferită. Opoziţia organizaţiilor neguvernamentale a adus o nouă abordare. Hidroenergia este sursă regenerabilă indiferent de marimea amenajării care o fructifică. Esenţial este modul de operare. În acest context în lucrare se prezintă relaţia dintre energia eoliană şi energia hidroelectrică produsă în amenajările cu acumulare prin pompaj. Sinergia adusă de combinarea acestora este benefică pentru ambele surse- servicii de sistem şi stocare de energie pentru eolian şi un client sigur fără expunere la fluctuaţiile pieţei pentru hidroenergie.

Cuvinte cheie: Hidroenergie, Dezvoltare industrială, Acumulare prin pompaj, Energie eoliană

SUMMARY. Hydropower is recognized as one of the main contributors to renewable energy. The past development was strongly governed by the need of industrial development. Today trend is rather different. Significant opposition brought about by environmental organization has required a modified approach. All hydropower projects are renewable. It is not size that defines whether a project is sustainable or not, but the specific characteristics of the project. The way the project is planned, implemented and operated is of far greater significance than the size of the project. The issue of wind power in relation to pumped storage hydropower is presented. Combining wind and hydropower resources leads to the mutual benefit of each: for wind energy: ancillary services, energy storage; for hydropower - electricity customer with market exposure. System benefits are added: better utilization of transmission and generation assets.

Keywords: Hydropower, Industrial development, Pumped storage, Wind power

1. ELEMENTE DE DIAGNOZĂ – STADIUL ACTUAL

Consumul de energie electrică în România a înregistrat modificări substanţiale după anul 1990. Astfel, a scăzut de la 60 TWh în 1990 la 40 TWh în 1999, în principal pe fondul contractării sectorului industrial, după care a crescut până la 49 TWh în 2008. Sub impactul crizei economice din 2008/2009, consumul de energie electrică a scăzut la 45 TWh în 2009. Conform datelor Institutului Naţional de Statistică (INS), in 2016 consumul final a fost de 52,6 TWh. Consumul în economie (construcţii, industrie şi servicii) a avut o pondere de 75% din consumul final, restul fiind în principal consum rezidenţial (aproximativ 12 TWh).

Mixul energiei electrice în România este diversificat. Aproximativ 40% din mixul de energie electrică este compus din energie regenerabilă, 58% este fără emisii de gaze cu efect de seră (GES) şi 72% are emisii relativ scăzute de CO_2. În mixul de producţie a energiei electrice, intensitatea emisiilor de CO_2 pe unitatea de energie electrică produsă este asemănătoare nivelului mediu european.

Cu excepţia unor retehnologizări sau inaugurarea unor centrale a căror lucrări erau deja începute, nici o investiţie majora nu a fost consemnata in ultimii 24 de ani in sectorul hidroenergetic din Romania. In schimb, in domeniul fotovoltaic si cel eolian au fost investite, numai in decursul a doi ani, peste doua miliarde si jumătate de euro. Toate strategiile energetice elaborate după 1990 consemnează faptul ca potenţialul hidroenergetic al României este valorificat cel mult la nivelul a 50% din cel existent, iar specialiştii apreciază ca valoarea energiei pierdute prin lipsa investiţiilor in noi hidrocentrale, numai in perioada 1990-2007, ar fi fost de peste 5 miliarde de euro. Paradoxal, exact cam aceeaşi suma era evaluata ca fiind necesara si pentru construcţia de noi capacitaţi, sau retehnologizarea celor existente.

Hidroenergia merita o analiza atenta in cadrul planurilor de dezvoltare pentru energie si management-ul apelor, ţinând seama si de contribuţia sursei hidroenergetice in mixul energetic pe lângă beneficiile aduse dezvoltării durabile.

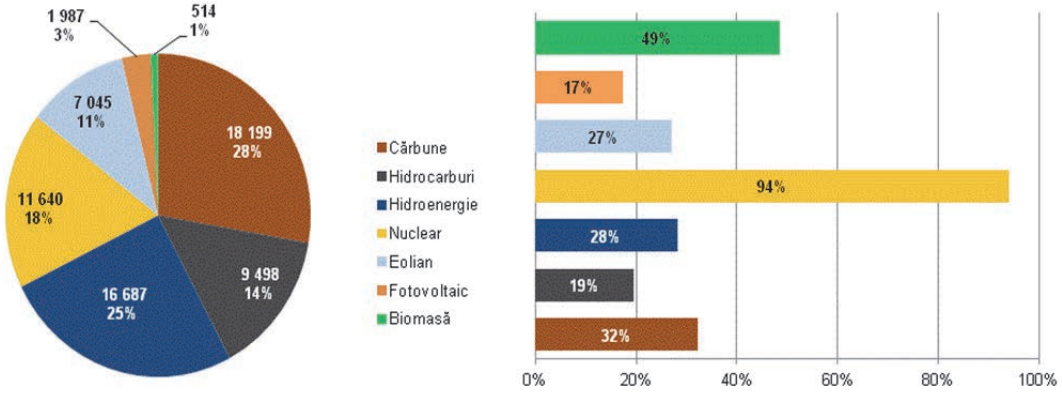


Figura 4. Producția de energie electrică, exprimată în GWh (total: 65 600 GWh) și coeficientul de utilizare a puterii instalate, în anul 2016.

2. HIDROENERGIA – COMPONENTA ESENȚIALA IN CADRUL SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILA

Resursele hidraulice de energie se regenerează continuu aportul natural al energiei solare. Sursa primară a energiei hidraulice este radiația solară și circuitul apei în natură. Radiația solară produce evaporarea (în special de pe oceanul planetar), norii încărcați cu vapori de apă se deplasează către uscat, în anumite condiții condensează, precipitațiile cad pe suprafața uscatului și o parte din volumul de apă formează scurgerea de suprafață. Scurgerea de suprafața, concentrata ca debit si cădere, este sursa hidraulica valorificata ca hidroenergie si este evident regenerabila.

Energia hidraulica nu este singura sursa de energie regenerabila, dar are caracteristici unice, care nu se regăsesc la celelalte surse. Între energiile regenerabile care au deja aplicare la scară industrială sunt energia eoliană și energia solară. Lor li se adaugă la o scară mai redusă energia geotermală, energia provenită din biomasă etc.

Energia hidroelectrică este nu numai regenerabilă, dar este ***curată*** și disponibilă atunci când consumatorii o cer. Ea nu produce deșeuri (cenuși sau substanțe radioactive), nu produce bioxid de carbon care contribuie la efectul de seră, nu produce oxizi de sulf care stau la origina ploilor acide. Combustibilul ei este apa, un combustibil curat care nu suferă degradări prin turbinare.

Comparativ cu hidroenergia, care este înmagazinabilă în lacuri de acumulare și poate răspunde prompt la cerințe, celelalte surse de energie regenerabilă sunt dependente de schimbările sezoniere, zilnice sau chiar orare ale vremii. Energia eoliană și energia solară depind de vânt și de soare. Sunt surse intermitente. Valorificarea lor în acord cu cerințele consumatorilor se poate face eficient numai in cadrul unui sistem energetic echilibrat, cu aportul major al hidroenergiei. Marile ferme eoliene, care sunt din ce în ce mai numeroase, pot suplini o parte din energia hidro, iar când energia produsă de ele nu are debușeu la consumatorii tradiționali poate fi stocată în lacuri de acumulare, așa cum s-a amintit deja, in centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj.

Infrastructura creata de amenajările hidroenergetice poate fi comună cu alte folosințe indispensabile managementului apei. Marile lacuri asociate amenajărilor hidroenergetice protejează împotriva inundațiilor prin atenuarea viiturilor, sunt importante surse pentru alimentarea cu apă a populației și a industriilor, asigură debit pentru irigații în perioadele secetoase, pot fi importante centre de dezvoltare a turismului. În cazul amenajărilor fluviale nivelul apei este controlat prin barare iar navigația este mult favorizată prin construcția de ecluze în frontul barat.

Caracteristicile proprii, care situează energia hidroelectrica ca o energie regenerabila cu caracteristici superioare sunt însă cele legate de modul de intervenție in acoperirea curbelor de sarcina ale sistemului energetic. Prin calitățile lor tehnice și economice (elasticitatea, fiabilitatea, preț de cost redus) centralele hidroelectrice sunt amenajări deosebit de adecvate pentru îndeplinirea operativă a serviciilor tehnologice de sistem cum sunt: reglajul secundar frecvență-putere, rezerva turnantă, rezerva terțiara rapidă și reglajul tensiunii.

Recapitulând, energia hidroelectrica este una cu calități speciale:

- ✓ Este sursă regenerabilă și nepoluantă;
- ✓ Are randament ridicat al transformării energiei hidraulice in energie electrică;
- ✓ Este asociată folosinței complexe a cursurilor de apă – atenuarea viiturilor, irigații, alimentări cu apă, navigație etc.;
- ✓ Are un rol important în cadrul sistemului energetic, asigurând servicii de sistem (- Reglaj de frecvență, - Controlul puterii reactive, - Rezervă de avarie).

În prezent, în România, centralele hidro sunt principalele furnizoare de servicii tehnologice de sistem, acoperind aproximativ 80% din rezerva minut a sistemului energetic. La acoperirea necesarului de putere de reglaj secundar participă opt centrale hidroelectrice mari: Porțile de Fier I, Stejarul, Corbeni,

Ciunget, Gâlceag, Șugag, Mărișelu și Retezat. Puterea lor instalată însumează 2845 MW, din care o bandă totală de 400…530 MW este prevăzută pentru acest reglaj.

3. ENERGIA DIN SURSE REGENERABILE IN ROMANIA – OBLIGAȚII ASUMATE

Proiectul de Strategie Energetica a României pentru perioada 2011-2035 stipulează ca potențialul hidro reprezintă o alternativa durabila de dezvoltare a sectorului energetic din Romania, ținând cont de resursele limitate de materii prime energetice ale tarii noastre, precum si de nevoia de a obține energie ieftina si care sa nu producă gaze cu efect de sera. Potrivit proiectului, autoritățile vor continua programul de realizare de centrale hidroelectrice cu punerea in funcțiune a circa 1.400 MW pana in 2035.Va fi amenajat potențialul hidroenergetic național in proporție de 59% in 2020 si de 67% in 2035. In ceea ce privește valorificarea potențialului hidroenergetic, cifrele de control se regăsesc in Proiectul de Strategie Energetica a României pentru perioada 2011-2035 si, erau, până la declanșarea insolvenței la HIDROELECTRICA, si in strategia de dezvoltare a acesteia.

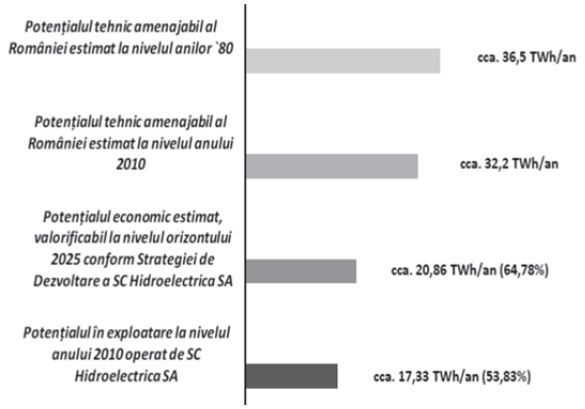


Figura 5. Potențialul hidroenergetic tehnic amenajabil al României

Din nefericire elementele din proiect nu au și o bază viabilă de implementare. Singura entitate din Romania care implementa pana in prezent cerințele programelor si legislației europene in domeniul energiilor regenerabile si al apelor era HIDROELECTRICA care, deși era o societate comerciala, avea un rol strategic in politica energetica. În prezent situația este substanțial modificată.

În acest moment (martie 2018), un număr mare de amenajări hidroenergetice gândite pentru folosințe complexe au fost sistate temporar în diverse stadii de execuție iar continuarea sau chiar conservarea lor implică cheltuieli pe care Hidroelectrica nu și le mai poate permite. Chiar si sistarea temporara a construcției acestor amenajări creează mari probleme legate atât de cheltuieli suplimentare la reluarea lucrărilor sau la efectuarea unui minim de lucrări de punere in siguranța, cât și probleme de mediu, de tranzitare a viiturilor și chiar probleme sociale. În orice caz, până la rezolvarea situației actuale este preferabilă sistarea temporara a construcției amenajărilor complexe fată de modificarea schemelor inițiale si reducerea lor numai pentru folosințe hidroenergetice.

4. ENERGIA EOLIANA IN SINERGIE CU ENERGIA HIDROELECTRICA

Energia eoliana este o forma de energie regenerabila, având ca sursa primara energia solara, care, prin expunere diferita a suprafețelor terestre produce circulația aerului. Progresele in domeniul aerodinamicii si a tehnologiilor specifice au făcut ca energia eoliana sa fie disponibila la scara industriala. Este o energie curata, fără emisii si deșeuri. O ferma eoliana reprezintă o grupare de mai multe elicii (turbine) eoliene care sunt conectate la sistemul energetic. O ferma eoliana poate cuprinde de la 10 la 1000 de turbine. Extinderea fermelor eoliene este foarte rapida. In 2003 erau pe glob cca 31,000 MW putere eoliana instalata, ca in 2009 puterea instalata sa depășească 140,000 MW . Perspectivele sunt de creștere a ratei de dezvoltare a energiei eoliene.

In Romania, strategia de valorificare a surselor de energie regenerabila estima potențialul eolian la 23 TWh si prognoza pentru 2015 o putere instalata in centrale eoliene de 400 MW si o producție de 1315 GWh. Au fost adoptate, prin legislația primara si secundara, masuri de sprijin. Estimările au fost de fapt subestimări. La sfârșitul anului 2008, puterea instalata in grupuri eoliene era de 5,2 MW, iar energia produsa in anul 2008 a fost de 5,0 GWh. In ianuarie 2010 Agenția Națională de Reglementare Energetica (ANRE) a raportat existenta a 15 producători licențiați de energie eoliana cu o putere instalata de 14,2 MW. Schema cotelor obligatorii combinata cu tranzacționarea certificatelor verzi.au mărit considerabil ritmul de promovare a fermelor eoliene. Sunt raportate contracte de racordare pentru centrale eoliene cu 102 producători si o putere instalata de 2622 MW. Au fost acordate avize tehnice de racordare pentru 61 producători, cu o putere instalata de 4236 MW.

La 1 ianuarie 2017 Romania înregistra 3025 MW instalați in eolian. Planul de perspectiva prevede o putere instalata in centrale eoliene in anul 2018 de peste 3500 MW. Studiul întocmit de TRANSELECTRICA pentru fundamentarea strategiei de integrare in SEN a centralelor eoliene arata ca:

- pentru fiecare MW instalat in parcuri eoliene este necesara sporirea puterii de rezerva terțiara rapida din sistem cu circa 0,6-0,8 MW, respectiv realizarea unor investiții suplimentare;
- solicitările de racordare a centralelor eoliene sunt concentrate in zona Dobrogea, zona cu un excedent semnificativ al producției fata de consum; acest lucru generează probleme privind capacitatea rețelelor de evacuare a puterii si privind reglajul de tensiune in zona;

- cererile de racordare a centralelor eoliene in zonele Transilvania si Moldova nu pun încă probleme speciale din punct de vedere al capacitații rețelelor.

Cuplarea fermelor eoliene la sistemul energetic impune costuri adiționale. Costul de integrare a energiei eoliene se calculează ca fiind diferența dintre costurile de operare a sistemului energetic afectat de incertitudinea si variabilitatea energiei eoliene si costul de operare a sistemului energetic fără energia eoliana. Costurile de integrare a energiei eoliene sunt direct dependente de flexibilitatea operațional a sistemului, adică de capacitatea de absorbire a energiei eoliene. Un sistem energetic bine echipat cu turbine cu gaz si cu uzine hidroelectrice cu lacuri mari de acumulare sau cu uzine hidroelectrice cu acumulare prin pompaj poate fi suficient de flexibil, in timp ce un sistem energetic slab echipat cu astfel de facilitați va fi pus in dificultate si va impune costuri de integrare mari.

In conformitate cu predicțiile Euroelectric anergia eoliana si solara se va dubla la nivelul anului 2020 raportat la anul 2010. Va creste inerent si variabilitatea puterii disponibile in sistemele energetice si ca urmare nevoia de a stoca energie pentru acoperirea consumului, la rândul lui variabil. Singura alternativa cu aplicare industriala rămâne hidroenergia cu acumulare prin pompaj. La începutul anului 2011 in Europa erau in operare 170 de uzine hidro cu acumulare prin pompaj, cu o putere de 45 GW. Tot in Europa sunt promovate o serie de noi proiecte de acumulare prin pompaj in zona Alpilor. Sunt investiții in cca 60 de noi uzine cu o putere instalata de cca 27 GW. In Germania este in construcție uzina de 1400 MW de la Schluchseewerk in Baden Wurttemberg. In Elvetia puterea instalata a uzinei de la Veytaux este dublata la 420 MW si se afla in construcție uzinele de 1000 MW de la Limmern si de 600 MW de la Nant de Drance. In mai 2012 Austria, Germania si Elveția au semnat o convenție de colaborare pentru promovarea a noi investiții de acumulate prin pompaj in regiune.

Datorita potențialului synergetic adus de operarea in comun a fermelor eoliene cu centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompaj, in multe alte tari se recurge la integrarea surselor eoliene cu cele hidro in intenția de optimizare a exploatării.

5. UNELE PROPUNERI

In primul rând se impune elaborarea unui program național privind valorificarea potențialului hidro-energetic tehnic amenajabil, în contextul gospodăririi eficiente a resurselor de apă;

In același timp este necesara elaborarea unei legislații naționale specifice prin care toate entitățile administrative și economice beneficiare ale folosințelor complexe asigurate de valorificarea potențialului hidroenergetic să contribuie la realizarea investițiilor în domeniu;

Pe baza legislației specifice si a programului național de valorificare a potențialului hidroenergetic trebuie actualizate schemele de amenajare hidroenergetică cu folosință complexă, luând în considerare:

- regularizarea stocului natural hidrologic al bazinelor hidrografice pentru acoperirea perioadelor secetoase, a rezervelor de apă necesare pentru populație, industrie, agricultură;
- tranzitarea undelor de viitură în condiții de siguranță pentru localități, căi de comunicații și terenuri agricole;
- dezvoltarea potențialului turistic și piscicol în zona viitoarelor amenajări.

In cadrul noilor scheme de amenajare trebuie promovate consistent uzinele hidroelectrice cu acumulare prin pompaj, in acord cu nevoile de sporire a puterii de rezerva terțiara rapida din sistem impuse de extinderea surselor eoliene.

BIOMASS AS RENEWABLE RAW MATERIAL FOR ENERGY AND BIOPRODUCTS

Prof. emerit dr.ing. Valentin I. POPA

„Gheorghe Asachi" Technical University Iasi, Romania

REZUMAT. Una din marile provocări ale societății moderne o reprezintă găsirea unor posibilități de dezvoltare durabilă pentru a obține biocombustibili și bioproduse din resurse regenerabile. Din acest punct de vedere, biomasa accesibilă din silvicultură și agricultură (inclusiv din culturi dedicate terestre și acvatice), deșeuri provenite din exploatarea forestieră și prelucrarea lemnului și din prelucrarea produselor alimentare) poate reprezenta o soluție. Cantitățile uriase de biomasă disponibile pot fi prelucrate prin tehnologii de biorafinare pentru a obține atât, produse cu valoare energetică cât și chimică/biochimică pentru a contribui la o dezvoltare durabilă.

Cuvinte cheie: biomasă, resurse, biorafinare, bioproduse, dezvoltare durabilă

ABSTRACT. One of the great challenges to our society is to find a sustainable manner to obtain biofuels and chemical products from renewable resources. From this point of view, biomass resulted in silviculture, agriculture from cultivation (dedicated crops- terrestrial and aquatic), wastes from forestry, agriculture, food processing industry) may represent a solution. The huge accessible resources of biomass allow using biorefining technology to obtain both energy and bioproducts to contribute to sustainable development.

Keywords: biomass, resources, biorefining, bioenergy, bioproducts, sustainable development

1. INTRODUCTION

One of the great challenges to our society in the future is to find a sustainable manner to obtain energy and bio-based products from renewable resources. Currently a significant emphasis has been put into development biorefinery concept and to maximize the exploitation of biomass into value added products. The concept of biorefinery was originated in late 1990s as a result of scarcity of fossil fuels and increasing trends of use of biomass as a renewable feedstock for production of non-food products. The term of "Green Bioefinery" was first introduced in 1997 as: "Green biorefineries" represent complex (to fully integrated) systems of sustainable, environmentally and resource-friendly technologies for the comprehensive (holistic) material and energetic utilization as well as exploitation of biological raw materials in form of green and residue biomass from a targeted sustainable regional land utilization" [1].

"Biorefineries that are designed to be flexible and modular will be able to take a wider range of feedstock or adapt to changes in demand for specific chemicals without large capital costs. This flexibility will also mean that a biorefinery will be able to cope with a variety of feedstocks that mature at different times of the year. A modular installation will also be able to change its processing technologies as new feedstocks are developed.

According to US Department of Energy (DOE) "A biorefinery is an overall concept of a processing plant where biomass feedstocks are converted and extracted into a spectrum a valuable products". The American National Renewable Energy Laboratory (NREL) defined biorefinery as: " A biorefinery is a facility that integrates biomass conversion process and equipment to produce fuels, power and chemicals from biomass". These definitions of biorefinery are analogous to today's integrated petroleum refinery and petrochemicals industry to produce multitude of fuels and organic chemicals from petroleum [2].

We think we have a priority because we have introduced this concept in the paper: **Simionescu CI, Rusan V., Popa VI: Options concerning phytomass valorification.** ***Cell Chem Technol.*** **21:3-16, 1987.** "In our days, the idea that vegetable biomass represents a source of liquid fuel and of different new materials has led to the development of various research programs in this field. Our investigations in this direction are based on the following premises: (1) all kinds of vegetable biomass include almost the same components; (2) the

macromolecular compounds existing in the vegetable biomass incorporate biosynthesis energy, and their conversion to useful products seems to be considered; (3) the complex and total processing technology may be modulated depending on the chemical composition of the vegetable source, as well as on the utilization of the obtained chemical compounds. The possibilities of complex processing of soft- and hardwood bark, agricultural wastes, and some energetic cultures of *Helianthus tuberosus* and *Asclepias syriaca* is exemplified. In order to face the present state of affairs, the manifested tendency is that of adopting the existing classical technologies of carbo- and petrochemical fields in processes of converting biomass into products possessing energetic and/or chemical value. The technology of integral and complex valorization of biomass has been proposed is to be performed on several stages and modules, depending on the chemical composition of the available vegetal resources and on the corresponding field of application for the obtained products as well."

Biomass sources for supplying biorefineries can be derived from: 1. forestry and wood processing wastes, 2. agricultural and food processing residues, 3. municipal wastes and 4. dedicated crops (terrestrial and aquatic). By using a technology of complex processing of biomass it is possible, as a function of raw material and its composition, to separate a large spectrum of marketable products. From this point of view, forestry/agricultural raw materials containing chemically and reactive constituents can be used for production of chemical compounds, composite material, fibres, products, fuels or energy

2. FORESTRY AND WOOD PROCESSING WASTES

Among them different types of residues have to be considered: wood residues from logging, and wood processing (saw-milling and manufacturing plywood, particle board and pulp); wood residues generated by management of forestry (thinning of young stands and removal of dead and dying trees) and perennial crop plantation and replanting of tree; residues resulting in clearing forest lands for agricultural purposes, cutting or lopping trees purely for fuel wood, collecting deadwood, trees growing on agricultural land, communal lands on waste lands, on private land as gardens, trees growing along roads etc.[3].

3. AGRICULTURAL AND FOOD PROCESSING RESIDUES

Oil price volatility and limited fossil resources are pushing the chemical industry's giants-but not exclusively-toward the use of alternative raw materials: agricultural and food processing residues (rice straw, rice husk, cotton, sugar cane, food processing) [4,5].

4. MUNICIPAL WASTES

Municipal solid waste (MSW) is another potential feedstock. MSW includes sewage sludge and industrial waste. Residential, commercial and institutional postconsumer waste usually contains good amounts of plant-derived organic materials that can be used as potential source of biomass. Waste paper, cardboard, wood wastes, and yard waste are examples of MSW. MSW contain paper and paper products (37.8 %), food waste (14.2 %), yards waste (14.2), wood wastes (3.0 %), along with plastics (4.6 %) rubber and leather (2.2 %), textiles (3.3 %), glass and ceramics (9.0 %) metals and miscellaneous (3.1 %) [6].

5. DEDICATED CROPS (TERRESTRIAL AND AQUATIC)

The most promising could be the following: energy crops (herbaceous energy crops, wood energy crops, agricultural crops), aquatic crops (macroalgae and microalgae) [7, 8].

6. BIOENERGY AND BIOPRODUCTS

The concept of biorefinery originated as a result of scarcity of fossil fuels and chemical products allow use of biomass as renewable feedstock to develop new applications. Thus it is possible to obtain **bioenergy** (liquids fuels such as ethanol and biodiesel; solid biomass for combustions to generate heat and power; gaseous fuel such as biogas and syngas, which can be used to generate heat and power; **biomaterials** (bioplastics from plant oils and sugars; biofoams and biorubber from plant oils and latex, biocomposites manufactured from agricultural –e.g. hemp, kenaf, flax- and forestry biofibers, used for example, in the production of automobile door panels and parts; **biochemicals** (industrial-basic and specialty chemicals and resins, including paints, lubricants and solvents; pharmaceuticals: antibodies and vaccines produced by genetically modified plant "factories" and natural source medicinal compounds, biocosmetics: soaps, body creams and lotions. Bioproducts development can offer economic, environmental and health benefits. Some benefits of bioproducts include the following: socioeconomic, environmental and health benefits which can assure sustainable development [9].

7. CONCLUSIONS

Biomass is a jargon term used in the context of energy for a range of products which have been derived from photosynthesis; we will recognize the products as waste from forestry and agricultural processes from urban areas, specifically grown crops like trees, starch crops, sugar crops, hydrocarbon plants and oils, and also aquatic plants such seaweeds and algae.

An integrated biorefinery is an approach that optimizes the use of biomass for the production of biofuels, bioenergy and biomaterials for short- and long-term sustainability. The demands of future biorefineries will stimulate further advances in agriculture in which tailored perennial plants and trees will provide increasing amounts of bioresources.

REFERENCES

[1] National Renewable Energy Laboratory (NREL), http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html
[2] B.Kamm, M.Kamm, P.R. Gruber and S.Kromus, In Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions Volume 1, Editors, B. Kamm, P.R.Gruber and M. Kamm, Wiley-VCH: Weinheim, 2006.
[3] A. Koopmans, and J.Koppejan, January 6-10, Agricultural and forest residues-generation and utilization and availability. In Paper presented at the Regional Consultation on Modern Application of Biomass Energy. Kuala Lumpur, Malayasia (see FaO, 1998), p.2-13, 1997.
[4] F.Rossilo-Calle, P.Groot and S.L.Hemstock, Chap. 4 Non-wood biomass and secondary fuels. In F.Rossilo-Calle, P.Groot and L.Sarah (Eds.), The Biomass Assessment Handbook, Bioenergy for a Sustainable Environment. Hemstock and Jeremy Woods, Earthscan, London, Sterling, VA, p.69-100, 2007.
[5] C. Galanakis (ed.), Food Waste recovery: Processing Technologies and Industrial Technique, Academic Press, 412 p., 2015.
[6] A. Lowrier, Industrial products return to carbohydrates-based industries, Biotechnol. Appl. Biochem., 27, 1-8, 1998.
[7] V. I. Popa, Un model pentru valorificarea biomasei ca sursa de eneregie si produse chimice (A model for valorization of biomass as energy and chemical products), Celuloză şi Hârtie, 65 (1) 14-20, 2016.
[8] C.Filote, V.I. Popa and I.Volf, Marine algae biomass potential for obtaining biofuels and bioproducts, Paper presented at Academy Days of Academy for Technical Science of Romania, October, 6-7, 2017, Constanta, Romania. Proceedings, Editura AGIR, Bucuresti, p.452-457, 2017.
[9] V. I. Popa, Biorefining and pulp and paper industry, In Pulp production and processing: from papermaking to high-tech products, Smithers Rapra, V.I.Popa (Editor), p.1-28., 2013.

CĂRBUNELE DIN OLTENIA ÎN STRATEGIA ENERGETICĂ A ROMÂNIEI

Prof. univ. dr. ing. Dumitru FODOR[1], dr. ing. Tiberu TROTEA [2] dr. ing. Ionut PREDOIU [3]

[1,2]Universitatea din Petrosani, Petrosani, Romania [3] Complexul Energetic Oltenia, Tg Jiu, Romania

REZUMAT. Strategia europeană de securitate energetică elaborată şi adoptată de Uniunea Europeană prevede pentru România necesitatea stabilirii unor principii şi reguli de funcţionare a sistemului energetic naţional, similare cu principiile şi regulile aplicate în celelalte ţări din Uniunea Europeană şi creşterea eficienţei energetice cu peste 20% faţă de anul 1990. Viziunea Strategiei Energetice a României este de creștere a sectorului energetic în condiții de sustenabilitate. Dezvoltarea sectorului energetic este parte a procesului de dezvoltare a României. Proiectul Strategiei Energetice Nationale, este un document laborios, care abordeaza intreaga paleta a sistemului energetic, propunand solutii (scenarii) de analiza in conformitate cu tintele Strategiei energetice europene. Carbunele (lignitul), a avut de a lungul anilor un rol important in sistemul energetic national, dovedindu-se cea mai sigura sursa pentru producerea energiei electrice in Romania.

Cuvinte cheie: lignit, strategie energetica, metoda exploatare, tehnologie in flux continuu, siguranta nationala.

ABSTRACT. The European Energy Strategy developed and adopted by the European Union requires Romania to establish principles and rules for the functioning of the national energy system similar to the principles and rules applied in the other European Union countries and to increase the energy efficiency by over 20% 1990. The vision of Romania's Energy Strategy is to increase the energy sector in terms of sustainability. The development of the energy sector is part of Romania's development process. The National Energy Strategy project is a laborious document that addresses the entire energy system, proposing analysis scenarios in line with the goals of the European Energy Strategy. Coal (lignite) has played an important role in the national energy system over the years, proving to be the safest source for electricity production in Romania.

Keywords: : lignit, strategie energetica, metoda exploatare, tehnologie in flux continuu, siguranta nationala.

1. INTRODUCERE

In plan mondial, pentru producerea de energie electrică, cărbunele joacă un rol major atât în economiile dezvoltate, cât și în cele emergente. 40% din producția globală de energie a fost bazată pe cărbune: 37% cărbune s. și 3% lignit, figura 1.

Producția mondială de cărbune a ajuns la 7,7 miliarde tone pe an: 6,9 miliarde de tone de cărbune s. și 0,8 miliarde de tone de lignit.

Cărbunele, cu o pondere importantă ca resursă de energie – devine din ce mai costisitor, iar costurile pentru energia produsă pe bază de cărbune vor fi şi ele din ce în ce mai mari.

Cu toate acestea, Europa nu poate renunţa la această resursă, care asigură siguranţa sistemului energetic din fiecare tara si pe ansamblul U E. De altfel, în ţări precum Germania, Polonia, Grecia, Cehia, Bulgaria, Spania şi Ungaria cărbunele are un procent însemnat în mixul energetic care variază de la 25% în cazul Spaniei şi până aproape la 90% în cazul Poloniei.

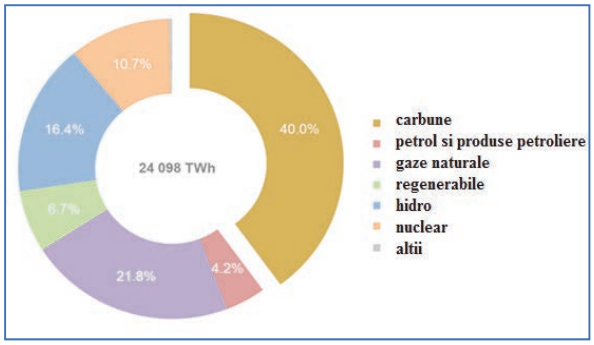


Fig. 1. Repartitia productiei mondiale de energie electrica la nivel mondial.

In context european, analizand perioada 2015-2017 am resit sa identificam cativa factori care au afectat industria miniera in Europa, si anume: legislatia miniera si reglementari, accesibilitatea informatiilor, atitudinea fata de minerit, disponibilitatea terenurilor pentru exploatare, prospectari geologice, forta de munca, infrastructura, cost. De menționat este că *podium_ul acestora* este ocupat de factori ce nu țin de natura tehnico-economică. Din analiza efectuată, în scopul elaborării acestei lucrări, se contată că ordinea acestora se menține și-cazul exploatărilor miniere la zi din Oltenia și din România.

În ceea ce privește producerea de energie electrică a Uniunii Europene, lignitul și cărbunele superior dețin un procent de cca 30 %.

2. CARBUNELE IN NOUA STRATEGIE ENERGETICA A ROMANIEI

Proiectul Strategiei Energetice Naționale, aflat in dezbatere publica, păstrează si cărbunele in mixul energetic alături de hidrocarburi si resurse regenerabile mai vechi si mai noi intrate pe piața.

Viziunea Strategiei Energetice a României este de creștere a sectorului energetic în condiții de sustenabilitate. Dezvoltarea sectorului energetic este parte a procesului de dezvoltare a României.

Creștere înseamnă: construirea de noi capacități; retehnologizarea și modernizarea capacităților de producție, transport și distribuție de energie; încurajarea creșterii consumului intern în condiții de eficiență energetică; export. Sistemul energetic național va fi astfel mai sigur și mai stabil.

România are resursele necesare creșterii sistemului energetic, iar acesta trebuie să fie pregătit să susțină dezvoltarea industriei și a agriculturii, a economiei în ansamblul său, precum și îmbunătățirea calității vieții atât în mediul urban, cât și în mediul rural. Valorificarea acestor resurse reprezintă baza dezvoltării sustenabile.

Se va diminua numărul cetățenilor aflați în situație de sărăcie energetică, ca urmare a îmbunătățirii mecanismelor de protecție socială și a programelor direcționate de creștere a eficienței energetice. Va scădea numărul gospodăriilor fără acces la surse alternative de energie.

România va continua procesul de integrare în piețele europene de energie, aducând o contribuție importantă de stabilitate și securitate energetică.

De asemenea, Grupul de lucru a stabilit două noi obiective fundamentale ale Strategiei Energetice, pe lângă cele cinci stabilite prin proiectul din 2016.

Astfel, cele cele șapte obiective fundamentale ale Strategiei Energetice sunt:

1. Creșterea aportului energetic al României pe piețele regionale și europene prin valorificarea resurselor energetice primare naționale. Obiectivul exprimă viziunea de dezvoltare a României în contextul regional și european și dorința de a fi un actor principal al UE în acest domeniu.

2. România, furnizor regional de securitate energetică. Contextul internațional actual al piețelor de energie este marcat de volatilitate și incertitudine, iar evoluția tehnologiilor poate avea efecte disruptive pe piețele de energie. În acest context, există premisele pentru ca, prin dezvoltarea sectorului energetic, ținând cont de disponibilitatea resurselor și de stabilitatea dată de maturitatea tehnologiilor tradiționale, România își poate propune să devină furnizor regional de securitate energetică.

3. Piețe de energie competitive, baza unei economii competitive. Sistemul energetic trebuie să funcționeze pe baza mecanismelor pieței libere, statul având rolul de a elabora politici, de a reglementa domeniul, de garant al stabilității sistemului energetic și de investitor.

4. Energie curată și eficiență energetică. În evoluția sectorului energetic, România va urma cele mai bune practici de protecție a mediului, cu respectarea țintelor naționale asumate ca stat membru UE. În egală măsură, dezvoltarea sistemului energetic va asigura eficiența energetică, așa cum este definită de directivele UE și de legislația națională.

5. Modernizarea sistemului de guvernanță energetică. Într-un sistem de piață, statul are rolul esențial de arbitru și de reglementator al piețelor. În acest sens, este necesar un cadru legislativ și de reglementare transparent, coerent, echitabil și stabil. Ca proprietar de active, statul trebuie să îmbunătățească managementul companiilor la care deține participații. Companiile energetice cu capital de stat trebuie să se eficientizeze, să se profesionalizeze și să se modernizeze.

6. Asigurarea accesului la energiei electrică și termică pentru toți consumatorii. Obiectivul urmărește continuarea programului de electrificare, precum și dezvoltarea și rentabilizarea sistemelor de asigurare a încălzirii.

7. Protecția consumatorului vulnerabil și reducerea sărăciei energetic. Accesibilitatea prețului este una dintre principalele provocări ale sistemului energetic și este o responsabilitate strategică. Nivelul asistenței sociale în domeniul energiei va asigura o protecție reală a consumatorilor vulnerabili.

Un factor important la elaborarea noii Strategii Energetice a României va fi și suportabilitatea de către consumatori a costului unui MW produs pe cărbune. Astfel, cunoscând cheltuielile de producție pe tona de lignit ajuns în depozitele termocentralelor, apare necesitatea ca acestea să fie scăzute în așa fel încât energia pe cărbune să poată fi competitivă în piața de energie din România și nu numai. Ca atare, atât costul de producție al unei tone de cărbune, cât și cel al procesării pentru realizarea unui MW, va trebui să fie comparabil cu cel realizat pentru aceeași cantitate de energie produsa în cazul folosirii resurselor nucleare sau a gazului metan.

3. IMPORTANTA LIGNITULUI DIN OLTENIA

Punerea în funcțiune și dotarea carierelor de lignit din Oltenia cu tehnologii în flux continuu, s-a

făcut începând cu anul 1967 având ca sarcină să contribuie la independenţa energetică a României

Având în vedere capacităţile de producere a energiei electrice disponibile în termocentralele din Oltenia, presiunile pe preţul de producere a energiei electrice, considerăm că se impune "o noua gândire a modului de alimentare cu cărbune a termocentralelor şi implicit o extindere a perimetrelor de licenţă acolo unde eficienţa este maximă şi o restrângere la perimetrele cu condiţii geologice grele şi cu rapoarte mari de descopertă".

De asemenea se impune o nouă refacere a Studiilor de fezabilitate în condiţiile scăderii cererii de cărbune şi a reconsiderării pragului de rentabilitate, respectiv al unui cost de producţie al tonei de cărbune în depozitul termocentralelor care să permită realizarea unui MW la preţ competitiv pe piaţa de energie.

Incepand din anul 2012, pentru a evita concurenta pe piata de energie din Romania intre termocentralele pe carbune, cu cele de pe gaz , cu hidro si alti producatori de energie, complexele din Oltenia au fuzionat cu SNLO luand fiinta astfel SC Complex Energetic Oltenia SA (dupa esecul inregistrat in constituirea a doua unitati energetice cu mix propriu de energie din anul 2011).

Ca urmare a dificultăţilor financiare pe care le-a traversat CE Oltenia în 2014 şi 2015, carierele miniere din zona Berbesti au fost externalizate şi transferate la Termocentrala Govora, iar Cariera Husnicioara a fost oprită ca urmare a sistării activităţii la termocentrala Halanga care se aprovizionează de la această carieră.

Deasemenea societatea are in strategie si in faza avansata de negociere constructia in parteneriat cu o firma din China, constructia unui grup energetic de 600 MW, cu parametrii supracritici la Rovinari jud. Gorj, care va inlocui o parte din grupurile ce vor iesi din functiune in anii viitori.

Resursele de lignit din Romania sunt estimate la circa 1375 mil tone din care 320 mil tone, in perimetrele concesionate (figura 2), conform Legii Minelor si aflate in exploatare, cu o putere calorifica superioara carbunelui energetic exploatat in tari precum: Cehia; Bulgaria; Grecia, unde carbunele detine pondere insemnata in sistemul energetic al acestora.

De la inceputul activitatii de minerit (anul 1965 în subteran şi din anul 1967 în cariere) şi până în prezent, din Oltenia ***s-au extras peste 1,15 miliarde tone de carbune (peste 940 milioane tone lignit extrase prin exploatări miniere la suprafață(dotate cu tehnologie in flux continuu) și peste 216 milioane tone extrase prin lucrări de subteran) și s-a excavat un volum de steril de peste 5,4 miliarde*** m^3 pentru producția menționată. În România, peste 90% din rezerva de lignit este cantonată în zona Olteniei, iar cea mai mare parte din cărbunele extras din aceasta zona este valorificat în termocentralele din vecinătate (Rovinari, Turceni) sau situate la distanţe relativ reduse (Işalniţa,Craiova II).

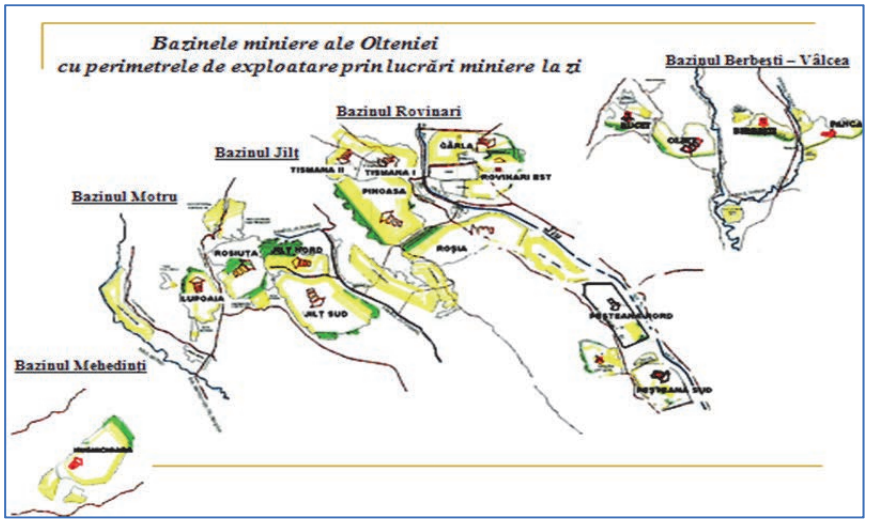


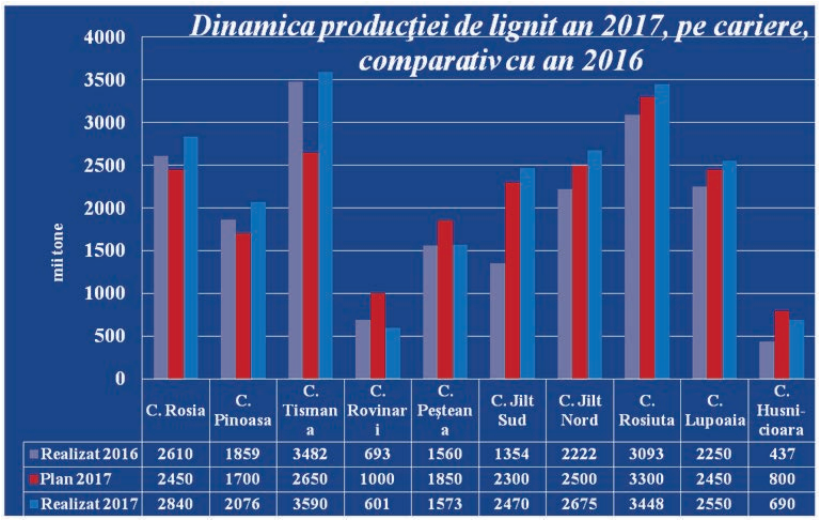
Fig. 2. Bazinele miniere ale Olteniei cu perimetrele de exploatare.

Ca realizari recente, in anul 2017 in Oltenia fost realizată o producţie totală de 24 mil. tone lignit (22,5 la Complexul Energetic Oltenia cu +7% mai mult ca in PAE 21 mil si 1,5 mil Govora) şi 116, mil. mc. steril din descopertă CEO. Conform analizei producția de cărbune la nivelul carierelor variază între 601 mii tone (Rovinari) și 3.590 mii tone (C. Tismana), în funcție de condițiile geominiere, restrictiile impuse, hidrogeologice, condițiile de zăcământ, dotarea tehnică, s.a –figura 3.

Deasemenea, calitatea lignitului (puterea calorifică) redată variază între 1676 kcal/kg (C Rovinari)-1903kcal/kg (C Lupoaia), 1910 kcal/kg (C Rosia), la nivelul Sucursalei Divizia Minieră obținându-se o putere calorifică medie pentru anul 2017 de 1815 kcal/kg.

Carierele din Oltenia pot asigura o producție de peste 30 milioane tone de lignit pe an, în funcție de cerințele pieței.

Reducerea cererii de energie din România precum şi apariţia unor producători de energie din surse regenerabile şi pe gaz a avut repercusiuni şi asupra cererii de cărbune (lignit).



	C. Rosia	C. Pinoasa	C. Tismana	C. Rovinari	C. Peştean a	C. Jilt Sud	C. Jilt Nord	C. Rosiuta	C. Lupoaia	C. Husni-cioara
Realizat 2016	2610	1859	3482	693	1560	1354	2222	3093	2250	437
Plan 2017	2450	1700	2650	1000	1850	2300	2500	3300	2450	800
Realizat 2017	2840	2076	3590	601	1573	2470	2675	3448	2550	690

Fig. 3 Situatia realizarilor de lignit pe cariere in anii 2016-2017.

În ultimii ani evoluţia producţiei de lignit a fost următoarea:

Anul	***Lignit mil.tone***
2008	34,09
2009	29,30
2010	28,84
2011	33,88
2012	31,57
2013	22,92
2014	23,14
2015	22,40
2016	19,56
2017	22,51

Directia Minieră Tg –Jiu din componenta Complexului Energetic Oltenia detine in prezent in cele 10 cariere care le are in funciune un numar de 525 utilaje, repartizate astfel:

- 64 excavatoare cu rotor
- 46 maşini de haldat;
- 334 transportoare de mare capacitate;
- 23 maşini de depozit;
- 58 cărucioare cu bandă pe şenilă.

Excavarea se realizează în flux continuu cu excavatoare cu rotor din gama SRs1300, SRs1400, SRs2000, pe trepte de lucru cu înălţimi de 25 - 30 m. (figura 4).

Cărbunele se depune în depozite cu maşini de depunere tip ASG şi de depunere şi scoatere tip KSS cu capacitate de transport până la 5600 t.

Transportul materialului excavat se realizează cu transportoare cu bandă, cu lăţimea cuprinsă între 1200-2500 mm, viteza maximă de 7 m/s, iar capacitatea teoretică de transport atinge 12 500 m3/h.

Depozitarea sterilului se realizează cu instalaţii de haldare cu capacitatea de transport de 2500, - 12500 m3/h, lungimea braţului de deversare fiind cuprins între 60 şi 170 metri.

Fig. 4. Excavatoare cu rotor de mare capacitate utilizate in procesul de excavare.

4. PRODUCTIA DE ENERGIE ELECTRICA AVAND CA SURSA LIGNITUL DIN OLTENIA

Cele patru termocentrale din structura CE Oltenia au o putere instalată de 3750 MW din care disponibilă de 3420 MW, grupurile fiind modernizate şi îndeplinind condiţiile de conformare la mediu impuse de UE. (figura 5).

Funcţionarea acestor termocentrale la capacitate şi în condiţii de eficienţă, presupune un consum de circa 30 - 32 mil. tone de lignit cu o putere calorifica de 1700 - 1800 kcal / kg, la un preţ de cost în incintele termocentralelor cuprins între 11,5 - 12,5 Euro /tonă.

Limitarea costului de producţie pe tona de lignit apare ca o necesitate pentru că, în costul de producţie al unui MW, ponderea combustibilului este cuprinsă între 63 - 65%, iar preţul de vânzare al unui MW este 42 - 45 Euro. Astfel, măsurile care trebuie luate urgent trebuie să vizeze reducerea costurilor de producţie, dar nu pe seama unor reduceri care să pericliteze buna funcţionare a dotării.

Fig. 5. Imagini privind doua din termonetrale din componenta CEO (Rovinari si Turceni).

Măsurile care urmează a fi luate ar trebui să constea în:

- Reconsiderarea studiilor de fezabilitate cu pragul de rentabilitate impus de piaţă, pentru activitatea minieră ;
- Redimensionarea perimetrelor de exploatare;
- Analiza stării tehnice a fiecărei cariere şi a potenţialului de creştere a capacităţii orare a utilajelor conducătoare în carierele cu cele mai bune condiţii şi adoptarea unui program de lucru diferenţiat de la 4 la 7 zile pe săptămâna;
- Retribuirea personalului în baza unor indicatori fizici, care să vizeze în principal creşterea indicelui general de folosire a capacităţilor de producţie.
- Redimensionarea treptelor de lucru şi a fronturilor de excavare pentru a avea asigurată securitatea utilajelor şi desfăşurarea activităţilor;
- Reconsiderarea normativelor de personal şi externalizarea unor servicii cum ar fi: vulcanizări, ripări, asecări, amenajări drumuri de acces, pentru reducerea cheltuielilor de personal a căror pondere în costuri este de peste 50%;
- Reanalizarea fluxurilor de alimentare cu cărbune a termocentralelor;
- Prospectarea pieţei pentru valorificarea cărbunelui în domeniul casnic ca urmare a creşterii preţului la gaz metan, lemn etc.

Din punct de vedere tehnologic situaţia este dificilă la multe cariere ca urmare a nerespectării decalajului în timp şi spaţiu între treptele de excavare

In domeniul exploatării zăcămintelor de lignit trebuie luate urgent o serie de măsuri organizatorice, economice şi tehnice astfel încât energia obţinută pe bază de cărbune să fie competitivă pe piaţa de energie din România.

In Romania, la nivelul anului 2017, in conditiile unei productii de **63.748 GWh,** structura de productie a fost urmatoarea: **carbune(huila+lignit) 26,91 %** , hidrocarburi 16,95 %, apa 22,92 %, nuclear 18,05 % si (eolian +fotovoltaic,biomasa) 15,17 %.

Defalcat, pe companii energetice, situatia productie de energie electrica se prezinta in diagrama din figura 6.

Evolutia consumului de energie electrica pe ultimii 9 ani este redata in diagrama din figura 7.

Termocentralele din componenta Complexului Energetic Oltenia au consumat in ultimii 6 ani cantitatile de lignit evidentiate in figura nr 8.

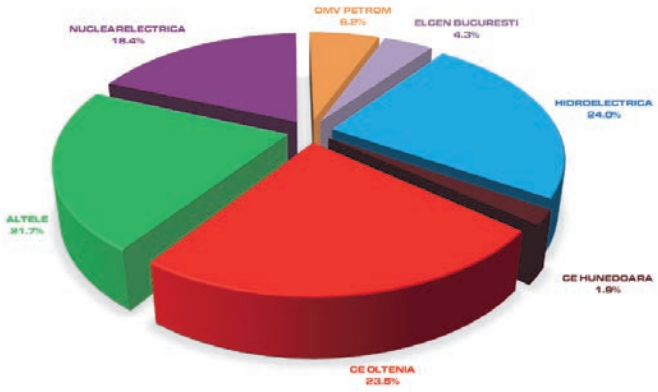


Fig. 6 Cota de piata an 2017 , conform site_ului ANRE.

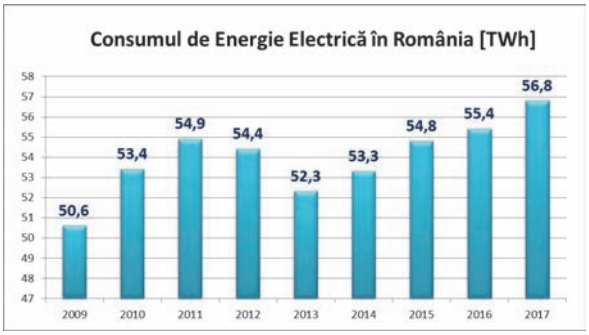


Fig. 8. Consum energie electrica – ultimii 9 ani -Romania.

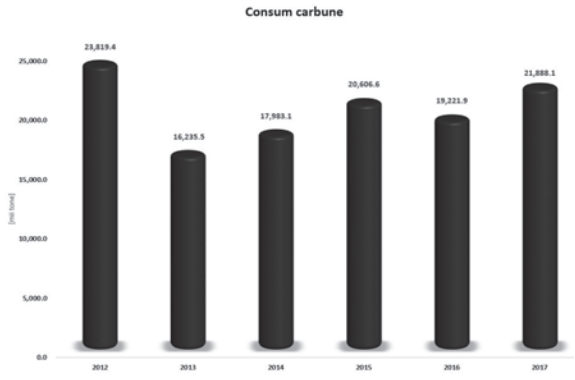


Fig. 9. Cantitatile de lignit utilizate pentru producerea energiei electrice la termocentralele CEO.

Complexul Energetic Oltenia – ofera:

• **energie de baza** in Sistemul Energetic National; valorifica cu maxima eficienta resursele de lignit din Oltenia

• **energie sigura** – important factor de stabilitate in SEN; procesul de producere a energiei nu depinde de factorii atmosferici (figura 10).

• **energieperformanta**

– experienta vasta in domeniul de activitate;

– proces de productie eficient si fiabil prin prelungirea duratei de viata a capacitatilor de productie existente;

–grupuri le sunt calificate pentru asigurarea serviciilor de sistem – rezerva tertiara lenta si rezerva tertiara rapida;

– 10 grupuri sunt calificate pentru furnizarea reglajului secundar

• **energie relativ ieftina** – costul de productie este sub media din SEN

• **energie curata** – indeplineste toate cerintele de mediu.

CONCLUZII

Proiectul Strategiei Energetice Nationale, este un document laborios, care abordeaza intereaga paleta a sistemului energetic, propunand solutii (scenarii) de analiza in conformitate cu tintele Strategiei energetice europene.

Carbunele (lignitul), a avut de a lungul anilor un rol important in sistemul energetic national, dovedindu-se cea mai sigura sursa pentru producerea energiei electrice, fie in perioade de seceta cand hidrocentralele produc foarte putin, (chiar si centrala de la Cernavoda fiind in situatia de a ramane fara apa de racier, etc) fie in perioade cu temperaturi scazute cand centralele pe gaz sunt greu de alimentat, fie cand centalele eoliene nu au vant sau nu este soare pentru cele voltaic

Cea mai mare parte a lignitului extras din exploatarile miniere la zi este valorificat in termo-centralele din vecinatatea acestora (Rovinari; Turceni) a sau la cele aflate la o distante relativ mici (Isalnita; Craiova II), Govora, iar o mica parte la termocentrala Timisoara si microtermocentrala Motru.

Gradul de asigurare a resurselor/rezervelor bazinului minier Oltenia mai mare de 40 de ani, eficienta energetică crescută prin programele realizate de reabilitare a grupurilor energetice şi impactul negativ asupra mediului înconjurător redus prin proiectele implementate sunt garanţia unei producţii de energie pe lignit sigură, curata şi eficientă – motorul dezvoltării unei economii durabile. Asigurând 95% din producţia de lignit din România, în condiţii de eficienţă şi responsabilitate socială faţă de generaţiile viitoare, CE Oltenia poate asigura peste 35% din consumul de energie electrică din SEN şi poate fi un producător de anvergură în zona regională europeană.

Eficienţa centralelor s-a îmbunătăţit în mod constant de-a lungul anilor - o tendinţă care poate continua în viitor. Eficienţă mai mare înseamnă o productivitate mai mare, care este singura cale pentru ca Europa să rămână competitivă. Aceasta înseamnă, de asemenea, emisii de CO2 considerabil mai mici.

Piaţa internă a energiei este încă fragmentată şi nu a atins potenţialul de transparenţă, accesibilitate şi alegere. Companiile au crescut dincolo de frontierele naţionale, dar dezvoltarea lor este încă afectată de o serie de reguli şi practici naţionale diferite. Există încă multe bariere pentru ***o competiţie deschisă şi corectă.***

Eficienţa tehnico-economică a unui producător de energie electrică este influenţată de mai mulţi factori, printre care:

- tehnologia utilizată, datorită randamentului prin care combustibilul este transformat în

energie electrică;

- preţul combustibilului utilizat pentru producerea energiei electrice;

- alte cheltuieli legate de funcţionarea centralei (dintre care amortizarea investiţiei are ponderea principală).

Pentru centralele termoelectrice ***evoluţia preţului combustibililor este determinată pentru opţiunea investitorilor privind dezvoltarea capacităţilor de producţie*** în perspectivă.

Trebuie subliniat ***rolul cărbunelui din Oltenia*** - Ce se întâmplă când nu bate vântul şi e secetă? ceea ce s-a întâmplat în urmă cu câteva săptămâni şi ceea ce s-a întâmplat cu câţiva ani în urmă: hidrocentralele nu mai produc decât foarte puţină energie, eolienele mai mult stau, iar Cernavodă se închide, pentru că nu e destulă apă de Dunăre şi apar probleme la răcirea reactoarelor. Dacă mai e şi iarnă, nici termocentralele pe gaze nu mai pot produce, pentru că nu sunt suficiente gaze naturale. Astfel, ***singurii care pot produce şi pe care se poate baza economia naţională rămân termocentralele pe cărbune***. Practic, este vorba de ***siguranţa sistemului energetic naţional şi, în consecinţă, securitatea naţională a României***. Deci, nu se poate renunţa la cărbune. Mai ales că avem rezerve pentru zeci de ani!

Complexul Energetic Oltenia derulează investiţii pentru îndeplinirea condiţiilor de mediu impuse de legislaţia europeană pentru emisiile de poluanţi în aer,

apă, sol (modernizarea electrofiltrelor, implementarea instalaţiilor de desulfurare şi a celor de evacuare în şlam dens a zgurii şi cenuşii) şi reconstrucţia ecologică prin redarea în circuitul silvic şi agricol a suprafeţelor de teren afectate de exploatările miniere. Valoarea investiţiilor de mediu, în ultimii trei ani, a fost de peste 300 milioane euro. Printre proiectele de mediu derulate de CE Oltenia se numără reducerea emisiilor de SO2, prin implementarea instalaţiilor de desulfurare a gazelor de ardere la toate grupurile energetice, reducerea concentraţiei de NOx, cât şi reducerea nivelului de zgomot , prin montarea atenuatoarelor de zgomot şi a panourilor fonoabsorbante. *Emisiile poluante cu efect asupra schimbărilor climatice (emisii de gaze cu efect de seră) sunt reduse prin modernizările efectuate la grupurile energetice. Prin efectuarea acestor modernizări creşte eficienţa energetică, respectiv scad consumul specific şi, implicit, emisiile de CO2*.. Reducerea emisiilor de SO2, prin implementarea instalaţiilor de desulfurare a gazelor de ardere la toate grupurile energetice. Rezultatul obţinut: emisia specifică de SO2 pe unitatea de produs s-a redus de la circa 16 kg SO2/MWh produs la 0,610 kg SO2/MWh produs (cantitatea de SO2 emisă în atmosferă pentru producerea unui MWh a scăzut de la 16 kg fără desulfurare la 620 grame cu desulfurare). Reducerea concentraţiei de NOx. Rezultatul obţinut: Toate grupurile energetice respectă valorile limita de emisie pentru NOx (500 mg/Nmc). Reducerea nivelului de zgomot, prin montarea atenuatoarelor de zgomot şi a panourilor fonoabsorbante. Rezultatul obţinut: Calitatea aerului ambiental în Regiunea SV Oltenia s-a îmbunătăţit considerabil, fapt demonstrat de către cele 11 staţii fixe care fac parte din reţeaua Naţională de Monitorizare a Calităţii Aerului. În afară de aceste proiecte, au mai fost derulate şi programe de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (CO2), prin modernizarea grupurilor energetice pentru creşterea eficienţei (scăderea consumului specific), dar şi depozite de deşeuri.

Pentru România, ***CE Oltenia este un fel de coloană vertebrală a SEN***. Poate da 2.000-3.000 de MW putere la -40^{0}C, la + 40^{0}C, pe secetă prelungită, zi sau noapte. Are, de asemenea, licenţe pentru o cantitate de cărbune care ar permite încă 30-40 de ani de funcţionare.

Dezvoltarea surselor de energie regenerabilă necontrolată, impredictibilitatea lor şi dezechilibrele majore pe care le introduc în sistem, în special energia eoliană, pun în pericol siguranţa Sistemului Energetic Naţional.

Ca o sursă foarte competitivă de energie, cărbunele asigură concurența reală pe piața de energie electrică. Spre deosebire de prețurile gazelor naturale, prețul cărbunelui este stabilit în mod transparent. Mai mult decât atât, se afirmă - cărbunele va rămâne foarte competitiv, iar utilizarea sa va crește în întreaga lume. În unele state membre ale UE, acesta va rămâne o coloana vertebrala absolut indispensabilă a sistemelor de energie electrică și termică pentru multe decenii de acum încolo. Acest lucru este cu atât mai mult având în vedere crizele actuale privind frontierele UE care creează tensiuni în politică la nivel mondial.

Strategia de cărbune curat EURACOAL oferă UE un traseu fără regrete pentru un viitor mai curat.

Cărbunele este una din sursele de energie cele mai fiabile pentru Europa şi fără ea nu există o reală securitate energetică europeană.

Cărbunele va fi combustibilul dominant folosite în generarea de energie electrică pentru anii care vor veni.

Cererea de cărbune globală va creste cu 2,1 la sută pe an, până 2020.

Dupa anul 1990, activitatea de exploatare a lignitului, cat si cea de producere a energiei electrice pe carbune a fost supusa unui amplu proces de restructurare si de reorganizare dar in acelasi timp si de modernizare in buna masura a capacitatilor de productie .

Energia pe carbune poate deveni competitiva cu cea produsa pe gaz natural cu cateva masuri pe termen scurt si mediu care pot fi luate de producatori de energie pe baza de carbune in baza unui program de organizare si restructurare tennico- tehnologic care sa vizeze:

a).reducerea costurilor de productie prin cresterea productivitatii utilajelor conducatoare din exploatarile miniere (o crestere cu 30% a capacitatii orare si a timpului de utilizare cu 10% a dotarii, conduce la o reducere a costului de productie pe tona de carbune cu 10-12%);

b). continuarea programelor de modernizare a utilajelor si instalatiilor din dotarea exploatarilor miniere ceace va conduce la cresterea productivitatii;

c). reconsiderarea studiilor de fezabilitate, cu pragul de rentabilitate impus de piata de energie concurentiala, pentru activitatea miniera care sa aiba in vedere, concentrarea activitatii de productie in exploatarile miniere la zi, care au conditii favorabile de exploatare si raport mic de descoperta si restrangerea activitatii in cele cu conditii dificile de lucru si raport mare de descoperta;

d). reanalizarea normativelor de personal si externalizarea unor servicii (vulcanizari; ripari; asecari; amenajari drumuri) pentru reducerea chetuielilor de personal a caror pondere este cea mai mare in costul de productie al tonei de carbune (peste 50%); - la activitatea miniera;

e). salarizarea personalului in baza unor indicatori de performanta specifici activitatii desfasurate (productivitate; indice de folosire a capacitatii de productie; consum specific; calitatea produsului; cost de productie si alti indicatori care pot fi masurabili);

f). reanalizarea fluxurilor tehnologice de alimentare cu carbune a grupurilor energetice din cadrul termo-centralelor.

g). mentinerea in program de functionare a grupurilor energetice in ordinea costurilor de productie (procesare).

h). diversificarea vanzarii de carbune pentru incalzirea locuintelor, din zonele rurale tind seama de faptul ca in prezent circa 3,5 milioane de locuinte se incalzesc cu lemne, in sobe inficiente (locuintele fiind incalzite partial).

Ca propuneri:

Constituirea unor societati pe modelul: C E Z; ENEL; RWE, care au in componenta, producatori de energie pe carbune; pe apa; pe gaz natural (reconsiderarea constituirii celor doua mari companii ELECTRA si HIDROENERGETICA), care sa devina producatori puternici pe piata de energie din Romania si nu numai.

Aprobarea Strategiei Energetice Nationale, de catre Guvern, sa fie precedata de actualizarea Strategiei de dezvoltare durabila a Romaniei in care sa se reevalueze si politica de reindustrializare, in noul context geopolitic si al schimbarilor climatice din ultimii ani.

BIBLIOGRAFIE

[1] Fodor D. -Metode si tehnologii moderne in exploatarea la suprafata -realizari si performante -Editura A G I R si Editura Corvin - DEVA-2012

[2] Fodor D. -Exploatarea în cariere a zãcãmintelor de substanþe minerale si roci utile, Exemple de calcul, Editura Agir, Editura Corvin-Deva, 2010;

[3] Fodor D. si Trotea T. -Carbunele din Oltenia- Solutie sigura a energeticii romanesti. Revista Monitorul de Petrol si Gaze nr. 8 si 10 din 2016;

[4] Fodor D. si Trotea T. - Carbunele in Strategia energetica a Romaniei. Revista Monitorul de Petrol si Gaze nr.1 din 2017;

[5] Trotea T. - Carbunele din Oltenia -Manuscris -Tg.Jiu - 2016

[6] Predoiu I.C. –Coal from Oltenia – Safe Solution for Romanian energy, FOREN, ISSN-L 2284-9491, Palace of the Parliament, 22-26 June 2014, Bucharest, Romania.

[7] Predoiu I.C., s.a. Current issues of the lignite deposit exploitation in Romania, Congresul Mondial Minier, Rio de Janeiro, 18-21 octombrie 2016

[8] *** EURACOAL Market Report 1/2017;

[9] *** Coal industry across Europe, EURACOAL, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017

[10] http://www.minexeurope.com/2017/survey

[11] *** www.ceoltenia.ro

[12] ***www.entsoe.eu/news/2018/08/03/tyndp-2018-open-for-public-c

ANALIZA EVOLUȚIEI SURSELOR DE ENERGIE DIN OLTENIA

Prof. dr. ing. Gheorghe MANOLEA[1], Șef lucr. dr. ing. Laurențiu ALBOTEANU[1]

[1]Academia de Științe Tehnice din România, Filiala Craiova, Craiova,România,
[2] Universitatea din Craiova,Craiova, România

REZUMAT. Se analizează evoluția sectorului energetic din Oltenia, începând cu primele Centrale electrice, instalate în Craiova, și încheind cu Centralele fotovoltaice montate începând cu 2011. S-a ajuns la concluzia că instalarea Centralelor fotovoltaice marchează începutul unui nou ciclu de dezvoltare în domeniul energetic. Se subliniază importanța școlilor de energetică și a forței de muncă înalt calificată. Se propun câteva ținte pentru dezvoltarea sectorului energetic din Olltenia în următorii ani.

Cuvinte cheie: termocentrale, hidrocentrale, rețele electrice, centrale fotovoltaice, energetică.

ABSTRACT. The evolution of the energy sector in Oltenia is analyzed, starting with the first Power Stations installed in Craiova, and ending with the photovoltaic parks installed since 2011. It has come to the conclusion that the installation of photovoltaic parks marks the beginning of a new cycle of energy sector development. It is emphasizes the importance of energy schools and highly skilled workforce. Some targets are proposed for the development of the Olltenia energy sector over the next few years.

Keywords:. thermal power station , hydropower , electrical networks , photovoltaic parks, energy.

1. INTRODUCERE

Pornind de la **ipoteza** că în adoptarea direcțiilor de dezvoltare pentru o regiune geo-economică trebuie să se țină seama *de tradiție, de infrastructura disponibilă, de resursa umană și de tendințele deja conturate* s-a făcut o analiză a evoluției sectorului energetic din Oltenia, începând cu primele Centrale electrice, care foloseau energia aburului și încheind cu Centralele fotovoltaice montate începând cu 2011. Analiza a fost completată cu informații legate de Școala de energetică din Oltenia care a asigurat și asigură resursa umană înalt calificată necesară pentru dezvoltarea economică. Se poate spune că instalarea Centralelor fotovoltaice marchează începutul unui nou ciclu de dezvoltare în domeniul energetic deoarece unele dintre acestea alimentează consumatori dedicați, așa cum a fost cazul primelor centrale care foloseau energia aburului, au puteri mici (ex. 4 kW), altele au puteri care depășesc puterea centralelor tradiționale, toate fac apel la tehnologii de vârf, aflate într-o continuă evoluție, și care permit aplicarea sistemelor computerizate pentru monitorizare, diagnoză, conducere. În plus, Centralele fotovoltaice sunt conectate la Sistemul Energetic Național deja existent, iar resursa umană implicată este înalt calificată.

2. PRIMELE CENTRALE ELECTRICE DIN OLTENIA

Prima centrală electrică din Craiova a fost amplasată în curtea Teatrului Theodorini, situat pe locul actualului bloc de la intersecția străzilor AI Cuza și Romului, iar primele becuri electrice s-au aprins în 1887 [1],[7].

La data de 20 noiembrie 1893 Consiliul Comunal Craiova a aprobat proiectul de contract cu Societatea Generală de Electricitate din Berlin, *Allegemeine Elektricitats Gesselschaft* AEG pentru construirea unei Centrale electrice, situată la „kilometrul zero" și care trebuia să asigure iluminatul zonei centrale pe o rază de 1,5 km.

La data de 14 (26) octombrie 1896 a fost pusă în funcțiune Uzina electrică - numită la început Stația Electrică Centrală, și concesionată firmei AEG din Berlin până în 28.12.1936 când a fost preluată de Primăria Craiova. S-au instalat două generatoare de câte 60 kW, antrenate de o singură mașină cu abur și două generatoare de câte 100 kW, antrenate fiecare de câte o mașină cu abur. Cele trei mașini cu abur avea cu puterea totală de 450 CP. Generatoarele furnizau energie de curent continuu, la tensiunea de 120 V, și asigurau iluminarea pe 30 de străzi, printre care Unirii, Lipscani și Carol I. Rețeaua de iluminat public avea 636 lămpi .Interesant de menționat că s-a prevăzut utilizarea a două baterii de acumulatoare cu o capacitate de 924 Ah care aveau un dublu rol: eliminarea variațiilor de tensiune datorită funcționării mașinilor cu abur și preluarea vârfului de sarcină din prima parte a nopții deoarece, după miezul nopții, o parte din lămpile destinate iluminatului public erau stinse (361 de lămpi).De remarcat că schema uzinei era realizată astfel încât la defectarea unei părți componente (cazan, mașină cu abur, dinam) sarcina să fie preluată de celelalte echipamente. În plus, rețeaua de iluminat era astfel ramificată încât să fie posibilă alimentarea și verificarea separată a fiecărui tronson. Lucrările de verificare și punere în funcțiune a întregii rețele s-au finalizat la data de 28 decembrie 1896. La acea dată

aveau centrale electrice proprii următoarele orașe: București (1883), Timișoara (1884), Caransebeș (1884), Băile Herculane (1896), Sibiu (1896). În 1899 Spitalul Filantropia, Spitalul Preda și Abatorul mic de păsări și miei erau racordate la rețeaua electrică, iar la 29 noiembrie 1900 se racordează și Gara de pasageri a Craiovei.

În 1902 a fost pusă în funcțiune la Uzina Energetică Craiova primul grup Diesel (tip MAN) de 120 CP din țară, la doi ani după darea în exploatare a unor astfel de grupuri Diesel din lume. Acesta a funcționat până în anul 1932. În presa vremii se menționa că experiența de bună funcționare a Uzinei de la Craiova a contribuit la extinderea utilizării motoarelor Diesel pentru antrenarea generatoarelor de curent continuu din Centralele electrice din România. Mai mult, prin introducerea acestui grup, iluminatul s-a extins în tot orașul, inclusive în Parcul Bibescu (Parcul Romanescu). În 1903 se introduce iluminatul electric și la Palatul de Justiție (clădirea centrală a Universității din Craiova), iar în 1907 și la Muzeul Aman. În 1905 s-au electrificat „Domeniile coroanei" și conacele de la Segarcea.

În 1906 a pusă în funcțiune Uzina electrică din Rm. Vâlcea, comandată de Primăria orașului și construită de Societatea Română de Electricitate Siemens-Schukert din București. Tot în 1906 este pusă în funcțiune Centrala electrică din Calafat echipată cu două generatoare antrenate cu motoare Diesel de câte 60 CP.

Anul 1907 reprezintă anul extinderii utilizării energiei electrice în Oltenia prin electrificarea orașelor Tg. Jiu, Tr. Severin, iar apoi, în 1910, Caracal și Orșova.

Începe „Epoca energiei electrice". Apar consumatori importanți: Fabrica de gheață, Moara Barbu Drugă, Stația CFR, Manutanța. Distribuția energiei de curent continuu este în impas așa că în 1912 se trece la „energia de curent alternativ". La Craiova se înlocuiește un dinam cu un generator de curent alternativ trifazat de 100kW la 3000 V și se montează 8 posturi de transformare de la 3000V la 120 V.

În 1928 se menționa utilizarea energiei hidraulice pentru producerea energiei electrice cu o turbină Francis de 40 kW în centrala Runcu, pe râul Jaleș din județul Gorj.

După 1937 începe electrificarea unor localități importante din Oltenia: Poiana Mare (1939), Cerneți, Dudașu, Șimian, Schela-Cladovei (1937), Breznița-Ocol, Jidoștița, Halânga, Malovăț (1939), insula Ada-Kaleh (1939).

În 1938 se pun în funcțiune două turbine hidraulice, iar în 1939 se dă în funcțiune hidrocentrala Novaci, cu puterea de 0,92 MW, care va alimenta încă șase comune din jur utilizând o rețea de 15 kV.

În anul 1938 orașul Caracal era iluminat în întregime cu energie electrică produsă de uzina electrică aflată în proprietatea Primăriei. Sistemul de iluminat era de 2 x 220 V curent continuu dar se prevăzuse deja trecerea la alimentarea în curent alternativ.

Cu toate acestea, în 1944 din cele 1700 localități ale Olteniei doar 27 erau electrificate.

Prin Decizia nr.7359/06.08.1948 s-au creat mai multe întreprinderi (naționalizate) din domeniul energetic, printre care și Societatea Regională de Electricitate SRE Craiova.

Un eveniment important – punerea în funcțiune a Centralei Diesel Electroputere. La început puterea acesteia a fost de 300 kW și alimenta uzina Electroputere înființată la 1 septembrie 1949, dar și Spitalul Preda (atunci se numea Spitalul de Stat nr.2). S-au creat astfel condițiile tehnice de interconectare a celor două centrale electrice.

În data de 1.10.1951, prin HCM 956/1961, s-a înființat Exploatarea de Electricitate Craiova, care în 15.06.1953 devine Întreprinderea de Electricitate Craiova.

În toamna anului 1951 își deschide porțile Institutul de Mașini și Aparate Electrice, IMAE, prima instituție de învățământ superior electrotehnic din Oltenia. Mulți dintre absolvenții IMAE [3] au fost angajați la Întreprinderea de Electricitate Craiova și contribuit la dezvoltarea acestui sector economic.

Uzina Electroputerea Craiova, înființată 1 septembrie 1949, a fost unul dintre principalii constructori de echipamente electrice și energetice din țară. În iulie 1956 a fost pus în funcțiune primul compensator sincron de fabricație românească, realizat la Craiova, cu o putere de 5MVAr. Acest compensator a fost montat la CDE Buzău.

Perioada 1950-1960 este considerată etapa de elaborare a planului de electrificare a României și de formare a Sistemului Energetic Național. În această perioadă s-a creat un sistem interconectat la nivel național cu tensiunea de 110 kV.

Craiova a fost racordată la Sistemul Energetic Național în 1959.

În perioada 1961-1979 s-au realizat la Electroputere Craiova echipamente pentru 220 și 440 kV și au fost puse în funcțiune mai multe stații de distribuție și linii electrice aeriene. În anul 1989 România era cincea țară din Europa care utiliza instalații de transport și distribuție a energiei electrice la 750 kV.

3.SCURTĂ PREZENTARE A TERMOCENTRALELOR DIN OLTENIA [4]

3.1.Centrala Termoelectrică Işalnița

În 22 decembrie 1964 a fost pusă în funcțiune Termocentrala Işalnița prin darea în exploatare a primul grup de 50 MW .Apoi, în 31 decembrie 1967 este pus în funcțiune și grupul de 315 MW, de fabricație franceză, cel mai mare din țară la acea dată, echipat cu cazane Benson de 510 t/h și turbine Rateau-Schneider.

3.2.Centrala Termoelectrică Rovinari

În 17 iulie 1976 este pus în funcțiune primul grup de 330 MW, fabricat în Franța, iar în 29 aprilie 1977 este pus în funcțiune al doilea grup de 330 MW dar fabricat în România.

3.3. CentralaTermoelectrică Turceni

Este cea mai mare termocentrală din Sistemul Energetic Național din România.

La data de 30.12.1978 a fost pus în funcțiune primul grup de 330 MW, conectat la stația de 400 kV din

Țânțăreni, iar grupul nr. 7 a fost dat în funcțiune în 1987. Ambele grupuri sunt realizate în concepție bloc-cazan BENSON 1035 t/h, turbină cu condensație 330 MW, licență Rateau Schneider, generator ALSTHOM .

3.4. Termocentralele din Oltenia și Termocentralele din România

În tab. 1 se prezintă Termocentralele din Oltenia și Termocentralele din România clasificate după anul punerii în funcțiune, iar în tab.2 clasificate după puterea instalată.

Tabelul 1. **Clasificare după anul punerii în funcțiune**

Nr.crt.	Anul	Termocentrala
1	1953	Doicești
2	1954	Comănești
3	1955	Borzești
4	1956	Paroșeni
5	1961	Brazi
6	1963	Iernut Luduș
7	1964	Paroșeni
8	1965	București Sud
9	1965	Işalnița
10	1966	Iași
11		Oradea
12	1967	Craiova CTE II
13		Govora
14	1969	Galați
15	1969	Mintia- Deva
16	1970	Palas Constanța
17	1972	Rovinari
18	1973	Brăila
19	1975	Pitești Sud
20	1978	Turceni
21	1982	Năvodari
22	1985	Giurgiu
23	1986	Turnu Severin 4x50 MW
24	1990	Brașov
25	1993	Arad

Trebuie spus că, de la punerea în funcțiune, termocentralele menționate au suferit schimbări notabile,unele dintre ele fiind modernizate.

Tabelul 2. **Clasificare după puterea instalată**

Nr.crt.	Termocentrala	Puterea instalată la data punerii în funcțiune
1	Turceni	2310 MW
2	Rovinari	1720 MW
3	Deva Mintia	1260 MW
4	Işalnița	1035 MW
5	Brăila	960 MW
6	Brazi	910 MW
7	Luduș Iernut	800 MW
8	Borzești	655 MW
9	București Sud	550 MW
10	Galați	535 MW
Informativ	Craiova II	300 MW
	Turnu Severin	200 MW

4. SCURTĂ PREZENTARE A HIDROCENTRALELOR DIN OLTENIA [4]

4.1. Hidrocentrala Porțile de Fier

În 1963 s-a semnat acordul dintre România și Iugoslavia privind Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Porțile de Fier, sistem care ocupa, atunci, locul trei în Europa.

În 14 august 1970 a fost pus în funcțiune primul grup de 175 MW, care depășea puterea instalată a României din 1938.Tot atunci s-a dat în exploatare Linia electrică aeriană de 220 kV care lega Porțile de Fier cu Slatina.

La 1 decembrie 1971 s-a pus în funcțiune Stația de 400 kV Porțile de Fier, care, după o lună, la 01.01.1972 este conectată cu stația Urechești, localitate situată la 10 km de Tg. Jiu, și cu stația București Sud. Era prima Linie electrică aeriană de 400 kV din România și care traversează o bună parte din Oltenia.

În 13 iunie 1972 este pusă în funcțiune Linia electrică aeriană de 400 kV Porțile de Fier – Djerdap prin care s-a realizat interconectarea cu sistemul energetic al Iugoslaviei.

Porțile de Fier II.Construcția Sistemului hidroenergetic din zona insulei Ostrovul Mare a început în 1977.În data de 31 decembrie 1984 a fost pus în funcțiune primul grup de 27 MW, iar în 30 iulie 1993 s-a dat în funcțiune grupul de 27MW pe brațul Gogoșu.Puterea totală instalată fiind acum de 54 MW.

4.2. Hidrocentralele de pe Olt

Oltul este al doilea râu ca debit din țară și oferă condiții bune pentru construirea de baraje și hidrocentrale. Așa se explică faptul pe o lungime de 350 km s-au construit 31 de centrale hidroelectrice, cu o putere instalată totală de 1.112,8 MW și o producție de 3.040,6 GWh/an. Majoritatea Centralelor Hidroelectrice au fost construite între anii 1970-1990, iar două au fost finalizate după 1989.

Centrala Hidroelectrică Râmnicu Vâlcea a fost construită în 1974, este alimentată dintr-un lac cu suprafața de 319 ha și care acumulează 319 milioane m^3 de apă. Barajul măsoară 34 m înălțime și face parte din drumul european E81.

Centrala Hidroelectrică de la Ionești a fost pusă în funcțiune în 1978, este alimentată dintr-un lac cu o suprafață de 466 ha și un volum de 25 milioane m^3. Barajul are o înălțime de 14 m fiind folosi și ca drum județean.

Centrala Hidroelectrică de la Turnu, a fost construită în 1981, iar în 30.03.1982 a fost pus în funcțiune primul grup de 35 MW. Barajul are o înălțime de 44 m, iar lacul, cu suprafața de 154 ha, acumulează 13 milioane m^3 de apă.

Centrala Hidroelectrică Drăgănești, a fost pusă în funcțiune în 30.12.1987, când s-a pus în funcțiune primul grup de 29 MW. Are un baraj cu înălțimea de 34 m, este alimentată dintr-un lac cu suprafața de 1000 ha în care se acumulează 76 milioane metri cubi de apă. Lacul de acumulare, traversat de magistrala de cale ferată Craiova-

București, se întinde până dincolo de podul rutier care face legătura între Caracal și Drăgănești-Olt.

În data de 30.04.1988 s-a pus în funcțiune grupul nr. 1 de 7,95 MW de la Hidrocentrala Frunzaru, prima hidrocentrală prin pompaj din România.

La data de 30.04 1993 a fost pus în funcțiune primul grup de 20 MW la Hidrocentrala Călimănești.

4.3.Hidrocentrale pe Cerna-Motru-Tismana

În data de 12.09.1983 s-a pus în funcțiune primul grup de 53 MW la Hidrocentrala Tismana, iar în 30.05.1987 s-a pus în funcțiune Hidrocentrala Cerna Belareca-Herculane cu un grup de 7 MW.

4.4. Hidrocentrale pe Jiu

În județul Gorj s-au construit primele hidrocentrale din Oltenia. Astfel, încă din 1928 este menționată producerea energiei electrice cu o turbină Francis de 40 kW în Centrala Runcu, construită pe râul Jaleș. De asemenea, în 1938 a fost construită, la inițiativa Primului ministru Gheorghe Tătărăscu, o hidrocentrală pentru alimentarea cu energie electrică a Sanatoriului TBC de la Dobrița. Hidrocentrala funcționează și în prezent.

În data de 30.09.1989 a fost pus în funcțiune primul grup de 3MW la Hidrocentrala Jiu-Turceni.

5. REȚELE ȘI STAȚII DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE PE TERITORIUL REGIUNII OLTENIA. ECHIPAMENTE PRODUSE LA ELECTROPUTERE [4].

Prima stație de 110 kV din Oltenia a fost dată în funcțiune la data de 15 martie 1957 când s-a repus sub tensiune LEA Paroșeni-Bărbătești. După doi ani, în 1959, este pusă în funcțiune LEA 110 kV Bărbătești – Craiova prin care Centralele electrice din zona Craiova au fost conectate la Sistemul Energetic Național.

În 07 iunie 1965 se pune în funcțiune stația de 220 kV Işalnița echipată cu primul Autotransformator de 220/110kV, fabricat la Electroputere Craiova după licență Elin. Electroputere continuă cercetările în domeniul autotransformatoarelor și va realiza primele Autotransformatoare de 400/220 kV, montate în stațiile Slatina și București Sud, cu ocazia punerii în funcțiune, la 25 februarie 1973 a Liniei electrice aeriene.

Slatina începe să devină un nod energetic important prin darea în exploatare a mai multor Linii electrice aeriene de 110 kV și 220 kV: iunie 1965, stația de 220 kV este conectată cu stația Işalnița, iar în august 1966 este conectată cu stația Iernut.

În 3 martie 1967 se realizează interconexiunea cu sistemul energetic al Bulgariei prin darea în exploatare a Liniei electrice aeriene 220 kV Işalnița – Boychinovtsi (în apropiere de Montana) care traversează Dunărea pe la Bechet- Oreahovo. La realizarea acestei linii au lucrat și absolvenți ai IMAE Craiova, printre care și ing. Nica Constantin [3]

La data de 28 martie 1978 este dată în exploatare stația de 440 kV de la Țânțăreni, intercalată în linia Urechești - Bradu, și în linia Slatina - Sibiu, asigurându-se astfel mai multe posibilități de dublă alimentare a diverselor tronsoane din rețeaua națională.

În data de 30 septembrie 1980 s-a pus în funcțiune la stația Smârdan primul transformator de 400/110 kV conceput și fabricat la Electroputere Craiova.

În data de 24.10.1986 se pune sub tensiune tronsonul dublu al Liniei electrice aeriene 400 kV Țânțăreni-Kozlodui

6. PARCURI FOTOVOLTAICE ÎN OLTENIA (JUD. DOLJ, MEHEDINȚI, GORJ, OLT, VÂLCEA)

6.1. Informații statistice

Informațiile privind parcurile fotovoltaice din România sunt foarte multe, diverse, neunitare, uneori contradictorii, semioficiale. În acest context se precizează că informațiile prezentate mai jos au fost preluate din surse autorizate, verificabile.

În Oltenia sunt în funcțiune 88 Centrale fotovoltaice, amplasate pe teritoriul unor localități, în apropierea stațiilor de distribuției a energiei electrice, iar energia acestora este preluată de CEZ .

Dintre acestea:

- 26 sunt în județul Olt,
- 22 sunt în jud. Dolj,
- 20 sunt în județul Vâlcea,
- 16 sunt în județul Gorj și
- 4 sunt în județul Mehedinți

Centralele debitează, de regulă pe barele de 20 kV ale stațiilor de distribuție. Ele sunt proprietatea unor Societăți comerciale private, fie Societăți cu Răspundere Limitată SRL, fie Societăți pe Acțiuni-SA dar și proprietatea unor **persoane fizice (ex.** Drumen Mariana, Mihai Maria din județul Olt, Eftenoiu Cornel, din județul Gorj, Boiangiu Cecilia din județul Vâlcea), precum și Primăriilor sau unor unități aflate în subordinea Primăriilor (ex. Primăria Horezu), dar și unor Asociații (ex. Asociația de DezvOltare Intercomunitară, satul Vulpeni, comuna Mischii, județul Dolj). Una dintre Centrale aparține unei Universități, Universitatea „Constantin Brâncuși" din Tg. Jiu.

Tabelul 3. **Repartizarea Centralelor fotovoltaice**

Nr. crt.	Județul	Număr centrale fotovoltaice	Puterea de vîrf [MWp]
1	Olt	26	77,275
2	Dolj	22	74,420
3	Vâlcea	20	8,284
4	Gorj	16	159,979
5	Mehedinți	4	319,958

Centralele fotovoltaice funcționează ca centre de cost separate, ca Societăți comerciale, care, în anumite cazuri sunt reunite într-o Companie care le gestionează (ex. EDP Renewables Oltenia).

De remarcat că în comuna Alunu, din județul Vâlcea, sunt amplasate trei Centrale fotovoltaice, dintre care una aparține unei persoane fizice (Boiangiu Cecilia) și două aparțin Primăriei.

Deși dispunem de informații legate de toate cele 88 de Centrale fotovoltaice, considerăm că pentru acest Raport sunt utile câteva informații generale care să pună în evidență evoluția acestor tipuri de surse de energie.

Prima Centrală fotovoltaică din Regiunea Oltenia a fost pusă în funcțiune în data de 17.11.2011 pe raza localității Scorniceşti din județul Olt. Are o putere instalată de 1MW. Cea mai recentă Centrală fotovoltaică a fost pusă în funcțiune la data de 18.11.2016 pe raza localității Melinești și are o putere instalată de 0,987 MW. Este important de subliniat că aceasta face parte dintr-un lanț de 3 Centrale identice construite la Melinești, rezultând o putere de 2,961 MW.

Centrala cu puterea cea mai mare este instalată la Tg. Cărbunești și are o putere instalată de 9,987 MW. Ea a fost dată în funcțiune la data de 05.06.2013. De fapt, la Tg. Cărbunești funcționează două Centrale identice, fiecare cu puterea de 9,987 MW, și au fost puse în funcțiune la aceeași dată. O Centrală cu o putere foarte apropiată, 9,98 MW, funcționează la Bobicești, în județul Olt. Centralele cu puteri mici aparțin, de regulă, persoanelor fizice (ex. Mihai Maria, 0,015 MW) și Universităților (ex. UCB Tg. Jiu,0, 0147 MW). Centrala cu puterea cea mai mică, 0,004 MW, adică 4 kW, adică puterea a 40 de becuri de 100 W, este instalată la Schitul Ostrov, din județul Vâlcea. A fost pusă în funcțiune în 23 iunie 2014.

6.2. Centrale fotovoltaice gestionate de EDP Renewables Oltenia

6.2.1. SC Studina Solar SA

Este amplasată pe teritoriul comunei Grojdibodu, în sudul județului Olt, la 16 km de Dăbuleni și la 20 km de Corabia. A fost pusă în funcțiune în mai 2013.Are o putere de 9,93 MWp (MW peak), este echipată cu 20 de invertoare de 500 kW, 10 transformatoare de 1000 kVA, iar energia produsă este evacuată pe bara de 20 kV a stației de transformare 110 / 20 kV Potelu. Satul Potelu aparține de Comuna Ianca

6.2.2. SC Potelu Solar SA

Este amplasată pe teritoriul comunei Dăbuleni din județul Dolj.A fost pusă în funcțiune în februarie 2013.Are o cu putere de 7,5 MWp, este echipată cu 14 invertoare de 500 kW, 7 transformatoare de 1000 kVA, iar energia produsă este evacuată pe bara de 20 kV a stației de transformare Ocolna. Satul Ocolna aparține de comuna Amărăștii de Jos și este situat între Dăbuleni și Amărăștii de Jos.

6.2.3. SC Foton Delta SA

Este amplasată pe teritoriul Municipiului Băilești, județul Dolj.A fost pusă în funcțiune în noiembrie 2013. Are o putere de 4,1 MWp, este echipată cu 7 invertoare de 630 kW și de 500 kW și 4 transformatoare cu puteri cuprinse între 630 KVA și 1260 kVA, iar energia este debitată în Linia electrică aeriană de 20 kV FNC Băilești.

6.2.4. SC Cujmir Solar SA

Este amplasată pe teritoriul comunei Cujmir din județul Mehedinți.A fost pusă în funcțiune în iunie 2013.Are o putere de 12 MWp, este echipată cu 24 de invertoare de 500 kW, și 12 transformatoare de 1000 kVA, iar energia este debitată pe bara de 20 kV a stației de transformare Cujmir 100/20 kV. Comuna Cujmir este situată pe șoseaua care leagă Vânju Mare de Cetate.

6.2.5. SC Vânju Mare Solar SA

Este amplasată pe teritoriul orașului Vânju Mare din județul Mehedinți.A fost pusă în funcțiune în luna aprilie 2013.Are o putere de 9,37 MWp, este echipată cu 15 invertoare cu puteri cuprinse între 500 kW și 630 kW, 8 transformatoare cu puteri cuprinse între 630 kVA și 1000 kVA, iar energia este debitată pe bara de 20 kV a stației de transformare 110/20 kV Vânju Mare.

6.2.6. SC Foton Epsilon

Este amplasată pe teritoriul localității Burila Mică din județul Mehedinți.A fost pusă în funcțiune în luna septembrie 2013.

Are o putere de 7,5 MWp, este echipată cu 13 invertoare cu puteri cuprinse între 500kW și 630 kW, 7 transformatoare cu puteri cuprinse 500 kVA și 1260 kVA, iar energia este debitată pe bara de 20 kV a stației de transformare 110/20 kV Burila Mică.Satul Burila Mică aparține de comuna Gogoșu, și se află în apropiere de Insula Ostrovu Mare

7.ȘCOALA DE ENERGETICĂ DIN OLTENIA

Se poate spune că rădăcinile Școlii de energetică din Oltenia au apărut în perioada 1951-1958 prin înființarea și funcționarea Institutului de Mașini și Aparate Electrice IMAE Craiova în care s-au format mulți dintre inginerii și cercetătorii care au activat în domeniul energetic [2], [3],[6].

Începând cu anul universitar 1972/1973 și până în 1978/179 au funcționat, în cadrul Universității din Craiova, două secții de subingineri seral cu durata cursurilor de 4 ani:

- Secția „Rețele electrice” – la Craiova,
- Secția „Centrale termoelectrice” – la Tg. Jiu.

După 1990, profilul energetic se dezvoltă,un rol important avându prof. dr. ing. Ion Mircea care poate fi considerat fondatorul învățământului energetic la Craiova.

Astfel, în anul universitar 1990/1991 s-a înființat secția de Centrale termoelectrice, ingineri zi, apoi în 1991/1992 și ingineri seral, dar care a funcționat numai pentru o promoție, precum și la Tg. Jiu, care a fost

gestionată de Facultatea de electrotehnică până la înființarea Universității „Constantin Brâncuși" din Tg. Jiu. Secția de Centrale termoelectrice a cunoscut mai multe transformări, în prezent purtând denumirea de „Inginerie energetică".

Se menționează că și în cadrul Universității „Constantin Brâncuși" din Tg. Jiu se asigură școlarizare în domeniul energetic.

Școala de energetică din Oltenia s-a consolidat în 2002 când prof. dr. ing. Ion Mircea a primit conducere de doctorat și care a coordonat până în prezent 14 Teze din domeniul energetic. Mulți dintre cei care au obținut titlul de doctor lucrează în Sistemul Energetic Național și ocupă sau au ocupat funcții de decizie (ex. Dr. ing. Eugen Butoarcă - Director Direcție distribuție CEZ Oltenia, dr. ing. Sergiu Toma - șef serviciu Ofertare dispecerizare, Societatea Complexul Ener-getic Oltenia S.A., dr. ing. Marian Motocu - Director adjunct direcția Furnizare energie – Complexul Energetic Oltenia).

Se menționează că și ceilalți conducători de doctorat, incluși în Școala doctorală de inginerie electrică, au condus Teze legate de domeniul energetic (ex. Prof. dr. Profir Degeratu – calitatea energiei electrice, Prof. dr. ing. Alexandru Bitoleanu – filtre active, Prof. dr. ing. Gheorghe Manolea- sisteme fotovoltaice pentru aplicații insulare, Prof.dr.ing. Petre Marian Nicolae - calitatea energiei.

De asemenea, producția de carte și articole de specialitate este încă un argument privind valoarea Școlii de energetică din Oltenia la care se adaugă dotarea din cadrul Infrastructurii pentru cercetare în științe aplicate – INCESA.

9. CONCLUZII

În evoluția surselor de energie electrică s-au identificat următoarele etape:

- Generatoare rotative de curent continuu antrenate cu mașini cu abur;
- Generatoare rotative de curent continuu și curent alternativ antrenate cu motoare termice
- Hidrocentrale și centrale eoliene de mică putere
- Termocentrale de putere mare
- Hidrocentrale de putere mare
- Centrale eoliene de putere mare
- Centrale fotovoltaice într-o plajă largă de puteri.

Se poate spune că instalarea Centralelor fotovoltaice marchează începutul unui nou ciclu de dezvoltare în domeniul energetic deoarece unele dintre acestea alimentează consumatori dedicați, așa cum a fost cazul primelor centrale care foloseau energia aburului, au puteri mici (ex. 4 kW), altele au puteri care depășesc puterea centralelor tradiționale, toate fac apel la tehnologii de vârf, aflate într-o continuă evoluție, și care permit aplicarea sistemelor computerizate pentru monitorizare, diagnoză, conducere. În plus, Centralele fotovoltaice sunt conectate la Sistemul Energetic Național deja existent. Resursa umană implicată este înalt calificată.

Pentru următoarea perioadă se pot avea în vedere următoatrele ținte:

- Creșterea calității energiei electrice și a serviciilor legate de furnizarea energiei electrice.
- Dezvoltarea soluțiilor pentru alimentarea insulară de la centrale fotovoltaice.
- Adaptarea rețelelor de distribuție a energiei electrice furnizată de centralele fotovoltaice, inclusiv a rețelelor de iluminat.
- Adaptarea rețelelor electrice de distribuție a energiei electrice utilizată de consumatori mobili.
- Formarea resursei umane calificată și înalt calificată pentru conceperea, proiectarea, executarea și întreținerea noului mix energetic.

BIBLIOGRAFIE

[1] Manolea Gheorghe *Invențiile și istoriile lor. Istoria iluminatului*. Editura ALMA Craiova, 2008, ISBN 978-973-1792-55-2

[2] Manolea Gheorghe *Despre doctorat și doctoranzi la Facultatea de electrotehnică a Universității din Craiova*, Editura AGIR 2015, București

[3] Manolea Gheorghe *65 de ani de învățământ superior electrotehnic la Craiova*, Editura ALMA Craiova, 2016.

[4] Pâslaru Corneliu (coordonator), *File din istoria energeticii Românești.Vol. I. Dezvoltarea Sistemului Energetic al României*.Editura N'Ergo, Galați, 2007.

[5] Peterson John, Sharp Margaret, *Politica tehnologiei în Uniunea europeană*, Editura AGIR, București, 2000.

[6] Vasiliu Zonel (coordonator) *Tezaurul Energeticii. Formarea specialiștilor Sistemului Energiei Electrice și Termice din România*. Editura AGIR, 2017.

[7] xxx *Un secol în slujba luminii. Oltenia energetică. Monografie*. Editura AIUS, Craiova, 1996.

[8] xxx http://www.agro-business.ro/cate-parcuri-fotovoltaice-are-România/ 2016/07/06/

[9] xxx *Viziune OLTENIA 2050* Editura Universitaria Craiova ,2017.

ROLUL ELECTROMOBILITĂȚII ÎN INTEGRAREA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE ȘI A GENERĂRII DISTRIBUITE

Drd. Adrian Toni RADU[1], Prof. em. dr. ing. Mircea EREMIA[1,2], Conf. dr. ing. Lucian TOMA[1]

[1]Universitatea Politehnica din București, Departamentul Sisteme Electroenergetice, România,
[2]Academia de Științe Tehnice din România

REZUMAT. Această lucrare prezintă o strategie de management a încărcării vehiculelor electrice (VE) ce are drept obiectiv minimizarea costurilor de încărcare respectând cerințele utilizatorilor și realizarea unei curbe de profil agregată dorită în vederea furnizării serviciilor tehnologice de sistem pentru sistemul electroenergetic și a respectării condițiilor tehnice de funcționare ale sistemelor electroenergetice (SEE) ca necesitate în vederea integrării la scară largă a surselor distribuite de energie (generarea distribuită). Abordarea propusă permite utilizatorilor VE „flexibili" să participe la programele de tip răspuns la cerere (demand response – DR), care vor juca un rol crucial în îmbunătățirea stabilității și eficienței în funcționare a viitoarelor rețele electrice inteligente.

Cuvinte cheie: vehicul electric (VE), managementul încărcării, servicii auxiliare de sistem, generare distribuită (GD), răspuns la cerere, rețele electrice inteligente.

ABSTRACT. This paper presents a charging management strategy of the Electric Vehicles aimed at providing cost-effective charging services to the EV users, according to users' preferences, and seeking to achieve a scheduled aggregated power profile in view of providing ancillary services to the grid and meeting the technical constraints as necessary for large-scale integration of distributed energy resources (DER). The proposed control approach allows "flexible" EV users to participate in demand response programs, which will play a crucial role in improving stability and efficiency of future smart grids.

Keywords: Electric Vehicle (EV), smart charging, ancillary services, distributed energy resources (DER), Demand Response (DR), Smart Grid.

1. INTRODUCERE

Politica energetică a Uniunii Europene (UE), dezvoltată în ultimul deceniu are două obiective prioritare: *alimentarea sustenabilă cu energie* și *reducerea emisiilor de CO2 și alte elemente poluante*, cu scopul de a reduce impactul asupra mediului ambiant [1]. Răspunsul la aceste probleme poate fi generarea locală/distribuită a energiei electrice, la nivelul rețelelor de distribuție, prin utilizarea unor resurse alternative de energie.

Actualele rețele electrice de distribuție pot accepta un grad de 10-15% al penetrării GD fără a necesita modificări structurale majore, deși integrarea va trebui să fie controlată cu grijă [2]. Mai mult, integrarea GD trebuie corelată cu tendința de dezvoltare a orașelor inteligente datorită dependenței de managementul inteligent și abilității de a aborda provocările mari la nivel de oraș [3].

Adoptarea vehiculelor electrice prezintă multiple avantaje, printre care utilizarea mai eficientă a energiei, reducerea poluării aerului sau optimizarea utilizării surselor regenerabile de energie. Potențialele efecte pozitive ale VE pentru SRE se extind dincolo de sectorul transporturilor. Prin agregare, bateriile vehiculelor electrice pot fi utilizate pentru a permite creșterea ponderii SRE prin stocarea surplusului de energie electrică produsă de sistemele fotovoltaice și eoliene, respectiv returnarea acestuia în rețeaua electrică în momente de consum mai mare [4].

2. FORMULAREA PROBLEMEI

Necesitatea integrării GD la o scară tot mai largă în cadrul SEE generează o serie de provocări, precum: *i*) natura intermitentă a energiei eoliene și solară; *ii*) schimbarea consumatorilor pasivi în prosumatori; *iii*) integrarea VE de tip "plug-in" ca un consumator important dar și ca o sursă mobilă de stocare; *iv*) asigurarea calității serviciilor de sistem și a competitivității pe piața de energie electrică; *v*) siguranța în alimentare cu energie electrică a populației, care este într-o continuă creștere [5].

Interesul crescut pentru aceste domenii generează o schimbare fundamentală a peisajului energetic spre sustenabilitate și reziliență prin intermediul GD, precum și a sistemelor de management integrate în toate sistemele energetice [6].

Literatura de specialitate cuprinde numeroase studii privind impactul integrării VE în sistemele energetice

[7-13]. În [7] este prezentată o strategie de control a încărcării prin care se urmărește maximizarea cantității de energie care poate fi livrată tuturor vehiculelor electrice într-o perioadă fixă de timp, luând în considerare limitele tehnice ale rețelei și utilizând o metodă de programare liniară. Cu toate acestea, comportamentul utilizatorilor de vehicule electrice nu este luat în considerare în formularea problemei. În [8] se dezvoltă o tehnică directă de control a puterii de încărcare pentru a maximiza energia netă furnizată bateriilor și pentru a minimiza simultan costul total al energiei, iar în [9] autorii propun coordonarea încărcării VE, considerându-le ca resurse de energie distribuită pentru a netezi profilul de sarcină.

În această lucrare se propune gestionarea încărcării VE prin crearea unor relații/interacțiuni între dispecerizarea locală a GD și operatorul de distribuție pentru o anumită zonă de încărcare (load area - LA) sau o microrețea interconectată cu rețeaua publică pentru a satisface cererea VE și pentru a minimiza diferența dintre generare și consum. În particular, o astfel de acțiune de control se bazează pe interacțiunea următoarelor componente și entități:

- *Load Area Controller* (LAC): reprezintă un controler care acționează la nivelul postului de transformare/ stațiilor de încărcare ale VE și este responsabil pentru planificarea dinamică a sesiunilor de încărcare în funcție de preferințele utilizatorilor și alte constrângeri tehnice și economice;
- *Producătorii de energie electrică*: operează unitățile GD (panouri fotovoltaice, microturbine eoliene, electrogeneratoare diesel, etc.);
- *Retailerul*: entitatea care vinde energie pentru zona de încărcare respectivă;
- *Operatorul de distribuție*: care poate solicita ca profilul de consum agregat al zonei de încărcare/ microrețea să urmeze un profil de sarcină determinat pe un anumit interval de timp. Respectarea acestei cerințe conduce la o reducere a impactului negativ al surselor de generare distribuită asupra rețelei de distribuție (inversarea circulației de putere, variații de tensiune).

LAC controlează profilurile de sarcină în scopul realizării a două obiective principale:

1. Minimizarea costurilor și satisfacerea preferințelor utilizatorului (PU) (energia solicitată și fereastra de timp disponibilă pentru procesul de încărcare), așa cum este specificat de utilizatori atunci când solicită furnizarea serviciului de reîncărcare inteligentă (smart charging).

2. Urmărirea unei curbe de sarcină agregată de referință la nivelul LA, calculată de operatorul de distribuție pe baza prognozelor de consum/ producție pentru sursele de generare distribuite cu o zi înainte și eventual actualizată în timpul zilei ca o consecință a reprofilării.

PU constă în următoarele informații: energia dorită sau nivelul final de încărcare și flexibilitatea de timp, adică fereastra de timp pe care șoferul o definește că vehiculul va sta parcat în cadrul stației de încărcare.

În cazul apariției unor sesiuni noi de încărcare, pe baza datelor colectate, LAC calculează un profil de încărcare care satisface noile solicitări de încărcare, împreună cu o estimare a costului derivat pentru utilizatorul care a efectuat noua solicitare de încărcare. LAC rezolvă o problemă de control optimală "multi-VE", în sensul că și profilurile de încărcare ale VE-urilor deja conectate pot fi reprogramate. Desigur, procesul de reeșalonare este “transparent” pentru utilizatori, în sensul că, curba de încărcare este reprogramată întotdeauna în ceea ce privește respectarea PU eventual la un cost care nu depășește pe cel comunicat utilizatorului.

Controlul încărcării VE va fi abordat prin rezolvarea iterativă a unei probleme de optimizare care are ca scop minimizarea unei funcții obiectiv *A*, care este alcătuită din doi termeni: A_{Cost}, asociat cu costul total privind energia electrică pentru încărcarea VE; A_{Tr}, care reprezintă eroarea de urmărire a profilului de putere agregat în raport cu un profil de putere de referință.

Funcția obiectiv este prezentată în relația (1):

$$A = \mu_1 A_{Cost} + \mu_2 A_{Tr} \tag{1}$$

$$A_{Cost} = \sum_{m \in M} \left[\sum_{k=1}^{E_m} P_m(k) \cdot T \cdot C_e(k) \right] \tag{2}$$

$$A_{Tr} = \left\| \Lambda \left(P - P^{ref} \right) \right\|_{\infty} \tag{3}$$

unde:

k reprezintă indexul intervalului de timp;

μ_1, μ_2 - ponderile combinației liniare a termenilor A_{Cost} și A_{Tr};

$P_m(k)$ - puterea de încărcare a vehiculului *m* în intervalul de timp *k* [kW]; aceasta se stabilește în funcție de energia necesară a fi încărcată pentru VE-ul *m* și perioada totală de încărcare;

P - puterea de încărcare agregată la nivelul LA [kW];

$$P = \sum_{m \in M} \left[\sum_{k=1}^{E_m} P_m(k) \right]$$

T - intervalul de timp de eșantionare [h];

$C_e(k)$ - prețul energiei electrice în intervalul de timp *k* [€/kWh];

P^{ref} - puterea de referință [kW];

m - indexul vehiculului, $m=1\ldots M$;

M - numărul total de vehicule conectate la rețeaua electrică;

E_m - intervalul de timp corespunzător plecării din parcare pentru VE-ul *m*;

Λ - vectorul ponderilor termenului A_{Tr};

Parametrul principal care stabilește echilibrul dintre cele două obiective de minimizare a costurilor și de urmărire a referinței de putere este μ. În secțiunile următoare, μ a fost ales cu scopul de a garanta o bună urmărire a profilului de sarcină dorit.

Termenul P^{ref} din cadrul relației (3) va avea următoarea formă:

$$P^{ref}(k) = \begin{cases} P^{Gen}(k) - P^{Load}(k); \\ \text{dacă } P^{Gen}(k) > P^{Load}(k) \\ 0 \text{ ; dacă } P^{Gen}(k) < P^{Load}(k) \end{cases} \tag{4}$$

iar puterea totală generată de toate sursele de energie în intervalul de timp *k* este dată sub forma:

$$P^{Gen}(k) = P^{PV}(k) + P^{Wind}(k) + P^{Gas}(k)$$

unde:

$P^{Gen}(k)$ este puterea totală generată în cadrul microrețelei la momentul de timp *k*;

$P^{Load}(k)$ – puterea consumată agregată la nivelul microrețelei la momentul de timp *k* (fără consumul aferent încărcării VE);

$P^{PV}(k)$ – puterea generată agregată a surselor fotovoltaice la momentul de timp *k*;

$P^{Wind}(k)$ – puterea generată agregată a surselor eoliene la momentul de timp *k*;

$P^{Gas}(k)$ – puterea generată agregată a turbinelor pe gaz la momentul de timp *k*.

Relația (3) prezintă calitatea urmăririi profilului, dată sub forma unei norme infinit. Utilizarea ponderii unei norme infinit aduce o serie de avantaje, cum ar fi un grad de flexibilitate dat de vectorul ponderilor Λ.

Soluția problemei este reprezentată de un vector care conține profilurile de încărcare ale tuturor VE pentru fereastra de timp luată în considerare.

Eficacitatea algoritmului de control propus depinde în mare măsură de modelul de predicție utilizat pentru estimarea evoluției stării de încărcare (SoC) a bateriei VE. Un model inexact ar oferi o estimare imprecisă privind evoluția SoC a bateriei.

Modelul bateriei este caracterizat de o rezistență care modelează pierderile de putere interne ale bateriei (fig.1). Modelul reprezintă relația dintre puterea schimbată și puterea pierdută. Ipoteza simplificatoare este că v și R sunt considerate constante.

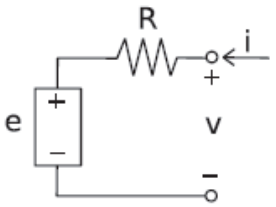


Fig. 1. Circuitul echivalent al bateriei.

Modelul matematic al bateriei poate fi scris pornind de la ecuația lui Kirchhoff:

$$e(k) = v - R \cdot i(k) \tag{5}$$

unde:

e este tensiunea circuitului deschis al bateriei [V];

$v(\cdot)$ – tensiunea măsurată la bornele bateriei [V];

$i(\cdot)$ – curentul măsurat la bornele bateriei [A];

R – rezistența internă a bateriei [Ω].

Ecuația (5) poate fi inclusă în ecuația de bilanț a puterii astfel:

$$P^{batt}(k) = e(k) \cdot i(k) = vi(k) - Ri^2(k) =$$
$$= P^{\max}\left(\eta y(k) - \frac{z(k)}{\eta}\right) - Ri^2(k) =$$
$$= P^{\max}\left(\eta y(k) - \frac{z(k)}{\eta}\right) -$$
$$- R\left[\frac{P^{\max}}{v}\left(\eta y(k) - \frac{z(k)}{\eta}\right)\right]^2 \tag{6}$$

unde:

$P^{batt}(k)$ este puterea instantanee livrată de către stația de încărcare [kW];

P^{max} – puterea maximă livrată de către stația de încărcare [kW];

$y(\cdot)$, $z(\cdot)$ – variabilele de control pentru procesul de încărcare/ descărcare;

η – eficiența convertorului pentru procesul de încărcare/ descărcare.

În cadrul relației (6), puterea reală transmisă/ furnizată bateriei este $vi(k) = P^{\max}\left(\eta y(k) - \frac{z(k)}{\eta}\right)$, iar pierderile de putere prin rezistentă sunt exprimate prin termenul:

$$Ri^2(k) = R\left[\frac{P^{\max}}{v}\left(\eta y(k) - \frac{z(k)}{\eta}\right)\right]^2$$

Evoluția în timp a SoC este dată de relația (7):

$$\begin{cases} SoC_m(k+1) = SoC_m(k) + P_m^{\max} T\left(\eta_m y_m(k) - \frac{z_m(k)}{\eta_m}\right) - \\ \qquad - R_m T \frac{P_m^{\max^2}}{v_m^2}\left(\eta_m^2 y_m^2(k) - \frac{z_m^2(k)}{\eta_m^2}\right) \\ SoC_m(0) = SoC_m^0 \end{cases} \tag{7}$$

unde:

$SoC_m(k)$ este starea de încărcare a bateriei la momentul de timp *k* pentru vehiculul *m* [kWh];

$SoC_m(0)$ – starea inițială de încărcare a bateriei vehiculului *m* [kWh].

Restricțiile privind starea de încărcare a bateriilor sunt următoarele:

$$\begin{cases} SoC_m^{\min} \le SoC_m(k) \le SoC_m^{\max} \\ SoC_m^{ref} \le SoC_m(E_m) \le SoC_m^{\max} \end{cases} \tag{8}$$
$$\forall m \in M, \quad \forall k \in [I+1, E_m - 1]$$

unde:

SoC^{min} / SoC^{max} este starea minimă/ maximă de încărcare a bateriei [kWh];

SoC^{ref} – starea de încărcare dorită/ de referință a bateriei [kWh];

I – momentul conectării VE la stația de încărcare.

O altă categorie de restricții este reprezentată de restricțiile variabilelor de control:

$$\begin{cases} y_m(k), z_m(k) \in \begin{cases} \{0\} \cup [\alpha_m, 1], \text{ dacă } P_m^{\max} = 22\,\text{kW} \\ \{0,1\} \qquad\quad , \text{ dacă } P_m^{\max} = 3{,}3\,\text{kW} \end{cases}; \\ 0 < \alpha_m < 1 \quad \forall k \in [I, E_m] \end{cases} \tag{9}$$

$$P^{s}(k)+\sum_{m\in M_k}P_m(k)\le P^{*}(k);\quad \forall k\in[I,E] \quad (10)$$

$$c_m(I)+\sum_{k=I}^{E_m}P_m(k)\cdot T\cdot C_e(k)\le(1+\varepsilon)c_m^{*};\ \forall m\in M \quad (11)$$

unde: α este fracția minimă a puterii instantanee $P(\cdot)$,

$$P^{\min}=\alpha P(\cdot);$$

P^S – puterea cerută de VE care nu au optat pentru încărcarea inteligentă (fără aplicarea algoritmului) [kW];

P^* – puterea maximă admisibilă [kW];

$c_m(I)$ – costul deja plătit pentru vehiculul m (în funcție de tipul de abonament/ contract cu furnizorul de servicii) [€];

c_m^* – bugetul stabilit pentru încărcarea vehiculului m [€];

ε – factorul de flexibilitate față de bugetul stabilit pentru vehiculul m.

Restricțiile din relația (9) definesc limitele variabilelor de control, iar relațiile (10) și (11) asigură menținerea controlului asupra puterii maxime absorbite la momentul de timp k, respectiv menținerea sub control a prețului plătit de către client/ utilizator.

Trebuie avut în vedere că trebuie respectată și următoarea condiție:

$$y(k)\cdot z(k)=0,$$

deoarece nu este posibil ca pentru un vehicul procesele de încărcare și descărcare să se realizeze simultan.

3. STUDIU DE CAZ

Studiul de caz prezentat utilizează datele unei microrețele utilizată inițial în [10], dar care au fost actualizate în ceea ce privește numărul de consumatori conectați la rețea și caracteristicile acestora. Rețeaua de distribuție este formată din 32 de noduri, reprezentată în formă generică în figura 2.

La microrețea sunt conectate 39 de unități GD, respectiv 218 de consumatori; nodul 0 (bus 0) reprezintă nodul sursă și este punctul de conexiune dintre rețeaua electrică publică de distribuție și microrețea.

În tabelul 1 sunt prezentate atât tipul cât și caracteristicile surselor GD existente în cadrul microrețelei test.

Consumul total aferent și numărul de consumatori conectați la fiecare nod al microrețelei este prezentat în tabelul 2. Astfel, fiecare consumator din cei 218 este conectat la unul dintre cele 32 de noduri ale rețelei.

Tabelul 1. **Caracteristicile generatoarelor conectate la microrețeaua test**

Tipul de generator	Nr. de unități	$P_{min,\ inst}$ [kW]	$P_{max,\ inst}$ [kW]	$P_{totală}$ [kW]
Fotovoltaic	32	3	30	300
Eolian	5	25	100	300
Microturbină pe gaz	2	50	60	110

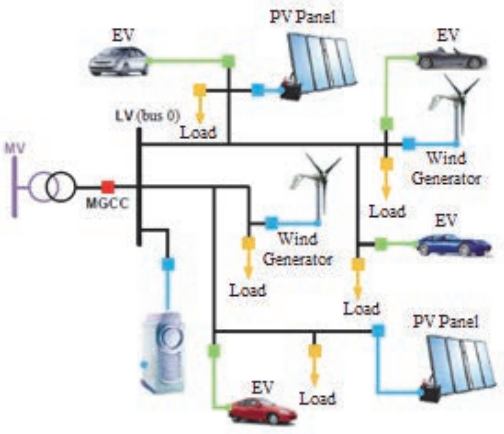


Fig. 2. Microrețeaua electrică test (forma generică).

Tabelul 2. **Puterea activă instalată și numărul de consumatori pentru fiecare nod al rețelei**

Nod	P_{inst} [kW]	Nr. cons.	Nod	P_{inst} [kW]	Nr. cons.
1	16,9	5	17	13,5	7
2	14,8	7	18	15,2	4
3	14,7	8	19	15,2	7
4	14,5	9	20	15,2	8
5	9,4	8	21	15,1	5
6	31,1	7	22	14,7	7
7	30,9	4	23	67,5	7
8	8,9	10	24	66,9	6
9	9,1	10	25	9,4	7
10	6,7	6	26	9,3	6
11	9,1	7	27	9,2	8
12	9,1	7	28	18,3	7
13	18,1	9	29	29,5	5
14	9,1	6	30	22,5	5
15	9,1	8	31	31,5	6
16	9,2	7	32	9	5
Consumul total:582,7 kW					
Numărul total de consumatori: 218					

În figura 3 se prezintă curba de consum agregată (linia continuă - consum mediu orar). Având în vedere și generarea distribuită (microturbina pe gaz, panourile fotovoltaice și turbinele eoliene), rezultă curba de producție din microrețea (linia punctată).

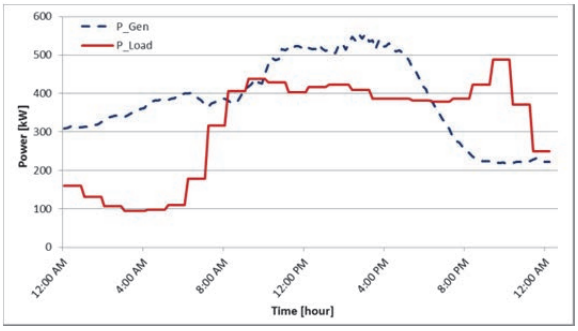


Fig. 3. Curba de consum / generare a microrețelei test.

Din figura 3 se observă că în timpul nopții producția este mai mare decât consumul microrețelei, același

lucru putându-se observa și în intervalul orelor în care producția surselor fotovoltaice este maximă (între orele 11a.m. – 6 p.m., vezi figura 4) când producția este mai mare decât cererea; astfel microrețeaua injectează energie în rețeaua principală și pot apărea unele probleme în ceea ce privește circulația de puteri și nivelul de tensiune în rețeaua electrică principală.

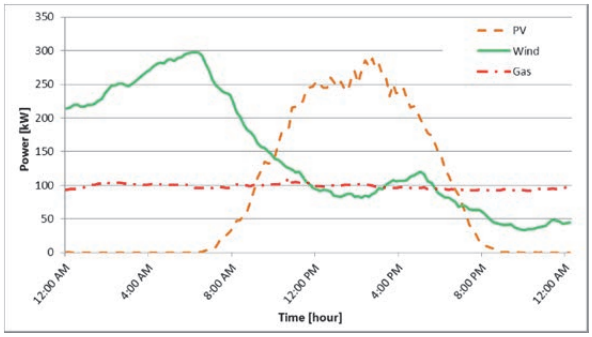


Fig. 4. Curbele de producție în funcție de tipul surselor de generare.

Profilul de producție a GD în funcție de tipul sursei de generare variază după cum se arată în figura 4. Aceste fluctuații sunt considerate o barieră pentru dezvoltarea pe scară largă a SRE.

Pentru a facilita integrarea GD în rețeaua electrică și pentru a minimiza fluctuațiile de putere, se consideră că încărcarea VE-urilor se face în sensul urmăririi curbei de generare dar și pentru a minimiza schimbul de energie cu rețeaua electrică principală. Astfel, încărcarea inteligentă a VE poate genera o minimizare a costurilor cu energia pentru microrețea și a impactului negativ al integrării pe scară largă a GD.

Funcționarea unei rețele de distribuție cu o cantitate mare de GD ridică o serie de probleme, cum ar fi: profilurile de tensiune și pierderile de putere care se modifică de-a lungul rețelei în funcție de cantitatea de energie produsă și consumată la nivelul sistemului, astfel conducând la un comportament diferit față de cel al unei rețele electrice clasice, de asemenea, calitatea și fiabilitatea în alimentarea consumatorilor putând fi afectate.

Procesele de încărcare ale VE sunt planificate în conformitate cu disponibilitatea prognozată a RES / DER, dar subiectul prognozei generării DER nu este prezentat în acestă lucrare.

Încărcarea VE se realizează prin modul de încărcare conductiv, unidirecțional; în funcție de puterea (timpul) de încărcare sunt posibile următoarele variante de conexiune la rețeaua electrică: 3,3 kW conexiune monofazată și 22 kW pentru conexiunea trifazată.

În cadrul simulărilor efectuate a fost considerat următorul scenariu: minimizarea diferenței dintre producția și consumul de energie în cadrul microrețelei; în acest mod încărcarea VE este programată să utilizeze doar puterea disponibilă, evitându-se astfel să nu crească cantitatea de energie absorbită din rețeaua electrică principală. În perioada în care cererea este mai mare decât generarea (în timpul vârfului de sarcină), încărcarea VE este întreruptă (fig. 5).

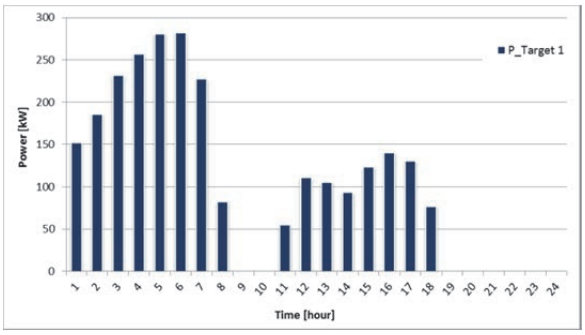


Fig. 5. Puterea disponibilă pentru încărcarea VE (P^{ref}).

Pentru efectuarea testelor reale nu a fost posibilă existența unui număr suficient de VE pentru a utiliza toată energia disponibilă conform figurii 5 și s-au considerat două ipoteze simplificatoare: *a*) s-a ales divizarea puterii disponibile cu 10; *b*) s-a considerat echivalarea pasului de timp pentru 1 oră cu un pas de timp de 5 minute. Impunând aceste două ipoteze a fost posibilă realizarea testelor reale cu 2 VE pentru scenariul "*Target_1*".

Pentru realizarea testelor au fost folosite 2 VE marca Smart: *EV_A* și *EV_B* având aceeași capacitate a bateriei, dar cu preferințe diferite ale utilizatorilor.

Pentru implementarea modelului matematic s-a utilizat limbajul de programare *Julia*.

Caracteristicile bateriei VE și preferințele utilizatorului sunt prezentate în Tabelul 3:

Tabelul 3 **– Caracteristicile VE**

Parametrul	***EV_A***	***EV_B***
- Capacitatea bateriei	17.1 kWh	17.1 kWh
- SoC inițial	30%	50%
- SoC final/ dorit	90%	100%
- Energia solicitată	10,46 kWh	8,75 kWh

În figura 6 se prezintă puterea agregată pentru *EV_A* (roșu - 1) și *EV_B* (albastru - 2) conform algoritmului propus.

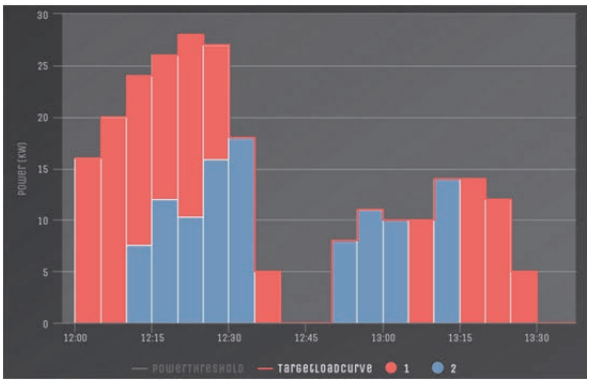


Fig. 6. Profilul încărcării pentru *EV_A* și *EV_B*.

În figura 7 se ilustrează diferența dintre profilul de încărcare realizat de algoritm și profilul țintă/ de referință.

Conform figurii 7 se poate observa faptul că profilul puterii absorbite de cele două VE urmărește în-

deaproape profilul de referință, de unde rezultă că încărcarea VE se realizează doar din excedentul de putere din cadrul microrețelei analizate.

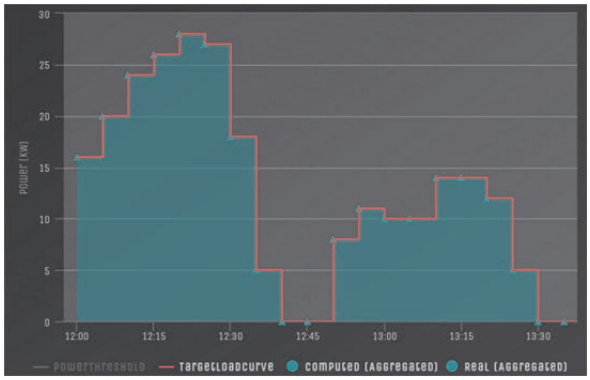


Fig. 7. Diferența dintre curba țintă și consumul real de energie.

Analizând valorile obținute în urma testelor, rezultă o diferență de aproximativ 6% între energia solicitată de utilizatori (19,21 kWh) pentru încărcarea celor două VE și energia reală absorbită de VE (20,12 kWh).

La calcularea puterii absorbite a fost stabilit un coeficient pentru pierderile de putere de aproximativ 3%, alte erori pot apărea din citirea SoC deoarece indicatorul SoC pentru *EV_A* și *EV_B* este un indicator analogic.

4. CONCLUZII

În această lucrare este prezentată o abordare privind managementul încărcării VE în cadrul microrețelelor electrice în contextul unui grad mare de penetrare a generării distribuite. Analiza rezultatelor arată că alegerea unor ponderi diferite a termenilor funcției obiectiv permite simultan controlerului să urmărească în mod corespunzător profilul de încărcare dorit și să exploateze natura variabilă a tarifului energiei electrice în perspectiva utilizatorilor cu un nivel ridicat de flexibilitate în ceea ce privește timpul de parcare.

În cadrul unui model de afaceri adecvat, încărcarea inteligentă a VE prezintă un sens mult mai important atât pentru utilizatori, cât și pentru operatorii rețelelor electrice decât încărcarea normală. Eficiența integrării electromobilității va fi într-o strânsă și continuă conexiune cu integrarea și utilizarea SRE.

MULȚUMIRI

Această lucrare este rezultatul unui stagiu de mobilitate prin programul ERASMUS în cadrul companiei Enel X , Roma – departamentul E-Mobility Solutions Development.

BIBLIOGRAFIE

[1] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy Prospects for the European Union*, February, 2018.

[2] J. Bloem, *Distribution Generation and Renewables. Integration and interconnection*, Leonardo Energy - Power Quality and Utilisation Guide, May, 2007.

[3] S. Howell, Y. Rezgui, J. L. Hippolyte, B. Jayan, Haijiang Li, *Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multiagent management of distributed energy resources*, Elsevier Journal - Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77, pag. 193-214, 2017.

[4] M. Ferdowsi, I. Grau Unda, E. Karfopoulos, P. Papadopoulos, S. Skarvelis-Kazakos, L. Cipcigan, A. F. Raab, A. Dimeas, E. Abbasi, K. Strunz, *Controls and EV Aggregation for Virtual Power Plants*, Mobile Energy Resources in Grids of Electricity, Deliverable D1.3, October 2010.

[5] M. Chindris, A. Cziker, Anca Miron, D. Sacerdotianu, *Small Distributed Renewable Energy Generation for Low Voltage Distribution Networks*, Problemele Energeticii Regionale: 2(31) pag. 11-21, Rep. Moldova, August, 2016.

[6] China National Renewable Energy Centre (CNREC), *Energy Transition Trends 2018: China, Europe, USA*, May, 2018.

[7] P. Richardson, D. Flynn, A. Keane, *Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems*. IEEE Trans. Power Systems, vol. 27, pag. 268–279, 2012.

[8] P. Sanchez-Martin, G. Sanchez, G. Morales, *Direct Load Control Decision Model for Aggregated EV Charging Points*. IEEE Trans. Power Systems, vol. 27, pag. 1577–1584, 2012.

[9] M. Singh, P. Kumar, I. Kar, *A Multi Charging Station for EV and Its Utilization for Load Management and the Grid Support*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, pag. 1026–1037, 2013.

[10] A.S. Masoum, S. Deilami, P.S. Moses, M.A.S. Masoum, A. Abu-Siada, *Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimisation considering voltage regulation*. IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, pag. 877–888, August, 2011.

[11] M. Pantoš, *Stochastic optimal charging of electric-drive vehicles with renewable energy*. Energy, vol. 36, pag. 6567–6576, 2011.

[12] Jian Zhang, Yigang He, Mingjian Cui, Yongling Lu, *Primal dual interior point dynamic programming for coordinated charging of electric vehicles*, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, vol. 5, pp. 1004-1015, November, 2017.

[13] C. S. Antunez, J. F. Franco, J. Rider, R. Romero, *A new methodology for the optimal charging coordination of electric vehicles considering Vehicle-to-Grid technology*, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 7, pag. 596-607, 2016.

APLICATII ALE MAGNETILOR PERMANENTI IN INDUSTRIA AERONAUTICA. MAGNETUL PERMANENT – ALEGERE SI STABILITATE

Dr. ing. Dragos POPA[1], Dr. Mirela Maria CODESCU[2]

[1] *AGIR - SETEC, Bucuresti, Romania*
[2] *Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica ICPE-CA Bucuresti, Romania*

REZUMAT. Aceasta lucrare descrie comportamentul magnetilor permanenti la diferite perturbatii specifice utilizarii in aviatie si cateva metode de limitare sau eliminare a efectului acestora. Vorbim despre stabilitatea magnetica magnetilor permanenti si incercam sa prezentam comportamentul in timp al acestora la diferite temperaturi de lucru.

Cuvinte cheie: magneti permanenti, stabilitate termica, stabilitate chimica, aviatie.

ABSTRACT. This paper try to describes the behaviour of permanent magnet in front of the influence of different perturbation against them, and few methods to limitate or eliminate their effect. We token about magnetic stability and we try to plot the behaviour in time of permanent magnet for different work temperature.

Keywords: permanent magnet, stability, aviation.

1. INTRODUCERE

Unul dintre factorii importanti in alegerea unui magnet permanent pentru a fi utilizat in industria aeronautica este temperatura de lucru. In acest sens, cercetarile si experimentarile întreprinse în ICPE – CA în domeniul magnetilor NdFeB, pentru îmbunatatirea stabilitatii cu temperatura a caracteristicilor magnetice au evidentiat faptul ca, prin selectarea si controlul corespunzator al nivelului substitutiei Fe cu Co si Al, precum si al adaosului de Dy, se pot obtine magneti cu câmp coercitiv ridicat, ${}_JH_c$ = 1280 kA/m, ce asigura magnetilor energii specifice mari, $(BH)_{max}$ = 260 kJ/m^3, precum si stabilitate ridicata termica îmbunatatita, respectiv coeficient reversibil de temperatura al inductiei $\alpha(B)$ = - 0,10 (%/ºC). Microstructura magnetilor din sistemul ternar Nd-Fe-B este constituita din graunti de faza magnetic dura, $Nd_2Fe_{14}B$ (asa-numita faza Φ), tetragonala, inconjurati la limita de graunte de o faza bogata in Nd. Faza bogata in Nd asigura densificarea in timpul sinterizarii in faza lichida si totodata decupleaza magnetic grauntii fazei Φ. Prezenta cobaltului determina cresterea temperaturii de lucru, prin aparitia fazei $Nd_2(Fe,Co)_{14}B$ care are un punct Curie mai ridicat decat al fazei magnetic dure $Nd_2Fe_{14}B$. Aluminiul compenseaza scaderea câmpului coercitiv datorata prezentei Co, printr-o mai buna udabilitate a grauntilor fazei $Nd_2Fe_{14}B$ de catre faza bogata in neodim. Adaosul de dysprosiu contribuie, de asemenea, la cresterea câmpului coercitiv prin cresterea câmpului de anizotropie al fazei Φ. Aceste contributii combinate au permis obtinerea de magneti în sistemul (Nd,Dy)(Fe,Co,A)B cu stabilitate termica ridicata si temperaturi de utilizare mari, în jurul a 150 ºC.[1,2]

Tabelul 1 Caracteristicile magnetice si pierderile ireversibile ale magnetilor NdFeB realizati în ICPE-CA

Compozitia	B_r [T]	${}_BH_c$ [kA/m]	${}_JH_c$ [kA/m]	$(BH)_{max}$ kJ/m^3	P_{irev} la 100ºC, l/d=0,5 [%]
$Nd_{15}Fe_{77}B_8$	1,26	660	740	300	23
$Nd_{15}Fe_{61,5}Co_{16}Al_4B_{9,5}$	1,18	460	660	190	6
$Nd_{15}Fe_{70}Co_5Al_4B_6$	1,15	550	680	200	8
$(Nd,Dy)_{16,5}Fe_{77,5}B_6$	1,08	750	880	230	9
$(Nd,Dy)_{16,5}Fe_{68,5}Co_5Al_4B_6$	1,14	900	1080	260	2
$Nd_{13,5}Dy_{2,5}Fe_{71,5}V_{5,5}B_9$	1,10	750	1400	230	2

- ***pierderi reversibile ale inductiei*****,** datorate dependentei de temperatura a magnetizatiei (M) la saturatie (în general, prin analogie se calculeaza coeficientul reversibil al inductiei remanente dependent de magnetizarea spontana, M_S). Aceste pierderi sunt anulate prin revenirea la temperatura initiala, pierderile putând fi exprimate prin coeficientul de variatie cu temperatura al inductiei remanente, respectiv al magnetizatiei. Pierderile reversibile trebuie luate totdeauna în consideratie si trebuie facute calcule în vederea utilizarii magnetilor la temperaturi mai mari decât cea ambianta.
- ***pierderi ireversibile*** sunt determinate de dependenta de temperatura a câmpului coercitiv intrinsec, ${}_JH_C$. La temperaturi ridicate, câmpul coercitiv scade si magnetizarea diverselor domenii poate fi inversata, determinând pierderi ireversibile ale inductiei magnetice. Aceste pierderi exista si dupa revenirea la temperatura initiala, ele putând fi eliminate printr-o noua magnetizare. Pierderile ireversibile depind de valoarea câmpului coercitiv, de dependenta sa de temperatura, precum si de punctul de lucru al magnetului (B/μ_oH). Variatiile ireversibile pot fi prevenite printr-un tratament termic de stabilizare.
- ***pierderi iremediabile*** ale inductiei sunt datorate deteriorarii suprafetei magnetului, oxidarii, modificarii structurale.[3,4]

Coeficientul reversibil al magnetizatiei în raport cu temperatura, α_M, poate fi masurat si calculat functie de câmpul magnetic aplicat pentru magnetii perfect anizotropi tip $Nd_2Fe_{14}B$, Sm_2Co_{17} si $SmCo_5$.

Coeficientul reversibil al temperaturii α_M caracterizeaza stabilitatea la temperatura a magnetizatiei magnetilor permanenti si, în general, este definita prin magnetizatia remanenta sau magnetizatia de saturatie.
In practica este definit conform relatiei:

$$\alpha_M = \frac{M(T) - M(20^oC)}{M(20^oC).(T - 20^oC)}.10^6 \qquad (\text{ppm/}^oC) \quad (1)$$

In practica, se pot reduce pierderile ireversibile într-un circuit cu magneti permanenti prin alegerea unui material magnetic cu o curba de demagnetizare B(H) dreapta si un câmp coercitiv mare la temperatura ambianta. Stabilitatea este realizata daca punctul de lucru al circuitului se afla, la temperatura de utilizare, deasupra câmpului critic. Magnetii tip $SmCo_5$ si Sm_2Co_{17} poseda o buna stabilitate termica pâna la aproximativ 250°C, respectiv 300 – 350° C.

Performantele magnetilor NdFeB la temperaturi ridicate sunt limitate datorita temperaturii Curie scazute, $T_C \sim 310^oC$, efectul fiind acela al descresterii proprietatilor magnetice cu temperatura, în special a câmpului coercitiv intrinsec ${}_JH_C$. Studiile întreprinse pentru a vedea efectul diverselor adaosuri asupra proprietatilor intrinseci ale compusului $Nd_2Fe_{14}B$ au gasit solutii practice care permit utilizarea magnetilor NdFeB pâna la aproximativ 200° C.

In multe aplicatii sunt necesare temperaturi extreme, ridicate sau coborate, de aceea este necesar ca proiectantii sa cunoasca pierderile ireversibile ale fluxului dupa o prima încalzire sau racire si, de asemenea, pierderile ulterioare la temperatura ridicata sau coborata. In continuare este prezentat un studiu al dependentei de temperatura si de perioada de expunere la temperatura ridicata pentru fluxul magnetic (circuit deschis), figura 1, precum si al curbelor de demagnetizare, figurile 2, 3.

In practica, pierderile ireversibile de 5 % sunt acceptabile, dimensiunile magnetilor si temperatura de functionare trebuind sa fie limitate. In orice circuit magnetic trebuie luat în considerare efectul global al expunerii la temperaturi mai mari de 100°C asupra câmpului coercitiv al inductiei, ${}_BH_C$, asupra câmpului coercitiv intrinsec, ${}_JH_C$, si asupra inductiei remanente, B_r. Se poate spune, de asemenea, ca pierderile ireversibile la temperatura ridicata sunt invers proportionale cu valoarea câmpului coercitiv al inductiei, ${}_BH_C$, pentru fiecare tip de material.[5,6]

Din figura 1 se poate observa relatia directa dintre pierderile de flux în timp (> 1 h), functie de temperatura de expunere si permeanta. Pierderile sunt dependente de valorile ${}_BH_C$ si H_C, astfel încât magnetii realizati din acelasi tip de material, dar cu caracteristici magnetice mai bune vor avea pierderi mai reduse.

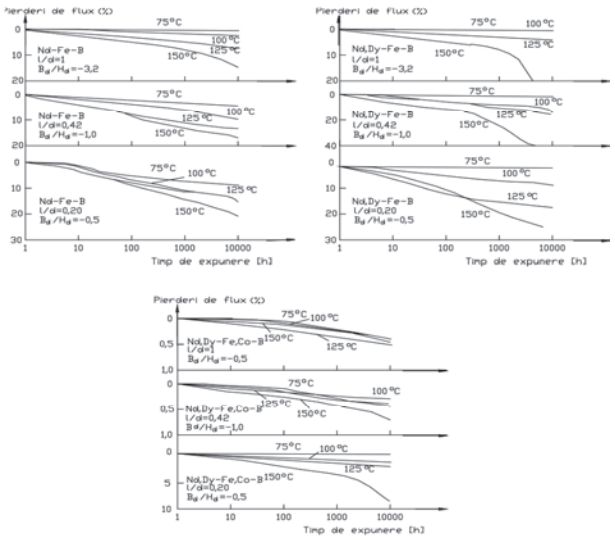


Fig. 1 Relatia intre pierderile de flux in timp, functie de temperature de expunere si permeanta

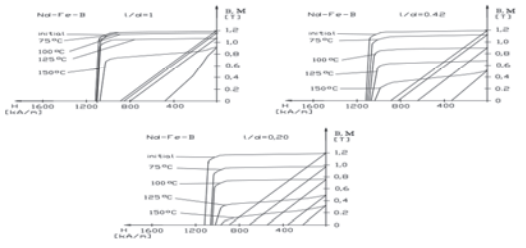


Fig. 2 Stabilitatea termica pentru perioade > 5000 h, în circuit deschis, ale fluxului, functie de temperatura de expunere 75 - 150°C si permeanta

In figura 2 sunt prezentate curbele de demagnetizare înainte si dupa expunerea la temperatura ridicata functie de tipul magnetului si geometria acestuia. Combinând efectul datorat pierderilor ireversibile cu cel al expunerii la temperatura ridicata, se poate spune ca în conditii de temperatura T<100°C sunt acceptabile toate tipurile de materiale prezentate. Se observa de asemenea ca valorile H_{cB} ramân aproape constante (modificari <10%), chiar dupa expuneri de 5000 ore forma curbei de demagnetizare ramâne aproape neschimbata.

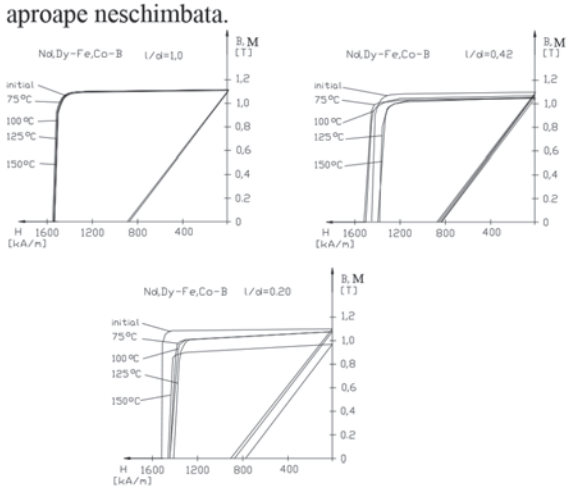


Fig. 3 Modificarea curbelor de demagnetizare dupa un timp >5000 h, functie de compozitia materialului, temperatura, raportul l/d ce da permeanta circuitului deschis B/H = - 3,2;-1,0; - 0,5

Din cele prezentate mai sus se constata ca magnetii cu punct de permeanta ridicat creaza pierderi ireversibile acceptabile, < 3 %, dupa prima ora de expunere, pentru temperaturi situate în intervalul 75 - 125 °C. Odata cu descresterea permeantei si cresterea temperaturii, se constata pierderi ridicate, acest lucru putându-se observa si în cazul magnetilor ce contin Dy. Adaosuri de Co si Dy determina scaderi ale pierderilor initiale < 0,5 % la aceeasi temperatura.

Se poate concluziona ca magnetii NdFeB cu sau fara Dy au aproximativ aceeasi comportare la temperatura ridicata, adaosul de Co determinând o scadere a pierderilor.[10,11]

3. COMPORTAREA MAGNETILOR PERMANENTI CU PAMANTURI RARE LA SOLICITARI MAGNETICE

Magnetii permanenti sunt deseori solicitati sa lucreze în vecinatatea unor câmpuri magnetice externe, iar aceste câmpuri influenteaza câmpul creat de magnet în întrefier. In realizarea circuitelor magnetice cu magneti permanenti trebuie tinut cont de acest lucru, si trebuie minimizat efectul câmpului demagnetizant.

Magnetii pot fi folositi în dispozitive care functioneaza în conditii statice sau dinamice. In cel de-al doilea caz, în timpul functionarii se poate modifica câmpul propriu de demagnetizare sau asupra acestuia pot actiona câmpuri externe variabile

Prin introducerea în circuit a unui întrefier (cu aer) se creaza în magnet un câmp demagnetizant, H_d, opus magnetizarii initiale a probei. Câmpul de demagnetizare este proportional cu magnetizatia:

$$H_d = -N \cdot \mu_o \cdot M = -N\left(\frac{B}{\mu_o} - H\right) \quad (2)$$

Factorul de demagnetizare N depinde de forma magnetului si are valori cuprinse între 0 si 1. Relatia:

$$B = \mu_o \cdot (H - 1/NH_d) \quad (3)$$

reprezinta linia de permeanta în circuit deschis. Intersectia acesteia cu curba de demagnetizare determina punctul de lucru (B_d, H_d) al circuitului deschis al magnetului. Pe masura ce magnetul este mai scurt (*l*/d mai mic), creste câmpul de demagnetizare si scade valoarea inductiei. Astfel, punctul de lucru în circuit deschis se deplaseaza pe curba de demagnetizare, de la o valoare apropiata de B_r, pentru magneti lungi, la o valoare mai mica, B. Pentru a obtine informatii asupra proprietatilor magnetice ale unui magnet, este suficienta cunoasterea inductiei B_d, câmpul H_d putându-se calcula cu relatia:

$$H_d = \frac{B_d}{\mu_o (1 - N)} \quad (4)$$

Valorile pentru factorul de demagnetizare N se pot calcula cu relatiile:

$$N = \frac{1}{m^2 - 1}\left[\frac{m}{\sqrt{m^2 - 1}} \ln\left(m + \sqrt{m^2 - 1}\right) - 1\right] \quad (5)$$

- elipsoid alungit

$$N = \frac{1}{2}\left[\frac{m^2}{(m^2 - 1)^{3/2}} \arcsin\frac{\sqrt{m^2 - 1}}{m} - \frac{1}{m^2 - 1}\right] \quad (6)$$

- elipsoid aplatizat

m = *l*/d.

Au fost efectuate numeroase calcule pentru determinarea valorilor factorului de demagnetizare N, valorile acestuia fiind date în nomograme si tabele.

Proiectarea unui circuit consta în determinarea lungimii si ariei magnetului pentru ca acesta sa produca în întrefier fluxul dorit. Fluxul total pe care trebuie sa-l asigure magnetul este suma dintre fluxul util si pierderile de flux din circuit. Tinând seama de acestea, în proiectare se iau în considerare doi factori de corectie: k_1 - fluxul magnetizat/fluxul în întrefier si k_2- tensiunea magnetomotoare (fmm) magnet/fmm întrefier.

Deci: $\Phi_m = k_1 \cdot \Phi_{int}$; $U_{mm,\,m} = k_2 \cdot U_{mm.omt}$ (7)

(m - magnet, int - întrefier)

Aceste relatii se pot scrie:

$$\Phi_m = B_m . S_m = k_1 . B_{int} . S_{int}$$

$$U_{mm,m} = -H_m . l_m = -k_2 . B_{int} . l_{int} \mu_o^{-1} \quad (8)$$

De aici se pot determina lungimea, sectiunea si volumul magnetului:

$$S_m = k_1 . \frac{B_{int}}{B_m} . S_{int} \quad (9)$$

$$l_m = -\frac{k_2 . B_{int} . S_{int}}{\mu_o . H_m} \quad (10)$$

$$V_m = -\frac{k_1 . k_2 . B_{int}^2 . V_{int}}{\mu_o (B_m . H_m)} \qquad (11)$$

Pentru un volum dat al magnetului, intensitatea cea mai mare a inductiei în întrefier se obtine atunci când energia specifica ($B_m \cdot H_m$) este maxima.

Unghiul pe care îl face dreapta ce uneste originea cu punctul de lucru este dat de:

$$tg\theta = \frac{B_m}{\mu_o H_m} = -\frac{k_1 \cdot S_{int} \cdot l_m}{k_2 \cdot S_m \cdot l_{int}} \qquad (12)$$

Daca asupra unui magnet permanent actioneaza un câmp extern echivalent cu câmpul coercitiv, acesta nu va genera în întrefier niciun flux magnetic. Daca câmpul extern este mai mare decât H_c, polaritatea câmpului magnetic generat de magnet se va inversa. La îndepartarea acestui câmp, magnetul va avea polaritatea initiala daca câmpul aplicat nu a depasit valoarea lui ${}_JH_c$. La cele mai multe materiale magnetice valorile câmpurilor H_c si ${}_JH_c$ sunt destul de apropiate, ele diferind magnetii din clasa feritelor dure, aliaje Co – Pt si magneti permanenti cu pamânturi rare.

La magnetii permanenti cu pamânturi rare valoarea câmpului demagnetizant ar trebui sa fie foarte mare (>> H_c) pentru ca acesta sa influenteze în vreun fel caracteristicile magnetice ale magnetului permanent. Magnetii permanenti pe baza de pamânturi rare sunt suficient de stabili la câmpuri demagnetizante.

Demagnetizarea magnetilor permanenti cu pamânturi rare nu se poate realiza în totalitate numai prin actiunea unui câmp extern, iar demagnetizarea prin încalzirea la temperaturi ridicate poate conduce la degradarea structurala a magnetului. Pentru demagnetizarea magnetilor permanenti cu pamânturi rare se foloseste actiunea combinata a temperaturii si câmpului extern. S-a evidentiat ca este posibila o demagnetizare termica prin încalzirea magnetului la o temperatura mai mica cu 125°C decât T_C (550°C la $SmCo_5$ si 200°C la NdFeB). Astfel, prin actiunea concomitenta a temperaturii si a câmpului extern, este posibila demagnetizarea magnetului la temperaturi mai joase (pentru $SmCo_5$ – 450°C, respectiv 125°C pentru NdFeB) si 100 kA/m. Cele mai bune rezultate se evidentiaza prin remagnetizari în câmpuri de 1200 kA/m.

4. EFECTUL TENSIUNILOR MECANICE

Magnetii permanenti, pe lânga influenta câmpului demagnetizant propriu prezinta pierderi de flux datorate socului mecanic sau vibratiilor, acestea fiind proportionale cu amplitudinea undelor de soc. Din studiile efectuate pâna în prezent s-a constatat ca este foarte dificil sa se gaseasca o corelatie între comportarea diferitelor materiale la actiunea solicitarilor mecanice datorita variatiei conditiilor experimentale si a diferentelor în producerea undelor de soc.

Din punct de vedere fizic, mecanismul pierderilor ireversibile datorate solicitarilor mecanice este asemanator cu acela al pierderilor datorate variatiei termice. Toate experimentele efectuate au pus în evidenta faptul ca propagarea undelor de soc în magnetii permanenti conduce la modificari mici ale magnetizatiei, ce descresc rapid spre o valoare limita odata cu cresterea numarului de cicluri efectuate. S-a constatat de asemenea ca pierderile de flux sunt mult mai mici în materialele magnetice a caror forta coercitiva este mare.

Pentru magneti cu pamânturi rare (PR) se tine cont ca pierderile datorate solicitarilor mecanice sunt invers proportionale cu valoare câmpului coercitiv si astfel putem spune ca magnetii cu pamânturi rare au o foarte buna comportare la acest tip de solicitari din punct de vedere magnetic. Pentru magnetii permanenti cu PR nu s-au efectuat încercari la socuri mecanice deoarece se cunoaste faptul ca acesti magneti sunt foarte fragili si casanti datorita microstructurii lor sub forma de graunti .

5. INFLUENTA ALTOR FACTORI ASUPRA STABILITATII MAGNETILOR PERMANENTI CU PAMANTURI RARE

5.1 Stabilitatea structurala

In modificarea stucturala a magnetilor permanenti cu pamânturi rare (PR) pot fi distinse trei procese: îmbatrânirea prin oxidare selectiva, îmbatrânirea suprafetei ce conduce la o nucleatie mai usoara a stratului de suprafata si îmbatrânirea structurala interioara. a. Pentru analiza procesului de oxidare selectiva a fost studiat stratul de suprafata. Elementele PR sunt foarte reactive, oxigenul difuzeaza în material, determinând o oxidare selectiva a stratului de suprafata.

Valorile mai scazute ale parametrilor k(T) pentru magnetii NdFeB semnifica faptul ca acestia au o stabilitate mai buna la oxidare în aer uscat si ca acestia ar putea fi utilizati în conditii de mediu uscat fara a fi protejati.[3,4]

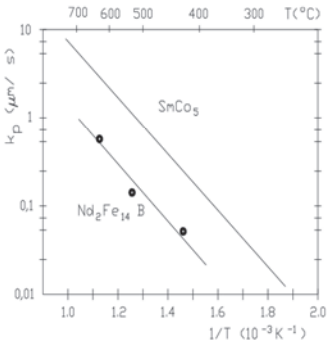


Fig. 4 Curba de oxidare Arrhenius k(T) pentru magneti NdFeB si $SmCo_5$

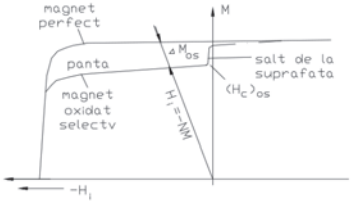


Fig.5 Reprezentarea schematica a efectului oxidarii selective

Acest comportament se poate schimba daca magnetii sunt expusi în medii agresive. In asemenea conditii pot fi activate reactii electrochimice locale create la jonctiunea dintre grauntii matricii magnetice si cea a fazei intergranulare. Aceasta reactie este puternic influentata de temperatura de utilizare si umiditatea mediului. Pentru a evita acest lucru, în general, magnetii sunt protejati prin acoperiri de protectie a suprafetei.

Straturile de suprafata ale magnetilor au o coercivitate mai mica decât magnetul initial, ca urmare magnetizatia poate fi inversata de câmpul de demagnetizare al magnetului. Aceasta se poate evidentia în special la majoritatea magnetilor montati într-un circuit deschis. Modificarea brusca este localizata în primul cadran si contribuie în întregime la îmbatrânire.

5.1.2 Coroziunea magnetilor permanenti cu pamânturi rare

Coroziunea magnetilor NdFeB poate determina scaderea proprietatilor lor magnetice, cât si deteriorarea circuitelor în care sunt introdusi datorita pulberii metalice fine ce se formeaza la suprafata magnetului datorita oxidarii. O crestere a rezistentei la coroziune poate fi obtinuta prin diverse acoperiri, placari si tratamente de suprafata. Pe lânga acoperire trebuie luata în seama si rezistenta la coroziune a magnetilor neacoperiti care servesc ca substrat la acoperiri. Coroziunea care începe la suprafata se accelereaza exponential în timp, în functie de geometria magnetului.

Adaosul de Al, Dy, Co, Zr este însotit de modificarea proprietatilor magnetice si determina de obicei o scadere a inductiei remanente B_r si a energiei specifice maxime $(BH)_{max}$.

Cu toate ca rezistenta la coroziune poate fi crescuta cum a fost mentionat mai sus, totusi magnetii sunt afectati de alti factori, cum ar fi continutul de oxigen, carbon, azot. Se poate spune ca se obtine un minim al coroziunii când continutul de oxigen este cuprins între 0,6-1,2%, 0,06-0,14% carbon si 0,05-0,10 % azot.

5.1.3 Acoperiri de protectie

Pentru a evita efectul corodarii, se recomanda în general o acoperire ca protectie a suprafetei magnetilor. Acoperirile sunt aplicate magnetilor tip NdFeB pentru a satisface urmatoarele cerinte:

- protectia anticoroziva necesara în cazul în care exista un pericol de deteriorare într-un mediu agresiv. Compozitia aliajului utilizat este foarte importanta în comportarea magnetilor permanenti pe baza de PRFeB; la o influenta coroziva, cea mai mare importanta o are modul de prelucrare a suprafetei;
- se recomanda absenta particulelor detasabile, un exemplu îl constituie utilizarea magnetilor pentru cititoare de disc.

Printre tehnicile de acoperire des utilizate se pot mentiona: acoperirea chimica, acoperirea cu rasina epoxi prin electroforeza, acoperirea prin galvanizare; protejarea prin depunere fizica sau chimica din vapori, acoperirea prin pulverizare.

Aliajele NdFeB sunt foarte susceptibile atât la atacul chimic, cât si la cel coroziv al mediului ambiant, rezultând corodarea aliajului si deteriorarea proprietatilor fizice si magnetice. Rezultate foarte bune pentru prevenirea coroziunii de catre mediul înconjurator o au acoperirile prin depunere ionica de vapori de aluminiu, respectiv acoperirea cu rasina prin electroforeza.[4,9]

5.2 Efectul vâscozitatii si al relaxarii

Variatia în timp a magnetizatiei de saturatie a magnetilor permanenti este în principal datorata procesului de activare termica. Intr-un cristalit, un volum ν care nu este magnetizat la saturatie poate fi creat în anumite conditii de câmp si temperatura un volum denumit si volum de activare. In cazul aplicarii unui câmp magnetic slab, volumul ν creat dispare. Daca câmpul este mai puternic decât H_c, ν se extinde la întregul volum. Daca unui feromagnet magnetizat la saturatie i se aplica un câmp magnetic invers de intensitate ridicata pe directia de magnetizatie, se constata ca magnetizatia variaza aproximativ proportional cu logaritmul timpului (ln t), variatia poate fi exprimata prin expresia:

$$M(t) = M(0) - S_o \cdot \ln t \qquad (13)$$

unde S_o este vâscozitatea magnetica.

Din relatia de mai sus se poate spune ca câmpul de fluctuatie magnetica nu depinde de câmpul aplicat, totusi este incorect sa spunem despre câmpul de fluctuatie ca este independent de câmpul aplicat.

Susceptivitatea ireversibila χ^{ir} este modificarea diferentiala în magnetizatie ireversibila odata cu câmpul aplicat datorita relaxarii momentelor în lungul barierelor de energie. Modificarea ireversibila a magnetizatiei este proportionala cu modificarea momentului remanent masurat dupa ce câmpul aplicat a fost adus la zero.

Coeficientul de fluctuatie, H_f - notat si cu S_V, este determinat de coeficientul vâscozitatii prin ecuatia:

$$H_f = S/\chi^{ir} \qquad (14).$$

Derivata energiei de activare $(\partial E/\partial H)_T$ poate fi scrisa ca fiind: $(\partial E/\partial H)_T = - KT/H_f$ (15).

O valoare aproximativa a volumului de activare pentru o anumita temperatura poate fi obtinuta usor utilizând conceptul Louis Neel, rezulta:

$$V = (\partial E/\partial H)_T/M_S \qquad (16)$$

Studiul vâscozitatii conduce în general la o mai buna întelegere a mecanismului coercivitatii.

Principalele curbe de remanenta sunt curba de demagnetizare $M_d(H)$ masurata în starea initiala de magnetizare la saturatie si izoterma de magnetizare remanenta $M_r(H)$ masurata la o stare de demagnetizare termica. Pentru un sistem monodomenial, în care particulele nu interactioneaza între ele, putem spune ca:

$$M_d(H) = 1 - 2\, M_r(H) \qquad (17)$$

Aceasta relatie are loc în magnetii permanenti pe baza de PR sinterizati, unde nu au loc interactii între graunti

si exista o dispunere uniforma a distributiei defectelor responsabile de nucleere si deplasarea peretilor de domeniu.

5.3. Efectul radiatiilor cu neutroni asupra proprietatilor magnetice ale magnetilor permanenti cu pamânturi rare

Studiul comportarii la radiatii a magnetilor permanenti a aparut datorita posibilitatii utilizarii acestora în diverse aplicatii, inclusiv în acceleratoare de particule, în anii '60. Utilizarea magnetilor permanenti în locuri unde acestia sunt expusi la fluxuri de particole de mare energie poate conduce la degradarea proprietatilor magnetilor permanenti. Un studiu al comportarii magnetilor NdFeB la radiatii a fost facuta la reactorul Omega West, Los Alamos National Lab.. Mai întâi a fost studiat efectul iradierii cu protoni, 500 MeV, aceasta determinând o scadere a inductiei cu 55% dupa o doza de aprox. 10^{14} p/cm^2 la 70^{o}C. Pierderi atât de mari dupa o expunere destul de scurta a materialului, a determinat un studiu mai aprofundat în vederea utilizarii acestuia în medii radioactive.

Iradierea cu radiatii ionizante nu are efecte negative asupra proprietatilor magnetilor permanenti pe baza de pamânturi rare dupa iradiere, acestia pastrându-si radioactivitatea doar pentru scurt timp. O metoda de realizare a magnetilor permanenti NdFeB cu liant dezvoltata de ICPE-CA utilizeaza iradierea cu radiatii γ s matricii polimerice [7,8,11].

6. CONCLUZII

S-a prezentat un studiu privind influenta diferitilor factori asupa magnetilor permanenti pe baza de pamanturi rare (temperatura, câmpuri demagnetizante, solicitari mecanice, coroziune, radiatii, efectul relaxarii si vâscozitatii), precum si unele metode pentru preîntâmpinarea efectelor negative ale acestora.

In cercetarile ce se fac în vederea realizarii magnetilor permanenti, se urmareste atât cresterea performantelor magnetice ale acestora (inductie remanenta, câmp coercitiv, energie specifica maxima), cât si a temperaturii maxime de utilizare si a rezistentei fata de diversi agenti corozivi.

Temperatura maxima de utilizare pentru magnetii tip NdFeB, 100-180ºC. Cresterea temperaturii maxime de functionare, practic marirea stabilitatii la temperatura se realizeaza în general prin înlocuirea partiala a elementelor compusului de baza sau doparea acestuia cu alte elemente de tranzitie.

Pentru magnetii NdFeB, stabilitatea ridicata la temperatura se obtine prin adaugarea a diferite procente masice de $DyAl_2$, $DyFeAl_2$, Dy_2O_3, CoAl, V. Adaosul elementelor de tranzitie Al, V, precum si a Dy au rol deosebit în cresterea anizotropiei magnetocristaline, influentând favorabil procesele de reversare a magnetizatiei în vederea obtinerii unor valori ridicate ale câmpului coercitiv intrinsec si implicit o stabilitate mai ridicata la temperatura.

Din cele prezentate se poate constata o foarte buna rezistenta a acestor magneti la câmpuri demagnetizante, aceasta datorita valorii ridicate a câmpului coercitiv si a formei rectangulare pentru curbele de demagnetizare. Acest lucru îi recomanda a fi utilizati în circuite cu câmpuri demagnetizante de valori ridicate.

Comportarea magnetilor la solicitari mecanice, din punct de vedere magnetic este foarte buna; probleme de ordin mecanic se ridica doar din cauza fragilitatii acestora, datorita structurii, acestia fiind foarte casanti. Magnetii permanenti pe baza de pamânturi rare sunt foarte putin rezistenti la agenti corozivi, de aceea pentru realizarea unor protectii anticorozive cât mai bune s-au efectuat si se efectueaza în continuare numeroase studii, domeniile de utilizare a acestor magneti in industria aeronautica fiind de obicei in incinte inchise ermetic sau climatizate.

BIBLIOGRAFIE

[1] I. Aron, V. Paun, Echipamentul electric al aeronavelor, Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1980.

[2] W. Kappel, M. M. Codescu, S. Jipa, Magneti permanenti, Ed. Printech, Bucuresti, 2006

[3] M. M. Codescu, W. Kappel, N. Stancu, Magneti permanenti pe baza de NdFeB, Ed. Printech, Bucuresti, 2006

[4] W. Kappel, M. M. Codescu, D. Popa, N. Stancu, Evaluation of the Corrosion Behavior of the Permanent Magnets based on Rare Earths, used in Aeronautical Industry, J. of Optoel.& Adv.Mat., 8 , 2, 2006, 523- 526

[5] H.F. Mildrum, G.M.Umana, Elevated Temperature Behavior of Sintered "NdFeB Type" Magnets, IEEE Trans. on Mag., 24, 5, (1988), 1623-6

[6] D.Popa, M.M. Codescu, I. Circiu, Magneti permanenti utilizati in aeronautica, Ed. Academiei Fortelor Aeriene “H. Coanda”, 2011

[7] R. Setnescu, T. Setnescu, S. Jipa, W. Kappel, M. Dumitru, M. M. Codescu, N. Stancu, T. Zaharescu, Magnetic Flexible Material containing Microcrystalline NdFeB Powder, J. of Optoel.& Adv.Mat, 8, 2, (2006) 533–7

[8] Setnescu, R., Kappel, W., Jipa, S., Codescu, M. M., Alexandru, St., Setnescu, T., Dumitru, M., Mihalcea, I., Procedeu de obtinere a magnetilor aglomerati cu liant organic, brevet de inventie nr. RO 115997 B1/2000

[9] M. M. Codescu, W. Kappel, M. Dumitrache, D. Popa, Corrosion tests on alloys and permanent magnets based on NdFeB, used in aerospace industry, J. of Optoel.& Adv.Mat, 10, 4, (2008), 790-3

[10] W. Kappel, M. M. Codescu, D. Popa, Losses in Sintered NdFeB Magnets, Rom. Rep. in Phys., 56, 3, (2004), 391 – 8

[11] W. Kappel, M. M. Codescu, D. Popa, The influence of the Postsintering Treatment on the Magnetic Properties of (Nd,Dy)(Fe,Al)B Permanent Magnets, Rom. Rep. in Phys., 56, 3, (2004), 399–403

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secțiunea II

„ CONVERSIA, STOCAREA ȘI UTILIZAREA ENERGIEI “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Nicolae Golovanov
- Acad. Viorel Bostan
- Prof. dr. ing. Ion Vișa

II.01. *Ionel M. Dan,* **Dezvoltări recente în domeniul technologiei stocării energiei electrice – perspective din SUA**.....45

II.02. *Nicolae Golovanov, Andrei Marinescu* **Alimentarea cu energie electrică a centrelor de încărcare a vehiculelor electrice într-o reţea inteligentă**.....50

II.03. *Ioan Stefănescu, Mihai Varlam, Elena Carcadea, Mihai Culcer,* **Integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații mobile și staționare**.....55

II.04. *Nicolae Vasiliu, Daniela Vasiliu, Constantin Călinoiu, Toma Cojocaru-Greblea,* **Dynamic performance of the hybrid electrohydraulic servo systems**.....61

DEZVOLTĂRI RECENTE ÎN DOMENIUL TECHNOLOGIEI STOCĂRII ENERGIEI ELECTRICE – PERSPECTIVE DIN SUA

Prof. dr. ing. Ionel M. DAN

SPARK Laboratory and PEIK Institute, University of Kentucky, Lexington, KY, USA

REZUMAT. Pe plan mondial, stocarea energiei electrice este un factor esențial pentru dezvoltarea sistemelor electrice și energetice ale viitorului, pentru sporirea penetrării energiilor neconvenționale și instalarea tehnologiilor moderne pentru rețelele electrice. În introducere, lucrarea prezintă pe scurt dezvoltări majore in domeniu din SUA care includ participarea organizațiilor guvernamentale, a companiilor energetice si industriale si a universităților. Exemplele de tehnologie incluse în lucrare provin din proiecte de cercetare curente ale institutului PEIK de la Universitatea din Kentucky și includ o stație de demonstrație experimentala cu baterii Li-ION de mare putere si energie (1MW/2MWh) împreună cu electronica de putere aferenta, sarcini electrice controlabile, o fermă solară fotovoltaică PV de 10MW și sistem avansat SCADA. Un alt exemplu provine de la un proiect de cercetare pentru clădiri rezidențiale neutre din punct de vedere energetic (CNE), încorporând instalații PV, sisteme hibride de stocare a energiei în baterii electrice staționare, vehicule electrice, și rezervoare de apă caldă, precum și controlere speciale care să opereze clădirile ca generatoare sau receptoare de putere constantă pe durate de timp relativ mari. Concluziile includ un scurt punct de vedere asupra dezvoltărilor anticipate în domeniu.

Cuvinte cheie: sistem energetic, instalații fotovoltaice (PV), baterie, stocarea energiei electrice.

ABSTRACT. Recent Developments in Electric Energy Storage Technologies–USA Perspectives. Electric energy storage, as a key enabler for future power system developments, increased penetration of renewable energy, and deployment of smart grid technologies, represents a major topic of research and development worldwide. Major developments on the subject matter in the USA involving government organizations and consortia of utilities, companies and universities, are briefly reviewed in the introduction. The technology specific examples covered in the paper are provided from the ongoing PEIK research at University of Kentucky. These include a large 1MW 2MWh Li-ION battery field demonstrator with associated power electronic converters, controllable electric test loads, and an advanced SCADA system, developed as part of a joint project with the national Electric Power Research Institute (EPRI), and including Kentucky's largest utility, LG&E/KU, and with other US utilities. The experimental facilities are located on the same site with a 10MW PV farm, large coal and natural gas power generation plants and transmission substations. Another example will be represented by a Department of Energy (DOE) sponsored project for Net Zero Energy (NZE) homes, involving leading OEM companies and PEIK. The concepts researched involve the use of PV arrays, hybrid energy storage systems with combined stationary and electric vehicles batteries and water heaters, and special virtual power plant (VPP) controls for operating the homes as dispatchable generators with constant power generation or absorption over relatively large time durations. The presentation will conclude with a point of view on anticipated developments in the field.

Keywords: power system, smart grid, photovoltaic (PV), power plants, battery, electric energy storage.

1. INTRODUCERE

În ultima decadă, numărul și capacitatea instalațiilor de stocare a energiei electrice au crescut semnificativ. Motivațiile principale includ extinderea tehnologiilor moderne pentru rețelele electrice de mare fiabilitate și eficiența, precum și sporirea penetrării energiilor neconvenționale în sistemele energetice. În SUA la sfârșitul anului 2017, capacitatea totală instalată național in baterii de mare putere și/sau energie era de 708 MW și 867 MWh. Începând cu 2003, marea majoritate a noilor sistemelor instalate în SUA a fost bazată pe stocarea electrochimică în baterii, iar la ora actuală 80% dintre acestea sunt de tipul Li-ION [1].

Aproximativ 40% din puterea marilor baterii și 30% din energia lor este amplasată în sistemul Pennsylvania – New Jersey – Maryland – Inter-connection (PJM), care coordonează piețele de energie, capacitate și transmisie în 13 state din estul SUA și în Washington DC. PJM a creat și operat începând din 2012 o nouă piață pentru controlul frecvenței pentru resurse cu răspuns rapid. Pentru astfel de aplicații, bateriile de putere mare pot avea energie relativ redusă și sunt operate în regimuri transiente rapide de încărcare și

descărcare care să mențină frecvența electrică a rețelei între limite foarte restrânse.

În contrast, instalațiile din teritoriul de serviciu pentru California Independent System Operator (CAISO) reprezintă numai 18% din puterea totală a sistemelor de stocare din SUA dar au 44% din energia totală. Sistemele CAISO, care au energie relativ mare, sunt capabile să funcționeze în mai multe aplicații decât cele din PJM, incluzând multe în domeniul energiilor neconvenționale [1]. Unul dintre cele mai mari demonstratoare experimentale de baterii din SUA este reprezentat de unitatea de 8MW/32MWh instalată de compania energetică Southern California Edison cu suport de la Ministerul Energiei din SUA (Department of Energy, prescurtat DOE), cu participarea industrială a companiilor LG Chem și ABB și academică de la California Polytechnic.

In SUA, un proiect național major coordonat de DOE este SunShot, care are ca obiective soluționarea impedimentelor principale pentru dezvoltarea pe scară largă a energiei fotovoltaice (PV) la o putere totală de 100GW [2]. Domeniile tehnice și economice vizate includ controlul fermelor PV mari cât și a instalațiilor PV rezidențiale și pentru clădiri comerciale. Și în acest caz, se estimează că stocarea energiei electrice, de această dată în unități mult mai mici, care încă sunt încă rare in SUA, va fi esențială și ca urmare necesită cercetări și dezvoltări sistematice.

Procesul de dezvoltare al tehnologiilor de stocare a energiei electrice pentru clădiri și rețele de distribuție este accelerat de hotărârea aprobată de California Energy Commission ca începând cu 2020 toate noile clădiri construite în California să fie neutre din punct de vedere energetic. Ca urmare, toate clădirile noi vor avea instalații PV de putere relativ mare, și cum prețul energiei electrice este variabil în timpul zilei, este așteptată proliferarea de noi sisteme, de tipul celui promovat de Tesla prin bateria Powerwall [3].

2. SISTEM CU BATERIE ELECTRICĂ (BAE) LI-ION DE MARE PUTERE SI ENERGIE

Această secțiune a lucrării descrie pe scurt cercetări avansate legate de o nouă stație experimentală dezvoltată de institutul național Electric Power Research Institute (EPRI) aflat la conducerea unui consorțiu de companii energetice, incluzând cea mai mare astfel de companie din statul Kentucky, LG&E/KU, pe una din locațiile căreia, numită EW Brown, au fost amplasate instalațiile aferente. Grupul de cercetare SPARK din cadrul PEIK de la University of Kentucky contribuie științific la această inițiativa în special pentru modelari matematice și simulări numerice, cum ar fi, de exemplu, cele descrise în referințele recente [4-6].

Sistemele cu baterii electrice (BAE) Li-ion de mare putere includ două subsisteme majore: unitatea de stocare a energiei, reprezentată de bateria care conține celule multiple conectate în serie și paralel, și convertizorul de electronică de putere. La stația experimentală EW Brown, bateria de 1MW/2MWh și sistemul ei de control sunt amplasate în incinte climatizate cu aer condiționat (HVAC) și protejate contra incendiilor. Electronica de putere, constând dintr-un convertizor AC/DC bidirecțional, este plasată într-o altă incintă învecinată, se conectează la un transformator de tensiune medie și de acolo la rețeaua electrică sau, opțional, la un banc de sarcini RLC pasive controlabile (Fig. 1 și 2).

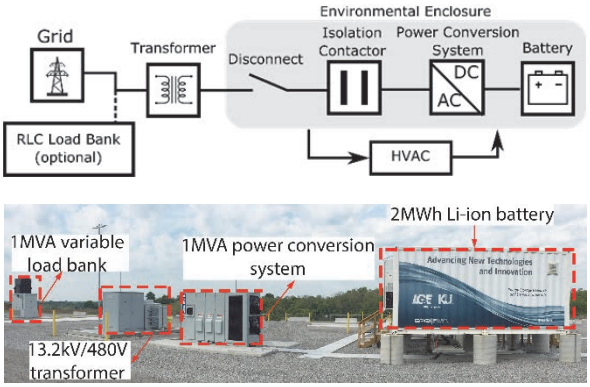


Fig. 1. Bateria, electronica de putere, transformatorul și sarcina RLC pasiva controlabilă de la stația experimentă EW Brown; schema de principiu (sus) și fotografie din teren [6].

Unul dintre proiectele de cercetare studiază metode avansate pentru îmbunătățirea calității puterii livrate la rețea. În special, în cazul unei înnorării bruște, puterea generată de PV scade extrem de rapid la valori foarte reduse ceea ce poate conduce la instabilități legate de variații ale tensiunii și frecvenței. Cu ajutorul unor noi algoritmi speciali, puterea activa și reactivă sunt controlate la nivelul convertizoarelor electronice de putere [4. 5]. Pentru controlul frecvenței, suportul de putere activă este asigurat de baterie care se descarcă atunci când frecvența este sub referință si se încarcă in caz contrar astfel încât variațiile de frecvență sunt reduse la nivel minimal (Fig. 3).

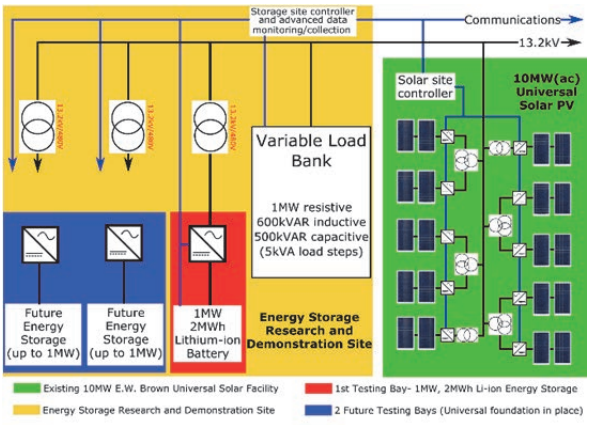


Fig. 2. Schema de principiu a stației experimentale EW Brown, incluzând o baterie de mare putere și energie Li-ion de 1MW/2Mh și o conexiune la o fermă PV de 10MW [5].

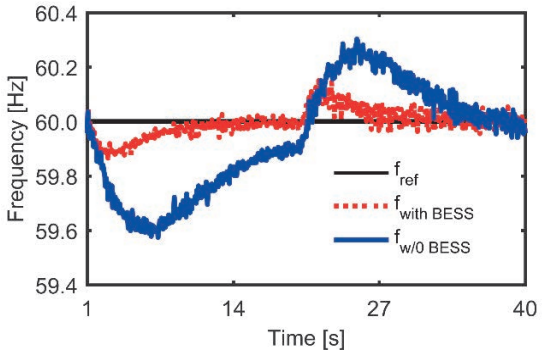


Fig. 3. Variațiile frecvenței din rețeaua electrică, care pot fi cauzate, de exemplu, de schimbări bruște a puterii PV generate din cauza vremii, pot fi minimizate utilizând metode de control speciale ale bateriei si electronicii de putere [4].

Un alt proiect de cercetare studiază dimensionarea și controlul optimal al sistemelor integrate cu BAE și PV. În principiu, BAE de mare energie pot fi folosite așa cum este reprezentat in Fig. 4 și o parte din energia solară din miezul zilei poate fi stocată astfel ca de-a lungul întregii zile si a nopții puterea transmisă la rețea să fie controlabilă la un nivel constant. O variantă a acestei proceduri poate fi de asemenea folosită pentru sporirea considerabilă a factorului de capacitate energetică a unei ferme PV.

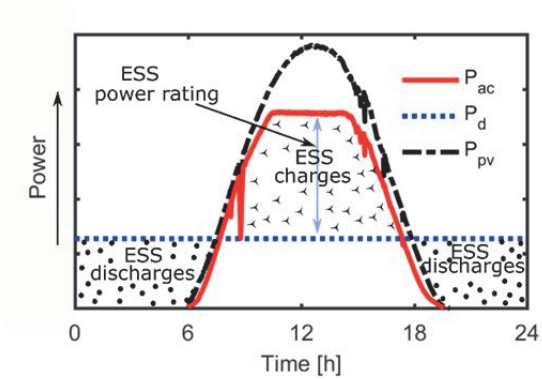


Fig. 4. Schematic illustration of an energy storage sizing method for 24h constant power operation [5].

Stația EW Brown folosește de asemenea ca una din bazele experimentale pentru dezvoltarea noului standard EPRI pentru încercări industriale și energetice ale bateriilor. Procedurile din noul standard pentru BAE sunt pentru performanțe si funcționalitate legate de încărcarea și descărcarea, inclusiv pentru cicluri lungi de ordinul orelor și zilelor, măsurarea precisă a eficienței de ciclu (round trip efficiency, RTE) controlabilitatea convertoarelor electronice de putere, monitorizarea sistemelor in curent continuu și alternativ etc.

Într-un efort paralel, laboratorul SPARK de la University of Kentucky dezvoltă noi metode pentru calculul parametrilor echivalenți ai BAE de mare putere și energie complementând literatura existenta care este bazată in principal pe extrapolări din baterii și celule de mici dimensiuni [6].

3. TECHNOLOGII PENTRU CLĂDIRI REZIDENȚIALE NEUTRE ENERGETIC (CNE)

Această secțiune a lucrării descrie pe scurt cercetări avansate legate de un proiect major condus și finanțat de Ministerul Energiei (Department of Energy – DOE) în Statele Unite, proiect care include participarea de companii hi-tech și de mari grupuri industriale. Cercetătorii din laboratorul SPARK din cadrul PEIK de la University of Kentucky contribuie științific la această inițiativă în special cu modelări matematice și simulări numerice, cum ar fi, de exemplu, cele descrise în referințele recente [7-8].

Eforturile de dezvoltare ale clădirilor rezidențiale neutre din punct de vedere energetic (CNE) sunt accelerate în prezent în SUA prin inițiative majore cum ar fi noile reglementări din cel mai populat stat, California. Conform acestora, începând din 2020 toate noile construcții rezidențiale trebuie să fie CNE. Astfel de cerințe necesită noi tehnologii atât pentru clădiri, cum ar fi instalații PV și de stocarea energiei, cât și pentru rețeaua energetică, cum ar fi de exemplu controlere virtuale de distribuția puterii electrice.

Proiecte preliminare de cercetare și demonstrație în ultimii ani, au inclus, de exemplu, in Kentucky un grup de douăsprezece case (Fig. 5). Acestea au fost proiectate nu numai pentru CNE, dar și pentru costuri de construcție și întreținere cât se poate de mici, potrivite pentru locatari cu venituri reduse. Proiectarea inițială a inclus simulări detaliate ale clădirilor și consumului energetic. Datele achiziționate online la ora actuală sunt folosite pentru validarea și calibrarea modelelor matematice.

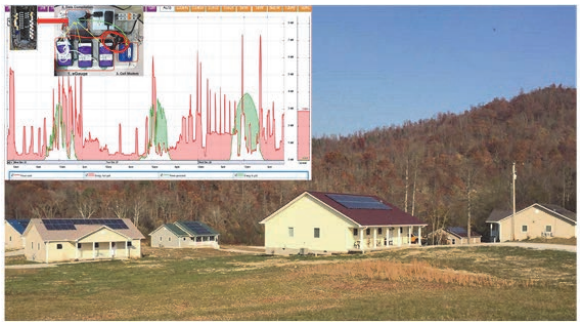


Fig. 5. Grup de case neutre energetic (CNE) dezvoltate în sudul statului Kentucky și echipate cu aparatură experimentală și sisteme de achiziție de date on line.

Grupul de cercetare SPARK a dezvoltat modele matematice specifice pentru co-simularea detaliată a clădirilor împreună cu rețelele electrice de distribuție. Pachetul software elaborat în acest scop pentru medii HPC și supra computere a fost intitulat INSPIRE+D și reprezintă o implementare originală integrată în Python folosind pentru ”computational engines” EnergyPlus de la Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) și OpenDSS de la Electric Power Research Institute (EPRI), după cum este ilustrat schematic în Fig. 6. INSPIRE+D include un nou modul de optimizare, care

a fost dezvoltat și demonstrat cu succes pentru minimizarea energiei nominale și a costurilor bateriilor electrice instalate în case CNE [7] și de asemenea pentru determinarea beneficiilor posibile in sistemul de tranzacționare a energiei electrice „peer-to-peer” între casele CNE dintr-o rețea de distribuție [8].

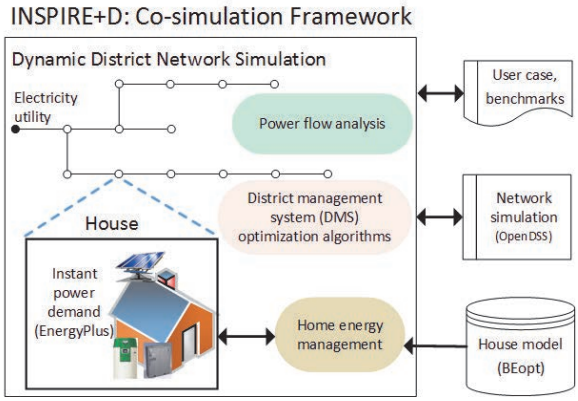


Fig. 6. Structura pachetului software INSPIRE+D dezvoltat pentru co-simularea detaliată a clădirilor și rețelelor electrice de distribuție.

Studii de sisteme energetice sunt exemplificate în Fig. 7 pentru un test modificat IEEE-13 de distribuție la tensiune electrică medie. Un district cu 60 de case CNE este conectat la nodul 634. Casele au o distribuție realistă de diferite dimensiuni, dotări și număr de locatari. Toate casele simulate au panouri solare PV de 10kW, factor de putere de 0.95, baterii electrice de 10kW/5kWh, utilizate în combinații hibride de stocare care includ și rezervoare de apă cladă [7].

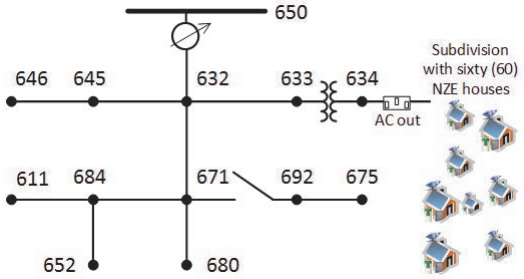


Fig. 7. Schema testului modificat IEEE de rețea electrică de distribuție la tensiune medie cu 60 de case CNE (“Net Zero Energy (NZE)” conectate la nodul 634 [7].

Penetrarea pe scară forte largă a instalațiilor solare PV rezidențiale, care este de așteptat, în special datorită noilor reglementări CNE în California, va accentua problema majoră a diferențelor dintre excesul de energie solară în miezul zile și necesarul de energie tipic seara, corespunzător graficului trasat cu line punctată albastră in Fig. 8. Astfel de variații sunt în primul rând în detrimentul companiilor energetice care trebuie să asigure supradimensionarea echipamentului electric de distribuție și a rezervei de generare, dar și a consumatorului rezidențial, care în final, va trebui să plătească prețuiri mai ridicate pentru electricitate.

O posibilă soluție este combinarea inovativă a stocări rezidențiale a electricității și a controlului caselor CNE ca generatoare sau receptoare de putere pentru durate relative lungi de timp. Rezultatele de co-simulare din Fig. 8, care sunt calculate la intervale de timp de 1 minut pentru 24 de ore într-o zi tipică de vară și una de iarnă pentru sistemul de distribuție energetică din Fig. 7, indica viabilitatea soluției propuse trasată cu linie continuă roșie.

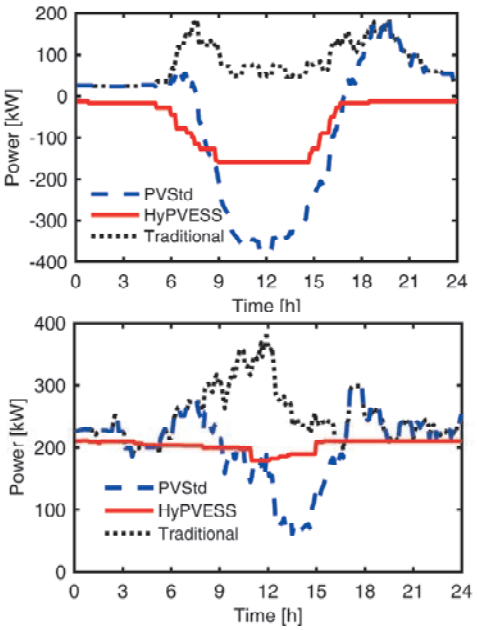


Fig. 8. Utilizarea stocării hibride de energie electrică (HyPVESS) în combinație cu controlere speciale la nivelul caselor CNE reduce substanțial variația temporală a puterii active la nodul 634 pentru sistemul energetic de distribuție din figura anterioară. Rezultatele sunt pentru o zi tipică de vară (graficul de sus) și una de iarnă [7].

4. CONCLUZII

Integrarea instalațiilor de stocare a energiei electrice, în special în baterii de tipul Li-ION, a înregistrat progrese semnificative în SUA în ultima decadă. Aplicațiilor mai tradiționale ale bateriilor și electronicii de putere pentru controlul frecvenței, suportul tensiunii electrice, întărirea stabilității sistemului, și compensarea puterii reactive, li s-au adăugat altele mai noi, în special legate de energiile neconvenționale, cum ar fi reducerea variației de putere și creșterea factorului de capacitate energetică. Deși puterea instalată anul trecut în SUA a înregistrat o scădere, energia instalată anual a rămas aproximativ constantă.

Tendința de a utiliza în sistemul energetic de generare și transmisie baterii de putere relativ mai mică și energie mai mare este rezultatul progresului în aplicațiile mai tradiționale și în regiunile de est din SUA și ale dezvoltărilor mai recente în regiunile de vest, în special în California, care este pe primul loc în instalările de energie solară PV. Ca urmare, este posibil ca această tendința să se mențină și ca tot mai multe companii energetice să fie direct interesate în cercetări și dezvoltări

de tipul celor descrise în secțiunea a doua a acestei lucrări.

Un domeniu care beneficiază la ora actuală de mare interes în cercetarea științifică și inginerească și care este de așteptat să înregistreze progrese rapide este cel al tehnologiilor pentru casele neutre din punct de vedere energetic. Astfel de clădiri încorporează instalații PV de putere relativ mare, a căror integrare pe scară largă în sistemul energetic necesită inovații semnificative. Soluții noi sunt necesare atât pentru stocarea energiei electrice, de exemplu printr-o combinație hibridă de baterii electrochimice și rezervoare de apă caldă, cât și pentru controlul clădirilor ca generatoare sau receptoare de putere constantă pentru durate semnificative de timp, conducând la rezultate îmbunătățite de tipul celor descrise în a treia secțiune a acestei lucrări.

BIBLIOGRAFIE

[1] US Energy Information Administration, *US Battery Storage Market Trends*, US Department of Energy, Washington DC, 32p, 2018.

[2] G. Yuan, *Enabling 100s GW of Solar. SunShot Systems Integration R&D – Program Overview*, US Department of Energy, Washington DC, 35p, 2016.

[3] https://www.tesla.com/powerwall, accesat online 07/09, 2018.

[4] V. Rallabandi, O. M. Akeyo, N. Jewell and D. M. Ionel, *Incorporating Battery Energy Storage Systems into Multi-MW Grid Connected PV Systems*, IEEE Transactions on Industry Applications, 9p, 2018.

[5] O. M. Akeyo, V. Rallabandi, N. Jewell and D. M. Ionel, *Improving the Capacity Factor and Stability of Multi-MW Grid Connected PV Systems with Results from a 1MW/2MWh Battery Demonstrator*, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Portland, OR, 6p, 2018.

[6] O. M. Akeyo, H. Gong, V. Rallabandi, N. Jewell and D. M. Ionel, *Power Utility Tests for Multi-MW High Energy Batteries*, 2018 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Paris, 4p, 2018.

[7] Gong, H., Rallabandi, V., Ionel, D. M., Colliver, D., Duerr, S., and Ababei, C., "Net Zero Energy Houses with Dispatchable Solar PV Power Supported by Electric Water Heater and Battery Energy Storage", Proceedings, IEEE ECCE 2018, Portland, OR, 6p, 2018.

[8] Gong, H., Akeyo, O. M., Rallabandi, V., and Ionel, D. M., "Real Time Operation of Smart Homes with PV and Battery Systems under Variable Electricity Rate Schedules and Transactive Power Flow", Proceedings, IEEE ICRERA 2018 Congress, Paris, France, 4p, 2018.

ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CENTRELOR DE ÎNCĂRCARE A VEHICULELOR ELECTRICE ÎNTR-O REŢEA INTELIGENTĂ

Prof. dr. ing. Nicolae GOLOVANOV[1], Prof. dr. ing. Andrei MARINESCU[2]

[1]ASTR, București, România [2]ASTR, Filiala Craiova, România
E-mail:nicolae_golovanov@yahoo.com E-mail:ancor2005@gmail.com

REZUMAT. În prezent exista preocupări deosebite pentru reducerea poluării si a cantităţii de CO2 emisă in mediul ambiant corelate cu dezvoltarea de soluţii care sa conduca la emisii pertubatoare reduse şi eficienţă ridicată a proceselor. Introducerea pe scară largă a mobilitaţii electrice in mediul urban si integrarea acesteia in conceptul de „reţea inteligentă" este o dovadă in acest sens. In lucrare se discută despre alimentarea cu energie electrică a staţiilor de încărcare a vehiculelor electrice atat plug-in cat si wireless, în cadrul unor micro-reţele incluzând surse regenerabile de energie, sisteme de stocare a energiei, o schema de management de gestionare a resurselor şi a necesarului de energie care să conducă la soluţii eficiente energetic fără perturbarea reţelei electrice.

Cuvinte cheie: Autovehicule Electrice, Incărcare Plug-In/Wireless, Staţii de Încărcare, Energie Regenerabilă.

ABSTRACT. At present there are particular concerns for the mitigation of pollution and the amount of CO2 emitted into the environment correlated with the development of solutions that lead to reduced electromagnetic emissions and high efficiency processes. Widespread introduction of electric mobility in urban areas and its integration in the concept of smart grid is a proof of this. The paper discusses the power supply of both plug-in and wireless charging stations in some micro-grids including renewable energy sources, energy storage systems, a resource management scheme and energy needs that lead to energy-efficient solutions without disturbing the power grid.

Keywords: Evs, Plug-in/Wireless Charging, Charging Stations Disturbances and Voltage Variation in LV Power Network, Renewable Sources

1. INTRODUCERE

Preocupările deosebite pentru limitarea poluării mediului ambiant şi reducerea cantităţii de CO2 emisă în atmosferă a determinat dezvoltarea, în toate domeniile, a unor soluţii cu niveluri reduse de emisii şi cu eficienţă ridicată a proceselor. În acest sens, se încadrează şi studiile pentru dezvoltarea reţelelor „inteligente" dar şi realizările în domeniul vehiculelor electrice.

Alimentarea cu energie electrică a staţiilor de încărcare a vehiculelor electrice, în cadrul unor microreţele incluzând surse regenerabile de energie, sisteme de stocare a energiei şi un management adecvat de gestionare a surselor şi a necesarului de energie poate conduce la soluţii eficiente energetic dar şi cu nivel redus de emisii poluante.

Utilizarea staţiilor de încărcare a vehiculelor electrice cu ajutorul sistemelor de încărcare (plug-in sau wireless) împreună cu sisteme de stocare şi surse fotoelectrice prezintă oportunitatea de stocare a energiei pe durata zilei şi utilizarea energiei stocate pe durata nopţii atunci când vehiculul poate fi conectat pentru încărcare.

Eficienţa procesului de încărcare din surse regenerabile este determinată de modul în care se realizează managementul procesului de încărcare în corelare cu sursele de alimentare.

Schema de management adoptată trebuie să ia în consideraţie caracterul specific ale producţiei de energie din surse regenerabile (în cele mai multe cazuri surse fotoelectrice), particularităţile necesarului de energie pentru încărcarea vehiculelor electrice precum şi modul de realizare a staţiilor de încărcare: uniproprietar (vilă), cooperativă (parcare blocuri), servicii (staţii de încărcare) - figura 1.

În toate sistemele de încărcare trebuie asigurate condiţiile ca reţeaua electrică să nu fie afectată de perturbaţiile electromagnetice conduse care pot apărea în punctul de conectare a staţiei de încărcare iar încărcarea vehiculelelor electrice să nu fie perturbată de restricţii din reţeaua electrică de alimentare.

Sistemele actuale de comunicaţie şi posibilitatea transferului de informaţii în timp real între staţia de încărcare şi furnizorul de energie permit elaborarea unor proceduri în care să se asigure încărcarea vehiculelor electrice fără perturbaţii ale reţelei electrice.

2. ÎNCĂRCAREA AUTOMOBILELOR ELECTRICE

2.1. Conectarea la rețeaua electrică

Efectele asupra rețelei electrice de alimentare a stației de încărcare depind în mare măsură de tipul stației de încărcare și de numărul acestora în zona de încărcare. Conform IEC 61851-1 [1] stațiile de încărcare, cu conectare directă (plug-in), sunt dimensionate pentru trei puteri normate în funcție de tipul alimentării, puteri care sunt similar și pentru stațiile wireless (tabelul 1).

Tabelul 1. **Caracteristici ale stației de încărcare**

Tipul stației	Tipul instalației de alimentare	Caracteristici rețea de alimentare	Puterea disponibilă
a	monofazată	230 V; 16 A	3,7 kW
b	trifazată	400 V; 32 A	22/43 kW
c	pentru încărcare rapidă	ac 500 V; 250 A	220 kW
		dc 600 V; 400 A	240 kW

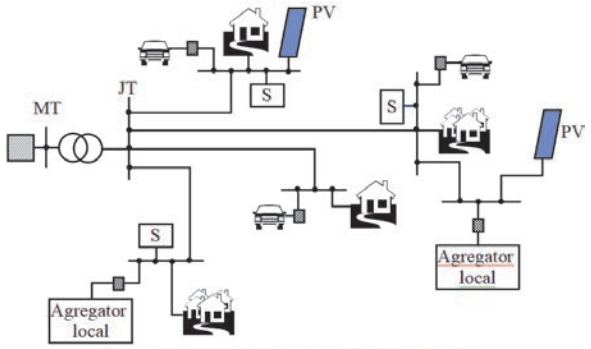


Fig.1 – Soluții de încărcare a vehiculelor electrice:
■- stație de încărcare și comunicație cu distribuitorul de energie.

În cazul stațiilor de încărcare fără contact (wireless), conform IEC-61980-1 [2] sunt standardizate puterile din tabelul 2.

Tabelul 2. **Clase de puteri standardizate pentru stații wireless (WPT)**

Clasa	WPT1	WPT2	WPT3	WPT4	WPT5
Putere [kW]	P ≤ 3.7	3.7< P ≤ 7.7	7.7< P ≤ 11.1	11.1< P ≤ 22	P > 22

Din tabelele l și 2 se poate observa că puterile de încărcare standard sunt similare dar în momentul de față încărcarea wireless nu are în vedere stații de încărcare rapidă.

În funcție de tipul stației de încărcare și în funcție de capacitatea bateriei vehiculului electric rezultă durata de încărcare și deci durata în care este solicitată rețeaua electrică de alimentare (tabelul 3) [1]. De observat că puterea absorbită nu este constantă pe durata procesului de încărcare. Ea depinde de starea de încărcare a bateriei și variază foarte mult în timpul procesului de încărcare standard „curent electric constant/tensiune constantă (CC/CV)". Puterea absorbită crește liniar până la o valoare maximă în regimul CC (egală cu puterea nominală a stației de încărcare) si apoi scade exponențial până la zero în timpul regimului CV. Acesta este încă un motiv de sarcină variabilă a rețelei în cazul unei densități mici de vehicule care se încarcă, așa cum se întâmplă în prezent.

Tabelul 3 - Durata procesului de încărcare

Tipul stației / Capacitatea bateriei	a	b	c
10 kWh	circa 3 ore	15···30 min	< 5 min
20 kWh	circa 5,5 ore	30···60 min	circa 5 min
40 kWh	circa 11 ore	60···120 min	circa 10 min

Analiza datelor din tabelul 3 pune în evidență faptul că în cazul surselor uniproprietar, sursa de încărcare este solicitată până la 3 ore, fiind recomandat ca procesul de încărcare să aibă loc pe durata nopții, dacă alimentarea stației se face din rețeaua electrică sau este dimensionat sistemul de stocare pentru a acoperi necesarul de energie. Dificultățile apar, în mod obișnuit, pe durata iernii atunci când energia stocată este relativ redusă. Un calcul sumar arată că pentru obținerea, pe durata unei zile de iernii, a energiei de 10 kWh necesară alimentării instalației de stocare sunt necesare minimum 32 panouri uzuale de 150 W [3].

Soluțiile actuale de tip prosumer în care energia produsă de un sistem fotoelectric al unui utilizator acoperă necesarul său de energie dar, în unele intervale de timp, poate retransmite în rețeaua electrică de alimentare suplusul de energie după încărcare sistemului de stocare, poate fi avantajos pentru utilizarea stațiilor de încărcare uniproprietar, având posibilitatea încărcării automobilului din energia acumulată în sistemul de stocare.

Trebuie observat ca cele două sisteme de încărcare amintite mai sus nu diferă din punctul de vedere al interacției cu rețeaua de alimentare deoarece au practic aceeași topologie (surse în comutație) asa cum rezultă din schemele bloc din Figura 2.

Cu aceleași componente principale (invertor și redresor) ca în Figura 2 a), dacă transformatorul intermediar (de separație electrică) se înlocuiește cu un cuplor inductiv (transformator în aer) cu bobine separabile, realizat cu circuite rezonante și concentratoare de flux magnetic care îmbunătățesc cuplajul apropiindu-l de parametrii transformatorul original (Fig. 2 b) se obține un sistem de încărcare wireless [4]. Ca urmare, randamentul de transfer energetic al celor două sisteme poate fi comparabil la o proiectare corespunzătoare și, în plus, partea îmbarcată (redresorul) are dimensiuni și greutate mai mică.

Stațiile de încărcare wireless sunt gândite pentru utilizare în mediul urban (acasă, la locul de muncă sau la clienți).

În viitorul oraș inteligent în care mobilitatea electrică va fi predominantă, încărcarea intermitentă realizată în zonele amintite, uneori pentru câteva minute, va schimba într-o măsură semnificativă concepția actuală în care

modul de încărcare este cel de durată. În plus, în viitorul apropiat, conducerea autonomă va fi sigur prezentă şi, în acest fel, staţiile de încărcare plug-in vor fi din ce în ce mai puţin folosite.

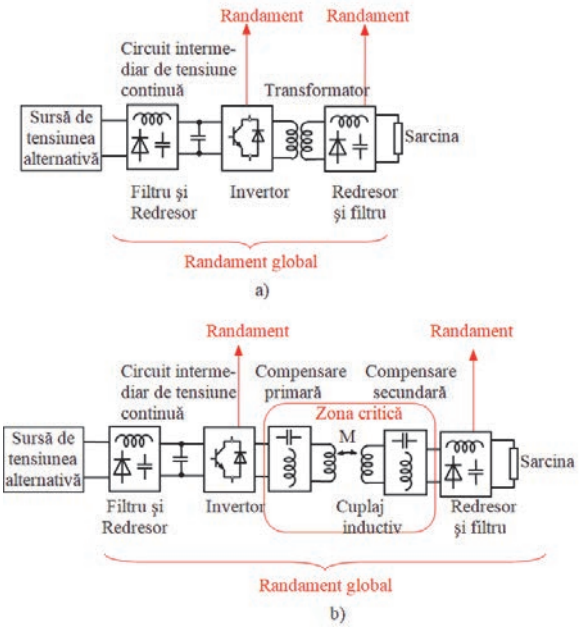


Fig. 2. - Schemele bloc ale staţiilor de încărcare folosite pentru vehicule electrice şi hibride cu evidenţierea părţilor care determină randamentul de transfer ale energiei: a) sistemul plug-in; b) sistemul wireless.

Un scenariu asupra efectului încărcării wireless asupra reţelei electrice în oraşul şi chiar pe autostrăzile inteligente (încărcarea dinamică) este încă în curs de evaluare [5].

Instalaţiile de încărcare de tipul b şi c, situate în general în parcări sau alte locuri publice cuprind, în mod obişnuit mai mult puncte de încărcare. În lipsa unui management adecvat al procesului de încărcare pot apărea perturbaţii privind profilul de tensiune în zonă şi o suprasolicitare a reţelei electrice de alimentare.

2.2. Perturbaţii în reţeaua de alimentare

2.2.1 Perturbaţii de tensiune

Curbele din figura 3, înregistrate într-o staţie cu puncte de încărcare multiplă într-un complex comercial, pun în evidenţă faptul că la sfârşitul zilei când o mare parte a automobiliştilor ajung simultan în parcarea complexului şi îşi conectează automobilul pentru încărcare pot să apară importante perturbaţii de tensiune cu posibila ieşire a acesteia din domeniul acceptat din punctul de vedere al condiţiilor de calitate a energiei electrice şi o supraîncărcare a transformatorului de medie tensiune care asigură alimentarea reţelei.

Datele din figura 3 pun în evidenţă faptul că existenţa unui sistem de stocare a energiei, pentru a asigura necesarul de energie pentru alimentarea staţiilor de încărcare a vehiculelor electrice, poate limita o încărcare periculoasă a reţelei electrice de alimentare.

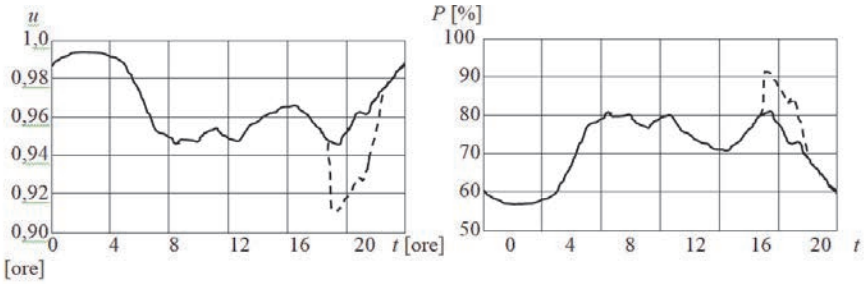


Fig.3 – Variaţia tensiunii la barele de alimentare în parcarea unui complex comercial (a) şi variaţia puterii active absorbite (b)
——în lipsa automobilelor electrice la încărcare; - - - -în prezenţa autobilelor electrice la încărcare.

Controlul procesului de încărcare a vehicului electric având în vedere capabilitatea reţelei electrice de alimentare reprezintă obiectivul principal al sistemului de management al staţiei de încărcare.

În cazul obişnuit în care încărcarea automobilelor electrice se face în zone de parcare cu multiple puncte de încărcare, operatorul staţiei de încărcare are un rol important în asigurarea condiţiilor pentru a limita perturbaţiile în reţeaua electrică de alimentare prin cunoaşterea disponibilităţii reţelei pe baza informaţiilor obţinute din sistemul de comunicaţie între acesta şi furnizorul de energie electrică. Etapizarea atentă a intervalelor de încărcare şi concentrarea acestora în special pe durata nopţii la golul de sarcină în sistemul energetic conduce atât la un cost mai redus al energiei preluate dar şi la aplatizarea graficului de sarcină cu efecte benefice asupra funcţionării economice a sistemului energetic.

Energia E_i necesară pentru încărcarea celor n automobile electrice conectate la staţiile de încărcare poate fi determinată din relaţia

$$E_i = \sum_{i=1}^{n} [a_i \cdot (SoC_{mi} - SoC_i)] \ , \qquad (1)$$

cu restricţia

$$P(t) \le P_{adm}(t) \text{ pentru orice } t. \quad (2)$$

În relaţiile (1) şi (2) au fost utilizate notaţiile:

a_i – factori de încărcare;

SoC_{mi} – nivelul de încărcare (state of charge) solicitat de utilizatorul i;

SoC_i – nivelul de încărcare al acumulatoarelor utilizatorului i;

$P(t)$ – puterea absorbită din reţeaua electrică de alimentare, variabilă în timp în funcţie de nivelul de

încărcare la momentul *t* al ansamblului de vehicule electrice;

$P_{adm}(t)$ − puterea admisă de către furnizorul de energie electrică pentru a nu suprasolicita rețeaua electrică de alimentare (cabluri și transformatorul de MT/JT).

Factorii a_i sunt stabiliți de către agregatorul local în funcție de numărul de automobile electrice aflate la încărcare, cerințele specifice ale utilizatorilor și de restricția de putere impusă de furnizor.

Evident că la orele vârfului de sarcină în sistemul electroenergetic, puterea admisibilă $P(t_v)$ este mai redusă ceea ce va determina încărcarea bateriilor într-un timp mai lung.

Comunicația dintre automobil și stația de încărcare permite cunoașterea mărimilor SoC_i și SoC_{mi} .

Energia disponibilă în acumulatoarele mașinilor electrice, teoretic, poate fi folosită în cazul unor evenimente din rețeaua electrică pentru acoperirea unor necesități de scurtă durată. Existența unor comunicații eficiente cu operatorii stațiilor de încărcare poate asigura agregarea surselor disponibile sub forma unui VPP (virtual power plant) astfel ca să se asigure energia necesară pentru depășirea evenimentului. În acest caz, stațiile de încărcare trebuie să fie dotate cu convertoare care să permită transferul bidirecțional al energiei.

Energia disponibilă E_d pentru transfer în rețeaua electrică poate fi determinată din relația

$$E_d = \sum_{i=1}^{n} [b_i \cdot (SoC_i - DoD_i)] \ , \qquad (3)$$

cu restricția

$$P(t) \leq P_{adm}(t) \text{ pentru orice } t. \quad (4)$$

În relația 3, DoD_i este nivelul minim admis la descărcarea acumulatoarelor (Dept of Discharge) automobilului electric *i*

Factorii b_i sunt stabiliți de către agregatorul stației de încărcare în funcție de exigențele posesorilor de automobile electrice și având în vedere restricția impusă de furnizorul de energie.

2.2.2. Distorsiuni armonice

Convertoarele incluse în stațiile de încărcare ale vehiculelor electrice sunt sisteme neliniare care determină apariția de armonice în curbele de curent electric.

Sistemele monofazate de alimentare se bazează pe un sistem de redresare cu dublă alternanță generând armonice semnificative de curent electric de rang 3 și 5. Având în vedere valoarea relativ redusă a curentului electric absorbit de stația de încărcare (16 A), nivelul armonicei de rang 5 care ar putea influența calitatea energiei electrice este nesemnificativ (armonica de rang 3 nu se transmite în rețeaua electrică de alimentare prin transformatorul D/y al sistemului de alimentare). În prezent, indiferent de tipul stației de încărcare, sursa în comutație trebuie să dispună la intrare de filtre și bloc de corecție activă sau pasivă a factorului de putere (PFC).

Sistemele trifazate prevăzute, în mod obișnuit, cu redresoare hexafazate, determină armonice semnificative de curent electric de rang 5 și 7. Amplitudinea perturbațiilor de tensiune corespunzătoare acestor armonice depinde de amplitudinea armonicelor dar și de nivelul curentului electric de scurtcircuit pe bara de alimentare.

Utilizarea de filtre inductive în circuitul convertoarelor hexafazate dar și limitarea curentului electric de scurtcircuit determinată de prezența surselor de energie conectate la rețeaua electrică prin intermediul convertoarelor de frecvență determină ca, în mod obișnuit, distorsiunea armonică a tensiunilor pe bara de alimentare să fie în limitele admise.

2.3. Strategia de încărcare a bateriilor Li-Ion

Încărcarea tradițională a bateriilor automobilelor electrice până la 100% din capacitatea acestora nu este recomandată, conducând la reducerea duratei de viață a bateriilor. În prezent este uzuală încărcarea inteligentă până la un nivel care este determinat de necesarul pentru activitatea curentă.

Pentru deplasări lungi, desigur că este necesară încărcarea până la nivelul de 100% al acumulatorului. În cazul deplasărilor scurte, poate să se realizeze o încărcare parțială (20 - 60% , funcție de activitatea zilnică), cu încărcări intermitente, în funcție de necesar, pe durata zilei.

Se poate evalua faptul că în București, traseul zilnic nu depășește 30 km, în Marea Britanie nu depășește 50 km iar în Canada și Statele Unite este sub 140 km. Se observă, faptul că, în funcție de tipul automobilului, se poate stabili nivelul necesar de încărcare a acumulatoarelor automobilului.

În analiza proceselor de încărcare a automobilelor electrice este necesar să se aibă în vedere faptul că constructorii de automobile depun eforturi pentru creșterea eficienței energetice și realizarea, pentru traseele urbane, a vehiculelor compacte și ultra-compacte (fig.4).

Un rol important în limitarea perturbațiilor determinate de încărcarea automobilelor electrice îl vor avea sistemele mari de stocare a energiei electrice. În figura 5 este prezentat un sistem actual de stocare a energiei electrice utilizat pentru aplatizarea variațiilor de tensiune din rețeaua electrică determinate de încărcarea automobilelor electrice dar și de producția volatilă a surselor regenerabile de energie.

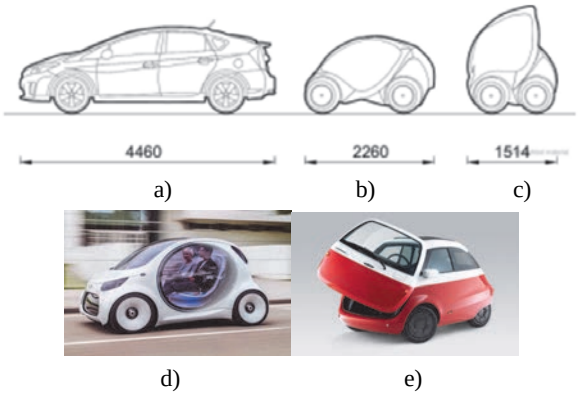


Fig. 4. Vehicule compacte și ultracompacte:
a) vehicul normal, b) vehicul compact, c) vehicul ultracompact; d) vehicul cu conducere autonomă, e) vehicul cu intrare frontală (Microlino, 15 kW; 100 km/h; 144 kWh; 200 km, <10000 €)

Fig. 5. Baterie staționară de acumulatoare de 22 MW, cu capacitate totală de 19,8 MWh

3. CONCLUZII

Creşterea ponderii automobilelor electrice în sistemul de mobilitate poate avea un rol important în reducerea emisiilor poluante determinate de sistemul de energie. Încărcarea bateriilor pe baza energiei generate de surse regenerabile de energie conectate, în general, în microreţele din sistemul de distribuţie şi acumulată în sisteme de stocare, în prezenţa unui sistem de management adecvat poate determina şi limitarea perturbaţiilor în sistemul energetic care apar la o conectare necontrolată a vehiculelor electrice la sistemele de încărcare.

Conform Directivei UE 2014/94/EU [6] privind performanţele energetice ale noilor clădiri comerciale şi industriale importante, se prevede ca acestea să aibă o independenţă energetică însemnată prin folosirea surselor regenerabile şi, în acelaşi timp, să fie prevăzute cu staţii de încărcare pentru mobilitatea electrică a personalului şi clienţilor, bazate pe aceleaşi principii. Până la urmă în peisajul energetic urban încărcarea inteligentă va deveni posibilă, ceea ce înseamnă ca aceasta se va putea face în cel mai potrivit moment pentru reţea şi la cel mai mic cost pentru utilizatori.

Sistemele actuale de comunicaţie între operatorii staţiilor de încărcare şi furnizorii de energie permit un control adecvat al proceselor de încărcare pentru a asigura utilizarea raţională a energiei din sistem dar pot asigura, dacă staţiile de încărcare sunt prevăzute cu convertoare cu transfer bidirecţional, şi suport pentru depăşirea unor evenimente din sistemul energetic, pe baza energiei acumulată în bateriile maşinilor electrice conectate în staţia de încărcare.

Utilizatorii individuali care sunt prosumeri pot asigura încărcarea vehiculelor electrice în condiţii avantajoase prin utilizarea energiei din surse regenerabile proprii.

BIBLIOGRAFIE

[1] *** Electric vehicle conductive charging system, Standard IEC 61851-1.
[2] Golovanov N.ș.a., Surse regenerabile de energie electrică în sistemul electroenergetic, Editura AGIR, Bucureşti, 2015.
[3] Mi C., Masrur M. A., Gao D. W., Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives, Ch. 9, 448 pp., Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-74773-52011, 2011.
[4] *** Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems – Part 1: General requirements, IEC 61980-1:2015.
[5] Alexander D., Cytron R., The Convergence of Smart Highways and Smart Cities, Navigant Research, 2018.
[6] *** Energy Performance of Buildings, European Directive 2014/94/EU

INTEGRAREA ANSAMBLURILOR DE PILE DE COMBUSTIBIL IN APLICATII MOBILE SI STATIONARE

Prof. univ. dr. Ioan ŞTEFĂNESCU[1], Dr. fiz. Mihai VARLAM [1], Dr. mat. Elena CARCADEA[1], Dr. ing. Mihai CULCER[1]

[1] *Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogenice şi Izotopice - ICSI Rm. Vâlcea*

REZUMAT. Pilele de combustibil, considerate în unanimitate nucleul revoluției energetice bazate pe hidrogen, reprezintă elemente-cheie pentru construirea unei economii energetice curată, competitivă, sigură și durabilă. Pentru a înlocui tehnologiile existente pe piața energetică, generatoarele bazate pe pile de combustibil trebuie să pună accentul pe avantajele acestei noi tehnologii: eficiență crescută și emisii scăzute în condiții de costuri și durabilități similare. Tehnologiile și sistemele bazate pe pile de combustibil cu membrana schimbatoare de protoni (PEM) s-au dovedit în ultimele decenii a fi surse viabile de conversie a energiei pentru diverse aplicații: staționare și mobile (transport, portabile). ICSI Rm. Valcea, prin Centrul National de Hidrogen si Pile de Combustibil, a devenit competitiv in multe aspect ale lantului tehnologic al energeticii hidrogenului, abordand tematici de cercetare aplicativa si proiecte demonstrative. Prezenta lucrare face o incursiune in realizarile obtinute de catre ICSI Rm Valcea in acest domeniu prioritar la nivel national si international prin integrarea de ansambluri de pile de combustibil tip PEM.

Cuvinte cheie: Pile de combustibil Aplicatii mobile Aplicatii stationare Integrare.

ABSTRACT. Fuel cells, unanimously considered the core of the hydrogen-powered energy revolution, are key elements for building a clean, competitive, secure and sustainable energy economy. In order to replace existing technologies in the energy market, fuel cell generators need to focus on the benefits of this new technology: increased efficiency and low emissions at similar cost and sustainability. Technology and systems based on Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells have proven in the last decades to be viable sources of energy conversion for various applications: stationary and mobile (transport, portable). ICSI Rm. Valcea, by its National Center for Hydrogen and Fuel Cells has become competitive in many aspects of the hydrogen energy technology chain, focusing on applied research and demonstration projects. The paper gives an insight in the accomplishments obtained by ICSI Rm Valcea in this priority field at national and international level by integrating PEM fuel cells stacks.

Keywords: Fuel Cells Mobile applications Stationary applications Integration.

1. INTRODUCERE

Cercetările efectuate în toată lumea au arătat că hidrogenul este un mediu energetic atrăgător și că utilizarea pilelor de combustibil de tip PEM ca generatoare de energie pentru aplicații portabile, staționare sau auto poate duce la mai multe beneficii și avantaje cheie față de alte tehnologii [1-5].

Noul concept al "*tehnologiei bazate pe hidrogen*", care include producerea, stocarea și utilizarea hidrogenului ca purtător de energie, a devenit un element fundamental al politicilor din domeniul energiei durabile pentru decadele următoare.

Tandemul hidrogen - pilă de combustibil cu membrană schimbătoare de protoni (PEM) și-a dovedit eficiența în ceea ce privește stocarea și conversia directă a energiei chimice în energie electrică datorită unor certe avantaje: *energia produsă nu generează direct emisii de CO_2 și nu poluează*, cu condiția ca hidrogenul să provină din surse regenerabile de energie; *sistemele cu pile de combustibil au un randament ridicat*, între 40% și 45%, pentru sisteme complete, inclusiv puterea electrică consumată de echipamentele auxiliare; un sistem bazat pe pile de combustibil este relativ compact comparativ cu alte generatoare electrice, care necesită etape intermediare de conversie a energiei.

Primele aplicații ale pilelor de combustibil au fost în domeniul spațial în anii `60 iar de atunci, dezvoltarea lor a căpătat amploare de la an la an, atât datorită scăderii costurilor de producție, cât și descoperirilor ce se fac mereu în acest domeniu, încă insuficient explorat. Aplicațiile mobile și cele portabile lasă însă să se întrevadă cea mai mare dezvoltare a domeniului pilelor de combustibil [6-8].

2. DESPRE PILA DE COMBUSTIBIL

Pila de combustibil reprezintă dispozitivul electrochimic care convertește energia chimică a hidrogenului și oxigenului în curent electric, având ca produși secundari producerea de apă și căldură. Ca majoritatea dispozitivelor electrochimice, o pilă de combustibil tip PEM este formată din 3 elemente de bază: un anod, unde combustibilul ce alimentează pila este oxidat, un catod, unde are loc reducerea moleculară a oxigenului, și un electrolit. Atât anodul cât și catodul pilei de combustibil sunt compuse dintr-o placă bipolară (BP) ce susține canalele de curgere a gazului, un strat de difuzie a gazului (GDL) și un strat de catalizator (CL) (fig.1). Drept electrolit într-un sistem bazat pe pile de combustie cu membrană schimbătoare de protoni este utilizată o membrană polimerică, de tip Nafion.

Aerul/oxigenul umidificat pătrunde prin canalele catodului, iar gazul concentrat în hidrogen pătrunde prin canalele anodului. Hidrogenul difuzează prin stratul de difuzie anodic către catalizator, unde fiecare moleculă de hidrogen este disociată în doi protoni de hidrogen și doi electroni, conform reacției:

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad (1)$$

Protonii încărcați pozitiv migrează spre catod prin membrana poroasă. Electronii trec de la anod spre catod printr-un circuit exterior, datorită diferenței de potențial apărute, producându-se în acest fel curent electric. În zona catodului, oxigenul difuzează prin stratul de difuzie, disociază pe suprafața stratului de catalizator și reacționează cu protonii și electronii pentru a forma apa:

$$½\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad (2)$$

Reacţia totală în pila de combustibil PEM devine:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \quad (3)$$

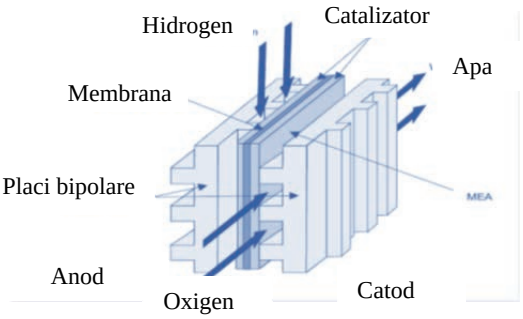


Fig.1 Pila de combustibil tip PEM – componente

O parte esențială a ansamblurilor de pile de combustibil PEM o reprezintă dezvoltarea de materiale care să conducă la îmbunătățirea performanței, creșterea durabilității și reducerea costurilor. În acest sens, două componente au o importanță semnificativă asupra performanței, și anume: *electrocatalizatorii și straturile de difuzie a gazelor (GDL).* Utilizarea de noi tehnologii pentru obținerea *catalizatorilor metalici pe bază de grafene decorate*, cu proprietăți catalitice și electrocatalitice superioare, precum și *fabricarea unui strat de difuzie a gazelor din nanofibre carbonice filate*, ca soluție la variantele comerciale actuale de GDL reprezintă o direcție primordială de cercetare în cadrul ICSI Rm. Vâlcea, fiind, de asemenea, un subiect de mare interes și la nivel internațional.

Una dintre limitările majore ale pilelor de combustibil o constituie viteza scazută a reacției de reducere a oxigenului (ORR) la catod, ceea ce necesită o cantitate mare de catalizator scump de platină depusă pe carbon (Pt/C). Reacția ORR joacă un rol critic în performanțele unei pile de combustibil.

Desi s-au realizat progrese substanțiale în domeniul catalizatorilor catodici în ultimele decenii, *cinetica lentă a transferului de electroni din ORR și supratensiunea* reprezintă încă dezavantaje principale care limitează comercializarea pe scară largă a PEMFC. Dezvoltarea unor noi sisteme catalitice de materiale grafenice decorate cu nanocatalizatori metalici, pornind de la grafit, materie prima extrem de ieftină, constituie o soluție extrem de eficientă în abordarea dezavantajelor menționate. *Grafena*, cel mai nou și eficient membru al familiei carbonului este recunoscută ca opțiune promițătoare de suport sau catalizator, datorită proprietăților electrice, fizice, chimice, mecanice și electronice remarcabile, fiind potrivite pentru aplicații electrochimice de top (electrozi conductivi transparenți, tranzistori, senzori, electrozi pentru pile de combustibil, ultracapacitori).

3. PILA DE COMBUSTIBIL

Sistemele bazate pe pile de combustibil oferă o fiabilitate mai mare pentru o gamă largă de condiții de funcționare, costuri reduse de întreținere, dimensiuni și greutăți reduse, perioade mai mari de funcționare și, de asemenea, sunt ecologice față de alte tehnologii precum bateriile sau generatoarele diesel. Direcțiile de cercetare dn cadrul ICSI Rm. Vâlcea au urmărit integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații/sisteme demonstrativ-educative ($25cm^2$-25W), portabile ($44cm^2$-250W)), staționare/back-up off grid ($92cm^2$-1kW), staționare CHP ($170cm^2$-2kW), o descriere a acestora fiind detaliată în continuare.

3.1. Integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații staționare

Un sistem ce integrează un ansamblu de pile de combustibil și utilizează sursele regenerabile de energie este prezentat în figura 2 sub denumirea de Unitate de management pentru utilizarea energiei regenerabile, (PPM - Peak Power Management) [10].

Sistemul este alimentat cu energie de la o arie de panouri fotovoltaice - 20 module fotovoltaice (PV) (Sharp NU-180E1) capabile să asigure o putere electrică de 180 W fiecare în condiții standard de iradiere și temperatură (1.000 W / m2) și de la o turbină eoliană cu ax vertical (Eddy UGE 600) având

o putere nominală de 600 W la o viteză nominală a vântului de 12 m/s. Prin intermediul unor convertoare DC-DC energia captată este transferată pe o magistrală de curent continu (DC BUS). Un invertor transformă tensiunea continuă în tensiune alternativă la parametrii ceruți de aplicație. Aceași tensiune alternativă alimentează un electrolizor (GES 2000) care produce 2 litri pe minut de hidrogen la o presiune de 15 bari. Sistemul mai conține și o baterie reîncărcabilă cu rol de stocator de energie pe termen scurt. În perioadele în care există un surplus de energie față de cerințele pe sarcină electrolizorul produce hidrogen care este stocat pe termen mediu și lung. Când aportul de enegie solară și eoliană este redus se activează funcționarea ansamblului de pile de combustibil și se menține nivelul energetic pe DC BUS.

Fig. **2**. Imagine pentru unitatea PPM

PPM a fost testat pe o perioadă de aproximativ 4 luni. Puterea medie generată în decurs de 8 ore este de 985W. Pe lângă alimentarea cu energie a componentelor sale funcționale, sistemul a furnizat puterea necesară pentru o funcționare zilnică de 8 ore a unui sistem de iluminare de 440 W (sarcina).

O altă aplicație ce integrează un ansamblu de pile de combustibil de 1kW și un electrolizor a fost dezvoltată în cadrul unui proiect național de cercetare demonstrativ-experimental (85PED/2017-BackHy), fiind prezentată în figura 3, alături de o schemă de funcționare pentru cele două moduri de operare [12].

Sistemul a fost proiectat astfel încât să asigure autonomia alimentării cu energie în cazul unei pene de curent de 4 ore. *În modul normal de funcționare*, sarcina AC este alimentată de energia de la linia principală de curent alternativ (rețea externă) și, în același timp, se verifică nivelul de hidrogen din rezervorul de stocare. Dacă nivelul de hidrogen/oxigen este sub valoarea minimă stabilită atunci electrolizorul va porni pentru a produce hidrogen/oxigen până la atingerea valorii maxime. *În funcționarea modului de urgență (back-up),* în cazul în care se produce o întrerupere a alimentării cu energie electrică, pila de combustibil produce energie electrică utilizând H_2/O_2 stocat, alimentând sarcina. Utilizarea electrolizei și a ansamblului de pile de combustibil tip PEM pentru producerea unei energii electrice curate și stabile poate fi o alternativă viabilă și fezabilă pentru sistemele de rezervă. Invertorul inclus în schema de funcționare a sursei de putere convertește curentul continu în curent alternativ 220V, necesar pentru alimentarea dispozitivelor electrice. Excesul de energie este stocat în baterii sau este utlizat în cadrul electrolizorului pentru producerea hidrogenului.

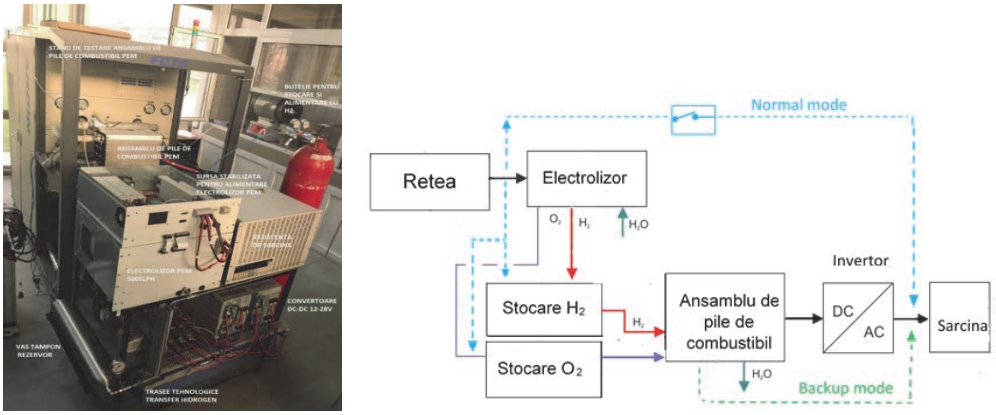


Fig. 3 Sursă de putere pentru situații de urgență – model experimental cu pile de combustibil

Acest model experimental a fost validat doar în condiții de laborator (stadiu TRL 4) urmând ca cercetările în domeniu să continue până la etapa de validare a sursei de putere în condiții relevante de funcționare, adică mediul industrial si un nivel TRL mai mare. În prezent, există o mare diversitate în ceea ce privește posibilitățile de investigare în acest domeniu, iar ICSI Rm.Vâlcea este pregătit să exploreze orice zonă care ar putea oferi oportunități interesante de aplicare comercială.

3.2. Integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații mobile

Dezvoltarea de soluții pentru mobilitatea hibridă are în vedere derularea de cercetări experimental-demonstrative care să conducă la modele funcționale și să confirme gradul de pregătire tehnică și comercială a vehiculelor bazate pe hidrogen și hibride. Centrul Național pentru Hidrogen și Pile de Combustibil din cadrul ICSI Rm. Vâlcea a avut încă de la înființare

preocupări în domeniul aplicațiilor mobile ale pilelor de combustibil tip PEM, câteva variante constructive de vehicule electrice cu pile de combustibil obținute fiind prezentate în figura 3.

Fiecare dintre variantele realizate au crescut gradul de complexitate a propulsorului electric și au avut o serie de obiective de îndeplinit pentru a deveni competitive: minimizarea consumului de hidrogen; protejarea pilei de combustibil de tranzițiile rapide ale sarcinii; stocarea energiei într-un ansamblu de baterii reîncărcabile; reglarea tensiunii pe sarcină în condiții standard; minimizarea costurilor.

Fig. 4 Vehicule electrice cu pile de combustibil

Varianta de vehicul electric hibrid (pilă de combustibil – baterie), prezentată în figura 3(c) este realizată în cadrul unui proiect național de cercetare demonstrativ-experimental (53PED/2017- HyDemo). Sistemul hibrid cu două fluxuri de putere a fost realizat prin conectarea celor două componente de producere, respectiv stocare a energiei (pila de combustibil și bateria), la aceași magistrală DC (BUS), care operează la tensiune constantă, distribuția de curent pe magistrală fiind dictată de impedanța internă a fiecărei componente la un moment dat. Bateria poate susține curenți mai mari pentru perioade îndelungate, ceea ce înseamnă că poate prelua regimurile tranzitorii. Pila de combustibil are impedanța internă mai mare și poate furniza putere constantă cu care se pot încărca bateriile în perioadele cu consum redus de energie pe sarcină [11].

Puterea furnizată de ansamblul de pile de combustibil este controlată prin intermediul debitelor de reactanți, care se reglează de câte un regulator de hidrogen, respectiv aer, comandat de o unitate de control care calculează debitele în funcție de parametrii de lucru, după o logică prestabilită. Alimentarea cu hidrogen se realizează dintr-un rezervor de hidrogen de 32 l care lucrează la o presiune de 300 bar, iar cea cu aer atmosferic utilizează un blower. Răcirea ansamblului de pile se realizează, de asemenea, cu aer.

Un ansamblu de două baterii de 12V și de 24V asigură tensiunile de alimentare pentru toate echipamentele auxiliare ale vehiculului electric realizat. Luând în considerare toate consumurile de joasă tensiune, aceste baterii trebuie să genereze o putere de 500W respectiv 350W în mod continuu. Un convertor coborâtor de tensiune, asigură încărcarea celor două baterii de pe magistrala DC (unitatea de distribuție a puterii) de 106 V.

O baterie de 106V/ 80A cuplată direct la magistrala DC Bus furnizează pe ieșire o putere maximă de 4 kW și reprezintă a doua sursă de energie pentru propulsor. Un convertor AC/DC asigură încărcarea bateriei de la rețeaua de 220 Vca.

Acționarea roților se face cu un motor trifazat de 6 kW comandat de un invertor care se alimentează de pe magistrala DC.

Sistemul de control general este reprezentat de un controler în care sunt implementați algoritmii de comandă. Acesta monitorizează viteza și accelerația vehiculului, starea de încărcare a bateriei, puterea sarcinii (a sistemului de acționare), precum și alți parametrii necesari procesului de decizie (curenți, tensiuni, temperaturi, etc.).

Consumul de hidrogen realizat pe un traseu de 5 km a fost de cca. 12 g. Rezultă prin extrapolare pentru un parcurs de 100 km un consum de 240 g. Capacitatea rezervorului de hidrogen fiind de 1500 g la 700 bar rezultă o autonomie de deplasare teoretică de 625 km. În acest moment, nu s-a introdus în țară sistemul de comprimare la presiunea de 700 bar, astfel că presiunea de îmbuteliere admisă pentru hidrogen este de 300 bar, rezultând o autonomie teoretică de numai 265 km.

Testul acestui vehicul s-a efectuat pe căile de acces din interiorul institutului, cu „start” la presiunea de 300 bar și „stop” la presiunea de 5 bar pe rezervorul de hidrogen. Durata totală a fost de 5 ore 54 minute, timp în care s-a parcurs o distanță de 251 km. Viteza medie realizată a fost de cca. 42,5 km/h. Valoarea medie a consumului de hidrogen realizat pe această distanță a fost de 2.51 g/km.

3.3. Integrarea ansamblurilor de pile de combustibil în aplicații portabile

La ora actuală există o cerere tot mai mare de sisteme portabile de producere a energiei. Un astfel de generator portabil de energie a fost dezvoltat în cadrul unui proiect de cercetare realizat în parteneriat cu alte instituții/companii (PCCA 284/2014), având ca aplicabilitate domeniul militar, pentru menținerea suportului energetic al echipamentelor individuale și colective ale combatanților în câmpul tactic [13-15].

Modelul experimental realizat a avut la bază două elemente cheie: un reactor de hidrogen și un ansamblu

de pile de combustibil, care sunt în interdependenţă directă prin intermediul unui sistem de control şi monitorizare. În funcţie de cerinţele de energie ale utilizatorului final, ansamblul de pile de combustibil stabileşte cât hidrogen trebuie să producă reactorul de hidroliză. O imagine a sistemului portabil realizat şi o reprezentare schematică a acestuia este prezentată în figura 5. Se poate observa că modelul experimental dispune, de asemenea, de un sistem de baterii şi de un sistem integrat de management al puterii care are rolul de a monitoriza permanent nivelul de încărcare al bateriilor. Atunci când tensiunea în sistemul de baterii scade sub un nivel prestabilit, pila de combustibil porneşte automat pentru a reîncărca bateriile. Pila de combustibil, care are nevoie de hidrogen pentru a produce energie, porneşte reactorul de hidroliză pentru a-i furniza cantitatea cerută de hidrogen.

În momentul în care bateriile ating nivelul maxim de încărcare, pila de combustibil se opreşte şi ca atare şi generatorul de hidrogen. În acest mod se obţine energie sigură şi continuă, reducându-se numărul de baterii necesare şi mai ales extinzându-se durata de viaţă a bateriilor pentru că se previn defectările implicate de descărcările complete.

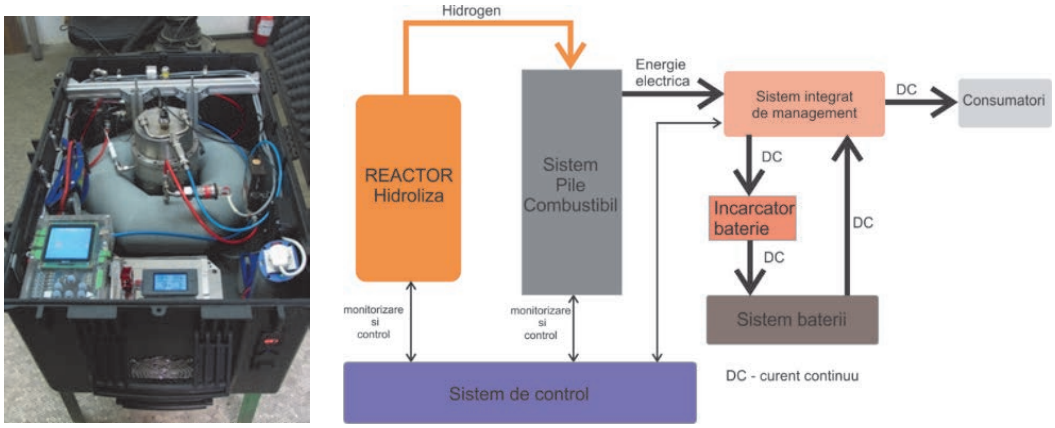


Fig. 5 Sistem portabil cu pile de combustibil

Cartușele cu reactant sunt cilindrice și conțin un amestec de borohidrură de sodiu ($NaBH_4$) și catalizator (acetat de nichel hidratat) într-un raport variabil. După ce se amestecă omogen pulberea de $NaBH_4$ cu catalizatorul, se pastilează amestecul rezultat prin încărcarea lui în pachete din hârtie de filtru, fără a fi presat altfel decât prin propria greutate. Catalizatorul metalic are rolul de a accelera semnificativ reacția de hidroliză,

Metoda de obținere a hidrogenului presupune: amestecarea pulberii de $NaBH_4$ cu catalizatorul, pastilarea amestecului rezultat sub formă de cartușe cilindrice, introducerea cartușelor în compartimentele individuale ale reactorului, introducerea apei, ca reactant, din rezervorul sub presiune în doze controlate prin intermediul sistemului e distribuire a apei prin pulverizare; declanșarea procesului de hidroliză care duce la obținerea de hidrogen și a unui reziduu de tipul boratului de Na, cantitatea de hidrogen generată de sistem putând fi controlată prin dozarea apei ca reactant și prin optimizarea parametrilor de proces cum sunt temperatura și presiunea.

Cantitatea maximă de hidrogen generat a fost dependentă de dimensiunea cartușului dar și de proporția dintre borohidrura de sodiu și catalizator. Pentru cartușe ce utilizează între 10 și 60 de grame de borohidrură de sodiu s-a generat un volum de hidrogen, totalizând cantitatea pentru cele 6 cartușe din reactor, între 100 și 350 litri. Pentru ansamblul de pile de combustibil de maxim 300 W a rezultat o autonomie cuprinsă între 22 și 72 de ore. Dimensiunea sistemului portabil este de 860 x 560 x 435 mm iar greutatea totală de 53 kg fiind adecvată pentru aplicații portabile de generare a energiei electrice.

Integrarea pilelor de combustibil tip PEM cu un generator de hidrogen cu cartuș bazat pe diferite tipuri de borohidruri într-un sistem hibrid care produce electricitate oferă o serie de avantaje pentru soldatul viitorului prin creșterea duratei misiunii odată cu scăderea volumului, a greutății și a logisticii asociate pentru necesarul energetic corespunzător, reprezentând o soluție flexibilă și inteligentă, care asigură funcționarea continuă a oricărui echipament electronic necesar în câmpul tactic.

4. CONCLUZII

Cererea de energie pentru diverse aplicaţii a condus la activități de cercetare-dezvoltare și la un efort considerabil pentru abordarea provocărilor ce apar în elaborarea de concepte si modele experimentale si funcționale inovatoare, economice și ecologice. Lucrarea prezintă realizările institutului în domeniul integrării pilelor de combustibil în diverse sisteme de generare a energiei electrice.

Tehnologia hidrogenului este prin natura sa o „tehnologie verde”, procesul de generare de energie desfășurâandu-se fără emisii contaminante. Producerea hidrogenului prin electroliză sau hidroliză, urmată de generarea de energie folosind pilele de combustibil reprezintă cele mai curate tehnologii disponibile pentru aplicatii mobile, portabile și staționare.

În acest context institutul, prin preocupările menționate, s-a aliniat la politicile UE în domeniul producerii și utilizării energiei.

BIBLIOGRAFIE

[1] https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-fuel-cell-systems-portable-power-and-auxiliary-power

[2] NASA, Fuel Cell powerplants, http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/reference/shutref/orbiter/eps/pwrplants.html, access date – 16.08.2012.-

[3] Bruno Pollet, Iain Staffell, Jin Lei Shang, *Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: from electrochemistry to market prospects*, Electrochimal Acta 84, 235–249, 2012

[4] Frano Barbir, *PEM fuel cells Theory and practice*, Elsevier Academic Press, 2005

[5] Jonathan Lewis, *Stationary fuel cell. Insight into Commercialisation*, International Journal of Hydrogen Energy, 39 (2014), pp. 21896-21901

[6] Charles Stone, *Fuel cell technologies powering portable electronic devices*, Fuel Cells Bulletin, 12-15, 2007

[7] S.C. Amendola, S.L. Sharp-Goldman, M.S. Janjua, N.C.Spencer, M.T. Kelly, P.J.Petillo, *A safe, portable, hydrogen gas generator using aqueous borohydride solution and Ru catalyst*, International Journal of Hydrogen Energy, 25(10),969–975, 2000

[8] T. Yalcinoz, M.S. Alam, *Improved dynamic performance of hybrid PEM fuel cells and ultracapacitors for portable applications*,Int J Hydrogen Energy, 33 (2008), pp. 1932-1940

[9] Leonardo Giorgi1, Fabio Leccese, *Fuel Cells: Technologies and Applications*, The Open Fuel Cells Journal, 6, 1-20, 2013

[10] Mihai Varlam, Mihai Culcer, Adrian Enache, Mircea Raceanu, Mariana Iliescu, Adrian Badea, Ioan Stefanescu, *A Hydrogen-Based Peak Power Management Unit*, UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering74 (1) ,2012, pp. 33-38

[11] http://www.icsi.ro/HyDeMo/index.html

[12] http://www.icsi.ro/BackHy/indexro.htm

[13] http://www.icsi.ro/www.cnhpc.icsi.ro/outhypower_informatii.html

[14] Elena Carcadea, Mihai Varlam, Daniela Ion-Ebrasu, Laurentiu Patularu, Mircea Raceanu, Dorin Schitea, *PEM Electrolyzer – An Important Component of a Backup Emergency Hydrogen-Based Power Source*, Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, 20(2):57-66,ISSN:1582-2575, 2017

[15] Elena Carcadea, Mihai Varlam, Ioan Stefanescu, Adriana Marinoiu, Mircea Raceanu, *Numerical Analysis on the Hydrogen Generation from Sodium Borohydride Hydrolysis*, Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, *19*(1):35-44, ISSN: 1582-2575, 2016

DYNAMIC PERFORMANCE OF THE HYBRID ELECTROHYDRAULIC SERVO SYSTEMS

Nicolae VASILIU, Daniela VASILIU , Constantin CĂLINOIU, Toma COJOCARU-GREBLEA

University "POLITEHNICA" of Bucharest, Romania

REZUMAT. Lucrarea este consacrată determinării prin simulare numerică a performanțelor statice și dinamice ale unui nou tip de servomecanism electrohidraulic hibrid realizat prin conectarea directă a unei electropompe volumice bidirecționale cu un cilindru hidraulic bidirecțional simetric. Simulările numerice realizate cu limbajul Simcenter Amesim au relevat eficiența energetică a noului concept promovat pe scara largă de marii producători de aeronave civile precum A380. Rezultatele teoretice au fost validate prin încercări sistematice realizate pe un stand original conceput în cadrul laboratorului de sisteme de acționare electrohidraulice al Universității "POLITEHNICA" din București. Conducerea servomecanismului a fost realizată cu programul LabVIEW RT implementat pe un controler PXI furnizat de corporația National Instruments.

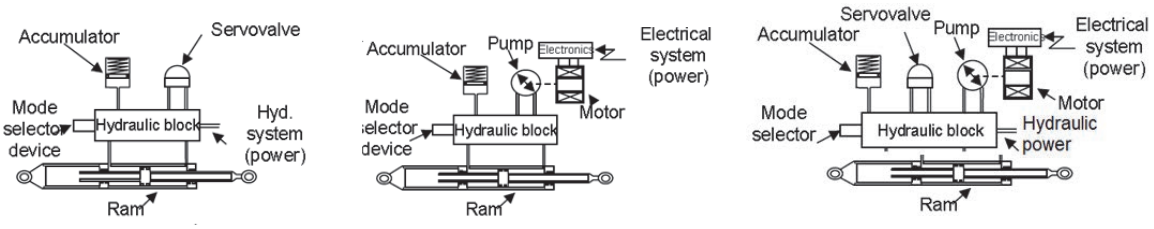
Cuvinte cheie: Economie de energie, Servomecanisme electrohidraulice hibride, Modelare, Simulare, Validare experimentală.

ABSTRACT. The paper presents the results of the numerical simulations performed in order to find out the static and dynamic performances of a new type of hybrid electrohydraulic servomechanism. The new concept was generated by the needs of the modern aerospace technology called „flight by wire", directed to the use of compact actuators composed mainly by a brushless motor driving a hydrostatic pump which is connected in a close loop with a hydraulic cylinder. The numerical simulations performed with Simcenter Amesim language pointed out the possibility of saving a lot of energy by this new concept, already used on large airplane as A380. The theoretical results were validated by extensive experiments performed on an original test bench designed in the frame of the Electrohydraulic Fluid Power Systems of the University „POLITEHNICA" of Bucharest. An industrial PXI digital controller with LabVIEW real time environment was used for guiding the control system.

Keywords: Energy saving, Hybrid electrohydraulic servosystem, Modeling, Simulation, Experimental validation.

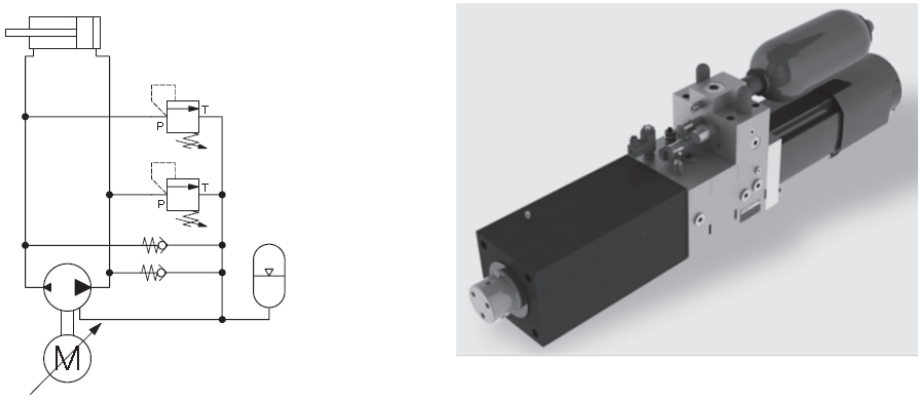
1. PROBLEM FORMULATION

The classical electrohydraulic servomechanisms, which include different types of high-speed two or three-stages servovalves (with flapper - nozzles, jet - pipes or piezoceramic actuators) are still widely used in high performance control systems due to their very high dynamics reaching even 1000 Hz. However, the complex and expensive maintenance program, and the low overall energy efficiency due to the lamination of the fluid are strong drawbacks. The maximum efficiency of a classical hydraulic position servo system is lower than 65%. Consequently, all the advanced fluid control systems include oil coolers, and use special synthetic fluids for wide temperature ranges. In spite of these peculiarities, the modern servovalves offer minor constants, which allow a high positioning accuracy. In the recent evolution of the electrohydraulic servo systems two important structural improvements can be pointed out: a) the wide scale replacement of the classical servovalves by proportional directional flow control valves in different industrial applications (by Rexroth, from 1989); the replacement of any kind of servovalves by a bidirectional reversible volumetric pump driven with a brushless motor controlled by power electronics (by Airbus, from 2004). This evolution is presented in Figure 1 for symmetric actuators [1…4]. The basic hydrostatic transmission, composed by a volumetric pump and a hydraulic cylinder remains the most simple, compact and light mechanism for generating any force. The combination between a brushless motor, with digital driver, and a ball screw connected in close position loop became already the best driving system for small inertial loads, but the upper limit of the force remains low. The hybrid combination between a brushless motor and a hydrostatic transmission composed mainly by a high-speed pump, and a linear servomotor offers the best performances with the smallest weight and reduced dimensions. In the last decade, a significant progress was achieved in promoting this new generation of hybrid compact actuators in many industrial process, and in all kind of steering system for airplanes, ships, trucks etc. control systems for turbines, ships, trucks etc. (Figures 2 and 3).



a) b) c)

Fig. 1. Symmetrical structures of classical and hybrid electrohydraulic servomechanisms:
a) Classic one; b) Electro hydrostatic one; c) Redundant version (classic and electro hydrostatic in parallel) [1…9].



a) b)

Fig. 2. Structure of an hybrid electrohydraulic servomechanism designed for a hydraulic press:
a) Hydraulic diagram; b) Main view of an industrial hybrid servomecanism [10].

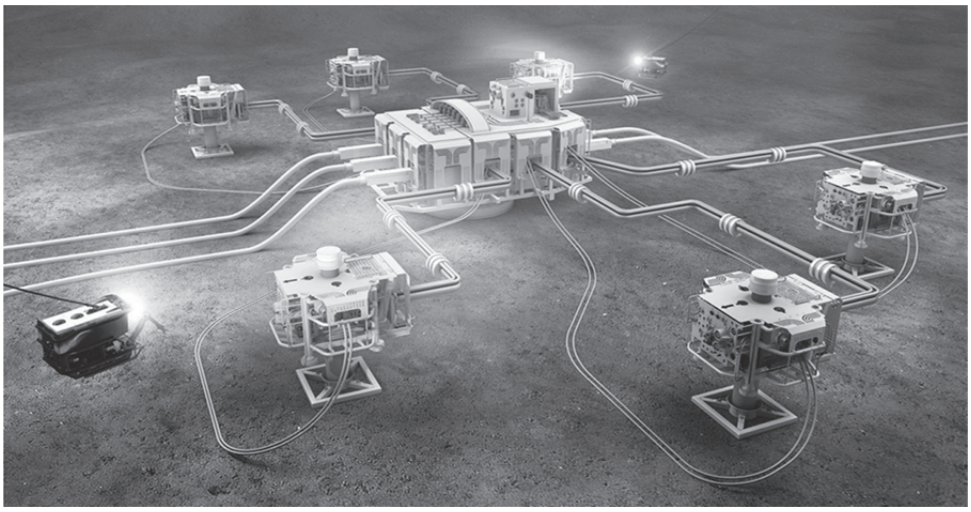


Fig. 3. Subsea valves opening management by hybrid servomechanisms [11…13].

2. NUMERICAL SIMULATION RESULTS

The evaluation of the static and dynamic behavior of a hybrid servomechanism was performed by numerical simulation using Simcenter Amesim language produced by SIEMENS PLM Software [14, 15]. The simulation network is shown in Figure 4. The calculation data correspond to a servomechanism intended to operate the rudder of a small aircraft. The aerodynamic load of the hydraulic cylinder has been modeled with a suitable stiffness spring. Applying a slow sinusoidal input signal allows us to find the static characteristics of the servomechanism to be evaluated, resulting in a maximum hysteresis of about 10 mm (Figure 5).

Positioning accuracy around zero is much better, the maximum error at a full motion cycle not exceeding 0.6 mm (Figure 6).

The variation in the force delivered by the hydraulic cylinder over the entire stroke for a slow sinusoidal signal (0.05 Hz) is shown in Figure 7. The force corresponds to the pressure variation in the two

chambers of the hydraulic cylinder shown in Figure 8, which indicates the systematic trend of cavitation phenomenon when changing the direction of rotation of the pump. At these times, the pressure drops sharply to the value provided by the hydro pneumatic accumulator preloaded with nitrogen at 5 bar.

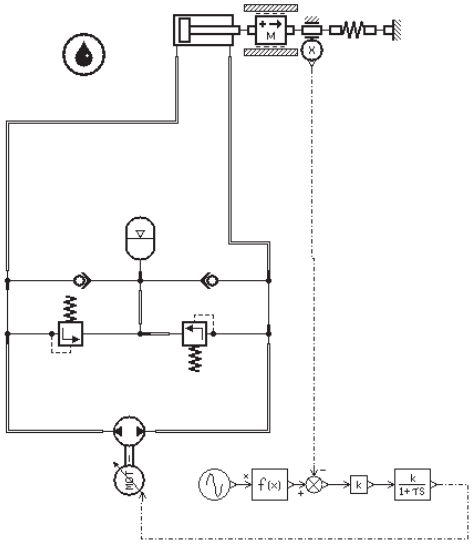


Fig. 4. Amesim simulation network of an asymmetric hybrid electrohydraulic servomechanism.

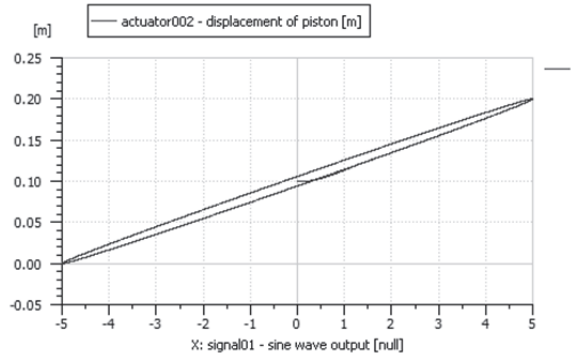


Fig. 5. Complete steady state characteristics of the servomechanism (±100 mm).

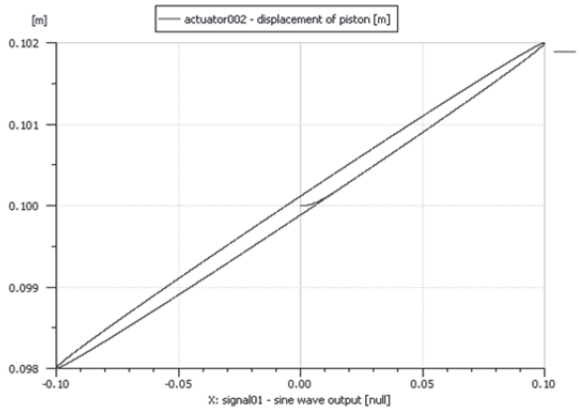


Fig. 6. Static error around the null point (Stroke: ±2 mm).

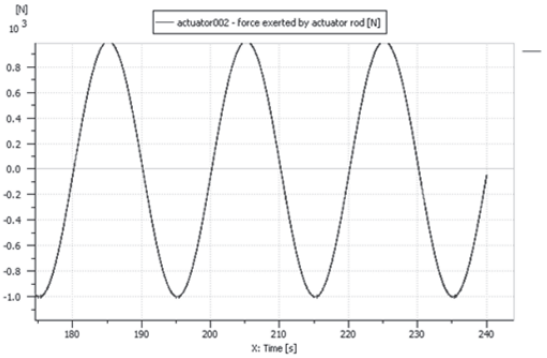


Fig. 7. The force variation provided by the hydraulic cylinder for a slow sinusoidal signal.

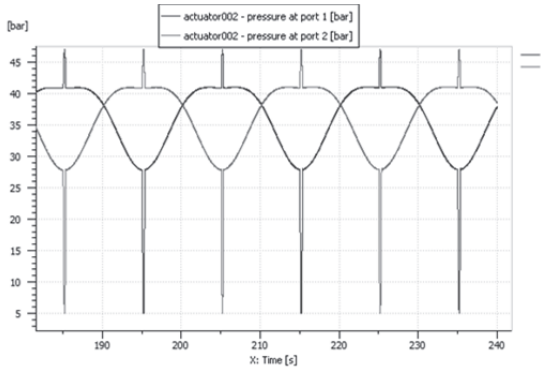


Fig. 8. Variation of pressure in hydraulic cylinder ports

The variation of the brushless motor speed is shown in Figure 9, and the variation of the pump discharge rate is shown in Figure 10.

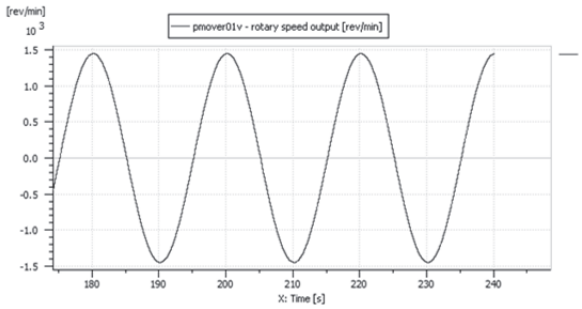


Fig. 9. Brushless motor speed variation .

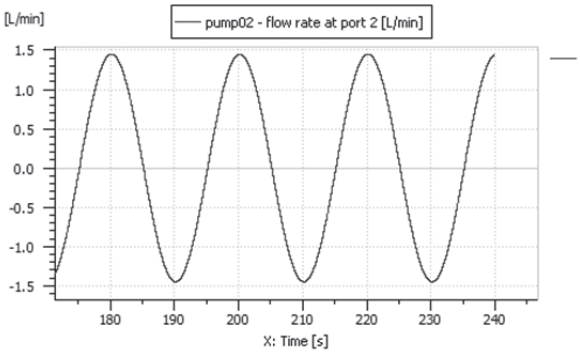


Fig. 10. Variation of the servopump flow rate.

The flow variation through the check valves during the sinusoidal signal stabilization is shown in Figure 11.

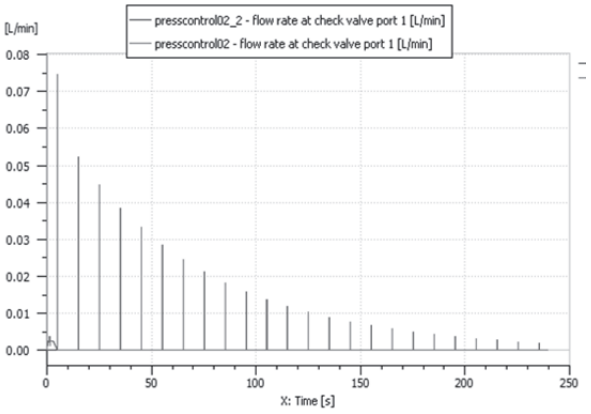


Fig. 11. Flow rate passing through the check valves during transient phase of the sine response

The dynamic behavior of the hybrid electrohydraulic servomechanism was also analyzed in relation to the step signal indicated in Figure 12. The response of the servomechanism to this signal, shown in Figure 13, has an aperiodic character, the time constant having a relatively small value of about 0.3 s.

At the same time, the error value in the feedback loop is shown in Figure 14, and the electric motor responds as shown in Figure 15. The overall transient process is less than 0.6 s.

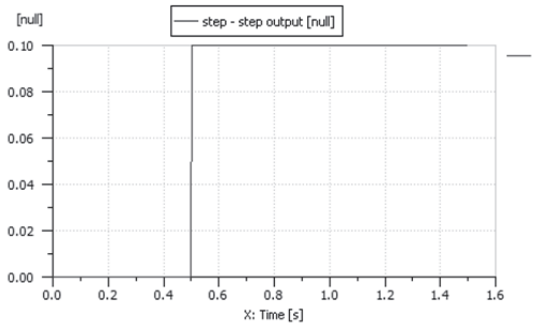


Fig. 12. The step input signal applied to the system.

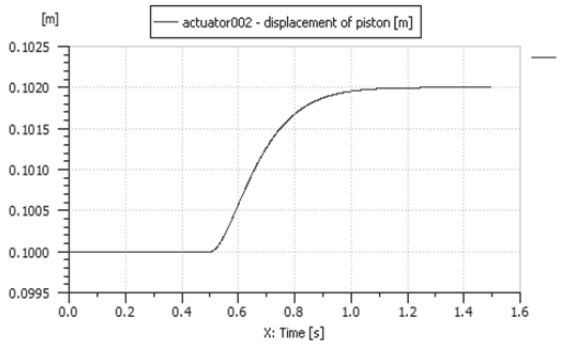


Fig. 13. System position response for a step signal.

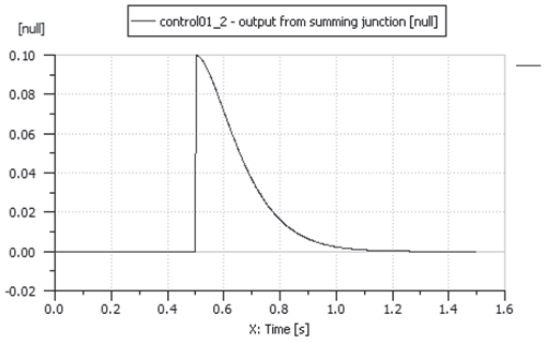


Fig. 14. Following error for a step input signal

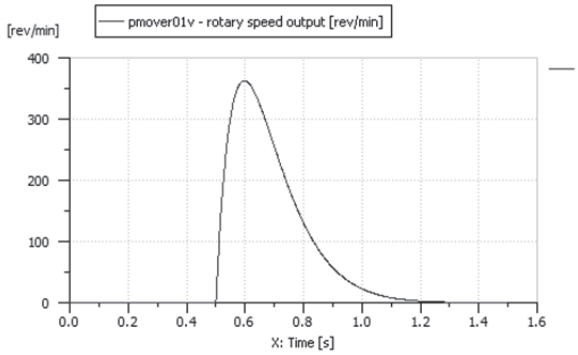


Fig. 15. Evolution of brushless motor speed for a step-up command signal.

The frequency response of the servo system was found out using the simulation network from figure 16. A typical result shows a normal behavior for small amplitude input signals (figure 17).

The numerical simulations performed with the AMESim program indicate the following:

- higher hysteresis (10 mm) than for servo-mechanisms with servovalves, but with lower auto-oscillation risk;
- lower, but dynamic enough performance for practice.

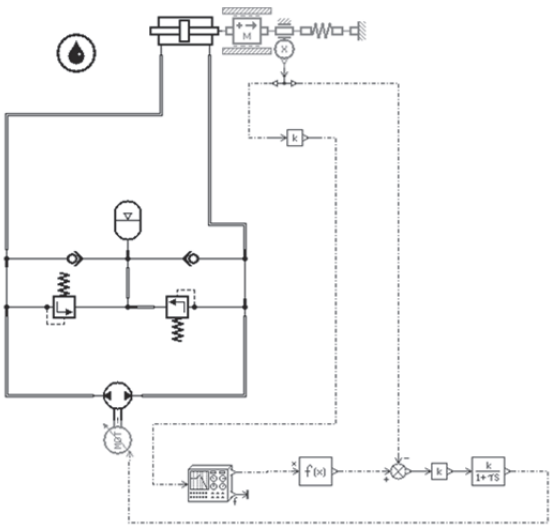


Fig. 16. Frequency response simulation network.

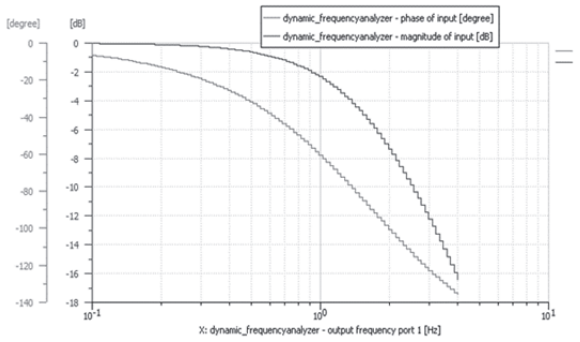


Fig. 17. Frequency response of a symmetric hydraulic cylinder for small amplitude sine input signals.

The asymmetric system follows well the rectangular input signals, and the overshoots are quickly corrected. (Figure 18).

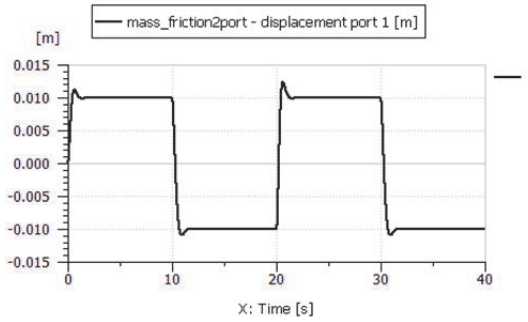


Fig. 18. Asymmetric system response for rectangular inputs.

The follow capacity of the asymmetric system is good enough for low frequencies sine input signals (Figure 19).

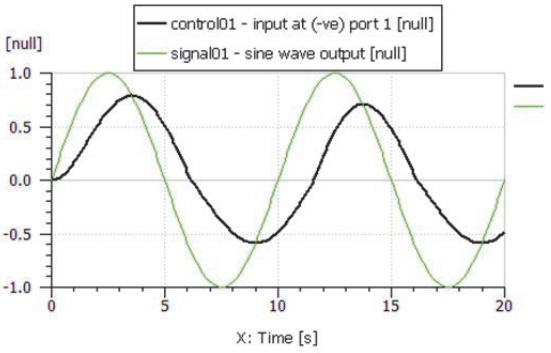


Fig. 19. The sine input response of an asymmetric hydraulic cylinder.

3. TEST BENCH STRUCTURE

The huge effort of the aerospace servo systems manufacturers to avoid the hydraulic connections throughout the big airplanes was powered by a huge number of factory performance test, and reliability test activities. The time needed for the designers from other fields of fluid power systems applications (industrial robotics, subsea oil and gas field's exploitations etc.) was facilitated by the modern tools of numerical simulation, but the final decision was taken after various test carried out in the nature. From this reason, the authors of this paper designed and built a professional test system, and refined the simulations by realistic data, using the previous experience in the field [14…16]. The exposure of the experimental results overcomes the frame of this paper. However, some information about the components of the test bench built in the frame of the University POLITEHNICA of Bucharest can be useful for a better understanding of the design problems. An AC Servo Motor & Driver, MINAS A6 series produced in 2016 by Panasonic Corporation Motor Business Division [17, 18] was chosen for driving a reversible high-pressure gear pump XR012 from Vivolo Corporation [19]. A PXI industrial device from NI Corporation [20] controls the assembly by the aid of the LabVIEW real time environment. The hydraulic cylinder, designed by the authors for high mechanical efficiency, includes a tension and compression load cell Model 2712 - 500 from Sensy Company [21]; two pressure sensors type MBS1750 from Danfoss Corporation [22], and a linear displacement transducer type MLS130-200-R-N from Penny & Giles Company [23]. Hydac [24] and Bosch Rexroth Group [25] supplied the hydraulic circuit components. After the first series of performance test, a cheaper dedicated controller was designed, and successfully tuned (Figure 20).

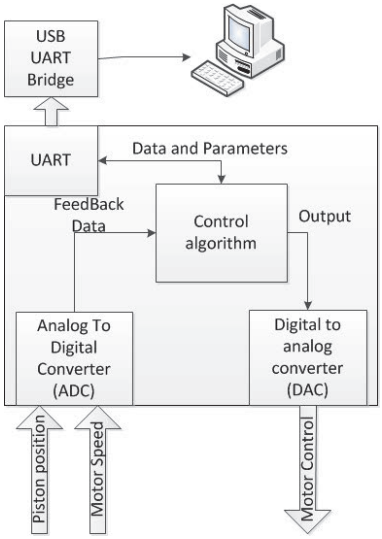


Fig. 20. Architecture of a configurable embedded controller for hybrid servomechanisms.

6. CONCLUSIONS

The hybrid electromechanical and hydrostatic integrated servomechanisms offer a good level of security in special conditions, due to the lack of the servovalves, and the lack of the hydraulic power supply. The compatibility of the recent brushless motors drivers with different generations of controllers will facilitate the penetration of the hybrid servomechanisms in new different technical domains as subsea valves management (Figure 21). The fast

dynamic investigation of their performance with Simcenter Amesim increase the chance of introducing these apparently complex servo systems in many other high security level operation domains.

Fig. 21. Bosch Rexroth subsea valve actuator [12].

REFERENCES

[1] Rydberg, K-E., *Hydraulic Servo Systems.* Linköpings Universitet, IEI, Fluid and Mechanical Engineering Systems, 2008.

[2] Mare, J-Ch. *Aerospace Actuators 1: Needs, Reliability and Hydraulic Power Solutions* (Systems and Industrial Engineering-robotics), ISTE Ltd & John Wiley, London, 2016.

[3] Mare, J-Ch. *Aerospace Actuators 2: Signal-by-Wire and Power-by-Wire* (Systems and Industrial Engineering-robotics), ISTE Ltd & John Wiley, London, 2016.

[4] Mare, J-Ch. *Aerospace Actuators 3: European Commercial Aircraft and Tiltrotor Aircraft*, (Systems and Industrial Engineering-robotics), ISTE Ltd & John Wiley, London, 2018.

[5] Mouvand, S. *Advances and Applications of AMESim Aviation System Simulation*. Internal Report of Aerospace Competence Center, LMS International, 2011.

[6] http://www.thebanque-pdf.com/fr_commandes-de-vol-a380.html

[7] http://blascheck.franck.free.fr/IMG/TD_4_Airbus_A380.pdf

[8] http://www.thebanque-pdf.com/fr_commandes-de-vol-a380.html

[9] http://www.sujets-de concours.net/sujets/ccp/2005/mp/si.pdf

[10] www.voithturbo.com/hydraulic-systems

[11] Devold, H. *Oil and Gas Production Handbook*, ATPA Oil and Gas, ABB, 2006.

[12] Hitchcox, A. *The first subsea valve actuator with advantages of both electro-mechanical and electro-hydraulic systems,* Offshore Technology Conference, Huston, Texas, 2018.

[13] https://www.boschrexroth.com/en/xc/company/press/index2-31936

[14] *** SIEMENS PLM SOFTWARE. *Advanced Modeling and Simulation Environment, Release 13 User Manual*, Leuven, 2013.

[15] Vasiliu, N., Vasiliu D., Călinoiu C., Puhalschi R., *Simulation of the Fluid Power Systems with Simcenter Amesim*. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2017, ISBN-13: 978-1482253559.

[16] Ursu, I., Tecuceanu, G. et al. *Switching Neuro-fuzzy Control with Antisaturating Logic. Experimental Results for Hydrostatic Servoactuators.* Proceedings of the Romanian Academy, Series A, Volume 12, Number 3/2011, pp 231-238. ISSN 1454-9069.

[17] Panasonic Corporation, Motor Business Division. *AC Servo Motor & Driver, MINAS A6 series*, Osaka, 2016.

[18] minas-a6_manu_e.pdf

[19] www.vivoil.com

[20] http://www.ni.com/white-paper/7746/en/

[21] www.sensy.com

[22] www.danfoss.com

[23] www.pennyandgiles.com

[24] www.hydac.com

[25] www.boschrexroth.com

ACADEMIA DE ŞTIINŢE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEŞTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secţiunea III

„ TEORIA SISTEMELOR “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Emil Ceangă
- Prof. dr. ing. Liv iu Goraș
- Prof. dr. ing. Octavian Păstrăvanu

III.01. *Emil Ceangă, Marian Barbu, Sergiu Caraman,* **Controlul automat al digestoarelor anaerobe în abordarea MFC: acordare şi performanțe** 69

III.02. *Ioan Cuncev,* **Scaffolding în planificarea sistemelor distribuite** 75

III.03. *Vasile Sima,* **Improving accuracy of solutions of discrete-time algebraic Riccati equations** 79

CONTROLUL AUTOMAT AL DIGESTOARELOR ANAEROBE ÎN ABORDAREA MFC: ACORDARE ŞI PERFORMANŢE

Prof.dr.ing. Emil Ceangă membru titular ASTR, Prof.dr.ing. Marian Barbu, Prof.dr.ing. Sergiu Caraman

Universitatea „Dunărea de Jos" din Galaţi, România

REZUMAT. Lucrarea se referă la conducerea procesului de digestie anaerobă (PDA) utilizând abordarea "Model Free Control" (MFC) având în vedere faptul că metodele uzuale de control al PDA utilizează modele puternic simplificate ale procesului. In lucrare, controlului PDA prin abordarea MFC porneşte de la modelul complex ADM1, utilizat ca "proces virtual". Obiectivele urmărite au fost: acordarea parametrilor legii de reglare, analiza comparativă a două versiuni de utilizare a MFC şi analiza robusteţii legii de reglare MFC la modificare punctului de operare al PDA.

Cuvinte cheie: model, digestor anaerob, acordarea regulatorului, regulator inteligent, control robust.

ABSTRACT. The paper „Automatic control of anaerobic digesters using MFC approach: tuning and performances" deals with the control of the anaerobic digestion process (ADP) using the "Model Free Control" (MFC) approach, given that the usual ADP control methods use highly simplified process models. In the paper, PDA control through the MFC approach starts from the ADM1 complex model, used as a "virtual process". The objectives pursued were: tuning the parameters of the control law, comparative analysis of two versions of MFC used and MFC control robustness analysis.

Keywords: model, anaerobic digester, controller's tuning, intelligent controller, robust control.

1. INTRODUCERE

Controlul proceselor de digestie anaerobă este un subiect important, abordat frecvent în literatură. In lucrarea de sinteză [1], dar şi în [2]-[4], sunt incluse rezultate şi abordări privind instrumentaţia şi controlul proceselor de digestie anaerobă (PDA). In privinţa modelării PDA, au fost dezvoltate două abordări: 1) utilizarea unor modele simplificate, bazate pe descrierea matematică a dinamicii din cadrul a două reacţii: de acidogeneză şi, respectiv, de metanogeneză (de ex., modelul AMOCO [5]); 2) dezvoltarea unui model matematic detaliat, de mare complexitate, cum este ADM1 (Anaerobic Digestion Model No. 1) [6]. Evident, cele mai multe abordări privind controlul PDA utilizează modele simplificate, care permit utilizarea observerelor şi a metodologiilor de control bazate pe modele analitice. Modelul matematic complex ADM1 este neadecvat pentru sinteza algoritmilor de reglare însă permite detalierea fenomenologiei din proces şi evidenţierea influenţelor unor factori endogeni asupra dinamicii procesului. În aceste condiţii, ADM1 "*poate fi folosit ca o instalaţie virtuală pentru a testa abilitatea algoritmilor avansaţi de a-şi atinge obiectivele în condiţii mai realiste, limitând astfel numărul de experimente lungi şi costisitoare care trebuie efectuate* " [7]. Această abordare este utilizată în cele ce urmează. Obiectivul urmărit de sistemul de control poate fi variat, ca de exemplu: menţinerea COD (Chemical Oxygen Demand) la o valoare prescrisă, compatibilă cu normele de protecţie a mediului sau maximizarea biogazului produs în digestorul anaerob sau extremizarea unui criteriu mixt, care realizează un compromis între efectele contradictorii ale cerinţelor menţionate anterior.

În cadrul acestei lucrări s-a considerat obiectivul reglării COD la o valoare de referinţă, în condiţiile când nu se utilizează modele analitice clasice din problema controlului PDA, ci modelul ADM1 folosit ca „instalaţie virtuală". În aceste condiţii, abordarea utilizată a fost „model free control" (MFC), iar obiectivele urmărite au fost: 1) stabilirea unei proceduri de evaluare a parametrilor legii de comandă; 2) realizarea unei analize comparative a performanţelor de control la utilizarea a două versiuni de aplicare a metodei MFC şi 3) analiza robusteţii legii de reglare din abordarea MFC la modificarea regimului de funcţionare al PDA.

2. DEFINIREA PROBLEMEI DE CONTROL

Digestorul anaerob (DA) utilizat în studiul de caz din cadrul acestei lucrări are volumul de lichid V_l = 3400 m^3 şi volumul de gaz V_g = 300 m^3. Obiectivul

problemei de control este reglarea la o referinţă impusă a variabilei COD, definită prin relaţia COD = S_1 + S_2, unde S_1 este suma concentraţiilor componentelor substratului organic, iar S_2 este suma concentraţiilor acizilor graşi volatili. Mărimea de comandă a buclei de reglare este diluţia D (sau debitul de influx în DA, $Q_{ad} = V_l \cdot D$), iar mărimile perturbatoare sunt variaţiile concentraţiilor din influx, S_{1in} şi S_{2in}.

3. CONTROLUL PDA PRIN ABORDAREA MFC

În forma cea mai generală, modelul PDA tratat ca proces condus poate fi pus sub forma

$$F(t, y, \dot{y}, ..., y^{(n)}, u, \dot{u}, ..., u^{(m)}, u_{pk}, \dot{u}_{pk}, ..., u_{pk}^{(m_k)}) = 0 \quad (1)$$

unde y este mărimea controlată (y = COD), u este comanda ($u = Q_{ad}$), u_{pk} , k = 1,2, sunt mărimile perturbatoare ($u_{p1} = S_{1in}, u_{p2} = S_{2in}$).În abordarea MFC, în locul modelului necunoscut (1) se utilizează modelul "ultralocal" [8], [9]:

$$y^{(v)} = F + \alpha u \quad (2)$$

în care: ordinul derivatei v are o valoare redusă, 1 sau 2 (în cele ce urmează se consideră $y^{(v)} = \dot{y}$), F este o variabilă care se estimează la fiecare moment discret de calcul al comenzii, iar α este un parametru care se alege astfel încât " $\alpha \cdot u$ *şi* $y^{(v)}$ *să aibă aceeaşi mărime*" [8]. Variabila F include efectele structurii necunoscute a sistemului, inclusiv efectele perturbaţiilor. Este important de menţionat faptul că un model ideal (2), susceptibil de a fi echivalent cu modelul (1), ar trebui să utilizeze *în orice moment* valori ideale şi necunoscute ale mărimilor F şi α. În aplicaţiile practice, comanda ideală în MFC este de forma

$$u = \left[-F + \dot{y}_r + R(e)\right] / \alpha \quad (3)$$

în care $R(e)$ este componenta comenzii dată de un regulator clasic:

$$R(e) = K_P\, e + \frac{1}{T_i}\int e\, dt + T_d\, \dot{e} \quad (4)$$

unde $e = y_r - y$, iar y_r este referinţa buclei. După cum se aleg valorile nenule ale parametrilor K_P , T_i şi T_d , se obţin regulatoarele numite iP, respectiv iPI, iPD şi iPID. Din rclaţiilc (2), (3) şi (4) sc obţinc:

$$(1+T_d)\dot{e} + K_p\, e + \frac{1}{T_i}\int e\, dt = 0 \quad (5)$$

Această relaţie este valabilă în condiţiile comenzii *ideale* (3), care nu este cunoscută. Prin urmare, aprecierea că acordarea parametrilor K_P , T_i şi T_d "*becomes therefore straightforward*" [8] nu are acoperire. În realitate, comanda utilizată efectiv este

$$u = \left[-\hat{F} + \hat{\dot{y}}_r + R(e)\right] / \alpha \quad (6)$$

unde $\hat{F}$ şi $\hat{\dot{y}}_r$ sunt estimările curente ale variabilelor F şi $\dot{y}_r$. În aceste condiţii, ecuaţia (5) devine

$$(1+T_d)\dot{e} + K_p\, e + \frac{1}{T_i}\int e\, dt + \varepsilon_F(t) - \varepsilon_{\dot{y}_r}(t) = 0 \quad (7)$$

în care $\varepsilon_F(t) = F(t) - \hat{F}(t)$ şi $\varepsilon_{\dot{y}_r}(t) = \dot{y}(t) - \hat{\dot{y}}_r(t)$. Variabila $\varepsilon_F(t)$ nu este independentă în raport cu $e(t)$ şi, prin urmare, nu are acoperire afirmaţia din [10] că stabilitatea sistemului se poate evalua prin "polinomul caracteristic" aferent acestei ecuaţii.

Pentru determinarea estimării $\hat{F}$, în literatură sunt întâlnite două abordări. Prima din acestea, utilizată în [11], [12], porneşte de la modelul ultralocal pentru timp discret:

$$\dot{y}[k] = F[k] + \alpha u[k-1] \quad (8)$$

de unde se deduce

$$\hat{F}[k] = \hat{\dot{y}}[k] - \alpha u[k-1] \quad (9)$$

în care $\hat{\dot{y}}[k]$ este estimarea derivatei ieşirii. Din (6) şi (9) rezultă legea de comandă:

$$u[k] = u[k-1] + \frac{1}{\alpha}\left[\hat{\dot{y}}_r[k] - \hat{\dot{y}}[k] + R\left(e[k]\right)\right] \quad (10)$$

În [8] se utilizează "*a trivial sampling of the \velocities*":

$$\hat{\dot{y}}_r[k] = \frac{1}{T_s}\left(y_r[k] - y_r[k-1]\right);\ \hat{\dot{y}}[k] = \frac{1}{T_s}\left(y[k] - y[k-1]\right) \quad (11)$$

unde T_s este perioada de eşantionare. În acest caz se obţin legi de comandă simple. Astfel, pentru regulatorul iP, când $R\left(e[k]\right) = K_p e[k]$, se obţine legea de comandă

$$u[k] = u[k-1] + \frac{1}{\alpha T_s}\left[e[k] - e[k-1]\right] + \frac{K_p}{\alpha T_s} e(k) \quad (12)$$

Aceasta este o comandă de tip PI cu parametrii

$$K_P = \frac{1}{\alpha T_s}\ ;\ K_I = \frac{K_p}{\alpha T_s} \quad (13)$$

În acelaşi mod, în [8] se prezintă echivalenţa regulatoarelor inteligente iPI, iPD şi iPID cu legile de comandă clasice PI^2, respectiv PID şi PI^{2}D, cu precizarea parametrilor acestora din urmă. Întrucât în controlul proceselor legea de comandă cea mai utilizată este PI, rezultă că regulatorul inteligent care trebuie analizat cu prioritate este iP, a cărui acordare presupune alegerea parametrilor α şi K_p .

Cea de a doua abordare în determinarea estimării $\hat{F}$, utilizată în [8], [13] şi [14], are la bază relaţia (6), de unde se explicitează $\hat{F}$, şi apoi se realizează o filtrare de tip fereastră mobilă. În cazul cel mai simplu, al regulatorului iP, când $R(e) = K_p \cdot e$, rezultă

$$\hat{F}(t) = \frac{1}{\tau}\int_{t-\tau}^{t}\left[\dot{y}_r(\varsigma) - \alpha u(\varsigma) + K_p e(\varsigma)\right] d\varsigma \quad (14)$$

în care $\tau > 0$ se alege la acordarea regulatorului.

Având în vedere complexitatea modelului PDA, utilizarea abordării MFC este atractivă, cu condiţia

rezolvării unor probleme care nu sunt suficient analizate şi precizate în literatura de specialitate. Printre acestea, sunt şi cele abordate în secţiunile următoare, adică: acordarea parametrilor legii de reglare; analiza comparativă a performanţelor de control la utilizarea versiunilor (9) şi (14) de calcul al estimării $\hat{F}$; analiza robusteţii legii de reglare MFC la modificare regimului de funcţionare al PDA.

4. ACORDAREA LEGILOR DE REGLARE DIN ABORDAREA MFC LA CONTROLUL PDA

Schema de principiu a sistemului de control al PDA utilizând abordarea MFC este dată în Fig. 1. Aici sunt puse în evidenţă cele două componente ale comenzii $u[k]$: componenta $u_p[k]$ care derivă din ecuaţia modelului ultralocal şi componenta $u_R[k]$ introdusă din legea de comandă $R(e)$. Ambele

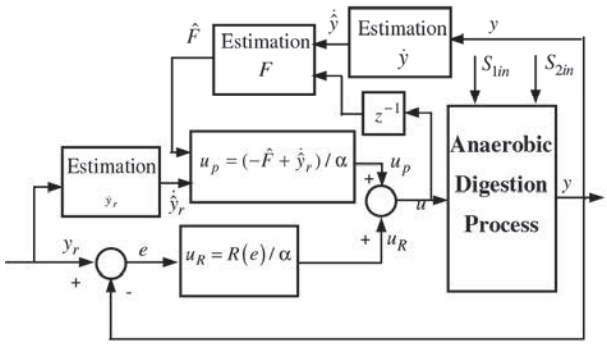


Fig. 1. Schema de principiu a sistemului de control al PDA utilizând abordarea MFC

componente depind de parametrul α. Pentru determinarea acestuia s-a considerat că este esenţială cerinţa formulată la definirea modelului ultralocal: „$\alpha \cdot u(t)$ *and* $\dot{y}(t)$ *are of the same magnitude*" [8]. Termenii menţionaţi sunt funcţii de timp distincte şi cerinţa formulată trebuie evaluată în sensul „ordinului de mărime" sau al abaterii standard, în cazul când aceşti termeni au variaţii aleatoare. Pentru iniţializarea lui α este oportună realizarea unui experiment foarte simplu: înregistrarea răspunsului PDA la un semnal de probă, de exemplu o variaţie în treaptă de amplitudine redusă $u(t)$, în jurul regimului uzual de funcţionare al procesului. Pe baza datelor înregistrate în acest experiment, se trasează graficele $\dot{y}(t)$ şi $\alpha \cdot u(t)$, considerând diferite valori ale lui α. În Fig. 2 este ilustrată o situaţie în care adoptarea valorii 0.025 a acestui parametru pare o soluţie rezonabilă. Adoptând această valoare în structura legii de comandă, se determină performanţele sistemului în situaţia când $u_R[k]=0$. Atunci când se aplică o variaţie în treaptă referinţei $y_r(t)$, răspunsul mărimii de ieşire al buclei este dat în Fig. 3.a. Întrucât u_p

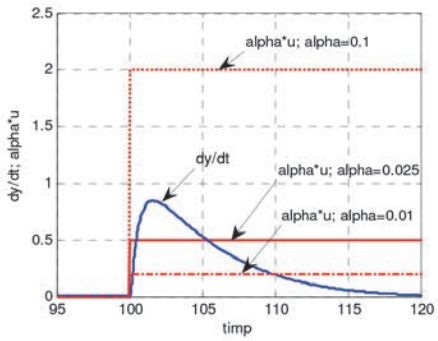
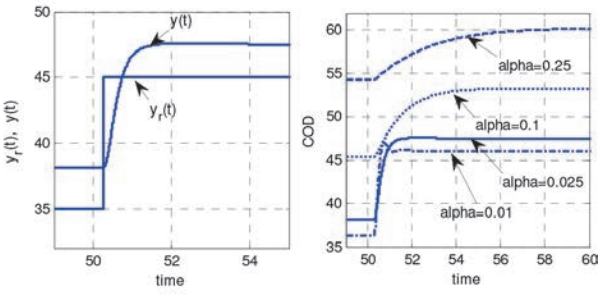


Fig.2. Test preliminar pentru determinarea parametrului α

reprezintă componenta proporţională a legii de comandă, efectul obţinut este de bandă largă şi determină preponderent calitatea regimului dinamic, fără a asigura anularea erorii staţionare. Faptul că parametrul α este cel care determină ponderea componentei P din legea de comandă este ilustrat şi prin răspunsurile sistemului în buclă închisă, atunci când $u_R[k]=0$, date în Fig. 3.b. Adoptarea unei valori a lui α la care răspunsul buclei este cu suprareglare ($\alpha \le 0.01$) nu este recomandată, din punctul de vedere al rezervei de stabilitate, întrucât la comanda u_p se adaugă $u_R(e)$, care introduce o componentă I (la regulatorul iP), plus o componentă I^2 (la regulatorul iPI) sau chiar un supliment de comandă P (la regulatorul iPID).



a b

Fig. 3. Răspunsurile la semnal treaptă ale sistemului cu comanda u_p: pentru $\alpha=0.025$ (a) şi pentru diferite valori ale parametrului α

În lucrarea [8] se menţionează că parametrii K_p, $K_i = 1/T_i$, $K_d \equiv T_d$ din componenta $u_R(e)$ a comenzii „*are the usual tuning gains*". Această formulare este discutabilă, deoarece în cadrul unui regulator iPID, parametrul K_p determină amplificarea K_I aferentă componentei I a regulatorului inteligent, K_i determină amplificarea componentei I^2, iar prin K_d se introduce un termen suplimentar în componenta proporţională. În cel mai simplu regulator inteligent, de tip iP, trebuie acordat parametrul K_p care determină amplificarea K_I a acţiunii integratoare. Prin încercări (trials and errors method) s-a obţinut $K_I = 10$. Cu parametrii α şi K_I menţionaţi,

răspunsurile la semnale treaptă şi rampă ale sistemului de control al PDA cu regulator iP sunt date în Fig. 4.a.

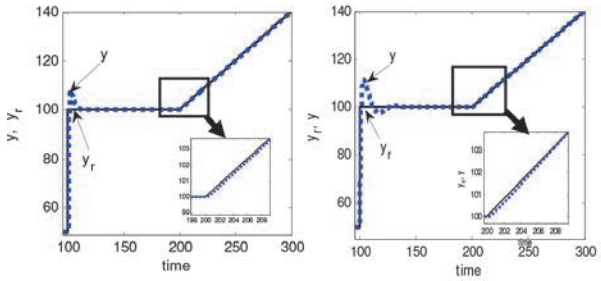


Fig. 4. Răspunsurile la semnale treaptă şi rampă ale sistemului de control al PDA cu regulatoare iP (a) şi iPI (b)

Concluziile care se desprind din prezentarea rezultatelor din Fig. 3.a, 3.b şi 4.a sunt:

1. acordarea regulatorului iP are la bază constatarea că parametrul α se poate determina pe baza unui experiment simplu, efectuat pe proces în

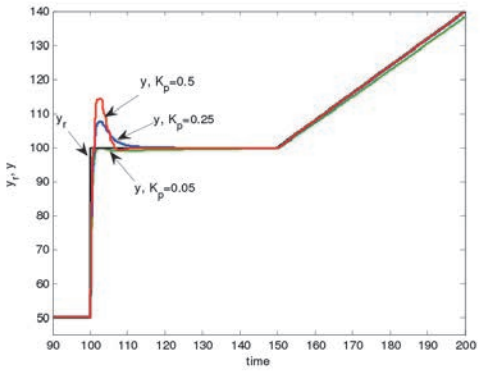


Fig. 5. Răspunsul la semnale treaptă şi rampă al buclei cu regulator iP, la variaţia parametrului K_p

circuit deschis. În plus, se constată că performanţa sistemului rămâne acceptabilă, chiar şi la o variaţie de 10 ori a amplificării K_p, aşa cum se ilustrează în Fig. 5. În aceste condiţii, acordarea parametrului $K_I = K_p/(\alpha T_s)$ este relativ simplă;

2. pentru obţinerea regulatorului iPI se adaugă componenta cu efect I^2, a cărei amplificare, K_{I^2}, se alege de circa 5 ori mai mică decât K_I. Răspunsul sistemului cu regulator iPI este dat în Fig. 4.b;

3. aprecierea din [8] că parametrii K_p, $K_i = 1/T_i$ din componenta $u_R(e)$ a comenzii „*are the usual tuning gains*" ai unui regulator clasic s-a confirmat, *în cazul controlului PDA*, însă nu poate fi generală şi lasă deschisă problema obţinerii acestor parametri;

4. pornind de la ecuaţia (7), stabilitatea sistemului şi, în general, dinamica acestuia nu se pot evalua prin polinomul caracteristic aferent ecuaţiei omogene

$$\dot{e} + K_p\, e + \frac{1}{T_i}\int e\,dt = 0 \qquad (15)$$

aşa cum se afirmă în [10] şi se sugerează în [8]. De exemplu, ecuaţia diferenţială omogenă $\dot{e} + K_p\, e = 0$ pentru un regulator iP ar indica numai răspunsuri dinamice aperiodice, fapt infirmat de răspunsurile cu suprareglare din Fig. 4.a şi Fig. 5.

Dacă se adoptă relaţia (14) pentru calculul estimării $\hat{F}(t)$, atunci parametrii de acord ai regulatorului iP sunt: α, τ şi K_p. Faptul că este necesară determinarea unui nou parametru (τ) în operaţia de acordare a regulatorului reprezintă un dezavantaj important al acestei variante a regulatorului.

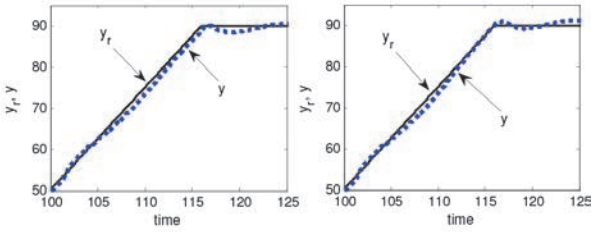


Fig. 6. Răspunsurile la semnale treaptă şi rampă ale sistemului de control al PDA cu regulatoare iP (a) şi iPI (b)

In fig. 6.a şi Fig. 6.b sunt ilustrate răspunsurile buclei obţinute cu regulatoare de tip iP, respectiv iPI. Parametrii acestor regulatoare au fost: (α, τ, K_p) = (0.05, 6, 0.85), respectiv (α, τ, K_p, K_i)= (0.05, 6, 0.85, 0.1). Dacă se ia drept criteriu de apreciere uşurinţa de acordare a regulatorului în abordarea MFC, rezultă că varianta utilizării relaţiei (9) pentru determinarea estimării $\hat{F}(t)$ este mai uşor de aplicat.

O problemă importantă care se pune la implementarea regulatoarelor din abordarea MFC este diminuarea efectului zgomotului, având in vedere necesitatea determinării mărimii $\hat{\dot{y}}$. În lucrările [8], [15] se recomandă utilizarea unei proceduri de obţinere a acestei mărimi pe baza unui filtru FIR, care se sintetizează pornind de la dezvoltarea în serie Taylor a variabilei $y(t)$. Într-o versiune simplă, variabila $\hat{\dot{y}}$ se obţine cu relaţia [15]:

$$\hat{\dot{y}} = -\frac{3!}{T^3}\int_0^T (T - 2t)\, y(t)\, dt \qquad (16)$$

în care $T = nT_s$, T_s fiind perioada de eşantionare, iar n este ordinul filtrului FIR. Ecuaţia filtrului se obţine prin discretizarea timpului în integrala (16) şi calculul integralei printr-o metodă numerică, de exemplu metoda trapezelor. Adoptând n = 5, ecuaţia filtrului FIR este:

$$\hat{\dot{y}}[k] = -\frac{6}{125T_s^2}(2.5y[k-5] + 3y[k-4] + y[k-3] - y[k-2] - 3y[k-1] - 2.5y[k]) \qquad (17)$$

Calculul numeric al derivatei $\dot{\hat{y}}$ se poate realiza şi pe baza schemei din Fig. 7. Aici T_0 este o constantă de timp mică ($T_0 < 1$), iar filtrul $H_F(s)$ se poate alege pornind de la o gamă largă de variante de tip IIR sau FIR. Funcţia de transfer $H_F(s)$ se poate considera ca fiind parte a procesului reglat.

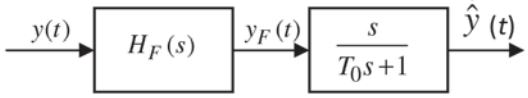


Fig. 7. Obţinerea variabilei $\dot{\hat{y}}$ prin filtrarea lui $y(t)$

Pentru testarea unor soluţii de obţinere a derivatei $\dot{\hat{y}}$ se consideră cazul când $y(t)$ este un semnal sinusoidal cu amplitudinea 20 şi pulsaţia 0.1 [rad/s], care este perturbat de un zgomot alb cu distribuţie normală şi varianţă egală cu 0.2. În Fig. 8 sunt prezentate unele rezultate cu privire la utilizarea unor

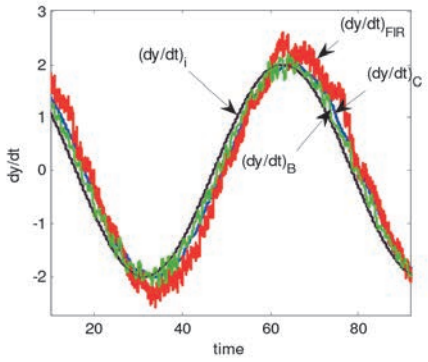


Fig. 8. Obţinerea derivatei $\dot{\hat{y}}$; variaţia ideală $(dy/dt)_i$, semnalul obţinut cu: filtrul FIR (17), $(dy/dt)_{FIR}$, filtrul Chebyshev II $(dy/dt)_C$ şi filtrul Bessel $(dy/dt)_B$

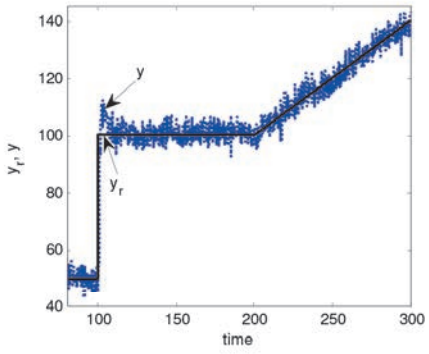
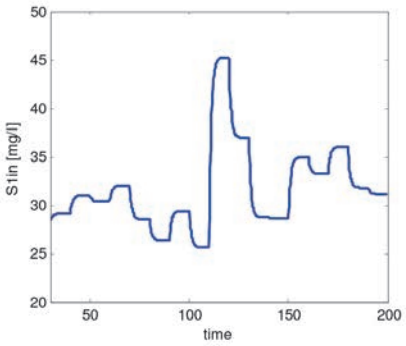


Fig. 9. Răspunsul buclei cu regulator iPI în condiţiile existenţei zgomotului: y_r -referinţa, y – mărimea reglată

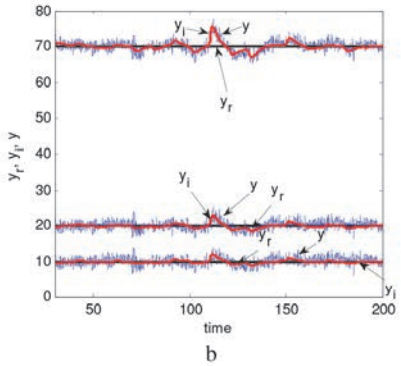
filtre pentru obţinerea derivatei $\dot{\hat{y}}$: $(dy/dt)_i$ este derivata ideală, iar $(dy/dt)_{FIR}$, $(dy/dt)_C$ şi $(dy/dt)_B$ sunt derivatele obţinute cu filtrul FIR (17), respectiv cu schema din Fig. 7, în care s-au utilizat filtre de tip Chebyshev II şi Bessel, ambele de ordinul 8. Concluzia care se desprinde este că indiferent de procedura utilizată, nivelul zgomotului introdus de variabila $\dot{\hat{y}}$ este important, iar regulatorul bazat pe abordarea MFC trebuie să aibă o bună robusteţe la zgomot. Această cerinţă este îndeplinită, aşa cum s-a ilustrat în Fig. 9.

5. REZULTATE PRIVIND CONTROLUL PDA UTILIZÂND ABORDAREA MFC

În regimul normal de operare, sistemul de control al COD funcţionează cu o referinţă y_r impusă, în condiţiile când sistemul este perturbat de variaţiile aleatoare ale concentraţiei S_{1in}. S-a considerat că referinţa y_r este impusă succesiv la 3 valori sensibil mai mici decât limita admisă prin standardele de mediu (de ex., $y_r = 70$, $y_r = 20$ şi $y_r = 10$ [mg/l]). Aceste valori sunt alese astfel încât să le corespundă puncte de operare pe caracteristica $\mathrm{COD} = \mathrm{COD}(S_{1in})$ în care proprietăţile statice şi dinamice ale procesului sunt sensibil diferite. Se are în vedere, deci, examinarea robusteţii sistemului de control la modificarea regimului de operare al procesului.



a



b

Fig. 10. Evoluţia perturbaţiei S_{1in} (a) şi evoluţiile referinţelor, y_r , ale ieşirilor ideale (fără zgomot), y_i , şi ale ieşirilor cu zgomot, y , în 3 regimuri distincte (b)

În Fig. 10.a este prezentată evoluţia perturbaţiei S_{1in} , iar în Fig. 10.b sunt prezentate pe acelaşi grafic evoluţiile referinţelor y_r , ale ieşirilor ideale (fără

zgomot), y_i, şi ale ieşirilor cu zgomot, y, în cele 3 regimuri de operare menţionate. Se constată că performanţele sistemului de control se modifică puţin cu punctul de operare.

6. CONCLUZII

Procedurile actuale de control al PDA au ca punct de plecare modelul procesului, care poate fi obţinut fie pe cale analitică, fie prin identificare experimentală. În prezent, cele mai multe abordări din controlul PDA utilizează modele analitice simplificate, care permit utilizarea observerelor. În acest caz există incertitudini privind realizarea performanţelor de control, având în vedere ipotezele adoptate la deducerea modelelor simplificate. Pe de altă parte, utilizarea procedurii de identificare experimentală pentru obţinerea modelului este puţin atractivă, datorită duratei mari a regimului dinamic şi a necesităţii de a repeta această procedură în mai multe puncte de operare, în care parametrii modelului identificat pot fi diferiţi. În aceste condiţii, devine atractivă perspectiva utilizării unui algoritm de control bazat pe abordarea MFC, elaborată de M. Fliess şi colaboratorii. Pornind de la datele din literatură, această soluţie a fost examinată în lucrare pentru cazul controlului PDA, având în vedere următoarele obiective: 1) precizarea într-o măsură mai detaliată a procedurii de acordare a regulatoarelor de tip iP şi iPI; 2) stabilirea unei comparaţii între variantele de estimare a variabilei $\hat{F}$ care intervine în structura regulatorului; 3) testarea robusteţii controlului de tip MFC în condiţiile când punctul de operare al PDA se modifică în limite largi, în care efectele neliniarităţilor sunt importante. Validarea rezultatelor obţinute s-a făcut în condiţiile când ADM1 este utilizat ca "*virtual plant*". Rezultatele obţinute confirmă faptul că algoritmul de control bazat pe abordarea MFC reprezintă o soluţie cu reale perspective de utilizare pentru controlul PDA.

BIBLIOGRAFIE

[1] Jimenez J. et al. *Instrumentation and control of anaerobic digestion processes: a review and some research challenges*, Rev Environ Sci Biotechnol 14:615–648, 2015.

[2] Bastin G, Dochain D *On-line estimation and adaptive control of bioreactors*. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 1990.

[3] Bernard O, Polit M, Hadj-Sadok Z, Pengov M, Dochain D, Estaben M, Labat P *Advanced monitoring and control of anaerobic wastewater treatment plants: software sensors and controllers for an anaerobic digester*. Water Sci Technol 43:175–182, 2001b.

[4] Méndez-Acosta H.O. et al. *A robust control scheme to improve the stability of anaerobic digestion process*. Journal of Process Control 20:375–383, 2010.

[5] Bernard O, Hadj-Sadok Z, Dochain D et al. *Dynamical model development and parameter identification for an anaerobic wastewater treatment process*. Biotechnol Bioeng 75:424–438, 2001.

[6] Batstone DJ, Keller J, Angelidaki I et al. *Anaerobic digestion model No. 1. (ADM1)*. IWA Scientific and Technical Report No. 13. IWA, 2002.

[7] Bernard O, Chachuat B, Hélias A, Rodriguez J *Can we assess the model complexity for a bioprocess? Theory and example of the anaerobic digestion process*. Water Sci Technol 53:85–92, 2005.

[8] Fliess M, Join C *Model-free control*, https://arxiv.org/pdf/1305.7085.pdf, 2013.

[9] Fliess M, Join C *Model-Free Control and Intelligent PID Controllers: Towards a Possible Trivialization of Nonlinear Control?* Proceedings of the 15th IFAC Symposium on System Identification Saint-Malo, France, July 6-8, 2009.

[10] Roman RC, Radac MB, Precup RE and Petriu EM *Virtual Reference Feedback Tuning of Model-Free Control Algorithms for Servo Systems*, Machines 5, 25, 2017.

[11] Jama MA, Noura H, Wahyudie A, Assi A Enhancing the performance of heaving wave energy converters using model-free control approach, Renewable Energy, 83: 931-941, 2015.

[12] Xu Y, Bideaux E, andThomasset D *Robustness Study on the Model-Free Control and the Control with Restricted Model of a High Performance Electro-Hydraulic System*, The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP, Linköping, Sweden, pp. 523-530, 2013.

[13] Tebbani S, Titica M, Join C, Fliess M, Dumur D *Model-based versus model-free control designs for improving microalgae growth in a closed photobioreactor: Some preliminary comparisons* The 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'16), Athens, Greece, 2016.

[14] Lafont F, Balmat JF, Pessel N, Fliess M *A model-free control strategy for an experimental greenhouse with an application to fault accommodation*, Computers and Electronics in Agriculture, 110(1):139-149, 2015.

[15] Zhang X *Model-free motion control of positioning stage*, MS Thesis Delft University of Technology, Netherlands, 2016.

SCAFFOLDING ÎN PLANIFICAREA SISTEMELOR DISTRIBUITE

Dr. ing. Ioan CUNCEV

ASTR, București, România

REZUMAT. Ghidarea unui sistem pe o traiectorie spre performanțe optimale, se realizează printr-un complex de instruire asistată (scaffolding) în care sunt utilizate resurse și mijloace de instruire într-o anumită ordine și în corelare una cu alta. Pe de altă parte, asupra sistemului distribuit pot fi aplicate reguli de producție, făcându-l să evolueze, ceea ce se controlează prin transformarea de grafuri. Echivalența celor două moduri de abordare poate fi utilizată la perfecționarea metodelor de planificare a sistemelor distribuite.

Cuvinte cheie: scaffolding, transformări de grafuri, planificarea sistemelor distribuite.

ABSTRACT. The guidance of a system on a trajectory to optimal performance is achieved through an assisted training (scaffolding) system in which resources and means of training are used in a certain order and in correlation with each other. On the other hand, production rules can be applied to the distributed system, making it evolve, which is controlled by the graphs transformation. The equivalence of the two approaches can be used to improve planning methods for distributed systems.

Keywords: Scaffolding, Graph Transformations, Planning Distributed Systems.

1. INTRODUCERE

Există anumite tipare în planificarea sistemelor distribuite care fac trimitere la aplicațiile respective pe care acestea le modelează și le rezolvă. La nivelul superior de generalizare, aceste tipare pot fi reprezentate prin conceptul de reguli de producție din transformarea de grafuri. Complexul decizional construit din regulile de producție respective (scaffolding) reprezintă un sistem decizional prin care sistemul distribuit este supus unor transformări pentru a realiza o anumită strategie de evoluție. Amintim, în continuare, astfel de aplicații.

- Influențarea opiniilor și raportului cerere/ofertă în piață prin reguli de producție aplicate acesteia.
- Acomodarea populației cu strategiile și politicile guvernamentale.
- Proceduri de marketing prin care se promovează în piață o firmă sau produsele sale.
- Conceptul scaffolding poate fi utilizat și pentru a construi un eșafodaj sau o schelă bazată pe câteva “reguli de producție” pe care să funcționeze și să se dezvolte un sistem.
- Plan strategic cu participarea mai multor resurse care sunt subproducții din producția ‘star’
- Similar, pentru implementare, adică, traiectoria este urmată prin transformări de grafuri
- Conceptele de co-modalitate, coactive management (coactive scaffolding), proactive management.
- Training pentru formarea resursei umane si pentru implementarea unei strategii într-un anumit domeniu.
- Relația mentor-discipol, maistru-ucenic, asistarea unei regiuni pentru dezvoltare, UE-Ro, programul de twining institutional etc., pot fi modelate prin conceptul de ‘coactive scaffolding’ și este realizată prin aplicarea de către mentor a regulilor de training prin complexul scaffolding spre discipol.
- În participarea mai multor organizații, de exemplu în pregătirea unei țări prin metoda scaffolding de a fi gata să intre în UE, actualizarea și progresarea procesului este un fel de sinergie a efortului lor realizat prin transformarea de grafuri.
- O strategie complexă de protecție a mediului (reducerea deversărilor poluante în mediul înconjurător, realizarea de instalații de purificare a mediului, introducerea tehnologiilor nepoluante de producere a energiei etc.) este un scaffolding ce poate fi echivalent cu o regulă de producție star în care, elementele de mai sus sunt reguli de subproducție.

2. SCAFFOLDING

În general, instruirea de tip scaffolding poate fi încorporată în modelul socio-constructivist al lui Vygotsky privind Zona de Dezvoltare Proximală (ZPD) în care se afirmă că ZPD este: "Distanța dintre nivelul real de dezvoltare determinat de rezolvarea independentă a problemelor și nivelul de dezvoltare potențială determinat prin rezolvarea problemelor sub îndrumarea adulților sau în colaborare cu colegii mai capabili" (Vygotsky (1978)). De pildă, o strategie de dezvoltare a transporturilor este implementată printr-un complex decizional asistat de tip scaffolding pentru

a obișnui pe clienți cu noile concepte logistice. Asistarea beneficiarilor continuă până când ZPD este redusă la zero. Schemele de tip scaffolding sunt ghidate de teoria sarcinii și de teoria instruirii, care necesită o combinație de evaluare a performanței cursantului (Puntambekar & Hübscher (2005)). Studentul și intructorul interacționează pentru a stabili valoarea optimă a asistenței și a caracterizării acesteia. Extinderea schemei la schema distribuită a rezultat din necesitatea de a aborda moduri diferite de a oferi o schemă de instruire. Schemele nu trebuie să se limiteze la oameni deoarece mijloacele eficiente de sprijin ar putea include software, resurse, media și alte obiecte, atâta timp cât instrumentul ajută la o abilitate a studenților sau la ZPD pentru a atinge un obiectiv pe care el sau ea nu-l poate realiza fără orientarea acelei scheme (Puntambekar & Kolodner (2005); Puntambekar & Hübscher (2005)).

3. SCHEMA DISTRIBUITĂ DE INSTRUIRE

Schema distribuită de instruire este un concept menționat de Puntambekar și Kolodner (1998), care descrie un suport continuu de sprijin pentru studenți la confluența mai multor instrumente, activități, tehnologii și medii care sporesc învățarea și performanța acestora. Inițial introdus de Wood, Bruner și Ross (1976), instrumentul de tip scaffolding (eșafodaj, schemă sau schelă de instruire) își are originile în sprijinul și îndrumarea individualizată. Prin instruirea tutorială sau de tip scaffolding, un instructor este capabil să ghideze studentul printr-un set complex de sarcini construit pentru a obține un produs final superior pe care acesta nu l-ar fi putut finaliza fără sprijinul activ respectiv. Cu mulți studenți și cu multe niveluri diferite de calificare sau Zone de Dezvoltare Proximală, este necesară crearea a numeroase structuri de sprijin care să poată aborda în mod corespunzător nivelul de dezvoltare al fiecărui student (Tabak (2004); Puntambekar și Hübscher (2005)). Similar cu termenul de schemă de instruire, schemele distribuite abordează necesitatea de a oferi mai multe tipuri, surse, metode și cantități de suporturi pentru a ajuta la creșterea capacității unui student de a-și îndeplini o anumită abilitate.

4. TIPURI DE SCHEME DISTRIBUITE DE INSTRUIRE

După Tabak (2004) există trei tipuri de scheme tip scaffolding: diferențiate, redundante și sinergice.

- Schemele diferențiate includ tipuri elementare de suport în care se utilizează o schemă pentru fiecare dintre trebuințe.
- Schemele redundante oferă "diferite mijloace de sprijin care vizează aceeași necesitate, dar sunt adoptate în diferite momente în timp în curriculum pentru a furniza niveluri de sprijin titrate" (Tabak (2004)). Prin furnizarea de suporturi și resurse redundante, studentul poate folosi fiecare dintre diferitele tipuri de scheme redundante până când suporturile nu mai sunt necesare.
- Schemele sinergice sunt "suporturi multiple care intervin și coincid cu aceleași trebuințe" (Tabak, (2004)). Acest tip de schemă distribuită încorporează diferite tipuri de suport pentru a obține o trebuință individuală care are o valoare mai mare ca suma rezultatelor care s-ar fi obținut prin utilizarea individuală și separată a suporturilor.

5. SCAFFOLDING ȘI TRANSFORMAREA DE GRAFURI

Sistemul global de suporturi de instruire de tip scaffolding conține sisteme de tip paralel, ale căror acțiuni pot modifica în paralel stările sistemului general, dar și sisteme distribuite constând din părți autonome, având stări și date proprii. Starea sistemului global este descrisă de un graf distribuit în care nodurile sunt obiecte locale, iar arcele (morfismele) reprezintă relațiile dintre ele. Nodurile sunt rețele locale care pot fi modelate prin categorii, iar arcele grafului distribuit realizează și sincronizarea intercondiționării sistemelor locale, implicit a complexelor de tip scaffolding. Se poate face o analogie între regula de producție din teoria transformării de grafuri și suportul de instruire de tip scaffolding.

Considerând un graf G din categoria GRAPH a grafurilor având morfisme etichetate, numit graf rețea, un functor **G** : G → GRAPH se numește graf distribuit (D-graf).

Un graf local se notează G(i) pentru nodul i al rețelei, $i \in G^N$. Pentru un arc de rețea $e \in G^E$, graful local

G (s(e)) este graf interfață sau graf sursă, **G** (t(e)) este graf țintă, iar **G** (e) este morfism în graful total.

Dându-se D-graf **G** și D-graf **H**, un morfism de grafuri distribuite **f** = (η,f) : **G** → **H** este o transformare naturală $\eta = (\mathbf{f}_i)_{i \in G^N} : \mathbf{G} \rightarrow \mathbf{H} \circ f$ în GRAPH, cu f : G→H, fiind un graf morfism al lui GRAPH, numit morfism de rețea.

Toate aceste D-grafuri și D-graf morfisme formează o categorie DISTR(GRAPH).

Condițiile pushout: două n-injective D-graf morfisme **a**: **A** → **C** și **b**: **A** → **B** satisfac condițiile pushout (PO), dacă:

$\forall\ e \in C^E - a(A^E)\ \forall\ y \in A^N : a(y)=s(e) \Rightarrow \mathbf{b}_y$

$\forall\ e \in B^E - b(A^E)\ \forall\ y \in A^N : b(y)=s(e) \Rightarrow \mathbf{a}_y$

sunt bijective.

D-graf producția **p** = (**L** $\xleftarrow{l}$ K $\xrightarrow{r}$ **R**) distribuită, constă din D-grafurile **L**: L→GRAPH, **R**: R→GRAPH și **K**: K→GRAPH, reprezentând partea stângă, partea dreaptă și partea intermediară a relației, precum și două n-injective D-graf morfisme **l** și **r**.

Dându-se o l-injectivă D-graf producție **p** = (**L** $\xleftarrow{l}$ K $\xrightarrow{r}$ **R**) și D-graf aplicația **m**: **L** → **G**, D-graf transformarea distribuită

G $\overset{p,m}{\Rightarrow di}$ **H** via **p** și **m**, de la D-graf **G** la D-graf **H**, este dată de diagramele pushout (1) și (2) din fig.1. Aceasta este o graf-transformare dublu pushout (DPO), (Ehrig, et al. (1973)).

Sistemul global de suporturi de instruire de tip scaffolding conține sisteme de tip paralel, ale căror acțiuni pot modifica în paralel stările sistemului general, dar și sisteme distribuite constând din părți autonome, având stări și date proprii. Starea sistemului global este descrisă de un graf distribuit în care nodurile sunt obiecte locale, iar arcele (morfismele) reprezintă relațiile dintre ele. Nodurile sunt rețele locale care pot fi modelate de asemenea prin categorii, iar arcele grafului distribuit realizează și sincronizarea intercondiționării sistemelor locale. Nodurile pot să conțină complexe de tip scaffolding, instructori sau studenți; aceștia se relaționează, inclusiv pe baza regulilor de producție. Se poate face astfel, o analogie între regula de producție din teoria transformării de grafuri și suportul de instruire de tip scaffolding.

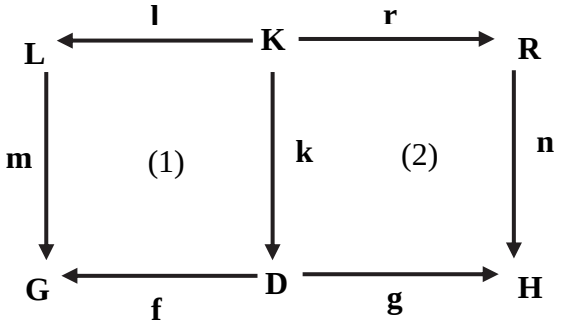


Fig. 1. D-graf transformare în abordare DPO.

Producția **p** este una din mulțimea de producții posibile P, iar **H** este D-derivabila din **G** prin P.

Dându-se două D-graf producții,

p₁ = **L₁** $\xleftarrow{l_1}$ K_1 $\xrightarrow{r_1}$ **R₁**

p₂ = **L₂** $\xleftarrow{l_2}$ K_2 $\xrightarrow{r_2}$ **R₂**,

atunci, D-graf producția

p₁ + p₂ = L₁ + L₂ $\xleftarrow{l_1+l_2}$ $K_1 + K_2$ $\xrightarrow{r_1+r_2}$ **R₁ + R₂** se numește D-graf producția paralelă a lui **p₁** și **p₂**, unde **L₁ + L₂**, $K_1 + K_2$ și **R₁ + R₂** sunt grafuri coprodus, iar $l_1 + l_2$ și $r_1 + r_2$ sunt morfisme induse.

Se consideră un sistem de transformări de grafuri cu o mulțime de producții

P = [**pᵢ** = (**Lᵢ** $\xleftarrow{l_i}$ K_i $\xrightarrow{r_i}$ **Rᵢ**)]

Dându-se graful gazdă **G**, regula **p**ᵢ ∈P este aplicabilă dacă este satisfăcută condiția de alipire, adică există graful de context **D**ᵢ în pushout (1) din fig.1. Aplicând două reguli, **p**₁ și **p**₂, într-un sistem paralel, transformările pot fi realizate simultan. Într-un sistem secvențial însă, transformările se pot întrepătrunde sau intercondiționează. Trebuie stabilit în ce condiții **p**₁ și **p**₂ pot fi aplicate împreună. Se utilizează noțiunea de independență a derivării directe (Ehrig, et al. (1997)).

Două derivări directe,

d_1 = **G** $\overset{p_1,m_1}{\Rightarrow}$ **H₁** și d_2 = **G** $\overset{p_2,m_2}{\Rightarrow}$ **H₂**,

sunt paralel independente dacă nu intră în conflict, fiind permis ca ele să urmeze oricând una după cealaltă. Ele pot doar să se suprapună parțial pe elementele conservate în ambele derivări. Nici-una nu poate șterge elementele acoperite de cealaltă.

Două derivări directe consecutive d_1 și d_2 sunt secvențial independente dacă nu sunt cauzal dependente: indiferent în ce ordine se aplică două reguli **p**₁ și **p**₂, rezultatul este același. Derivarea d_2 nu poate șterge elementele conservate prin d_1 și nu le poate utiliza pe cele create prin d_1 , (Ehrig, (1979)).

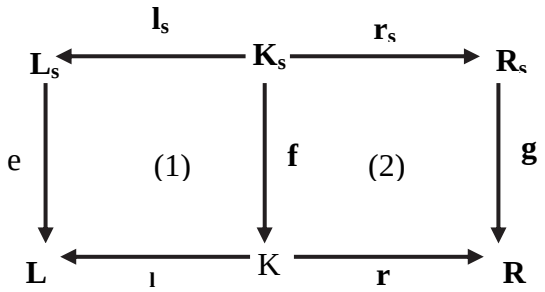


Fig. 2. Subproducția s aparținând producției p.

Dându-se producția **p** = (**L** $\xleftarrow{l}$ K $\xrightarrow{r}$ **R**), atunci producțiile **s** = (**Lₛ** $\xrightarrow{l_s}$ K_s $\xrightarrow{r_s}$ **Rₛ**) sunt numite subproducțiile lui **p** dacă există morfismele $L_s \xrightarrow{e} L$, $K_s \xrightarrow{f} K$, și $R_s \xrightarrow{g} R$, astfel încât diagramele din fig. 2 comută. Tripleta t = (e, f, g) de la s la p se numește subproducția încorporată (Taentzer (1997))**.**

Există o derivare directă **S** $\overset{}{\Rightarrow d}$ **S'** via $\sum_1^n p_i$ = ($\sum_1^n L_i \xleftarrow{\sum l} \sum_1^n I_i \xrightarrow{\sum r} \sum_1^n R_i$), care este o producție paralelă, fig. 3. Coprodusele finite fiind pushout-stars pe obiectul inițial, coprodusele peste familiile (L_i), (I_i), și (R_i), $\forall$ l <i <n, sunt egale (până la un isomorfism) cu pushout-stars peste morfismele stars ($L_i \leftarrow J \rightarrow L_j$), ($I_i \leftarrow J \rightarrow I_j$), și ($R_i \leftarrow J \rightarrow R_j$), $1 \le i < j \le 1$.

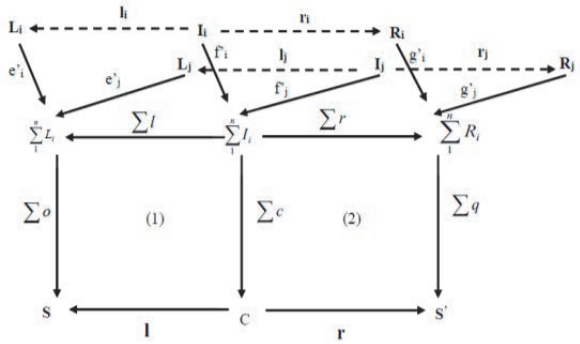


Fig. 3. Derivarea directă **S** $\xrightarrow[\Rightarrow d]{}$ **S'** via producția paralelă.

$$\sum_1^n p_i = (\sum_1^n L_i \xleftarrow{\sum l} \sum_1^n I_i \xrightarrow{\sum r} \sum_1^n R_i)$$

Toate noile diagrame pătrate comută datorită unicității morfismelor inițiale.

Există morfismele induse $\sum_1^n L_i \xrightarrow{\sum o}$ **S,** $\sum_1^n I_i \xrightarrow{\sum c}$ **C,** $\sum_1^n R_i \xrightarrow{\sum q}$ **S'.**

Dacă ambele pătrate (1) și (2) din diagrama din fig. 3 sunt pushouts, derivarea directă **S** $\xrightarrow[\Rightarrow d]{}$ **S'** via producția paralelă

$$\sum_1^n p_i = (\sum_1^n L_i \xleftarrow{\sum l} \sum_1^n I_i \xrightarrow{\sum r} \sum_1^n R_i)$$ este construită (Taentzer (1997)).

6. CONCLUZII

Realizarea unei achivalențe între modelele instruirii asistate prin conceptul de scaffolding și teoria transformărilor de grafuri, permite trecerea dintr-o parte în alta pentru a înțelege și construi complexe decizionale care să ghideze sistemul spre realizarea obiectivelor prestabilite.

BIBLIOGRAFIE

[1] Ehrig, H., M. Pfender and H. J. Schneider (1973), Graph-Grammars: An Algebraic Approach, Switching and Automata Theory – 1966, IEEE Conference Record of Seventh Annual Symposium on October.

[2] Ehrig, H. (1979), Introduction to the algebraic theory of graph grammars (a survey). In: Claus V., Ehrig H., Rozenberg G. (eds) Graph-Grammars and Their Application to Computer Science and Biology. Graph Grammars 1978. Lecture Notes in Computer Science, vol 73. Springer, Berlin, Heidelberg.

[3] Ehrig, H., G. Engels, H.-J. Kreowski and G. Rozenberg (1997), *Handbbook of graph grammars and computing by graph transformation, Volume 1;* – Foundations World Scientific Publishing Co., Inc.

[4] Puntambekar, S., & Kolodner, J.L. (1998). Distributed scaffolding: Helping students learning by design. In A. S. Bruckman, M. Guzdial, J. L. Kolodner, & A. Ram (Eds.), *Proceedings of the (ICLS'98)*. Atlanta, GA: Association for the Advancement of Computing in Education.

[5] Puntambekar, S., & Kolodner, J.L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(2).

[6] Puntambekar, S., & Hübscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist, 40*(1), 1-12.

[7] Tabak, I. (2004). A complement to emerging patterns of distributed scaffolding. *The Journal of the Learning Sciences, 13*(3).

[8] Taentzer, G. (1997), Parallel high-level replacement systems. Theoretical Computer Science 86.

[9] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

[10] Wood, D., Bruner, J.S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *J Child Psychol. Psychiat., 17.*

IMPROVING ACCURACY OF SOLUTIONS OF DISCRETE-TIME ALGEBRAIC RICCATI EQUATIONS

Dr. ing. Vasile SIMA[1]

[1]*National Institute for Research & Development in Informatics, Bucharest, Romania*

REZUMAT. Se consideră rezolvarea cu precizie a ecuaţiilor algebrice matriceale Riccati generalizate discrete (DARE). Sunt discutate elementele esenţiale de implementare a unui rezolvitor Newton general. Sunt rezumate rezultatele numerice obţinute folosind acest rezolvitor pe un set comprehensiv de exemple din colecţia COMPl$_e$ib, şi sunt comparate cu rezultatele furnizate de funcţia MATLAB dare. S-au obţinut adesea îmbunătăţiri cu mai multe ordine de mărime ale reziduurilor soluţiilor folosind diverse strategii de căutare liniară pentru rezolvitorul Newton iniţializat cu funcţia dare.

Cuvinte cheie: sisteme generalizate, metode numerice, ecuaţii Riccati, programe, stabilitate.

ABSTRACT. The solution of generalized discrete-time algebraic matrix Riccati equations (DAREs) is considered. Essential implementation issues for a general Newton solver are discussed. Numerical results obtained using this solver on a comprehensive set of examples from the COMPl$_e$ib collection are summarized, and compared with the results delivered by the MATLAB function dare. Often, improvements of several orders of magnitude in the solution residuals have been obtained using various line search strategies of the Newton solver initialized by the dare function.

Keywords: Generalized Systems, Numerical Methods, Riccati equations, Software, Stability.

1. INTRODUCTION

Algebraic matrix Riccati equations (AREs) are key mathematical objects in control systems theory and its applications. Their solution is needed, e.g., for designing optimal or robust controllers and filters, model and regulator order reduction, spectral factorization, fault-tolerant control procedures, etc. There is a huge literature related to AREs. Their properties and numerical solution are investigated in several books, e.g., [1, 7, 10, 11], and many technical papers, e.g., [2, 4, 6, 8, 15].

Consider the following generalized discrete-time ARE (DARE)

$$0 = Q + op(A)^T X op(A) - op(E)^T X op(E) - \sigma F(X) R(X)^{-1} F(X)^T =: \Re(X), \quad (1)$$

where $A,\ E,\ Q \in \boldsymbol{R}^{n\times n}$, $F(X) := op(A)^T XB + L,\ B,\ L \in \boldsymbol{R}^{n\times m}$, $R(X) := R + \sigma B^T XB$, $R \in \boldsymbol{R}^{m\times m}$, Q and R are symmetric matrices, E and R are nonsingular, and σ is either -1 or $+1$. The operator $op(M)$ is either M, or M^T, corresponding to a control or filtering problem, respectively. The use of a $\pm$ sign via σ increases the generality. A symmetric matrix $X \in \boldsymbol{R}^{n\times n}$ satisfying (1) is a DARE solution. Often, a *stabilizing solution*, X_s , is required, i.e., for which the matrix pencil defined by the pair $(A - \sigma op(BK(X_s)), E)$ is stable (in a discrete-time sense), where $op(K(X_s))$ is the *gain matrix* of the optimal regulator or estimator, defined for $X = X_s$ by

$$K(X) = R(X)^{-1} F(X)^T. \quad (2)$$

When Y is not a solution for (1), then $\Re(Y)$ is the *residual matrix* of (1) in Y, and the Frobenius norm of $\Re(Y)$, $\|\Re(Y)\|_F$, is a measure of the error in Y with respect to the solution X, for which $\|\Re(X)\|_F = 0$; for convenience, $\|\Re(Y)\|_F$ is called *residual* of (1) in Y.

DAREs are important since many dynamic systems are modeled by difference equations. Moreover, computer control needs discrete-time systems. In principle, DAREs are more difficult to be solved numerically than the continuous-time AREs (CAREs), which are quadratic matrix equations. The presence of the inverse factor in the last term of (1) makes (1) a rational matrix equation.

The standard approach for solving (1), implemented in the MATLAB function dare from the Control System Toolbox, uses an orthogonal basis for the stable invariant or deflating subspace of a symplectic matrix or matrix pencil, respectively, built using the matrices $A,\ E,\ B,\ Q,\ R,$ and L in (1). Two $n \times n$ matrices, U_1 and U_2 , are extracted from the basis matrix; then, the ARE solution is computed using the relation $X = -U_2(EU_1)^{-1}$. Clearly, X might be inaccurate if U_1 is nearly singular.

Newton's method for solving AREs has been considered by many papers, for instance, [2, 4, 6, 12-14], and the references therein. This method is best used for iterative improvement of a solution, or as a defect correction method, delivering the maximal possible accuracy when starting from a good approximate

solution. Moreover, it may be preferred in implementing certain fault-tolerant or slowly varying systems, which require online controller updating.

This paper summarizes the main ingredients about Newton's method for DAREs, and some numerical results obtained using the newly developed solver. Previously published papers, e.g., [4, 12, 14], addressed the basic theoretical and practical issues. Preliminary numerical results for randomly generated systems or for examples from the COMPl$_e$ib collection using standard or modified Newton's method (with line search) have been reported in [12], and recently in [14]. The paper presents new results using Newton's method with line search and backtracking, as well as a new strategy which detects the iterate obtaining the minimum residual and returns it as an approximate solution. The numerical results clearly emphasize the advantages of using this approach for improving the accuracy of a solution computed by another DARE solver.

2. CONCEPTUAL ALGORITHM

The algorithmic variants considered in the sequel for DAREs are extensions of Newton's method, which employ a line search procedure attempting to reduce the residual along the Newton direction. The conceptual algorithm can be stated as follows [3]:

Algorithm NDARE: Modified Newton method for DARE

Input: The coefficient matrices A, E, B, Q, R, L, and an initial (stabilizing) matrix $X_0 = X_0^T$.

Output: The approximate solution X_k of (1).

FOR $k = 0,1, ..., k_{\max}$, DO

1. Compute $\mathfrak{R}(X_k)$. If (non)convergence is detected, return X_k and/or a warning or an error value.

2. Compute $K_k := K(X_k)$ in (2) and $op(A_k)$, where $A_k = op(A) - \sigma B K_k$.

3. Solve in N_k the Stein equation $op(A_k^T)N_k op(A_k) - op(E)^T N_k op(E) = \mathfrak{R}(X_k)$.

4. Find a step size t_k which approximately minimizes $||R(X_k + tN_k)||_F$ in t.

5. Update $X_{k+1} = X_k + t_k N_k$.

END

Standard Newton algorithm is obtained by taking $t_k = 1$ in Step 4 at each iteration. When the initial matrix X_0 is far from a Riccati equation solution, Newton's method with line search often outperforms the standard Newton's method. The minimization is done only approximately in order to reduce the computational effort.

The basic stopping criterion for the iterative process is stated in terms of a *normalized residual*, $r(X_k)$, and a tolerance τ. If

$$r_k := r(X_k) := \frac{\|\mathfrak{R}(X_k)\|_F}{\max(1,\|X_k\|_F)} \leq \tau, \quad (3)$$

then the iterative process is successfully terminated at iteration k. If $\tau \leq 0$, a default tolerance is used, defined in terms of the Frobenius norms of the given matrices and relative machine precision, ε_M . For systems with very large norms of the matrices A, E, B, and/or Q, and a small norm of the solution X_s, the stopping criterion involving r_k might not be satisfied in a reasonable number of iterations (or never, due to accumulated rounding errors), while an acceptable approximate solution might be much earlier available. Therefore, the MATLAB-style *relative residual*, $r_r(X_k)$, which is the ratio of $\|\mathfrak{R}(X_k)\|_F$ and the sum of Frobenius norms of the matrix terms of (1), is also tested at iterations $10 + 5q$, $q = 0,1, ...$, and it might produce the termination of the iterative process, instead of the criterion based on the normalized residual r_k.

Several line search strategies are described in [14]. The strategy in Step 4 summarized above is called the *pure line search* strategy. Other three stategies may be chosen. Specifically, in the *combined strategy*, line search is employed in the beginning of the iterative process, but the algorithm switches to the standard method when the normalized residual is smaller than a specified (or default) tolerance. In the *hybrid strategy*, both standard Newton step and the step corresponding to the approximate line search procedure are computed, and that step which gives the smallest residual is selected at each iteration. Finally, the *backtracking strategy*, proposed in [3], is a special hybrid strategy in which the selected step is only taken provided there is a sufficient residual decrease. Otherwise, the step size is reduced until a sufficient decrease is eventually obtained. If this is not the case, or stagnation is detected, then, in suitable conditions, a standard Newton step is used. This approach can increase the speed of the iterative process.

3. IMPLEMENTATION ISSUES

Newton algorithm for solving AREs was implemented in a subroutine, SG02CD, and few auxiliary routines [13, 14], following the SLICOT Library [5, 16] implementation and documentation standards. (See http://www.slicot.org) This routine deals with generalized AREs, possibly for the continuos-time case, without inverting the matrix E. Standard AREs (including the case when $E = I_n$), are solved with the maximal possible efficiency. Moreover, both control and filter AREs can be solved by the same routine, using an option parameter, without transposing the matrices A and E. Symmetry is used whenever possible. Common subexpressions of matrix products are evaluated only once, and the sequence of multiplications is optimized, depending on the n and m values. A block algorithm is used for computing the matrix product MN, when the result is symmetric (e.g., when $M = E^T X$, and $N = E$).

Newton's method without or with a variant of line search (LS) can be selected using another option. The iteration is started by an initial matrix X_0, which can be omitted, if the zero matrix can be used. Either the upper, or lower triangles, not both, of the symmetric matrices Q, R, and X_0 need to be stored. Since the solution computed by a Newton algorithm generally depends on initialization, another option specifies if the

stabilizing solution X_s is to be found. In this case, the initial matrix X_0 must be stabilizing. A maximum allowed number of iteration steps, $k_{\max}$, is specified on input, and the number of iteration steps performed, k_s, is returned on exit. Moreover, $\min(k_s,50)+1$ values of the Frobenius norms of the residuals and normalized residuals, and Newton steps are returned. This allows to use a procedure to improve the residuals for „difficult" DAREs, corresponding to nearly unstabilizable (or undetectable) systems. For such DAREs, Newton algorithm may encounter convergence difficulties, including nonconvergence or an erratic behavior. Even if Newton process does not converge, the iterate corresponding to the smallest normalized residual could be an acceptable approximate solution.

4. NUMERICAL RESULTS

An extensive testing has been performed to evaluate the Newton solver for solving (1), with various options. Results for $\sigma = 1$, $E = Q = I_n$, $R = I_m$, $L = 0$, and $op(M) = M$, are summarized here. The computations have been performed in double precision on an Intel Core i7-3820QM portable computer (2.7 GHz, 16 GB RAM), under Windows 7 Professional (Service Pack 1) operating system (64 bit), with Intel Visual Fortran Composer XE 2015, and MATLAB R2015b. An executable MEX-file, referred to as the Newton solver, has been built using SLICOT routines and MATLAB-provided optimized LAPACK and BLAS libraries.

For a performance investigation, examples from the COMPl$_e$ib collection [9] have been used. This collection contains 124 standard continuous-time examples, but with variations, a total of 168 systems can be defined. All 151 systems with order less than 1000 have been tried, but considered as discrete-time systems. With $Q = I_n$ and $R = I_m$, 63 DAREs could not be solved by MATLAB function dare, since the matrix U_1 was found as (numerically) singular. Moreover, for example AC18, the solution computed by dare had the Frobenius norm of about $2.9656 \cdot 10^{15}$, and a residual of about $1.5212 \cdot 10^{16}$. All these 64 examples have been omitted, and the remaining 87 examples have been solved. Preliminary results reported in [12], using standard or modified Newton's method (pure line search), initialized by dare, revealed significantly higher relative residuals than dare for five examples. Further results have been reported in [14]. However, five examples, namely WEC1−WEC3, HF2D_CD4, and HF2D_CD6, have been excluded in [14]. For these examples, the solution computed by dare had a very large Frobenius norm (of order 10^{13} for WEC examples, 10^{10} and 10^{11} for the two HF2D examples), and relatively large normalized residuals, of order 10^{-4} or larger for WEC1 − WEC3, 10^{-7} and 10^{-6} for HF2D_CD4 and HF2D_CD6, respectively. Such matrices proved to offer a poor initialization for standard or modified Newton's method (with pure line search).

The results discussed in the sequel and illustrated in the following figures refer to all 87 COMPl$_e$ib-based examples, and compare more, recently developed strategies, namely, line search with backtracking and recomputing part of the iteration trajectories.

Figure 1 plots the normalized residuals for solving DAREs using dare and standard Newton solver without balancing, and initialized by dare. While for almost all examples, Newton solver achieved (significantly) smaller normalized residuals than dare, there are six examples for which these residuals are (much) larger. (Note that the ordinate axis is in a logarithmic scale.) The worst results are for the examples HF2D_IS7, HF2D_CD4, and especially HF2D_CD6, and other worse results are for HF2D15, HF2D17, and HF2D18, numbered as 62, 64, 66, 72, 74, and 75, respectively, in Fig. 1. As shown in Fig. 2, the modified Newton solver (using pure line search strategy) succeeded to reduce the residuals for four of these „difficult" examples, and behaved like the standard version for all the other examples. Newton solver with backtracking (Fig. 3) further reduced the residuals for examples in the range 60−66, and it proved to be comparable to or much more accurate than dare.

Fig. 4 and Fig. 5 show the normalized residuals obtained by standard and modified Newton solvers, respectively, when the first iterates, till that corresponding to the smallest residual, are recomputed. For almost all examples, recomputation is not needed, since the smallest residual is the last one. This may not be true for badly-behaved examples, e.g., for nearly unstabilizable systems for which U_1 is nearly singular. In such a case, the solution computed by dare has a big norm and a big normalized residual. With this initialization, Newton process will find the same first normalized residual, but the next iterations may have even larger residuals, which sometimes cannot be reduced due to numerical instabilities. Note that most normalized residuals are close to machine accuracy, and have a smaller variation than those for dare.

The normalized residuals of DARE solutions for the modified Newton solver with backtracking and with or without recomputation differ only for two examples, and the differences are of the order 10^{-6} or less. Therefore, the corresponding figure is omitted.

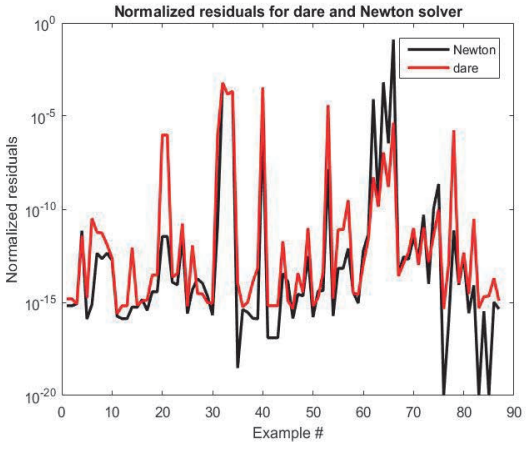


Fig. 1. Normalized residuals of DARE solutions computed using dare and standard Newton solver initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

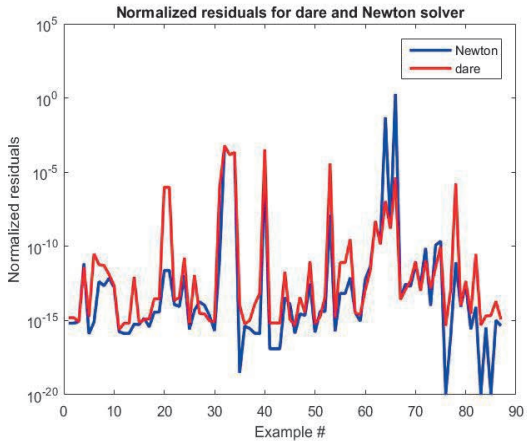


Fig. 2. Normalized residuals of DARE solutions computed using dare and modified Newton solver initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

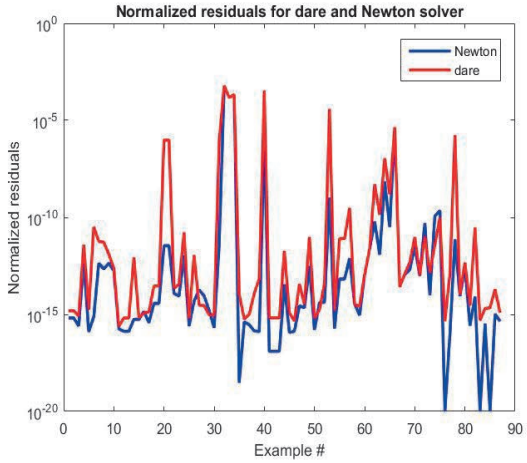


Fig. 3. Normalized residuals of DARE solutions computed using dare and Newton solver with backtracking initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

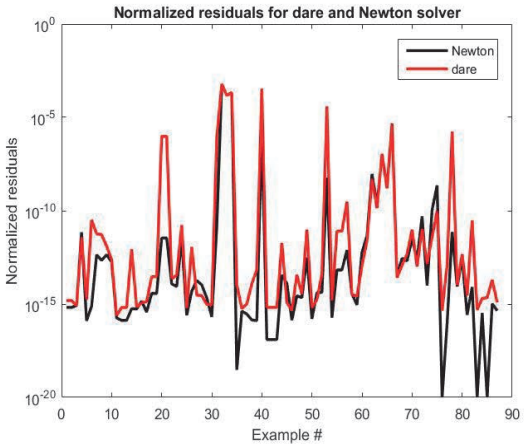


Fig. 4. Normalized residuals of DARE solutions computed using dare and standard Newton solver with recomputation for systems from the COMPl$_e$ib collection.

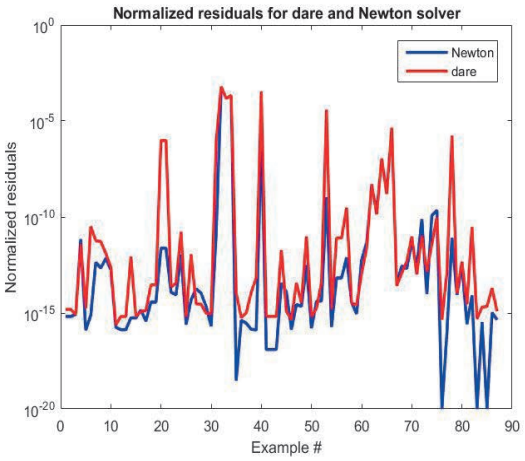


Fig. 5. Normalized residuals of DARE solutions computed using dare and modified Newton solver with recomputation for systems from the COMPl$_e$ib collection.

Similarly, the dare-style residuals of the DARE solutions for the standard and modified Newton solver without or with backtracking and/or recomputation, are plotted in Fig. 6 to Fig. 10. The results for backtracking without and with recomputation differ only for the same two examples as previously, and the differences are of the order 10^{-14} or less.

The bar graph in Fig. 11 shows the improvement of the dare-style residuals for examples from the COMPl$_e$ib collection, when Newton solver with backtracking, initialized by dare, is used. The height of the i-th vertical bar indicates the number of examples for which the improvement was between $i-1$ and i orders of magnitude compared to dare. For instance, there are four examples recording at least five orders of magnitude improvement in the dare-style residuals, and 18 examples with at least two orders of magnitude improvement.

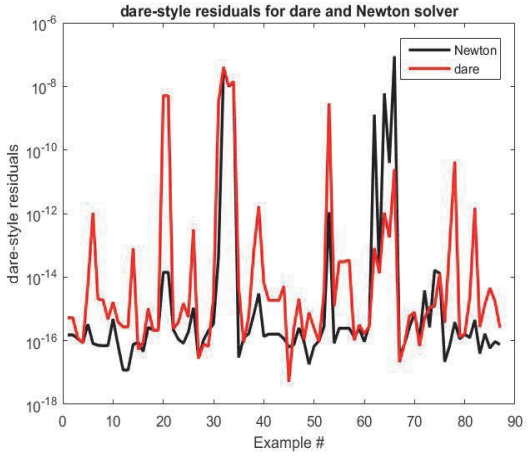


Fig. 6. dare-style residuals of DARE solutions computed using dare and standard Newton solver initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

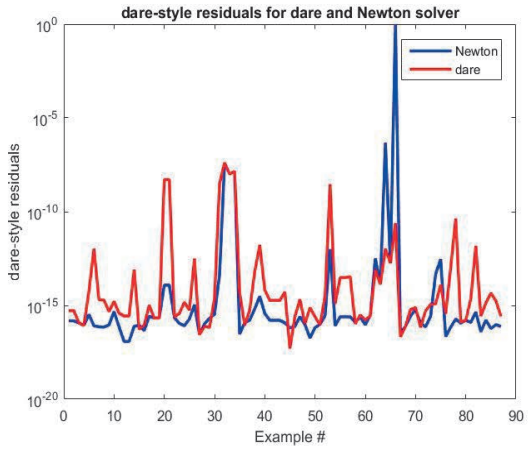


Fig. 7. dare-style residuals of DARE solutions computed using dare and modified Newton solver initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

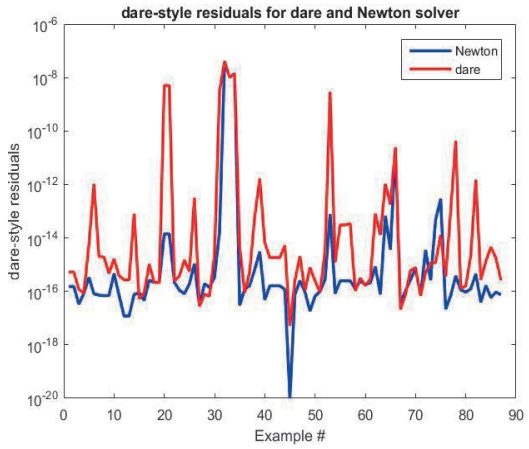


Fig. 8. dare-style residuals of DARE solutions computed using dare and Newton solver with backtracking initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

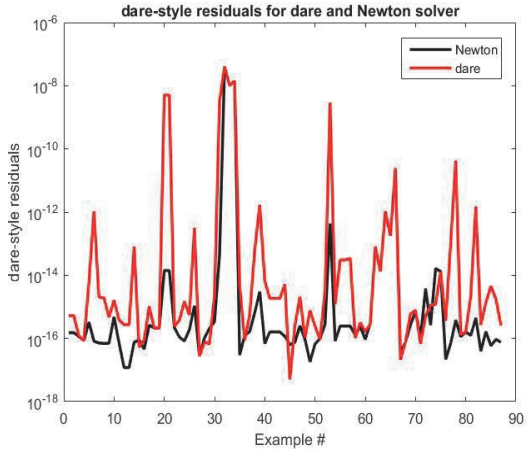


Fig. 9. dare-style residuals of DARE solutions computed using dare and standard Newton solver with recomputation for systems from the COMPl$_e$ib collection.

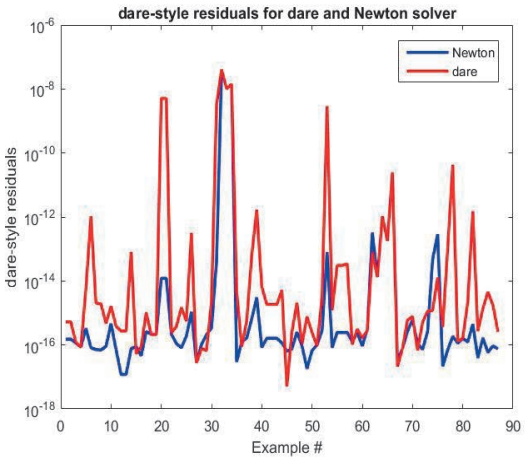


Fig. 10. dare-style residuals of DARE solutions computed using dare and modified Newton solver with recomputation for systems from the COMPl$_e$ib collection.

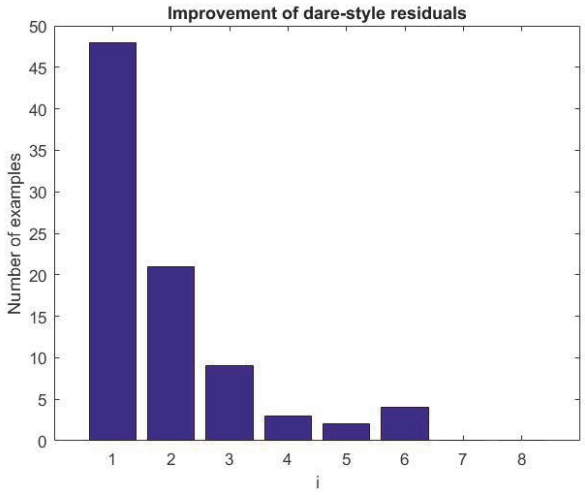


Fig. 11. Bar graph showing the improvement of the dare-style residuals for examples from the COMPl$_e$ib collection, using Newton solver with backtracking, initialized by dare. The height of the i-th vertical bar indicates the number of examples for which the improvement was between $i-1$ and i orders of magnitude compared to dare.

Figure 12 plots the CPU times for solving DAREs using dare and Newton solver with or without line search (denoted LS), and with or without balancing (denoted bal), and initialized by dare. (Standard variant is referred to as STD.) Clearly, for most examples, calling the Newton solver with dare initialization added a minor amount to the total computing time, including that needed by dare itself. The CPU times when backtracking is used are similar. For some examples the computing time slightly increased or even decreased.

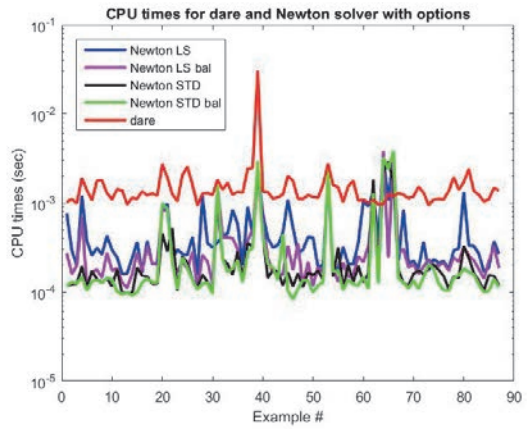


Fig. 12. CPU times for solving DAREs with dare and Newton solver initialized by dare solution for systems from the COMPl$_e$ib collection.

5. CONCLUSIONS

Numerical techniques for solving generalized DAREs based on Newton's method have been discussed. These techniques represent the theoretical and practical foundation for the new routines included, or to be soon included by the author into the SLICOT Library. Numerical results obtained on a comprehensive set of examples from the COMPl$_e$ib collection have been summarized and illustrate the performance and capabilities of the developed Newton solver. This solver is highly recommended for improving the accuracy of an approximate ARE solution computed by other means.

REFERENCES

[1] Anderson, B. D. O., Moore, J. B., *Linear Optimal Control* – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 1971.

[2] Arnold, III, W. F., Laub, A. J., *Generalized eigenproblem algorithms and software for algebraic Riccati equations* – Proc. IEEE, 72(12):1746–1754, 1984.

[3] Benner, P., *Contributions to the Numerical Solution of Algebraic Riccati Equations and Related Eigenvalue Problems* – Dissertation, Fakultät für Mathematik, Technische Universität Chemnitz-Zwickau, Chemnitz, Germany, 1997.

[4] Benner, P., Byers, R., *An exact line search method for solving generalized continuous-time algebraic Riccati equations* – IEEE Trans. Automat. Contr., 43(1):101–107, 1998.

[5] Benner, P., Mehrmann, V., Sima, V., Van Huffel, S., Varga, A., *SLICOT — A subroutine library in systems and control theory* – In Applied and Computational Control, Signals, and Circuits, vol. 1, ch. 10, 499–539, Birkhäuser, Boston, U.S.A., 1999.

[6] Gardiner, J. D., Laub, A. J., *A generalization of the matrix sign function solution for algebraic Riccati equations* – Int. J. Control, 44:823–832, 1986.

[7] Lancaster, P., Rodman, L., *The Algebraic Riccati Equation* – Oxford University Press, Oxford, UK, 1995.

[8] Laub, A. J., *A Schur method for solving algebraic Riccati equations* – IEEE Trans. Automat. Contr., AC–24(6):913–921, 1979.

[9] Leibfritz, F., Lipinski, W., *Description of the benchmark examples in COMPl$_e$ib* – Technical report, Department of Mathematics, University of Trier, D–54286 Trier, Germany, 2003.

[10] Mehrmann, V., *The Autonomous Linear Quadratic Control Problem. Theory and Numerical Solution* – vol. 163 of Lect. Notes in Control and Information Sciences, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1991.

[11] Sima, V., *Algorithms for Linear-Quadratic Optimization* – Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A., 1996.

[12] Sima, V., *Solving discrete-time algebraic Riccati equations using modified Newton's method* – In Proc. of 6th International Scientific Conference on Physics and Control, August 26-29 2013, San Luis Potosí, Mexico, IPACS Library, 2013.

[13] Sima, V., *Computational experience with a modified Newton solver for continuous-time algebraic Riccati equations* – In Informatics in Control, Automation and Robotics, vol. 325 of Lect. Notes in Electrical Engineering, ch. 3, 55–71. Springer International Publishing, Switzerland, 2015.

[14] Sima, V., Benner, P., *Numerical Investigation of Newton's Method for Solving Discrete-time Algebraic Riccati Equations* – In Proc. of the 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, ICINCO 2018, July 29-31 2018, Porto, Portugal, Vol. 1, 66-75, SCITEPRESS, 2018.

[15] Van Dooren, P., *A generalized eigenvalue approach for solving Riccati equations* – SIAM J. Sci. Stat. Comput., 2(2):121–135, 1981.

[16] Van Huffel, S., Sima, V., Varga, A., Hammarling, S., Delebecque, F., *High-performance numerical software for control* – IEEE Control Syst. Mag., 24(1):60–76, 2004.

ACADEMIA DE ŞTIINŢE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEŞTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secţiunea IV

„ PROTECŢIA MEDIULUI “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Alexandru Woinaroschi
- Prof. dr. ing. Maria Georgescu
- Prof. dr. fiz. Wilhelm Kappel

IV.01. *Alexandru Woinaroschy,* **Environment protection solutions for air, water and soil**.....87

IV.02. *Lazar Avram, Monica Stoica, Andronela Barbulescu,* **Managementul deşeurilor rezultate în urma depoluării situurilor poluate cu hidrocarburi** 92

IV.03. *Georgeta Alecu, Wilhelm Kappel,* **Tehnologie responsabilă pentru fabricaţie durabilă**.....95

IV.04. *Horatiu Raul Olar, Mihail Malos,* **Managementul riscurilor în cadrul secției de producție gaze Grebeniș**.....101

IV.05. *Alexandru Mereuță, Nicolae Ajtai, Horațiu Ștefănie, Livio Belegante, Alexandru Ozunu,* **A desert dust intrusion over cluj-napoca, romania identified using remote sensing technique**.....106

IV.06. *Cornelia-Florentina Dobrescu,* **Răspunsul semnificativ al parametrilor de rezistenţă pentru pământuri stabilizate ecologic**.....112

IV.07. *Cornelia-Florentina Dobrescu,* **Modelarea reologică a compactării pământurilor în regimuri vibratorii controlate**. 116

ENVIRONMENT PROTECTION SOLUTIONS FOR AIR, WATER AND SOIL

Prof. dr. ing. Alexandru WOINAROSCHY

Department of Chemical and Biochemical Engineering,
Politehnica University Bucharest, Romania

REZUMAT. Sunt expuse câteva subiecte importante referitoare la protecția mediului: 1) protecția mediului prin tratarea apelor reziduale; 2) protecția mediului prin tratarea solurilor poluate cu uraniu; și 3) protecția mediului prin optimizarea multiobiectiv.

Cuvinte cheie: Ape reziduale Soluri poluate cu Uraniu Optimizare multiobiectiv.

ASTRACT. There are exposed some important topics of environment protection: 1) environmental protection by wastewater treatment; 2) environmental protection by treatment of uranium polluted soils; and 3) environmental protection by multi-objective optimization.

Keywords: Wastewater Uranium polluted soils Multi-objective optimization.

The environment protection solutions for water and soil was the main domain of research of Ph.D. students team supervised by the present author at doctoral school Applied Chemistry and Material Science from Politehnica University of Bucharest.

Here are presented three important topics addressed in this field: 1) environmental protection by wastewater treatment; 2) environmental protection by treatment of uranium poluted soils; and 3) environmetal protection by multi-objective optimization

1.ENVIRONMENTAL PROTECTION BY WASTEWATER TREATMENT

Municipal wastewater treatment is the process of ejecting the harmful pollutants from wastewater. The main source of pollutants is the domestic use. The pollutants are treated by various methods like physical, chemical, and biological process [1].

Bardenpho Wastewater Treatment Process For Nitrogen Removal Using Superpro Designer Simulator[1]

Nitrogen content in treated effluents is important in wastewater treatment because of the effects that nitrogenous materials can have on the environment. The need for removal of nitrogenous materials in treated wastewater effluents typically focuses on ammonia, nitrogen, and nitrate. The reasons for needing to limit the amount of these forms of nitrogen in treated effluents vary with the water quality requirements in effect for the receiving stream. Reasons for removal of ammonia nitrogen from treated effluents can be summarized as follows:

1.Ammonia exerts an oxygen demand on the receiving stream. Thus, if an excessive amount of ammonia is present in an effluent, the oxygen content in the receiving stream can be depleted below that required by water quality standards.

2. Excessive amounts of ammonia can be toxic to biological life in the receiving stream.

3. Ammonia reacts with chlorine to form chloramines which can interfere with disinfection.

The Bardenpho process (Fig.1) is a single-sludge system comprised of four alternating anoxic and aerobic zones in series. The first and third zones are anoxic while the second and fourth zones are aerobic. Mixed liquor is recycled from the first aerobic zone to the first anoxic zone at a rate of four to six times the influent flow rate. Return activated sludge is also recycled from the clarifier back to the first anoxic zone. This process is designed to achieve more total nitrogen removal than is possible with two-sludge or three-sludge systems. Effluent concentrations of 2 to 4 mg/l of total nitrogen is possible with this system.

The simulation of remediation the increasing of ammonia or nitrite/nitrate concentration in municipal wastewater effluents on the base of Bardenpho process was done using the SuperPro Designer v8.5 simulator. The reducing of ammonia or nitrite/nitrate concentrations in effluent was realized by modifications of several operating process parameters: residence time of the anoxic reaction and/or the aerobic bio-oxidation zones, flowrates of diffused air for the aerobic bio-oxidation zones, the recirculation rate of effluent back into process. Direct control of these operating parameters does not raise any problems. By these means the ammonia or nitrite/nitrate concentrations in effluent were decreased below the maximum legal admitted concentration.

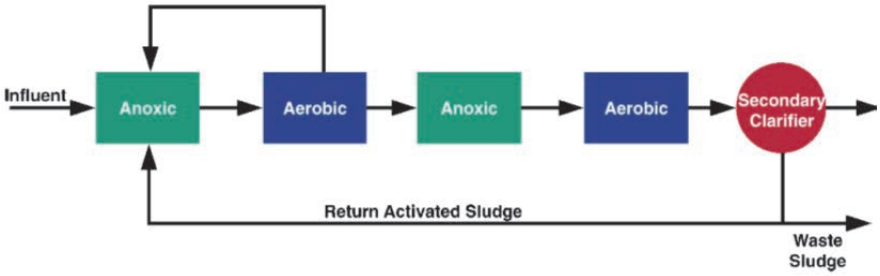


Fig. 1. The Bardenpho process

Municipal Wastewater Treatment, Ecological Component of Strategic Synergy in the Black Sea Basin [2]

The Black Sea is one of the world's most polluted seas. Chemicals such as oil, fertilizers, insecticides and herbicides which do not decompose in the ground, enter the Black Sea, which becomes a huge repository for these collections mixed fertilizers and poisons. Domestic wastewater significantly contributes to pollution with organic matter and nutrients, and may be responsible for the spreading of diseases. A major component of the synergistic strategies for the environmental protection of the Black Sea consists the proper wastewater treatment. It is necessary to limit the amounts of nutrients such as ammonia, which may be discharged in treated effluents, to prevent excessive growths of algae and aquatic plants that can cause serious harm or even destroy the aesthetic value of water. In the frame of a case study, on the base of Bardenpho process, the simulation of remediation the increasing of ammonia concentration in municipal wastewater effluents was done using the SuperPro Designer v8.5 simulator. The reducing of ammonia concentrations in effluent was realized by modifications of several operating process parameters and the ammonia concentrations in effluent were decreased below the maximum legal admitted concentration. Also, it was investigated the effect of the recirculated flow rate over the effluent ammonia concentration and over total operating cost, which is a multi-objective optimization problem.

Optimal Control of a Wastewater Activated Sludge System[3]

The biological wastewater cleaning is defined as the metabolic consumption of organic wastes from water (industrial or municipal) by a mixed population of microorganisms (yeasts, fungi etc) known as activated sludge. The process takes place in systems composed of an aerated tank (bioreactor) and filter, which separates the activated sludge – recycled to maintain its high concentration – from the clean reusable water.

The mathematical model of the activated sludge wastewater treatment system is of deterministic type, being obtained applying the total and partial mass balances around the key elements of the system, as shown in Fig. 2 (units A, B, C and D). The kinetic of the biological process is described by a Haldane type equation, which takes into account the cells' death. Also, this kinetic is suitable for relatively high living cells' concentrations, encountered when working with recycling systems.

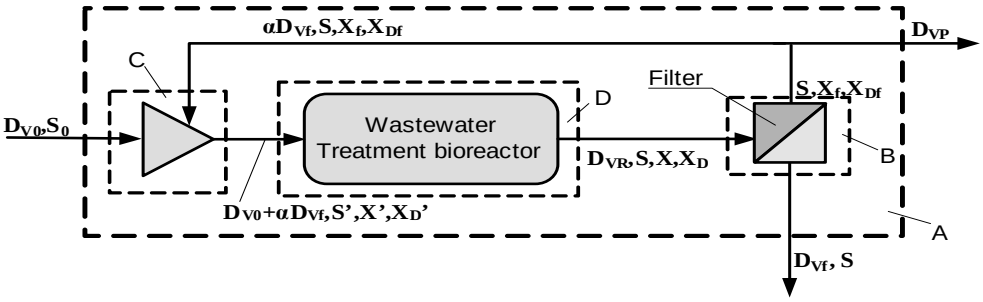


Fig. 2. Activated sludge wastewater treatment system

A small part of the recycled sludge is removed from the system through a purge, thus controlling the viability of the biomass and the dead cells' concentration. Irrespective of the chosen filtering system (cross-flow or dead-end), it is intrinsically non-stationary, introducing a specific dynamic for the whole system. The optimal control of the activated sludge system previously defined is aimed to search for the right purge fraction which could maintain the same quality of the clean water throughout the operating time.

2. ENVIRONMENTAL PROTECTION BY TREATMENT OF URANIUM POLUTED SOILS

Pollution Sources Assessment of the Environment with Natural Radionuclides and Heavy Metals in Arieş River Basin[4]

A first attempt was performed to obtain information on sources of pollution of the river Arieş with heavy metals and naturally occurring radionuclides. A first step was to build a reference map of radioactive background level and also a database to assess future

physical-chemical changes of surface water and sediments in the studied area. Potential sources of pollution with radionuclides and heavy metals are represented by the four uranium mining perimeters and three metal mining exploitations drained by the Arieș river or its tribut Arieș. There are establish the potential sources of pollution with heavy metals and natural radionuclides of hydrographic network corresponding to Arieș river basin. The tourism potential of the Arieș basin is special, its territory is propitious for various types of tourism (mountain climbing and winter sports, cultural, eco - and rural tourism, hunting and fishing, speological turism, gastronomy).

Experimental design and process optimization for uranium soil decontamination by acid washing[5]

Uranium soil depollution is of great concern as, like any other radionuclide, it may accumulate in time and generate a negative impact on human health. There are several decontamination technologies, among these the acid washing still in use for its simplicity and low cost. Though a classical method, it still can be improved by using the best operating conditions to increase the decontamination degree. The study of Radu et all. [5] aims to propose an optimization approach based on experimental design. The investigation takes into account the main operating parameters (duration, temperature, and pH) and the soil characteristics (texture and organic matter content). This work presents an "ex situ" uranium-contaminated soil treatment using a 0.1 M H_2SO_4 solution with pulp density of 0.5. The experiments followed a 2^3 factorial design for the evaluation of factors and interaction effects. The factors' influence differed from one type of soil to another. The 2^3 experiment was augmented using a non-central composite design that allowed the formulation of a second degree model for the response surface. The best values for the operating parameters were identified using optimization procedures. Statistical modelling and optimization were performed in Matlab® v7.7. The results obtained proved that the soil type is very important for selecting better operating conditions. These improvements determined an increased decontamination degree of up to 10–13 % compared with standard operating conditions that were considered as central point in the experimental plan.

Uranium Extraction in Ultrasound Field from Contaminated Soils[6]

The uranium anion complexes extraction, from radioactively contaminated soils, under the influence of ultrasonic field was investigated. The dynamics of uranium extraction has been studied for four soil types characterized in terms of particle size, structure and chemical composition using three extraction reagent types: a) water, b) 0.1 M sulfuric acid solution, and c) chloro-sodium solution - 100 g / L sodium chloride + 10 g / L sodium carbonate, mass ratio solid/liquid 1:2, for 30 min, temperature 20° ± 2°C, in ultrasound field, frequency 24 kHz and power 400 W. If in case of decontamination in normal conditions the higher decontamination degree was approx. 80%; using ultrasound field led to a decontamination degree of almost 100%. Using ultrasound led to values of comparable or higher degree of soils decontamination with approx.15-20% compared to classical decontamination by chemical cleaning. From economical point of view, decontamination using ultrasound of radioactive contaminated soils, compared to chemical cleaning in normal conditions, is an expensive method. This method can be used when is required a fast, and a more efficient decontamination.

The Decontamination of Uranium Polluted Soil Using Mushrooms[7]

Toxic heavy metals can cause various health problems depending on the metal in question, the concentration and its oxidation states. Therefore, decontamination of soils polluted with heavy metals is absolutely necessary to minimize their impact on ecosystems. In terms of technical complexity and cost of soil remediation is a challenge. In general, physical and chemical methods are limited in terms of high cost, irreversible changes in the characteristics of the soil, destruction of native soil micro flora. Chemical methods also can create secondary pollution problems. Therefore, research on heavy metal polluted soil decontamination, should be directed to lowcost, effective remedies and ¯eco friendly. Phytoremediation approach is considered a green alternative solution to the problem of heavy metal soil pollution. Phytoremediation refers to plants or microbes use to reduce the concentration of soil associates or toxic effects of contaminants in the environment. It can be used toremove heavy metals, radionuclides and organic pollutants (polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and pesticides). Phytoremediation is a remediation strategy innovative, inexpensive, eco friendly, applicable in situ. Plants and soil fertility preserved land use because it uses without harming the soil contaminant on the surface.. Green plants have an increased ability to capture pollutants from the environment and great skill of detoxification through various methods. Phytoremediation has low installation costs and care compared with other remedial options. With regard to costs, phytoremediation can be almost 5% of the cost of other repair technologies. A more economical and interest it represent a remedy with the help of fungi, namely myco-remediation. Fungi feature among Nature's most vigorous agents for the decomposition of waste matter, and are an essential component of the soil food web, providing nourishment for the other biota that live in the soil.

Radu et all. [7] studied the decontamination of uranium polluted soil with the help of two types of mushrooms, namely Pleurotus Ostreatus and Agaricus Bisporus. Experimental investigations were performed on three types of soils, which have been characterized in terms of particle size distribution, structure and chemical composition. For radioactive decontamination of the soil the bio-remediation technique was applied by using two species of mushrooms (Pleurotus

ostreatus, Agaricus bisporus), at temperature of 25°± 2°C in a climatic chamber for a 6 weeks period of time. Results showed that both species grew in the presence of uranium. Decontamination tests have revealed a degree of decontamination of 31% for soil 1 (sandy soil) using Pleurotus Ostreatus and 19% using Agaricus Bisporus. For soil 2 (with a large content of clay) the decontamination degree is 27% using Pleurotus Ostreatus and 16% using Agaricus Bisporus. For soil 3 decontamination degree using both species had intermediary values.

Sensitivity Analysis for Uranium Decontamination using Monte Carlo Simulation[8]

Woinaroschy and Radu [8] have investigated the washing method for uranium contaminated soils using three different reagents. Experimental data have been obtained for four types of soils, which have been characterized in terms of particle size distribution, as well as structure and chemical composition. Thus, the decontamination degree for each type of soil and reagent respectively has been measured. Subsequently, the decontamination process has been simulated using an artificial neural network. Based on this neural network, within the frame of a sensitivity analysis study, and after more than 1,000,000 Monte Carlo simulations it has been established that the most significant parameter (with a contribution to variance of 83.7%) is the soil granulometry. Clay concentration has a significant non-negligible negative influence on the fractional decontamination degree. This means that higher values of clay concentration correspond to a decreasing of the fractional decontamination degree. A similar effect, however smaller, is sludge concentration. Sand concentration in soil, due to their penetration properties, promote in a relative small proportion the decontamination process. These results are common for all three decontamination reagents which have been used.

3. ENVIRONMETAL PROTECTION BY MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION

In chemical engineering multi-objective optimization (MOO) was intensively developed, especialy by consideration of two main concurent objectives: profit incresing and reducing the negativ environmental efects. In general, there are two main classes of methods for solving of MMO problems:

a) The MOO problem is transformed into an singleobjective optimization (SOO) problem, which can then be solved by established SOO methods. Weighted sum is a classical method for converting the MOO problem into an SOO problem, and then solving it many times.

b) Unlike single objective optimization, in a MOO problem, there will be in general multiple points which are optimal in the sense that an improvement in one objective can only be achieved with a worsening of one or more of the other ones. These optimal solutions are known as Pareto-optimal. The set of all Pareto-optimal solutions is usually referred as the Pareto front.

The following contributions concerning environmental protection by MOO can be mentioned:

Woinaroschy et all. [9] consider sustainability based optimization has to be the next step towards the improvement of the economical, environmental and social parameters of bioprocesses. In this work, sustainability will be treated as an optimization task where the objective function(s) is/are either a performance index or a set of performance indices, subject to economic, environmental and social restrictions. The original multi-level optimization approach refers to two aspects: first, the hierarchic top-down procedure, from plant to process unit scales and second, a combined interaction of manpower and plant networks. The optimization process will be done using either an average objective function obtained by summation of the weighted objective functions, or a vector objective function, to identify the Pareto front in the space of feasible solutions. As a case study was optimized the classical process of riboflavin (vitamin B2) production, modeled in SuperPro Designer® simulator, implemented a supplemental exhaust-gas treatment with an absorption unit to reduce the odor problems. The most significant economic performance index, respectively the rate of profit was selected as objective function, and the vector of environment and social impact factors are subject to restrictions.

Taras and Woinarosch [10] has investigated economical and ecological multi-criterial optimization of the bioprocess of pyruvic acid production from glucose using a mutant Escherichia coli strain. The used approach consists in coupling Matlab and SuperPro Designer into an optimization loop using an original Graphical User Interface. The optimization is possible due to an automatic and repeated exchange of variables between Matlab optimization algorithm and pyruvic acid obtaining process simulation with SuperPro Designer. The concurent objectives were minimization of total capital investment and of the ecological index that indicates the environmental relevance of the whole bioprocess.

A similar methodology was applied by Taras and Woinarosch [11] for MOO of a batch plant for penicillin V production from glucose, using *Penicillium chrysogenum*, and for MOO of citric acid production bioprocess [12].

The goal of the work of Taras and Woinarosch [13] was to build a framework for interactive multi-objective optimization which will allow the user to find and implement one single Pareto optimal solution, and to acquire knowledge about the problem during the optimization procedure. The main steps of the proposed methodology are the followings: 1) Problem formulation; 2) Process modeling using SuperPro Designer simulator; 3) Interactive MOO using NIMBUS algorithm. The application was made for the industrial production of the amino acid l-lysine , used commercially as an animal feed supplement, in human medicine, particularly as ingredients of infusion solutions, and in the pharmaceutical industry.

MOO design for biodiesel sustainable production was studied by Woinaroschy [14]. Biodiesel is the most common and most investigated of the alternative diesel fuels due to it presents many important technical advantages compared to petro-diesel. Biodiesel production is confronted with two main tasks: cost reduction and ecological restrictions. Also, beside these objectives, the social involvements of biodiesel production and use must not be neglected. The best decisions regarding all these aspects imply solving MOO problems. As an example, a case study concerning with optimal economical (maximization of the net profit), environmental (minimization of VOC emissions) and social (maximization of the number of chemical operators' jobs) design of the biodiesel production from soybean oil is presented. This multi-objective optimization problem was solved by process simulation with SuperPro Designer and process optimization with a Matlab Genetic Algorithm. The link between Matlab and SuperPro Designer has been accomplished by a Matlab graphical user interface based on COM technology. From the obtained Pareto fronts, the optimal compromise solutions can be selected.

CONCLUSIONS

Environmental protection is one of the most important tasks of mankind today. Here were presented some mehods and applications of wastewater treatment, air protection, treatment of uranium poluted soils. Also it was exposed environment protection as MOO in the frame of some chemical and biochemcal proceses.

REFERENCES

[1] C.Singureanu, A. Woinaroschy," *Simulation Of Bardenpho Wastewater Treatment Process For Nitrogen Removal Using Superpro Designer Simulator*", U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 79, nr. 4, p. 41-50, 2017.

[2] A. Woinaroschy**,** C.Singureanu, *"Municipal Wastewater Treatment, Ecological Component of Strategic Synergy in the Black Sea Basin"*, Rev. Chim. vol. 68, nr. 12, pp. 2812-2817, 2017.

[3] O. Răducan, A. Woinaroschy, V. Lavric, "*Optimal Control of a Wastewater Activated Sludge System"*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 68, nr. 2, p. 3-14, 2006.

[4] E.V.Ionita, A. Woinaroschy, E. Panturu, A. D. Radu, *"Pollution Sources Assessment of the Environment with Natural Radionuclides and Heavy Metals in Arieş River Basin"*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 79, nr. 3, p. 49-56, 2017.

[5] A. D. Radu, A. Woinaroschy**,** E. Panţuru, R. Isopescu, "*Experimental design and process optimization for uranium soil decontamination by acid washing*", Water, Air & Soil Pollution, vol. 226, nr. 5, art.127, 2015.

[6] A. D. Radu, A. Woinaroschy, E. Panţuru, "*Uranium Extraction in Ultrasound Field from Contaminated Soils*", Rev. Chim. vol. 65, nr. 4, p.470-474, 2014.

[7] A. D. Radu, A. Woinaroschy, E. Panturu, A. Filcenco-Olteanu, "*The Decontamination of Uranium Polluted Soil Using Mushrooms*", Rev. Chim. vol. 67, nr. 7, pp. 1318-1321, 2016.

[8] A. Woinaroschy, A. D. Radu, "*Sensitivity Analysis for Uranium Decontamination using Monte Carlo Simulation*", Environmental Engineering and Management Journal, vol. 13, nr. 7, p. 1817-1825, 2014.

[9] A. Woinaroschy, I. D. Ofiţeru şi V. Lavric, "*Exploratory Investigation of Bioprocesses Sustainability Improvement by Multicriteria-Multilevel Optimization"*, Environmental Engineering and Management Journal, vol. 8, nr. 3, p. 521-526, 2009.

[10] S. Taraş, A. Woinaroschy, "*Multi-Objective Optimization of Pyruvic Acid Bioprocess with a Matlab-SuperPro Designer Interface*", U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 73, nr. 3, p. 37-48, 2011.

[11] S. Taraş, A. Woinaroschy, "*Simulation and Multi-Objectve Optimization of Bioprocesses with Matlab and SuperPro Designer using a Client-Server Interface* ", Chemical Engineering Transaction, vol.25, p. 207-212, 2011.

[12] S. Taraş, A. Woinaroschy, "*Multi-Objective Optimization of Citric Acid Bioprocess: A Modern Approach*", Rev. Chim. vol. 63, nr. 1, p.92-97, 2012.

[13] S. Taraş, A. Woinaroschy, "*An Interactive Multi-Objective Optimization Framework for Sustainable Design of Bioprocesses"*, Comp. Chem. Eng. vol. 43, p. 10-22, 2012.

[14] A. Woinaroschy, "*Multiobjective optimal design for biodiesel sustainable production*", Fuel, vol. 135, p.393-405, 2014.

MANAGEMENTUL DEŞEURILOR REZULTATE ÎN URMA DEPOLUĂRII SITUURILOR POLUATE CU HIDROCARBURI

Prof. dr. ing. Lazăr AVRAM[1], Ş. l. dr. ing. Monica STOICA[1], Dr. ing. Andronela BĂRBULESCU[2]

[1]Universitatea Petrol - Gaze, Ploieşti, România [2] SC Conpet SA, Ploieşti, România

REZUMAT. Politica naţională în domeniul gestionării deşeurilor se subscrie obiectivelor politicii europene în materie de prevenire a generării deşeurilor şi urmăreşte reducerea consumului de resurse, aplicarea practică a ierarhiei deşeurilor şi tranziţia către o economie circulară. Abordarea UE în domeniul gestionării deşeurilor se bazează pe trei principii: prevenirea generării de deşeuri şi implicit reducerea cantităţilor de deşeuri generate, maximizarea reciclării şi reutilizării, respectiv îmbunătăţirea eliminării finale a deşeurilor şi a monitorizării lor. Lucrările de refacere ecologică a terenurilor afectate decurg din obligaţiile impuse prin legislaţia naţională de mediu în vigoare. Depoluarea solurilor contaminate se realizează prin diferite metode fizice, chimice şi biologice, in situu/ex situu. Datorită diversităţii poluanţilor şi a numărului ridicat de tipuri de sol, cu compoziţii specifice, pot apare situaţii diverse. Lucrarea propune o analiză a situaţiei din teren, având în vedere în principal următoarele aspecte: codificarea deşeurilor rezultate în urma efectuării lucrărilor de refacere ecologică, metode de colectare/ stocare/ eliminarea/valorificarea şi transportul deşeurilor rezultate conform prevederilor legale în vigoare, alternative de gestionare a deşeurilor rezultate, realizarea evidenţelor cantitative privind generarea, stocarea, valorificarea / eliminarea deşeurilor, obligaţii de conformare conform legislaţia privind gestionarea deşeurilor.

Cuvinte cheie: management, deşeuri, depoluare, sit, economie circulară, cele mai bune tehnici disponibile (BAT)

ABSTRACT. The national waste management policy is in line with European policy objectives on waste prevention and aims at reducing resource consumption, the practical application of the waste hierarchy and the transition to a circular economy. The EU waste management approach is based on three principles: preventing waste generation and implicitly reducing waste generated, maximizing recycling and reuse, and improving final waste disposal and monitoring. The ecological restoration work of the affected lands derives from the obligations imposed by the national environmental legislation in force. Decontamination of contaminated soils is achieved by various physical, chemical and biological methods, in situ / ex situ. Due to the diversity of pollutants and the high number of soil types with specific compositions, different situations may arise. The paper proposes an analysis of the field situation, mainly considering the following aspects: codification of the waste resulting from the ecological remediation works, methods of collection / storage / disposal / recovery and transportation of waste according to the legal provisions in force, management alternatives of the resulting waste, the production of quantitative records on the generation, storage, recovery / disposal of waste, compliance obligations under waste management legislation.

Keywords: management, waste, depollution, site, circular economy, Best Available Techniques (BAT).

Politica naţională în domeniul gestionării deşeurilor se subscrie obiectivelor politicii europene în materie de prevenire a generării deşeurilor şi urmăreşte reducerea consumului de resurse, aplicarea practică a ierarhiei deşeurilor şi tranziţia către o economie circulară. Pachetul privind economia circulară, adoptat de Comisia Europeană la 2 decembrie 2015, include propuneri legislative privind deşeurile, cu obiective pe termen lung în materie de reducere a depozitării deşeurilor şi de creştere a gradului de reciclare şi de reutilizare. În economia circulară, deşeurile pot fi o resursă, care prin intermediul colectării selective, a reciclării si valorificării, generează profit.

Abordarea UE în domeniul gestionării deşeurilor se bazează pe trei principii: prevenirea generării de deşeuri şi implicit reducerea cantităţilor de deşeuri generate, maximizarea reciclării şi reutilizării, respectiv îmbunătăţirea eliminării finale a deşeurilor şi a monitorizării lor.

Gestionarea deşeurilor reprezintă una din problemele cu care se confruntă în prezent România.

Principiul acţiunii preventive este unul din principiile care stau la baza Ordonanţei de urgenţă a Guvernului nr.195/2005 privind protecţia mediului, cu modificările şi completările ulterioare, iar Directiva 2008/98/CE privind deşeurile, transpusă în legislaţia

națională prin Legea nr.211/2011 privind regimul deșeurilor, prezintă ierarhia deșeurilor care „se aplică în calitate de ordine a priorităților în cadrul legislației și al politicii în materie de prevenire a generării și de gestionare a deșeurilor, astfel: prevenirea, pregătirea pentru reutilizare, reciclarea, alte operațiuni de valorificare, de exemplu valorificarea energetică și eliminarea”.

Abordarea integrată în gestionarea deșeurilor se referă la activitățile de colectare, transport, în vederea tratării, valorificării și/ sau eliminării deșeurilor.

Principiile generale ale gestionării deșeurilor sunt concentrate în așa-numita „ierarhie a gestionării deșeurilor”, fig. 1, ordinea fiind următoarea:

- prevenirea producerii de deșeuri și a impactului negativ al acesteia;
- recuperarea deșeurilor prin reciclare, refolosire;
- depozitare finală sigură a deșeurilor, acolo unde nu mai există posibilitatea recuperării.

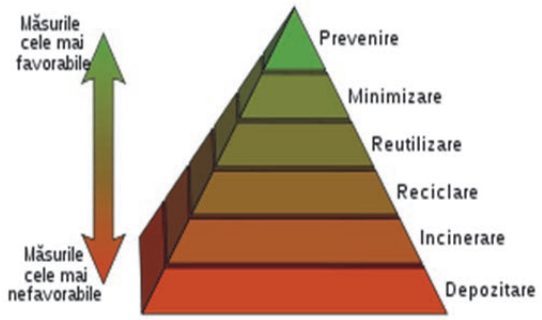


Fig. 1. Ierarhia gestionării deșeurilor

Lucrările de refacere ecologică a terenurilor poluate cu hidrocarburi sunt lucrări care decurg din obligațiile impuse prin legislația națională de mediu în vigoare, care prevede în primul rând „prevenirea deteriorării calității mediului geologic” și ulterior reabilitarea zonelor afectate de poluare cu suportarea costurilor aferente, în baza principiului ,,poluatorul plătește”.

Depoluarea solurilor contaminate se realizează prin diferite metode fizice, chimice și biologice, in situu/ex situu. Dificultatea alegerii este destul de pregnantă, dat fiind numărul mare de tehnici de depoluare cu aplicabilitate practică. Pentru asigurarea unei reușite depline, depoluarea trebuie să integreze și să concilieze multitudinea factorilor tehnici, ecomomici și psihosociali.

Factori determinanți la alegerea și aplicarea unei tehnologii de depoluare sunt:

- gradul final de depoluare, dorit sau impus;
- durata acțiunilor de depoluare;
- costul total necesar desfășurării depoluării;

-efectele secundare produse în timpul aplicării tehnologiilor de depoluare și ulterioare aplicării acestora.

În urma realizării lucrărilor de depoluare prin metode ex situu se generează deșeuri periculoase având codul de deșeu, conform HG 856/2002, 19 13 01*, „deșeuri solide de la remedierea solului cu conținut de substanțe periculoase”, deșeu periculos, având în vedere că principalul contaminant, hidrocarburile, intră în categoria substanțelor periculoase.

În conformitate cu Hotărârea de Guvern nr.856/2002 privind evidența gestiunii deșeurilor și pentru aprobarea listei cuprinzând deșeurile, inclusiv deșeurile periculoase, este considerat deșeu periculos, orice deșeu care prezintă una sau mai multe din proprietățile/caracteristicile periculoase prevăzute în legea privind regimul deșeurilor și anume:

a) temperatură de inflamabilitate ≤ 550°C;

b) una sau mai multe substanțe clasificate ca foarte toxice, în concentrație totală ≥0,1%;

c) una sau mai multe substanțe clasificate ca toxice, în concentrație totală ≥ 3%;

d) una sau mai multe substanțe clasificate ca dăunătoare, în concentrație totală ≥25%;

e) una sau mai multe substanțe corosive clasificate ca R35, în concentrație totală ≥ 1%;

f) una sau mai multe substanțe corosive clasificate ca R34, în concentrație totală ≥ 5%;

g) una sau mai multe substanțe iritante clasificate ca R41, în concentrație totală ≥10%;

h) una sau mai multe substanțe iritante clasificate ca R36, R37 și R38, în concentrație totală ≥20%;

i) o substanță cunoscută ca fiind cancerigenă din categoria 1 sau 2, în concentrație ≥0,1%;

j) o substanță cunoscută ca fiind cancerigenă din categoria 3, în concentrație≥1%;

k) o substanță toxică pentru reproducere din categoria 1 sau 2, clasificată ca R60 și R61, în concentrație ≥ 0,5%;

l) o substanță toxică pentru reproducere din categoria 3, clasificată ca R62 și R63, în concentrație ≥ 5%;

m) o substanță mutagenă din categoria 1 sau 2, clasificată ca R46, în concentrație ≥ 0,1%;

n) o substanță mutagenă din categoria 3, clasificată ca R40, în concentrație ≥ 1%”.

Pentru deșeurile generate în amplasament se respectă următoarele principii de bază, derivate din necesitatea respectării legislației privind gestionarea deșeurilor:

• interzicerea amestecării între ele a diferitelor categorii de deșeuri periculoase sau a deșeurilor periculoase cu cele nepericuloase;

• colectarea selectivă a deșeurilor în scopul reutilizării / reciclării / eliminării lor;

• evitarea generării unei poluări suplimentare prin evacuări necontrolate / abandonare de deșeuri în mediu;

• înlesnirea luării la timp a măsurilor necesare pentru ca eliminarea deșeurilor să decurgă conform prevederilor legale, acționându-se în acest scop prin contractarea firmelor autorizate în domeniu.

Etapele ce trebuie urmate în gestionarea deșeurilor rezultate în urma depoluării solului contaminat cu hidrocarburi sunt:

1. Identificarea și codificarea tuturor deșeurilor generate, în urma, lucrărilor de decontaminare a solului;

2. Întocmirea fişei de caracterizare a deşeurilor periculoase, identificate;

3. Încheierea contractelor cu agenţii economici autorizaţi privind colectarea si transportul deseurilor in vederea valorificarii sau eliminarii acestora conform celor mai bune tehnici disponibile.

4. Depozitarea temporară a deşeurilor şi semnalizarea zonei cu pictograme adecvate;

a b c

Fig. 2. Pictograme de atenţionare
a - periculos pentru mediu, b - inflamabil, c - pericol grav pentru sănătate.

5. Pregătirea documentelor pentru transportul deşeurilor periculoase în concordanţă cu HG 1061/2008 (FATDP-Formular pentru aprobarea transportului de deşeuri periculoase- Anexa 1 din HG 1061/2008, respectiv FETDP-Formular de expediţie şi transport deşeuri periculoase,-Anexa 2 din HG 1061/2008)

6. Transportul efectiv al deşeurilor fie către o platformă de bioremediere, fie alte operaţii de valorificare, fie în vederea eliminarii finale, de ex. incinerarea şi depozitarea într-un depozit ecologic de deşeuri periculoase construit în concordanţă cu cerinţele legale naţionale pe domeniul construirii depozitelor ecologice (Ordinul nr. 757 din 26 noiembrie 2004 pentru aprobarea Normativului tehnic privind depozitarea deşeurilor);

7. Intocmirea gestiunii deşeurilor rezultate şi raportarea acestora catre autorităţile de mediu.

Tratarea deşeurilor presupune procedee fizico-mecanice, chimice sau biologice, în scopul diminuării factorilor de risc asupra mediului, al reducerii spaţiilor de depozitare, precum şi al valorificării lor. Una dintre căile de valorificare a potenţialului util din deşeuri este promovarea valorificării energetice în instalaţii cu randament energetic ridicat.

3. CONCLUZII

Prin natura lor, deşeurile periculoase pot avea impact semnificativ asupra mediului înconjurător şi sănătăţii populaţiei. Gestiunea deşeurilor periculoase este o problematică la scară mondială. Gestionarea deşeurilor periculoase trebuie abordate într-un mod riguros, ţinând cont de proprietăţi specifice precum: toxicitate, inflamabilitate, corozivitate.

Gestionarea deşeurilor trebuie să se realizeze fără a pune în pericol sănătatea umană şi fără a dăuna mediului, în special:

a) fără a genera riscuri pentru factorii de mediu;

b) fără a crea disconfort din cauza zgomotului sau a mirosurilor;

c) fără a afecta negativ peisajul.

Pentru implementarea unei economii circulare, este necesar un management integrat al deşeurilor, acesta incluzând activităţile de colectare, transport, tratare, reciclare şi depozitare a deşeurilor, scopul final fiind reducerea impactului asupra sănătăţii oamenilor, a mediului sau aspectului unui habitat, precum şi economisirea unor resurse naturale prin reutilizarea/valorificarea componenţilor recuperabili.

BIBLIOGRAFIE

[1] ***Ordonanţa de urgenţă nr. 195/2005, Cap. I, art.3, lit c, Capitolul XI [Protecţia solului, subsolului şi a ecosistemelor terestre].
[2] ***HG 856 /2002 privind evidenţa deşeurilor şi pentru aprobarea listei cuprinzând deşeurile inclusiv deşeurile periculoase.
[3] ***Legea 211/2011 privind regimul deşeurilor.
[4] ***HG 1061/2008 privind transportul deşeurilor pe teritoriul României.
[5] ***Hotărâre nr. 870 din 06/11/2013.
[6] ***Directiva 75/442/CEE a Consiliului privind deşeurile şi a Directiva 94/904/CE a Consiliului de stabilire a unei liste de deşeuri periculoase în temeiul articolului 1 alineatul (4) din Directiva 91/689/CEE a Consiliului privind deşeurile periculoase.
[7] Duţu Mircea, *Dreptul mediului. Tratat Abordare integrată*, volumul II, Editura Economică, Bucureşti, România, 2003;
[8] Pascu Radu, *Managementul deşeurilor*, Ed. Universitaţii Lucian Blaga din Sibiu, România, 2009
[9] ***www.mmediu.ro
[10] ***www.anpm.ro

TEHNOLOGIE RESPONSABILĂ PENTRU FABRICAŢIE DURABILĂ

Dr.ing. Georgeta ALECU[1], Prof.dr. Wilhelm KAPPEL[1]

[1]*Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, Bucureşti, România*

REZUMAT. Apariţia conceptului managementului ciclului de viaţă PLM (Product Lifecycle Management), dezvoltarea şi consolidarea bazelor sale metodologice, reflectă grija societăţii de a se asigura de calitatea factorilor de mediu, precum şi obligaţiile instituţiilor guvernamentale de a pune sub control fenomenul de poluare industrială. "Închiderea buclei" ciclului de viaţă al produsului prin reciclare şi reutilizare, cu beneficii atât pentru mediu, cât şi pentru economie defineşte modelul unei economii circulare. Lucrarea prezintă oportunitatea de implementare a unui sistem PLM, abordarea activităţilor de cercetare-dezvoltare de procese/produse/tehnologii ce se desfăşoară în cadrul unei entităţi de CDI.

Cuvinte cheie: PLM (Managementul ciclului de viaţă al produsului), economie circulară, cercetare-dezvoltare-inovare, ciclu de viaţă.

ABSTRACT. The emergence of the Product Lifecycle Management (PLM) concept, the development and consolidation of its methodological bases, reflects the company's concern to ensure the quality of environmental factors, as well as the obligations of governmental institutions to control the industrial pollution phenomenon. The "loop closure" of the product life cycle through recycling and reuse, with both environmental and economic benefits defines the model of a circular economy. The paper presents the opportunity to implement a PLM system, addressing the R & D activities of processes/products/technologies that take place within an RDI entity.

Keywords: PLM (Product Life Cycle Management), Circular Economy, R & D / Innovation, Life Cycle.

1. INTRODUCERE

PLM este un proces de management al întregului ciclu de viaţă al unui produs, pornind de la generarea unei idei, descrierea conceptului, analiza economico-financiară a afacerii, proiectarea produsului / arhitectura soluţiei / implementarea tehnică, intrarea cu succes pe piaţă, până la service, retragere şi reciclare, [1]. PLM integrează oameni, date, procese şi sisteme de afaceri şi reprezintă coloana vertebrală digitală a datelor despre procese/produse/tehnologii, pentru entitatea respectivă, Fig. 1 [2].

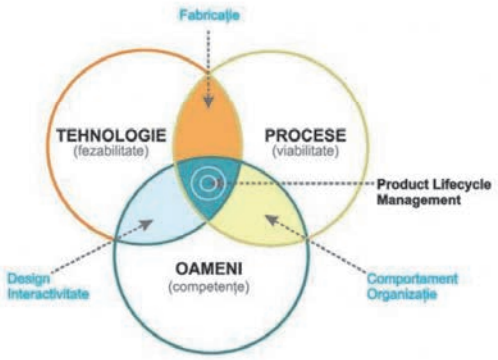


Fig. 1. Elemente fundamentale ale PLM.

Atitudine sustenabilă faţă de lume, orientat spre oameni înc ăa din faza de concept, gestionarea PLM este importantă pentru ICPE-CA deoarece aici creativitatea şi ciclul de viaţă se îmbină în toate activităţile desfăşurate. Mai ales, ca INCDI, avem obligaţii de a contribui la dezvoltarea sustenabilă a societăţii româneşti, contribuind astfel la desăvârşirea economiei circulare.

Economia circulară este restauratoare şi elimină deşeurile prin proiectarea unor materiale mai bune, produse şi sisteme de proiectare, activate prin modele de afaceri inovatoare [3]. În acest fel, ciclul de viaţă al produselor este extins. Economia circulară poate fi definită ca un sistem economic cu materiale în buclă închisă [4], care urmăreşte să păstreze în permanenţă cea mai mare utilitate şi valoare a produselor, componentelor şi materialelor.

Un sistem PLM cu buclă închisă va permite tuturor actorilor care joacă un rol pe parcursul ciclului de viaţă al unui produs (manageri, designeri, operatori de service şi de întreţinere, reciclatori etc.) să urmărească, să gestioneze şi să controleze informaţiile despre produse în orice fază a ciclului lor de viaţă (design, fabricare, utilizare, reparaţie, întreţinere, reciclare, eliminare) în orice moment şi în orice loc din lume [5].

Într-o economie circulară, valoarea produselor şi a materialelor este menţinută cât mai mult posibil,

#

deșeurile și utilizarea resurselor sunt reduse la minimum, iar resursele nu părăsesc fluxul economic odată ajunse la sfârșitul duratei lor de viaţă, ci sunt reutilizate și creează valoare în continuare [3].

Aplicând PLM se respectă noile standarde ISO 2015 ce adoptă "high-level structure". În acest sens, ISO 14001:2015 adaugă conceptul de "perspectivă a ciclului de viaţă", care impune organizaţiei să stabilească controale care să asigure că cerinţele de mediu sunt luate în considerare în cadrul procesului de proiectare pentru: dezvoltarea, livrarea, utilizarea și tratarea produselor şi serviciilor sale la sfârşitul duratei de viaţă, dar și să comunice cerinţele de mediu relevante care se referă la furnizori și contractori, precum și să furnizeze informaţii despre impactul potenţial asupra mediului în timpul utilizării și tratării produsului la sfârşitul duratei de viaţă a acestuia.

În general, PLM este asociat cu fabricarea produselor, însă structura managementului poate fi utilizată și pentru dezvoltarea de software și furnizarea de servicii.

2. IMPLEMENTARE PLM INTR-O ENTITATE CDI

Implementarea unui sistem PLM influenţează major activităţile, iar o entitate CDI, ca oricare alta, are nevoie de multă fermitate și deschidere către schimbare. Pentru activităţi relativ simple există soluţii care pot fi implementare rapid, dar există și proiecte extrem de complexe care se întind pe o perioadă lungă de timp, trei sau patru ani. Într-un astfel de proiect, multe aspecte nu pot fi anticipate de la început, ci pe masura derulării apar elemente de noutate, de la materii prime și tehnologii, până la întreţinere și costuri. Soluţiile PLM pot permite optimizarea continuă a proceselor interne ale entităţii.

Orice sistem are un ciclu de viaţă care se desfășoară între momentul apariţiei și momentul dispariţiei sistemului. Prin sistem definim produse/procese/tehnologii care se supun aceloraşi reguli, activităţi specifice unui institut de cercetare. Prin ciclul de viaţă a unui produs/proces/tehnologie se înţeleg toate aspectele legate de produs /proces/tehnologie adică: cercetare, proiectare, dezvoltare, producţie, distribuţie, utilizare, refabricare, reciclare, toate fiind simultan luate în considerare [6]. Astfel, de exemplu, soluţiile PLM gestionează întreg ciclul de viaţă al unui produs, de la concepţie - momentul generării ideii de nou produs în mintea cercetătorului - trecând prin proiectare și fabricaţie, până la service și declinul comercial, când produsul nu mai este solicitat de piaţă și finalizând cu reciclarea. Acest ciclu poate fi asemuit cu creșterea puterii fizice și intelectuale a omului, trecând printr-o succesiune de faze.

În forma generală, ciclul de viaţă arată astfel, Fig 2 [7]:

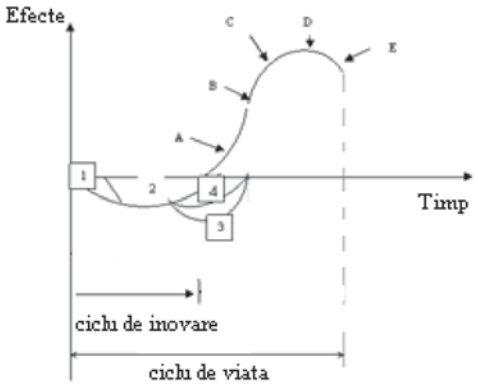


Fig. 2. Ciclu de viaţă al unui produs.

unde: A – Lansarea
B – Creşterea
C – Maturitatea
D – Saturaţia
E - Declinul

1 – cercetarea și selectarea produselor, ideilor
2 – soluţia tehnică și dezvoltarea
3 – fabricaţia seriei zero (în staţia pilot)
4 – activitatea de marketing

Cele patru grupe de activităţi (1, 2, 3, 4) alcătuiesc procesul dinamic al ciclului de inovare și cuprind șapte diviziuni într-o succesiune logică, Fig. 3 [7].

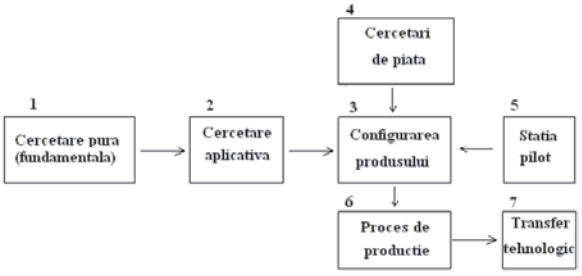


Fig. 3. Ciclu de inovare.

În practică este foarte greu de delimitat aceste diviziuni, care în mare masură se întrepătrund și se influenţează reciproc pozitiv sau negativ.

Cercetarea pură sau fundamentală se regăsește mai puţin, în general institutele naţionale de CD fiind orientate spre cercetarea aplicativă, în mare instituţiile Academiei Române ocupându-se de acest tip de cercetare. Rezultatele cercetării fundamentale au aplicabilitate pe termen scurt și mediu în proporţie de până la 10%.

Cercetarea aplicativă constă în materializarea produselor idei în bunuri reale care satisfac în mod economic o necesitate.

Configurarea produsului rezultat imediat al cercetărilor aplicative, determină apariţia unui model fizic care vine să demonstreze că ideile de bază ale produsului sunt practice. La început se realizează un

prototip ce înglobează tehnologia sa şi care ajută la vizualizarea caracteristicilor de exploatare propuse pentru produs. În acest fel se aduc multe îmbunătăţiri tehnice, încât uneori produsul de pe piaţă diferă foarte mult de prototipul iniţial.

La realizarea prototipului şi la definitivarea lui participă *cercetările de piaţă* cu privire la preţ, cantitate cerută, extinderea pieţei.

În *staţia pilot* sunt testate tehnic şi economic în vederea descoperirii unor deficienţe sau insuficienţe. Defectele pot proveni din producţia însăşi sau din procesul de fabricaţie.

După certificare produsele intră în *procesul de producţie*, dar activitatea de cercetare nu este terminată, impunându-se o colaborare continuă între cercetare şi producţie.

Se poate realiza şi *transferul tehnologic* prin care, de exemplu o tehnologie, de regulă protejată printr-unul sau mai multe drepturi de proprietate intelectuală, se poate vinde la mai mulţi utilizatori care pot apoi dezvolta în continuare şi exploata tehnologia în noi produse, procese, aplicaţii, materiale sau servicii.

Stadiul final de execuţie ia în considerare strategiile de fabricaţie, marketing, de preţ, de comunicare, distribuţie şi comercializare. Toate stadiile realizează pe bază de analiză o legătură de feed-back critică pentru interesele producţiei şi a performanţelor produsului. Această analiză face să se prevină riscurile de a produce daune asupra mediului şi luarea de măsuri preventive, care să conducă la o optimizare a produsului pe baza criteriilor de mediu [6].

Cautăm să exemplificam etapele prezentate în Fig. 3 printr-un produs al ICPE-CA, dezvoltat începând cu anii ’80. Cercetarea fundamentală în domeniul magneţilor permanenţi NdFeB a fost efectuată până în 1984-1985 prin studiul proprietăţilor magnetice ale compuşilor binari ai elementelor de tranziţie 3d (TM) cu pământurile rare 4f (PR) şi a compuşilor ternari $PR_2TM_{14}B$. Etapa 2 de cercetare aplicativă şi dezvoltare tehnologică a ocupat anii până în 1988-1990 şi s-a extins atât asupra magneţilor permanenţi sinterizaţi cât şi aglomeraţi din sistemul NdFeB. Studiul de piaţă (etapa 4) pentru magneţii permanenţi aglomeraţi a arătat că exista o cerere pentru astfel de produse în motoare electrice sincrone de mică putere, ceea ce a condus la definirea produsului (etapa 3), producerea pilot în staţia pilot a colectivului la stabilirea tehnologiei de fabricaţie şi transferarea în producţie (etapa 7) la “Electromagnetica” în cursul anilor 1990-1991. La sfârşitul ciclului de viaţă a magnetului permanent într-un produs, acesta putea fi reciclat printr-un proces dezvoltat şi experimentat de reutilizare a materiilor prime aşa cum atesta brevetul de invenţie (Fig. 4), acordat de OSIM în 1998; acest brevet este, dacă nu primul în Europa, atunci cel puţin printre primele brevete din Europa, care se ocupă de reciclarea magneţilor permanenţi NdFeB.

(19) OFICIUL DE STAT PENTRU INVENŢII ŞI MĂRCI Bucureşti — ROMANIA — (11) Nr. brevet: 115996 C1 — (51) Int.Cl.: H 01 F 1/06;

(12) BREVET DE INVENŢIE

(54) PROCEDEU DE RECUPERARE A DEŞEURILOR DE ALIAJE MAGNETICE NdFeB

(57) Rezumat: Invenţia se referă la un procedeu de recuperare a deşeurilor de aliaje magnetice NdFeB, realizat prin succesiunea fazică: sortare după ordinul componentei chimice, decapare cu soluţie 10% acid acetic sau amestec 1:1 de soluţii 10% acid citric şi oxalic şi apoi cu soluţie 10% de Na_2H sau Na_2CO_3, în cadrul căreia jet de apă caldă, după fiecare operaţie, îndepărtarea stării la 1...5 bari şi 100...150°C pentru tratarea. Pulberea, obţinută până la 0,5 µm granulaţie. Procedeul permite o recuperare integrală a deşeurilor magnetice rezultate din operaţii de debitare.

Fig. 4. Brevet ICPE de reciclare a magneţilor permanenţi NdFeB.

PLM reprezintă o soluţie pentru transfer tehnologic eficient, rezultatele de cercetare structurate prin PLM fiind direct transferabile către orice agent economic, transferul tehnologic putându-se face din orice fază.

Ingineria ciclului de viaţă a unui produs sau proces are rolul de a optimiza etapele ciclului de viaţă urmărind să echilibreze câştigurile şi pierderile legate de aspectele energetice, de materiale, de ambalare, de prelucrare a deşeurilor. În acest sens se evidenţiază şapte direcţii principale de eco-eficienţă, şi anume: reducerea consumurilor de materiale, energetice, a materialelor toxice, creşterea reciclabilităţii materialelor, a durabilităţi produselor şi serviciilor şi dezvoltarea resurselor regenerabile. O abordare indicată este impulsionarea inovării, în vederea relansării produselor care se apropie de declin sau revitalizarea produsului prin aducerea unor modificări substanţiale [6].

În cadrul unui proiect relativ complex sunt implicate mai multe echipe, iar traducerea conceptului generat de echipa de cercetare/proiectare implică o foarte bună coordonare a acestor echipe şi, deci, mult lucru colaborativ. Astfel, se practică o inginerie concurentă sau simultană care promovează valorile cooperării în echipă, încrederea şi partajarea într-o asemenea manieră încât procesul de luare a deciziilor este prin consens, implicând luarea în considerare, în paralel, a tuturor perspectivelor de la începutul ciclului de viaţă al produsului. Fiecare parte componentă realizată separat trebuie să se integreze perfect la asamblarea finală. Mai mult, modelul virtual, pe calea spre produsul final, suferă o serie de modificări cerute de tehnologiile de producţie, de justificarea unor costuri sau de cerinţe de marketing. Capacităţile colaborative ale unui sistem PLM permit ca informaţia să circule rapid şi coerent în sistem, iar schimbările de inginerie să nu provoace disfuncţionalităţi sau întârzieri în lansarea produsului, care fără suportul acestui sistem ar fi frecvente. În plus, se evidenţiază elemente caracteristice fractalilor [8] datorită faptului că diferite nivele ale entităţii se aseamănă cu altele. Altfel spus, un întreg poate fi

#

fragmentat, fragmentele sale asemănându-se cu întregul.

Metoda de analiză se bazează pe proprietăţile fractalilor şi anume [9]:

- fragmentare la infinit (o infinitate de elemente componente);
- autosimilaritate care este definită în teoria fractalilor ca fiind proprietatea unui obiect de a avea orice detaliu al întregului sau asemănător cu acesta la orice scară;
- invarianţă la translaţii - reprezintă proprietatea unui obiect fractal, de a regăsii un detaliu al său, prin suprapunerea acestuia peste o altă zonă a fractalului după translatarea pe o anumită direcţie;
- dimensiune fracţionară sau "dimensiune fractală" sau "dimensiune de autosimilaritate".

Extrapolând, putem gândi că procesul/produsul/tehnologia este descompus în subansamble care, la rândul lor, se compun din componente iar componentele sunt formate din piese. Practic PLM pentru un proces/produs/tehnologie este alcătuit din alte PLM-uri specifice fiecărui component.

Reducerea timpului de lansare pe piaţă a unui proces/produs/tehnologii, îmbunătăţirea calităţii, reducerea costurilor pentru prototipuri, reutilizarea datelor, eliminarea pierderilor sau integrarea fluxurilor de producţie sunt însă avantaje prea evidente pentru a fi neglijate. Managerii trebuie să înţeleagă că modul de lucru PLM se aplică la orice proces/produs/tehnologie, acolo unde presiunea pieţei şi a consumatorilor impun inovarea procesului/produsului/tehnologiei şi că se pot diferenţia în piaţă doar prin urmărirea eficientă a ciclului de viaţă.

Se propune evaluarea şi reducerea impactului asupra mediului şi a riscurilor asociate fabricării produselor, tehnologiilor de fabricaţie sau activităţilor specifice, identificarea zonelor critice în care trebuie să se acţioneze pentru minimizarea efectelor negative, identificarea şi selectarea celor mai eficiente soluţii din punct de vedere economic şi ecologic. Analiza inventarului este un proces de colectare a datelor pentru a cuantifica intrările şi ieşirile sistemului studiat. Sunt inventariate consumurile de materie primă, energie, utilaje şi echipamente, consumabile etc., emisiile în aer, apă, sol şi deşeurile solide rezultate în cadrul sistemului studiat şi sunt divizate în subsisteme şi procese unitare. Datele rezultate sunt grupate în diferite categorii ale inventarului ciclului de viaţă. Evaluarea ciclului de viaţă ca metodă cu structură fixă trebuie sa fie în concordanţă cu standardul ISO 14040. Acest tip de studiu poate fi utilizat în dezvoltarea de produse (ecodesign), la îmbunătăţirea acestora, pentru planificarea strategică şi luarea deciziilor, la elaborarea de politici şi reglementări, în marketing, pentru obţinerea etichetei verzi etc.

Ciclul de viaţă se leagă, obligatoriu, de deciziile privind managementul riscului cu implicaţii majore în ceea ce priveşte impactul asupra mediului. Aceste decizii erau intuitive şi se sprijineau pe multă experienţă. Tocmai de aceea, rezultatele nu au fost bune în asigurarea unui management optim al riscului. La ora actuală există preocupări majore pentru realizarea de analize sistematice privind expunerea la risc şi elaborarea unui program de management al riscului cu ţintă precisă, eficient din punctul de vedere al acţiunilor şi costurilor. Fiecare entitate are obligaţia de a analiza sistematic riscurile legate de desfăşurarea activităţilor sale şi să elaboreze planuri corespunzătoare în direcţia limitării posibilelor consecinţe ale acestora, managementul riscurilor gestionandu-le pe parcursul întregului ciclu de viaţă al proceselor/produselor/tehnologiilor.

Legătura dintre prevederile standardelor de produs şi impactul asupra mediului înconjurător pe durata întregului ciclu de viaţă al produselor este o problematică abordată şi urmărită. Astfel, principalele directive şi regulamente europene privind proiectarea ecologică şi eficienţa energetică impun ca pe toată durata ciclului de viaţă, produsele rezultate să se afle într-o interacţiune continuă cu mediul înconjurător, fie pentru a prelua din mediul înconjurător resursele materiale şi energia necesară fabricării produselor, fie pentru a le deversa în mediu. Etapele principale ale ciclului de viaţă al produselor electrotehnice şi electronice sunt: achiziţia materialelor, execuţia produselor, ambalarea şi distribuirea, instalarea, utilizarea, mentenanţa şi dezvoltarea, reutilizarea produselor, reciclarea şi recuperarea materialelor sau energiei, procedeele finale etc.

Un rol important îl joacă principalele modificări aduse de ISO 9001:2015 şi ISO 14001:2015 ("ISO/IEC Directives, Part Consolidated ISO Supplement - Procedures specific to ISO, 2012), în special Anexa SL, care a devenit cunoscută şi sub denumirea "High-level structure". ISO a dezvoltat Anexa SL ce reprezintă un cadru pentru un sistem de management generic şi se are în plan ca toate standardele revizuite să urmeze acest cadru. Acesta include comportamentul întregului personal în legătură cu sistemele de management şi, în special, al celor care formează managementul de vârf. Schimbarea poate fi foarte dificilă şi, în special din acest motiv, se consideră că noile ediţii ale standardelor reprezintă o revizuire semnificativă.

Ediţiile din 2015 ale celor două standarde ne vor ajuta acum să desfăşurăm activităţile în modul în care ediţiile precedente l-au sugerat întotdeauna, dar nu l-am făcut în special din cauza rezistenţei manifestate de unele părţi interesate.

Noile standarde adoptă "high-level structure" şi terminologia din anexa SL. Anexa SL a fost dezvoltată pentru a se asigura că toate viitoarele standarde ISO pentru sistemele de management vor avea un format comun indiferent de disciplina specifică la care se referă, o structură şi un text de bază identice, cât şi termeni şi definiţii comune.

În ISO 14001:2015 se adaugă conceptul de "perspectivă a ciclului de viaţă", care impune organizaţiei să stabilească controale care să asigure că cerinţele de mediu sunt luate în considerare în cadrul procesului de proiectare pentru: dezvoltarea, livrarea, utilizarea şi tratarea produselor şi serviciilor sale la sfârşitul duratei de viaţă, dar şi să comunice cerinţele de mediu relevante care se referă la furnizori şi contractori, precum şi să furnizeze informaţii despre impactul potenţial asupra mediului în timpul livrării produselor sau serviciilor în timpul utilizării şi tratării produsului la sfârşitul duratei de viaţă a acestuia.

Implementarea soluţiilor software pentru gestiunea ciclului de viaţă a produsului are la bază decizia de a aborda strategic un set de nevoi cheie dintr-o entitate în vederea optimizării resurselor, a creşterii eficienţei şi profitabilităţii. Implementarea unei soluţii software provine dintr-un plan superior al gândirii unei entităţi, acolo unde există viziunea, capacitatea de anticipare şi de a privi entitatea într-un context global, dinamic, în care competiţia determină creşterea calităţii şi a performanţei, unde nevoia de a inova continuu este impusă de aşteptările tot mai înalte ale beneficiarilor. De asemenea, configurarea soluţiei software într-o perspectivă care susţine eficienţa soluţiei alături de un set de servicii complementare, este o condiţie absolut esenţială. Astfel, ca etape care asigură succesul implementării soluţiilor PLM [10], sunt propuse următoarele:

- conceptul PLM; analiza organizaţiei din perspectiva specificului nevoilor şi a gestionării acestora cu ajutorul soluţiilor PLM; identificarea obiectivelor şi a potenţialului de dezvoltare;
- elemente de teoria fractalilor aplicate în activităţi CDI şi particularizare pentru ICPE-CA;
- instrumente şi standarde pentru sistemele PLM;
- configurarea strategică, managementul şi modele ale ciclului de viaţă; analiza valorii;
- metodologia de evaluare a ciclului de viaţă; proceduri; studii de caz aplicabile ICPE-CA;
- posibilităţi de introducere instrumente soft pentru gestionarea PLM aplicabile în cadrul unei entităţi CDI;
- simularea, testarea şi validarea efectelor soluţiilor PLM.

Elementele fundamentale ale PLM sunt: oamenii, procesele/practicile şi tehnologia (CAD, CAM, CAE, PDM). O entitate nu poate cumpăra pur şi simplu PLM ca şi aplicaţie software, deşi tehnologia software este o componentă esenţială, implementarea trebuie să aibă în vedere toate elementele fundamentale. Oamenii „vin" cu experienţa, educaţia, instruirea şi susţinerea lor. Experienţa lor eficientizează consumul de timp, materiale şi energie, permite reducerea timpului de căutare, anticiparea rezultatelor cu o probabilitate mare de success. Prin instruire, oamenii învaţă ce să facă, iar prin educaţie ei înţeleg de ce fac acel lucru. Informaţia care se acumulează în timpul managementului ciclului de viaţă al produsului îmbunătăţeşte semnificativ eficienţa educaţiei şi formării profesionale.

În cadrul managementului ciclului de viaţă al produsului trebuie să se ţină cont de faptul că atât procesele (de ex., de proiectare, de fabricatie, de vanzare), cât şi practicile (utilizatorul acţionează în funcţie de propria experienţă) trebuie captate şi virtualizate. Toate aplicaţiile care fac parte dintr-un sistem PLM şi care se referă la anumite etape din ciclul de viaţă al produsului, trebuie să fie compatibile şi interconectabile. Un criteriu în alegerea aplicaţiilor pentru diferitele etape din ciclul de viaţă al procesului/produsului/tehnologiei este acela de a permite transferul cât mai uşor şi precis al informaţiei despre proces/produs/tehnologie către alte etape din ciclul de viaţă al procesului/produsului/tehnologiei.

Unul dintre cele mai importante rezultate ale adoptării PLM este creşterea profitabilităţii, prin reducerea costului procesului/produsului/tehnologiei şi a costurilor cu dezvoltarea lor, stimularea transferului tehnologic precum şi creşterea calităţii proceselor/produselor/tehnologiilor.

Este o oportunitate de a moderniza sistemele de management şi de a le integra în sistemele entităţilor de cercetare, ale societăţilor şi firmelor pentru a obţine o mai bună performanţă a întregii lor activităţi, a afacerii în general.

3. CONCLUZII

Cunoaşterea şi înţelegerea elementelor fundamentale ale PLM vor ajuta managerii să planifice activitatea de cercetare, procesele de proiectare şi fabricaţie, să atingă obiectivele cu o eficienţă mai mare, costuri mai mici şi să crească viteza de lansare a noilor cercetari (procese/produse/tehnologii), a muncii de cercetare, în general. PLM este o abordare de business integrat bazat pe informaţie, formată din oameni, procese/practici şi tehnologii, care se referă la toate aspectele din viaţa unui produs, de la proiectare până la producţie, utilizare şi întreţinere, finalizând cu scoaterea din funcţiune şi reciclarea, cu scopul de a creşte eficienţa şi productivitatea entităţii. PLM nu este o unealtă, ci o abordare de business. În viziunea noastră, PLM este un set de capabilităţi ce permite unei organizaţii să inoveze şi să urmărească efectiv şi eficient produsele (proiecte, servicii etc.) sale.

BIBLIOGRAFIE

[1] Valentina Gecevska, Paolo Chiabert, Zoran Anisic, FrancoLombardi, Franc Cus, *Product lifecycle management through innovative and competitive business environment*, Journal of Industrial Engineering and Management, JIEM, doi: 10.3926/jiem. 2010.v3n2.p323-336, 2010.

[2] Laurenţiu Nae, *Oameni, Procese, Tehnologie Elementele fundamentale PLM (Product Lifecycle Management)*, MANAGEMENT & CALITATE, 2013.

#

[3] Elena-Simina Lakatos, Oana-Adriana Crișan, Daniel-Gheorghe Lakatos, Mircea Bejan, *Paradigma economiei circulare. O provocare pentru oraşul inteligent*, Buletinul AGIR nr. 1/2017.

[4] B. Mentink, Circular Business Model Innovation: A Process Farmework and a Tool for Business Model Inoovation in a Circular Economy., Lucrare de masterat, Delft University of Technoloy and Leiden University, Leiden, Olanda, 2014.

[5] Sergio Terzi, Abdelaziz Bouras, Debashi Dutta, Marco Garetti, Dimitris Kiritsis, *Product lifecycle management – from its history to its new role*, Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 4, No. 4, DOI: 10.1504/IJPLM.2010.036489, 2010.

[6] Vasile Nasui, *Studiul predictiv asupra ciclului de viață al actuatorilor liniari electromecanici,* Buletinul AGIR, Supliment 3/2015.

[7] http://www.stiucum.com/management/managementul-cercetarii-si-dezvoltarii/Ciclul-de-viata-al-produselor31613.php.

[8] https://pixhome.blogspot.com/2010/08/free-3d-fractals-nature-wallpaper-with.html.

[9] Elena Zerfus, *Metode fractale folosite pentru studierea proceselor economice*, Revista Informatica Economică, nr. 9/1999.

[10] https://www.adacomputers.ro.

MANAGEMENTUL RISCURILOR ÎN CADRUL SECȚIEI DE PRODUCȚIE GAZE GREBENIȘ

Drd. ing. Horațiu Raul OLAR[1], Dr. ing. Mihail MALOȘ[2]

[1]Universitatea Petrol-Gaze Ploiești- Mine, Petrol și Gaze, Departament Forajul sondelor, Transportul și Distribuția hidrocarburilor; SNGN ROMGAZ SA Mediaș, Sucursala de Producție Târgu Mureș;
[2] Universitatea Lucian Blaga din Sibiu, Facultatea de Inginerie Hermann Oberth

REZUMAT. Motivația alegerii cercetării temei o reprezintă importanță incomensurabilă a impactului pe care il are managementul riscurilor in desfasurarea oricarei activitati, si in indeplinirea oobiectivelor.
Studiul este focusat pe managementul riscului, care reprezintă: „totalitatea metodelor sau mijloacelor prin care este gestionată incertitudinea, ca bază majoră a factorilor de risc, în scopul îndeplinirii obiectivelor descrise în cadrul Sectiei de Productie Gaze". Doar o abordare extrem de riguroasă și constantă la toate nivelurile de desfășurare a obiectivelor Sectiei, poate conduce la un control eficient asupra activităților și la reducerea factorior de risc. Este prezentată identificarea, analiza, și gestionarea riscurilor în cadrul unei Sectii de Productie Gaze.
Cuvinte cheie: risc, managementul riscurilor, Secție de Producție Gaze

ABSTRACT. The motivation to choose the topic research is an immeasurable importance of the impact of risk management on the conduct of any activity, and on the fulfillment of the objectives.
The study focuses on risk management, which is: "the totality of methods by which uncertainty is managed as a major basis of risk factors in order to meet the objectives described in the Gas Production Section". Only an extremely rigorous and consistent approach at all levels of the Unit's objectives can lead to effective control over activities and reduction of risk factors. Risk identification, analysis, and management are presented here for a Gas Production Section.

Keywords: risk, risk management, Gas Production Section

1. NOȚIUNI GENERALE LEGATE DE RISCURI ȘI MANAGEMENTUL ACESTORA

Din inceputurile istoriei, riscurile au constituit una dintre cele mai mari şi fascinante provocări pentru umanitate datorită omniprezenţei acestuia în toate domeniile de activitate.

Ce este riscul? În accepțiunea teoriei clasice a deciziei, acesta este identificat ca fiind un element incert, dar posibil ce apare permanent în procesul activităţilor socio-umane, ale cărui efecte pot fi păgubitoare şi ireversibile, acesta mai poate fi interpretat si ca:

- ✓ posibilitatea de a pierde;
- ✓ incertitudinea care afectează rezultatul;
- ✓ dispersia actuală a rezultatelor aşteptate;
- ✓ concept multidimensional, ce nu poate fi redus la un singur element, la o cifră.

Exista cinci categorii de riscuri majore cu care se confrunta Secția de Producție Gaze:

a) Riscuri de ordin tehnic, ce pot conduce către imposibilitatea desfasurării normale a activitații datorită fundamentării acestuia pe niște baze de pornire eronate. Pentru obținerea unei imagini mai clare asupra acestor aspecte, menționăm câteva exemple de motive, datorită unor idei de pornire eronate:

- ✓ implementarea defectuoasă a tehnologiei la beneficiar;
- ✓ tehnologia care se doreşte a fi implementata nu corespunde standardelor internaţionale în vigoare;
- ✓ activitatile prevăzute în cadrul proiectului se întind pe o perioadă de timp mai mare decât cea prevazută în mod expres in proiect;
- ✓ nerespectarea condiţiilor de ordin tehnic asupra achiziției de materiale sau echipamente;
- ✓ introducerea noii tehnologii în fluxul de fabricaţie ar impune costuri enorme, sau ar conduce către reorganizarea masivă a sectorului respectiv, provocând dezechilibrarea economică a companiei;
- ✓ calitatea produselor finale, obţinute cu sprijinul tehnologiei achiziționate nu este aceeași cu cea prognozată în cadrul proiectului, spre exemplu condiționarea și livrarea gazelor naturale la condițiile de calitate impuse de Codul Rețelei

b) Riscul asupra prognozei financiare, menționând astfel câteva exemple de riscuri:

- ✓ construcția eronată a unui buget de către managerul Sectiei (prea mare sau prea mic) față de plafonul maxim admis de catre Conducerea Societatii;

✓ distribuţia neechilibrată a fondurilor alocate în cadrul capitolelor bugetare, ceea ce ar putea conduce la compromiterea întregului buget;

✓ estimări subevaluate asupra activităţilor ce urmează a se desfăşura, ce conduc chiar la imposibilitatea derulării activitatii de investitii datorită resurselor insuficiente;

✓ proiectul de investitii aduce beneficii pe termen lung care sunt însă greu de prevăzut sau evaluat, generând astfel o imagine incertă asupra finalităţii sale.

c) Riscuri ale resurselor umane. Se referă la lipsa calificărilor tehnice necesare respectivei organizaţii pentru o implementare de calitate, datorată unei analize greşite asupra resursei umane angajate sau asupra necesităţilor cerute de fiecare activitate în parte (consultanţi externi, organizaţii partenere etc.). Putem evidenţia:

✓ imposibilitatea realizării activităţilor, datorită lipsei de personal sau a insuficientei calificări a acestora (dacă implicarea este la nivel individual in cadrul Sectiei) sau a instituţiei partenere în executarea obiectivelor prevăzute (dacă implicarea este la nivel colectiv);

✓ nerespectarea atribuţiilor stabilite de către manager pentru fiecare dintre instituţiile sau serviciile partenere în cadrul Societatii;

✓ colectivul de cercetare prezintă un înalt grad de neomogenitate, generând situaţii conflictuale frecvente, fiind în general greu de gestionat.

✓ Gestionarea greşită a telentelor şi lipsa aprecierii şi motivării acestora.

d) Managementul defectuos, care poate constitui chiar unul dintre cei mai importanţi şi în acelaşi timp periculoşi factori de risc. Principalele motive întâlnite în derularea activitatilor în cadrul acestui capitol ar fi:

✓ managerul Sectiei nu respectă pe deplin obiectivele sau activităţile preconizate;

✓ managerul de proiect este incapabil să gestioneze în mod eficient situaţiile conflictuale în cadrul consorţiului de parteneri sau a situaţiilor de criză survenite în cadrul derulării activitatilor;

✓ managerul Sectiei îşi asumă nişte riscuri inacceptabile în derularea activitatilor ce pot conduce la neindeplinirea obiectivelor.

e) Riscuri externe, amintind astfel cateva exemple:

✓ Riscurile valutare;

✓ modificările de politică fiscala;

✓ modificari de proceduri administrative;

✓ întârzierea deconturilor sau a recuperarii anumitor taxe sau accize de la stat.

2. SCURTĂ PREZENTARE A SECȚIEI DE PRODUCȚIE GAZE GREBENIȘ

Secția de Producție Gaze Grebeniș aparține Sucursalei de Producție Mureș, SNGN ROMGAZ SA, fiind subordonată direct Directorului de Producție al Sucursalei și are in alcătuirea ei:

✓ 168 angajați { Operatori extracție, lacatuși mecanici, echipa de intervenție, șefi formație, personal Tesa (funcționar superior, economist, adjunct șef secție și șef secție)};

✓ 13 câmpuri de gaze;

✓ 39 puncte de lucru;

✓ 333 sonde de gaze naturale în producție;

✓ 9 Stații de uscare gaze (6 stații cu trietilenglicol și 3 stații cu săruri delicvescente);

✓ 3 compresoare de câmp;

✓ 4 stații de injecție ape reziduale;

✓ 6 sonde de injecție ape reziduale;

✓ 1 Depozit de deșeuri specifice activității de extracție gaze.

Mentionez câteva din activitățile principale desfășurate:

✓ Extracția gazelor naturale;

✓ Condiționarea gazelor naturale;

✓ Comprimarea gazelor naturale;

✓ Optimizarea producției gazelor naturale;

✓ Operarea în siguranță a capacităților de producție;

✓ Efectuarea mentenanței și a reviziilor anuale la toată infrastructura de producție (Capete de rupție, conducte de aducție, conducte colectoare, compresoare de câmp, stații de uscare gaze, aparate de măsură și control);

✓ Aprovizionarea, gestionarea, și distribuirea materialelor și a pieselor de schimb;

✓ Elaborarea și analizarea procedurilor de lucru aflate în vigoare la nivelul Societății;

✓ Coordonarea și supervizarea întregului personal al Secției;

✓ Gestiunea deșeurilor rezultată din activitatea de producție.

3. OBIECTIVELE SECȚIEI DE PRODUCȚIE GAZE

✓ Realizarea Planului de Producție anual;

✓ Încadrarea în consumul tehnologic anual;

✓ Realizarea lucrărilor de intervenții și reechipării sonde;

✓ Realizarea reviziilor tehnice anuale la grupuri sonde și instalatii tehnologice, conducte colectoare, stații de injecție ape reziduale, stații uscare gaze TEG/săruri;

✓ Respectarea cerințelor de mediu;

✓ Neânregistrarea niciunui accident de muncă sau îmbolnavire profesională;

✓ Asigurarea continua a calitătii gazelor naturale livrate;

✓ Creșterea capăcităților de producție.

✓ Creșterea portofoliului de resurse și rezerve de gaze, prin descoperirea de resurse noi și prin dezvoltarea și îmbunătățirea recuperării resurselor deja descoperite;

✓ Identificarea unor oportunități noi de crestere și diversificare;

✓ Creșterea performanțelor companiei, și a personalului angajat.

4. TEHNICI DE IDENTIFICARE A RISCURILOR

Având în vedere activitățile Secției de Producție Gaze, o parte din ele menționându-le mai sus, și obiectivele acesteia, obiective care sunt în concordanță cu obiectivele Societății, ne confruntăm cu o serie de riscuri care pot pune în pericol într-o oarecare măsură realizarea obiectivelor, astfel încât menționăm câteva tehnici folosite pentru identificarea lor:

a) Realizarea unei liste a riscurilor posibile care are la baza ideea consultării tuturor persoanelor implicate în procesul de producție din cadrul Secției, lunar odată cu efectuarea instructajului periodic, dar și odata cu ivirea unei situații speciale;

b) Sesiunile de brainstorming, fiind prin structura lor cele mai agreate metode de a genera idei de identificare a potențialelor riscuri ce pot interveni, utilizând astfel două tehnici distincte complementare. Prima se referă la generarea de către membrii Comisiei de Gestiune a Riscurilor a unui liste care sa conțină idei cât mai semnificative referitoare la riscurile ce pot surveni, iar cea de-a doua tehnică abordează combinarea riscurilor similare și ordonarea lor dupa magnitudine, importanță și după probabilitatea de a se petrece.

c) Interviurile individuale cu persoanele implicate în activitatea de producție, utilizându-se seturi de întrebari speciale pentru ca persoana intervievată să își cristalizeze opiniile.

d) Utilizarea profilului de risc – este folosită la implementarea unor anumite proiecte/investiții atunci când persoanele din conducere pot folosi experiența acumulată în cadrul unor proiecte precedente, pentru a identifica factorii de risc specifici ce se regăsesc și în structura noii investiții în care sunt implicați.

5. STRATEGII DE REDUCERE A RISCURILOR

a) Acceptarea riscurilor – se referă la modul în care managerul înțelege riscul, probabilitatea sa de realizare, şi consecinţele estimate ce decurg de aici şi la decizia de a nu acţiona pentru îndepărtarea acestuia, datorita faptului ca probabilitatea de apariție este foarte mică şi/sau consecinţele sunt nesemnificative;

b) Evitarea riscurilor este utilizată în general în situaţia schimbării scopului, sau a anulării unei părți a unei activitati sau investitii, situații ce pot produce mari perturbații atât în cadrul activităților estimate, cât şi a rezultatelor finale aşteptate, în aceste situații considerându-se un act de înţelepciune din partea managerului de proiect evitarea riscului de a accepta modificări ce pot conduce către probleme deosebite.

c) Monitorizarea riscului şi pregătirea planului de gestiune a acestuia. Acest proces are la bază alegerea unui set de indicatori şi urmărirea evoluţie a acestora pe întreaga durată a anului in curs. Exemple de indicatori:

Tabelul 1. **Evaluarea probabilității de apariție a riscurilor**

Nivel probabilitate		Explicație
1	Foarte scăzută	Nu s-a întâmplat până în prezent si este foarte puțin probabil să se întâmple in viitor.
2	Scăzută	S-a intamplat foarte rar si este foarte puțin probabil să se întâmple in urmatorii 3 ani.
3	Medie	S-a întâmplat de cateva ori in ultimii 3 ani si este probabil să se întâmple in urmatorii 3 ani.
4	Mare	S-a intamplat in ultimul an si este probabil să se întâmple cel utin odata in urmatorul an.
5	Foarte ridicată	S-a intamplat de cateva ori in ultimul an si este probabil să se întâmple la fel in urmatorul an.

Tabelul 2. **Evaluarea impactului riscurilor**

Nivel impact		Explicație
1	Foarte scăzut	Cu impact foarte scăzut asupra activităților și afectand pana in 10% stadiul îndeplinirii obiectivelor Sectiei.
2	Scăzut	Cu impact scăzut asupra activităților și afectand intre 10-20% stadiul îndeplinirii obiectivelor Sectiei.
3	Mediu	Cu impact mediu asupra activităților și afectand intre 20-30% stadiul îndeplinirii obiectivelor Sectiei.
4	Ridicat	Cu impact ridicat asupra activităților și afectand intre 30-40% stadiul îndeplinirii obiectivelor Sectiei.
5	Foarte ridicat	Cu impact ridicat asupra activităților și afectand peste 40 % stadiul îndeplinirii obiectivelor Sectiei.

Tabelul 3. **Stabilirea expunerii la risc (Prob. X Impact)**

Foarte ridicat	Impact	5	10	15	20	25
Ridicat		4	8	12	16	20
Medie		3	6	9	12	15
Scăzut		2	4	6	8	10
Foarte scăzut		1	2	3	4	5
	0	PROBABILITATE				
		Foarte Scăzută	Scăzută	Medie	Ridicată	Foarte ridicată

Tabelul 4. **Stabilirea nivelului de tolerare a riscurilor**

Nivel tolerare		Explicație
1-4	Tolerabil	Nu necesită nici o măsura de control.
5-8	Tolerare ridicată	Necesită măsuri de control pe termen mediu/lung.
9-12	Tolerare scăzută	Necesită măsuri de control pe termen scurt.
13-25	Intolerabil	Necesită măsuri de control urgent.

d) Transferul riscurilor. In cadrul multor activități care implică riscuri deosebite și utilizează tehnologii foarte costisitoare, este preferabilă asigurarea acestora la instituții de profil specializate în asigurari, fiind practic un transfer al riscurilor către o alta instituție.

e) Reducerea sistematica a riscurilor este un complex de metode și strategii menite sa diminueze în mod sistematic riscurile până la stabilirea acestora în cadrul unui prag acceptabil.

6. REGISTRUL RISCURILOR SECȚIEI DE PRODUCȚIE GAZE

Cuprinde totalitatea riscurilor considerate ca fiind relevanteși care ar putea pune în pericol îndeplinirea obiectivelor Secției.

Tabelul 5. **Registrul riscurilor Secției de Producție Gaze**

Nr. crt.	Risc identificat	Probabilitate	Impact	Tolerare
1	Accidente de muncă sau îmbolnăvire profesională	1	1	1
2.	Furtul echipamentelor	2	1	2
3.	Poluarea mediului înconjurător cu apă de zăcământ și gaz metan	1	1	1
4.	Erori umane în operarea instalațiilor și utilajelor	2	1	2
5.	Defecțiuni Conducte, Instalații, Separatoare și Statii De Uscare Gaze Naturale	4	1	4
6.	Nerealizarea investițiilor propuse	3	3	9
7.	Proceduri Operaționale eronate/imposibil de urmat	4	1	4

7. CONTROLUL RISCURILOR

Controlul riscurilor reprezintă ultima componentă a procesului de management al riscului în cadrul unui Secții de Producție Gaze, ocupându-se atât de monitorizarea lor, cât și de măsurile întreprinse pentru ținerea lor sub control.

Practica managerială demonstrează că activitățile de monitorizare și control al riscurilor se desfășoară în paralel cu desfășurarea activităților, și urmărirea stadiului indeplinirii obiectivelor. Strategiile de monitorizare și control al riscurilor includ identificarea magnitudinii de producere a riscurilor pe baza calculelor probabilistice mentionate în tebelele de mai sus, înregistrarea acestora și inspectarea periodică a evoluției lor pe baza controalelor de rutină.

Menționăm măsurile întreprinse pentru ținerea sub control a riscurilor identificate:

- Accidente de muncă sau îmbolnavire profesională:
  - ➢ Supravegherea funcționării continue a capacităților de producție prin monitorizarea permanentă a celor 31 grupuri de sonde și a celorlalte obiective deservite de personal;
  - ➢ Efectuarea instruirilor periodice lunare la tot personalul apartinând Secției de Producție Gaze Grebeniș;
  - ➢ Efectuarea de instruiri către terti, cu ocazia desfășurării activitaților de intervenții și reparații, dar și la punerea în funcțiune a instalațiilor noi;
  - ➢ Efectuarea instruiriilor la implementarea noilor tehnologii;
  - ➢ Reviziile tehnice și reparațiile curente sunt în desfășurare;
  - ➢ Interventia în cel mai scurt timp posibil prin remedierea în regie proprie a defectelor apărute;
  - ➢ Prevenirea acestor posibile accidente prin efectuarea lucrărilor de revizii a instalațiilor tehnologice.
  - ➢ Supravegherea oricărei intervenții sau reparații de către o persoană cu funcție de conducere, persoană autorizată.

- Furtul echipamentelor:
  - ➢ Efectuare de instruiri periodice privind echipamentele de măsură;
  - ➢ Supravegherea echipamentelor, atât online cât și prin deplasarea la locațiile deservite ocazional de către angații S. P. Grebeniș;
  - ➢ Sesizare furt, și informarea tuturor factorilor implicati, și anume: Conducerea Sucursalei Târgu Mureș și a Poliției din zona în care s-a produs incidentul;
  - ➢ Solicitarea acoperirii cu personal a tuturor obiectivelor de lucru ale Secției de Producție Grebeniș conform Normativului de exploatare a instalațiilor tehnologice din industria gazelor naturale.

- Poluarea mediului înconjurător cu apă de zăcământ și gaz metan:
  - ➢ Efectuarea de instruiri periodice la tot personalul aparținând Secției de Producție Gaze Grebeniș, unde au fost aduse la cunoștință toate normele cu privire la Protecția Mediului;
  - ➢ Efectuarea de instruiri către terți, cu ocazia desfășurării activităților de intervenții și reparații, dar și la punerea în funcțiune a instalațiilor noi;
  - ➢ Reviziile tehnice și reparațiile curente sunt în derulare;
  - ➢ Evitarea poluării prin prezentarea conținutului Foii de Manevră tuturor persoanelor implicate, unde sunt prezentate toate normele ce trebuiesc respectate la intervenția remedierii unui defect;

- Erori umane în operarea instalațiilor și utilajelor:
  - ➢ Efectuarea instruirilor periodice lunare, cât și la intrarea în vigoare a noilor proceduri operaționale;

➢ Participarea la cursuri și examene în vederea obținerii autorizării ANRE și INSEMEX;

➢ Propuneri efectuare cursuri de calificare, reâmprospătare a cunoștințelor;

➢ Evitarea erorilor prin întocmirea și prezentarea conținutului Foii de Manevră , a Permisului de Lucru cu Foc, și a schiței cu zona de lucru tuturor persoanelor implicate, în momentul intervenției pentru remedierea defectelor apărute;

- Defecțiuni Conducte, Instalații, Separatoare și Statii De Uscare Gaze Naturale:

➢ Urmărirea realizării Planului de investiții, a achizițiilor de trietilenglicol, săruri delicvescente, dar și a materialelor necesare mentenanței;

➢ Mentenanța Stațiilor de Uscare Gaze Naturale este asigurată în permanență de către firme specializate la S.U. Gaze cu Trietilenglicol, mai puțin la Statia de Uscare Gaze Band unde mentenanța este efectuată de către membrii Secției de Producție Gaze Grebeniș la fel ca și la S.U. cu Săruri;

➢ Urmărirea zilnică a parametrilor de funcționare a Stației de Uscare Gaze Band și informarea Serviciului Dezvoltare Supervizare și a Conducerii Sucursalei Târgu Mureș cu privire la diferitele situații speciale apărute ce necesită remediere de către furnizor, Stația de Uscare gaze fiind in garanție.

➢ Remedierea defectelor apărute la Conducte, Instalații, Separatoare și Statii De Uscare Gaze Naturale prin taiere, curățare, spălare sub presiune, sudare, montaj;

➢ Efectuarea RT, RC, RK la instalațiile tehnologice;

- Nerealizarea investițiilor propuse:

➢ Efectuarea instruirilor periodice;

➢ Elaborare plan investiții;

➢ Întocmire și susținere spre aprobare a Temelor de Proiectare și a Caietelor de Sarcini aferente Planului de Investiții propus de către Secția de Producție Grebeniș;

➢ Colaborarea cu toate serviciile implicate în vederea realizării investițiilor necesare;

➢ Urmărire realizare investiții;

- Proceduri Operaționale eronate/imposibil de urmat:

➢ Analizarea periodică a procedurilor operaționale;

➢ Transmitere de opinii argumentate la elaborarea și revizuirea procedurilor operaționale;

➢ Solicitări de modificare procedură/document conform procedurii aflate în vigoare.

Planul pentru implementarea măsurilor de control cuprinde măsuri de ținere a riscurilor sub supraveghere și control, iar acesta este în desfășurare și are ca termen de finalizare sfârșitul anului în curs.

8. CONCLUZII

Exemplele menționate acoperă doar o parte din multitudinea de riscuri asociate desfășurării activității Secției de Producție Gaze, dar au rolul de a forma o imagine de ansamblu asupra a ceea ce implică managementul riscului. Experiența ultimilor ani, mai mult sau mai puțin pozitivă, ne oferă însă și oportunitatea de a învăța din greșeli și de a optimiza strategiile de gestiune a riscurilor care au afectat activitatea și proiectele implementate până acum.

O concluzie firească pe care o putem desprinde în urma scurtei analize efectuate ne poate conduce cu ușurință către ideea că factorii de risc se întâlnesc cu siguranță în absolut toate activitățile incluse în cadrul unei Secții de Producție Gaze.

Având rețeta corectă ne poate duce spre succes rapid, ajutând atât personalul cât și compania să aibă rezultatele pe care le vor într-un timp rapid !

BIBLIOGRAFIE

[1] Avram Lazăr, *Elemente de managementul forajului,* Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Ploiești, România, 2011;

[2] Nistor, R.L, Munteanu, V. P., *Managementul proiectelor europene,* , Editura EIKON; Cluj-Napoca, România, 2013;

[3] McCollum James, Banacu Cristian Silviu, *Management de proiect, o abordare practică,* Editura Universitară, București, România, 2005;

[4] Covrig Mircea, Opran Constantin, *Managementul proiectelor*; Agenția Managerială pentru Cercetare Științifică, Inovare și Transfer Tehnologic – Politehnica; Editura Pritech, București, România, 2000;

[5] *Manual de Managementul Proiectelor;* Guvernul României, Departamentul pentru Integrare Europeană; București, România, 1998;

[6] Pastor Ioan, Campean Elena Adriana, Stoica Mihaela, *Managementul Firmei și Dezvoltarea Resurselor Umane În Organizații,* Editura Risoprint, Cluj Napoca, România, 2005;

[7] Graziosi Dean, *Millionaire Success Habits,* Growth Publishing, Phoenix, Arizona USA, 2017;

[8] www.romgaz.ro;

[9] Date și analize aplicate în cadrul Secției de Producție Gaze Grebeniș.

A DESERT DUST INTRUSION OVER CLUJ-NAPOCA, ROMANIA IDENTIFIED USING REMOTE SENSING TECHNIQUES

A. Mereuță[1*], N. Ajtai[1], H. Stefanie[1], L. Belegante[2], A. Ozunu[1,3]

(1) Faculty of Environmental Science and Engineering, Babeș-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania,
* Corresponding author: Mereuta.Alexandru@ubbonline.ubbcluj.ro
(2) National Institute for Research and Development in Optoelectronics INOE 2000 Măgurele, Romania.
(3) Technical Sciences Academy of Romania, Bucharest, Romania.

REZUMAT. La ora actuală, sistemele LIDAR au diferite configurații și geometrii, în funcție de aplicațiile lor. Sistemele LIDAR multi-canal Raman și sistemele LIDAR cu depolarizare utilizate în cadrul Rețelei Europene de Cercetare a Aerosolilor Lidar - EARLINET sunt adecvate pentru a furniza un set extins de parametri optici pentru caracterizarea aerosolilor care pot fi utilizați în studiile de climatologie, modele și evenimente diferite cum ar fi intruziunile de praf saharian, dispersii de fum sau cenușă vulcanică.

Aerosolul din atmosferă este prezent cel mai adesea sub forma unui amestec de aerosoli din diferite surse. În zona Cluj-Napoca, aerosolul poate avea origine locală cu o sursă antropică sau poate fi supus transportului pe distanțe lungi. De exemplu, praful mineral care vine peste România provine în principal din deșertul Sahara sau din Orientul Mijlociu; aerosolul provenit din arderile de biomasă are o sursă locală sau regională, originară în principal din Europa de Est și din Balcani; intruziunile de cenușă vulcanică sunt rare, dar se pot întâmpla în timpul erupțiilor vulcanice, cum ar fi erupțiile anterioare ale vulcanilor Eyjafjallajökull și Grímsvötn din Islanda.

În acest articol prezentăm o intruziune de praf saharian deasupra municipiului Cluj-Napoca, identificată cu ajutorul sistemului LIDAR și a fotometrului solar de la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Universitatea Babeș Bolyai.

Rezultatele indică prezența intruziunii de praf saharian deasupra orașului Cluj-Napoca lucru confirmat și de proprietățile optice ale aerosolului obținute din datele AERONET măsurate cu fotometrul solar local. Rezultatele au fost de asemenea confirmate cu ajutorul modelului de calcul al retro-traiectoriilor HYSPLIT și cu simulările modelului BSC DREAM.

Cuvinte cheie: LIDAR, AERONET, intruziuni de praf saharian, aerosol, EARLINET, teledetecție, transport pe distanțe lungi.

ABSTRACT. At the present state, the LIDAR systems have different configurations and geometries, according to their applications. The multi-wavelength Raman and depolarization LIDAR systems used in the European Aerosol Research Lidar Network – EARLINET are suitable to provide an extended set of optical parameters for aerosol characterization which can be used in climatology studies, models and different events like Saharan dust outbreaks, transport of smoke plumes or volcanic ash.

The aerosol in the atmosphere is present most often in the form of a mixture of aerosols from different sources. In Cluj-Napoca area, the aerosol can have a local origin with an anthropogenic source, or it can be subjected to long range transport. For example, the mineral dust arriving over Romania originates mainly in the Saharan desert and the Middle East; biomass burning aerosol has a local or a regional source, originating mainly from Eastern Europe and the Balkans; volcanic ash intrusions are rare, but can happen during volcanic eruptions such as the previously eruptions of Eyjafjallajökull and Grímsvötn volcanoes in Iceland.

In this article we present an intrusion of Saharan dust above the city of Cluj-Napoca, identified with the LIDAR system and the solar photometer from the Faculty of Environmental Science and Engineering, Babeș Bolyai University.

The results indicate the presence of Saharan dust intrusion over Cluj-Napoca as evidence shown by aerosol optical properties derived from AERONET Direct Sun data at CLUJ_UBB site measured with the sunphotometer. The findings were consistent with the HYSPLIT back-trajectories model and the BSC DREAM model simulations.

Keywords: LIDAR, AERONET, saharan dust intrusion, aerosol, EARLINET, remote sensing, long range transport.

1. BACKGROUND

At the present state, the LIDAR systems have different configurations and geometries, according to their applications. The multi-wavelength Raman and depolarization LIDAR systems used in the European Aerosol Research Lidar Network – EARLINET [1] are suitable to provide an extended set of optical parameters for aerosol characterization which can be used in climatology studies, models and different events like Saharan dust outbreaks, transport of smoke plumes or volcanic ash [2, 3, 4].

The LIDAR system CLOP – Cluj Laser Optical Profiler is located at the Faculty of Environmental Science and Engineering, Babeş-Bolyai University, in Cluj-Napoca, Transylvania (46.77° N, 23.55° E, 405 m above sea level). The CLOP system was set up by upgrading a 532 nm elastic backscatter LIDAR. The system is currently in the process of joining the EARLINET network. It is also a part of the ACTRIS-RO consortium, and an associated partner in ACTRIS 2 and ACTRIS PPP projects.

The aerosol in the atmosphere is present most often in the form of a mixture of aerosols from different sources. In Cluj-Napoca area, the aerosol can have a local origin with an anthropogenic source [5], or it can be subjected to long range transport. For example, the mineral dust arriving over Romania originates mainly in the Saharan desert and the Middle East [6]; biomass burning aerosol has a local or a regional source, originating mainly from Eastern Europe and the Balkans [7]; volcanic ash intrusions are rare, but can happen during volcanic eruptions such as the previously eruptions of Eyjafjallajökull and Grímsvötn volcanoes in Iceland [8].

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 LIDAR System

The Cluj-Napoca lidar (CLOP) emission system is based on a Nd:YAG laser (Continuum INLITE II -30) with a repetition rate of 30 Hz, equipped with second and third harmonics. The laser beams at 1064, nm, 532 nm and 355 nm are simultaneously emitted into atmosphere. A Galilean beam expander with a beam expansion factor of 5 resulting in a beam divergence of 0.15 mrad is also used.

The backscattered radiation is collected by a Raymetrics D300 Cassegrain type telescope with a focal length of 1500 mm. The signal detection unit has 4 detection channels for the elastically backscattered radiation at 1064, 532 (cross and parallel) and 355 nm and 2 detection channels for the Raman radiation backscattered from the N2 molecules at 607 and 386 nm. The spatial resolution is 3.75 m and the temporal resolution is 60 seconds.

2.2 AERONET Data

Aerosol optical properties of the aerosol were obtained from the collocated NASA – AERONET site equipped with a Cimel CE 318 sun-photometer [9]. The AERONET network aim is to provide two types of data: direct Sun spectral data and inversion data derived from the angular distribution of the sky radiance. Information direved from the AERONET network will be provided in the form of direct Sun spectral data.

The basic direct sun algorithm parameters necesary for identifying aerosol types are AOT (Aerosol Optical Thickness) and Ångström parameter. The AOT can be defined as a property of aerosols that prevents the transmission of light through the processes of scattering and absorption. The aerosol optical thickness (τ) is defined as the integrated extinction coefficient over a vertical column of unit cross section [10].

The Ångström parameter (α) describes the dependency of the aerosol optical thickness, or aerosol extinction coefficient on wavelength [11]. The Ångström parameter (α) is known to be the first derivative of the AOT with wavelength in a logarithmic scale [12].

The Ångström parameter is a good indicator of the aerosol particle size. Large values of the Angstrom exponent indicate the presence of small particle scattering, whereas lower values indicate the presence of coarse particles [10].

2.3 Satellite Data

Aerosols scatter and absorb light regardless of their size, and because of that they can be detected from space. Satellite imagery provided in this study was collected from NOAA View Data Exploration Tool in the form of AOT data and true color imagery [13].

AOT data is gathered here from three separate satellites: Terra, Aqua and Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP).

The Terra and Aqua satellites are equipped with The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), a 36-band spectroradiometer measuring visible and infrared radiation. The MODIS Aerosol Product monitors the ambient AOT over the oceans globally and over the continents. Furthermore, the aerosol size distribution is derived over the oceans, and the aerosol type is derived over the continents. “Fine” aerosols and “course” aerosols are also derived [14].

The Suomi NPP satellite is equipped with the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS).VIIRS is a scanning radiometer that collects visible and infrared imagery and radiometric measurements in the form of Primary Earth Data Records. Thus Ocean Color Aerosol data is derived as AOT, Aerosol Particle Size Parameter and Suspended Matter.

Areas with thick aerosol layers (i.e., a lot of light scattering/absorbing) are colored in deep orange; areas with low aerosol optical thickness are colored light yellow.

The true color imagery is provided by the NOAA-20 satellite's (VIIRS) instrument. The photorealistic images are obtained by using three of the instrument's 22 channels. The images are composed by combining three color channels: red, green and blue (called "RGB") [15].

2.4 Aerosol Transport Models

The HYSPLIT back-trajectories model was used in order to determine the trajectories of air masses and to estimate the source of long-range transported aerosol [16].

The NMMB/BSC-Dust model is used to validate long range transport patternes from the HYSPIT simulations. The dust model is intended to provide short to medium-range dust forecasts for both regional and global domains [17].

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The measurements presented in this study were taken on the 9th of June, 2018. The data set analyzed from this day was carried out between 10:30 and 11:30 UTC.

Judging by the range corrected signal (RCS) obtained from the LIDAR measurements, aerosol intrusions were detected between 2 and 5 km in the atmosphere. Figure 1a and 1b shows the RCS obtained from 532 nm channel cross and parallel, while figure 2 shows the RCS obtained from 1064 nm channel.

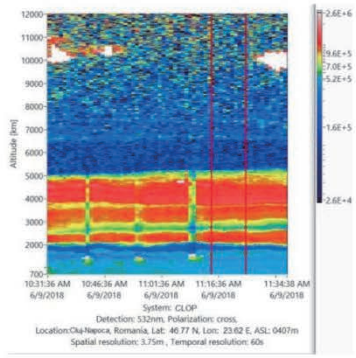


Fig.1a RCS signal (532 nm, cross) at Cluj-Napoca site for 9th of June 2018, 10:30 UTC

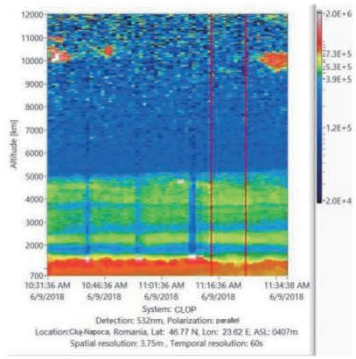


Fig.1b RCS signal (532 nm, parallel) at Cluj-Napoca site for 9th of June 2018, 10:30 UT

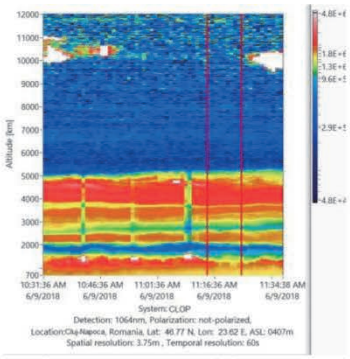


Fig.2 RCS signal (1064 nm) at Cluj-Napoca site for 9th of June 2018, 10:30 UTC

We can also observe the Planetary Boundary Layer up to 2 km and some cirrus cloud formations at 10 km. The main dust layers are situated between 2 and 3 km, 4 and 5 km.

In the backscatter profiles at 532 nm and 1064 nm (Figures 3 and 4) we can observe the same layers of aerosol between 2 and 5 km. A strong scattering of the aerosol present in the Planetary Boundary Layer at 1.5 km can also be observed.

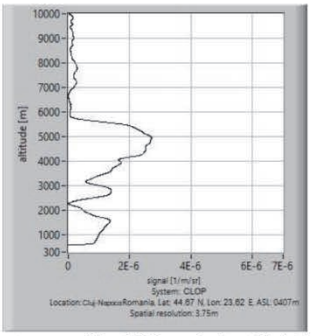


Fig. 3 Backscatter profile (532 nm) for Cluj-Napoca station measurements on 9th of June, 10:30 UTC

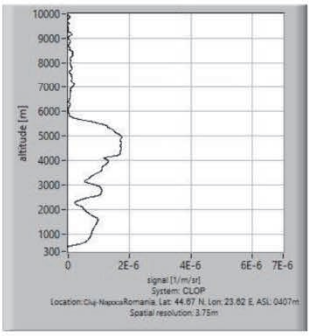


Fig. 4 Backscatter profiles (1064 nm) for Cluj-Napoca station measurements on 9th of June, 10:30 UTC

To determine whether or not the aerosol layer detected by CLOP was predominantly composed of mineral dust, parameters such as AOT and Ångström parameter needed to be determined. Thus, the AERONET sun photometer data was analyzed for June 9th. As seen in figure 5, AOT monthly levels show average values of 0.24 at 500 nm and 0.09 at 1020 nm. Figure 6 indicates AOT levels on the 9th of June with values rising at 0.46 at 500 nm and 0.32 at 1020 nm.

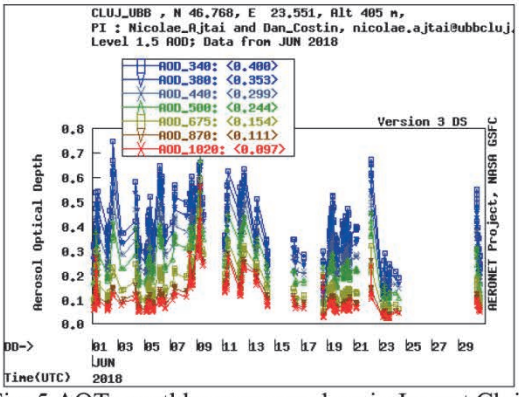


Fig. 5 AOT monthly average values in June at Cluj-Napoca

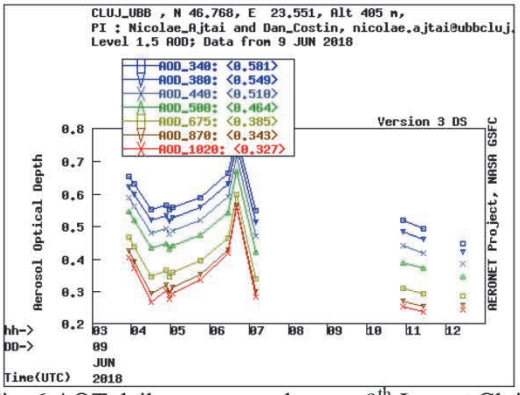


Fig. 6 AOT daily average values on 9th June at Cluj-Napoca

The Ångström exponent also has lower values (values < 1.2, Fig.7) suggesting the presence of larger particles as is the case with mineral dust.

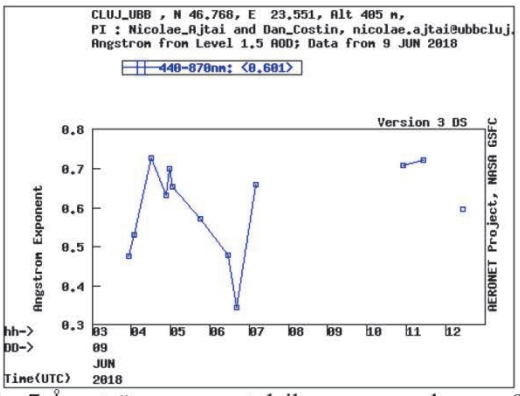


Fig. 7 Ångström exponent daily average values on 9th June at Cluj-Napoca

LIDAR and sun photometers may tel us alot about the hight profiles and optical properties of a specific aerosol layer, however such methods can not reveal the originating source of identified aerosols. This type of information may be extracted from satellite imagery and aerosol transport models.

The NOAA View Data Exploration Tool was used to extract AOT and true color maps of Europe a few days prior to the aerosol intrusion over Cluj-Napoca on June 9th.

Figures 8a, 9a, 10a and 11a show true color satellite imagery dating back from 6, 7, 8, 9th of June. These images show a visible aerosol layer and its trajectories marked by red arrows.

Figures 8b, 9b, 10b, 11b show AOT levels over Europe on the same dates. Thick aerosol layers are colored in deep orange while areas with low aerosol optical thickness are colored light yellow.

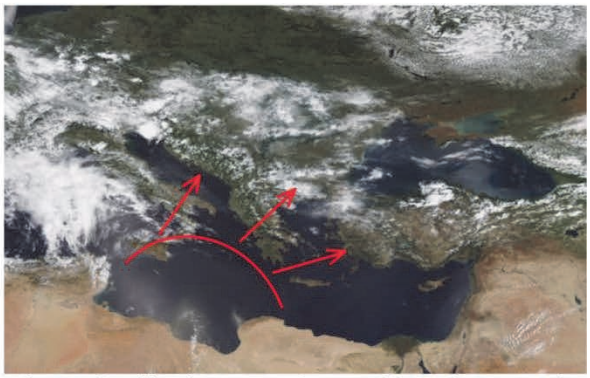


Fig. 8a Satellite imagery of aerosol intrusion over the Mediterranean Sea on June 6th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html#TRUE)

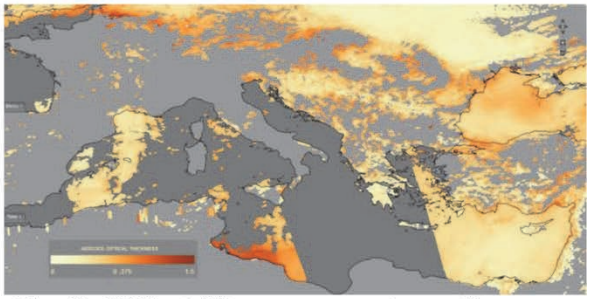


Fig. 8b AOT satellite measurements over Europe on June 6th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html#AERO)

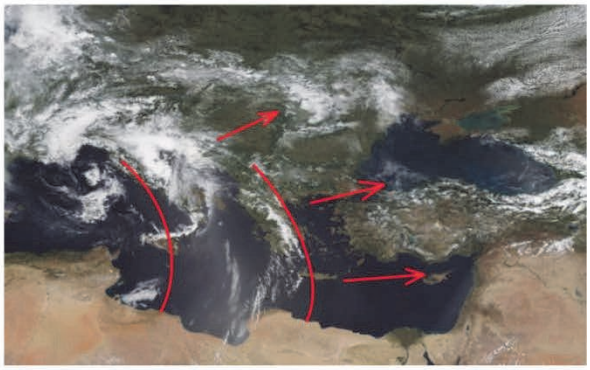


Fig. 9a Satellite imagery of aerosol intrusion over the Mediterranean Sea on June 7th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

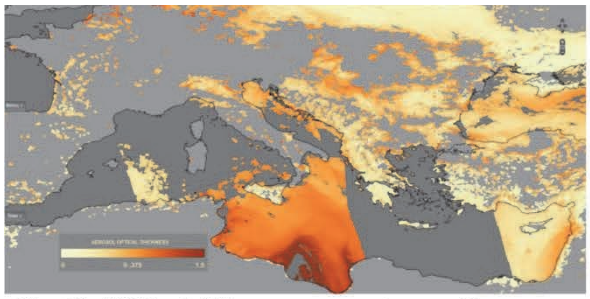


Fig. 9b AOT satellite measurements over Europe on June 7th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

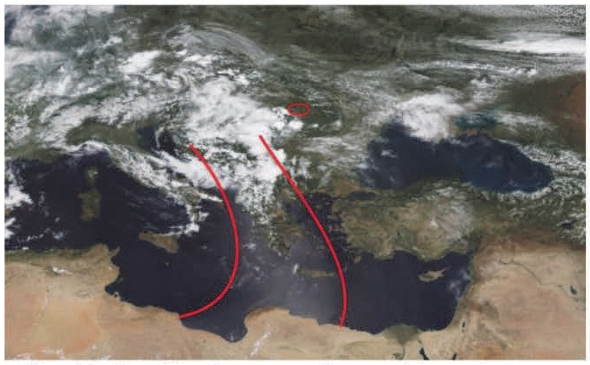


Fig. 10a Satellite imagery of aerosol intrusion over the Mediterranean Sea on June 8th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

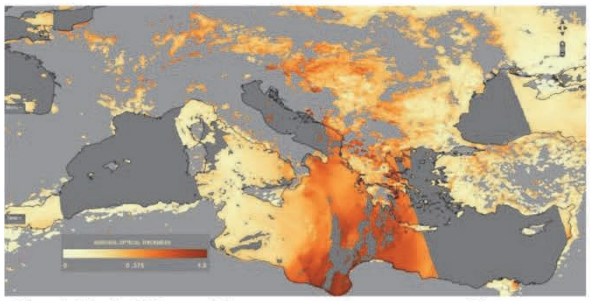


Fig. 10b AOT satellite measurements over Europe on June 8th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

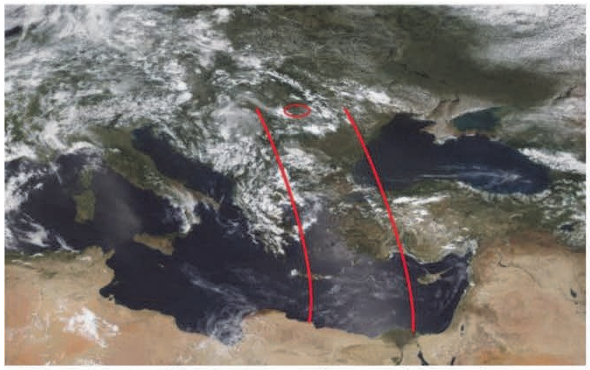


Fig. 11a Satellite imagery of aerosol intrusion over the Mediterranean Sea on June 9th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

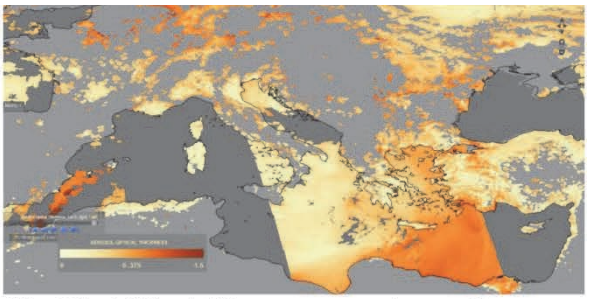


Fig. 11b AOT satellite measurements over Europe on June 8th (Source: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html)

Analyzing the satellite maps, a thick layer of aerosols can be seen traversing the Mediterranean Sea and advancing E, NE. From these images we can deduce that the layer in question was at one point situated over the Northern part of Africa.

In order to better estimate the source of the long range transported aerosols, a HYSPLIT back-trajectories simulation was computed. The subsequent results, as shown in figure 12, present the three investigated layers at 2.2, 3.3 and 4.2 km altitude.

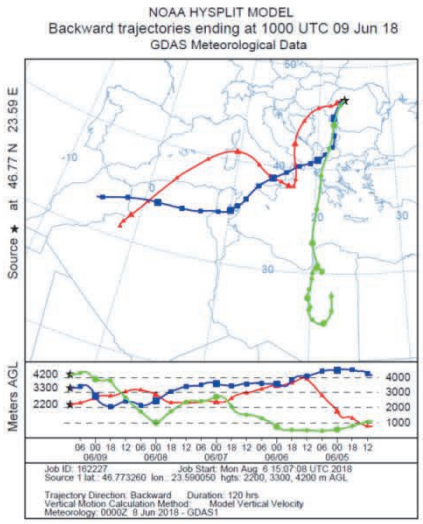


Fig. 12 HYSPLIT Backward Trajectory for June 9th 2018

On June 9th the aerosols present over Cluj-Napoca at, 10:00 UTC show a backwards trajectory originating from the Saharan Desert 5 days prior. The layers at 2.2 and 4.2 km seem to indicate the best correlation in regards to Saharan origins as they are shown to arise from the Planetary Boundary Layer. The layer at 3.3 km presents a longer transport range since it has been found at greater altitudes over Sahara.

By analyzing the BSC-DREAM model, as seen in figure 13, we can validate the HYSPLIT data and make a better prediction of the dust origins.

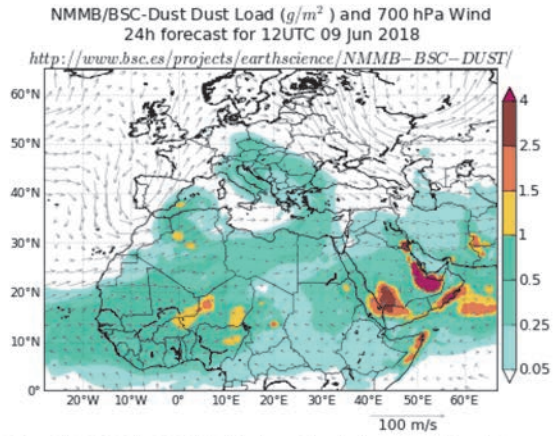


Fig. 13 BSC-DREAM dust load for the 9th of June.

The model predicts a Dust Load ranging from 0.25 to 0.5 g/m^2 over Romania at 12:00 UTC, June 9th. Considering the HYSPLIT, BSC-DREAM and NOAA satellite data, a strong argument can be made regarding the Saharan origins of the dust intrusion over Cluj-Napoca.

3. CONCLUSIONS

The study presents a set of measurements made on June 9th 2018 with the multiwavelength LIDAR system (CLOP) from Cluj-Napoca, Romania.

The first results indicate the presence of mineral dust aerosol over Cluj-Napoca, information which was consistent with collocated sun-photometer measurements.

After subsequent HYSPLIT back-trajectories and BSC-DREAM Dust Load forecast model were analysed all data seem to indicate the presence of Saharan dust over Cluj-Napoca. These findings were further strengthen by satellite data courtesy of the NOAA View Data Exploration Tool.

Acknowledgements

*** This research was conducted using the research infrastructure purchased within the POSCCE Project entitled "Development of Research Infrastructure for HPC-Based Disaster Management" – MADECIP, SMIS CODE 48801/1862, co-financed by the European Union through the European Regional Development Fund.

*** The research for this paper was financially supported by the ROSA STAR C3 contract no. 152/20.07.2017 - Satellite products validation using ground-based LIDAR stations - STRATUS.

*** The research for this paper was financially supported by the ROSA STAR C3 contract no. 183/05.09.2017 - Intelligent Software for Aerosol typing Based on Earth observation products, remote sensing measurements and transport modelling – ISABEL.

REFERENCES

[1] G. Pappalardo, A. Amodeo, et. al, *EARLINET: Towards an advanced sustainable 20 European aerosol lidar network,* Atmos. Meas. Tech. Discuss., Copernicus Publications, Göttingen, Germany, (2014).

[2] L. Mona, Z. Liu, D. Muller, *Lidar Measurements for Desert Dust Characterization: An Overview,* Adv Meteorol, Hindawi Publishing Corporation, London, United Kingdom (2012).

[3] D. Nicolae, A. Nemuc, D. Muller, C. Talianu, J. Vasilescu, L. Belegante, A. Kolgotin, *Characterization of fresh and aged biomass burning events using multiwavelength Raman lidar and mass spectrometry,* J. Geophys. Res. Atmos.,Washington DC,USA, (2013).

[4] G. Pappalardo, L. Mona, et. al, *Four-dimensional distribution of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic cloud over Europe observed by EARLINET, Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, Copernicus Publications, Göttingen, Germany, (2012).

[5] N. Ajtai, H. Stefanie, A. Ozunu, *Description of aerosol properties over Cluj-Napoca derived from AERONET sun photometric data,* EEMJ, Iasi, Romania (2013).

[6] H. Stefanie, N. Ajtai, C. Botezan, F. Toanca, Z., Torok, A. Ozunu, *Detection of a desert dust intrusion over Cluj-Napoca, Romania using an elastic backscatter LIDAR system,* ECOTERRA - Journal of Environmental Research and Protection, Cluj-Napoca, Romania (2015).

[7] H. Stefanie, L. Marmureanu, A. Dandocsi, C. Radu, S. Stefan, *Aerosol properties over Romania as seen by sunphotometer during 2014*, SGEM2015 Proceedings, Sofia, Bulgary (2015).

[8] N. Ajtai, H. Stefanie, L.C. Stoian, M.G. Oprea, *The volcanic ash and its impact on European air transport industry. A case study on the detection and impact of the the Eyjafjallajökull volcanic ash plume over North-Western Europe between.* AES Bioflux, Cluj-Napoca, Romania (2010).

[9]***AERONET, Aerosol Robotic NETwork, at: http://aeronet.gsfc.nasa.gov,(accessed in July 2018).

[10] H. Stefanie, N. Ajtai, A. Ozunu, *Long range transport of hazardous aerosol particles. Case study: Intrusions over Romania,* Bulletin of the Romanian Chemical Engineering Society, SICR, Bucharest, Romania, 2014.

[11] Stefan, S., Mihai, L.,Nicolae, D.,Boscornea, *Ångström turbidity in the lower layers of the troposphere*, EEMJ, Iasi, Romania (2011).

[12] Angstrom, A., *On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air*, Geografiska Annale, (1929)

[13]***NOAAView Data Exploration Tool, at: https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html, (accessed in July 2018).

[14] Levy, R., Hsu, C., et al,. *MODIS Atmosphere L2 Aerosol Product. NASA MODIS Adaptive Processing System*, Goddard Space Flight Center, USA, 2015.

[15] NOAA TECHNICAL REPORTS, *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Sensor Data Record (SDR) User's Guide*,, Washington DC, USA, 2014.

[16]***HYSPLIT at: https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/, ,(accessed in July 2018).

[17]*** NMMB/BSC-Dust model at: https://dust.aemet.es/ methods/ the-nmmb-bsc-dust-model (accessed in July 2018).

RĂSPUNSUL SEMNIFICATIV AL PARAMETRILOR DE REZISTENŢĂ PENTRU PĂMÂNTURI STABILIZATE ECOLOGIC

Dr. ing. Cornelia-Florentina DOBRESCU[1]

[1]Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare în Construcţii, Urbanism şi Dezvoltare Teritorială Durabilă "URBAN-INCERC, Bucureşti, România

REZUMAT. Adoptarea soluțiilor de stabilizare a pământurilor ce alcătuiesc atât terenul de fundare al construcțiilor, cât și straturile de bază, de formă și de fundație pentru sistemele rutiere, conduce la o îmbunătățire a caracteristicilor fizice-mecanice, asigurând condiții de rezistență, stabilitate și durabilitate a lucrărilor executate. Una dintre soluțiile eficiente de promovare de noi tehnologii și metode de execuție a lucrărilor de infrastructură o constituie implementarea pe scară largă a tehnologiei amestecurilor stabilizate cu produse ecologice (enzime si polienzime). Metodele de îmbunătățire a pământurilor prin stabilizare cu diferite tipuri de materiale se aleg în funcție de natura pământului și de modificările caracteristicilor ce se urmăresc a fi îmbunătățite, de grosimea stratului de pământ supus îmbunătățirii, cât și de echipamente utilizate la executarea lucrărilor Procedeele de îmbunătățire a pământurilor cu compuși ecologici au avut ca rezultat modificări cantitative și calitative, care conduc la schimbări în structura internă a pământului prin formarea de noi componenți ai structurii. Prezenta lucrare evidențiază beneficiile stabilizării pământurilor cu produse ecologice la realizarea straturilor din componența sistemelor rutiere precum și a straturilor de umplutură controlată. Aplicațiile experimentale bazate pe încercări de laborator au permis evaluarea caracteristicilor de performanță obținute după stabilizare în termeni de rezistență în funcție de procentele de amestec, timpul de întărire și de condiționarea probelor.

Cuvinte cheie: Enzime, Pământ stabilizat, Rezistență, Stabilitate.

ABSTRACT. By adopting the stabilization solutions of soils that represent both the ground foundation of building, as well as base layers, sub-grades and embankment of the road systems, the improvement of physical and mechanical properties is obtained, ensuring strength, stability and durability of the performed works. One of the efficient solutions to promote new technologies and execution methods for infrastructure works is based on the large scale implementation of the technology linked to stabilized mixtures using ecological products (enzymatic and polienzymatic). The soil improvement methods by stabilization with different types of materials are selected depending on the soil category and the changes in the characteristics to be improved, the thickness of the soil layer to be improved, but also the equipments used to carry out the works. The soil improvement procedures with ecological compounds have resulted in quantitative and qualitative adjustments, leading to changes in the internal structure of soil by forming new components in the structure. The present paper highlights the benefits of soil stabilization using ecological products for performing base layers of road systems, as well as controlled filling layers. The experimental applications based on laboratory testing have allowed the assessment of soil performance characteristics achieved after stabilization process, in terms of strength, depending on the mixtures proportions, curing time and conditioning samples.

Keywords: Enzymes, Stabilized soil, Strength, Stability.

1. INTRODUCERE

În contextul stiințific actual, procesul de îmbunătățire a caracteristicilor geotehnice prin compactarea pământurilor naturale și stabilizate prezintă o pondere tot mai mare în soluționarea fundării construcțiilor pe terenuri cu rezistențe mecanice reduse în proiectarea sistemelor rutiere sau a construcțiilor de pământ, cu un grad mare de siguranță în exploatare. Utilizarea diferitelor produse minerale, enzimatice, etc. pentru stabilizarea straturilor de umplutură controlată sau realizarea sistemelor rutiere mono și multistrat prezintă o aplicabilitatea largă. Cercetările științifice elaborate până în prezent pe plan național și internațional au evidențiat necesitatea evaluării comportării pământurilor stabilizate printr-o modelare parametrică a caracteristicilor de performanță cu rol decisiv în creșterea portanței straturilor prin încercări experimentale și analize statistice. Adoptarea soluțiilor de stabilizare a pământurilor ce alcatuiesc atat terenul de fundare al

construcțiilor, cât și straturile de bază, de formă și de fundație pentru sistemele rutiere conduce la o îmbunătățire a caracteristicilor fizice-mecanice, asigurând condiții de rezistență, stabilitate și durabilitate a lucrărilor executate. Una dintre soluțiile raționale de promovare de noi tehnologii și metode de execuție a lucrărilor de infrastructură o constituie implementarea pe scară largă a tehnologiei amestecurilor stabilizate cu produse ezimatice și poliezimatice. Aceste amestecuri stabilizate se folosesc cu succes la straturile de fundație din structurile rutiere rigide, dar și la straturile de baza și de fundație din alcătuirea structurilor rutiere semirigide. Metodele de îmbunătățire a pământurilor prin stabilizare cu diferite tipuri de materiale se alege în funcție de natura pământului și de modificarea urmărită a acestuia, de grosimea stratului de pământ supus îmbunătățirii, cât și de echipamente utilizate la executarea lucrărilor.

2. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE

Evaluarea caracteristicilor de rezistență a pământurilor stabilizate ecologic s-a stabilit un program experimental bazat pe încercări de laborator privind determinarea caracteristicilor fizico-mecanice pe probe de pământ în stare naturală şi stabilizata. Utilitatea obţinerii unei stabilizări eficiente prin efectuarea de încercări de laborator este relevată de faptul că acestea contribuie la evaluarea eficienţei stabilizării terenului în situ şi la obţinerea de noi informaţii privind alegerea cantităţilor optime de stabilizator. Probele de pământ natural supuse încercărilor au fost preparate în laborator prin compactarea pământului la umiditatea optimă, iar probele de pământ stabilizat au fost prelevate din teren de pe amplasamentul unor poligoane experimentale. În prezentul articol vor fi prezentate rezultatele încercărilor de laborator efectuate pentru determinarea rezistenţei la compresiune prin încercarea la compresiune monoaxială, pe probe de pământ natural şi stabilizat, netratate şi tratate termic. Epruvetele de pământ stabilizat netratate termic, prelevate din stuturile recoltate din amplasament, au fost menţinute în condiţii normale de laborator la temperatura de $+20^0$C până la vârsta de 7 zile, fiind ulterior supuse încercării la compresiune monoaxială. Epruvetele de pământ stabilizat tratate termic s-au prelevat din probe compactate la umiditatea optimă, fiind păstrate 48-72 ore în condiţii normale de laborator la temperatura de $+20^0$C înainte de a fi expuse la ciclurile de îngheţ-dezgheţ. Durata minimă a ciclurilor de îngheţ şi dezgheţ la care au fost supuse probele analizate a fost stabilită la 24 ore, respectiv durata maximă de 96 ore la temperatura de -100C în frigider de laborator Liebherr.

După fiecare perioadă de îngheţ şi dezgheţ, s-au realizat măsuratori privind variația parametrilor specifici probelor (masă, volum, densitate) cu scopul estimării modului în care ciclurile alternative de îngheţ-dezgheţ influențează comportarea pământurilor stabilizate, în special a parametrilor de rezistenă. Înregistrările măsuratorilor corespunzătoare pentru masa și densitatea probelor supuse la 3 cicluri de îngheţ-dezgheţ nu indică modificări ale înălțimii probelor. Comparativ cu masa inițială corespunzătoare tuturor probelor analizate, se observă o pierdere a masei de 1-4% pentru lotul 1 (stratul de bază), 1-2% pentru lotul 2 (stratul de bază), 4,67 pentru lotul 2 (pământ natural), respectiv 2-3% pentru lotul A/B după expunerea la ciclurile de îngheţ-dezgheţ. Cea mai mare pierdere de masă este în cazul pământului natural, netratat. Metoda utilizată a constat în aplicarea în mod continuu, asupra epruvetei de pământ, a unei încărcări axiale, uniform crescătoare, pentru a stabili rezistența la compresiune monoaxială și deformația axială specifică corespunzătoare atingerii rezistenței la compresiune monoaxială (figura 1). Viteza de deformare impusă a fost de 0,02 mm/min. În STAS 8942/6-75 este menționat faptul ca determinarea rezistenței la compresiune monoaxială se efectuează pe epruvete cilindrice cu păstrarea raportului egal cu aproximativ 2 intre înăltime (h) și diametru (d). Luând în considerare faptul ca epruvetele cilindrice prelevate nu au avut dimensiunile prevăzute, s-au aplicat factori de corecție standard a rezistenței, conform prevederilor din BS 1881, Part 120. Valorile rezistenței specifice la compresiune monoaxială obținute (tabel) pentru probele de pământ netratate termic (tabelul 1) și supuse ciclurilor de îngheț-dezgheț (tabelul 2) au fost corectate cu factorii corespunzători raportului h/d.

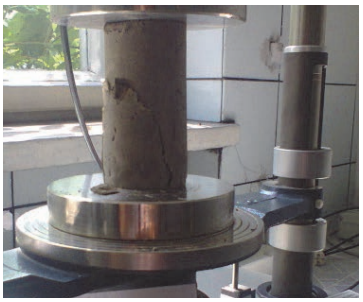


Fig. 1. Proba supusă încercării de compresiune monoaxială

Luând în considerare valorile caracteristicilor de rezistență obținute pentru probele martor și pentru probele supuse la cicluri de îngheţ-dezgheţ, se remarcă o creştere a rezistenţei la compresiune prin îngheţ-dezgheţ (figura 2), cu excepția probelor de pământ natural, unde se observă o scădere a rezistenţei, calculată cu relaţia:

$$\Delta R = \frac{R_{FT} - R_m}{R_{FT}} \cdot 100 \qquad (1)$$

unde: R_m - rezistenţa la compresiune a epruvetelor de pământ stabilizat netratat termic;

ΔR_{FT} - rezistenţa la compresiune a epruvetelor de pământ stabilizat supuse la îngheţ-dezgheţ.

Tabelul 1 – **Rezistenţa la compresiune monoaxială pe probe de pământ stabilizat netratat termic**

Cod probă	Rezistenţa la compresiune monoaxială necorectată (σ, kPa)	Raport h/d	Factor de corecţie (BS 1881, Part 120)	Rezistenţa la compresiune monoaxială corectată (σ, kPa)
Pământ stabilizat netratat termic				
LOT1-SB-P1	351	1,36	0,89	312
LOT1-SB-P2	302	1,36	0,89	269
LOT1-SB-P3	331	1,36	0,89	295
LOT1-S2-P1	290	0,90	1,41	261
LOT1-S2-P2	255	0,89	1,34	227
LOT1-S2-P3	282	0,89	1,33	250
LOT2-SB-P1	399	0,89	1,34	355
LOT2-SB-P2	419	0,88	1,27	367
LOT2-SB-P3	394	0,89	1,32	350
LOT2-PN	176	0,97	1,76	170
LOTA-SB-P1	411	0,86	1,20	353
LOTB-SB-P2	403	0,84	1,16	338

Tabelul 2 – **Rezistenţa la compresiune monoaxială pe probe de pământ supus ciclurilor de îngheţ-dezgheţ**

Cod probă	Rezistenţa la compresiune monoaxială necorectată (σ, kPa)	Raport h/d	Factor de corecţie (BS 1881, Part 120)	Rezistenţa la compresiune monoaxială corectată (σ, kPa)
Pamant stabilizat supus ciclurilor de îngheţ-dezgheţ				
LOT1-SB-P1-FT	635	0,87	1,26	552
LOT1-SB-P2-FT	606	0,86	1,20	521
LOT1-SB-P3-FT	617	0,85	1,18	524
LOT1-S2-P1-FT	565	0,90	1,40	508
LOT1-S2-P2-FT	579	0,88	1,30	509
LOT1-S2-P3-FT	536	0,86	1,22	461
LOT2-SB-P1-FT	819	0,88	1,30	720
LOT2-SB-P2-FT	773	0,88	1,28	676
LOT2-SB-P3-FT	795	0,87	1,24	692
LOT2-PN-FT	149	0,87	1,25	129
LOTA-SB-P1-FT	1616	0,87	1,26	1406
LOTB-SB-P2-FT	1443	0,87	1,24	1248

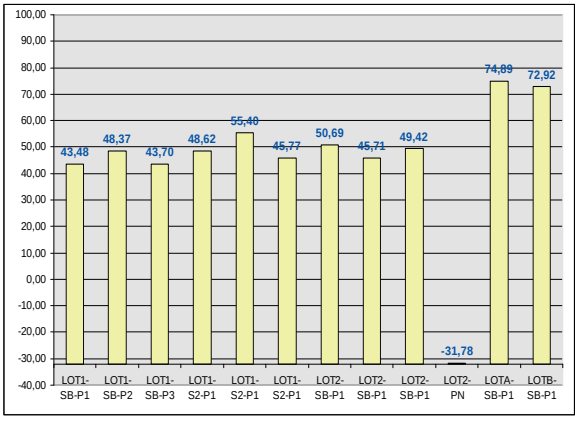


Fig. 2. Creşterile rezistenţei la compresiune pe probe martor şi probe supuse la cicluri de îngheţ-dezgheţ

3. CONCLUZII

Rezultatele obţinute în urma efectuării încercărilor experimentale indică o foarte bună comportare a pământurilor stabilizate ecologic la variaţii de temperatură, cicluri de îngheţ-dezgheţ, comparativ cu pământul natural.

Prin raportarea la epruvetele de pământ stabilizat expuse ciclurilor de îngheţ-dezgheţ, se observă o tendinţă pronunţată de creştere semnificativă şi uniforma de 43-55% a caracteristicilor de rezistenţă pentru probele recoltate din lotul 1 şi lotul 2, respectiv de 72-75% pentru cele corespunzătoare lotului A/B. Excepţie face proba de pământ natural, care manifestă o sensibilitate la îngheţ-dezgheţ prin scăderea rezistenţei cu aproximativ 32%. Se poate concluziona că pământurile stabilizate cu produse bioactive supuse ciclurilor succesive de îngheţ-dezgheţ prezintă o stabilitate ridicată, care se datorează agentului

bioactiv de stabilizare, care umple porii pământului cu o masa care gelifică şi se întăreşte în timp, obținându-se astfel creşterea rezistenţelor şi impermeabilizarea masivului de pământ tratat. Rezultatele obținute prezintă avantaje privind adoptarea soluțiilor de stabilizare pe baza de compuşi organici ecologici (enzime si polienzime) şi anume:

- creşterea capacităţii portante a straturilor stabilizate, în vederea asigurării rezistenţei şi siguranţei lucrărilor de infrastructura;
- reducerea costurilor de investiţie prin utilizarea unor materiale cu nivel de performanţă ridicat în lucrările de stabilizare a terenurilor de fundare, diminuarea duratei de execuţie a lucrărilor;
- protejarea şi conservarea mediului înconjurător prin utilizarea de materiale ecologice;
- corelarea conceptului "eco-ciclu" cu cel de "sustenabilitate" în domeniul construcţiilor, în special pentru infrastructuri.

BIBLIOGRAFIE

[1] Al -Tabbaa, A., Evans, W.C., Stabilization-Solidification Treatment and Remediation: Part I: Binders and Technologies-Basic Principal, Proceedings of the International Conference on Stabilization/Solidification Treatment and Remediation, pp. 367-385, Cambridge, UK: Balkerma, 2005.

[2] Andrei, S., Introductory remarks: Soil Stabilization, Proceedings of 8th ECSMFE, Helsinki, vol. 3, 1288 pp, 1983.

[3] Bejan, S., The roller-ground dynamic interaction in the compaction process through vibrations for road construction, Romanian Journal of Transport Infrastructure, Vol. 5, 2016, No. 2, 9p

[4] Bratu, P.P., Vasile, O., Spanu, G.C., The Analysis of Insulation Systems Based on Hooke-Voigt Kelvin Dynamic Rhelogical Model, Journal of Vibration Engineering & Technologies, Volume 5, , pp. 255-26, June 2017.

[5] Bratu, P., Dynamic parameters optimization for the vibrating siev with two granular material sizing units, working in resonance, Revista de Chimie, 2011, 62 (8), 832.

[6] Bratu, P., Căpăţână, G., The Linear Viscoelastic Behavior of the Asphalt Mixture to the Haversine Impulsive Dynamic Actions Specific in Road Traffic, RJAV, vol.VII Nr.1, pp.63-65, 2010.

[7] Debeleac, C., Nastac, S., On Non-linear Characteristics Evaluation of Vibratory Tool and Terrain Interaction for Embankment Works, PAMM, Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, Volume 12, Issue 1, pp. 605–606, 2012.

[8] Dobrescu, C.F., Study concerning bearing assessment of natural and stabilized soils using binders with ecological benefits based on parametric correlations, Romanian Journal of Materials, pp. 296 - 302, 2017.

[9] Dobrescu, C.F., Braguta, E., Optimization of vibro-compaction technological process considering rheological properties, Acoustics and Vibration and Mechanical Structures-AVMS -2017, Proceedings of the 14th AVMS Conference, Timisoara, Romania, May 25-26, pp. 287-294, Springer Proceedings in Physics 198, 2017.

MODELAREA REOLOGICĂ A COMPACTĂRII PĂMÂNTURILOR ÎN REGIMURI VIBRATORII CONTROLATE

Dr. ing. Cornelia-Florentina DOBRESCU[1]

[1]Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare în Construcţii, Urbanism şi Dezvoltare Teritorială Durabilă URBAN-INCERC, București, România

REZUMAT. Procesele de compactare influențează structura și proprietățile fizico-mecanice ale pământurilor argiloase ca efect al intensității și naturii solicitării exterioare, care determină apariția unor eforturi interioare normale și tangențiale, precum și umidității de compactare ce modifică manifestarea fenomenelor de suprafață. Adoptarea tehnologiei și stabilirea utilajului ce urmează a fi folosit se realizează pe baza unor încercări, în cadrul cărora pământul încorporat în piste special amenajate este supus unui ciclu de treceri a diferitelor utilaje compactoare. Lucrarea prezintă rezultatele experimentărilor 'in situ'' efectuate pe straturi de pământ stabilizat și compactat cu rulouri vibratoare de capacitate corespunzătoare în functie de tipul tipul lucrării. Modelul dinamic al compactorului vibrator în interacțiune cu pamantul stabilizat cu produse ecologice este reprezentat printr-o schematizare Voigt-Kelvin la care coeficientul de rigiditate este discret variabil in etape tehnologice ce corespund parametrilor discret variabili cum ar fi coeficientul lui Poisson și modulului de elasticitate volumică. În funcție de regimul de vibrare definit prin forța perturbatoare armonică, pulsația de excitație, în regim de compactare, cât si de coeficientul de rigiditate au fost analizate performanțele dinamice determinante. Astfel, au fost trasate curbele de variație ale amplitudinii deplasării compactorului în regim de vibrare controlat, a fost evaluată și reprezentată variația forței transmise terenului, cât și energia disipată, pe baza componentei vâscoase, reprezentând un parametru semnificativ al energiei de compactare.

Cuvinte cheie: parametri tehnologici, vibro-compactare, comportament, modele reologice.

ABSTRACT. The compaction processes influence the structure and physical-mechanical properties of clayey soils as a result of the intensity and type of external stresses determining the appearance of normal and tangential internal stresses, along with compaction moisture, which modifies the occurrence of the surface phenomena. The technology adoption and setting of the equipment to be used are achieved on some tests, where the soil embedded in specially arranged fields is subjected to a cycle passes of different compaction equipments. The paper presents the results of "in situ" experiments carried out on soil layers, stabilized and compacted using vibratory rollers of the appropriate capacity depending on the work type. The dynamic model of the vibratory compactor in interaction with ecologically stabilized soil is represented by a Voigt-Kelvin scheme where the stiffness coefficient is discreetly variable in technological steps that correspond to the discretely variable parameters such as the Poisson's coefficient and the volume elasticity modulus. Depending on the vibration regime defined by the harmonic disturbing force, by the excitation pulse in the compaction mode, and the stiffness coefficient, the determinant dynamic performances were analyzed. Thus, the amplitude variation curves of movement of the compacter in the technological vibration regime were drawn, there was assessed and represented the variation of the force transmitted to the soil, as well as the dissipated energy, based on the viscous component, representing a significant parameter of the compaction energy.

Keywords: technological parameters, vibro-compaction, behavior, rheological models.

1. INTRODUCERE

Problematica compactării dinamice constituie una din direcțiile de cercetare actuale privind tehnologiile de stabilizare a pământurilor. Astfel, structurile rutiere, platformele exterioare clădirilor cu funcții definite cu solicitări de intensitate medie pot fi executate din pământ stabilizat cu diferite produse stabilizatoare. În aceste condiții, compactoarele vibratoare necesită dotări și echipări speciale pentru reglarea regimului de vibrare în scopul satisfacerii cerintelor parametrice modelării reologice specifice. Realizarea structurilor rutiere pe baza de pământuri stabilizate enzime și materiale de adaos natural este posibilă numai pe baza unui program de cercetare care să stabilească etapele tehnologice, resursele materiale tipul echipamentele de compactare prin vibrare. Finalitate cercetărilor trebuie să evidentieze rezultatele consistente, eficiente și reproductibile ale unei metode și tehnologii evaluate care sa ducă la mărirea rezis-

tenței și stabilității structurilor rutiere realizate. Pentru evaluarea cea mai exactă a efectului de compactare, prin creșterea densității solului prin scăderea porozitatii, este necesară corelarea parametrică compactoarelor vibratoare cu parametrii fizici și mecanici ai pământurilor.

2. STUDIUL PARAMETRIC AL PĂMÂNTURILOR STABLIZATE

2.1 Rigiditatea dinamică

Amestecul pământ-agregate minerale trebuie asigurat prin doza optimă de alimentare, în stare atomizată, cu enzime sau polienzime care să ocupe spațiile poroase. În acest caz, materialul procesat, sub formă de pământ stabilizat cu enzime, trebuie să aibă rețeaua poroasă cu conținut semnificativ de enzime pentru creșterea coeficientului Poisson și a rezistenței în procesul de gelivitate (înghet-dezgheț). Tinând seama de deformațiile elastice pentru structura rutieră pusă în operă la **compactarea statică**, rigiditatea poate fi stabilită cu relația :

$$k = C_z S \tag{1}$$

unde:

k - coefcientul de rigiditate în domeniul elastic;

C_z - coeficientul de contracție elastică uniformă, corespunzător ariei S a suprafeței dreptunghiulare de contact.

Coeficientul de contracție elastică uniformă, în regim static, se calculează astfel :

$$C_z = \alpha \frac{E_z}{\sqrt{S}} \frac{1}{1-\nu^2} \tag{2}$$

în care:

- α este coeficientul de formă al suprafeței dreptunghiulare de contact ($\alpha = 0{,}8 \div 1{,}2$);
- E_z – modulul de elasticitate longitudinală (monoaxial) al pământului
- ν - coeficientul lui Poisson

Coeficientul de rigiditate k, în regim static, pentru suprafața reala S, de formă dreptunghiulară (pata de contact), dintre ruloul compactorului și teren (stratul de pământ stabilizat) poate fi calculat cu relația :

$$k_s = \frac{\alpha E_z \sqrt{S}}{1-\nu^2} \tag{3}$$

În regim dinamic unidirecțional pe verticala, la acțiunea vibrațiilor dirijate pe direcție normală în raport cu suprafața de compactare, reacția elastică volumică a pământului deformat se exprimă prin modelul de elasticitate volumică E_v , astfel:

$$E_v = E_z \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \tag{4}$$

În acest caz, coeficientul de contracție uniformă, în regim dinamic $C_z{}^d$, poate fi scris sub forma:

$$C_z^d = \alpha \frac{E_z}{\sqrt{S}} \frac{1}{(1+\nu)(1-2\nu)} \tag{5}$$

Coeficientul de rigiditate dinamică al structurii rutiere din pământ stabilizat cu enzime, în regim de vibrații tehnologice, corespunzător procesului de compactare, rezultă sub forma:

$$k_z^d = \alpha E_z \sqrt{S} \frac{1}{(1+\nu)^2(1-2\nu)} \tag{6}$$

Se constată că parametrul k_z^d se mărește în raport cu creșterea mărimilor E_z , S cât și cu mărirea lui $\nu \in (0{,}1.....0{,}5)$.

2.2. Modulul de elasticitate longitudinală monoaxială centrică

Experimentările, în laborator, realizate pe probe cilindrice prelevate din stratul de pământ stabilizat și compactat. Probele sunt supuse unor solicitări cvasistatice de comprimare monoaxială centrică la viteze de deformație controlate, potrivit documentelor normative de specialitate. În acest mod, se determină modulul elastic axial E_z , după cum urmează:

$$E_z = \frac{4}{\pi} \frac{F_z}{d^2 - d_0^2} \frac{h_0}{\Delta h} \tag{7}$$

în care:

F_z - forța axială aplicată centric;

d_0 - diametrul inițial al probei necomprimate;

h_0 – înălțimea inițială a probei necomprimate;

d - diametrul final al secțiunii transversale mediane după comprimare;

h - înăltimea finală a probei, după comprimare;

Δh - variația înălțimii (tasarea) probei sub forța de compresiune astfel încât $\Delta h = h - h_0 < 0$.

Astfel, pe baza unui număr suficient de probe prelevate din stratul de pământ stabilizat cu enzime și compactat dinamic prin vibrare, s-au determinat valorile modulului E_z. În funcție de cantitatea masică de enzime, raportată la 100 kg de pământ frezat, amestecat, compactat, adică la doza procentuală e, % si continutul de argila a, % din masa totala, s-au obținut valorile modulului de elasticitate longitudinală E_z prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 **– Valorile modulului de elasticitate E_z (Mpa)**

e, %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
a = 20%	5,81	6,50	7,80	8,78	9,15	10,21
a = 45%	37,10	41,60	50,00	56,19	58,56	65,34

2.3 Coeficientul lui Poisson

În cazul compresiunii monoaxiale pe direcția verticală cu forța F_z , procesul de deformare axială caracterizat prin deformația specifică $\varepsilon_z = \frac{h - h_0}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$ este însoțit de deformația transversală din planul median, exprimată prin $\varepsilon_x = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$ astfel încât $\varepsilon_x = \nu \varepsilon_z$.

Ca urmare, coeficientul lui Poisson ν poate fi determinat cu relația:

$$\nu = \frac{h_0}{d_0}\frac{\Delta d}{|\Delta h|} \quad (8)$$

Rezultatele experimentale au evidențiat valori ale lui ν cuprinse între 0,40 si 0,485 pentru cele 100 de probe prelevate "in situ" pentru valori parametrice specificate ale dozajelor de argila și enzime precizate în tabelul 1.

2.4. Amortizarea vâscoasă a pământurilor stabilizate cu enzime

Coeficientul de vâscozitate c specific forței vâscoase liniare proporționale cu viteza de deformare a terenului, în timpul procesului de compactare prin vibrare determina fracțiunea din amortizarea critică ζ, astfel:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (9)$$

unde: m este masa vibratoare a compactorului.

Relația (9) permite calculul amortizării pentru variația discretă a rigidității k după fiecare trecere a ruloului vibrator.

2.5. Mărimi parametrice ale sistemului compactor vibrator - pământ stabilizat

Se prezintă valorile mărimilor fizice și mecanice ce definesc modelul reologic de calcul Voigt-Kelvin (figura 1) pentru analiza dinamică a procesului de compactare. Astfel, pentru forța perturbatoare $F(t) = m_0 r\omega^2$, momentul static $m_0 r = 5\text{Kgm}$ si $\omega = (0...500)$rad/s asigură nivelul de compactare dinamică pentru un amestec de pământ stabilizat cu procentul de argil de 45 % si dozaj de enzime de 3 %. În acest caz parametri de calcul pentru studiul de caz sunt prezentați în tabelul 2.

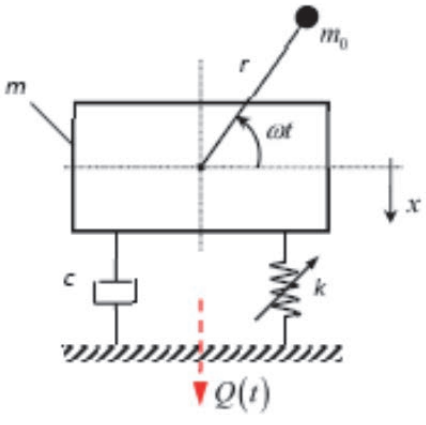


Fig. 1. Modelul dinamic de calcul

Tabelul 2 – **Valori parametrice experimentale**

Nr. crt.	Simbolul parametrului	Valorile experimentale			
1	ν, %	0,400	0,450	0,455	0,485
2	E_z, MPa	50	50	50	50
3	S, m^2	0,75	0,75	0,75	0,75
4	$k_Z = 10^8$N/m	1	2	4	6
5	ζ, %	25,0	17,0	12,5	10,8
6	$c = 10^5$Ns/m	5,09	5,00	5,09	5,10
7	m, 10^3kg	10	10	10	10

3. FAMILII DE CURBE CARACTERISTICE PROCESULUI DINAMIC DE COMPACTARE

Pe baza datelor din tabelul 2 și a relațiilor de calcul au fost trasate familiile de curbe parametrizate prin variația discretă a rigidității dinamice în concordanță cu variația discretă a coeficientului lui Poisson pentru cele patru valori.

În figura 2 se prezintă familia de curbe ale amplitudinii în funcție de variația continuă a perturbației și variația discretă a rigidității.

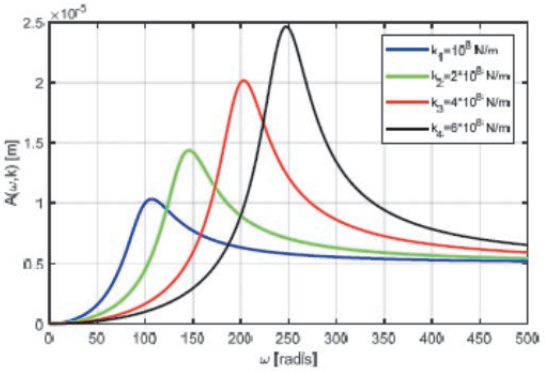


Fig. 2. Variația amplitudinii în raport cu ω și k.

În figura 3 sunt prezentate curbele de variație ale forței maxime Q_0 transmise stratului de pământ stabilizat.

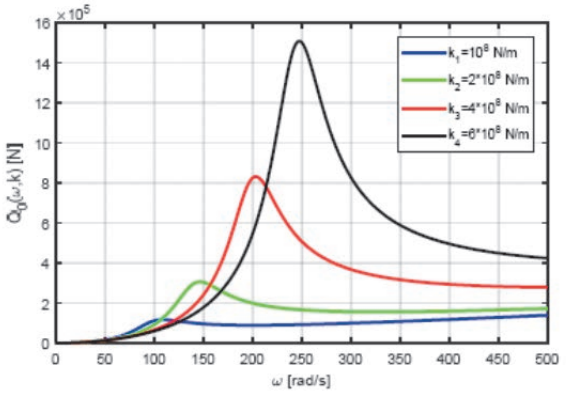


Fig. 3. Variația forței maxime transmise în raport cu ω și k.

Curbele de variație ale energiei disipate sunt prezentate în figura 4.

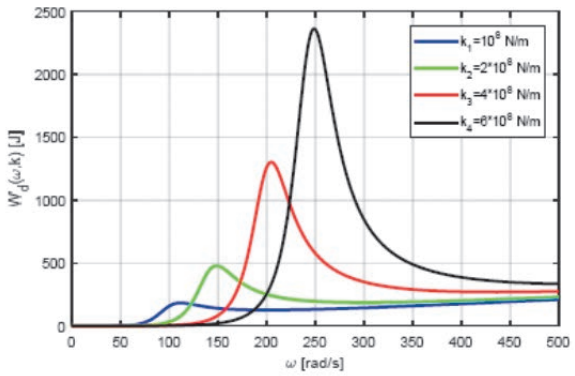


Fig. 4. Variația energiei disipate în raport cu ω și k

4. CONCLUZII

Stabilizarea pământurilor cu enzime se constituie sub forma unei metode eficiente pentru realizarea structurilor rutiere prin prelucrarea "in situ" a pământurilor locale, îmbunătățite cu agregate minerale și tratate cu stabilizatori ecologici în condiții determinate ale câmpului de vibrații aplicate la compactare. Experimentările au constat în incercări pe probe de pământ natural și pe probe prelevate din straturile de pamant stabilizat. De asemenea, încercările dinamice din teren au permis determinarea modulelor elastice și a rigidităților.

Pe baza rezultatelor analitice și experimentale pot fi sintetizate următoarele concluzii:

- stabilizatorii enzimatici în amestec atomizat și omogen cu pământul natural determină modificarea semnificativă a rezistenței, modulului elastic volumic, a coeficientului Poisson și a rigidității pământului compactat;

- prezența stabilizatorului cu enzime în structura poroasă a pământurilor duce la creșteri semnificative ale modului de elasticitate volumic și implicit a rezistenței mecanice;

- performanțele dinamice specifice compactării prin vibrare au fost evaluate prin amplitudinea mișcării, forță maximă transmisă și energia de disipare;

- analiza corelativă a parametrilor dinamici permite o evaluare consistentă a eficienței regimului de vibrare pentru care energia disipată sa fie maximă în concordanță cu mărirea gradului de compacatare.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bratu, P.P., Vasile, O., and Spanu, G.C., *The Analysis of Insulation Systems Based on Hooke-Voigt Kelvin Dynamic Rhelogical Model*, Journal of Vibration Engineering & Technologies, Volume 5, pp. 255-26, June 2017.

[2] Bratu, P., *Dynamic parameters optimization for the vibrating siev with two granular material sizing units, working in resonance*, Revista de Chimie, 2011, 62 (8), 832.

[3] Dobrescu, C.F., *Study concerning bearing assessment of natural and stabilized soils using binders with ecological benefits based on parametric correlations*, Romanian Journal of Materials, pp. 296 - 302, 2017.

[4] Dobrescu, C.F., Braguta, E., *Optimization of vibro-compaction technological process considering rheological properties*, *Acoustics and Vibration and Mechanical Structures-AVMS*, Proceedings of the 14th AVMS Conference, Timisoara, Romania, May 25-26, pp. 287-294, Springer Proceedings in Physics 198, 2017.

[5] Dobrescu C. F., *The rheological behaviour of stabilized bioactive soils during the vibration compaction process for road structures*, în: International Institute of Acoustics and Vibration, Acoustical Society of Italy, National Research Council of Italy, University of Florence (Editori), Book of abstracts of The 22nd ICSV22, Florence, Italy, 470 pag., ISBN 978-88-88942-49-0, pag. 278, 2015

[6] Lewandowski, R.,.Chorążyczewski, B., *Identification of the parameters of the Kelvin–Voigt and the Maxwell fractional models, used to modeling of viscoelastic dampers Computers & Structures*, Volume 88, Issues 1–2, January 2010, Pages 1-17..

[7] Pintoiu, P., Bordos, R., Braguta, E., *Vibration Effects in the Process of Dynamic Compaction of Fresh Concrete and Stabilizad Earth*, Journal of Vibration Engineering & Technologies, Volume 5, pp. 255-26, June 2017.

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secțiunea V

„ PETROL ȘI GAZE “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Mihail Minescu
- Acad. Ion Bostan
- Prof. dr. ing. Avram Lazăr
- Prof. dr. ing. Valeriu Dulgheru

V.01. *Napoleon Antonescu, Mihail Minescu, Marius Stan,* **Studiul cauzelor principalelor opriri necontrolate la sistemul top drive în timpul forajului cu propunerea planului de mentenanță** 123

V.02. *Lazăr Avram,* **Forarea sondelor cu diametre mari între uitare și speranță** 129

V.03. *Napoleon Antonescu, Marius Stan, Lazar Avram,* **Siguranță și mediu în producția offshore a petrolului și a gazului** 132

V.04. *Sorin Alexandru Avram,* **Elemente de optimizare a procesului de uscare a gazelor naturale, în cadrul sistemului de înmagazinare subterană** 137

V.05. *Ion Bostan, Valeriu Dulgheru, Maxim Vaculenco, Iulian Malcoci,* **Transmisii planetare precesionale în echipamente pentru extragerea țițeiului și conducte magistrale pentru trasportarea gazelor** 140

V.0.6. *Sebastian Tudor, Georgiana Marin, Cristinel Balan, Georgeta Stoianovici, Cristinel Bălan,* **Principiul de foraj în tufă pentru instalații staționare cu deplasare în pași** 145

V.07. *Dan Radacina, Napoleon Antonescu, Lazar Avram,* **Elemente de optimizare a programului de inspectie al garniturii de foraj** 154

STUDIUL CAUZELOR PRINCIPALELOR OPRIRI NECONTROLATE LA SISTEMUL TOP DRIVE IN TIMPUL FORAJULUI CU PROPUNEREA PLANULUI DE MENTENANȚĂ

Prof. univ. dr. ing. DHC Napoleon ANTONESCU[1], Prof. univ. dr. ing. Mihail MINESCU[2], Conf. univ. dr. ing. Marius STAN[3]

[1,2,3] *Universitatea Petrol-Gaze, Ploiesti, Romania*

REZUMAT. În această lucrare prezentăm o analiză a conceptelor teoretice privind studiul cauzelor principalelor opriri necontrolate ale procesului tehno;ogic. Platformele petroliere cu sistem de acționare top drive pentru foraj destinate lucrarilor on/off-shore de foraj sunt structurate în funcție de acționarile utilizate. Folosirea lor se concentreaza pe gasirea de noi modalitați de consolidare a căilor de reducere a consumului de energie si cresterea performanțelor de fiabilitate si de reducere a riscurilor tehnice care pot apărea în timpul funcționarii. Optimizarea structurii depinde de metoda de foraj in legatura cu sistemele de operare care îndeplinesc funcțiile necesare pentru procesul tehnologic.

Cuvinte cheie: sistemul top drive, optimizare, mentenanta

ABSTRACT. In this paper we present an analysis of the theoretical concepts regarding the study of the causes of the main uncontrolled stops of the technological process. Petroleum Drilling Drilling Platforms for on / off-shore drilling operations are structured according to the shareholders used. Their use focuses on finding new ways to strengthen ways to reduce energy consumption and increase reliability and reduce the technical risks that may arise during operation. Optimization of the structure depends on the drilling method in relation to the operating systems that fulfill the necessary functions for the technological process.

Keywords: top drive system, optimization, maintenance

1. INTRODUCERE

Platformele petroliere cu sistem de acționare top drive pentru foraj destinate lucrarilor on/off-shore de foraj sunt structurate în funcție de acționarile utilizate. Folosirea lor se concentreaza pe gasirea de noi modalitați de consolidare a căilor de reducere a consumului de energie si cresterea performanțelor de fiabilitate si de reducere a riscurilor tehnice care pot apărea în timpul funcționarii.

Optimizarea structurii depinde de metoda de foraj in legatura cu sistemele de operare care îndeplinesc funcțiile necesare pentru procesul ehnologic.

Manevrarea garniturii de foraj reprezintă o operație complex în desfasurarea căreia intră multe operații auxiliare necesare atât la operația de extragerecât si la operația de introducere a sarcinii.

Operația de extragere a garniturii de foraj constă în descompunerea ei în pasi de o anumită lungime si depozitarea lor în stivă.

Deși operațiile de extragere a garniturii de foraj, la fel ca cele de introducere, ocupă un procent însemnat din timpul total de manevră, deci de funcționare a instalației de foraj, ele sunt în sine operații neproductive si timpul in care se desfasoara o astfel de operație se numeste timp auxiliar(TA).

De aici rezultă dezideratul major, care a condus la apariția instalațiilor de foraj si intervenție moderne, ca timpul auxiliar să fie minim, dacă este posibil chiar zero, ceea ce înseamnă ca viteza de manevră să aibă în permanent valoarea maximă posibilă dictată de procesul tehnologic deservit si capacitatea de rezistență a structurii de rezistență a instalației.

2. STABILIREA RELATIEI GENERALE PENTRU TIMPUL TOTAL DE MANEVRA A MATERIALULUI TUBULAR IN SONDA

Pornind de la relația generală a timpului total de manevrã (Tm) (exemplu extragerea garniturii de foraj de la adâncimea H), (1), putem spune ca:

$$T_m = \frac{H}{V_r} + \frac{H}{l_p}\left(\frac{t_1+t_3}{2} + t_4\right) \quad (1)$$

Tm - estetimpul total de manevră la extragere;
H – adâncimea maximă;
Vr – viteza cârligului înperioada regimului stabilizat;
t1 – durata regimului tranzitoriu la pornire;
t3 – durata regimuluit ranzitoriu la oprire;
t4 – durata operatiilor auxiliare (în text este notat TA);
lp – lungimea unui pas.

Pentru lungimea optimă a pasului lp, rezultată dintr-un calcul tehnico-economic, care uzual are valoarea lpo = 27 *m*, valoarea minimă a timpului total de manevră se obtine pentru timpul auxiliar minim. În mod asemănător, studiuluivariatiei puterii (Pm) consumată la manevră si a vitezei cârligului în perioadaregimului stabilizat Vr, conduc la concluzii similare cu privire la valoarea pe care trebuie să o aibă timpul auxiliar.

Într-o abordare unitară se desprinde ca o concluzie de important deosebită faptul că timpul total de manevră Tm este minim atunci când timpul auxiliary este minim (dacă este posibil chiar zero). Aceastã conditie corelată cu influentele lp, P, Vr arată că este posibil ca o instalatie destinată forajului să realizeze operatii de manevrã, eficiente, cu lungimi mici de pas, la puteri ale sistemului de manevră relative mici, iar manevrarea sarcinii să fie făcută cu viteze de valori scăzute.

Dezvoltarea unor metode de foraj neconventionale, la care conducerea proceselor de lucru este făcută cu ajutorul calculatorului de proces, utilizând ca variant structura descrisă anterior, cu elementulsău de important maximă (SG) ,Figura 1.

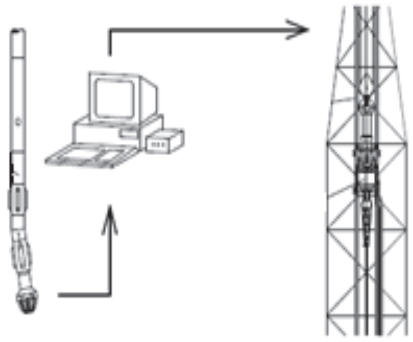


Fig. 1. Instalaţie de foraj cu structură de ghidare. automatizată, destinată forajului dirijat cu TOP DRIVE.

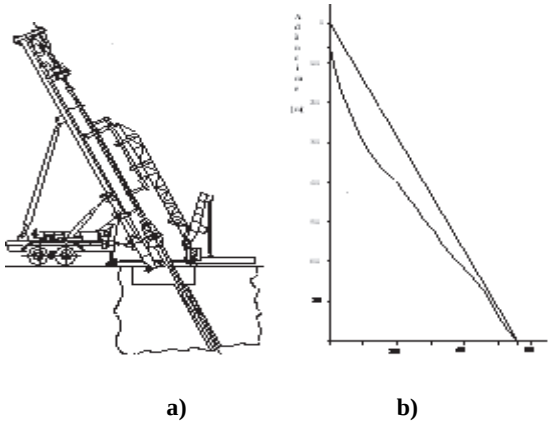
Evoluţia permanentă a sistemelor *top drive* (capul hidraulic motor este montat pe o platformă mobilă care rulează pe structura de ghidare) a condus la o varietate de soluţii tehnice, bazate pe programe de analiză economică. Firma *SASKOIL* (Canada), arată că, folosind un astfel de sistem ataşat unei instalaţii de foraj convenţionale costurile totale de construcţie a unei sonde se reduce cu 10% prin reducerea timpului auxiliar şi creşterea siguranţei în exploatare pentru lucrul cu viteze de manevră stabile la gura sondei indiferent de condiţiile climaterice.

În concluzie, sistemul *top drive* va fi folosit în forajul direcţional şi forajul superadânc, iar în ceea ce priveşte costul unui metru forat folosind acest sistem, acesta va scădea.

Avantajele folosirii sistemului *top drive* sunt deja stabilite, singura observaţie fiind aceea că sistemul amintit a fost preluat într-un timp foarte scurt de firme de prestigiu pe plan mondial specializate în construcţia utilajului petrolier, iar deschiderea obiectivelor de proiectare vizează in egală măsură problemele legate de creşterea fiabilităţii instalaţiilor şi găsirea unor metode de proiectare in vederea asigurării la risc tehnic .

Firma americană *NATIONAL OILWELL* din Huston a livrat firmei *ARABIAN GULF EMIRATE* din Abu Dhabi mai multe tipuri de instalaţii printre care şi o instalaţie cu structură de ghidare, capabilă să sape până la adâncimea maximă de 8000 m ; iată deci un exemplu de instalaţie care conform cerinţelor enumerate anterior, a fost destinată săpării unor sonde de mare adâncime in condiţii de deşert.

Metoda convenţională de foraj (prin deviere) măreşte lungimea măsurată a sondei, pentru că ea nu urmăreşte cea mai scurtă distantă dintre două puncte: o linie dreaptă. Lungimea suplimentară plus necesitatea utilizării unui echipament specializat conduc la costuri mai mari pentru realizarea forajului. Prin comparaţie, forajul înclinat, reuşeşte cea mai scurtă distantă de foraj prin faptul că permite sondei să fie forată la un unghi (de obicei de maxim 45º) orientat direct spre ţintă (fig. 1.3,*b*).



a) **b)**

Fig. 2. Analiza comparativă a deplasării orizontale a sapei între forajul dirijat şi cel înclinat:
a) schema de principiu a unei instalaţii de foraj înclinat
b) diagramele de comparaţie a lungimii traictoriilor.

Cu o instalaţie de foraj corespunzătoare, sonda poate fi forată direct spre ţintă (fig.2).

Pentru forajul înclinat, în literatura de specialitate, se utilizează şi denumirea de *foraj cu turlă înclinată*.

Utilizarea tehnologiei de foraj înclinat va necesita un număr mărit de instalaţii de foraj capabile să opereze fie în regim vertical, fie înclinat, prevăzute cu structură de ghidare.

Tehnologia forării sondelor înclinate s-a aplicat foarte mult în zonele cu ţiţei greu, la mică adâncime.

În cele ce urmează se dau 3 exemple de programe de forare pe uscat:

– foraj pentru ţiţei greu în Alberta;

– foraj pentru gaze în Alberta;

– foraj pentru subtraversarea unui curs de apă cu o conductă de gaze în Columbia Britanică.

Un proiect de foraj cu gaura înclinată a fost elaborat pentru forarea a 23 de sonde dintr-o baterie de lângă Walf Lake, din sectorul nordic al Albertei.

Această zonă din Canada are unul dintre cele mai bogate depozite de ţiţei greu din lume.

Programul a necesitat 10 sonde înclinate, din care 6 sonde au fost forate la 30º; două la 29º; una la 27º şi una la 26º. Celelalte 13 sonde rămase au fost începute la verticală şi continuate cu sonde convenţionale de foraj deviat. Un al doilea proiect de forare a unei sonde înclinate a implicat o sondă de gaze de mică adâncime, forată pentru *Grand Prix Natural Gas Ltd* lângă orasul Brook din Alberta de Sud. În afara practicilor convenţionale de foraj în domeniul petrolului, tehnologia de foraj înclinat a fost folosită pentru forarea unei subtraversări a unui râu. Pentru primele două exemple de proiecte, operatorul *Sierra* a utilizat instalaţii de tipul Failing FS-5000 cu capacitatea de forare de până la 1700 *m*. Aceste instalaţii sunt montate pe trailere şi echipate cu sisteme de manevră neconvenţionale şi structuri de ghidare.

Fig. 3. Sistemul TOP DRIVE

3. PRINCIPALA PROBLEMĂ TEHNOLOGICĂ, IDENTIFICARE, EVALUARE ŞI SOLUŢII

Este ştiut faptul timpul de foraj reprezintă principala componentă ce se raportează la costurile de foraj şi este determinant ca timpul auxiliar să fie minim, dacă este posibil chiar zero, ceea ce înseamnă ca viteza de manevră să aibă în permanenţă valoarea maximă posibilă dictată de procesul tehnologic deservit si capacitatea de rezistentă a structurii de rezistenţă a instalaţiei.

O altă cauză poate fi jocul din rulmenţi; se impune o verificare conform prescripţiilor tehnice in accord cu stanardele API, pentru a preîntampina oprirea necontrolată.

Deasemeni ascuţirea muchiilor şinelor de la sistemul de ghidaj poate opri sistemul deoarece va antrena particule metalice intre patină si şină.

Schimbarea centrului de greutate al sistemului de contrabalansare fata de axa sistemului de antrenare.

Rotirea sistemului de manipulare a prajinilor atunci cand este inclinat, va duce la defectarea sistemului de prindere a prajinilor, avânda ca unica solutie inlocuirea acestuia deoarece recondiţionarea se poate face numai in ateliere speciale.

Organele de asamblare ale sistemului TOP DRIVE au drept scop asamblarea componentelor ce compun întreg sistemul, să asigure o etanşeitate corespunzătoare parametrilor de proiectare a sistemului şi nu in ultimul rând sa poata facilita accesul la oricare subansamblu al sistemului prin demontarea acestora, astfel încat sa se poată interveni în caz de avarie sau de mentenanţă.

Organele de asamblare destinate asamblării componentelor TOP DRIVE sunt produse conform normelor ASME si ASTM. Datorită forţelor ce acţionează asupra sistemului TOP DRIVE in timpul forajului si a conditiilor de mediu care influenţează rezistenţa acestor organe de asamblare, acestea cedează creând o oprire necontrolată.

Ruperea prin oboseală se produce progresiv sub acţiunea unor solicitări variabile, chiar dacă tensiunea de întindere sau compresiune este mai mică decât limita de elasticitate a materialului. Tensiunile locale pot fi mai mari decât limita de curgere a materialului datorită concentrării tensiunilor in jurul incluziunilor sau microfisurilor. În acest caz deformaţiile plastice apar la nivel microstructural. Ruperea prin oboseală este conditionata de trei factori:

- tensiunea de întindere;
- deformaţiile plastice;
- solicitări ciclice sau variabile.

Deformaţiile plastice apar la nivelul cristalelor prin lunecări de pachete de atomi. La solicitări alternante, dacă lunecările sunt limitate si materialele se ecruisează local suficient, lunecarea poate fi oprită, in sens contrar lunecarile din zonele cele mai solicitate progresează, se transformă in una sau mai multe fisuri vizibile cu ochiul liber, care se maresc, reduc continuu secţiunea până când aceasta devine insuficientă pentru a rezista fortelor aplicate, producându-se ruperea organului de asamblare in cazul prezentat.

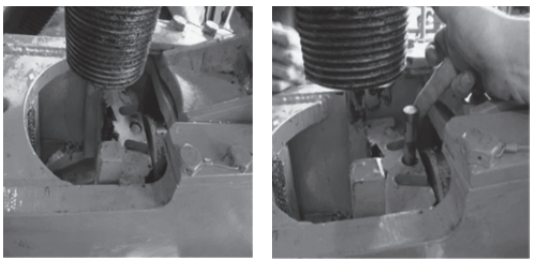


Fig. 4. Cedarea unui bolţ de la capul TOP DRIVE

Formularea aplicatiei

Valorile experimentale, consemnate în tabela 1, sunt prezentate în ordine crescătoare (şir statistic), astfel că pot fi identificate cele douăvalori extreme:

$$x_{min}=1.096\text{ore};\ x_{max}=2.873\text{ ore.} \qquad [2]$$

*Tabelul 1.***Timpul de bună funcţionare pentru TOP DRIVE**

Nr. clasă j	Valoare centrală xj [ore]	Limitele clasei xj,inf [ore]	Limitele clasei xj,sup [ore]	Frecvenţa clase		Frecvenţa cumulată, Fj	
				Absolută nj[buc.]	Relativă fj [-]	Absolută [buc.]	Relativă [-]
1	1,146	1,066	1,226	2	0.045	2	0.045
2	1,282	1,202	1,362	2	0.045	4	0.091
3	1,508	1,428	1,588	3	0.068	7	0.159
4	1,561	1,481	1,641	4	0.091	11	0.250
5	1,825	1,745	1,905	7	0.159	18	0.409
6	2,063	1,983	2,143	9	0.205	27	0.614
7	2,207	2,127	2,287	6	0.136	33	0.750
8	2,389	2,309	2,469	5	0.114	38	0.864
9	2,606	2,526	2,686	3	0.068	41	0.932
10	2,750	2,670	2,830	2	0.045	43	0.977
11	2,873	2,793	2,953	1	0.023	44	1.000
Σ	-	-	-	44	1.000	-	-

*Tabelul 2.T***abelul frecvenţelor**

i	x_i (ore)	i	x_i (ore)	i	x_i (ore)	i	x_i (ore)
1	1,096	12	1,736	23	2,047	34	2,305
2	1,196	13	1,801	24	2,084	35	2,368
3	1,268	14	1,827	25	2,118	36	2,402
4	1,296	15	1,833	26	2,133	37	2,418
5	1,474	16	1,836	27	2,139	38	2,454
6	1,486	17	1,854	28	2,148	39	2,534
7	1,563	18	1,890	29	2,194	40	2,607
8	1,566	19	1,986	30	2,214	41	2,676
9	1,540	20	2,005	31	2,214	42	2,704
10	1,565	21	2,010	32	2,227	43	2,796
11	1,572	22	2,041	33	2,244	44	2,873

Amplitudinea şirului R rezultă imediat,

$$R=x_{max}-x_{min}=2.873-1.096=1.777 \text{ ore} \quad [3]$$

Pentru calculul mărimilor statistice este utilă, de multe ori, gruparea datelor pe clase (intervale). Numărul claselor k se recomandă să fie între 13 şi 20. În cazul în care numărul datelor este inferior lui 250, este suficientă împărţirea în 10 clase.

În continuare, se urmărește gruparea datelor pe k intervale sau clase.

Ţinând cont de recomandările privitoare la stabilirea numărului de clase, s-a adoptat o valoare medie, adică k = 11 clase.

Pentru fiecare clasă se stabilesc:

Amplitudinea comună a claselor (a),

$$a\cong R/k=((x_{max}-x_{min}))/k=1.777/11\cong 160 \quad [4]$$

Valorile centrale xj ale claselor, pornind de la alegerea valorii centrale a primei clase la o distanţă mai mică decât jumătate din amplitudinea clasei faţă de x_{min}, după care se respectă relaţia $x_{j+1}= x_{j+a}$

$$x_1=1132;\ x_j=1\ ;\ x_j=160\ ;\ j= 1,2,...,10; \quad [5]$$

Valorile limită ale claselor sunt calculate, respectiv, cu expresiile

$$x_{j-a/2},\ x_{j+a/2},\ j=1,2...10 \quad [6]$$

Toate valorile centrale x_j şi valorile limită ale claselor sunt prezentate în tabelul 2.

Histograma frecvenţelor este o reprezentare echivalentă poligonului frecvenţelor, cu deosebirea că sunt reprezentate dreptunghiuri, cu baza egală cu amplitudinea claselor (a) şi înălţimea proporţională cu frecvenţa claselor, absolută sau relativă (figura 5).

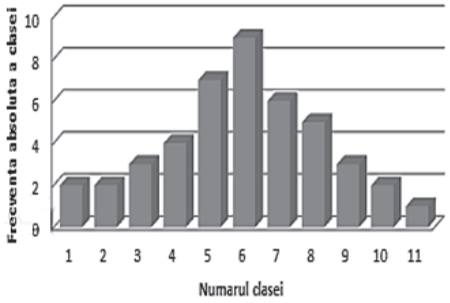


Fig. 5. Histograma frecvenţelor

Dintre reprezentările grafice, realizată pe baza datelor din tabela frecvenţelor, in figura 5. este prezentată histograma frecvenţelor. Ea arată că repartiţia empirică este o repartiţie cu un singur maxim şi că ea are o asimetrie redusă. În acest sens vom analiza fiecare subsistem al sistemului TOP DRIVE în

vederea stabilirii ratelor de defectare ale acestora pentru a putea stabili un plan de mentenanță astfel încât sa evitam opririle necontrolate din timpul fucționarii.

Se analizeazaa cele 4 componente ale sistemului top drive urmărindu-se daca se respectă Legea normală (Gauss – Laplace) de repartitie a variabilrlor. În acest sens stabilim dacă datele colectate sunt corecte sau dacă în sistem a intervenit alți factori care să influențeze defectarea sistemului TOP DRIVE.

Odată stabilită corectitudinea datelor și a calculelor se va trece la elaborarea planului de mentenanță si implicit a planului de implementare a acestuia.

4. MENTENANȚA UTILAJULUI TOP DRIVE. STRATEGIA DE MENTENANȚĂ

O analiză a activității de mentenanță se realizează mai bine luând în considerare două forme de gestiune (conducere): una pe termen scurt (de obicei anuală), pe care o numim politică de mentenanță, și alta, pe termen lung, care acoperă toată perioada de exploatare prevăzută a utilajului, pe care o vom numi strategie de mentenanță. În cele ce urmează ne vom opri, în special, asupra politicii de mentenanță.

Activitățile de mentenanță pot fi grupate pe mai multe componente. Imperfecțiunile și defectările inevitabile ale echipamentelor de producție necesită, înainte de toate, o intervenție cu caracter tehnic, fapt pentru care ea constituie o componentă primară.

Intervențiile tehnice de mentenanță se compun, obișnuit, din lucrări numeroase și variate, în natura, în forma lor și în timp. Execuția corectă și oportună a acestor lucrări, în instalații de o oarecare importanță, ridică problema organizării, astfel că organizarea constituie a doua componentă esențială a mentenanței.

Acțiunile de mentenanță, oricare ar fi calitatea lor intrinsecă, nu își ating pe deplin scopul dacă nu sunt strict organizate, cu atât mai mult cu cât ele sunt extrem de variate.

Publicațiile specializate propun modele de organizare care, chiar dacă sunt foarte elaborate, trebuie considerate cu rezervă, dat fiind modalitățile foarte dificile de aplicare în practică.

Principiile generale cele mai importante ale organizării sunt următoarele:

- definirea organigramei;
- administrarea operațiilor;
- organizarea atelierelor;
- planificarea studiilor și a lucrărilor

Pentru operativitate în planul de mentenanță este foarte importantă disponibilitatea în stoc a pieselor de schimb la momentul începeri operațiunilor de mentenanța la sistemul TOP DRIVE.

Uzual, termenul de livrare pentru piesele de schimb este in medie de 30 de zile.

Având în vedere verificarea săptămânală impusă de producator prin Raportul de Produs emis de către CANRIG DRILLING TECHNOLOGY LTD [2] și bazându-ne pe calcule prin care s-a stabilit mentenanța la dată fixă se impune un stoc minim necesar care să acopere perioada dintre două aprovizionări și anume de 30 de zile.

Urmând ciclul PDCA, va trebui să planificăm proiectul de îmbunătățire, iar ca primă etapă trebuie să identificam persoanele interesate.

Lista potențială cu măsurători trebuie împărțită în categorii pentru a te asigura că oferă o imagine balansată a proiectului. De exemplu, nu vrei să sfârșești cu un singur set de măsurători financiare, chiar dacă ar fi cel mai usor de obținut. În general, căutăm măsurători care oferă informații în zone ca:

- Cost
- Efort
- Durată
- Productivitate
- Calitatea materialelor
- Performanta echipei proiectului

Poate fi utilizat ca instrument de ghidare pe întreg parcursul proiectului de îmbunatatire sau pentru dezvoltarea unor proiecte specifice atunci când s-au identificat ariile ce necesita îmbunătățiri urmatoarea strategie:

Plan – *Planifică*
Stabilește obiective
Stabilește metodele necesare
Do – *Execută*
Educă și pregăteste
Execută
Check – *Verifică*
Verifică rezultatele muncii
Act – Acționează
Stabilește masurile necesare în funcție de rezultatele obșinute

4. CONCLUZII

Evoluția instalațiilor de foraj în perioada ultimilor ani este spectaculoasa si cuprinde în fapt toata gama de instalații destinată procesului de foraj. Aceasta evoluție este lansată pe doua direcții principale.

O primă direcție în evoluția modernizării instalaților de foraj o constituie introducerea sistemelor de acționare economice si fiabile dintre care, corespunzător nivelului actual de accesibilitate tehnologică, se evidențiază sistemele de acționare cu motoare electrice.

A doua direcție se manifestă prin soluțiile de crestere a gradului de mecanizare și automatizare a operațiilor specifice sistemelor de lucru, în special a reducerii duratei totale a timpului total de manevră , care înseamnă reducerea la minim (chiar la zero), a timpilor auxiliari.

Corespunzator celor două cerințe principale enunțate mai sus se constată că se impune o mentenanță riguroasă si asupra componentelor auxiliare ale sistemului TOP DRIVE, care pot genera întarzieri.

Se constată ca au fost aduse modificări la structura de rezistență a instalației prin asigurarea posibilității de ghidare a echipamentului mobil în scopul îndeplinirii ambelor cerințe enunțate mai sus, modificări

care de cele mai multe ori sunt majore, iar structura poate fi numita dupa funcția pe care o îndeplineste, structura de ghidare. Însă subansamblele sunt aceleași. Este evident ca într-un sistem imbunatățit va ceda cel mai slab reper, dar dacă acest lucru este cunoscut și are elaborat un plan coerent de mentenanță, atunci putem spune că riscul de întruperi accidentale este foarte scazut, iar dacă există întreruperi cauzate de organe de asamblare acestea vor fi rezolvate fara să influențeze timpul de foraj.

Se desprinde un deziderat; prin analiza sistemelor tehnice se urmăreste ca sistemul să funcţioneze la parametrii optimi, fără întreruperi şi fără a produce accidentări. Aceasta este, de altfel, condiţia esenţială a unei activităţi de calitate. În anul 1987, *AMOCO PRODUCTION COMPANY (USA)* lansa un program de cercetare destinat proiectării şi construcţiei unei instalaţii de foraj având în configuraţie sistem de manevră neconvenţional şi structură de ghidare. Proiectul s-a numit "Stratigraphic High Speed Advanced Drilling System" (SHADS) după destinația pe care trebuia să o primească noul tip de instalaţie de foraj şi anume cercetarea şi prospecţiunile geologice. În mai 1991, se fixează parteneriatul între firma *AMOCO* şi *NABORS INDUSTRIES INC*, care se afiliază la proiectul SHADS.

Cooperarea celor două firme are ca rezultat construcţia instalaţiei de foraj NABORS RIG No.170, finalizată la începutul anului 1993.

Instalaţia de foraj NABORS No.170, are următoarele caracteristici:

– mast: DRECO cu înălţimea de 26 m;

– forţa maximă de ridicare la capul hidraulic motor situat pe platforma mobilă a instalaţiei: FCM = 956 kN;

– substructura: DRECO SLINGSHOT cu înălţimea de 4.6 m;

– capul hidraulic motor: DRECO HYDRAULIC cu puterea maximă de lucru PM = 260 kW;

– două pompe de foraj cu puterea maximă 123 kW fiecare, destinate sistemului de acţionare hidrostatic al sistemului de manevră neconvenţional;

– cursa maximă pe care o poate executa capul hidraulic motor este 8 m;

– instalaţia de foraj este astfel proiectată încât poate fi transportată de elicopter în containere care nu depăşesc în greutate valoarea maximă GM = 27 kN;

– instalaţia este echipată cu un sistem automat de control a densităţii fluidului de foraj "Equivalent Circulating Density" (ECD);

– *AMOCO* a dezvoltat special pentru instalaţia No170 un sistem expert de comandă şi urmărire a procesului tehnologic pentru care este destinată instalaţia denumit "Expert Well Control System" (XWC).

Probele iniţiale au fost desfăsurate în Wyoming (SUA) unde a fost săpată o sondă la 3816 m. Concluziile preliminare au fost foarte bune, confirmând aşteptările specialiştilor.

Costul total al investiţiei pentru săparea sondei este cu 41% mai mic decât la instalaţia de foraj clasică. Această scădere a costurilor este datorată atât reducerii timpului auxiliar cât şi eficienţei şi siguranţei crescute a procesului tehnologic de foraj. Corespunzător se poate spune că soluţia sistemului de acţionare hidrostatic cu structură de ghidare, în raport cu nivelul tehnic actual, se impune ca soluţie optimă în modernizarea instalaţiilor de foraj.

În timpul funcţionării, sistemul TOP DRIVE suferă procese de uzură ce pot afecta nu doar buna funcţionare a acestora, dar pot avea consecinţe grave, cum ar fi deterirorarea acestuia sau chiar accidentări ale personalului care deserveşte procesul de producţie.

Prin analiza facută s-a putut determina probabilitatea de defectare, a fost evaluat riscul ca un utilaj să cedeze in timpul funţionării si a fost elaborat un plan de mentenanță pentru a asigura funcţionarea în parametri normali avându-se în vedere urmatoarele aspecte:

- evitarea supraîncărcărilor;
- respectarea parametrilor de lucru;
- respectarea condiţiilor de montare, dar şi asigurarea condiţiilor optime de mediu;
- respectarea intervalului de lucru, dar şi de pauză specifice fiecărui utilaj sau instalaţie;
- deservirea utilajului şi a instalaţiei de către personal calificat;
- curăţarea şi întreţinerea corectă;
- ungerea pieselor în mişcare;
- urmărirea continuă a funcţionării, dar şi verificarea parametrilor de funcţionare;
- respectarea graficului de întreţinere;
- remedierea defecţiunilor imediat ce acestea apar;
- realizarea reparaţiilor, dar şi a întreţinerii de către personal calificat;
- verificarea periodică a stării şi a funcţionalităţii accesoriilor folosite.

BIBLIOGRAFIE

[1] Din analele Universitäti "Constantin Brâncuși" Târgu Jiu - Seria Inginerie, Nr. 3/2012

[2] Canrig Drilling Technology LTD - *Canrig td product bulletin manual, Canrig Model 6027AC- 939 Top Drive - Total Energy Services*

[3] Eni Corporate University- Drilling & Completion Engineer – 11/10/2006 Federal Energy Management Program

[4] Operations & Maintenance - Best Practices – Guide to Achieving Operational Efficiency - 2010 ASM Metals Handbook, Vol.1&2, 10th Edition.

[5] Ordinul MMPS nr. 225 din 27 iulie 1995

[6] Normele Specifice de Securitate a Muncii

FORAREA SONDELOR CU DIAMETRE MARI ÎNTRE UITARE ȘI SPERANȚĂ

Prof. dr. ing. Lazăr AVRAM[1]

Universitatea Petrol- Gaze, Ploieşti, România[1]

REZUMAT. Dezvoltarea industriei miniere, în general, ca și necesitatea depozitării deșeurilor radioactive în deplină siguranță, în special, au determinat realizarea unor găuri de sondă cu diametre de până la 10 m și adâncimi de peste 1000 m. Autorii realizează o trecere în revistă a unor contribuții originale legate de dezvoltarea acestui domeniu ajuns, astăzi, din păcate!, pe cale de dispariție…

Cuvinte cheie: Foraj, Sondă, Diametru mare, Deșeuri radioactive

ABSTRACT. The development of the mining industry, in general, as well as the need to safely store radioactive waste, in particular, have determined drilling holes with a diameter of up to 10 m and depths of over 1000 m. The authors make a review of some original contributions related to the development of this domain, which became today, unfortunately, endangered…

Keywords: Drilling, Wells, Big Diameter, Radioactive waste

1. ASPECTE GENERALE

Variantele de realizare a unor astfel de puțuri au variat semnificativ de-a lungul anilor: forajul cu turbine paralele, forajul ascendent prin găuri de sondă pilot, forajul descendent în trepte etc. La ora actuală a prins contur și s-a dezvoltat forajul descendent cu sape monoetajate cu diametrul final maxim. Elementele esențiale de optimizare ale forajului sunt legate, în acest caz, de următoarele elemente: verticalitatea găurii de sondă; stabilirea parametrilor regimului de foraj; consolidarea găurii de sondă; cimentarea sondei; controlul exotermiei cimentului

2. ASIGURAREA VERTICALITĂȚII GĂURII DE SONDĂ

Varianta forajului cu sape cu role monoetajate este metoda cea mai folosită la ora actuală (fig. 1). Cum verticalitatea găurii de sondă joacă un rol covârșitor în realizarea lucrărilor ulterioare, desigur că și echiparea părții inferioare a garniturii de foraj trebuie să ia în considerare acest aspect. Pentru aceasta, deasupra sapei 1 (fig. 1) se montează un stabilizator cu role 2, apoi, în ordine, prăjinile grele 3 (două, trei sau patru) și un al doilea stabilizator 4 (stabilizatori care au și rolul de a centra garnitura de foraj 5 pe axa găurii de sondă). Legătura dintre garnitura de foraj 5 și sapa 1 se realizează prin intermediul mandrinei 6 (aceasta este prevăzută cu niște caneluri, astfel încât apăsarea pe sapă să nu se transmită prin intermediul garniturii de foraj).

Înainte de începerea forajului propriu-zis se construiește un beci, după o geometrie bine stabilită, care ulterior se zidește sau se betonează.

3. STABILIREA PARAMETRILOR REGIMULUI DE FORAJ

Parametrii esențiali ai regimului de foraj, ca și în cazul forajului clasic, sunt apăsarea pe sapă, turația și debitul fluidului de foraj.

Apăsarea pe sapă Gs se determină în funcție de apăsarea specifică Gsp (exprimată în tf/ in sau tf/ m din diametrul sapei) și va fi realizată de greutatea ansamblului inferior al garniturii de foraj amintit mai înainte:

$$Gs = Gsp \cdot Ds \qquad (1)$$

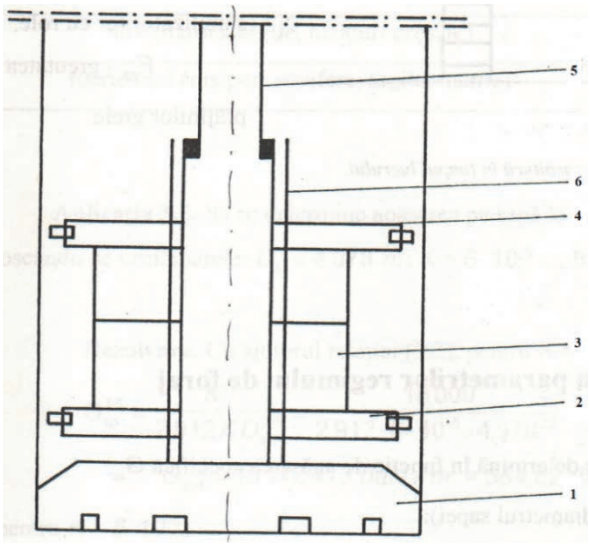


Fig. 1. Echiparea părții inferioare a garniturii de foraj.

Turația, după Morlan [1],

$$n_{min} = \frac{1440}{2\,D_s} \tag{2}$$

$$n_{max} = \frac{1440}{D_s} \tag{3}$$

în care diametrul sapei Ds este exprimat în inch, iar turația n în rot/min.

După specialiștii firmei Hughes Tool Co (SUA),

$$n = \frac{300}{D_s} \tag{4}$$

în care diametrul sapei Ds se va lua în feet.

Debitul de fluid se determină numai pentru circulația inversă (prin absorbție sau aerlift). Se acceptă viteze ascensionale ale fluidului în interiorul garniturii d 2 – 3 m/s, astfel că debitul de fluid de foraj

$$Q = v_a\, A_i = v_a \frac{\pi}{4} d_{ip}^2 \tag{5}$$

d_{ip} fiind diametrul interior al prăjinilor de foraj.

4. CONSOLIDAREA GĂURII DE SONDĂ

Într-o primă fază, majoritatea sondelor cu diametre mari sau foarte mari au avut în vedere tubarea unei singure coloane, cimentată pe toată lungimea. Burlanele au fost confecționate din tablă cu grosimea de perete t = 10 ... 60 mm.

La stabilirea profilului coloanelor cu diametre mari se au în vedere solicitările mai importante la care aceasta sunt supuse: presiunea exterioară (se presupune că avem coloana goală la interior) și tracțiune datorată greutății proprii a coloanei. Cum aria secțiunii transversale a coloanei în secțiunea periculoasă (la suprafață) este foarte mare, efortul de tracțiune este foarte mic, astfel încât se poate neglija (în cadrul figurii 2 variația efortului de tracțiune este prezentată simplificat (în realitate este vorba de o variație a tensiunii în ″trepte″).

Grosimea maximă de perete a burlanului tmax se calculează cu ajutorul relației [1, 4]

$$t_{max} \geq \frac{p_{max}\, d_i}{2\sigma_{ac} - p_{max}} \tag{6}$$

în care:

- p_{max} reprezintă presiunea coloanei hidrostatice de fluid la șiul coloanei;
- d_i - diametrul interior al coloanei;
- σ_{ac} - limita admisibilă de curgere a materialului coloanei.

Adâncimea până la care se poate tuba, în condiții de siguranță, cu o grosime de perete standardizată t_i este

$$H_i = \frac{2\sigma_{ac}\, d_i}{\gamma_f \left(t_i + d_i\right)} \tag{7}$$

iar lungimea tronsonului aferent

$$l_i = H_i - H_{i+1} \tag{8}$$

Problema deosebită, referitoare la acest aspect, o constituie înlocuirea burlanelor metalice cu burlane din beton armat care prezintă un dublu avantaj: rezistență sporită la coroziune și costuri mai reduse [2, 3]. Pentru dimensionare se au în vedere solicitările datorate presiunii exterioare a coloanei de fluid de foraj și a presiunii interioare a fluidului utilizat pentru coborârea coloanei (fluid de testare).

Pentru grosimea maximă de perete a burlanului rămâne valabilă relația (6) în care, în loc de σ_{ac} se ia limita admisibilă de rezistență la compresiune a betonului σ_{ab} , iar în loc de presiunea maximă p_{max}, se ia presiunea efectivă p_{ef}:

$$p_{ef} = p_{max} - p_i \tag{9}$$

Se ajunge ca, pentru o grosime standardizată de perete t_k, adâncimea până la care s-ar putea tuba să fie

$$H_k = \frac{2\sigma_{ab}\, t_k}{\gamma_f \left(t_k + d_i\right)} + \frac{\rho_i\, h_k}{\rho_f} \tag{10}$$

în care ρ_f , ρ_i reprezintă densitățile fluidului de foraj, respectiv lichidului de lestare (cel mai adesea apa), iar h_k - înălțimea coloanei de lichid din interior.

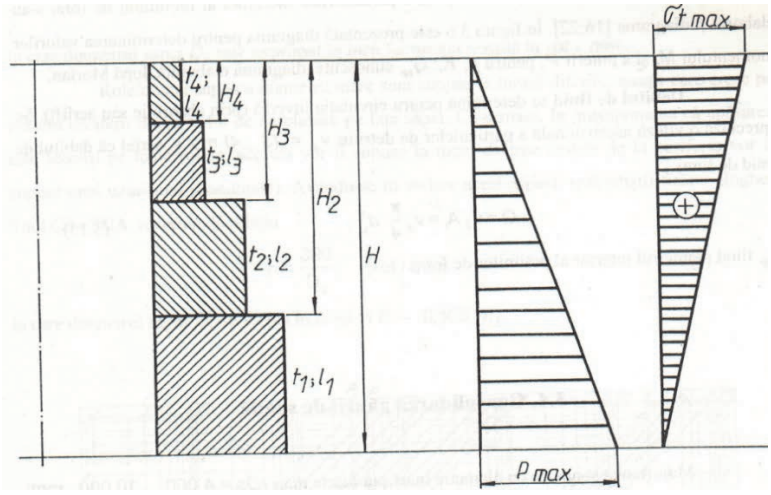


Fig. 2. Solicitările pe baza cărora se stabilește profilul coloanei.

În acest caz lungimea tronsonului de ordinul k va fi

$$l_k = H_k - H_{k+1} \quad (11)$$

În continuare se impune efectuarea verificării la rezistență a coloanei pentru solicitările de bază, verificarea condiției de plutire a acesteia, ca și verificarea acesteia la stabilitate.

5. STAREA DE TENSIUNE DIN COLOANELE CU DIAMETRE MARI ÎNAINTE ŞI DUPĂ CIMENTARE

Ca urmare a cantităților mari de pastă de ciment, cimentarea coloanelor cu diametre mari se realizează în tranșe. Prima tranșă se cimentează la echilibru. Pentru ca cimentarea ei să se facă în condiții de deplină siguranță, trebuie ca pasta de ciment să ajungă la destinație într-un timp mai mic decât timpul admisibil de început de priză t_{aip}.

După încastrarea șiului, starea de tensiune din coloană se modifică atât prin preluarea forței provenite din greutatea primului tronson F_{gl} de către piatra de ciment prin intermediul cintrelor, cât – mai ales – ca urmare a forței de dilatare termică F_t, datorată efectului exotermiei pastei de ciment.

Dacă la acest proces de dilatare-contracție se adaugă faptul că dezlociurea noroiului din sondă se face incomplet (cu metodologia actuală de cimentare), apare evidentă aderența parțială a pietrei de ciment la pereții coloanei, respectiv găurii de sondă; altfel spus, reușita cimentării este pusă sub semnul întrebării.

Într-o primă instanță s-ar putea recomanda adăugarea la pasta de ciment a unor substanțe care îi măresc timpul de început și sfârșit de priză sau, pe durata cimentării și a prizei să se efectueze răcirea corespunzătoare a coloanei, prin circulație. Dar trebuie neapărat avută în vedere cantitatea de căldură care se transmite rocii. Sau, mai exact spus, anularea acesteia.

Rezultatele cercetărilor efectuate în domeniul cunoașterii căii prin care are loc hidratarea lianților, în general, a cimentului Portland, în particular, sunt adesea contradictorii. Se aduc adesea argumente în sprijinul ideii că este vorba de reacții de hidratare atât în fază solidă, cât și în soluții. Folosindu-se metode moderne de investigație, devine de necontestat faptul că formațiunile gelice care apar în faza inițială de întărire a lianților sunt de natură cristalină, cristalele formate având dimensiuni submicroscopice. Se pare că, pentru sistemele polidisperse, structura de rezistență a pietrei de liant întărit este, pentru majoritatea cazurilor, îndeosebi rezultatul contractării și creșterii cristalelor formațiunilor hidratate.

Cantitatea totală de căldură degajată se va transmite: radial - burlanelor, apoi fluidului de foraj din interiorul acestora; radial - stratului; vertical în sus - fluidului de foraj; vertical în jos - cimentului întărit (aceasta în presupunere că pasta de ciment dezlociuește complet noroiul din spațiul inelar considerat.)

În general, procesele de schimb de căldură sunt fenomene complexe. În majoritatea cazurilor practice de schimb de căldură, se întâlnesc toate cele trei moduri de transmitere a căldurii (conducție, convecție și radiație), ele fiind prezente fie în serie, fie în paralel, fie într-o combinație mixtă.

Cu ajutorul unui termometru electronic de concepție proprie, s-a urmărit variația în timp a temperaturii în cinci puncte (care, pentru cazul real, ar fi vrut să însemne: T_1 - axa găurii de sondă; T_2 - peretele interior al coloanei; T_3, T_4, T_5 - trei puncte în strat, la diferite distanțe față de axa găurii de sondă).

Rezultatele obținute au dat informații utile privind modul de transmitere a căldurii către elementele radiale sursei și au permis alegerea corespunzătoare a limitelor de integrare pentru modelul matematic ales spre a simula procesele de schimb de căldură.

6. CONCLUZII ŞI PROPUNERI

• Elementele esențiale de optimizare ale forajului sondelor cu diametre mari sunt legate de: verticalitatea găurii de sondă; stabilirea parametrilor regimului de foraj; consolidarea găurii de sondă; cimentarea sondei; controlul exotermiei cimentului.

• Cu ajutorul unui termometru electronic de concepție proprie s-a măsurat, în cinci puncte, temperatura la un dispozitiv de simulare a cimentării unei coloane cu diametru mare.

• S-a stabilit un model matematic care reflectă fidel modelul fizic; permite modificarea în fiecare zi a fluxului rezultat din exotermia cimentării; permite simularea anticipată, cu mare precizie, a fenomenelor ce se produc în cazul cimentării coloanelor cu diametre mari ș.a.

• Pe baza experienței de la sondele tubate cu burlane metalice, s-a stabilit un model propriu de dimensionare și verificare la solicitări a coloanelor din beton armat.

• Din păcate, proiectele forajelor cu diametre mari au fost sistate, aproape în totalitate, după anii `90. Rezultatele, de excepție, obținute de renumita întreprindere IFLGS București, în cooperare cu Institutul de Petrol și Gaze din Ploiești, ori cu Institutul de mine din Petroșani s-au spulberat, pur și simplu, ca proful și pulberea. Păcat. Mare păcat!

BIBLIOGRAFIE

[1] Iordache G., Pavel Al., ș.a, *Forarea sondelor cu diametre mari, Editura tehnică, Bucureşti, România, 1983*

[2] Avram Lazăr, *Asupra transmisiei căldurii rezultate din exotermia cimentului la sondele cu diametre mari,* Mine, Petrol și Gaze, nr.1, 1988

[3] Avram Lazăr, *Simularea fenomenelor termodinamice care apar la cimentarea coloanelor cu diametre mari*, Mine, Petrol și Gaze, nr.10, 1988

[4] Avram Lazăr, *Foraje speciale și foraj marin*, Editura Universității din Ploiești, România, 2005.

SIGURANȚĂ ȘI MEDIU ÎN PRODUCȚIA OFFSHORE A PETROLULUI ȘI A GAZULUI

Prof. univ. dr. ing. DHC Napoleon ANTONESCU[1], Conf. univ. dr. ing. Marius STAN[2], Prof. univ. dr. ing. Lazar AVRAM[3]

[1,2,3] Universitatea Petrol-Gaze, Ploiesti, Romania

REZUMAT. Industria a utilizat, în mod tradițional, o selecție de indicatori pentru a ilustra tendințele de siguranță în activități petroliere. Este general acceptat că aceastia acoperă doar o mică parte din imagine generală de siguranță. În ultimii ani, industria a utilizat mai mulți indicatori pentru măsurare. Pentru industrie, este important să se stabilească metode de măsurare a impactul activității generale de siguranță a industriei prin niveluri ale riscului bazate pe seturi de informații și date din activități, pentru a permite evaluarea de siguranța generală a activităților care trebuie măsurate.

Cuvinte cheie: siguranta, mediu, risc, proces

ABSTRACT. Industry has traditionally used a selection of indicators to illustrate safety trends in oil activities. It is generally accepted that these cover only a small part of the overall safety picture. In recent years, industry has used several indicators to measure. For industry, it is important to establish methods to measure the impact of the industry's overall safety activity through risk levels based on data sets and activity data to allow assessment of the overall safety of the activities to be measured.

Keywords: safety, environment, risk, process

1. INTRODUCERE

Tendințele în ceea ce privește nivelul de risc din industria petrolieră se referă la toate părțile implicate în industria petrolieră. Prin urmare, era natural și important să se stabilească un instrument de măsurare a impactului activității globale a industriei HSE (Health, safety and environment) RNNP (Tendințe ale nivelului de risc în activitatea de petrol), ca instrument, sa dezvoltat consi-derabil încă de la înființarea sa în 1999/2000 (primul raport publicat în 2001). Această evoluție a avut loc printr-o colaborare multipartită, caracterizată prin acordul privind prudența și raționalitatea cursului selectat de dezvoltare în ceea ce privește crearea unei baze pentru o percepție comună a nivelului HSE din perspectiva industriei.

Un aspect important al procesului RNNP a fost recunoașterea faptului că indicatorii tradiționali, cum ar fi statisticile privind vătămările corporale, au o utilizare limitată în măsurarea riscului de accidente majore.

Procesul analizează un număr de indicatori care stau la baza, care sunt semnificativi pentru evaluarea șanselor unor asemenea incidente. O formulă complicată, unde acești factori sunt ponderați în funcție de contribuția lor la poziția globală, dă un indicator compozit pentru riscul de accidente majore.

Privite de-a lungul unei serii de ani, aceasta oferă, la rândul său, o imagine clară a tendinței - care a scăzut în ultimul deceniu, astfel încât riscul sa diminuat la jumătate în decursul perioadei.

Fig. 1. Activitate offshore ilustrata privind limitele si nivelul riscului potential.
http://www.psa.no/about-rnnp/category911.html

2. CONDIȚII DE PERICOL ȘI ACCIDENTE DEFINITE (DFU)

Tendințele anuale privind nivelul riscului (RNNP) de la Autoritatea pentru Siguranța Petrolului (PSA) utilizează indicatori de risc pentru măsurarea stării așa-numitelor "condiții de pericol și de accidente definite" (DFU). Dar ce sunt aceste DFU-uri? Și care dintre ele vine cu un potențial de a provoca accidente majore?

O companie responsabilă pentru desfășurarea cu ușurință a activităților de producție a petrolului și a gazelor trebuie să identifice situațiile de care are nevoie pentru a se proteja - denumite condiții de pericol și de accident definite (DFU).

Raportul RNNP anual utilizează unul sau mai mulți indicatori de risc pentru a măsura starea majorității DFU. Toate datele obținute prin diferite canale sunt procesate într-un model statistic. Acest lucru arată modul în care contribuie diferiții contribuabili la risc, atât în mod colectiv, cât și pentru DFU individual.DFU cu potențial de a provoca accidente majore în industria petrolieră includ următoarele:

SAFETY ENGINEERING - Some terms to know

- **HAZARD: A hazard introduces the potential for an unsafe condition, possibly leading to an accident.**
- **RISK is the probability or likelihood of a Hazard resulting in an ACCIDENT**
- **INCIDENT is an undesired circumstance that produces the potential for an ACCIDENT**
- **ACCIDENT is an undesired circumstance that results in ill health, damage to the environment, or damage to property**

HAZARD → INCIDENT → ACCIDENT (includes near misses)

Fig. 2. Pericol și de accident definite (DFU http://slideplayer.com/slide/6619550/

Prin analizarea poziţiilor celor trei amplasări ale FA rezultă că FA1 și FA2 sunt amplasările corecte pentru DC1(VD1) și DC3(VD3) respectiv DC1(VD1) și DC2(VD2), iar distanța până la HL este maxim posibilă. Nu se poate spune acelaşi lucru despre cazurile DI2(VD2) și DI4(VD4) respectiv DI3(VD3) și DI4(VD4) pentru, care se observă că fluxul termic Φ se propagă către platformă.

Cazul FA3 este total greșit deoarece focarul termic este foarte aproape de CL și H (locul de aterizare al elicopterului).

Analiza riscurilor a constat în identificarea poziționărilor faclei FA, care sunt soluțiile pot conduce la apariția unei stări periculoase din punct de vedere al nivelului radiației termice, poluării sau exploziei [4].

Scurgeri de gaze sau lichide inflamabile:

Se face distincția între scurgerile aprinse și cele neinflamate. O scurgere neinflamată, de exemplu, ar putea permite gazului să se răspândească pe suprafețe mari, astfel încât ulterior aprinderea să provoace o explozie și un accident major.

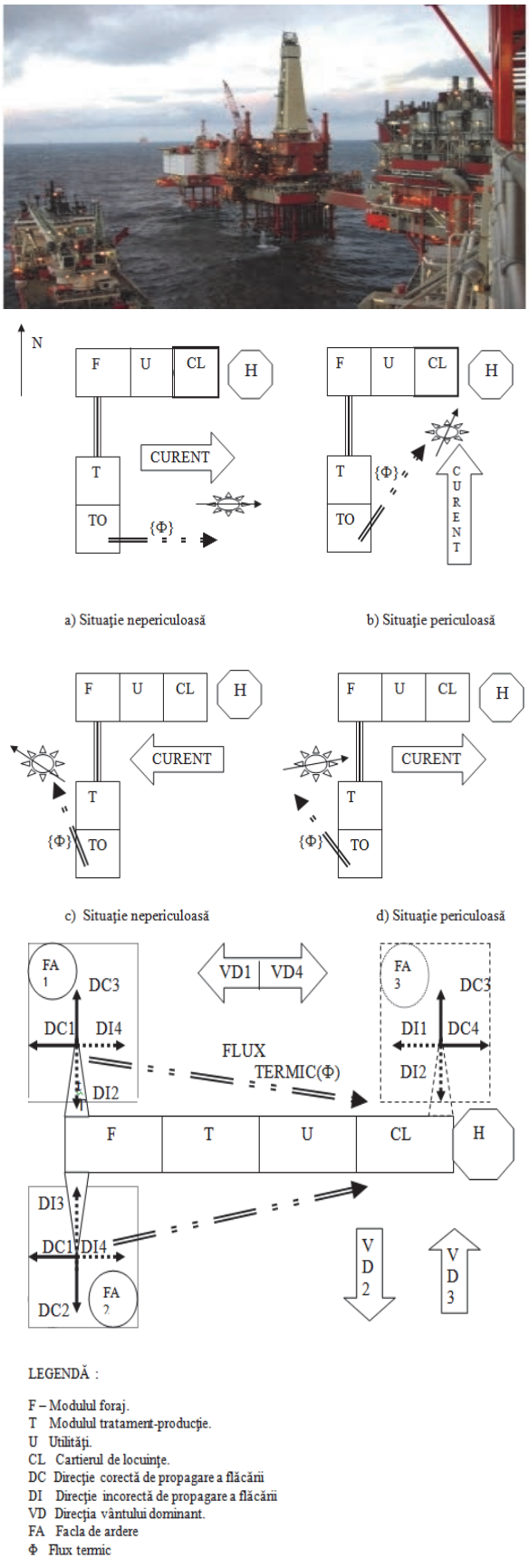


Fig. 3. Studiul unor situaţii posibile datorate condiţiilor de mediu. [4]
http://www.hazardexonthenet.net/article/69695/News-Extra--Norwegian-2012-oil-gas-sector-risk-trends.aspx

Schemă cantitativă de evaluare a gravității riscului [4]

Incidente de control in sonda:

Pierderea controlului sondei ar putea duce la o explozie. Un astfel de incident are potențialul de a provoca daune substanțiale oamenilor, mediului și bunurilor materiale.

Incendiu / explozie în alte zone:

Un exemplu de astfel de incidente este un incendiu în încăperile de locuit cu potențial de a deveni un accident major.

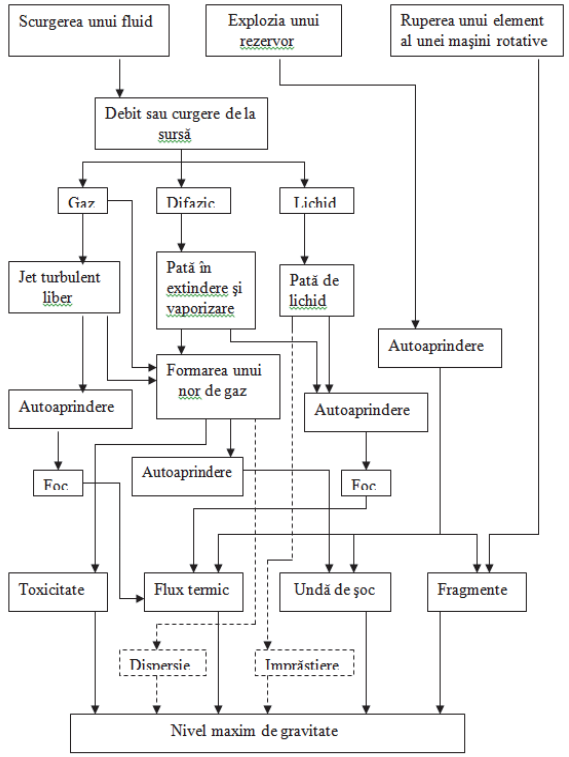


Fig. 4. Schemă cantitativă de evaluare a gravității riscului,[4].

Incidente de control in sonda:

Pierderea controlului sondei ar putea duce la o explozie. Un astfel de incident are potențialul de a provoca daune substanțiale oamenilor, mediului și bunurilor materiale.

Incendiu / explozie în alte zone:

Un exemplu de astfel de incidente este un incendiu în încăperile de locuit cu potențial de a deveni un accident major.

Coliziuni și alte daune structurale la o instalație:

Se face distincția între coliziunile navelor (navele de aprovizionare, navetele de transfer sau cum ar fi) manevre în apropierea instalației și de către nave care nu au legătură cu activitatea sau obiecte derivate (cum ar fi barje).

Platformele sunt proiectate să reziste la coliziuni minore. Dar lovirea unui vas mare, posibil la viteza mare, ar putea provoca daune, ceea ce duce, in cel mai rau caz, la producerea colapsului structurii de sprijin.

Deteriorarea poate apărea și în condiții meteorologice extreme. Acest tip de pericol implică pierderea stabilității sau a defectelor sistemului de ancorare / poziționare a unităților plutitoare, rezultând în cel mai rău caz, o pierdere totală. Scurgeri din instalațiile de producție submarină cu conducte și echipamente asociate:

Instalațiile pe fundul mării pot fi afectate de obiectele care au căzut de sus. Uneltele de pescuit pot cauza, de asemenea, pagube substanțiale.

Potențialul accidentelor majore de deteriorare a instalațiilor submarine se referă în primul rând la poluarea cauzată de deversările de petrol posibile. Orice instalație de suprafață din apropiere ar putea fi, de asemenea, amenințată.

PSA(Petroleum Safety Authority Norway) încearcă să măsoare progresul în domeniul siguranței și al mediului de lucru folosind o serie de indicatori. Această activitate este, de asemenea, importantă pentru prevenirea poluării acute a mediului.

Baza pentru evaluare este principiul triangulării, adică evaluarea evoluțiilor măsurând tendințele în nivelurile de risc într-o varietate de moduri.

Tendințele sunt principalele puncte de interes. Trebuie să se aștepte ca anumiți indicatori, sa inregistreze variații anuale mari. Industria petrolieră ar trebui prin urmare, să se concentreze pe dezvoltarea pozitivă a tendințelor pe termen lung.

În mod ideal, ar trebui să se ajungă la o concluzie sumară pe baza informațiilor din partea tuturor instrumentelor de măsurare folosite. În practică, acest lucru este complicat, de exemplu pentru că

indicatorii reflectă condițiile HSE la niveluri care pot fi semnificativ diferite. Acest raport analizează în special indicatorii de risc asociati cu:

• Accidente majore, inclusiv accidente legate de elicopter

• Vătămări corporale grave

• Modificări ale condițiilor de risc pentru indicatorii de zgomot, mediul de lucru chimic și factorii de risc ergonomic

Exemple Accidente majore

Accidentul cu elicopterul Turcia, din 29 aprilie 2016 a inregistrat 13 victime. Accidentul arată cu mare c*l*aritate că activitățile petroliere implică un mare risc.

Raportul RNNP AD, [1] arată că numărul de deversări acide de țiței a scăzut în perioada 2001-16, la fel ca în cazul incidentelor grave care ar fi putut conduce la o astfel de poluare.

"Este mulțumitor faptul că numărul de evacuări reale a scăzut în această perioadă, în special în categoria minoră", spune Finn Carlsen, director de competență profesională la Autoritatea pentru Siguranța Petrolului din Norvegia (PSA).

Cu toate acestea, cel mai recent raport al RNNP AD arată o tendință negativă în numărul total de situații de urgență pentru perioada 2014-16 privită în mod izolat.

Având în vedere imaginea generală a raportului și experiența acumulată în auditurile sale, PSA (Petroleum Safety Authority Norway) [1],[2],[3]se concentrează pe trei domenii în special: incidente de control, instalații submarine și deversări de substanțe chimice.

Incidente de control la sonde

"Insistam în special pentru o îmbunătățire a prevenirii incidentelor de control la sonde", spune Carlsen. "Vom continua să acordăm o mare atenție acestui domeniu".

El observă că astfel de evenimente au potențialul de a se transforma în accidente majore care implică atât poluare gravă, cât și amenințări la adresa vieții umane.

"Deci, este important ca industria să lucreze cu interesul de a preveni astfel de incidente. Aceiasi factori care reduc riscul pentru oameni, in egala masura pot preveni poluarea. Astfel, barierele și măsurile de siguranță sunt relevante pentru toate tipurile de incidente nedorite în sectorul petrolier. "

Fig.5. Incidente de control la sonde.
http://www.comingsoon.net/movies/news/700647-exclusive-deepwater-horizon-poster

Instalații submarine

Numărul de soluții de producție submarine pe platforma continentala crește, pe măsură ce noile proiecte de dezvoltare adoptă din ce în ce mai mult această abordare.

"Ca urmare, industria trebuie să acorde o atenție deosebită prevenirii poluării acute din astfel de instalații", subliniază Carlsen(**Finn Carlsen, acting director general of the PSA)**

Companiile petroliere trebuie să lucreze pentru îmbunătățirea continuă a nivelului de siguranță și să ia măsuri care să împiedice evacuările de siguranta din instalațiile submarine.

"Trebuie, de asemenea, să aibă bariere pentru a identifica, a limita și a opri orice deversări posibile din aceaste surse. Aceste zone vor primi o atenție deosebită în viitor. "

Chimicalele

Distrugerile chimice reprezintă 80% din evacuările din activitățile petroliere pe CNS. Aproximativ un sfert dintre acestea sunt mai mari de un metru cub.

Aceste evacuări nu au arătat o tendință pozitivă în perioada 2001-16. Carlsen afirmă că astfel de rezultate nu pot continua și că industria trebuie să arate o atenție sporită la deversările chimice acute.

"Companiile trebuie să înțeleagă cauzele evacuărilor și să inițieze măsuri specifice pentru a le preveni. Vom urmări această lucrare.

"Companiile trebuie să lucreze în mod intenționat pentru a preveni poluarea accidentala", spune Carlsen. El subliniază că este necesar acum un angajament în cadrul companiilor și activităților de prevenire a deversărilor acute din industria petrolieră în toate zonele NCS.

Prevenirea poluării în zone sensibile

Punerea problemei

În Norvegia, cooperarea între companii, sindicate și autorități este crucială in activitatea petrolieră, în general și in mod special în materie de siguranță. Spre sfârșitul anilor 1990, această cooperare a suferit de la dezacordul părților și de percepția diferită a principalelor provocări în materie de siguranță. Ca urmare, Autoritatea pentru Siguranța Petrolului din Norvegia (PSAN) a inițiat un proiect care să colecteze și să prelucreze informații despre performanța de siguranță pe platoul continental norvegian(NCS).

Atât companiile, cât și sindicatele au avut încredere că PASN [3] avea independența și imparțialitatea necesare să dețină această inițiativă. Cu toate acestea, au fost necesare asigurări fundamentale pentru a avea acces la informatiile diferitelor companii. Autoritățile au garantat ca monitorizarea să aibă o concentrare la nivel de companie și să nu fie divulgate date de performanță specifice companiei.

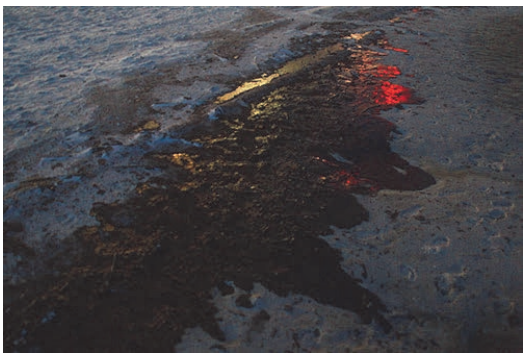


Fig.6. Afectarea mediului.
An oil slick reaches shore July 4 in Gulf Shores, Ala. Millions of gallons spilled into the Gulf since the April 20 Deepwater Horizon disaster. (Photo by Joe Raedle/Getty Images)

Dezvoltare

În perioada 2001-2011 sa înregistrat o scădere evidentă a numărului de deversări de țiței acide pe mare pentru întregul domeniu, ambele exprimate ca număr de incidente pe an și numărul de incidente pe an de instalație. În urma unui declin abrupt la începutul perioadei, numărul de deversări a rămas la un nivel stabil în anii 2004-2011.

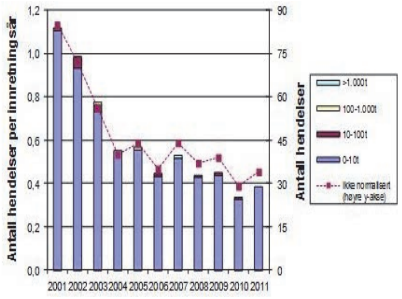


Fig. 7. Numărul deversărilor de petrol brut pe mare.

Figura 7 arată numărul de deversări de petrol brut pe mare, pe an de instalație și numărul total, întregul sit norvegian în perioada 2001-2011.

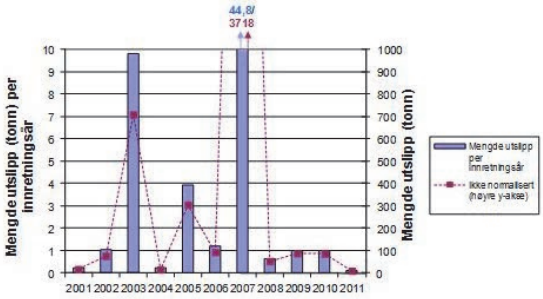


Fig. 8. Volumul deversărilor de țițeiaccidental.

Figura 8 prezintă volumul deversărilor de țiței accidental, în total și pe an de instalație, pe platoul norvegian în perioada 2001-2011.

De aceea RNNP joacă un rol important în activitatea de petrol din Norvegia. Astăzi, RNNP este un instrument central de gestionare a tuturor participanților în sectorul petrolier. Permite acordul cu privire la problemele critice care trebuie abordate și care oferă o bază pentru inițierea unor acțiuni commune, proiecte de îmbunătățire, planificarea activităților de supraveghere și elaborarea reglementărilor.

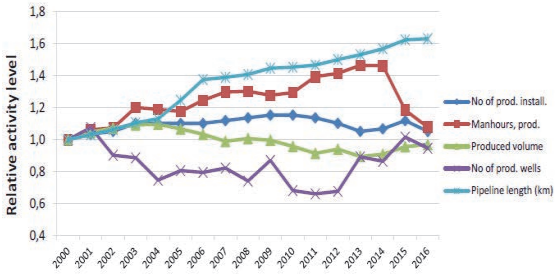


Fig. 9. Tendința relativă a nivelului de activitate pentru instalațiile de producție.

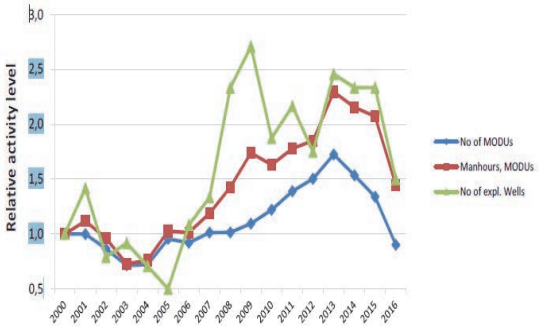


Fig. 10. Tendința relativă a nivelului de activitate pentru instalațiile mobile

O prezentare a DFU(Defined hazard and accident situations) sau a contribuabililor la riscuri poate varia uneori în funcție de valori absolute sau "normalizate", în funcție de parametrul de normalizare. În figurile 9 și 10 sunt prezentate valorile principale, normalizate.

Rapoartele pot fi descărcate gratuit de la Autoritatea pentru Siguranța Petrolului Site-ul Norvegiei (www.ptil.no/rnnp).

CONCLUZII

Au avut loc unele schimbări în activitățile offshore legate de activitatea psihosocială, mediu și siguranță în perioada 2013-2015. Numarul mai mare de angajați la facilitățile mobile raportează solicitări înalte de locuri de muncă și control scăzut al locurilor de muncă și combinația dintre acestea. În instalațiile de producție, o proporție mai mare de angajați raportează un loc de muncă, control și un climat de siguranță mai sărac.

Analizele pe bază de chestionar din 2015 arată, totuși, că angajații care au experimentat reorganizarea au raportat un risc mai mic de vătămare, plângeri de sănătate și un climat de siguranță mai bun.

BIBLIOGRAFIE

[5] PSA, 2017a. Trends in the risk level on the Norwegian Continental Shelf, Main report,

[6] 27/04/2017

[7] PSA, 2017b. Trends in the risk level – onshore facilities in the Norwegian petroleum

[8] activities, 27/04/2017

[9] PSA, 2017c. Trends in the risk level on the Norwegian Continental Shelf, Methodological report, 27/04/2017

[10] Stan Marius, Metode avansate de proiectare a utilajului petrolier (revizuita si adaugita), Editura Universitatii Petrol Gaze din Ploiesti, 2011

ELEMENTE DE OPTIMIZARE A PROCESULUI DE USCARE A GAZELOR NATURALE, ÎN CADRUL SISTEMULUI DE ÎNMAGAZINARE SUBTERANĂ

Dr. ing. Sorin Alexandru AVRAM [2]

[1]*SNGN Romgaz SA Suc. Tg. - Mureș, Ploiești, Romania*

REZUMAT. Înmagazinarea subterană a gazelor naturale reprezintă singurul procedeu eficient care asigură acoperirea cererilor fluctuante ale pieței atunci când se are în vedere existența unei conducte de livrare constantă și permanentă a gazelor. În acest context, siguranța și continuitatea în furnizarea gazelor reprezintă un obiectiv strategic. Lucrarea de față cuprinde, în prima parte, câteva aspecte specifice privind punerea în evidență a unor particularități legate de condițiile prealabile de dinaintea înmagazinării: separatoare și încălzitoare de gaze, curățarea gazelor de hidrogen sulfurat și dioxid de carbon, procedee de uscare a gazelor. Urmează apoi un studiu de caz privind pericolele care pot să apară în timpul acestui proces.

Cuvinte cheie: înmagazinare, gaze naturale, furnizare, strategic, separatoare, încălzitoare, curățare, uscare, studiu de caz, pericole.

ABSTRACT. Underground storage of natural gas is the only efficient process that ensures the coverage of fluctuating market demands when considering the existence of a constant and permanent gas supply pipeline. In this context, security and continuity in gas supply are a strategic objective. In the first part, the present work includes some specific aspects regarding the highlighting of some particularities related to the pre-storage conditions: gas separators and heaters, cleaning of hydrogen sulphide and carbon dioxide gas, gas drying processes. Then there is a case study of the dangers that may arise during this process.

Keywords: storage, natural gas, supply, strategic, separators, heaters, cleaning, drying, case study, hazards.

1. GENERALITĂȚI

Pentru înmagazinarea subterană, gazele naturale sunt injectate în rezervoare subterane de țiței și gaze atunci când cererea pieței scade sub producția surselor de alimentare, respectiv sunt extrase din depozit pentru a suplimenta livrarea la nivelul solicitat, atunci când cererea depășește acea producție. Cu alte cuvinte, funcția principală a unui depozit subteran de gaze naturale este aceea de a regulariza livrarea pentru variațiile de consum și cererea sezonieră.

În afară de aceasta, instalaţiile de înmagazinare pot asigura furnizarea de gaze din rezervele de siguranţă în cazul unor întreruperi în alimentarea normală şi pot ajuta la conservarea energiei prin utilizarea de gaze asociate care, altminteri, ar trebui trimise la faclă.

Instalația de înmagazinare trebuie proiectată, construită și exploatată, astfel încât să preîntâmpine orice influenţă inacceptabilă care ar putea s-o exercite asupra mediului înconjurător subteran. Aceasta presupune că au fost identificate formaţiunile înconjurătoare, că au fost determinate caracteristicile lor importante şi că sunt protejate în mod corespunzător. Totodată, ea nu trebuie să prezinte vreun risc pentru siguranţa exploatării şi a personalului.

Suplimentar faţă de prescripţiile de siguranţă uzuale şi cerinţele aplicabile la toate instalaţiile industriale compatibile, trebuie luate măsuri corespunzătoare pentru reducerea riscului în ceea ce privește consecinţele exploziei şi a pierderilor prin scurgeri.

2. USCAREA GAZELOR NATURALE

În primul rând, pentru a menţine temperatura gazelor la o valoare mai mare decât temperatura de formare a criohidraţilor, în unele cazuri este necesară încălzirea gazelor, în special după trecerea acestora prin duze. Pentru încălzirea gazelor se folosesc, cu precădere, următoarele tipuri de încălzitoare: indirecte cu baie de apă, indirecte de tip generator de abur şi încălzitorul de tip gaz metan. Acesta din urmă se utilizează din ce în ce mai mult în ultima vreme, ca urmare a avantajelor nete faţă de primele: siguranţă în funcţionare, urmărire facilă în funcţionare, randamente sporite etc.

Prin uscarea gazelor se urmăreşte eliminarea totală a apei condensate, respectiv eliminarea parţială a apei în stare de vapori, în aşa fel încât pentru orice valoare a presiunilor şi temperaturilor din reţeaua de vehiculare a gazelor să nu mai fie posibilă condensarea apei. Eliminarea apei din gaze se face prin adsorbţie, absorbţie şi comprimare-răcire. În condiţiile de schelă se utilizează, cel mai adesea, uscarea prin adsorbţie şi cea prin absorbţie.

De regulă, *separarea apei prin adsorbţie* include şi condensarea capilară, prin aceasta înţelegându-se fenomenul de trecere în stare lichidă a vaporilor de apă în interiorul porilor şi umplerea acestora cu lichid. Adsorbţia propriu-zisă constă în fixarea moleculelor de substanţă gazoasă pe locurile din suprafaţa sorbentului unde energia liberă este mai mare. Adsorbţia se realizează pe aşa-numitele silicageluri (geluri de silice). Pentru silicagelurile utilizate în coloana de adsorbţie este foarte important să se cunoască momentul în care silicagelul este saturat cu apă şi trebuie înlocuit.

Uscarea gazelor naturale prin absorbţie presupune absorbţia apei din gaze cu ajutorul unor absorbanţi: clorură de calciu, clorură de litiu, clorură de zinc, bromură de calciu, glicoli etc. Dintre toţi aceşti absorbanţi, doar glicolii nu au caracter corosiv, motiv pentru care, în prezent, uscarea gazelor prin absorbţie se face exclusiv prin utilizarea acestora.

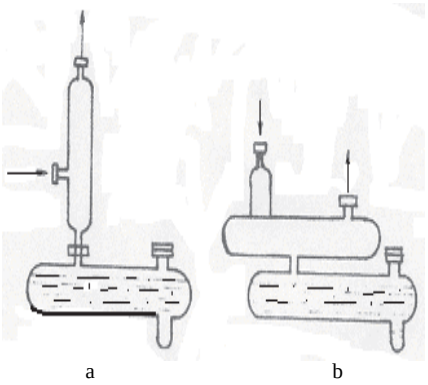
Aducerea gazelor în contact cu un lichid higroscopic, cum este *glicolul*, este de departe cel mai întâlnit proces de uscare a gazelor naturale. Acesta este un proces de absorbţie în care vaporii de apă din curentul de gaze se dizolvă într-un curent de glicol relativ pur, cu rol de solvent lichid.

Apa absorbită se evaporă uşor din glicol prin încălzire. Acest proces se numeşte „regenerare” sau „reconcentrare” şi permite recuperarea glicolului pentru utilizare ulterioară la absorbţia altor cantităţi de apă cu pierderi minime de glicol. Procesul descris foloseşte trietilenglicol (TEG).

Majoritatea proceselor de uscare cu glicoli sunt continue. Aceasta înseamnă că gazele şi glicolul circulă continuu printr-o coloană, numită de contact sau de absorbţie, unde ele vin în contact şi glicolul absoarbe apa. Glicolul circulă de la coloana de absorbţie la un refierbător unde apa este eliminată sau stripată din glicol. În final, acesta este pompat înapoi în coloană pentru a încheia ciclul.

Gazele preluate la grupurile de sonde, în ciclul de extracţie, sunt separate de impurităţile solide şi lichidele reziduale cu ajutorul unor filtre separatoare orizontale supraterane, prevăzute cu coalescer şi demister.

În figura 1 este prezentată schema de principiu a separatoarelor gravitationale şi instalaţia de separare a gazelor. Eficienţa separării este de minimum 98% pentru particulele cu dimensiuni mai mari de 10 μm. Separatoarele sunt echipate cu demistere şi coalescere, supape de siguranţă, indicatoare magnetice de nivel, manometre, manometre diferenţiale pentru indicarea căderii de presiune pe demistere şi termometre ş.a.



a b

Fig. 1:
a) instalaţia de separare a gazelor – schema de principiu; b) instalaţia de separare a gazelor.

Hidrogenul sulfurat H_2S şi *dioxidul de carbon* CO_2 au un puternic caracter corosiv, amplificat în condiţiile unor valori mari ale presiunilor şi temperaturilor. De asemenea, prezenţa apei amplifică mult caracterul coroziv al H_2S şi CO_2. Pentru eliminarea acestor compuşi se utilizează două categorii de procedee: uscate şi umede. Dintre procedeele uscate cele mai utilizate sunt cele cu limonit, var stins şi cărbune activ. Dintre procedeele umede cele mai utilizate sunt cele cu sodă calcinată, carbonat de potasiu, fenolat, etanolamină, fosfat de potasiu, soluţie de amoniac etc.

3. ASUPRA UNOR DEFECTIUNI MAJORE ALE STATIEI DE USCARE GAZE NATURALE, STUDIU DE CAZ

Este vorba de un studiu de caz referitor la pericolele care pot să apară la o staţie de uscare în urma nerespectării normelor tehnice. Pe o perioadă de zece luni, staţia de uscare X a funcţionat cu debitul peste capacitatea maximă admisă, aşa cum se poate observa în graficul din figura 2.

Rezultatele negative nu au întârziat să apară. Staţia nu a mai funcţionat în limita parametrilor normali, iar instalaţia s-a oprit. După o serie de probleme apărute în intervalul a câteva zile - motoare electrice arse, relee termice de comandă defecte, izolaţia din interiorul camerei de ardere deteriorată complet, fisura plăcii frontale a schimbatorului de caldură, inclusiv o explozie pe circuitul arzător-coş de evacuare –, s-a impus o verificare amănuntiţă şi riguroasă a cauzelor care au putut conduce la aceste evenimente.

De asemenea, au fost prelevate probe de TEG şi verificate într-un laborator specializat, observandu-se astfel că trietilenglicolul a fost contaminat cu impurităţi solide şi lichide, astfel că puritatea cerută de standardele în vigoare nu se mai putea realiza.

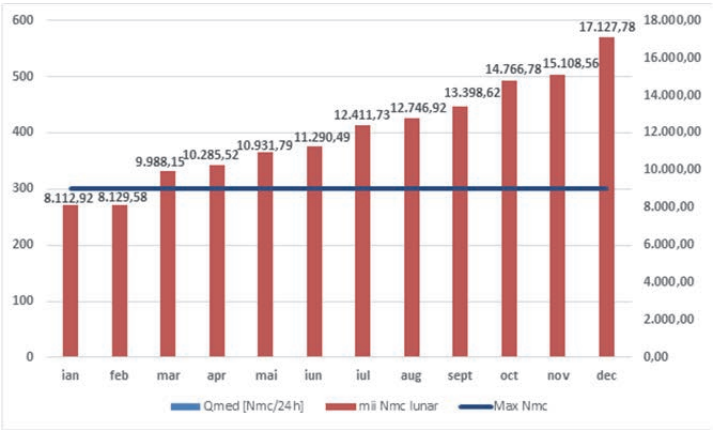


Fig. 2. Debite si cantitati de gaze extrase in anul 2016 din statia de uscare.

Tabelul 1 **– Raport de incercare a trietilenglicolului – rezultatul analizei obtinute in laborator**

Nr. crt.	Determinare	Rezultat	U.M.	Limite admise	Metoda de determinare
0.	**1.**	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**
1.	p H (21,3 ˚C) (diluţie 1:1)	7,11	unit. pH	6 - 9	**SR ISO** 10523/97
2.	Conţinut apă	7,2	%	1 - 6	**SR EN ISO** 2937/01 K.Fischer
3.	Culoare (Pt-Co)	negru	Hazen		Transmisie la 530 MM
4.	Cloruri (NaCl)	377,25	mg/l	max. 1650	**Metoda** Mettler M335
5.	Conţinut Fe D: 1+49	101	mg/l	max. 50	**Metoda** Hach 8146
6.	Solide (în suspensie)	2	%	max. 0,01%	**SR ISO** 9030/95
7.	Densitate	1,115	g/cm^3		**STAS** 3⁵⁄₈1

Fig. 3. Efectele TEG-ului contaminat (schimbătorul de căldură).

Fig. 4. Pachetele Sulzer deteriorate.

Astfel, statia de uscare X a fost demontată și fiecare parte a instalației a fost verificată amănunțit. Rezultatele au fost dezastruoase. Pachetele Sulzer și demisterele montate în partea inferioară și superioară a coloanei s-au deteriorat complet, fiind necesară înlocuirea lor. În figura 3 sunt prezentate efectele TEG-ului contaminat, iar în figura 4 sunt prezentate pachetele Sulzer deteriorate .

4. CONCLUZII SI PROPUNERI

1. Uscarea gazelor naturale reprezintă un proces complex, care necesită o atenție deosebită. Nerespectarea normelor tehnice poate atrage după sine defecte majore ale instalațiilor și, implicit, costuri suplimentare foarte mari.

2. În studiul de caz prezentat mai devreme soluția a fost foarte costisitoare: s-a înlocuit TEG-ul total existent în instalație; s-au înlocuit pachetele Sulzer din interiorul coloanei de absorbție; s-au înlocuit mai multe piese și echipamente. În plus, s-a retehnologizat instalația de separare, iar pe o perioadă de trei luni de zile (câtă vreme stația nu a funcționat) furnizarea gazelor a fost întreruptă ori nu s-au asigurat parametrii optimi de livrare.

3. Din considerentele expuse mai înainte ân lucrare, am propus următoarele măsuri de optimizare a procesului:

- retehnologizarea liniei de separare montată în amonte de instalație;
- mărirea debitului de gaze prin schimbarea absorberului existent cu unul cu o capacitate optimă pentru debitul de gaze livrat, sau limitarea debitului de gaze la valoarea maximă admisă;
- instalarea unei linii suplimentare de separare a impurităților din TEG în instalație.

BIBLIOGRAFIE

[1] AVRAM, S.A. *Contribuții privind optimizarea și monitorizarea sistemului de înmagazinare a gazelor naturale prin foraje dirijate și sisteme electronice performante* –Teză de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiesti, Romania, 2017.

TRANSMISII PLANETARE PRECESIONALE ÎN ECHIPAMENTE PENTRU EXTRAGEREA ȚIȚEIULUI ȘI CONDUCTE MAGISTRALE PENTRU TRANSPORTAREA GAZULUI

Acad. Ion BOSTAN[1], Prof. dr. hab Valeriu DULGHERU[2], Conf. dr. Maxim VACULENCO[3], Conf. dr. Iulian MALCOCI[4]

[1]UTM, Chișinău, Rep. Moldova [2]UTM, Chișinău, Rep. Moldova, [3]UTM, Chișinău, Rep. Moldova [4]UTM, Chișinău, Rep. Moldova

REZUMAT. Transmisiile planetare precesionale sunt un tip nou de transmisie mecanică, elaborate la Universitatea Tehnică a Moldovei, care posedă avantaje certe (rapoarte de transmitere mari – 8….3600; masă si gabarite reduse datorită numărului mare de perechi de dinți aflate simultan în angrenare (până la 100%) ș.a.) față de alte transmisii mecanice utilizabile în utilajul de extracție a petrolului și armătura gazoductelor magistrale. Utilajul de extragere a petrolului de la adâncimi mari include transmisii mecanice care trebuie să posede capacitate portantă înaltă și dimensiuni de gabarit reduse pentru a fi amplasate în interiorul țevii de foraj. Armatura gazoductelor de magistrală necesită transmisii mecanice cu rapoarte de transmitere foarte mari - 20000…100000. Transmisiile planetare precesionale satisfac totalmente aceste cerințe.

Cuvinte cheie: transmisii planetare precesionale, utilaj petrolier, armătura gazoductelor.

ABSTRACT. Planetary precessional transmissions are a new type of mechanical transmission, developed at the Technical University of Moldova, which have certain advantages (large transmission ratio - 8 ... 3600, reduced mass and dimentions due to the large number of simultaneous pair of teeth engaged in engagement (up to 100%), etc.) to other mechanical transmissions usable in oil extraction equipment and main pipeline armature. The deep oil extraction equipment includes mechanical transmissions that have high capacity and low gauge dimensions to be located in the drill pipe. The piping armature requires mechanical transmissions with very high transmission ratios - 20000 ... 100000. Planetary precessional transmissions fully satisfy these requirements.

Keywords: planetary precessional transmissions, oil equipment, gas pipeline armature.

1. INTRODUCERE

Exploatarea zăcămintelor de petrol se face, actualmente preponderent la suprafață, deoarece costurile sunt mai mici. Însă epuizarea rezervelor de petrol aflate la suprafață impune necesitatea explorării zăcămintelor de hidrocarburi de la adâncimi mari ($h > 1000\ m$) (fig. 1). În acest caz utilajul de extracție a petrolului a cunoscut două direcții de dezvoltare:

– metoda clasică (fig. 1,*a*), unde motorul electric și transmisia mecanică sunt instalate la suprafață, iar rotorul pompei este amplasat la adâncime în zona de pompare și este legat cu arborele transmisiei mecanice printr-un arbore flexibil de lungime mare;

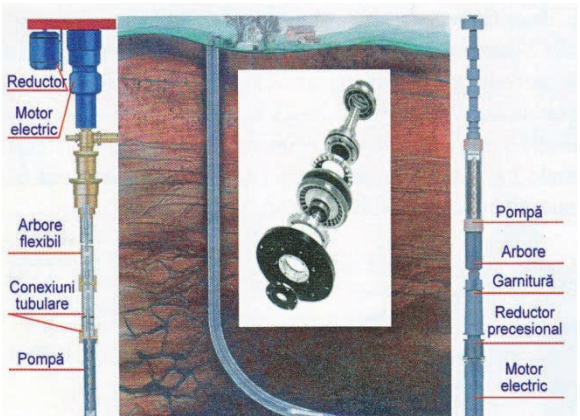
– metodă modernă (fig.1,*b*), unde motorul electric, transmisia mecanică și pompa sunt amplasate în țeava de foraj în zona de pompare.

Neajunsul primei direcții este lungimea excesiv de mare ($l > 1000m$) a arborelui flexibil. Aceasta conduce la reducerea fiabilității sistemului în întregime, scăderea bruscă a randamentului.

În cazul direcției a 2[a] de dezvoltare a utilajului de extracție a petrolului de la adâncimi mari o problemă dificilă este amplasarea transmisiei mecanice în interiorul țevii de foraj, care are un diametru limitat. Acest lucru necesită dimensiuni diametrale reduse ale transmisiei mecanice. Aceste restricții privind dimensiunile diametrale reduc simțitor capacitatea portantă a reductorului.

Pentru reducerea dimensiunilor diametrale ale mecanismelor de acționare se utilizează transmisii mecanice cu multiplicitate înaltă a angrenajului și transmiterea puterii prin 2 torente. În marea diversitate a transmisiilor mecanice transmisiile planetare ocupă un loc deosebit, posedând o serie de avantaje cum ar fi: coaxialitate, compactitate, masă redusă, precizie cinematică ridicată, posibilitatea obținerii unor rapoarte de transmitere mari, funcționare silențioasă etc. În transmisiile planetare cu roți dințate cilindrice în scopul majorării multiplicității s-a recurs la mărirea numărului de sateliți (până la 8 sateliți). Însă această soluție posedă o construcție complicată, care necesită precizie înaltă de fabricare.

Problema nominalizată poate fi soluţionată cu un efect deosebit prin utilizarea transmisiei planetare precesionale. Multiplicitatea înaltă a angrenajului (în angrenaj simultan se află până la 100% perechi de dinţi) asigură capacitate portantă înaltă. De asemenea, particularităţile constructive permit elaborarea transmisiilor planetare precesionale cu transmiterea puterii prin două torente. Angrenajul precesional cu contact „*dinte-rolă*” permite excluderea frecării de alunecare din angrenare şi asigură un randament mecanic înalt. Particularităţile mişcării sfero-spaţiale a satelitului asigură pierderi hidraulice minime şi, deci, randament ridicat.



a. *b.*

Fig. 1. Mecanism de acţionare a pompei submersibile pentru pomparea petrolului de la adâncimi mari.

2. MECANISME DE ACŢIONARE A POMPELOR SUBMERSIBILE DE PENTRU EXTRAGEREA PETROLULUI DE LA ADÂNCIMI MARI

O particularitate deosebit de importantă a transmisiilor planetare precesionale este posibilitatea de a realiza mecanisme de acţionare cu gabarite diametrale reduse. Acest avantaj a fost pus la baza elaborării mecanismului de acţionare a pompei pentru pomparea ţiţeiului de la adâncimi mari (fig. 2 *a*) [1.2]. Gabaritele diametrale fiind limitate de diametrele ţevilor de foraj, s-a mers pe calea elaborării unei scheme structurale noi de transmisie precesională. Transmisia precesională elaborată posedă capacitate portantă ridicată în gabarite diametrale reduse, asigurată de transmiterea simultană a sarcinii de două angrenaje. Construcţia reductorului precesional de acţionare a pompei de extracţie a petrolului, elaborată în baza schemei K-H-V [1] (fig. 2, *b*) cu două roţi centrale 5 şi 6 şi un bloc-satelit intermediar 2 cu două coroane danturate 3 şi 4. Blocul-satelit 2 efectuează mişcare de precesie, comunicată de arborele conducător cu flanşă înclinată 8. Mişcarea de rotaţie a arborelui motor 8 prin intermediul flanşei înclinate şi corpurilor de rulare se transformă în mişcare de precesie, care se transmite blocului satelit 2 cu coroanele cu role 3 şi 4. Coroanele danturate cu role 3 şi 4 ale blocului-satelit 2, care au acelaşi număr de role, angrenează cu roţile dinţate fixe 5 şi 6, care au, de asemenea, acelaşi număr de dinţi. Diferenţa dintre numărul de dinţi şi role ale roţilor angrenate este egală cu un dinte. Raportul de transmitere se determină din relaţia:

$$i = -\frac{z_6}{z_5 - z_6} \qquad (1)$$

Mişcarea de rotaţie redusă a blocului-satelit în jurul axei sale este preluată de cuplajul sincron cu bile 7 tip Rzeppa şi transmisă arborelui condus 8. Această soluţie tehnică permite transmiterea momentului de torsiune prin două torente, fiecare dintre cele două angrenaje fiind solicitat cu doar jumătate din sarcină. De asemenea, utilizarea cuplajului cu role asigură transmiterea unor momente de torsiune mari în gabarite diametrale reduse. La un unghi de nutaţie a blocului-satelit $\theta = 1^o30' .. 3^o$, bilele cuplajului se vor afla permanent în planul bisectorial acestui unghi [2], fiind asigurată uniformitatea mişcării arborelui condus.

La solicitarea firmei Moyno din Canada au fost elaborate două tipodimensiuni de reductoare precesionale pentru sisteme petroliere cu ţevi cu ∅ > 110 mm (fig. 2, *a*) şi pentru ţevi cu ∅ > 135 mm (T=950 Nm) (fig. 2, *c*). În reductorul precesional din fig. 2,c arborele condus este amplasat cu posibilitatea autoaşezării în carcasă, fapt ce reduce influenţa erorilor de fabricaţie şi instalare asupra solicităţii suplimentare a elementelor angrenajului.

3. MECANISME DE ACŢIONARE A ARMĂTURII GAZODUCTELOR

Pentru transportarea gazului, a altor medii lichide şi gazoase în conductele magistrale se utilizează armături amplasate la anumite distanţe. Armătura este destinată pentru închiderea şi deschiderea conductelor de gaz. Pentru acţionarea armăturii, de regulă, se utilizează două sisteme de acţionare: electrică cu motor electric şi hidraulică cu motor hidraulic. În cazul acţionării electrice există pericolul exploziilor din cauza posibilităţii scurgerilor de gaz. În cazul acţionării hidraulice a armăturilor gazoductelor de magistrală care sunt amplasate în zone cu temperaturi scăzute viscozitatea uleiului creşte fapt ce face dificilă pornirea motorului hidraulic.

În rezultatul colaborării fructuoase cu întreprinderea Kompressormash din or. Summy, Ucraina şi filiala GAZPROM din or. Kaluga, Rusia au fost elaborate o serie de armături care includ un turbomotor cu ejecţie de turaţie înaltă şi un reductor precesional cu raport de transmitere foarte mare.

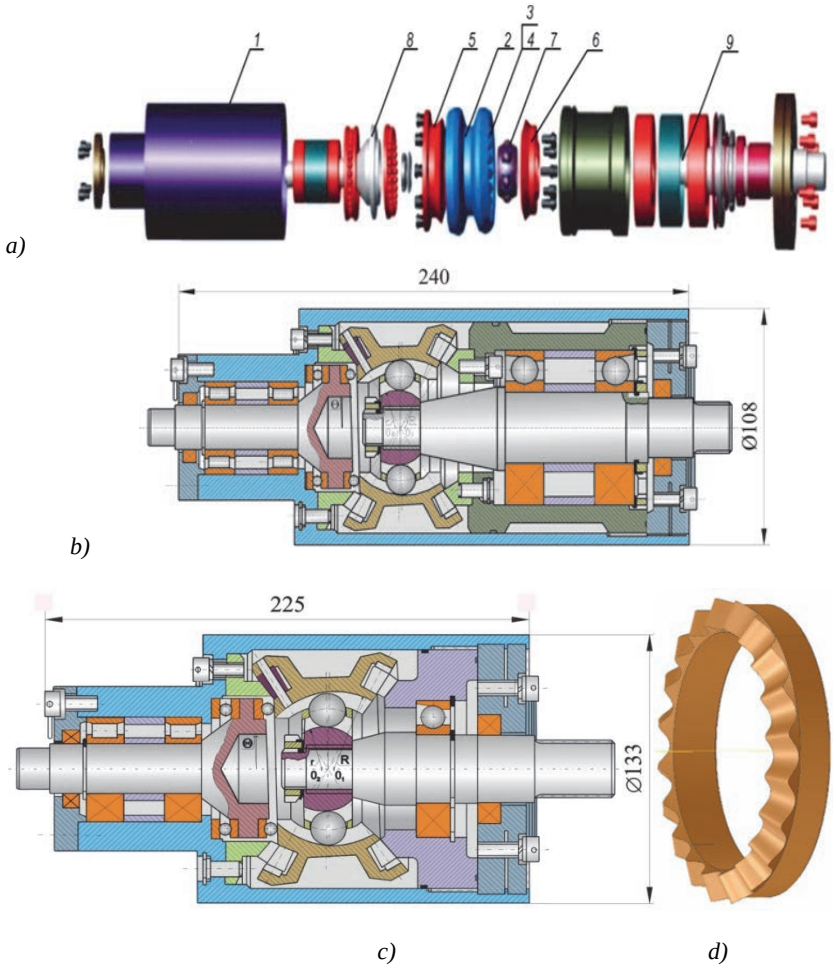
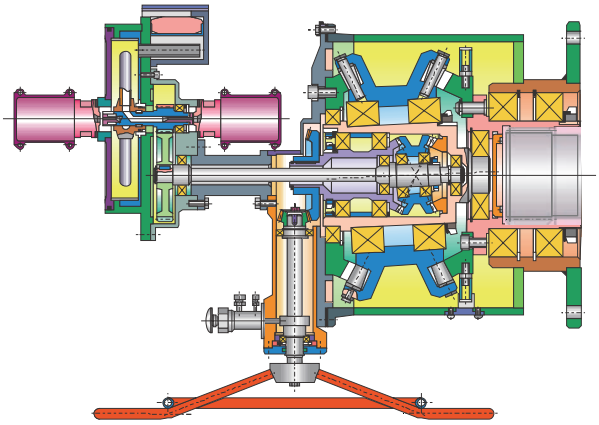


Fig. 2. Reductor precesional K-H-V pentru pomparea petrolului de la adâncimi mari:
a) pentru țevi cu diametrul > 110 mm (diametrul roților dințate – 94 mm; momentul de torsiune – 650 Nm; raportul de transmitere – 30); b) componentele de bază ale reductorului; c) pentru țevi cu diametrul > 135 mm (diametrul roților dințate – 115 mm; momentul de torsiune – 950 Nm; raportul de transmitere – 30); d) roata centrală cu dinți nestandarzi convex-concavi.

Turbomotor precesional reactiv cu ejecţie a armăturii pentru conducte magistrale (*T=30000 Nm; i = 20000*). Turbomotorul este destinat pentru închiderea şi deschiderea conductelor de gaz, gaz condensat şi alte medii lichide şi gazoase. Turbomotorul (fig. 3, *a*) [1,3,4] include o turbina reactivă, fixată pe arborele-pinion care angrenează cu roata dinţată cilindrică, montată pe arborele-manivelă al primei trepte precesionale. Roata dinţată centrală este legată cinematic cu sistemul de rotire manual, blocat în corp de ştiftul de fixare, iar roata centrală este legată rigid cu corpul-manivelă, a cărui suprafaţă exterioară este executată cu înclinare şi ţine locul de manivelă pentru treapta a doua precesională. Pe corpul-manivelă este montat satelitul cu angrenaj cu role, situat între roţile centrale, legate corespunzător de corpul turbomotorului şi de arborele robinetului sferoidal. Pentru închiderea sau deschiderea robinetului sferoidal gazul din conductă, cu presiunea 1,5...8 MPa, prin injector acţionează asupra turbinei, impunându-i o mişcare de rotaţie cu frecvenţa *15000...20000 min*$^{-1}$. Mişcarea de rotaţie redusă se transmite arborelui robinetului sferoidal, al cărui unghi necesar de rotire se reglează cu ajutorul unor sprijine speciale. În cazuri accidentare, rotirea robinetului sferoidal se efectuează cu ajutorul sistemului de rotire manual 6, deblocând cuplul de roţi dinţate conice şi blocând roţile centrale şi satelitul primei trepte precesionale.

Acţionarea de la turbina reactivă prin intermediul transmisiilor planetare precesionale este destul de compactă şi asigură raportul de reducere, *i=20000...50000*. Robinetul sferoidal D_y-500 cu turbomotor precesional reactiv cu ejecţie are următoarele caracteristici: diametrul convenţional al conductei – *500 mm*, presiunea convenţională – *8 MPa*; timpul de lucru *10...60 s.;* produsul transportat prin conductă – gaz natural neagresiv; presiunea produsului transportat – *1,5...8 MPa*; raportul de transmitere a mecanismului de acţionare - *20000*; momentul de torsiune maximal la arborele robinetului sferoidal – *30000 Nm*; masa totală - *2150 kg*; masa turbomotorului precesional cu ejecţie – *315 kg*. Rulmenţii şi angrenajele turbomotorului se lubrifiază cu unsoare consistentă. Seria „*zero*” a fost executată la uzina *Compressormash* or. Sumy, Ucraina (fig. 3, *b,c*). Proiectarea a fost realizată în Universitatea Tehnică a Moldovei.

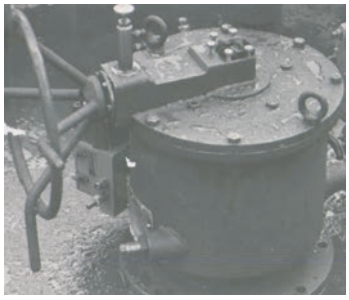


a)

Caracteristica tehnică:

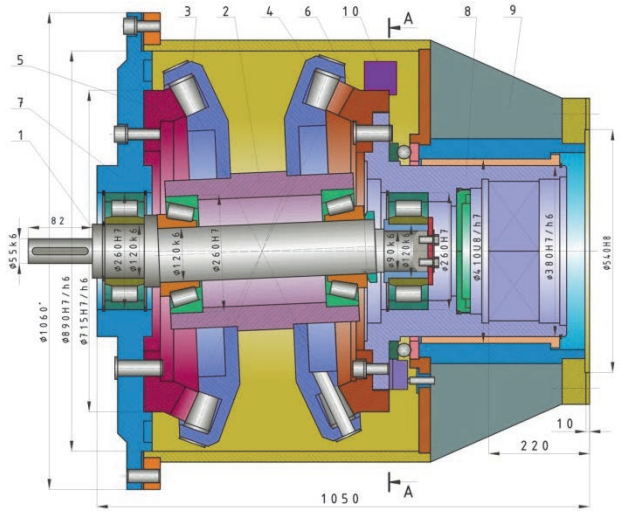
- **Momentul de torsiune, Nm -30000;**
- **Raportul de transmitere -20000;**
- **Randamentul - 0,6.**

b)



c)

Fig. 3. Turbomotor precesional reactiv cu ejecție a armăturii pentru magistrale de gaz.



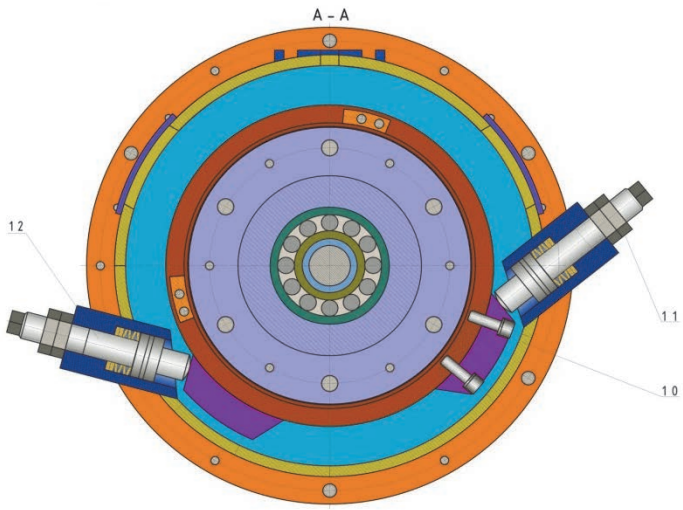


Fig. 4. Reductor precesional 2K-H al turbomotorului armăturii conductei magistrale de gaz:
T = 360000 Nm; *i = -624.*

Turbomotoare precesionale ale armăturii pentru magistrale (elaborate la solicitarea Companiei GAZPROM, Rusia). În baza unui contract de cercetare încheiat cu GAZPROM, Rusia, la Universitatea Tehnică a Moldovei au fost elaborate şi proiectate şase tipodimensiuni de turbomotoare precesionale ale armăturii pentru conducte magistrale de gaz. Complectele de documentaţie tehnică au fost transmise întreprinderii *„Turbinnyi zavod”* din or. Kaluga, Rusia. Turbomotorul cu ejecţie, elaborat de această întreprindere funcţionează în baza presiunii gazului din conductă şi dezvolta o turaţie de *100000 min*$^{-1}$ care, cu ajutorul unui reductor cu roţi dinţate cilindrice şi a unui reductor precesional, urma să fie redusă până la 1/3 turaţie la arborele condus legat cu elementul de închidere-deschidere a armăturii.

Pentru producerea unei serii de astfel de turbomotoare la întreprinderea *„Turbinnyi zavod”* din or. Kaluga, Rusia a fost încheiat un contract de licenţă pentru transmiterea tehnologiei de fabricare a roţilor dinţate cu profil nestandard al dinţilor. Deoarece comanditarul a încălcat condiţiile contractului de licenţă, acesta a fost reziliat.

Reductoarele precesionale au următoarele caracteristici:

T=85000 Nm; i = -624; T=100000 Nm; *i = -624;*
T=150000 Nm; *i = -624; T=185000 Nm*; *i = -624;*
T=225000 Nm; *i = -624; T=360000 Nm*; *i = -624.*

Reductorul precesional al armăturii gazoductului (fig. 4, a,b, *T=360000 Nm*; *i = -624*) include arborele-manivelă 1, legat cu arborele ultimei trepte a reductorului cilindric, pe care este instalat blocul-satelit 2 cu coroanele cu role 3 şi, respectiv, 4. Ultimele angrenează cu roţile dinţate centrale fixă 5 şi mobilă 6, legate respectiv cu capacul 7 şi arborele conducător 8, amplasat în carcasa 9. Pe suprafaţa cilindrică exterioară a roţii dinţate centrale mobile 6 este fixat rigid opritorul 10, iar în carcasă sunt fixate două limitatoare 11 şi 12, amplasate sub un unghi de 120^{o}. Tijele limitatoarelor de rotaţie 11 şi 12 sunt arcuite în direcţie axială, fapt ce asigură amortizarea sarcinilor de şoc, care pot să apară în armătură.

La alimentarea turbomotorului cu gaz cu presiunea din magistrală roata de lucru a turbomotorului efectuează o mişcare de rotaţie cu turaţia de *n=100000 min*$^{-1}$. După reducerea prealabilă în reductorul cu roţi dinţate cilindrice, mişcarea redusă se transmite arborelui-manivelă 1. Mişcarea de rotaţie a arborelui-manivelă 1 se transformă în mişcare precesională a blocului-satelit 2, coroanele cu role 3 şi 4 ale căruia angrenează cu roata centrală fixă 5 şi, respectiv, mobilă 6. În rezultat arborele condu, iar împreună cu el şi elementul de închidere-deschidere se va roti cu raportul de transmitere:

$$i = \frac{Z_3 Z_6}{Z_5 Z_4 - Z_3 Z_6} \qquad (2)$$

În continuare principiul de funcţionare al reductorului precesional este similar celor precedente. În fig.3 este redată o altă tipodimensiune a turbomotorului precesional cu parametrii tehnici: *T=360000 Nm*; *i = -624.*

5. CONCLUZII

Transmisiile planetare precesionale posedă o serie de avantaje precum:

- **capacitate portantă înaltă,** asigurată de angrenajul precesional multipar, din care derivă masa şi dimensiunile reduse, compacitate, consum redus de materiale – avantaj important pentru transmisii de putere cu destinaţie generală şi specială;
- **diapazon cinematic extins,** cu asigurarea reducerii mişcării de la *i =± 10* până la *i = 3600* într-o singură treaptă – avantaj definitoriu pentru transmisiile de putere şi cele cinematice, în special, pentru mecanismele de acţionare a tehnicii cu destinaţie specială etc.;
- **multiplicitate absolută a angrenării dinţilor** (*ε = 100%*), din care rezultă precizie cinematică înaltă (*φ = 30÷40* sec. unghiulare), emisie de zgomot şi vibraţii redusă – avantaj important pentru tehnica cosmică de zbor, roboţi, manipulatoare, industria de automobile, utilaj tehnologic, tehnică cu destinaţie specială etc.;

Avantajele transmisiilor planetare precesionale în sistemele de acţionare a pompei submersibile pentru pomparea uleiului de la adâncimi mari şi la acţionarea armăturii conductelor de gaz sunt incontestabile. Datorită acestui efect funcţional neîntâlnit la alte transmisii mecanice, transmisiile planetare precesionale nu au analogi competitivi printre transmisiile clasice, cunoscute la scară mondială.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bostan I., Dulgheru V. ș.a. *Antologia invențiilor: transmisii Planetare Precesionale,Vol.2* – Ed. „Bons Offices”, Chișinău, 2011, 542 ex. ISBN 978-9975-80-283-3.

[2] Bostan I., V. Dulgheru, V. Odainâi. NB 2177 (MD), CIB F 16 H 1/ 32. Reductor precesional /, UTM. - Nr. 2001 – 0112; Decl. 15.03.2001; Publ. BOPI - 2003. – Nr. 5.

[3] Bostan I., V. Dulgheru, N. Trifan. NB 2081 (MD), CIB F 16 H 31/ 06. Mecanism de acţionare a armaturii (variante) / UTM. - Nr. 2001 – 0092; Decl. 04.04.2001; Publ. BOPI, 2003. – Nr. 1.

[4] Bostan I., Dulgheru V. CA 1807278 (SU), CIB 5 F 16 K 31/53. *Privod armatury* / Inst. Politeh. din Chișinău. - Nr. 4923214/29; Decl. 12. 02. 92; Publ. B.I. - 1993. - Nr. 19.

PRINCIPIUL DE FORAJ ÎN TUFĂ PENTRU INSTALAŢII STAŢIONARE CU DEPLASARE ÎN PAŞI

ing. Sebastian TUDOR[1], dr. ing. Georgiana MARIN[1], dr. ing. Georgeta STOIANOVICI[1], dr.ing. Cristinel BĂLAN[1]

[1]Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică INCDIE ICPE – CA, Splaiul Unirii nr. 313, Bucureşti, România

REZUMAT. Eficienţa energetică este un obiectiv prioritar al strategiei de cercetare. În mod special, eficienţa energetică a echipamentului de foraj-extracţie este o problemă de mare relevanţă, scăderea consumului de energie în extracţia ţiţeiului fiind printre obiectivele strategiei de cercetare în domeniul echipamentelor petrolifere. Obiectivul general al acestui proiect este de a implementa tehnici de găurire a forajelor cu trecerea pas cu pas a instalaţiei de foraj staţionare complet asamblate şi de a realiza, ca studiu de caz, un proiect tehnic pentru instalaţia de foraj F 320 DEA / EA. Tema face parte din strategia de cercetare şi dezvoltare a echipamentelor moderne, în direcţia exploatării resurselor naturale în domeniul siguranţei şi protecţiei mediului.

Cuvinte cheie: platformă de foraj, echipament de foraj, mast, substructură mast, ţiţei.

ABSTRACT. Energy efficiency is a priority objective of the research strategy. Particularly, the energy efficiency of the drilling-extraction equipment is an issue of high relevance, the decreasing of energy consumption in crude oil extraction being among the objectives of the research strategy in the oilfield equipment. The overall objective of this project is to implement borehole-drilling techniques with the step-by-step movement of the fully assembled stationary drilling installation and to carry out, as a case study, a technical project for the F 320 DEA / EA borehole drilling rig. The theme is part of the research and development strategy of modern equipment, in the direction of exploiting natural resources in safety and environmental protection.

Keywords: Drilling rig, rig walking system, drilling equipment, mast, mast substructure and oil.

1. INTRODUCERE

Instalaţiile de foraj petrolier sunt ansambluri complexe destinate în principal străpungerii controlate a straturilor terestre sub care sunt acumulate rezervele de hidrocarburi. Un obiectiv secundar al acestor instalaţii este cel de intervenţie şi reparaţie a sondelor.

Solicitările mecanice care se produc în timpul săpării puţurilor sunt deosebit de mari, datorită atât rezistenţei straturilor de pământ şi roci dure, cât şi datorită lungimii coloanelor de ţevi de foraj/ burlane de tubaj. Instalaţiile de foraj trebuie să asigure dinamicitatea procesului tehnologic şi valori ridicate ale indicatorilor de durabilitate/ fiabilitate.

Instalaţiile de foraj, in principiu, sunt compuse din:

- grupul energetic, format din motoare termice (Diesel) sau electrice de mare putere;
- grupul de transmisie a puterii de la motoarele termice la echipamentul tehnologic (ansamblul format din grupul energetic şi transmisia constituie grupul motopropulsor al instalaţiilor de foraj);
- sistemul mecanic al instalaţiei de foraj, incluzând:
  - dispozitivul de ridicare (trolii, scripeţi, cabluri);
  - echipamentul rotativ (masa rotativă, coloana de foraj, sapa de foraj);
  - ansamblul de conducte (ţevi) mobile şi fixe (burlane cimentate în secţiunile proaspăt forate);
  - sistemul de circulaţie a fluidului de foraj – amestec destinat fluidizării şi eliminării stratului forat de sapă;
  - turla - structura metalică de susţinere a echipamentului de foraj.

După locul de amplasare, instalaţiile de foraj se clasifică astfel:

- onshore (pe uscat) – instalaţii de foraj fixe, instalaţii de foraj transportabile. În figura 1 este prezentată instalaţia de foraj onshore.
- offshore (pe mare) – platforme de foraj fixe (fixed platforms), autoridicătoare (jack-up), platforme submersibile (submersible rig), vase de foraj (drill ship) etc. Acestea sunt prezentate în figura 2.

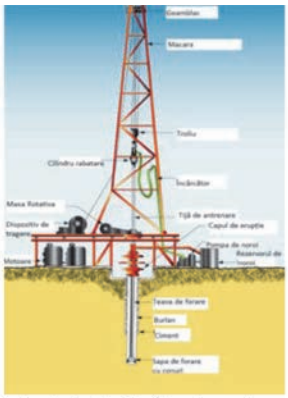


Fig. 1. Instalaţia de foraj onshore.

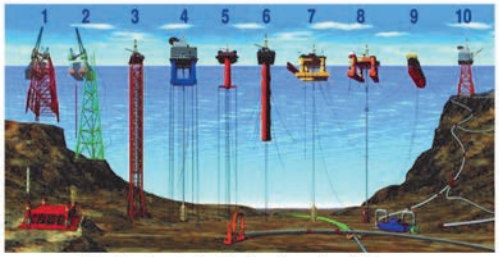


Fig. 2. Instalaţii de foraj offshore.

În mod uzual, în practica românească, deplasarea instalaţiilor de pe o locaţie pe alta se realizează prin demontarea întregii instalaţii, în unele cazuri putându-se ajunge şi până la 30 colete, ceea ce înseamnă timp pierdut şi costuri mari pentru mutare. Totodată, sunt lucrări de foraj care necesită mutarea/ deplasarea instalaţiei pe distanţe relativ scurte (de aproximativ 45 m). În acest caz, devine util şi economic în acelaşi timp, utilizarea cricurilor hidraulice pentru mutarea instalaţiei în stare complet asamblată.

Şi în trecut au existat preocupări în direcţia simplificării acestor operaţii, preocupări materializate în proiecte de modernizare a instalaţiilor de foraj de concepţie românească, pe locaţiile de foraj existente. Modernizările au avut în principal în vedere micşorarea numărului de colete de transportat de pe o locaţie pe alta. Astfel, s-au "comasat" anumite subansambluri: spre exemplu, sania longitudinală, stâlpul cadru faţă, stâlpul capră spate şi o treime din podul sondei au format un singur colet, care, în trecut, în mod tradiţional formau 4 (patru) colete.

Alte modernizări au condus la dezvoltarea unei instalaţii de forat în tufă, la care deplasarea întregii instalaţii se face pe şine. Dar acest sistem, pentru a fi economic, presupune forarea mai multor găuri de sondă numai în linie; altfel, presupune costuri suplimentare pentru amenajarea terenului, costuri pentru realizarea căii de rulare etc.

În concluzie, pentru deplasarea/ forarea pe distanţe relative scurte (de aproximativ 45 m) devine utilă folosirea cricurilor hidraulice la instalaţiile de foraj existente. Aceste deziderate au devenit în timp, obiective pentru colectivul implicat în proiectarea acestor tipuri de instalaţii.

Economia de timp presupune în primul rând simplificarea operaţiilor de montare-demontare şi deplasare al instalaţiilor de la o locaţie la alta. Astfel, pe plan mondial, instalaţiile au fost modernizate în această direcţie, conceptul "foraj în tufă cu deplasare în paşi" devenind un obiectiv important pentru producătorii de instalaţii. Fiecare producător şi-a adaptat echipamentele componente ale instalaţiilor astfel încât să se poată integra acest concept.

Intensificarea concurenţei şi mondializarea pieţelor din industria de extracţie a petrolului şi gazelor naturale au dus atât la creşterea exigenţei clienţilor cât şi la creşterea exigenţei societăţii privind scăderea costurilor, economia de timp şi protecţia vieţii şi mediului înconjurător. În aceste condiţii reuşesc să supravieţuiască acele organizaţii care se pot adapta rapid la cerinţele în continuă schimbare, oferind produse şi servicii de calitate la preţuri avantajoase.

În acest context colectivul de lucru propune un proiect al cărui obiectiv general este implementarea tehnicilor de foraj în tufă cu deplasarea în paşi a instalaţiei de foraj staţionare complet montată şi realizarea, ca studiu de caz, a unui proiect tehnic pentru instalaţia de foraj în tufă F320 DEA/ EA, instalaţie de concepţie românească.

Tema se încadrează în strategia de cercetare-dezvoltare-proiectare de echipamente moderne a departamentului, în direcţia valorificării resurselor naturale în condiţii de securitate şi protecţia mediului.

O instalaţie de foraj găuri multiple (în tufă) transportabilă în bloc cu sisteme hidraulice speciale de ridicare şi deplasare F 320 EA/ DEA poate fora sonde de ţiţei şi gaze până la adâncimea de 5000 m sau în limita sarcinii maxime la cârlig de 3200 kN. Instalaţia se poate utiliza în regiuni cu temperaturi pentru funcţionarea echipamentelor cuprinse între -45°C...+50°C şi corespunde normelor de siguranţă din industria de petrol şi gaze în vigoare.

Pentru deplasare, in locatie, se plasează pe sol, pe direcţia de deplasare, panouri speciale care să reziste la greutatea sarcinii deplasate cu sistemul hidraulic de deplasare în paşi. Presiunea maximă de descărcare la sol sub plăcile de aşezare, cu instalaţia complet montată şi cu paşii de prăjini depozitaţi la podul podar, este de aproximativ 2 daN/cm^2.

Deplasarea de la o gaură forată la alta se poate face cu ajutorul mecanismelor de deplasare, care includ un cric hidraulic şi doi cilindri hidraulici pentru deplasare. Durata efectivă de deplasare între doua găuri succesiv forate în limitele unei distanţe de peste 40 m este de cîteva ore în condiţii normale de lucru şi fără întreruperi accidentale.

Tipul de acţionare este electrică de curent alternativ (c.a.), frecvenţă reglabilă cu sistem numeric de comandă. Alimentarea instalaţiei cu energie electrică poate fi realizată combinat de la reţelele electrice centrale, sau de la staţiile diesel electrice proprii.

Ţintele propuse prin implementarea proiectului sunt:

- implementarea principiului de foraj în tufă cu

deplasarea instalaţiei de foraj complet montate pas cu pas bloc cu sisteme hidraulice speciale de ridicare şi deplasare;
- adaptarea echipamentelor mast şi substructură la geometria sistemelor de deplasare ale instalaţiei de foraj complet montate pas cu pas;
- evoluţia metodelor de foraj şi folosirea de tehnologii avansate care să ducă la creşterea eficienţei pentru producătorii de petrol şi gaze naturale.

2. METODE DE CALCUL

2.1. Materiale

Toate materialele folosite pentru executarea pieselor componente trebuie să fie cele prescrise în desenele de execuţie şi trebuie să corespundă standardelor în vigoare sau altor norme indicate în documentaţia de execuţie.

Materialele trebuie să fie însoţite de certificatele de calitate eliberate de către furnizor. Certificatele de calitate vor garanta compoziţia chimică, caracteristicile mecanice, dimensiunile, abaterile limită, tratamentele termice prevăzute în standardele de produs sau ale altor norme indicate în documentaţia de execuţie sau în caietul de sarcini, şi energia de rupere KV la -45ºC mai mare de 27 J.

Pentru toate elementele portante ale structurii de rezistenţă a instalaţiei F320 EA/ DEA sunt folosite oţeluri calmate conform desenelor de execuţie, capabile să lucreze în condiţii de temperatură minimă până la -45^0 C şi transport şi depozitare până la -60^0 C.

Utilizarea altor mărci de oţel sau altor dimensiuni de table, profile, ţevi decât cele indicate în documentaţia de execuţie se admite numai cu acordul prealabil al proiectantului.

În cazul materialelor care se sudează sau se tratează termic, este necesar ca înlocuitorul să corespundă caracteristicilor respective de rezistenţă, sudabilitate şi tratament termic.

Buletinele de încercări rezultate în urma unor probe efectuate trebuie să confirme că oţelurile utilizate la execuţia bolţurilor, laminatelor, pieselor forjate au compoziţia chimică şi caracteristicile mecanice egale sau superioare celor indicate in documentaţia de execuţie.

Condiţiile şi probele la care trebuie să corespundă laminatele şi tablele utilizate la structura de rezistenţă a substructurii sunt:

- condiţii tehnice generale de calitate;
- controlul aspectului exterior, al rectilinităţii şi lungimii (conform standard pe laminat);
- verificarea grosimii;
- încercarea la îndoire;
- încercarea la încovoiere prin şoc pe epruveta Charpy, la bolţurile şi elementele de jontare (limbi şi furci).

Probe care se execută la firma constructoare sau furnizor sunt următoarele:

- analiza chimică: 2 probe pe şarjă, din laminatele care au procentul de carbon la limita inferioară;
- încercări mecanice : 2 probe de tracţiune pe şarjă la aceleaşi laminate la care s-a efectuat analiza chimică.

Cablurile sistemului de rabatere a instalaţiei F320 EA/ DEA vor corespunde prescripţiilor standardelor de produs. Legăturile de capăt se testează la sarcina de 120% din rezistenţa cablului.

Materialele de adaos pentru sudare vor fi în conformitate cu specificaţia producătorului de materiale de adaos. Se admite utilizarea altor tipuri de electrozi de sudură cu condiţia ca proprietăţile chimice şi caracteristicile mecanice să fie în limitele garantate de standardul de produs.

Toate materialele de adaos folosite de uzina constructoare trebuie să fie însoţite de certificatele de calitate. Materialele de adaos, respectiv electrozii pentru sudarea manuală, sârmele şi fluxurile pentru sudarea automată se vor verifica de către firma constructoare dacă sunt corespunzătoare din punct de vedere calitativ şi dacă sunt conforme cu tehnologia de sudură omologată a firmei.

Electrozii înveliţi trebuie să aibă înveliş aderent, rezistent, compact, omogen şi fără defecte care să influenţeze negativ caracteristicile tehnice de sudare.

Suprafaţa sârmei de oţel pentru sudare trebuie să fie netedă, curată, fără fisuri, ţunder, rugină sau ulei.

Electrozii şi fluxurile vor fi păstrate şi manipulate uscate în cuptoare speciale de uscat şi folosite conform indicaţiilor furnizorului. Producătorul va prezenta o procedură scrisă pentru depozitarea şi controlul materialelor de adaos. De asemenea, electrozii bazici uscaţi în cuptoare vor fi menţinuţi uscaţi şi calzi, în "cutii termoizolante" speciale.

2.2. Metoda de calcul

În economia globală actuală, în orice industrie, inclusiv în domeniul proiectării, construcţiei, exploatării şi expertizării tehnice a instalaţiilor de foraj, orice calcul de dimensionare şi verificare din punct de vedere al rezistenţei materialelor se face exclusiv prin metodele Analizei cu Element Finit (FEA); inginerii din orice industrie integrează Analiza cu Element Finit în ciclul de proiectare, pentru a se asigura că produsul obţinut este mai sigur, mai eficient, mai ieftin şi iese mai repede pe piaţă.

Un model de Analiză cu Element Finit permite o reprezentare discretă a modelului continuu fizic care este analizat. Această reprezentare este creată utilizând noduri, care sunt conectate împreună pentru a forma elemente. Pentru aceste noduri sunt scrise şi rezolvate următorul sistem de ecuaţii de mişcare (sub formă matriceală, folosind metoda deplasărilor – Ecuaţia 1):

$$M \cdot X + B \cdot V + R \cdot A = F(t) \qquad (1)$$

unde:

F(t) - vectorul forţelor perturbatoare;
M - matricea maselor reduse;
B - matricea coeficienţilor de amortizare;

R - matricea coeficienţilor de rigiditate;

X - vectorul parametrilor de oscilaţie (rotiri şi deplasări liniare);

V - vectorul vitezelor;

A - vectorul acceleraţiilor.

Analiza lineară statică cu element finit reprezintă cel mai elementar tip de analiză cu element finit; termenul "linear" înseamnă că răspunsul calculat este linear în raport cu forţă aplicată, termenul "static" arată că forţele nu variază cu timpul. Ecuaţia de mişcare a Analizei Statice (Ecuaţia 2) este:

$$[K]^{*}\{U\}=\{f\} \qquad (2)$$

unde:

K - matricea de rigiditate;

U - vectorul deplasărilor care este calculat;

F - vectorul forţelor aplicate.

Ecuaţia de mişcare a analizei statice utilizează deplasările pentru calcularea forţelor rezultante, a forţelor de reacţiune şi a tensiunilor.

În urma analizei cu element finit a mastului MU 320 se obţin reacţiunile (3 Forţe de reacţiune şi 3 Momente de reacţiune) pentru fiecare nod de fixare al mastului MU 320 (3 noduri de fixare pe picior).

Cazul de încărcare pentru substructura F320 va fi constituit de combinaţia de încărcări C2, realizată prin introducerea reacţiunilor obţinute la combinaţia de încărcări C1 asupra mastului, cu semn schimbat, pe fiecare din cele 6 noduri de fixare ale mastului ale caprelor mast ale substructurii (3 noduri de fixare pentru fiecare capră mast).

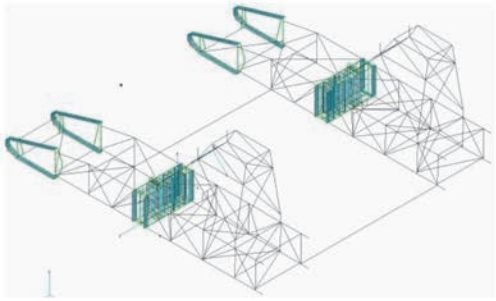


Fig.3. Modelarea substructurii F320.

Se va modela cu element finit structura de rezistenţă a substructurii F320 (figura 3) în cazul de încărcare C2, se vor introduce încărcările elementare şi se vor face combinaţiile de încărcări elementare care acţionează asupra structurii.

În urma analizei statice cu element finit se obţin deformaţiile maxime în nodurile structurii şi eforturile unitare maxime în elementele structurii.

În cadrul calculului de flambaj local, pentru elementele susceptibile la flambaj (diagonale) se verifică dacă:

$$\sigma_{Echivalentaflambaj}=\frac{\sigma_N}{\varphi}+\sigma_{Ms}+\sigma_{Mt}\le 1{,}1\cdot R \qquad (3)$$

unde:

σ_N - Efortul de compresiune în element [daN/cm^2], preluată din datele de ieşire program analiză cu element finit;

σ_{Ms} = efortul dat de momentul de încovoiere după direcţia "s", perpendiculară pe axa longitudinală a elementului, [daN/cm^2], preluată din datele de ieşire;

σ_{Mt} = efortul dat de momentul de încovoiere după direcţia "t", perpendiculară pe axa longitudinală a elementului, [daN/cm^2], direcţia "t" este perpendiculară pe direcţia "s", preluată din datele de ieşire;

$\frac{\sigma_N}{\varphi}$ = efortul de compresiune mărit cu coeficientul de flambaj;

R= rezistenţa de calcul.

Din STAS 10108 /0-78, avem următoarele rezistenţe admisibile pentru materialele substructurii F320:

-oţelul S355J2, R = 3300 daN/cm^2 ;

-oţelul S235J2, R = 2180 daN/cm^2 ;

-oţelul E315 (fost OLT45), R = 2930 daN/cm^2

Pentru calculul de analiză cu element finit s-a folosit Programul de Analiză cu Element Finit MSC Visual NASTRAN for Windows 2003.

Etapele de calcul cu analiza statică cu element finit a substructurii F320 folosind programul specializat MSC Visual Nastran for Windows 2003 sunt:

a) Alegerea setului de unităţi de măsură folosit;

b) Alegerea proprietăţilor de material;

c) Modelarea geometrica a structurii de rezistenţă;

d) Modelarea cu element finit a structurii de rezistenţă;

e)Introducerea rezemării structurii de rezistenţă;

f) Introducerea încărcărilor elementare şi stabilirea combinaţiilor de încărcări;

g) Realizarea analizei statice cu element finit;

h) Obţinerea rezultatelor analizei statice cu element finit şi anume a deformaţiilor maxime şi a eforturilor unitare maxime, pe combinaţii de încărcări, interpretarea rezultatelor;

i) Obţinerea reacţiunilor pentru structura calculată;

j) Concluzii la analiza statică cu element finit a structurii de rezistenţă.

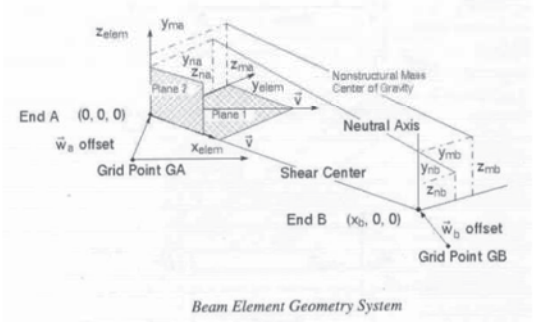


Fig. 4. Coordonatele MSC Nastran.

În figura 4 este prezentat sistemul de axe de coordonate al programului MSC Nastran for Windows pentru elementul tip grindă Beam3D.

3. REZULTATE

În această lucrare a fost studiată implementarea tehnicilor de foraj în tufă cu deplasarea în paşi a instalaţiei de foraj staţionare F320 EA/ DEA cu substructura şi mastul complet montate.

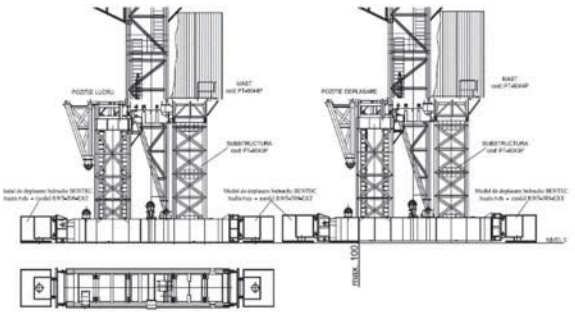


Fig. 5. Instalaţia F320 EA/ DEA în poziţie de lucru şi în poziţie de deplasare.

Instalaţia de foraj F320 EA/ DEA propusă pentru deplasarea pas cu pas cu ajutorul a 4 (patru) module de deplasare hidraulice plasate în colţurile săniilor substructurii (figura 5) este destinată pentru forajul găurilor multiple de pe aceeaşi locaţie, fiind concepută pentru deplasarea de la o gaură la alta în stare complet asamblată cu mastul şi substructura indiferent de direcţie. Modulele de deplasare hidraulice folosite pentru deplasarea instalaţiei sunt compuse dintr-un cric hidraulic, care are rolul de ridicare a instalaţiei la o înălţime de cca. 5 in (127mm) şi doi cilindri hidraulici orizontali care au rolul de a deplasa ansamblul substructurii în direcţiile dorite. Deplasarea se va asigura prin intermediul rolelor Hilman.

4. DISCUŢII

Instalaţiile de foraj în tufă cu deplasare în paşi sunt destinate pentru forajul găurilor multiple de pe aceeaşi locaţie, fiind concepute pentru deplasarea, indiferent de direcţie, de la o gaură de sondă la alta, în stare complet asamblată cu mastul, substructura şi prăjinile de foraj pe podul sondei. Caracteristicile geografice ale zonei de foraj trebuie să se prezinte cu pantă de maxim 6º.

Evoluţia metodelor de foraj şi tehnologiile avansate sunt cele care duc la creşterea eficienţei pentru producătorii de petrol şi gaze naturale. De exemplu, tehnicile de foraj în tufă, cu deplasarea instalaţiei montate în poziţia de lucru, permit operatorilor să execute puţuri de foraj mai eficient, deoarece imbunătăţirea mobilităţii, fără demontarea şi remontarea instalaţiei pe o altă locaţie, reduce timpul necesar pentru a trece de la o locaţie la alta şi în acelaşi timp se reduce amprenta de ansamblu pe suprafaţă.

Un pad de foraj este o locaţie care găzduieşte gurile de puţuri pentru un număr de 5 până la 10 puţuri forate pe o suprafaţă limitată. Beneficiul este faptul că operatorii pot săpa mai multe sonde într-un timp mai scurt decât s-ar putea doar cu o instalaţie de foraj staţionară nedeplasabilă, cu o scădere considerabilă a costurilor pentru montarea şi demontarea instalaţiei, deplasarea componentelor şi montarea pe o altă locaţie.

Astăzi, un strat de foraj poate avea cinci până la zece sonde sau chiar mai multe, care sunt forate în direcţii diferite, distanţate destul de aproape una de alta la suprafaţă. După o operaţiune de forare, platforma complet asamblată poate fi ridicată şi mutată pe următoarea locaţie cu sisteme hidraulice speciale de ridicare şi deplasare.

Instalaţia de foraj în tufă pe locaţia de foraj, este acţionată cu motoare electrice de curent alternativ şi poate efectua următoarele operaţii:

- forajul convenţional cu masă rotativă sau „TOP DRIVE" al găurilor de sondă multiple, de pe aceeaşi locaţie;
- deplasarea ansamblului instalaţiei pe locaţia de foraj, distanţa între găurile forate fiind de peste 40m;
- manevrarea (introducerea/ coborârea) coloanei de burlane şi a garniturii de prăjini cu dispozitive moderne de mecanizare;
- înlăturarea complicaţiilor şi avariilor la sonde;
- prepararea, curăţirea şi circulaţia noroiului de foraj;
- execuţia lucrărilor auxiliare în procesul de foraj şi la tubarea sondelor, cimentare etc.

Instalaţia corespunde normelor de siguranţă din industria de petrol şi gaze în vigoare şi este proiectată conform API 4F, ediţia a -IV- a 2013, „Specification for Drilling and Well Servicing Structures" [5].

Distanţa dintre două găuri forate succesiv poate să fie de la 5 m la 40 m sau mai mult, iar numărul de găuri forate unidirecţional nu este limitat decât de perimetrul locaţiei amenajate şi de geografia terenului. Se precizează că deplasarea de la o gaură la alta nu se poate face decât pe un teren cu o înclinaţie mai mică de 6º.

Durata efectivă de deplasare între două găuri succesiv forate în limitele unei distanţe maxime de 40 metri este de câteva ore în condiţii normale de lucru şi fără întreruperi accidentale.

Tipul de acţionare al instalaţiei de foraj este electrică de curent alternativ (c.a.). Alimentarea instalaţiei cu energie electrică poate fi realizată combinat de la reţelele electrice centrale, sau de la staţiile diesel electrice proprii. Acţionarea este în curent alternativ (c.a.), frecvenţă reglabilă cu sistem numeric de comandă.

Deplasarea de la o gaură forată la alta, se face cu ajutorul modulelor de deplasare hidraulice (picioare hidraulice), care includ un cric hidraulic şi doi cilindri hidraulici pentru deplasare. Talpa cricului hidraulic se

deplasează pe placa de bază a dispozitivului de deplasare prin intermediul unor role speciale care reduc frecarea. În general pentru aceasta se folosesc role Hilman fabricate în New Jersey, SUA.

Pentru alegerea tipului de module de deplasare hidraulice necesare pentru deplasarea instalaţiei de foraj F320 EA/ DEA s-au stabilit principalele elemente care compun blocul principal al instalaţiei şi s-a făcut calculul greutăţii ce trebuie deplasată cu ajutorul modulelor de deplasare hidraulice pentru instalaţia F320 EA/ DEA de la o locaţie de foraj la alta.

Instalaţia de foraj F320 EA/ DEA propusă pentru deplasarea pas cu pas cu ajutorul a patru module de deplasare hidraulice plasate în colţurile săniilor longitudinale ale substructurii este destinată pentru forajul găurilor multiple de pe aceeaşi locaţie, fiind concepută pentru deplasarea de la o gaură la alta în stare complet asamblată cu mastul şi substructura indiferent de direcţie.

Instalaţia de foraj găuri multiple (în tufă) transportabilă în bloc F320 EA/ DEA poate fora sonde de ţiţei şi gaze până la adâncimea de 5000 m sau în limita sarcinii maxime la cârlig de 3200 kN (320 tf).

Componentele principale ale instalaţiei, care sunt deplasate cu ajutorul modulelor de deplasare hidraulice BENTEC (Stealth Pods), sunt următoarele:

- mast MU-320 realizat din profile deschise, substructură, pod podar, cabina pod podar, cabina de comandă**,** pupitru de comandă centralizat, echipament de manevră şi rotire, modul grup acţionare troliu de foraj şi masă rotativă cu 2 motoare electrice pentru actionare de 850 kW, grup antrenare masă rotativă, masa rotativă MRL-275 (27 ½) acţionată independent de la grupul de acţionare, sistem de comandă de la distanţă (joystick) pentru frâna cu discuri, sistem de comandă de la distanţă (joystick) pentru frâna cu bandă.

- blocul translaţie, care cuprinde în principal: modulul centrală hidrostatică, instalaţia hidrostatică, mecanismele de deplasare şi blocare cu cilindri hidraulici (picioare hidraulice).

- aparatură de măsură şi control – care cuprinde în principal aparatura de măsură, control, monitorizare şi înregistrare pentru toţi parametrii de lucru la foraj.

Greutatea totală pentru deplasarea instalaţiei de foraj F 320 EA/ DEA s-a stabilit că este de 300 tf.

Ţinând seama de eventualele încărcări neuniforme pe suprafaţa instalaţiei complet montate se estimează ca fiecare modul de deplasare hidraulic plasat în colţurile substructurii să poată ridica o sarcină de 300tf, greutatea totală care poate fi ridicată şi mutată fiind de 1200 tf.

În aceste condiţii ne-am orientat pentru folosirea modulelor de deplasare hidraulice (Figura 6) produse de firma germană BENTEC (model RWS-300-EXT). Acest tip de module de deplasare hidraulice poate fi adaptat atât pentru instalaţiile de foraj nou construite cât şi pentru instalaţiile de foraj existente. Sistemul BENTEC are un design fiabil şi robust, fiind uşor de adaptat la orice tip de instalaţie. Sistemul este controlat prin intermediul unei console de control la distanţă şi poate fi acţionat cu unitatea de alimentare hidraulică existentă pe instalaţie sau cu o unitate hidraulică de putere separată, fiind în conformitate cu standardele europene şi internaţionaleîn vigoare.

Fig.6. Picior hidraulic BENTEC (Stealth Pod) [6]

Caracteristicile tehnice ale modulelor de deplasare hidraulice BENTEC (model RWS-300-EXT- fig. 6) sunt următoarele: [6]

- Lungime: 108 in (2733 mm);
- Lăţime: 101 in (2570 mm);
- Înălţime: 72 in (1828 mm);
- Capacitate de ridicare pe unitate: 661387 lbs (300 t);
- Capacitate totală de ridicare: 2645547 lbs (1200t);
- Viteza de deplasare: 46 ft/h (14 m/h);
- Înălţimea de ridicare: 5,9 in (150 mm);
- Lăţimea căii de deplasare: 19,7 in (500 mm);
- Rotaţie: 360º/ 20 de direcţii;

Caracteristicile tehnice generale ale instalaţiei F320 EA/ DEA sunt următoarele:

- sarcina statică maximă admisibilă la cârlig 3200kN (320 tf);
- sarcina normală admisă în lucru cu viteza vântului de 20 m/s - 2000 kN (200 tf);
- sarcina maximă la pernele de prăjini, 2000 kN (200tf);
- capacitatea de ridicare acţionare superioară de forţă, 3200 kN (320 tf);
- adâncimea convenţională de foraj, max. 5000m.

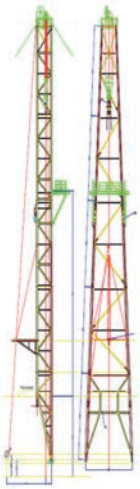


Fig.7. Mastul MU 320 al instalaţiei F320 EA/ DEA

Caracteristicile tehnice ale mastului tip U (figura 7) cu profile deshise sunt următoarele:

- sarcina maximă de lucru la cârlig pe 10 fire – 3200kN (320 tf);
- înalţimea liberă sub grinda geamblacului 46,5m;
- distanţa între picioarele mastului - aprox.9 m;
- capacitatea de stivuire în paşi la pod podar cu prăjini de 5 in - 5000 m;
- lungimea nominală paşi - 27 m;
- ridicare mast cu sistem de role şi cablu (praştie) cu troliul de foraj sau cu dispozitivul de avans automat al sapei şi salvare garnitură de foraj.

Caracteristicile tehnice ale substructurii (fig. 8) sunt următoarele:

- sarcina maxima la grinzile mesei rotative: 3200kN (320 tf);
- sarcina maximă la pernele de prăjini: 2000 kN (200 tf);
- sarcina maximă simultană: 5200 kN;
- distanţa de la sol la podul sondei: 10m;
- distanţa de la sol la grinzile mesei: 8 m;

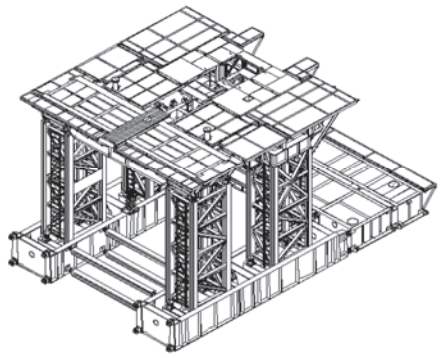


Fig.8. Substructura instalaţiei F320 EA/ DEA.

Sistemul de circulaţie cu habe încălzite include:

- bloc curăţire 1 echipat cu 3 site vibratoare;
- transportor cu şnec (conveilleur) pentru evacuare site;
- bloc curăţire 2, care include instalaţie hidrocicloane 2x 12 in şi 8x4 in cu site;
- două centrifuge cu acţionare reglabilă (debit 30l/s, 3200 rpm);
- degazeificator;
- bloc pregătire şi îngreunare noroi de foraj, deservit cu mecanism de ridicare de 30 kN, care include: habă chimicale 7 m^3, grup amestec şi habă soluţie salină 40 m^3, pompa verticală de şlam pentru pompare noroi de foraj din beciul sondei; haba completare puţ; sistem electronic de control parametri şi nivel noroi de foraj; legături, manifold, încărcător etc.

Instalaţia de foraj transportabilă pentru găuri multiple F 320 EA/ DEA este proiectată pentru funcţionare la următoarele temperaturi:

-pentru funcţionarea echipamentelor: -45ºC ÷ +50ºC;

- pentru depozitare: până la -60ºC.

Echipamentele instalaţiei de foraj corespund „Regulamentului de siguranţă în industria de petrol şi gaze" – PB 08-624-03.

Instalaţia de foraj F 320 EA/ DEA, acţionată electric în c.a. are principalele componente amplasate în blocuri eşalonate, realizate din module amplasate pe şine, pentru deplasarea operativă a instalaţiei complet montată în limitele platformei tufei.

Alimentarea instalaţiei cu energie electrică se poate realiza combinat: de la reţelele electrice centrale sau de la staţiile diesel-electrice proprii. Instalaţia este echipată şi cu un grup electrogen de intervenţie (rezervă).

Pentru pornirea motoarelor cu putere mai mare de 50 kW sunt prevăzute dispozitive de pornire lină (softstartere).

Legăturile între manifoldurile de înaltă şi joasă presiune, cablurile de forţă, liniile pneumatice şi hidraulice sunt efectuate cu legături rapide.

Instalaţia are în componenţă un sistem de acţionare superioară de tip TOP DRIVE, a cărui capacitate de ridicare corespunde capacităţii de ridicare a instalaţiei de foraj.

Încălzirea complexului de foraj se face de la instalaţii de încălzire având ca agent termic aerul cald şi abur supraîncălzit, prin intermediul sistemului de producere abur, SPA 2x2 tone/ oră – 8 bar containerizat.

Componentele principale ale instalaţiei sunt următoarele:

- Blocul translaţie, care cuprinde în principal: modulul centrală hidrostatică, instalaţia hidrostatică, mecanism deplasare şi blocare cu cilindri hidraulici, şine metalice ghidaj şi translaţie, platformă cărucior cu roţi metalice pentru translaţie substructură-mast-troliu, picioare suport sprijin şi susţinere bloc substructură-mast-troliu, platforme cărucior cu roţi metalice pentru translaţie module instalaţie la nivel şine, baza substructură, barăci termoizolante etc.
- Blocul energetic preparare aer şi accesorii, care cuprinde în principal: instalaţia electrică de forţă (acţionare) şi de iluminat, grupurile electrogene principale şi auxiliare, modul grup preparare aer, pupitre electrice de comandă, control şi reglare etc.
- Blocul încălzire, care cuprinde în principal: set producere abur (SPA) containerizat, instalaţiile de încălzire pentru toate modulele de lucru ale instalaţiei de foraj, sistem de legături (abur condens) între SPA şi punctele de încălzire, grup înmagazinare combustibil etc.
- Echipamente ventilaţie, care cuprind în principal instalaţiile de ventilaţie pentru principalele module ale instalaţiei de foraj.
- Blocul mast-troliu, care cuprinde în principal:

• *ansamblul mast-substructură* alcătuit din mast MU-320 realizat din profile deschise, substructură, pod podar, cabina pod podar termoizolantă, modul cabina de comandă, pupitru de comandă centralizat;

- *echipamentul de manevră şi rotire* alcătuit din: modul troliu de foraj TF 38, modul grup acţionare troliu de foraj şi masă rotativă cu 2 motoare electrice pentru actionare de 850 kW, grup antrenare masă rotativă, masa rotativă MRL-275 (27½) acţionată independent de la grupul de acţionare, sistem de comanda de la distanţă (joystick) pentru frâna cu discuri, sistem de comandă de la distanta (joystick) pentru frâna cu bandă, macara cârlig 5-32-MC-400, cap hidraulic CH 400, grup antrenare masă rotativă, masa rotativă MRL-275, echipament pneumatic, echipamente de mecanizare, bloc pompe încălzit.

- Bloc pompe încălzit, care cuprinde două module de pompare: modul pompare I (agregat pompare 3 PN-1600kW acţionat electric) şi modul pompare II (agregat pompare 3 PN-1600kW acţionat electric).

- Sistem de circulaţie cu habe încălzite, care cuprinde în principal: modulele de curăţire a noroiului de foraj, degazeificator, modul habă aspiraţie, modul habă apă, curăţitoare de noroi, modul de preparare, modul habă depozit I, modul habă depozit II, încărcător etc.

- Aparatură de măsură şi control – care cuprinde în principal aparatura de măsură, control, monitorizare şi înregistrare pentru toţi parametrii de lucru la foraj.

- Acţionare superioară de forţă – cuprinde sistemul de acţionare superioară tip TOP DRIVE TDS 11 SA VARCO inclusiv echipamentele electrice de actionare.

În vederea realizării forajului găurilor de sondă multiple (distanţa între găurile forate 5…40 m), blocul de translaţie asigură deplasarea între două găuri a întregului complex al instalaţiei de foraj (blocuri şi module) pe şinele metalice de ghidaj şi translaţie. Excepţie fac: blocul de încălzire, care include două module de încălzire, compensare apă, cisternele de combustibil, habele auxiliare pentru noroi şi pentru apă, rampa de prăjini.

Instalaţia de foraj F 320-EA/ DEA asigură un înalt grad de mecanizare a operaţiilor de lucru, fiind echipată cu dispozitive de mecanizare la nivelul podului sondei, podului podar, la grupul acţionare troliu, beci sondă, la grupurile motopompă etc.

Schema cinematică a instalaţiei de foraj asigură performanţe maxime la manevra materialului tubular (prin intermediul troliului de foraj), la circulaţia fluidului de foraj (prin intermediul pompelor de noroi) şi la rotirea garniturii de foraj (prin intermediul masei rotative), în condiţiile variaţiei continue în limite largi a cuplurilor şi a turaţiilor.

Configuraţia constructivă a instalaţiei de foraj F 320 EA/ DEA (în blocuri mobile), asigură o independenţă totală între agregatele principale, permiţând amplasarea lor în condiţii optime şi montajul rapid în şantier.

Înălţimea mare a podului sondei asigură sub grinzile mesei rotative un spaţiu optim pentru montarea celor mai complexe instalaţii de prevenire a erupţiilor.

Întreaga instalaţie de foraj se poate monta pe elemente prefabricate din beton, aşezate pe teren compact în mod corespunzător.

Instalaţia de foraj transportabilă F 320 EA/ DEA corespunde Normelor din industria de petrol şi gaze în vigoare.

Instalaţia în ansamblu va fi alcătuită din colete care, la transportul până la locaţie, nu vor depăşi greutatea maximă de 300 kN. Excepţie fac coletele pentru troliul de foraj, cele două grupuri motopompă, instalaţia de înmagazinare combustibil cu rezervoarele aferente.

În urma analizării rezultatelor obţinute prin calculul cu element finit a substructurii instalaţiei de foraj F 320 EA/ DEA s-a stabilit că este necesară o rigidizare suplimentară a săniilor substructurii pentru ridicare şi deplasare şi a zonelor în care se ataşează modulele de deplasare hidraulice prin elemente de prindere pentru bolţurile acestor module.

La săniile longitudinale ale substructurii, pentru împiedicarea flambajului şi producerea de torsiuni, sunt necesare întărirea următoarelor elemente:

- lonjeroane: îngroşarea inimii şi a tălpilor;
- placă de capăt;
- nervuri exterioare;
- placă inferioară;
- diafragme.

Ataşarea modulelor de deplasare hidraulice se va face prin suporţii intermediari fixaţi în partea frontală a săniilor longitudinale în furcile existente, prin bolţuri. Sania transversală pe care se află amplasat troliul de foraj.

5. CONCLUZII

Instalaţia de foraj F 320 EA/ DEA propusă pentru deplasarea pas cu pas cu ajutorul a 4 (patru) module de deplasare hidraulice plasate în colţurile săniilor substructurii este destinată pentru forajul găurilor multiple de pe aceeaşi locaţie, fiind concepută pentru deplasarea de la o gaură la alta în stare complet asamblată cu mastul şi substructura indiferent de direcţie.

Modulele de deplasare hidraulice folosite pentru deplasarea instalaţiei sunt compuse dintr-un cric hidraulic, care are rolul de ridicare a instalaţiei la o înălţime de cca. 5 inch (100 mm) şi doi cilindri hidraulici orizontali care au rolul de a deplasa ansamblul substructura în direcţiile dorite. Deplasarea se va asigura prin intermediul rolelor Hilman.

Instalaţia de foraj găuri multiple (în tufă) transportabilă în bloc F320 EA/ DEA poate fora sonde de ţiţei şi gaze până la adâncimea de 5000 m sau în limita sarcinii maxime la cârlig de 3200 kN (320 tf).

Instalaţia corespunde normelor de siguranţă din industria de petrol şi gaze în vigoare.

Distanţa dintre două găuri forate succesiv poate să fie de la 5 la 40 m sau mai mult, iar numărul de găuri forate unidirecţional nu este limitat decât de perimetrul locaţiei amenajate şi de geografia terenului. Se precizează că deplasarea de la o gaură la

alta nu se poate face decât pe un teren cu o înclinaţie mai mică de 6º.

Tehnicile de foraj în tufă, cu deplasarea instalaţiei montate în poziţia de lucru, permit operatorilor să execute puţuri de foraj mai eficient, deoarece imbunătăţirea mobilităţii, fără demontarea şi remontarea instalaţiei pe o altă locaţie, reduce timpul necesar pentru a trece de la o locaţie la alta şi în acelaşi timp se reduce amprenta de ansamblu pe suprafaţă. Astfel, operatorii pot săpa mai multe sonde într-un timp mai scurt decât s-ar putea doar cu o instalaţie de foraj staţionară nedeplasabilă, cu o scădere considerabilă a costurilor pentru montarea şi demontarea instalaţiei, deplasarea componentelor şi montarea pe o altă locaţie.

BIBLIOGRAFIE

[1] SEICEANU, S., JUSTEL, T., *Tehnologia forajului rotativ*, Editura Tehnică, Bucureşti, România, 1974.

[2] Costin, I., *Elemente de calcul utilaj petrolier*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, România, 1986.

[3] Popovici, A., Niculae, G.C., Ene, C.D., *Calculul şi construcţia utilajului pentru forajul sondelor de petrol*, Editura Universităţii din Ploieşti, Ploieşti, România, 2005.

[4] API Specification 5D – Specification for Drill Pipe, Fifth Edition, American Petroleum Institute, Washington D.C., U.S.A., 2002.

[5] API Specification 4F, „ Specification for Drilling and Well Servicing Structures", Fourth Edition, American Petroleum Institute, Washington D.C., USA, 2013.

[6] **** https://www.bentec.com/equipment/mechanical-drilling-rig-equipment/rig-walking-system/.

[7] EN 10025 - *Hot rolled products of structural steels - General technical delivery conditions.*

[8] The MacNeal-Scwendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Basic Analysis, Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003.

[9] The MacNeal-Scwendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Advanced Analysis, Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003.

[10] The MacNeal-Scwendler Corporation, MSC/NASTRAN for Windows, Modeling Examples Manual, Los Angeles, CA, USA, 2003.

[11] PAREPA, S., *Utilaje petroliere,* Editura Universităţii din Ploieşti, Ploieşti, România, 2015.

[12] STAN, M., *Metode avansate de proiectare a utilajului*, Editura Universităţii din Ploieşti, Ploieşti, România, 2005.

[13] NSSM 44 - Norme de securitate a muncii pentru activitatea de extracţie a gazelor naturale.

[14] NACE MR0175/ISO 15156-1:2001(E)- Petroleum and natural gas industries—Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production — Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials.

[15] NACE MR0175/ISO 15156-2:2003(E) - Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production — Part 2: Cracking-resistant carbon and low alloy steels, and the use of cast irons.

[16] **** www.nov.com

[17] **** www.revolutionequipment.ca

[18] **** www.columbiacorp.com/oil-gas/rig-walking-systems

[19] YAGER, D., "Why 'Walking' rigs matter" in: *Daily Oil Bulletin*, Aprilie 2015.

[20] ALI, O.A.E., Kyaw, H., AlRemeithi, A., Elrefai, M., "NDC Rig walking system: Pioneering Initiative Enable Safer Rig Move in the Middle East", SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, 26-28 January, Abu Dhabi, UAE, 2016.

[21] Columbia Industries Llc, *Rig walking system with cantilever-mounted lifting jack assemblies*, inventors: Eldib, N., Csergei, S., Lutz, S., 2014, US patent: 20140262562 A1

[22] Independence Contract Drilling, Inc. *Walking drilling rig*, inventors: Fortson, F., Brown, D., 2016, US patent: 9518429 B2

[23] Canrig Drilling Technology Ltd., Assembled drilling rig moving unit, Fox, R.T., 2017, US patent: 9739098 B2

ELEMENTE DE OPTIMIZARE A PROGRAMULUI DE INSPECTIE AL GARNITURII DE FORAJ

Drd. ing. Dan RĂDĂCINĂ[1], Prof. dr. ing. Napoleon ANTONESCU [2], Prof. dr. ing. Lazăr AVRAM [3]

[1]DOSCO SA, Floresti, Romania [2,3] , UPG Ploiești, România

REZUMAT. În industria extractivă de petrol și gaze există mai multe modalități de alegere a unui program de inspecție pentru garnitura de foraj. Indiferent însă de sursă (Standardele DS 1, API, ISO ș.a.), în linii mari se păstrează aceeași logică în selectarea procesului de inspecție. Așa cum se știe, garnitura de foraj poate fi exploată fie direct de proprietar, fie proprietarul închiriază garnitura de foraj unui contractor de foraj. În ambele cazuri, compania de inspecție este abreviata ca *Third Party*, sau partea independentă. Definirea programului de inspecție, costul inspecției, alegerea corectă a metodelor de inspecție, planificarea și /sau replanificarea inspecțiilor garniturii de foraj sunt elemente esențiale de care trebuie să se țină seama pentru eficientizarea proceselor de foraj, în general, a celor legate de exploatarea garniturii de foraj, în special. Elemente care fac obiectul prezentei lucrări…

Cuvinte cheie: garnitura de foraj, metodă de inspecție, eficientizare, exploatare

ABSTRACT In the oil and gas extraction industry, there are several ways to choose an inspection program for the drill string. Regardless of the source (DS 1, API, ISO, etc.), the same logic is retained in selecting the inspection process. As it is well known, the drill string can be operated directly by the owner, or the owner rents the drill string to a drilling contractor. In both cases, the inspection company is abbreviated as the *Third Party*, or the independent party. Defining the inspection program, the cost of the inspection, the correct choice of inspection methods, the planning and /or re-planning of the drill string inspections a.s.o. are essential elements that must be taken into account for the efficiency of drilling processes, in general, and of those related to the drilling operation, in particular. The approach of these elements represents the subject of this paper.

Keywords: drill string, method of inspection, efficiency, exploitation

1. METODE DE INSPECȚIE

În cea mai mare parte a proiectelor pentru sonde adânci sau speciale, elementele de bază ale garniturii de foraj (prăjini de foraj, prăjini intermediare, prăjini grele) sunt închiriate sub statutul de ”Material nou” sau ”Premium”, ele fiind inspectate chiar înainte de a fi alocate (închiriate) pentru proiect. În timpul și la finalul proiectului, garnitura de foraj este reinspectată în conformitate cu graficul de inspecție.

În practica industrială a forajului există 31 de metode de inspecție consacrate, dintre care cel puțin 30 sunt executate de companii de inspecție specializate și doar unul de către contractorul de foraj. Metodele de inspecție specializate se bazează pe proprietățile și efectele directe și /sau indirecte ale undelor electromagnetice, ultrasonice, radiațiilor gamma, pe efectul câmpurilor magnetice induse și interacțiunea acestora cu diferite tipuri de particule care pot fi (sau nu) iluminate cu lumină de diferite lungimi de undă. Este de la sine înțeles că, pentru realizarea inspecțiilor de acest tip, sunt necesare atât echipamente speciale cât și operatori specializați. Iar inspecțiile, indiferent de tipul lor, sunt efectuate în conformitate cu procedurile standardizate.

Cele 31 de metode de inspecție, conform DS1, ediția 3, sunt următoarele:

- Vizuală: examinarea vizuală a suprafețelor interioare și exterioare, pe toată lungimea tubului);
- Calibrarea diametrului exterior al corpului prăjinii de foraj;
- UT - grosime de perete: grosimea de perete este măsurată pe o circumferință a prăjinii de foraj utilizându-se un dispozitiv de calibrare cu ultrasunete;
- Electromagnetică 1 (FLUT 1: scanarea corpului prăjinii pe lungime, excluzând îngroșările, prin utilizarea unui câmp electromagnetic longitudinal;
- Electromagnetică 2 (FLUT 2): scanarea corpului prăjinii cu ajutorul câmpului magnetic longitudinal și al radiațiilor gamma;
- MPI: zona de împănare și îngroșare, utilizându-se un câmp activ generat de un curent alternativ;
- UT: zona de împănare și îngroșare, utilizându-se fascicule de ultrasunete încrucișate;
- Degajarea elevatorului: măsurarea dimensională a degajării pentru elevator (lungime, adâncime, umerii degajării);
- Vizuală - racorduri speciale: examinarea vizuală a racordurilor speciale: umeri, profilul filetelor, măsurarea deformației mufelor;

- Dimensională 1: șablonarea racordurilor și a prăjinilor de foraj;
- Dimensională 2: șablonarea racordurilor și a prăjinilor de foraj, plus evidențierea defectelor;
- Dimensională 3: calibrarea racordurilor, ansamblului de fund BHA, a prăjinilor intermediare și a îngroșărilor;
- Conexiune la lumina neagră: inspecția materialului tubular cu particule magnetice fluorescente umede, utilizându-se curentul continuu;
- Conexiuni UT: inspecția racordurilor prin citirea ecourilor rezultate din aplicarea unor pulsuri de unde ultrasonice;
- Lichide penetrante: inspecția cu lichide penetrante pentru racorduri non magnetice;
- Inspecția în atelier, pentru geale;
- Inspecția prăjinii de antrenare;
- Inspecția în atelier, pentru sistemele MWD și LWD;
- Inspecția în atelier a motoarelor de fund;
- Inspecția în atelier a stabilizatorilor, lărgitorilor și a dispozitivelor echivalente;
- Inspecția stabilizatorilor;
- Inspecția reducțiilor;
- Inspecția în atelier a robinetelor, canelelor de siguranță și a prevenitoarelor pe prăjini;
- Inspecția în șantier a sculelor speciale;
- Inspecția în atelier a sculelor de instrumentație;
- Particule magnetice reziduale: particule fluide umede fluorescente, sau particule vizibile uscate;
- Inspecția ultrasonică pe întreaga lungime - nivel 1: inspecția pe toată lungimea, utilizându-se unde ultrasonore încrucișate longitudinal și unde compresive;
- Inspecția ultrasonică pe întreaga lungime - nivel 2: inspecția pe lungimea totală utilizându-se unde ultrasonore încrucișate longitudinal, transversal și oblic, respectiv unde compresive;
- Refiletarea, recalibrarea și marcarea conexiunilor;
- Urmărirea traseului: verificarea istoriei și traseului fiecărui component în parte;
- Inspecția la sonda în marș: inspecția dimensională a racordurilor și a grosimii de perete aferente corpului prăjinii.

2. PROGRAMUL DE INSPECȚIE ȘI COSTUL INSPECȚIEI GARNITURII DE FORAJ

Pentru a defini un Program de inspecție pentru garnitura de foraj, sunt necesare a se defini și aplica cel puțin următoarele patru elemente: lista de echipamente care trebuie inspectate, inclusiv caracteristicile și descrierea fiecărui element; metodele de inspecție care vor fi utilizate pentru fiecare componente sau, mai precis, categoria de inspecție dorită; criteriile de acceptanță ale fiecărui element inspectat (acestea pot fi specifice conform cerințelor de proiectare particulare, sau pot fi integrate, în cazul prăjinilor de foraj, pe clase); frecvența de inspecție dorită.

Un element esențial legat atât de programul de inspecție al garniturii de foraj cât și de costul acesteia, îl reprezintă încadrarea într-una din cele șase categorii de inspecție.

Categoria 1 se aplică la sondele de rutină, simple, de mică adâncime, în zone de dezvoltare cunoscute. În cazul unei avarii la garnitura de foraj costurile sunt minime, astfel că, în acest caz, costul unei inspecții de categorie superioară nu este justificat.

Categoria 2 se aplică la sondele la care condițiile de foraj sunt de rutină, iar riscul de apariție al avariilor este redus; cu alte cuvinte, un program minim de inspecție este suficient.

Categoria 3 se aplică la sondele de medie adâncime, cu dificultăți medii de foraj, unde un program standard de inspecție este absolut necesar. În cazul unei avarii, riscul de a avea costuri mari pentru lucrările de instrumentație este minim. O inspecție de categoria 3 este standard pentru sondele din grupul 2 de proiectare (cf. DS1, Ediția 3).

Categoria 4 se aplică la sondele mai dificile decât pentru cele aferente categoriei 3. Cu alte cuvinte, lucrările de instrumentație pot deveni destul de scumpe dacă apare o avarie a garniturii de foraj.

Categoria 5 se aplică la sondele mai dificile decât pentru cele aferente categoriei 4.

Categoria HDLS se aplică sondelor de foarte mare risc, săpate în zone cu ape foarte adânci. Standardul DS1, ediția 3, stabilește pentru această clasă de inspecție, sondele la care greutatea garniturii de foraj imersată în fluidul de foraj depășește cu 70 % sarcina axială admisibilă (când se folosesc pene de foraj) și 90 % în cazul în care se utilizează tehnologii fără pene de foraj.

Așa cum putem constata din punct de vedere practic, metodele de inspecție folosesc tehnologii speciale, iar metodele grupate pe categorii de inspecții, pot ajunge la valori destul de mari. De aceea este deosebit de important ca utilizatorul garniturii de foraj să ia în considerare și aceste costuri atunci când elaborează bugetul aferent operațiunilor.

Comparativ, în conformitate cu standardele DS1, raportul de costuri pe categorii de inspecții este în concordanță cu datele din tabelul 1

Tabelul 1 **– Costuri pe categorii de inspecții**

Categoria de inspecție	Rația costului
Categoria 1	0,25
Categoria 2	0,5
Categoria 3	1
Categoria 4	1,3
Categoria 5	2
Categoria HDLS	6

3. CONSIDERAȚII PRIVIND PLANIFICAREA ȘI REPLANIFICAREA INSPECȚIILOR GARNITURII DE FORAJ

Pornindu-se de la premisa că prăjinile sunt noi sau din categoria Premium, ori că ultima inspecție a fost executată corect, atunci criteriile care definesc data următoarei inspecții, derivă din acumularea solicitării la oboseală și din acumularea uzurii dimensionale efective.

Acumularea solicitării la oboseală se manifestă prin acumularea punctelor de uzură la oboseală apărute în timp, la nivelul corpului prăjinilor de foraj. Valoarea

acumulării acestor puncte va determina intervalul de timp la care va avea loc următoarea inspecție.

Trebuie de subliniat, din capul locului, că solicitarea la oboseală este mult mai accentuată în cazul sondelor direcționale sau orizontale, în special de la punctul de inițiere al înclinării și până la punctul de inițiere al tangentei care, de cele mai multe ori, coincide cu adâncimea finală a unei faze de foraj (fig. 1).

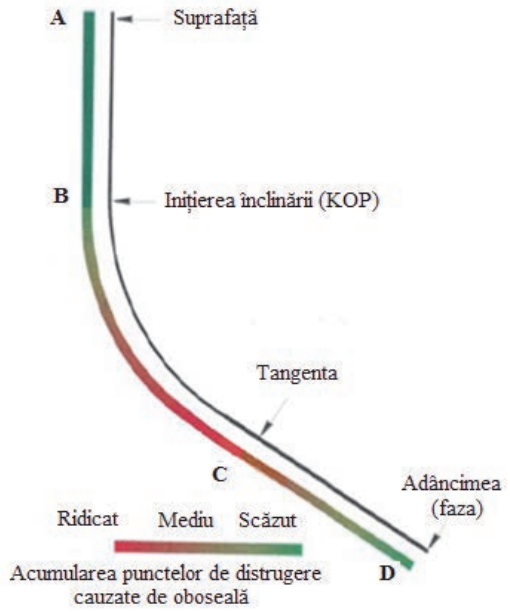


Fig. 1. Gradul de solicitare la oboseală a garniturii de foraj.

Pe de altă parte, prăjinile care lucrează în intervalul vertical sau pe tangentă nu vor acumula multe puncte de distrugere cauzate de oboseală, spre deosebire de prăjinile care lucrează în zona de inițiere și creștere a înclinării sau de direcționare către azimut. Ca atare, aceste prăjini vor fi urmărite primele, ele dictând, finalmente, intervalul dintre inspecții.

Totodată, cu cât este mai mare intensitatea de deviere a sondei (DLS - Dog Leg Severity), cu atât mai repede prăjinile de foraj care lucrează în zona respectivă vor acumula un număr mai mare de puncte de distrugere cauzate de oboseală (cf. figurii 1).

Calcularea cumulativă a numărului de puncte de uzură (distrugere) cauzate de oboseală va determina alegerea intervalului optim pentru inspectarea garniturii de foraj. În fapt, determinarea cumulativa a numărului de puncte de uzură este o practică foarte importantă atât în proiectarea garniturii de foraj, cât și în exploatarea acesteia, așa încât, prin aplicarea acestui principiu, riscul de producere a unei avarii în garnitura de foraj, ca efect al oboselii, se reduce foarte mult.

Pentru determinarea cumulativă a numărului de puncte de uzură la oboseală, trebuie cunoscute, la sondă, următoarele date:

- tipul și categoria de prăjini de foraj alese sau folosite;
- numărul de turații (RPM);
- rata de penetrare (ROP);
- metrajul – lungimea intervalului forat de la intrarea pe tangentă până la adâncimea finală a sondei sau fazei de foraj;
- coeficientul de curbură (Curvature Index);
- intensitatea maximă de deviere (DLS);
- greutatea imersată a garniturii de foraj de la sapă în sus, până la adâncimea cu DLS maxim;
- încadrarea sondei într-o categorie de proiectare.

Relația de calcul a numărului de puncte de uzură DP, conform DS1, este

$$DP=\frac{CI\cdot RPM\cdot CD}{(ROP\cdot 10^6)}, \qquad (1)$$

în care:

CI este coeficientul de curbură (Curvature Index);

RPM - numărul de rotații pe minut;

CD – metrajul / episod (uzual, lungimea tangentei până la adâncimea finală a fazei de foraj;

ROP - rata de penetrare.

Exemple de calcul

a. Se forează o sondă cu un traiect similar celui din figura 1. Metrajul (CD) este de 2800 m, rata medie de penetrare (ROP) de 17 m/h, turația garniturii de foraj de 120 RPM, iar categoria de proiectare a sondei este 2. S-au folosit prăjini de foraj de 5 in (127mm), cu masa unitară de 29 kg/m, clasa de rezistență G105, Premium, cu racorduri de 6 3/32 in (154,78 mm). Intensitatea medie de deviere DLS este de 7 grade / 30 m. Greutatea medie imersată a garniturii, sub prăjina de studiu, de la intrare în zona de inițiere a înclinării și până la intrarea pe tangentă, este de 75000 daN. Se cere să se determine adâncimea punctului de uzură (distrugere).

Rezolvare. Trebuie estimat, mai întâi, coeficientul de curbură CI ((Curvature Index). În acest sens se utilizează graficul din figura 2 (cf. DS1, ediția 3).

Cu ajutorul graficului din figura 2 se determină un coeficient de curbură CI de 1800. Aplicându-se relația (1), rezultă numărul punctelor de distrugere:

$$DP=\frac{1800\cdot 120\cdot 2800}{(17\cdot 10^6)}=35{,}6. \qquad (2)$$

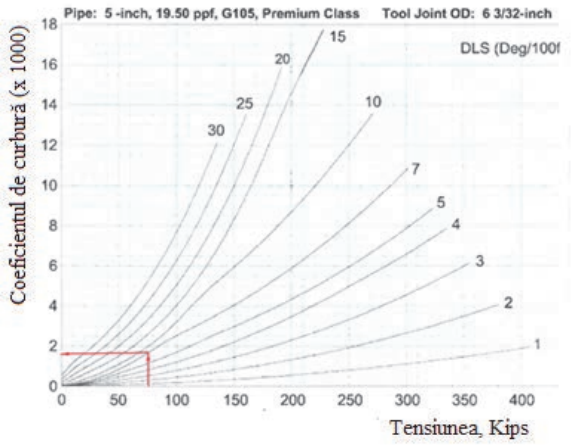


Fig. 2. Grafic pentru estimarea coeficientului de curbură (prăjini de foraj de 5 in, clasa G 106)

b. Se pregătește sonda pentru efectuarea operației de tubare. Datele sunt aceleași ca cele din exemplul precedent dar, pentru corectarea găurii de sondă, turația RPM = 80, astfel că rata de penetrare va fi, în acest caz, rata de corectare de 75 m/h, iar metrajul va fi mai mic (se corectează la 1800 m).

În aceste condiții, conform relației (1), numărul punctelor de distrugere.

$$DP=\frac{1800\cdot 80\cdot 1800}{(75\cdot 10^{6})}=3{,}5. \qquad (3)$$

Cu alte cuvinte, se poate vedea că segmentul de garnitură de foraj care a lucrat pe lungimea curbei de inițiere a înclinării până la tangentă a acumulat deja 39,1 de puncte de distrugere prin oboseală. Se observă că au rămas de acumulat 200 - 39,1= 160,9 puncte de distrugere prin oboseală până la următoarea inspecție.

În tabelul 2 sunt date numărul de puncte de distrugere prin oboseală pentru categoriile de proiectare 3, 2 și 1.

Tabelul 2 **– Relația: DP – categoria de proiectare**

Categoria de proiectare	Numărul de puncte de distrugere prin oboseală
3	100
2	200
1	300

Observații:

1) Coeficientul de curbură poate fi calculat manual sau cu programe specializate;

2) Cumulativul punctelor de distrugere prin oboseala se calculează pentru toate tronsoanele de prăjini ale garniturii de foraj care se rotesc pe intervalul curbiliniu;

3) Pot exista două secvențe: prima, conform exemplului specificat, iar a doua - dacă traiectoria sondei este dirijată după aceea către un azimut specificat;

4) În practica actuală, intensitatea medie de deviere DLS poate avea valori destul de mari: + 150 / 30 m;

5) În practică, prăjinile de foraj care au acumulat un număr mai mare de puncte de distrugere prin oboseală se repoziționează pe porțiunea tangentă, orizontală sau verticală, acolo unde solicitările la oboseala sunt mai reduse.

4. CONCLUZII ȘI PROPUNERI

1. La ora actuală, în practica industrială a forajului există cel puțin 31 de metode de inspecție, dintre care cel puțin 30 sunt executate de companii de inspecție specializate și doar unul de către contractorul de foraj.

2. Metodele de inspecție specializate se bazează pe proprietățile și efectele directe sau indirecte ale undelor electromagnetice, ultrasonice, radiațiilor gamma, pe efectul câmpurilor magnetice induse și interacțiunea acestora cu diferite tipuri de particule.

3. Programul optim de inspecție pentru garnitura de foraj presupune stabilirea corectă a patru elemente de bază: lista de echipamente, metoda de inspecție, criteriul de acceptanță și frecvența de inspecție.

4. Există șase categorii de inspecții ale garniturii de foraj; încadrarea într-una din aceste categorii se face, strict, în funcție de rația costului.

5. Acumularea solicitării la oboseală se manifestă prin acumularea punctelor de uzură la oboseală apărute în timp, la nivelul corpului prăjinilor de foraj. Valoarea acumulării acestor puncte va determina intervalul de timp la care va avea loc următoarea inspecție. Două exemple de calcul din cadrul acestei lucrări vin să sublinieze importanța practică deosebită a numărului cumulativ de puncte de uzură la oboseală.

BIBLIOGRAFIE

[1] *** *Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits*, API RP7G Ed.16, 1998.

[2] *** *Drill Stem Design and Operations*, TH HILL Associates Inc. Standard DS-1 Ed.3 2004.

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secțiunea VI

„ EFICACITATE ȘI EFICIENȚĂ ÎN INGINERIE (I) “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Polidor Bratu
- Prof. dr. ing.Nicolae Iliescu
- Prof. dr. ing. Vasile Năstăsescu

VI.01. *Costică Atanasiu, Nicolae Iliescu, Ștefan Sorohan,* **Analiza experimentală și numerică a distribuției tensiunilor într-o placă perforată** 161

VI.02. *Polidor Bratu,* **Evaluarea parametrică a dispozitivelor antiseismice în funcție de natura excitației cinematice** 165

VI.03. *Polidor Bratu, Ovidiu Vasile, Adrian Leopa, Cristina Oprițescu, Amalia Ţârdea,* **Modelarea reologică complexă a sistemelor de izolare a bazei, la cutremure de pământ** 170

VI.04. *Polidor Bratu, Cristina Opritescu, Amalia Ţârdea, Cătălin Zaharia,* **Sisteme antiseismice de rezemare și legătură în configurații reologice complexe pentru izolarea dinamică** 174

VI.06. *Oana Tonciu, Cornelia Dobrescu, Adrian Leopa,* **Regimuri dinamice optime ale echipamentelor de compactare prin vibrare** 178

VI.05. *Oana Tonciu,* **Modelarea dinamică a echipamentelor vibratoare de înfigere a palplanșelor și piloților în pământ** 181

VI.07. *Gheorghe Ion Gheorghe,* **Mecatronica și cyber-mixmecatronica la baza dezvoltării industriei 4.0 în România** 185

VI.08. *Ionel Staretu,* **Considerații privind roboții subacvatici și utilizarea lor** 198

VI.09. *Mihaela Trif, Ciprian Rad, Veturia Chiroiu, Cornel Brisan,* **Aspects concerning the relationship between circular economy and robotics** 203

ANALIZA EXPERIMENTALĂ ŞI NUMERICĂ A DISTRIBUŢIEI TENSIUNILOR ÎNTR-O PLACĂ PERFORATĂ

Prof. dr. ing. Costică ATANASIU[1], Prof. dr. ing. Nicolae ILIESCU[1] , Prof. dr. ing. Ştefan SOROHAN [1]

[1]Universitatea Politehnica din Bucureşti, România

REZUMAT: În lucrare sunt prezentate rezultatele analizei experimentale şi numerice privind distribuţia tensiunilor într-o placă perforată prin cinci găuri dispuse simetric faţă de axa longitudinală, solicitată la tracţiune monoaxială. Cercetarea experimentală a fost realizată prin tensometrie electrică rezistivă, iar analiza numerică prin metoda elementelor finite. Rezultatele cercetării experimentale permit tragerea unor concluzii privind modul de amplasare a traductoarelor electrice rezistive pe placă în punctele de analiză alese şi influenţa acesteia asupra distribuţiei tensiunilor. Metoda elementelor finite aplicată în 2D şi 3D pentru cazul plăcii perforate confirmă rezultatele obţinute experimental şi contribuţia acestora la alegerea unui model cât mai apropiat de realitatea practică.

Cuvinte cheie: analiza tensiunilor, metoda elementelor finite, placă perforată,tensometria electrică.

ABSTRACT: The paper presents the results of the experimental and numerical analysis of the stress distribution in a perforated plate through five holes arranged symmetrically with respect to the longitudinal axis, subjected at monoaxial traction. The studies were carried out by resistive strain gauge technique and by numerical analysis using finite element method. The results of the experimental research allow to draw conclusions on about the location of the resistive electric transducers on the plate, in the analysis points, and its influence on the distribution of the stresses. The finite element method applied in 2D and 3D for the perforated plate confirms the experimental results and their contribution to choosing a model as close as possible to the practical reality. The results of the undertaken study have demonstrate the need to use a combined methodology for an efficient stress-strain analysis of perforated plates.

Keywords: finite element method, electrical strain gauge, perforated plate, stress analysis.

1. INTRODUCERE

Plăcile plane perforate reprezintă subansamble din construcţia unor utilaje de proces, energetice sau din construcţii. În general perforaţia se realizează într-o reţea de triunghiuri sau de pătrate. Încărcarea acestor plăci poate fi în planul median sau normal la acest plan.

Cercetarea experimentală prin tensometrie electrică rezistivă şi analiza numerică a tensiunilor s-a realizat pentru primul caz de încărcare. Existenţa găurilor, care sunt concentratori de tensiuni, face ca analiza distribuţiei tensiunilor produse de sarcini să fie deosebit de importantă pentru aceste structuri. În lucrare se va face o investigaţie experimentală şi numerică privind determinarea tensiunilor într-o placă plană subţire perforată prin cinci găuri dispuse într-o reţea de triunghiuri. Dacă la analiză este eliminată gaura centrală atunci perforaţia va fi realizată în pătrat.

Alegerea unei asemenea plăci permite generalizarea rezultatelor obţinute pentru cele două categorii de perforaţii la stabilirea unei metodologii de calcul a tensiunilor. Abordarea temei de cercetat a început prin realizarea unei cercetări experimentale care se apropie cel mai mult de realitatea practică în ceeace priveşte încărcarea, modul de realizare a modelului, comportarea materialului iar rezultatele obţinute permit tragerea unor concluzii pentru adoptarea unui model adecvat la analiza cu elemente finite.

Analiza experimentală a distribuţiei tensiunilor în placa perforată. Placa plană perforată luată în studiu a fost realizată din aluminiu, pentru a se obţine valori mari pentru tensiuni sub acţiunea forţei axiale aplicată. Geometria plăcii perforate şi modul de amplasare a traductoarelor electrice rezistive -TER sunt prezentate în figura 1.

Traductoarele, cu baza 3mm, au fost aplicate, în punctele de analiză a stării de tensiune pe conturul găurilor, atât pe suprafaţa exterioară a plăcii, cât şi pe suprafaţa interioară a găurilor. Cu excepţia traductoarelor 1 şi 2 celelalte traductoare au fost amplasate pe conturul găurilor. Cazul de încărcare a plăcii analizat a fost la tracţiune cu forţa F=10 kN.

Valorile efective ale caracteristicilor elastice ale materialului din care s-a confecţionat modelul experimental, E şi ν (modulul de elasticitate longitudinal şi coeficientul de contracţie transversală) au fost determinaţi prin tensometrie electrică rezistivă [2]

utilizându-se o epruvetă din acelaşi material, de secţiune A=20•5 mm^2, pe care s-au aplicat două traductoare, unul longitudinal, celălalt transversal, ca în figura 2. La solicitarea de întindere cu forţe F de 2kN, 4kN şi 6kN, aplicate cu ajutorul unei maşini universale de încercat, au fost măsurate, prin metoda tensometriei electrice rezistive, valorile deformaţiilor specifice pe cele două direcţii.

Utilizând relaţiile cunoscute [1].

$$\sigma = \frac{F}{A}; E = \frac{\sigma}{\epsilon_l}; \nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l}, \quad (1)$$

Au fost calculate valorile tensiunilor şi ale caracteristicilor elastice, corespunzătoare celor trei valori ale sarcinii.

Deoarece curba caracteristică tensiuni- deformaţii specifice este cvasiliniară, s-au obţinut pentru parametrii elastici valori foarte apropiate, cele medii fiind E = 7,01•10^4 MPa şi ν = 0,32. Aceste valori vor fi folosite la calculul tensiunilor în placa analizată atât prin metoda tensometriei electrice rezistive cât şi ulterior prin metoda elementelor finite.

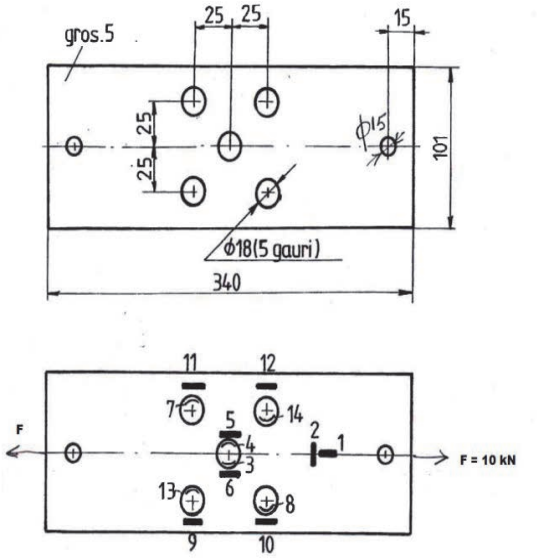


Fig. 1. Amplasarea traductoarelor pe placa perforată

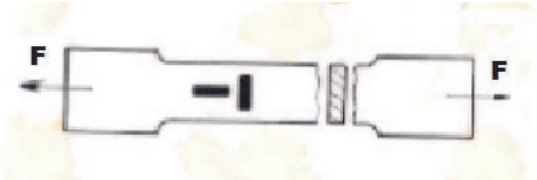


Fig. 2. Epruveta utilizată pentru determinarea caracteristicilor elastice ale aluminiului

Pentru placa perforată supusă la tracţiune cu forţa F=10kN, într-o maşină de încercat, s-au determinat prin tensometrie electrică rezistivă [2] deformaţiile specifice în punctele unde au fost aplicate traductoarele.

Cu relaţiile de legătură între deformaţiile specifice şi tensiuni corespunzătoare stării plane de tensiune din teoria elasticităţii [1] au fost determinate valorile tensiunilor normale σ în punctele de măsură. Rezultatele obţinute sunt trecute în tabelul 1.

În secţiunea slăbită prin două găuri, de arie netă A=325 mm^2, tensiunea calculată cu relaţia din rezistenţa materialelor este egală cu 30,76 MPa, iar cea determinată experimental de 63,1 MPa, rezultând un coeficient de concentrare a tensiunilor [3] c=2,05.

2. ANALIZA NUMERICĂ A DISTRIBUŢIEI TENSIUNILOR ÎN PLACA PERFORATĂ

În cazul studiat grosimea placii este relativ mică în raport cu dimensiunile din plan şi din acest motiv.s-a dezvoltat un model 2D care s-a discretizat cu elemente patrulatere cu 8 noduri (Plane 183 in Ansys) pentru condiţii de stare plană de tensiune [4].

Traductoarele au fost modelate cu elemente Link 180 de secţiune neglijabilă pentru a nu influenţa local structura.

S-a păstrat numerotarea din monitorizarea experimentală (Figura 1) şi s-au introdus două traductoare suplimentare fictive 15 si 16, într-un punct precizat pe axa longitudinală a plăcii, pe aceleaşi directii pentru a înlătura incertitudinile de amplasare ale traductoarelor 1 si 2.

Pentru forţa concentrată F= 10 kN în figura 3 este prezentat câmpul deplasărilor axiale iar în figura 4 distribuţia tensiunilor σ'. Rezultatele numerice sunt trecute în tabelul 1.

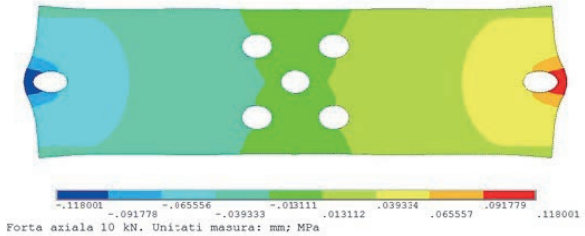


Fig. 3. Distribuţia deplasărilor axiale în placa perforată

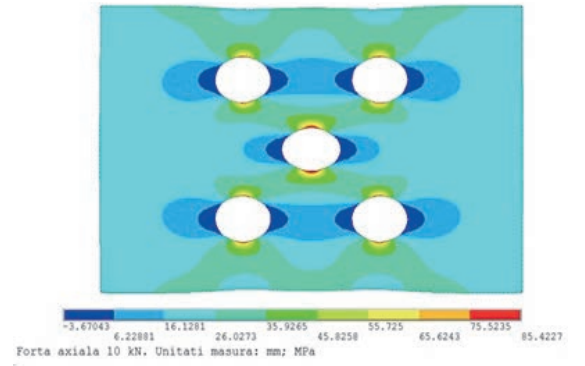


Fig. 4. Distribuţia tensiunii normale σ_x în placa perforată solicitată axial printr-o forţă concentrată

Pentru a cerceta în ce măsură modul de aplicare al sarcinii influenţează distribuţia tensiunilor în jurul găurilor programul de calcul a fost utilizat şi pentru situaţia în care sarcina concentrată de 10 kN a fost înlocuită printr-una echivalentă distribuită uniform , p=19,808MPa, ca în figura 5. Distribuţia tensiunilor normale, pentru acest caz este dată în figura 6.

Rezultatele pentru tensiunile σ” în acest caz sunt trecute în tabelul 1. Se constată, prin compararea rezultatelor din figura4 și figura 6 și trecute în tabelul 1, că valorile tensiunilor normale și distribuția acestora diferă foarte puțin de situația în care forța a fost aplicată concentrat. Cu valorile tensiunilor calculate prin MEF s-a trasat variația acestora în jurul găurilor, în figura 7. În secțiunea slăbită prin două găuri tensiunea maximă rezultată este de75,08 MPa, resultând un coeficient de concentrare a tensiunilor [3] c=2,44.

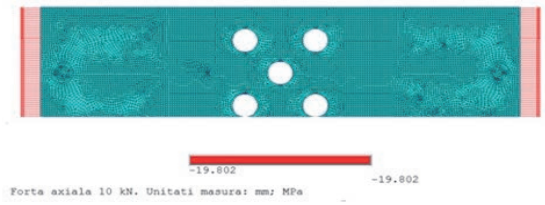


Fig. 5. Discretizarea plăcii încărcată cu sarcină uniform distribuită

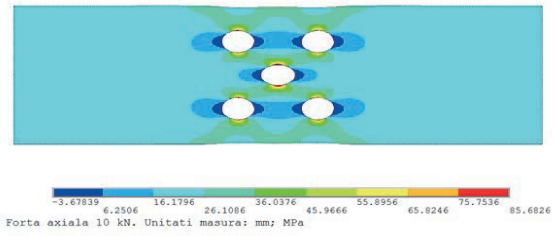


Fig. 6. Distribuția tensiunii normale σ_x în placa perforată solicitată axial printr-o forță uniform distribuită

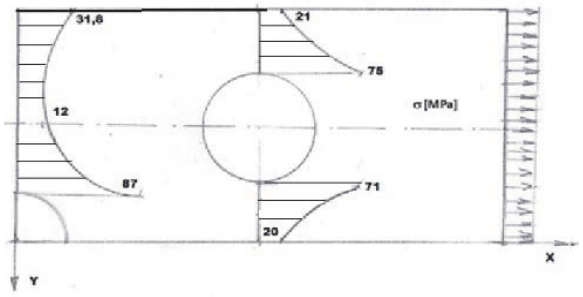


Fig. 7. Distribuția tensiunii normale σ_x în jurul găurilor rezultată prin MEF

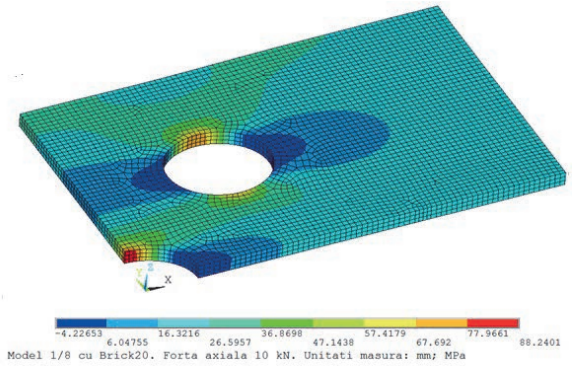


Fig. 8. Distribuția tensiunii normale σ_x în placa perforată discretizată 3D

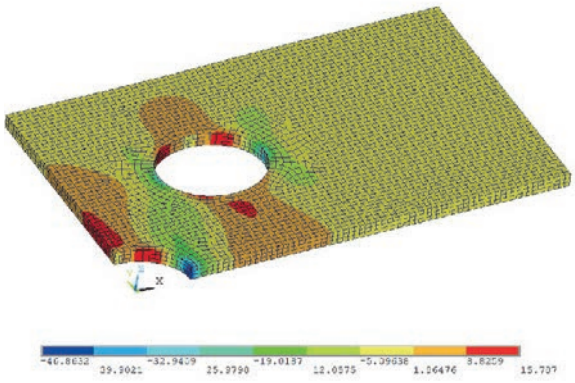


Fig. 9. Distribuția tensiunilor normale σ_y în placa perforată discretizată 3D

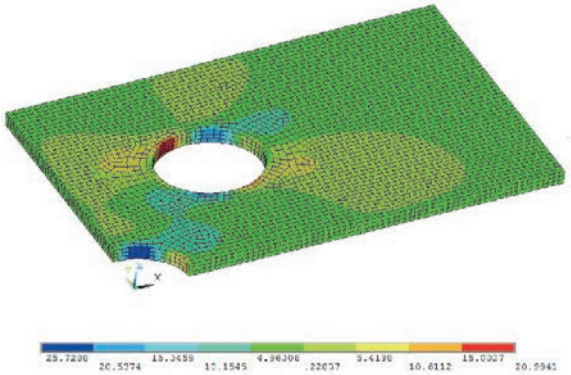


Fig.10. Distribuția tensiunilor tangențiale în placa perforată discretizată 3D

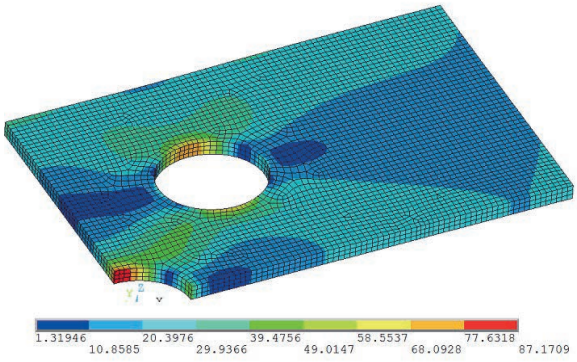


Fig. 11. Distribuția tensiunilor echivalente în placa perforată discretizată 3D

Analiza numerică a fost efectuată și cu o discretizare 3D, deși acest lucru nu se impunea pentru o placă subțire, constatându-se diferențe extrem de mici ale tensiunilor față de cazul analizei cu o discretizarei 2 D. Din considerente de simetrie acest model s-a cercetat doar pentru o optime din placă folosind o discretizare uniformă cu elemente de tip Brick cu 20 noduri (Solid 186) de dimensiune de circa 1 mm, mai fină decât modelul 2D, discretizat cu elemente de 1.5 mm. Distribuția tensiunilor normale σ_x și σ_y este dată în figura 8 și figura 9. Tensiunile normale σ_z au valori foarte mici (σ_{max} = 1,7 MPa) și se neglijează. Tensiunile

tangențiale au valori de reținut (figura10) dar acestea nu apar în punctele unde tensiunile normale au valori importante. În figura11 este prezentată distribuția tensiunilor echivalente pentru placa studiată.

Tabelul 1 **– Rezultate obținute pentru tensiuni în placa perforată solicitată la tracțiune**

TER	Metoda Elementelor Finite - MEF		Experimental
	σ' [MPa]	σ'' [MPa]	σ [MPa]
1	21,10	18,80	21,2
2	-7,93	-5,56	-1,1
3	87,13	87,34	64,8
4	87,26	87,52	63,3
5	41.94	42,07	48,0
6	41,94	42,07	48,9
7	75,08	75,15	63,5
8	75,11	75,15	63,1
9	39,66	39,85	47,0
10	39,66	39,65	47,9
11	39,66	39,65	47,0
12	39,66	39,65	46,9
13	71,01	71,11	60,7
14	71,01	71,11	60,6
15	22,06	21,38	
16	-10,04	-9,55	

3. REZULTATE ȘI CONCLUZII

Cercetările întreprinse și rezultatele obținute pentru tensiuni, trecute în tabelul 1, permit tragerea unor concluzii.

Alegerea punctelor de amplasare a traductoarelor pe conturul găurilor plăcii în care vor fi calculate tensiunile, pe cale experimentală sau prin metoda elementelor finite pentru cazul solicitării la întindere, este importantă pentru corectitudinea rezultatelor.

Astfel traductoarele 5, 6, 9, 10, 11, 12 (figura 1) chiar dacă au lungimea de 3 mm, ele se amplasează pe lățimea lor și în lungul axei plăcii , deci cam la 1mm de conturul găurilor. Rezultatele pentru tensiuni vor fi în punctul situat la această distanță și nu pe conturul găuriIor unde tensiunea normală radială este nulă .

În schimb traductoarele 3, 4, 7, 8, 13, 14 (figura1) sunt aplicate pe conturul găurilor dar la o distanță extrem de mică reprezentată de grosimea traductoarelor (0,015mm).

Se constată în același punct diferențe foarte mari ale tensiunilor obținute, ca de exemplu în punctul în care au fost aplicate traductoarele 3 și 6 tensiunile determinate experimental au valoarea de 64,8 MPa și respectiv 48,3 MPa.

Aceste salturi de tensiuni sunt validate și prin rezultate obținute prin aplicarea MEF, adică 87,34 MPa față de 42,07 MPa.

Analiza cu elemente finite se dovedește a fi acoperitoare față de analiza experimentală. Pentru placa studiată coeficientul de concentrare a tensiunilor a crescut de la c=2,05 determinat prin TER la c=2,44 rezultat prin MEF.

Cercetările efectuate dovedesc necesitatea utilizării în paralel a analizei experimentale și numerice pentru realizarea modelului de calcul care să constituie baza stabilirii unor metodologii de evaluare a distribuției tensiunilor în structuri inginerești.

BIBLIOGRAFIE

[1] Atanasiu, C., Jiga, G., *Comportement mécanique des matériaux*. București, Editura AGIR, România, 2017.

[2] Iliescu, N., Atanasiu, C.. *Metode tensometrice în inginerie.* București, Editura AGIR, România, 2006.

[3] Pilkey, W., Pilkey, D. Peterson's, *Stress Concentration Factors*. Third Edition, John Wiley Sons Inc., 2008.

[4] Sorohan, Șt. *Elemente finite în ingineria mecanică.* București, Politehnica Press, România, 2015.

EVALUAREA PARAMETRICA A DISPOZITIVELOR ANTISEISMICE IN FUNCTIE DE NATURA EXCITATIEI CINEMATICE

Prof. univ. emerit. dr. ing. Polidor BRATU[1]

[1] *Institutul de Cercetari pentru Echipamente si Tehnologii in Constructii – ICECON SA, Bucuresti, Romania*

REZUMAT. Materialele elastomerice sunt caracterizate in regim dinamic atât prin efectul elastic, cat si prin efectul disipativ. Aprecierea cat mai realista a disiparii se face pe seama rigiditatii k, a pulsatiei excitatoare ω, impreuna cu coeficientul amortizarii vascoase c, la excitatii cinematice definite prin functii periodice in raport cu timpul. Comportarea vascoelastica liniara corespunde modelului Voigt-Kelvin fara masa atasata, astfel incat sa reproduca un stand real de incercare, printr-o schema de tipul (c, k).

Cuvinte cheie: dispozitive antiseismice, excitatie cinematica, comportare vascoelasitica liniara, modelulVoigt-Kelvin

ABSTRACT. Elastomeric materials are characterized in dynamic regime by both elastic and dissipative effects. The most realistic estimation of the dissipation is due to the rigidity k, the exciting pulse ω, together with the viscous damping coefficient c, to the kinematic excitations defined by periodic functions in relation to time. The linear vascoelastic behavior corresponds to the Voigt-Kelvin model without attached mass, so as to reproduce a real test stand, through a scheme of type (c, k).

Keywords: antiseismic devices, kinematic excitation, linear vascoelastic behavior, Voigt-Kelvin model

1. INTRODUCERE

Studiul evidentiaza faptul ca amortizarea izolatorului din elastomer, ca sistem fara masa (*c*, *k*), este determinata pe baze experimentale prin trasarea buclei histeretice. In acest mod, se defineste o amortizare ζ_{eq} ce poate fi corelata cu a unui sistem vascoelastic cu masa (*m*, *c*, *k*).

In acest caz, excitatia cinematica aplicata trebuie sa fie capabila de un raspuns dinamic in corespondenta directa cu forta vascoelastica sau histeretica *Q(t).*

Modelarea sistemului vascoelastic, fara masa, este descrisa printr-o ecuatie diferentiala de ordinal intai, de forma

$$c\dot{x} + kx = Q(t) \qquad (1)$$

In ecuatia diferentiala (1) s-a introdus deformatia instantanee $x = x(t)$ care coincide cu deplasarea instantanee, ca parametru de excitatie cinematica aplicata (control in deplasare).

Pentru fiecare caz in parte, in functie de natura si legile excitatiei, se vor determina urmatoarele energii si anume:

- ΔW_d energia disipata pentru un ciclu complet de 2π rad sau perioada *T*;
- W_{el}^{max} energia elastica maxima ce corespunde momentului de timp $t = \frac{1}{4}T$, pentru deplasarea periodica este armonica de forma $x = x(t) = A\sin\omega t$.

Amortizarea echivalenta, fie pentru un sistem vascoelastic fara masa (*c*, *k*) notata ζ_{eq}, fie pentru un sistem cu comportare histeretica notata $\eta = \eta_0 = \frac{c\omega}{k}$, se evalueaza pe baza relatiei de definitie, de forma $\eta = \frac{\Delta W_d}{2\pi W_{el}^{max}} = 2\zeta_{eq}$ sau

$$\zeta_{eq} = \frac{\Delta W}{4\pi W_{el}^{max}} \qquad (2)$$

2. VARIETATILE DE EXCITATII CINEMATICE ARMONIC

Excitatiile cinematice armonice, vor fi modelate prin functii trigonometrice circulare, definite de amplitudinea deplasarii *A* si pulsatia excitatoare *ω*, unde acestea sunt marimi constante ale unui regim stationar stabil.

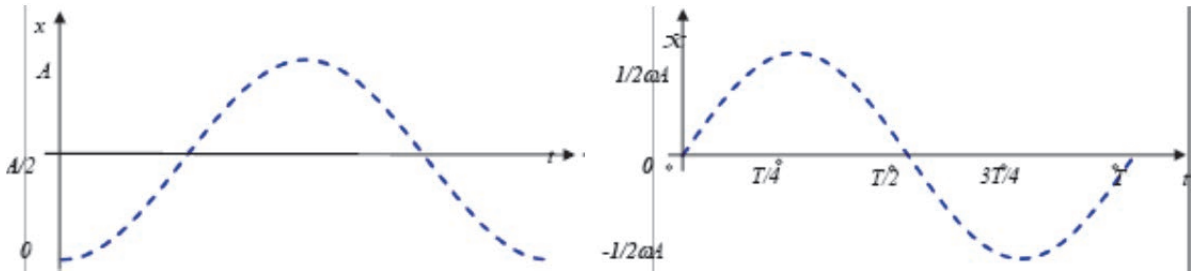
2.1. Excitatia armonica cu cicluri alternant simetrice

Consideram functia deplasarii instantanee de forma

$$x(t) = A\sin\omega t \qquad (3)$$

determina viteza instantanee, data de relatia

$$\dot{x}(t) = \omega A\cos\omega t \qquad (4)$$



a) b)

Fig. 1. Funcţiile de excitaţie în raport cu timpul:
a) Funcţia deplasării $x(t)=\frac{1}{2}A(1-\cos\omega t)=haversinus\omega t$, b) Funcţia vitezei $\dot{x}(t)=\frac{1}{2}\omega A\sin\omega t$

In acest caz, marimile energetice ΔW_d, W_{el}^{max} pot fi scrise sub forma

$$\begin{cases}\Delta W_d=\pi c\omega A^2\\ W_{el}^{max}=\frac{1}{2}kA^2\end{cases} \tag{5}$$

iar marimile parametrice ale disiparii pot fi exprimate astfel

$$\begin{cases}\eta=\frac{\Delta W_d}{2\pi W_{el}^{max}}=\frac{c\omega}{k}=\eta_0\\ \zeta_{eq}=\frac{1}{2}\eta_0=0{,}50\eta_0\end{cases} \tag{6}$$

Notand $\eta=\eta_0=\frac{c\omega}{k}$, avem $\zeta_{eq}=\frac{1}{2}\eta_0$ ce constituie parametrii definitorii pentru amortizare in regim de ***excitatie armonica***.

2.2. Excitatie periodica cu cicluri pulsant nule

Deplasarea instantanee definita prin functia trigonometrica haversin este de forma

$$x(t)=\frac{1}{2}A(1-\cos\omega t)=hav\sin\omega t \tag{7}$$

cu viteza exprimata prin relatia

$$\dot{x}(t)=\frac{1}{2}\omega A\sin\omega t \tag{8}$$

In fig. 1 se prezinta variatia in timp ale celor doua functii $x=x(t)$ si $\dot{x}=\dot{x}(t)$.

Energia disipata ΔW_d poate fi determinata pe baza variatiei armonice a vitezei $\dot{x}$ dupa cum urmeaza

$$\Delta W_d=\int_0^T c\dot{x}dx=\int_0^T c\dot{x}^2dt \tag{9}$$

unde $\dot{x}(t)=\frac{1}{2}\omega A\sin\omega t$

In acest caz, avem

$$\Delta W_d=\frac{1}{4}c\omega^2A^2\int_0^T\sin^2\omega t dt \tag{10}$$

sau

$$\Delta W_d=\frac{1}{4}c\omega^2A^2\frac{1}{2}\left[\int_0^T dt-\int_0^T\cos 2\omega t dt\right] \tag{11}$$

de unde rezulta

$$\Delta W_d=\frac{1}{4}\pi c\omega^2A^2 \tag{12}$$

Energia elastica maxima W_{el}^{max} se determina pe baza relatiei integrale, astfel

$$W_{el}^{max}=\int kxdx \tag{13}$$

unde $x(t)=\frac{1}{2}A(1-\cos\omega t)$, iar $dx=\frac{1}{2}A\omega\sin\omega t dt$.

In acest caz, obtinem relatia

$$W_{el}=\frac{1}{4}k\omega\ A^2\int(1-\cos\omega t)\sin\omega t dt \tag{14}$$

in care folosim transformarile trigonometrice sub forma

$$1-\cos\omega t=2\sin^2\frac{\omega t}{2}$$

$$\sin\omega t=2\sin\frac{\omega t}{2}\cos\frac{\omega t}{2}$$

Ca urmare, relatia (14) poate fi scrisa astfel

$$W_{el}=\frac{1}{4}k\omega\ A^2\int 4\sin^3\frac{\omega t}{2}\cos\frac{\omega t}{2}dt \tag{15}$$

Notam $u=\sin\frac{\omega t}{2}$ si $du=\frac{\omega t}{2}\cos\frac{\omega t}{2}dt$, asa incat avem $W_{el}=2k\omega\ A^2\int\frac{1}{\omega}u^3du=2kA^2\frac{u^4}{4}$ sau

$$W_{el}=\frac{1}{2}kA^2\sin^4\frac{\omega t}{2}$$

Valoarea maxima pentru $\omega t=\pi$, rezulta sub forma

$$W_{el}^{max}=\frac{1}{2}kA^2 \tag{16}$$

Pentru un ciclu complet adica $\omega t=2\pi$ rezulta $W_{el}\equiv 0$, adica sistemul elastic este nedisipativ avand numai caracter **restaurator** pentru miscarea periodica.

Amortizarea echivalenta ζ_{eq} la excitatia **haversin** rezulta sub forma $\zeta_{eq}=\frac{\Delta W_d}{4\pi W_{el}^{max}}$ sau

$$\zeta_{eq}^h=\frac{\frac{1}{2}\pi c\omega A^2}{4\pi\frac{1}{2}kA^2}=\frac{1}{8}\frac{c\omega}{k} \tag{17}$$

Tinand seama de $\eta_0=\frac{c\omega}{k}$ relatia (17) devine

$$\zeta_{eq}^{h}=\frac{1}{8}\eta_0=0{,}25\zeta_{eq} \tag{18}$$

Se constata ca in cazul excitatiei cu functia $x=x(t)=hav\sin\omega t$, amortizarea echivalenta ζ_{eq}^{h} reprezinta 0,25 din amortizarea echivalenta corespunzatoare excitatiei armonice ζ_{eq}.

3. EXCITATII CINEMATICE DEFINITE PRIN FUNCTII PERIODICE TRIUNGHIULARE.

In tehnica de incercare se utilizeaza doua tipuri de excitatii periodice triunghiulare si anume: alternant simetrice si pulsant nule, aplicate unui sistem reologic fara masa (*k, c*) Voigt-Kelvin. De regula, sunt folosite ciclurile triunghiulare alternant simetrice.

3.1. Excitatia cinematica cu cicluri triunghiulare alternant simetrice

In figura 2 sunt reprezentate functia de excitatii, $x=x(t)$, viteza $\dot{x}(t)$, acceleratia $\ddot{x}(t)$ precum si forta de reactie $Q(t)=c\dot{x}+kx$ ca raspuns la excitatia data. Astfel, aceste functii sunt definite, sub forma:

a) Functia deplasarii

$$x(t)=\begin{cases}\dfrac{4A}{T}\left(t+\dfrac{T}{4}\right)-A \ pentru -\dfrac{T}{4}\le t\le+\dfrac{T}{4}\\ -\dfrac{4A}{T}\left(t-\dfrac{T}{4}\right)+A \ pentru +\dfrac{T}{4}\le t\le\dfrac{3T}{4}\\ \dfrac{4A}{T}(t-T) \qquad pentru \ \dfrac{3T}{4}\le t\le T\end{cases} \tag{19}$$

b) Functia vitezei

$$\dot{x}(t)=\begin{cases}\dfrac{4A}{T}=\dfrac{2A\omega}{\pi} \ pentru -\dfrac{T}{4}\le t\le+\dfrac{T}{4}\\ -\dfrac{4A}{T}=-\dfrac{2A\omega}{\pi} \ pentru +\dfrac{T}{4}\le t\le\dfrac{3T}{4}\\ \dfrac{4A}{T} \ pentru \ \dfrac{3T}{4}\le t\le T\end{cases} \tag{20}$$

c) Functia acceleratiei – identic nula $\ddot{x}=0$

d) Functia fortei de reactie

$$Q(t)=\begin{cases}\dfrac{4A}{T}kt+\dfrac{2}{\pi}A\omega c \ pentru -\dfrac{T}{4}\le t\le+\dfrac{T}{4}\\ -\dfrac{4A}{T}kt-\dfrac{2}{\pi}A\omega c+2Ak \ pentru +\dfrac{T}{4}\le t\le\dfrac{3T}{4}\\ \dfrac{4A}{T}kt+\dfrac{2}{\pi}A\omega c-4Ak \ pentru +\dfrac{3T}{4}\le t\le+T\end{cases} \tag{21}$$

In fig.2 sunt reprezntate in concordanta temporala functiile $x, \dot{x}, \ddot{x}$ si Q, cu particularitatea ca acceleratia instantanee $\ddot{x}\equiv 0$ pentru orice valoare a lui $t\in(0,+\infty)$.

a) variatia deplasarii instantanee $x(t)$; b) variatia vitezei instantanee $\dot{x}(t)$; c) acceleratia instantanee nula; d) variatia fortei de reactive $Q(t)$.

In exprimare armonica Fourier, pot fi formulate functiile $x(t)$ si $\dot{x}(t)$ dupa cum urmeaza:

$$x(t)=\frac{8A}{\pi^2}\sum\frac{-1^{\frac{j-1}{2}}}{j^2}\sin j\omega t;\ j=1,3,5,7.... \tag{22}$$

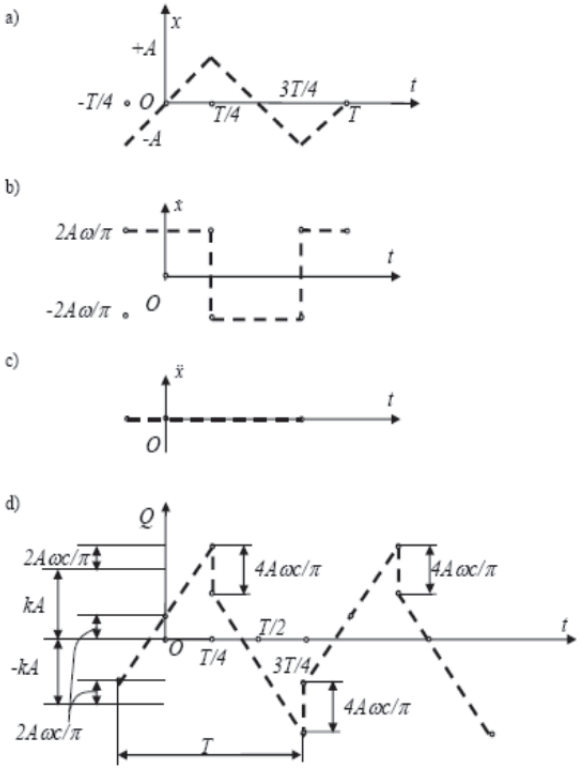


Fig. 2. Raspunsul *Q(t)* in raport cu timpul la excitatia cinematica $x=x(t)$ triunghiulara simetrica.

$$\dot{x}(t)=\frac{8A\omega}{\pi^2}\sum\frac{-1^{\frac{j-1}{2}}}{j^2}\cos j\omega t;\ j=1,3,5,7.... \tag{23}$$

Valorile maxime ale functiilor x si $\dot{x}$ rezulta din relatiile (22) si (23) astfel:

- pentru deplasarea maxima avem:

$$x\left(-\frac{T}{4}\right)=x\left(\frac{T}{4}\right)=\mp\frac{8A}{\pi^2}\left[\sin\frac{\pi}{2}+\frac{1}{3^2}\sin\left(+\frac{3\pi}{2}\right)+\frac{1}{5^2}\sin\left(+\frac{5\pi}{2}\right)+....\right]$$

sau

$$x_{max}\left(-\frac{T}{4}\right)=x_{max}\left(\frac{T}{4}\right)=\mp\frac{8A}{\pi^2}\left[1+\frac{1}{3^2}+\frac{1}{5^2}+\frac{1}{7^2}+....\right]=\mp\frac{8A}{\pi^2}\frac{\pi^2}{8}=\mp A \tag{24}$$

- pentru viteza maxima se obtine:

$$\dot{x}_{max}(0)=\mp\frac{8A\omega}{\pi^2}\left[\cos 0-\frac{1}{3}\cos 0+\frac{1}{5}\cos 0-....\right] \tag{25}$$

sau

$$\dot{x}_{\max}(0)=\mp\frac{8A\omega}{\pi^2}\left[1-\frac{1}{3}+\frac{1}{5}-\frac{1}{7}....\right]=\frac{8A\omega}{\pi^2}\frac{\pi}{4}=\mp 2\frac{A\omega}{\pi} \tag{26}$$

dar tinand seama de faptul ca $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$ avem

$$\dot{x}_{max}(0) = v_{max} = \frac{4A}{T}$$

3.1. Caracteristica disipativa a sistemului dinamic

Sistemul dinamic se caracterizeaza prin marimile parametrice structurale *c, k* si prin marimile parametrice de excitatie, exprimate prin *ω, A.*

Energia disipata ΔW_d poate fi exprimata, pe intervale temporale intr-un ciclu complet, astfel

$$\Delta W_d = \int_0^{T/4} c\dot{x}_I dx_1 + \int_{T/4}^{3T/4} c\dot{x}_{II} dx_2 + \int_{3T/4}^{T} c\dot{x}_I dx_3 \quad (27)$$

unde $\dot{x}_I = \frac{2}{\pi} A\omega$ iar $\dot{x}_{II} = -\frac{2}{\pi} A\omega$ astfel incat se obtine:

$$dx_1 = \frac{4A}{T} dt;\ dx_2 = -\frac{4A}{T} dt;\ dx_3 = \frac{4A}{T} dt;$$

care introduse in (27) rezulta

$$\Delta W_d = \frac{2}{\pi} A\omega c \int_0^{T/4} \frac{4A}{T} dt - \frac{2}{\pi} A\omega c \int_{T/4}^{3T/4} -\left(\frac{4A}{T}\right) dt + \frac{2}{\pi} A\omega c \int_{3T/4}^{T} \frac{4A}{T} dt$$

sau

$$\Delta W_d = \frac{2}{\pi} A\omega c \left[\frac{4A}{T}\frac{T}{4} + \frac{4A}{T}\frac{2T}{4} + \frac{4A}{T}\frac{T}{4} \right]$$

de unde avem expresia energiei disipate sub forma

$$\Delta W_d = \frac{8}{\pi} \omega c A^2 \quad (28)$$

Energia elastica maxima W_{el}^{max} se determina pe baza formularii expresiei W_{el}, dupa cum urmeaza

$$W_{el} = \int kxdx = k\int \dot{x}xdt$$

in care $\dot{x} = \frac{2}{\pi} A\omega = v = const$

Energia elastica pe ciclu poate fi scrisa sub forma:

$$W_{el}^{ciclu} = kv\frac{4A}{T}\int_0^T tdt + k(-v)\left[\left(-\frac{4A}{T}\right)\int_{T/4}^{3T/4} tdt + 2\int_{T/4}^{3T/4} dt\right] + kv\left[\frac{4A}{T}\int_{T/4}^{3T/4} tdt - 4\int_{T/4}^{3T/4} dt\right] \quad (29)$$

de unde

$$W_{el}^{ciclu} = kv\left[\frac{1}{8}AT - (-AT + AT) + \left(\frac{7}{8}AT - \frac{4}{4}AT\right)\right] = 0 \quad (30)$$

Energia maxima W_{el}^{max} corespunde pentru *t*=*T*/4, adica rezulta

$$W_{el}^{max} = kv\frac{4A}{T}\int_0^T tdt = k\frac{4A}{T}\frac{4A}{T}\frac{t^2}{2}\Big|_0^{T/4}$$

sau

$$W_{el}^{max} = k\frac{16A^2}{T^2}\frac{T^2}{16}\frac{1}{2} = k\frac{A^2}{2} \quad (31)$$

Amortizarea echivalenta pentru cicluri triunghiulare simetrice ζ_{eq}^t este de forma

$$\zeta_{eq}^t = \frac{\Delta W}{4\pi W_{el}^{max}} \quad (32)$$

sau

$$\zeta_{eq}^t = \frac{8c\omega A^2}{4\pi\frac{1}{2}kA^2} = \frac{4}{\pi^2}\frac{c\omega}{k} \quad (33)$$

unde tinem seama de $\eta_0 = \frac{c\omega}{k}$ si astfel avem:

$$\zeta_{eq}^t = \frac{4}{\pi^2}\eta_0 = 0{,}8\zeta_{eq} \quad (34)$$

in care $\eta_0 = 2\zeta_{eq}$ este amortizarea structurala pentru un sistem disipativ excitat armonic.

4. CONCLUZII

Calificarea izolatorilor elastomerici antiseismici necesita realizarea de standuri special concepute. In functie de marimea fortelor de reactie, de amplitudinea deplasarii actuatorului de actionare, de marimea maselor antrenate in miscarea alternant simetrica, varietatea constructiva si functionala implica abordari distincte. De exemplu, la excitatii armonice simetrice sau pulsant nule (haversin) influenta masei echipamentului in miscare poate introduce influente semnificative la evaluarea fortei de reactie strict individualizata pentru elementul elastomeric.

In cazul reducerii influentei fortelor inertiale cu valori semnificative se folosesc actuatoare care dau excitatii de deplasare de forma triunghiulara alternant simetrice; caz in care viteza este liniara pe intervale temporale iar acceleratia este nula.In acest caz, sunt unele dezavantaje legate de sistemul de comanda si control. Astfel, prin metode informatice si de automatizare sistemul de comanda trebuie sa corecteze **singularitatile** si **discontinuitatile** din **punctele critice ale graficelor functiilor de excitatie**.

a) Pentru excitatia cinematica prin deplasari instantanee aplicate, de forma $x(t) = A_0 \sin\omega t$ unui un sistem dinamic (*c, k*), genereaza o forta de reactie liniara este $c\dot{x} + kx = Q(t)$. Pe baza buclei histeretice si a energiei elastice maxime pot fi determinate, pe cale experimentala, raportul de amortizare critica

$$\zeta_{eq} = \frac{\Delta W_d}{4\pi W_{el}^{max}} = \frac{c\omega}{2k};$$

b) Pentru excitatia cinematica pulsant-nula, prin deplasarea instantanee de forma $x(t) = \frac{1}{2}A_0(1 - \cos\omega t) = hav\sin\omega t$, o bucla histeretica are arie mai mica decat in cazul anterior. Astfel, amortizarea ζ_{eq}^h a sistemului (*c, k),* excitat cu functia $x = hav\sin\omega t$ este data de $\zeta_{eq}^h = 0{,}25\zeta_{eq}$

c) Pentru excitatia cinematica in deplasarea instantanee triunghiulara este caracteristic faptul ca viteza de deformatie este constanta pe portiuni temporale iar acceleratia este nula ceeace face ca influenta fortei inertiale sa poata fi neglijata. In acest caz, amortizarea sistemului (*c,k*), este $\zeta_{eq}^t = 0{,}8\zeta_{eq}$.

Fata de cele de mai sus, se constata ca amortizarea pentru sistemele fara masa, de tipul (*c,k*) poate fi

evaluata si masurata experimental numai in conditii bine precizate de alcatuire structurala, de actionare cu actuatoare care genereaza deplasari instantanee controlate pe baza unor functii de excitatie definite. In esenta, amortizarea definita prin $\eta_0 = 2\zeta_{eq}$ este diferita de la un sistem de actionare la altul fiind dependenta de functia de excitatie. In acest caz bucla histeretica a fortei *Q(x)* in raport cu deplasarea instantanee *x = x(t)* depinde de functia de excitatie.

Excitatia triunghiulara este utilizata si in cazul probelor de verificare la actiuni termice pentru disipatoarele fluidice. In acest caz, perioada miscarii termice este foarte mare, de ordinul (4…20) ore, urmarindu-se variatia fortei *Q*, in conformitate cu EN 15129.

BIBLIOGRAFIE

[1] Dobrescu, C., *The rheological behaviour of stabilized bioactive soils during the vibration compaction process for road structures*, 22th International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12-16.07.2015

[2] Forrest, James A., *Free-free dynamics of some vibration isolators*, Annual Conference of the Australian Acoustical Socyiety, 13-15 Nov. 2002, Adelaide, Australia

[3] Hurtato, Jorge E., Barbat, Alex., Da Cunha, Alvaro A. M., *Nonlinear random vibration of base isolated buildingss under ecolutionary seismic input*, 11th World Conference on Earthquake Engineering, ISBN: 0 08 042822 3, Paper no.249

[4] Johnson, Erik A., Ramallo, Juan C., Spencer, Billie F. Jr, Sain, Michael K., *Intelligent base isolation systems*, 2nd World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, 1998

[5] Kim Young- Sang, *Study on the effective stiffness of base isolation system for reducing acceleration and displacement responses*, Journal of Korean Nuclear Society, vol.31, No. 6, pp. 586-594, Dec. 1999

[6] Kyu-Sik Park, Sang-Won Cho, In-Won Lee, *A comparative study on aseismic performances of base isolation systems for multi-span continuos bridge*, 14th KKNN Symposium on Civil Engineering, November 5-7, 2001, Kyoto, Japan

[7] Mitu, A.M., Sireteanu, T., Ghita, G., *Passive and Semi-Active Bracing Systems for Seismic Protection: A Comparative Study*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 12 Issue: 1 Pages: 49-56, 2015

[8] Park, S. K., Han, K. B., *Effects of seismic isolation bearing with sliding mechanism on the response of brige*, Materials and Structures, vol.37, july 2004, pp 412-421

[9] Pinarbasi, Seval, Konstantinidis Dimitrios, Kelly, James M., *Seismic isolation for soft-story buildings*, 10th World Conference on seismic isolation, energy dissipation and active vibrations control of structures, Istanbul, Turkey, May 28-31, 2007

[10] Potirniche, A., *Assessments Regarding Effective Configurations of Vibration Isolators Based on Displacements Analysis*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 12 Issue: 2 Pages: 126-131, 2015

[11] Sireteanu, T., *Smart Suspension Systems*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 13 Issue: 1 Pages: 2-2, 2016

[12] Sireteanu, Tudor, *The effect of structural degradation on the dynamic behaviour of buildings*, 9th WSEAS Int. Conf. on Acoustics & Music theory & Applications (AMTA ’08), Bucharest, Romania, Jne 24-26, 2008

[13] Stanescu, N.D., *Vibrations of a Shell with Clearances, neo-Hookean Stiffness, and Harmonic Excitations*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 13 Issue: 2 Pages: 104 -111, 2016

[14] Vasile, O., *Active Vibration Control for Viscoelastic Damping Systems under the Action of Inertial Forces*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 14 Issue: 1 Pages: 54-58, 2017

[15] Wang, Yen-Po, *Fundamentals of seismic base isolation*, International training programs for seismic design of building structures hosted by National Certer of Research on Earthquake Engineering, Taiwan

[16] Xi-Yuan Zhou, Miao Han, Lin Yang, *Study on protection measures for seismic isolation rubber bearings*, ISET Jurnal of Earthquake Technology, Paper no.436, vol.40, no.2-4, June-December 2003, pp 137-160

[17] Yung-Hsiang Chen, Ying-Jan Ding, Ding-Shin Chen, Yong-Cang Zeng, *Vibrational control of a beam to moving loads or earthquake by tuned mass dampers*, ISEV 2007

MODELAREA REOLOGICĂ COMPLEXĂ A SISTEMELOR DE IZOLARE A BAZEI, LA CUTREMURE DE PĂMÂNT

Prof. univ. emerit dr. ing. Polidor BRATU[1], Conf.univ.dr.ing. Ovidiu VASILE[1], Conf. univ. dr. ing. Adrian LEOPA[2], Dr. ing. Cristina OPRIȚESCU[1], Dr. ing. Amalia ȚÂRDEA[1]

[1]ICECON SA Bucureşti, România,
[2]Universitatea „Dunărea de Jos" Galaţi, Facultatea de Inginerie şi Agronomie Brăila, România

REZUMAT. Protecţia construcţiilor la acţiuni seismice, în condiţii de siguranţă, a produs o emulaţie intensă, în ultima perioadă de timp, pentru inovarea unor soluţii eficiente de izolare a bazei. Astfel, în noile condiţii ale dezvoltării industriale a dispozitivelor antiseismice, la un nivel ridicat şi garantat de performanţă, pot fi realizate sisteme de izolare dinamică rezultate din asamblarea în diverse configuraţii ale dispozitivelor simple. În acest context, proiectanţii au realizat, pe baza dispozitivelor antiseismice elastomerice şi a disipatoarelor fluidice, unităţi individuale, în sistem modular. Acestea, prin instalare – montare într-un număr suficient de mare, sunt concepute să asigure gradul de izolare dinamică. În prezenta lucrare se prezintă un sistem modular de tip E/(E-V), model Zener, care este alcătuit din două dispozitive elastomerice şi un disipator fluidic cu amortizare vâscoasă. Pentru izolarea unei clădiri trebuie să fie utilizate un număr suficient de module care să definească in sistem unitar de izolare a bazei pentru o clădire dată. În consecinţă, lucrarea va cuprinde modelul dinamic bazat pe schematizarea Zener a întregului sistem de izolare şi parametrii specifici de calcul şi evaluare a nivelului de izolare dinamică.

Cuvinte cheie: izolare a bazei, model Zener, dispozitive elastomerice, disipator fluidic cu amortizare vâscoasă

ABSTRACT. Buildings protection against seismic actions has, in recent times, led to an intense emulation of innovative solutions for the insulation of the base. Thus, under the new conditions of industrial development of antiseismic devices, at high and guaranteed performance level, dynamic isolation systems can be achieved resulting from assembling in various configurations of simple devices. In this context, the designers have, on the basis of the elastomeric anti-seismic devices and the fluid dissipators, constructed individual units in a modular system. These, by installation-mounting in a sufficiently large number, are designed to provide the degree of dynamic isolation. In the present paper we present a modular E/(E-V) type Zener model, consisting of two elastomeric devices and a viscous damping fluidized dissipator. In order to isolate a building, a sufficient number of modules must be used to define in a unitary isolation system the base for a given building. Consequently, the paper will include the dynamic model based on Zener schematization of the entire isolation system and the specific parameters for calculating and evaluating the dynamic isolation level.

Keywords: base insulation, Zener model, elastomeric devices, viscous damping fluidized dissipator.

1. INTRODUCERE

Modelul reologic complex Zener, pentru întreg sistemul de izolare dinamică a bazei, este echivalent cu ansamblul modulelor de izolare, fiecare fiind alcătuit dintr+un element reologic Zener, individualizat prin două conexiuni în paralel Hooke şi Maxwell. În acest caz, rigidităţile şi amortizările individuale, prin combinarea corespunzătoare a elementelor reologice, asigură rigidităţile echivalente şi amortizările echivalente ale sistemului de izolare, pentru ansamblul clădirii.

Excitaţia cinematică a mişcării seismice este reprezentată prin deplasarea instantanee a primului mod de mişcare vibratorie, din compoziţia spectrală a cutremurului de pământ. Astfel, componenta fundamentalî, adică primul mod de mişcare, este deplasarea spectrală $x_0 = X_0 \sin \omega t$ sau $\tilde{x}_0 = X_0 e^{j\omega t}$, unde (ω, X_0) reprezintă pulsaţia şi respectiv amplitudinea primului mod spectral, cu perioada $T_0 = \frac{2\pi}{\omega}$.

Răspunsul dinamic al clădirii este reprezenntat de deplasarea instantanee $x = x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_1)$ sau $\tilde{x} = \tilde{A}e^{j\omega t}$, unde $\tilde{A} = Ae^{j\varphi_1}$. De asemenea, coordonata instantanee a punctului de legătură în serie, între elementul elastic şi elementul vâscos, notat cu B, este $y = y(t) = B\sin(\omega t + \varphi_2)$ sau $\tilde{y} =$

$\tilde{B}e^{j\omega t}$, unde $\tilde{B} = Be^{j\varphi_2}$. Unitatea imaginară s-a notat cu $j = \sqrt{-1}$. În esență, lucarrea evidențiază răspunsul dinamic, forța transmisă de cutremur la clădire, prin intermediul sistemului de izolare dinamică, cât și energia disipată pe dispozitivul de amortizare cu fluid vâscos.

2. AMPLITUDINILE MIȘCĂRILOR CA RĂSPUNS LA EXCITAȚIA SPECTRALĂ FUNDAMENTALĂ A SEISMULUI

În fig.1 se prezintă modelul dinamic echivalnt Zener, unde rigiditatea k și amortizarea c reprezintă mărimi echivalente pentru întregul sistem de izolare dinamică pe ansamblu, în care s-a introdus N ca factor de multiplicare real și pozitiv.

Ținând seama de faptul că $x_0 > x$ și $y > x$, prin ipoteză, ecuațiile de mișcare, în formalismul complex, sunt

$$\begin{cases} m\ddot{\tilde{x}} - k(\tilde{x}_0 - \tilde{x}) - c(\dot{\tilde{y}} - \dot{\tilde{x}}) = 0 \\ c(\dot{\tilde{y}} - \dot{\tilde{x}}) - Nk(\tilde{x}_0 - \tilde{y}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Soluțiile sistemului (1) sunt $\tilde{x} = \tilde{A}e^{j\omega t}$, cu $\tilde{A} = Ae^{j\varphi_1}$și $\tilde{y} = \tilde{B}e^{j\omega t}$, cu $\tilde{B} = Be^{j\varphi_2}$, ce trebuie să verifice sistemul de ecuații. Astfel, se obțin amplitudinile A și B sub forma

$$A = X_0\sqrt{\frac{N^2k^4 + c^2\omega^2k^2(1+N)^2}{D}} \quad (2)$$

$$B = X_0\sqrt{\frac{N^2k^2(k-m\omega^2)^2 + c^2\omega^2k^2(1+N)^2}{D}} \quad (3)$$

unde D are expresia

$$D = N^2k^2(k - m\omega^2)^2 + c^2\omega^2[(k - m\omega^2) + Nk]^2 \quad (4)$$

Datele inițiale ale unui caz în lucru sunt următoarele: m = 3 Mkg, k = 8 MN/m, X_0 =0,3 m, N = 10, c = (1, 2, 3, 4, 5) MNs/m au permis calculul analitic și reprezentarea familiilor de curbe pentru A și B, în fig.2.

3. DEFORMAȚIA MAXIMĂ A AMORTIZORULUI VÂSCOS

Pe baza schemei din fig.1 poate fi exprimată deformația instantanee $z_v = z_v(t)$ a amortizorului vâscos sub forma

$$\tilde{z}_v = \tilde{z}_v(t) = \tilde{y} - \tilde{x} \quad (5)$$

unde $\tilde{z}_v = \tilde{Z}_v e^{j\omega t}$, cu $\tilde{Z}_v = Z_{0v}e^{j\varphi}$ în care φ este defazajul dintre deformația $\tilde{z}_v$ și deplasarea instantanee $\tilde{y}$.

Înlocuind în relația (5) expresiile mărimilor complexe $\tilde{z}_v, \tilde{y}, \tilde{x}$, obținem

$$\tilde{Z}_v = \tilde{B} - \tilde{A} \quad (6)$$

iar pe baza relațiilor anterioare pentru A și B rezultă amplitudinea Z_{0v} sub formă analitică astfel

$$Z_{0v} = X_0\frac{mk\omega^2 N}{\sqrt{D}} \quad (7)$$

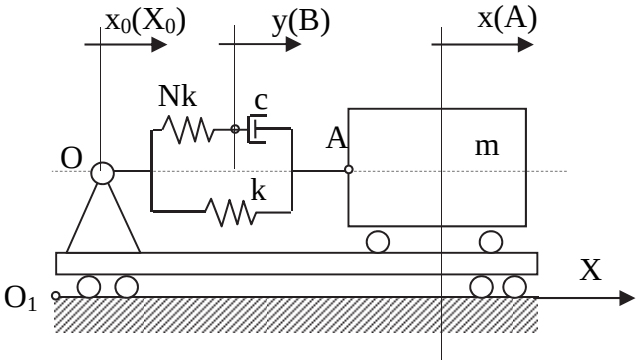


Fig. 1. Schema dinamică a sistemului de izolare a bazei.

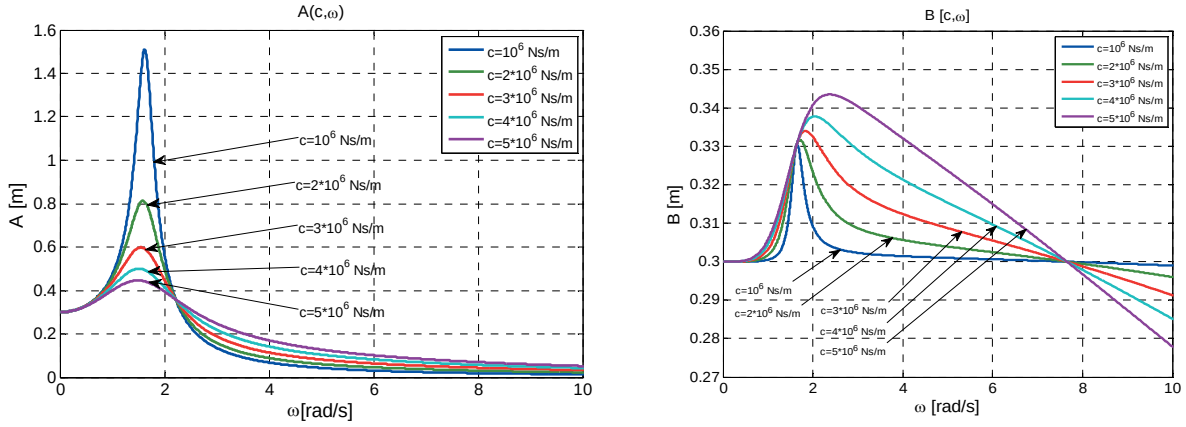


Fig. 2. Curbele de variație ale amplitudinilor A și B în raport cu variația curentă ω și variabila discretă c.

4. DEFORMAŢIA MAXIMĂ A SISTEMULUI ELASTIC *Nk*

Deformaţia instantanee $\tilde{z}_e$ a sistemului elastic *Nk*, pe ramura Hooke a modelului Zener. Este dată de relaţia

$$\tilde{z}_e = \tilde{x}_0 - \tilde{y} \tag{8}$$

sau sub forma

$$\tilde{Z}_e = X_0 - \tilde{B} \tag{9}$$

Pe baza expresiilor din relaţia (9) rezultă amplitudinea deformaţiei instantanee elastice *Nk* sub forma

$$Z_{oe} = -X_0 \frac{mc\omega^3}{\sqrt{D}} \tag{10}$$

5. FORŢA MAXIMĂ TRANSMISĂ

Forţa maximă transmisă $\tilde{Q}_T = \tilde{Q}e^{j\omega t}$, unde $\tilde{Q} = Q_0 e^{j\theta}$, în care θ este defazajul dintre $\tilde{Q}_T$ şi $\tilde{x}_0$, pate fi exprimată astfel

$$\tilde{Q} = \tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 \tag{11}$$

Forţele $\tilde{Q}_1$ şi $\tilde{Q}_2$ din ramura modelului Maxwell şi respectiv din ramura Hooke sunt de forma

$$\begin{cases} \tilde{Q}_1 = c\omega\tilde{Z}_v \\ \tilde{Q}_2 = k(X_0 - \tilde{A}) \end{cases} \tag{12}$$

Efectuând toate calculele operaţionale pe baza relaţiilor (11) şi (12) se obţine amplitudinea forţei transmise sub forma

$$\mathrm{Q}_0 = \frac{X_0}{D}\sqrt{R^2 + I^2} \tag{13}$$

unde avem

$$\begin{cases} R = -N^2k^2m\omega^2(k + c\omega)(k - m\omega^2) - kmc^2\omega^4(k + kN - m\omega^2) \\ I = Nkmc\omega^3[c\omega(k - m\omega^2) + Nk(k + c\omega)] \end{cases} \tag{14}$$

În fig.3 sunt reprezentate curbele de variaţie ale lui Q_0 în raport cu ω şi c.

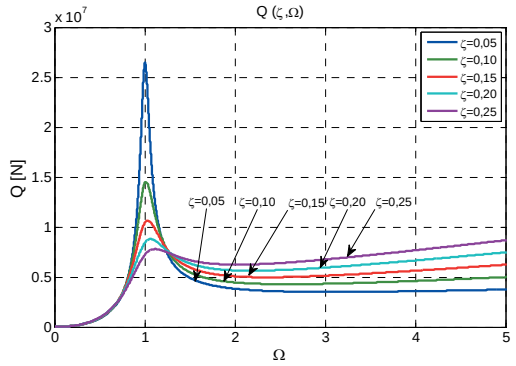


Fig.3. Familia de curbe $\mathrm{Q}_0(c, \omega)$.

6. TRANSMISIBILITATEA MIŞCĂRII

Prin definiţie transmisibilitatea T a mişcării este dată de relaţia

$$T = \frac{A}{X_0} \tag{15}$$

sau ţinând seama de expresia lui *A*, avem

$$T(c, \omega) = \sqrt{\frac{N^2k^4 + c^2\omega^2k^2(1+N)^2}{D}} \tag{16}$$

cu reprezentarea din figura 4.

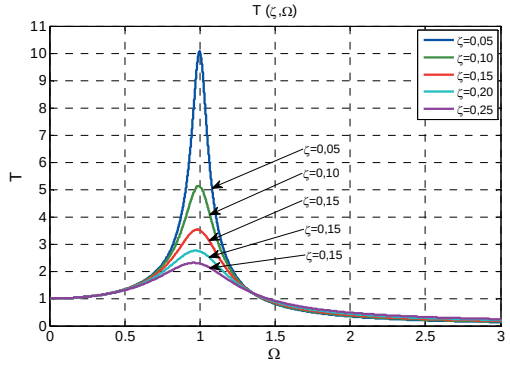


Fig.4. Curbele de variaţie a transmisibilităţii.

7. ENERGIA DISIPATĂ

Energia disipată în sistemul de amortizare compus care are constanta echivalentă *c* este dată de relaţia

$$W_d = \pi c\omega Z_{0v}^2 \tag{17}$$

În relaţia (17) introducem relaţia (7) şi obţinem

$$W_d(c, \omega) = \pi X_0^2 \frac{m^2k^2c\omega^5N}{D} \tag{18}$$

cu reprezentare în fig.5.

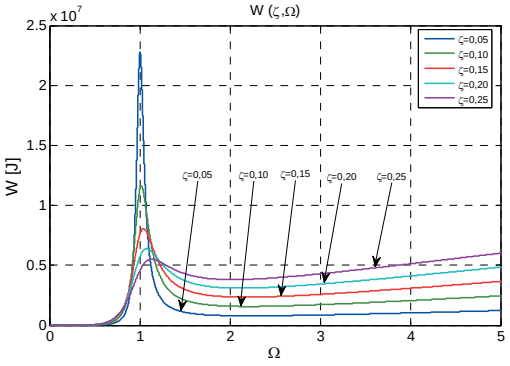


Fig.5. Curbele de variaţie a energiei disipate W_d în funcţie de ω şi c.

8. CONCLUZII

Realizarea sistemelor compuse de dispozitive antiseismice elastomerice de tip ADRB, LRB, în conexiune cu dispozitive antiseismice de disipare de tip FVD astfel încât să poată fi obţinut un model echivalent Zener, poate fi abordată conceptual pe baza următoarelor metode de calcul şi anume:

a) identificarea elementelor masice, a configuraţiei geometrice şi a comportamentului de rigid al clădirii ce trebuie izolată la bază;

b) Stabilirea nivelului maxim de acceleraţie şi a primei componente spectrale (fundamentale) pentru cutremurele de pământ din zonarea seismică a amplasamentului clădirii;

c) conceperea schemei de rezemare şi deplasarea laterală a clădirii aşezată pe sistemul de izolare la bază;

d) realizarea schemei de conexiune complexă după model Zener cu precizarea tuturor paramerilor de rigiditate elastică şi vâscoasă;

e) evaluarea analitică a răspunsului dinamic şi de izolare dinamică.

În acest context, lucrarea prezintă relaţiile de calcul pe baza cărora se pot face analize dinamice de optimizare a izolării la bază, astfel încât transmisibilitatea trebuie să fie de cel mult 20% - 30%.

BIBLIOGRAFIE

[1] Dobrescu, C., *The rheological behaviour of stabilized bioactive soils during the vibration compaction process for road structures*, 22th International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12-16.07.2015

[2] Johnson, Erik A., Ramallo, Juan C., Spencer, Billie F. Jr, Sain, Michael K., *Intelligent base isolation systems*, 2nd World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, 1998

[3] Mitu, A.M., Sireteanu, T., Ghita, G., *Passive and Semi-Active Bracing Systems for Seismic Protection: A Comparative Study*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 12 Issue: 1 Pages: 49-56, 2015

[4] Sireteanu, T., *Smart Suspension Systems*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 13 Issue: 1 Pages: 2-2, 2016

[5] Stanescu, N.D., *Vibrations of a Shell with Clearances, neo-Hookean Stiffness, and Harmonic Excitations*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 13 Issue: 2 Pages: 104 -111, 2016

[6] Vasile, O., *Active Vibration Control for Viscoelastic Damping Systems under the Action of Inertial Forces*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 14 Issue: 1 Pages: 54-58, 2017

[7] Wang, Yen-Po, *Fundamentals of seismic base isolation*, International training programs for seismic design of building structures hosted by National Certer of Research on Earthquake Engineering, Taiwan

SISTEME ANTISEISMICE DE REZEMARE ŞI LEGĂTURĂ ÎN CONFIGURAŢII REOLOGICE COMPLEXE PENTRU IZOLAREA DINAMICĂ

Prof. univ. emerit dr. ing. Polidor BRATU[1], Dr. ing. Cristina OPRIŢESCU[1], Dr. ing. Amalia ŢÂRDEA[1], Ing. Cătălin ZAHARIA[1]

[1] *ICECON SA Bucureşti, România*

REZUMAT. Lucrarea tratează problematica alegerii şi realizării soluțiilor tehnice de izolare a bazei construcțiilor amplasate în zone geografice cu seismicitate ridicată, cu risc şi vulnerabilitate semnificative. Ținând seama de realizările industriale actuale ale dispozitivelor antiseismice individuale, proiectanții caută soluții eficiente de conexiune, în diverse configurații ale fluxurilor de forțe şi deplasări, astfel încât gradul de izolare a construcției să poată fi asigurat la valori de peste 65%. În acest context, vor fi prezentate scheme reologice echivalente compuse pe baza conexiunii serie-paralel a unor dispozitive antisesimice de rezemare şi legătură între construcție şi fundația încastrată în teren. Pe baza studiilor efectuate, în cadrul unor proiecte de specialitate, în lucrare se prezintă, în mod comparativ, performanțele de izolare dinamică a cinci soluții tehnice de scheme reologice compuse.

Cuvinte cheie: izolare a bazei, dispozitivelor antiseismice, scheme reologice echivalente

ABSTRACT. The paper deals with the problem of choosing and realizing technical solutions for the isolation of the base of buildings located in geographically high seismic areas with significant risk and vulnerability. Taking into account the current industrial achievements of individual antiseismic devices, designers are looking for efficient connection solutions in various configurations of forces flows and displacement flows so that the degree of insulation of the construction can be assured at values above 65%. In this context, there will be presented equivalent rheological schemes composed on the serial-parallel connection of some antisemic bearing devices and the connection between the construction and the embedded foundation in the field. On the basis of the studies, within the framework of some specialized projects, the work presents comparatively the dynamic isolation performance of five technical solutions of compound rheological schemes.

Key words: isolation of the base, antiseismic devices, equivalent rheological schemes

1. INTRODUCERE

Reducerea schemelor reologice vâscoelastice liniare/neliniare se poate realiza prin conexiunea corespunzătoare a unui număr de dispozitive antiseismice individuale realizate şi certificate în conformitate cu norma EN15129/2018.

Pentru sistemele de izolare a bazei, am adoptat alegerea unor dispozitive elastice elastomerice (HDRB,LRB) şi dispozitive de disipare fluidic vâscoasă (FVD), în ipoteza comportării liniare. Astfel, au fost abordate analitic cinci modele compuse şi anume: Voigt-Kelvin (E/V), Maxwell (V-E), Zener (E-V) /E, Hooke Voigt-Kelvin E-(E/V), Newton Voigt-Kelvin V-(E/V). Modelul dinamic are un singur grad de libertate în ipoteza faptului că structura de ansamblu a clădirii se comportă ca un rigid nedeformabil, având masa *m*.

Excitația este aleasă ca fiind accelerația instantanee $\ddot{x}_0$ sau deplasarea instantanee $x = x(t) = X_0 \sin\omega t$ ce corespund primului mod spectral (fundamental) al compoziției spectrale a cutremurului de pământ.

Rigiditatea elastică echivalentă *k* ca şi amortizarea echivalentă *c* rezultă din conexiunea compusă în serie-paralel a tuturor dispozitivelor individuale. Pentru fiecare caz în parte, au fost stabilite relații analitice de calcul astfel încât evaluareea performanțelor de izolare să poată fi făcută în condițiile unei analize realiste a comportării dinamice atât numeric cât şi fenomenologic.

2. ANALIZA PARAMETRILOR DE IZOLARE DINAMICĂ

În tabelul 1 se prezintă cinci modalități de izolare a bazei ce corespund modelelor reologice compuse. Astfel, pentru fiecare soluție se prezintă schematizarea dinamică cu modelul reologic al sistemului de rezemare şi legătură, cu reprezentarea deplasărilor instantanee ale punctelor remarcabile şi anume :

- deplasarea instantanee $x = x(t) = X_0 \sin\omega t$ corespunde reperului mobil *O* fundației încastrate în

teren, fiind generată de mișcarea sesimică a terenului pe direcția unidirecțională în raport cu axa $O_1 X$, considerată fixă.

- deplasarea instantanee $x = Asin(\omega t-\varphi)$ corespunde punctului *A* al masei concentrate m, definită în raport cu reperul mobil *O*.

- deplasarea instantanee a punctului de conexiune *B*, definită prin $y = Bsin(\omega t-\theta)$ în raport cu reperul mobil *O*.

Datele inițiale de intrare pentru studiul de caz analizat în cele cinci variante reologice complexe sunt următoarele :

a) rigiditatea orizontală echivalentă k=4,8 MN/m;

b) amortizarea vâscoasă echivalentă c=1,5 MNs/m;

c) masa m=3MKg;

d) perioada proprie T_0 =5s; frecvența proprie f_0 = 0,2 Hz ; pulsația proprie

ω_0 = 0,4 π rad/s*;*

e) parametrii excitației cinematice a primului mod spectral (fundamental):

- accelerația a_1 = 0,3g ≅ 3m/s^2

- amplitudinea deplasării terenului $X_1 = X_0$ = 0,3 m

- pulsația de excitație ω= π rad/s; frecvența de excitație f=0,5 Hz ; perioada de excitație T=2,0 s

Analiza parametrilor de răspuns la excitația primului mod spectral seismic dat poate fi sintetizată prin următoarele mărimi fizice caracteristice și anume:

- amplitudinea *A* a deplasării pe direcția O_1X a construcției ca rigid nedeformabil ;

- transmisibilitatea dinamică *T*, în %*;*

- izolarea dinamică I=1-T, în %*;*

- deformația vâscoasă maximă *V*, în m*;*

- forța de disipare maximă, în sistemul vâscos, F_D , în kN;

- forța transmisă maximă, la clădire, Q_0 , în kN;

- energia disipată pe ciclu W_d , în kJ/ciclu;

3. REZULTATELE STUDIULUI DE CAZ

Pe baza studiilor analitice și a stabilirii relațiilor de calcul parametrice, în ipoteza comportării liniare a sistemelor reologice ce modelează sistemele de izolare a bazei din tabelul 1, pot fi evidențiate următoarele rezultate:

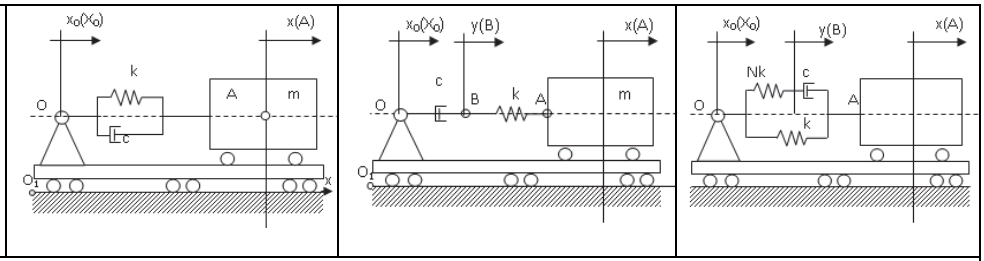
a) pentru modelele reologice alcătuite din două elemente simple E și V, în paralel Voigt-Kelvin (E/V) sau în serie Maxwell (E-V), se constată că izolarea dinamică este favorabilă în cazul Maxwell comparativ cu cazul Voigt-Kelvin.

b) pentru modelele reologice alcătuite din trei elemente simple *E* și *V*, cărora li se pot aplica multiplicatorii *N* sau *M* ca numere reale și pozitive, se constată următoarele :

- modelul Zener (E-V)/E cel mai mic grad de izolare 69% comparativ cu celelalte două Hooke-Voigt Kelvin E-(E/V) și Newton-Voigt Kelvin V-(E/V), în schimb energia disipată pe ciclu de 2322 kJ/ciclu este cea mai mare.

- modelele compuse E-(E/V) și V-(E/V) sunt mai eficiente pentru N-1 și respectiv M=1 asigurând un grad de izolare dinamic comparativ ridicat de 90 %, dar cu energii de dispare, relativ scăzute, de cca.340 kJ/ciclu.

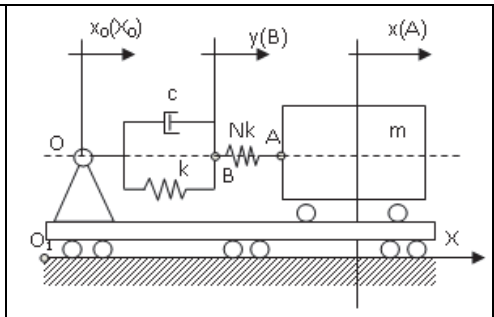
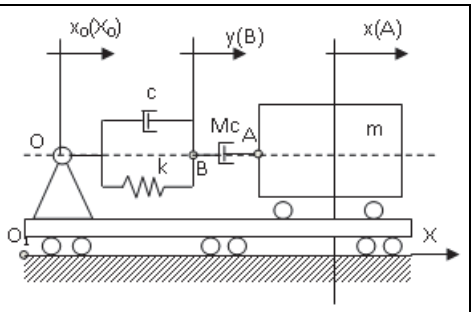
Tabelul 1



Parametrii sistemului dinamic: k=48·10^{5}N/m; c=15·10^{5}Ns/m; m=3·10^{6}kg;
Parametrii vibrațiilor proprii: T_0=5s; f_0=0,2Hz; ω_0=0,4π rad/s;
Parametrii componentei fundamentale de excitație seismică: T_e=2,0s; f_e=0,5Hz; ω_e=π rad/s; a_1=0,3g; X_1=X_0=0,3m

	Voigt – Kelvin (E/V)	Maxwell CKM (V-E)	Zener (E=V)/E
Deplasarea maximă a masei A, m	0,079	0,036	0,093$^{**)}$
Transmisibilitatea T,%	26	12,2	31
Gradul de izolare dinamică I, %	74	87,8	69
Deformația maximă vâscoasă V, m	0,32	0,23	0,39
Forța maximă vâscoasă F_D, kN	1536	1104	1885
Forța maximă transmisă Q_0, kN	2165	1104	4200
Energia disipată W_d, kJ/ciclu	1544	797	2322

Tabelul 1 (continuare)

<table>
<tr><td></td><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="5">Parametrii sistemului dinamic: k=48·10^{5}N/m; c=15·10^{5}Ns/m; m=3·10^{6}kg;
Parametrii vibraţiilor proprii: T_0=5s; f_0=0,2Hz; ω_0=0,4π rad/s;
Parametrii componentei fundamentale de excitaţie seismică: T_e=2,0s; f_e=0,5Hz; ω_e=π rad/s; a_1=0,3g; X_1=X_0=0,3m</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Hooke – Voigt – Kelvin E-(E/V)</td><td colspan="2">Newton – Voigt – Kelvin V-(E/V)</td></tr>
<tr><td>Deplasarea maximă a masei A, m</td><td>N=10</td><td>N=1</td><td>M=10</td><td>M=1</td></tr>
<tr><td></td><td>0,072*)</td><td>0,033</td><td>0,069</td><td>0,031</td></tr>
<tr><td>Transmisibilitatea T,%</td><td>24</td><td>11</td><td>23</td><td>10</td></tr>
<tr><td>Gradul de izolare dinamică I, %</td><td>76</td><td>89</td><td>77</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Deformaţia maximă vâscoasă V, m</td><td rowspan="2">0,031</td><td rowspan="2">0,148</td><td>V_1^c=0,3</td><td>V_1^c=0,3</td></tr>
<tr><td>V_2^{Mc}=0,15</td><td>V_1^{Mc}=0,06</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Forţa maximă vâscoasă F_D, kN</td><td rowspan="2">146</td><td rowspan="2">713</td><td>F_{D1}^c=1140</td><td>F_{D1}^c=672</td></tr>
<tr><td>F_{D2}^{Mc}=279</td><td>F_{D2}^{Mc}=288</td></tr>
<tr><td>Forţa maximă transmisă Q_0, kN</td><td>2162</td><td>1008</td><td>7358</td><td>892</td></tr>
<tr><td>Energia disipată W_d, kJ/ciclu</td><td>15,27</td><td>332</td><td>1759</td><td>340</td></tr>
</table>

*) B=0,027m

**) N=1

Notă: Dispozitivul fluidic are parametrii: c_0=375kNs/m; F=350kN;v_{max}=0,95m/s

4. CONCLUZII

Pe baza cercetărilor analitice de modelare reologică şi dinamică, cât şi a rezultatelor experimentale în cadrul laboratoarelor specializate acreditate şi/sau notificate la UE, având în vedere parametrii de izolare dinamică, forţe transmise, forţe de disipare şi energie disipată pe ciclu pot fi formulate următoarele concluzii:

a) gradul de izolare dinamică la valori de peste 85% poate fi atins în mod semnificativ prin conexiunea finală în serie a unui sistem de disipatoare fluidice cu constanta echivalentă *c*. Acest caz poate fi realizat pe baza modelelor schematizate astfel : V-E şi V-(E/V) cu *M*=1

b) energia disipată pe ciclu poate fi realizată cu sisteme reologice de tipul E/V, (E-V)/E şi V-(E/V) cu $M=t_0$, cu efecte nefavorabile prin transmiterea unor forţe maxime relativ ridicate asupra clădirii.

c) efectul multiplicatorilor *N*=*M*=10 se evidenţiază în ultimele două coloane din tabelul 1.

Faţă de cele de mai sus, prezentul studiu pentru cinci sisteme de izolare dinamică la bază, distincte ca soluţie tehnică, poate constitui etapa premergătoare a unei analize dinamice liniare în alegerea şi definitivarea schemei de rezemare şi legătură vâscoelastică, în plan orizontal ca protecţie la acţiuni seismice date.

BIBLIOGRAFIE

[1] Dobrescu, C., *The rheological behaviour of stabilized bioactive soils during the vibration compaction process for road structures*, 22th International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12-16.07.2015

[2] Forrest, James A., *Free-free dynamics of some vibration isolators*, Annual Conference of the Australian Acoustical Socyiety, 13-15 Nov. 2002, Adelaide, Australia

[3] Kim Young- Sang, *Study on the effective stiffness of base isolation system for reducing acceleration and displacement responses*, Journal of Korean Nuclear Society, vol.31, No. 6, pp. 586-594, Dec. 1999

[4] Kyu-Sik Park, Sang-Won Cho, In-Won Lee, *A comparative study on aseismic performances of base isolation systems for multi-span continuos bridge*, 14th KKNN Symposium on Civil Engineering, November 5-7, 2001, Kyoto, Japan

[5] Mitu, A.M., Sireteanu, T., Ghita, G., *Passive and Semi-Active Bracing Systems for Seismic Protection: A Comparative Study*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 12 Issue: 1 Pages: 49-56, 2015

[6] Pinarbasi, Seval, Konstantinidis Dimitrios, Kelly, James M., *Seismic isolation for soft-story buildings*, 10th World Conference on seismic isolation, energy dissipation and active vibrations control of structures, Istanbul, Turkey, May 28-31, 2007

[7] Potirniche, A., *Assessments Regarding Effective Configurations of Vibration Isolators Based on Displacements Analysis*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 12 Issue: 2 Pages: 126-131, 2015

[8] Sireteanu, T., *Smart Suspension Systems, Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 13 Issue: 1 Pages: 2-2, 2016

[9] Stanescu, N.D., *Vibrations of a Shell with Clearances, neo-Hookean Stiffness, and Harmonic Excitations*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 13 Issue: 2 Pages: 104 -111, 2016

[10] Vasile, O., *Active Vibration Control for Viscoelastic Damping Systems under the Action of Inertial Forces*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Volume: 14 Issue: 1 Pages: 54-58, 2017

[11] Xi-Yuan Zhou, Miao Han, Lin Yang, *Study on protection measures for seismic isolation rubber bearings*, ISET Jurnal of Earthquake Technology, Paper no.436, vol.40, no.2-4, June-December 2003, pp 137-160

REGIMURI DINAMICE OPTIME ALE ECHIPAMENTELOR DE COMPACTARE PRIN VIBRARE

Dr. ing. Oana TONCIU[1], Dr. ing. Cornelia DOBRESCU[2], Dr. ing. Adrian LEOPA[3]

[1]Universitatea Tehnică de Construcții București, București, România,
[2]Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă "URBAN INCERC", București, România, [3]Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Brăila, România

REZUMAT. Lucrarea tratează dinamica compactoarelor vibratoare pentru lucrări de drumuri. Astfel, modelul dinamic adoptat asigură cu fidelitate comportamentul echipamentului vibrator în procesul de lucru. Pentru aceasta au fost ridicate caracteristicile amplitudinilor de lucru ale rulourilor compactoare într-un interval de frecvenţă poziţionate după ultima rezonanţă a maşinii.

Cuvinte cheie: compactor vibrator, vibrații.

ABSTRACT. The paper deals with the dynamics of vibratory compactors for road works. Thus, the adopted dynamic model faithfully ensures the behavior of vibratory equipment in the working process. For this, the characteristics of the working amplitudes of the roller coils were raised in a frequency range positioned after the last resonance of the machine.

Keywords: vibrating compactor, vibration.

1. INTRODUCERE

Tehnologiile moderne de execuție a straturilor din pământ, pamânt stabilizat, balast, mixturi asfaltice asigură o eficiență tehnico – economică corespunzătoare lucrărilor de construcții printr-o utilizare rațională a echipamentelor tehnologice de compactat prin vibrare.

Provocarea tehnică la acest tip de echipamente este de a satisface un criteriu specific, fundamental, care cumulează două aspecte contradictorii, și anume:

- realizarea parametrilor vibrațiilor de lucru la ruloul vibrator pentru compactare;
- încadrarea parametrilor de vibrații în limitele admisibile la postul de lucru al mecanicului deservent în scopul asigurării parametrilor ergonomici și al respectării legislației din domeniul securității și sănătății în muncă și, în același timp, al menținerii parametrilor caracteristici siguranței de funcționare.

Pentru a realiza efectul de compactare se urmărește atingerea amplitudinii vibrațiilor organului de compactat, iar în vederea realizării condițiilor ergonomice se urmărește diminuarea transmiterii vibrațiilor de la ruloul vibrator la structura utilajului.

2. ANALIZA CONSTRUCTIVĂ

În general, din punct de vedere constructiv se deosebesc următoarele categorii de compactoare:

a) Compactoare vibratoare tractate;

b) Compactaoare vibratoare autopropulsate, cu șasiu monobloc (nearticulat) și două rulouri netede. Vibrarea se realizează fie cu un singur rulou, fie pe ambele rulouri, iar tracțiunea cu un sigur rulou, sau totală, cu ambele rulouri;

c) Compactoare vibratoare autopropulsate cu două rulouri profilate cu șasiu articulat. Vibrarea se realizează pe ambele rulouri sau numai pe unul singur, în timp ce tracțiunea se realizează pe ambele rulouri;

d) Compactoare vibratoare autopropulsate cu două rulouri netede și șasiu articulat. Vibrarea se realizează fie cu un singur rulou (fig. 1), fie pe ambele rulouri iar tracțiunea pe un singur rulou sau pe ambele;

e) Compactoare vibratoare autopropulsate mixte cu șasiu articulat. Vibrarea se realizează cu un sigur rulou amplasat în față, iar tracțiunea pe două sau patru pneuri amplasate în spate. Se pot utiliza și sisteme cu tracțiune totală simultan pe rulou și pneuri.

Pentru atingerea deziderateloor prezentate mai sus, s-au prevăzut trepte elastice de izolare a vibrațiilor compuse din elemente de cauciuc (fig. 1).

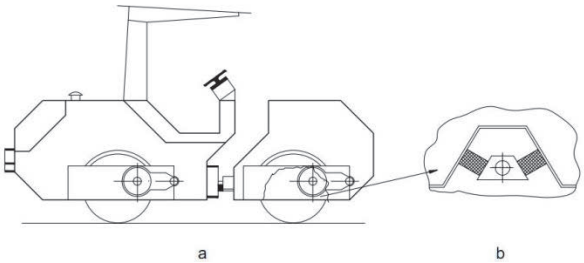


Fig. 1. Compactor autopropulsat cu un rulou vibrator și o singură treaptă de izolare dinamică:|
a. Compactor vibrator; b. Treapta elastică între ruloul vibrator și șasiul anterior.

Dacă elementele antivibratile nu sunt amplasate rațional în structura mașinii, poate apărea o funcționare anormală a acesteia, însoțită de distrugerea în scurt timp a subansamblelor, precum și transmiterea vibrațiilor la postul de comandă.

Capacitatea cauciucului de a absorbi o mare parte din energia mecanică face ca amplitudinea vibrațiilor să fie diminuată, mai ales la trecerea prin rezonanță, caz în care elementele de cauciuc au rolul de amortizoare, ca urmare a proprietății de disipare a energiei.

Construcția metalică este alcătuită din părțile componente ale șasiului, cutia de lestare, suportul grupului de acționare, capotajele aferente și cabina. Elementele constructive sunt executate cât mai rigid și compact astfel încât să nu se deformeze în condițiile regimului de vibrații impus. Șasiul este alcătuit din două părți legate între ele printr-o articulație dublă cu ax vertical și orizontal.

3. ANALIZA DINAMICĂ

Modelul de calcul pentru un compactor vibrator monocilindru este prezentat mai jos, în figura 2

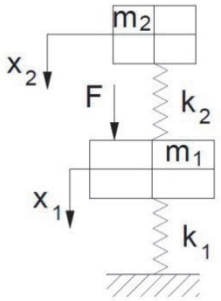


Fig. 2. Model dinamic

Ecuatiile diferentiale ale miscării sunt următoarele: unde

$$F = F(t) = m_0 r \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

Funcția pulsațiilor proprii este dată de relația lui D, astfel:

$$D(\omega) = \left(k_1 - m_1\omega^2\right)\cdot\left(k_2 - m_2\omega^2\right) - m_2 k_2 \omega^2 \quad (4)$$

Amplitudinile vibrațiilor fortate sunt date de relațiile următoare:

$$A_1 = \frac{m_0 r \omega^2}{D}(k_2 - m_2\omega^2)$$

$$A_2 = \frac{m_0 r \omega^2}{D} k_2 \quad (5)$$

unde A_1 este amplitudinea vibrațiilor tehnologice ale ruloului compactor;

A_2 – amplitudinea șasiului anterior al mașinii.

4. REPREZENTĂRI GRAFICE

Ipoteza de lucru pentru trasarea graficelor de variație a amplitudinii vibrațiilor ruloului compactor, respectiv ale șasiului cu pulsația ω este stabilită pe baza unor determinări experimentale executate în cadrul ICECON. Astfel, pe baza unor studii de caz, pot fi ridicate curbele semnificative pentru următoarele date parametrice inițiale:

m_1 este masa ruloului compactor; m_1 = 5000 kg;

m_2 - masa șasiului echipamentului de compactare;

$$m_1\ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2\left(x_1 - x_2\right) = F(t) \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2 - k_2(x_1 - x_2) = 0 \quad (2)$$

m_2 = 2000 kg;

k_1 - coeficientul de rigiditate al pământului; k_1 = (5; 10; 20; 25)10^7N/m;

k_2- coeficientul de rigiditate al treptei elastice constând dintr-un sistem de dispozitive elastomerice asamblate în paralel între ruloul vibrator și șasiul anterior.

$$k_2 = 5\cdot 10^7 \text{ N/m};$$

$m_0 r$ - momentul static total al vibroexcitatorului inerțial;

$$m_0 r = 7{,}5 kgm$$

în care m_0 este masa totală a corpurilor de dezechilibrare inerțială;

r – coordonata centrului de masă față de axa de rotație a corpurilor de dezechilibrare inerțială.

ω - pulsația forței excitatoare, ca variabilă curentă; $\omega = 0...500$ rad/s.

În figura 3 se prezintă variația lui A_1 în raport cu variabila ω și variabila discretă k_1 ce semnifică compactarea etapizată a a terenului începând cu $k_1=5\cdot 10^7$N/m până la $k_1=20\cdot 10^7$N/m.

În figura 4 se prezintă variația lui A_2 în raport cu variabila curentă ω și cu variabila discretă k_1, evidențiindu-se faptul că pe măsură ce gradul de compactare crește vibrațiile transmise șasiului au amplitudine discret crescătoare.

5. CONCLUZII

Față de cele prezentate mai sus, pot fi sintetizate următoarele concluzii:

a) pentru modelul de calcul stabilit (fig. 2) pentru un compactor vibrator monocilindru au fost trasate curbele de variație a amplitudinilor A_1 și A_2 în funcție de variația continuă a lui ω (0…500 rad/s) și variația discretă a lui k_1 (5; 10; 20; 25)10^7N/m.

b) la ω = 300 rad/s amplitudinea tehnologică A_1 se menține constantă pentru fiecare valoare discretă a lui k_1 deoarece zona de postrezonanță este stabilă ceea ce oferă garanția unui proces tehnologic uniform și constant.

Valorile parametrice din lucrare au fost stabilite pe baza experimentărilor efectuate in situ.

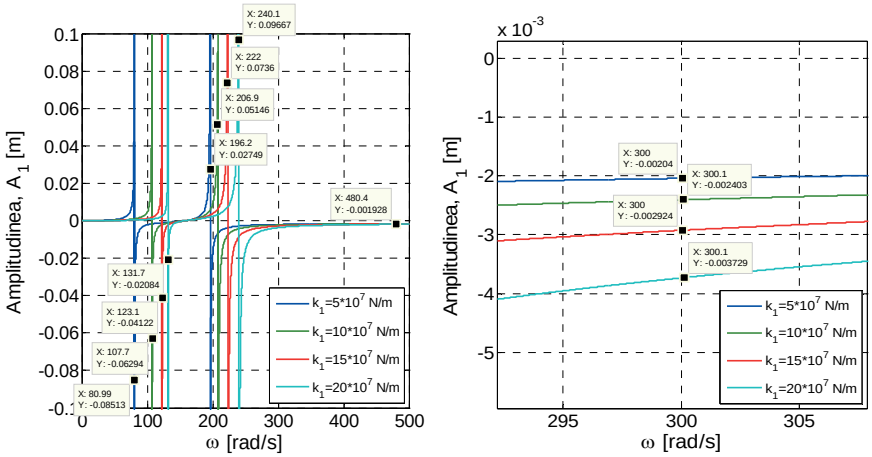


Fig.3. Curba de variație a amplitudinii A_1 în funcție de variația continuă a lui ω și variația discretă a lui k_1

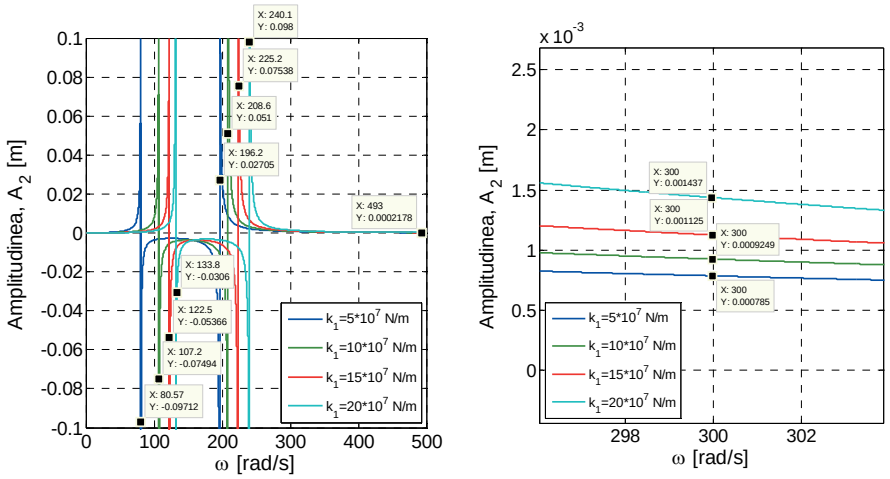


Fig.4. Curba de variație a amplitudinii A_2 în funcție de variația continuă a lui ω și variația discretă a lui k_1

6. BIBLIOGRAFIE

[1] Rollings M.P., Rollings R.R. , *Geotechnical materials in construction* , McGraw – Hill, 1996.

[2] Mihăilescu Șt., Bratu P., Goran V., *Mașini de construcții 2*, Editura Tehnică, București, România, 1985.

[3] Mihăilescu Șt., Zafiu Gh. P., Gaidoș A., Bratu P., Vlădeanu A s.a., *Tehnologii și utilaje pentru executarea, întreținerea și reabilitarea suprastructurilor de drumuri. Executarea suprastructurilor de drumuri*, Editura Impuls, Vol. I, București, 2005.

[4] Schuettpelz C.C., Fratta, D., edil, T.B., *Evaluation of the Influence of Geogrid Reinforcement on Soil Rotation and Stiffness in Compacted Based Curse Soil*, Transportation Research Record No. 2116, 76 – 84, 2009.

[5] Kolumban, V., *Contribuții la optimizarea performanțelor mașinilor de compactare prin vibrare*, Teză de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2000.

[6] Nicoară, Ș. V., *Contribuții la compactarea mediilor poroase în construcțiile de retenție*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică, 2003.

[7] Bratu, P., *Vibrațiile sistemelor elastice*, Editura Tehnică, București, 2000.

[8] Bratu, P., *Analyze of insulator rubber elements subjected to an actual dynamic regime*, the 9 th International congress.

MODELAREA DINAMICĂ A ECHIPAMENTELOR VIBRATOARE DE ÎNFIGERE A PALPLANȘELOR ȘI PILOȚILOR ÎN PĂMÂNT

Dr. ing. Oana TONCIU

Universitatea Tehnică de Construcții București, București, România

REZUMAT. În lucrare se prezintă modelul dinamic pentru echipamentele de înfigere prin vibrare pentru piloți și palplanșe. Pentru aceasta au fost analizate mai multe soluții constructive, astfel încât modelul dinamic ales să fie reprezentativ. În conseecință, lucrarea cuprinde analiza dinamică a răspunsului sistemului la acțiunea forței perturbatoare generată cu un vibrator inerțial cu patru mase excentrice sincronizate în fază, pentru asigurarea unei acțiuni dinamice unidirecționale pe verticală. În final se prezintă curbele de variație a amplitudinilor maselor în mișcarea vibratorie, cu regimurile optime funcționale.

Cuvinte cheie: model dinamic, vibrații, piloți, palplanșe

ABSTRACT. In the paper is presented the dynamic model for piloting vibration equipment for sheet pile and piles. For this, several constructive solutions were analyzed, so that the dynamic model chosen was representative. Consequently, the paper contains the dynamic analysis of the system response to the action of the disturbing force generated by an inertial vibrator with four eccentric masses synchronized in phase, in order to ensure a vertical unidirectional dynamic action p. Finally, we present the curves of variation of mass amplitudes in vibrational movement, with optimal functional regimes.

Keywords: dynamic model, vibrations, pilots, sheet pyle

1. INTRODUCERE

Echipamentele vibratoare de înfigere a palplanșelor și piloților în pământ sunt vibroînfigătoarele unidirecționale montate pe o placă suport, care se fixează pe capătul superior al elementului de înfigere (palplansă, pilot). Vibroînfigătoarele sunt mașini cu acțiune vibratoare destinate introducerii în pământ a unor elemente de construcții (în cazul executării și consolidării unor lucrări de fundații) printre care palplansele si piloții, în pământuri necoezive, îmbibate cu apă, cu compactare redusă și medie, precum și în unele pământuri coezive moi (argile plastice slabe).

În funcție de caracteristicile terenului se impune evaluarea dinamică a elementului de înfigere (organului de lucru) astfel încât amplitudinea și frecvența vibrațiilor tehnologice să reprezinte caracteristici certe la un nivel minim predictibil care să conducă la executarea corectă a procesului de introducere în teren a pilotului sau palplanșei. Din acest motiv, se impune ca la schimbarea amplasamentului să se evalueze caracteristicile terenului astfel încât să poată fi realizat reglajul necesar al echipamentelor vibratoare pentru atingerea vibrațiilor tehnologice necesare.

2. ANALIZA CONSTRUCTIVĂ

Vibroînfigătoarele au în componența lor generatoare inerțiale de vibrații fixate rigid pe capătul organului de lucru (palplanșei sau pilotului). Soluțiile constructive utilizate cel mai frecvent clasifică echipamentele vibratoare de înfigere a palplanșelor în pământ astfel:

a) Vibroînfigătoare cu fixare rigidă a motorului de acționare în raport cu generatorul de vibrații (fig. 1 a unde: 1 – motor de acționare; 2 – generator de vibrații; 3 – platforma de rezemare; 4 – dispozitiv de fixare palplanșă)

b) Vibroînfigătoare cu sprijinire elastică a motorului de acționare în raport cu generatorul de vibrații (fig. 1 b unde: 1 – generator de vibrații; 2 – dispozitiv de fixare palplansă; 3 – platforma de rezemare; 4 - motor de acționare)

Vibroînfigătoarele cu fixare rigidă a motorului de acționare la generatorul de vibrații au avantajul unei construcții simple, dar utilizarea lor presupune asumarea următoarelor dezavantaje:

- creșterea greutății vibratorului, prin adăugarea unor greutăți suplimentare, duce la reducerea amplitudinii vibrațiilor și implicit a vitezei de înfigere a palplanșei sau pilotului;
- reducerea fiabilității motoarelor electrice cauzată de faptul că motorul este supus acelorași vibrații ca și elementul de înfipt;
- necesitatea asigurării protecției utilajului purtător al vibroînfigătorului împotriva transmiterii către acesta a vibrațiilor.

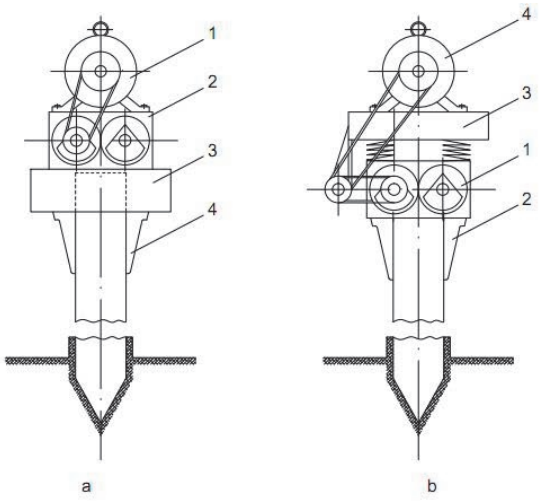


Fig. 1. Vibroînfigătoare pentru piloți și palplanșe.

Al doilea tip constructiv de vibrînfigător (fig. 1 b) este alcătuit din două părți cu legătură elastică printr-un sistem de arcuri elicoidale, astfel:

- partea vibratoare care cuprinde vibratorul 1 și dispozitivul de prindere al acestuia la organul de lucru 2;
- partea superioară care constă din placa support de izolare 3 și motorul de acționare 4, aceasta fiind izolată dinamic de legatura elastică alcătuită din arcurile elicoidale.

Soluția constructivă cu motor rezemat elastic permite realizarea în mod suplimentar a apăsării elementului care se înfige, ducând astfel la un efect combinat de vibropresare cu rezultate bune la introducerea palplanșelor sau piloților în terenuri necoezive și slab coezive.

Constanta elastică a arcurilor se alege astfel încât pulsația plăcii 3 să fie mai mică decât a vibratorului, caz în care arcurile joacă rolul de izolator dinamic.

Din analiza comparativă, rezultă faptul că amplitudinea vibrațiilor și a presiunii de încărcare nu pot fi variate și separate, deoarece cele două mărimi se află într-un raport invers proporțional.

3. ANALIZA DINAMICĂ

Având în vedere aspectele prezentate mai sus precum și faptul că vibroînfigătoarele cu suspensie elastică au un domeniu mai larg de utilizare (permit creșterea greutății statice a mașinilor fără a micșora amplitudinea vibrațiilor) se va prezenta în continuarea lucrării modelarea dinamică pentru echipamente vibratoare cu motorul de acționare rezemat elastic.

Modelul utilizat pentru modelarea majorității echipamentelor vibratoare pentru înfigerea palplanșelor și piloților în pământ este cel al sistemului vibrator linear cu 2 mase concentrate ca în figura 2 a.

Pentru studiul acestui model s-a adoptat schema de calcul dinamică reprezentată în fig. 2 b.

Parametrii definitorii pentru modelul dinamic din figura 2 sunt următorii:

m_1 este masa totală a vibratorului cu sistemul de prindere și organul de lucru;

m_2 – masa motorului de acționare împreună cu platforma de așezare;

k_2 – coeficientul de rigiditate al elementelor elastice pe care reazemă platforma motorului;

k_1 – coeficientul de rigiditate al pământului;

m_0 – masa totală a elementelor excentrice de dezechilibrare inerțială din componența vibratorului;

r – excentricitatea elementelor de dezechilibrare.

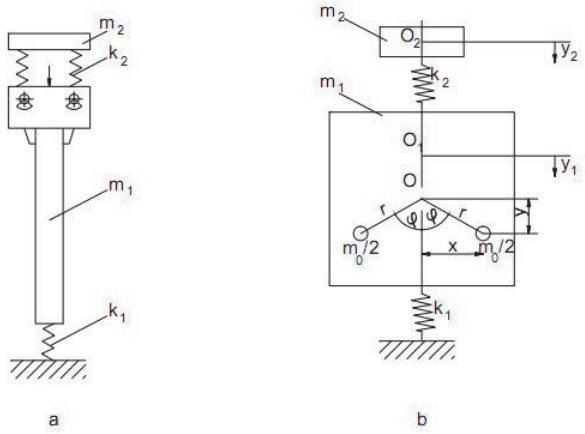


Fig. 2. Modelul și schema de calcul dinamic.

Poziția maselor m_1, m_2 și m_0 este dată de coordonatele instantanee y_1, y_2 și φ.

Ecuațiile diferențiale ale mișcării sistemului mecanic sunt de forma:

$$\left(m_1+m_0\right)\cdot \ddot{y}_1 - m_0 r\ddot{\phi}\sin\phi - m_0 r\dot{\phi}^2\cos\phi + k_1 y_1 + \\ + k_2\left(y_1-y_2\right)=0 \tag{1}$$

$$m_2\ddot{y}_2 - k_2\left(y_1-y_2\right)=0 \tag{2}$$

$$-m_0 r\ddot{y}_1\sin\phi + \left(J_0+m_0 r^2\right)\ddot{\phi} + m_0 g r\sin\phi = M \tag{3}$$

în care:

J_0 este momentul de inerție total al maselor excentrice de dezechilibrare redus la axa de rotație a roții motoare a vibratorului;

M – momentul cuplului de acționare corespunzător arborelui motor al vibratorului;

φ - unghiul de poziție a maselor excentrice.

Pentru regimul de funcționare stabilizat, adică

$$\varphi=\omega\cdot t;\ \dot{\varphi}=\omega \text{ și } \ddot{\varphi}=0,$$

ecuațiile diferențiale de mișcare vor avea următoarea formă:

$$\left(m_1+m_0\right)\ddot{y}_1 + k_1 y_1 + k_2(y_1-y_2) = m_0 r\omega^2\cos\omega t \tag{4}$$

$$m_2\ddot{y}_2 - k_2\left(y_1-y_2\right)=0 \tag{5}$$

$$-m_0 r\ddot{y}_1\sin\omega t + m_0 g r\sin\omega t = M_\omega \tag{6}$$

Rezolvând sistemul de mai sus rezulta două forme proprii de vibrare cu pulsațiile proprii p_1 si p_2 date de relația următoare:

$$p_{1,2} = \left[\frac{1}{2}\left(\frac{k_2}{m_2} + \frac{k_1 + k_2}{m_1 + m_0} \right) \pm \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{k_2}{m_2} + \frac{k_1 + k_2}{m_1 + m_0} \right)^2 - 4\frac{k_1 k_2}{(m_1 + m_0) m_2}} \right] \quad (7)$$

Deplasările y_1, y_2 sunt de formă armonică cu amplitudinile:

$$A_1 = \frac{m_0 r\omega^2 (k_2 - m_2\omega^2)}{D} \quad (8)$$

$$A_2 = \frac{m_0 r\omega^2 k_2}{D} \quad (9)$$

unde

$$D = \left[k_1 - (m_1 + m_0)\omega^2\right]\left(k_2 - m_2\omega^2\right) - m_2 k_2 \omega^2 \quad (10)$$

Modul în care variază amplitudinile A_1 si A_2 în funcție de variabila curentă ω este prezentat în graficele din figurile 3,4,5.

Ipoteza de lucru este stabilită pe baza unor determinări experimentale executate în cadrul ICECON. Astfel, rezultatele experimentale obținute prin determinări directe de laborator sunt prezentate în tabelul 1:

Tabel 1

Pozitii mase excentrice	**m_1+m_0(kg)**	**m_2(kg)**	**m_0(kg)**	**r(mm)**
Pozitia1	3150	2650	390,6	24,3
Pozitia2	3150	2650	390,6	53,16
Pozitia3	3150	2650	390,6	94,27

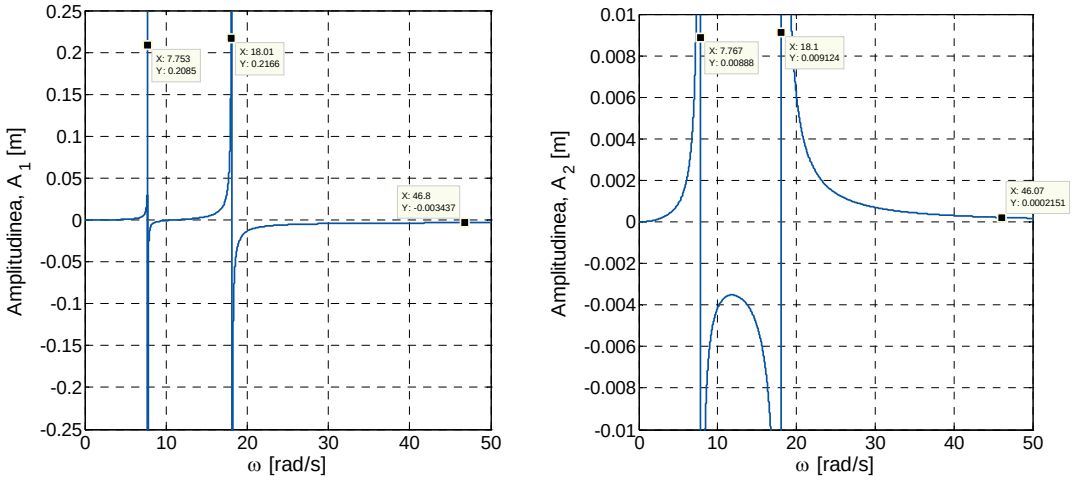


Fig. 3. Variația amplitudinilor A_1 și A_2 pentru poziția 1 a maselor excentrice.

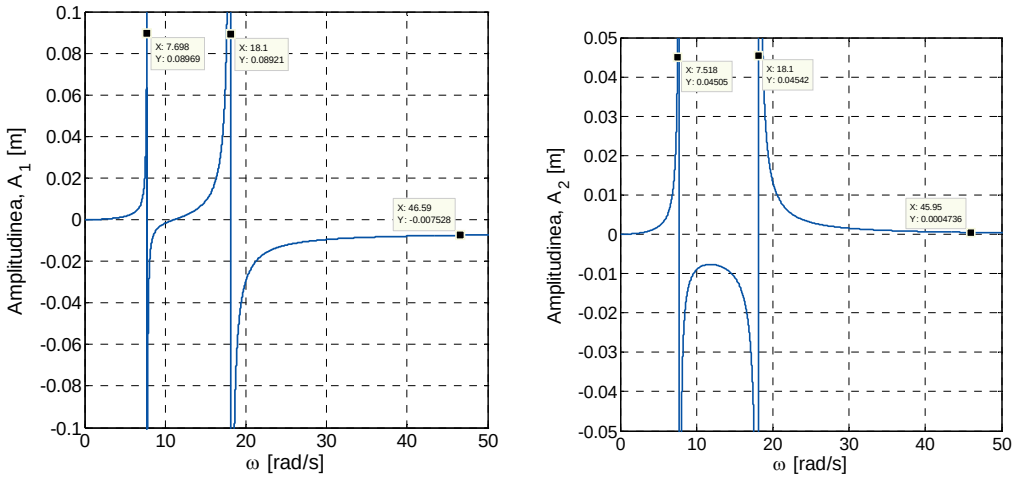


Fig. 4. Variația amplitudinilor A_1 și A_2 pentru poziția 2 a maselor excentrice.

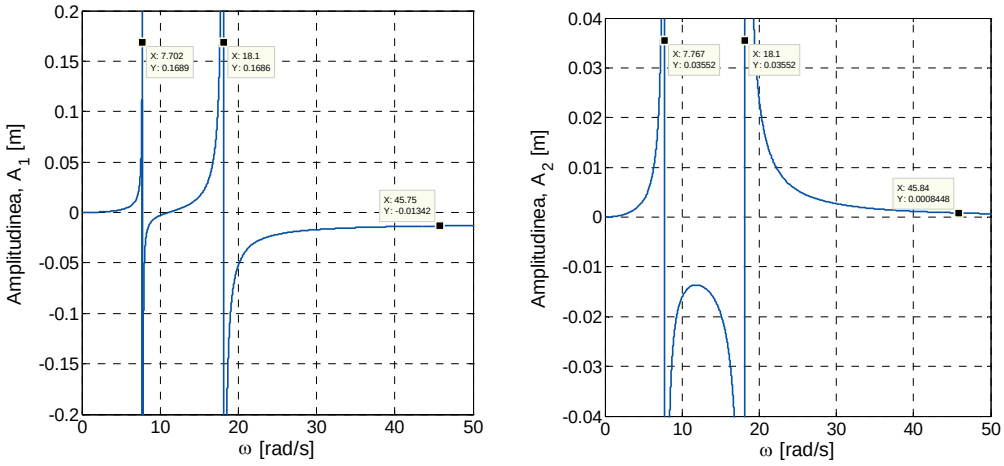


Fig. 5. Variația amplitudinilor A_1 și A_2 pentru poziția 3 a maselor excentrice

4. CONCLUZII

Ca urmare a analizei dinamice a modelului cu două grade de libertate care schematizează comportarea echipamentelor vibratoare de înfigere a palplanșelor în pământ, se desprind următoarele concluzii:

1) amplitudinile celor două mase sunt reprezentate în graficele din figurile 3, 4 si 5 pentru trei poziții ale maselor excentrice.

2) amplitudinea în punctele de rezonanță (p_1 respectiv p_2) tinde asimptotic către valori foarte mari. Aceste zone trebuie trebuie evitate astfel încât sistemul să lucreze în regim stabil.

3) pentru amplitudinile A_1 și A_2 se constată că în regim staționar la postrezonanță amplitudinea A_1 ptr cele trei situații analizate are valoare constantă și stabilă, astfel incat sa poate fi realizata in mod eficient evaluarea procesului tehnologic. Amplitudinea A_2 (cea a platformei de rezemare) tinde către zero astfel încât izolarea dinamică a motorului poate fi asigurată în proporție de 95 %.

4) rezultatele experimentale obținute în cadrul ICECON confirmă faptul că reprezentarea graficăeste corectă și semnificativă. Se poate considera că modelul cu două grade de libertate este verosimil, consistent și reflectă în mod realist comportarea dinamică a sistemului.

5) față de cele de mai sus, analiza dinamică prezentată se poate constitui într-o bază premergătoare pentru evaluarea capabilitătii echipamentelor vibratoare de infigere pentru caracteristici ale terenului intr-un amplasament dat, astfel incat sa poata fi atinsa viteza de infigere si adancimea stabilite in etapa de proiectare a procesului.

BIBLIOGRAFIE

[1] Drucker, D., C., Prager, W., *Soil mechanics and plastic analysis or limit design*, Quart. Applied Math. Vol. 10 No. 2 pp. 157 – 165, 1952;

[2] Lambe, T. W., Whitman, R. V., *Soil mechanics*, John Wiley&Sons, 553 pagini, 1969.

[3] Mihăilescu, Șt., Bratu, P., Goran V., Vlădeanu A., *Masini de constructii* vol. 2 Editura Tehnica, Bucuresti, Romania, 1985;

[4] Holtz, R. D., Kovacs, W. D., Sheahan, T.C., *An introduction to geotechnical engineering*, Prentince Hall, 2010.

[5] Richart, F.E., Hall, J.R., Woods, R.D., *Vibrations of soils and foundations*, Newmark, N.M., W.J. Hall, 414 pagini, 1970.

[6] Bratu, P. , *Vibrațiile sistemelor elastice*, Editura Tehnică, Bucuresti 2000.

[7] Dobrescu C. F., Brăguța E. , *Optimization of Vibro-Compaction Technological Process Considering Rheological Properties Acoustics and and Vibration of Mechanical Structures AVMS-2017*, Proceedings of the 14 AVMS Conference, Timisoara, Romania, ISBN 978-3-319-69822-9, ISSN 0930-8989.

[8] Dobrescu C. F., Brăguța E., *Evaluation of strength and deformation parameters of soil based on laboratory tests*, Multi-Conference on Systems&Structures (SysStruc 17) din Universitatea Eftimie Murgu din Resita 9-11 noiembrie 2017.

[9] Briaud, J-L. , *Introduction to Soil Moduli*, Geotechnical News, Bitech Publishers Ltd, Richmond, B.C., Canada, 2001.

MECATRONICA ŞI CYBER-MIXMECATRONICA LA BAZA DEZVOLTĂRII INDUSTRIEI 4.0 ÎN ROMÂNIA

Prof. univ. dr. ing. EurIng. Dr.h.c. Gheorghe Ion GHEORGHE

Director General INCD – Mecatronică şi Tehnica Măsurării, Bucureşti, Romania
Membru Corespondent ASTR

REZUMAT. Lucrarea ştiinţifică focusează în sinteză importanţa substanţială a Mecatronicii şi Cyber-MixMecatronicii la dezvoltarea Industriei 4.0 în România, prin concepte şi soluţii fundamentale de integrare şi implementare în structurile componentelor şi ansamblurilor arhitecturale industriale inteligente. Lucrarea ştiinţifică prezintă comparativ stadiul Industriei 4.0 în Europa şi în România şi cu precădere politicile europene şi naţionale ale acestei noi Industrii globale şi sinergice. Sunt menţionate etapele de dezvoltare ale Industriei 4.0, pe componente şi sectoare industriale inteligente şi mai mult pentru digitalizarea tuturor structurilor de ansamblu ale întreprinderilor industriale pentru fabricaţiile inteligente şi cibernetizate. Sunt prezentate conceptele şi soluţiile originale mecatronice şi cyber-mixmecatronice abordate, pentru simularea, dezvoltarea şi sprijinirea Industriei 4.0 în România.

Cuvinte cheie: industrie 4.0 (a patra revoluţie industrială); digitalizarea industrială; mecatronica şi cyber-mixmecatronica; concepte şi soluţii constructive inteligente; sisteme mecatronice şi cyber-mixmecatronice; sistem integrat de sisteme inteligente; încrederea digitală; IoT Sisteme Cyber-Fizice; IoT Sisteme Cyber-MixMecatronice; aplicaţii digitale colaborative, etc.

ABSTRACT. The scientific work focuses in the synthesis on the substantial importance of Mechatronics and Cyber-MixMechatronics in the development of Industry 4.0 in Romania through fundamental concepts and solutions for integration and implementation in the structures of intelligent industrial architectural components and assemblies. The scientific paper presents comparatively the stage of Industry 4.0 in Europe and Romania and especially the European and national policies of this new Global and Synergic Industry. There are mentioned the development stages of Industry 4.0, intelligent components and industries and more for the digitization of all industrial structures of industrial enterprises for intelligent and cybernetic manufacturing. Mechatronic and cyber-mixmechatronics concepts and solutions are addressed to simulate, develop and support Industry 4.0 in Romania.

Keywords: Industry 4.0 (Fourth Industrial Revolution); industrial digitization; mechatronics and cyber-mixmechatronics; intelligent concepts and solutions; mechatronic and cyber-mixmechronic systems; Integrated system of intelligent systems; digital trust; IoT Cyber-Physical Systems; IoT Cyber-MixMechatronic Systems; collaborative digital applications, etc.

1. INTRODUCERE

La nivelul Uniunii Europene s-au creat noile concepte privind stimularea, dezvoltarea şi susţinerea Industriei 4.0, ca bază a dezvoltării economice competitive a ţărilor membre, ca lecţii cheie a politicilor europene şi naţionale.

Stimularea Industriei 4.0 este pentru economia Uniunii Europene

În prezent şi în viitor, tehnologiile avansate alimentează aşa numita ”a patra revoluţie industrială”, cu scopul şi obiectivul strategic de a transforma industriile U.E şi de a crea o creştere masivă a economiei europene prin cea mai mare oportunitate digitală pentru industria şi întreprinderea existentă şi nu prin crearea de noi industrii.

Astfel spus, este nevoie de adaptarea tehnologiilor digitale avansate în întreprinderile existente, europene şi naţionale, aceasta constituind în prezent cea mai mare provocare şi paradigmă de realizat cu cele mai bune rezultate pozitive.

Dezvoltarea Industriei 4.0 este cheia dezvoltării Uniunii Europene

În baza unor studii recente europene, privind dezvoltarea industriei prin cea de a patra revoluţie industrială numită şi Industria 4.0, s-a enunţat, cu motive de speranţă ca 76% dintre respondenţi consideră tehnologiile digitale drept o oportunitate, în timp ce 64% dintre companiile care investesc în tehnologiile digitale au generat deja rezultare pozitive.

Susţinerea Industriei 4.0 în Europa este realizată prin politici naţionale ale ţărilor membre

În acest sens, ca răspuns la aceste provocări şi rezolvare de paradigme, majoritatea guvernelor UE au adoptat în mod prioritar, politicile Industriei 4.0 la scară largă pentru a creşte productivitatea şi competitivitatea şi pentru a îmbunătăţi competenţele high-tech ale forţei de muncă.

Ca exemple pozitive, se pot nominaliza, componentele esenţiale ale politicilor naţionale ale Industriei 4.0 sin Spania, Marea Britanie, Franţa, Italia, Germania, Republica Cehă, Suedia şi Olanda, prin

abordare financiară (substanțială) mix (public și privat) și audiență țintă (industrie și baza de producție, IMM-uri, fabricanți producători, companii mari, universități, centre de cercetare, cercetare academică și industrială, sectorul de servicii, uniuni de comerț, etc.).

Caracteristicile cheie ale politicilor Industriei 4.0 naționale sunt globale și sinergice

Acestea sunt integrate în cadrele de politică globală și sinergică ale Industriei 4.0, acestea făcând parte dintr-un cadru general și strategic și reflectând statutul de prioritate de care se bucură Industria 4.0 în Europa.

În mod special, acestea sunt cadre mult mai largi sau strategii, prioritare care stabilesc viziunea și abordarea generală a politicilor de cercetare, inovare și de industrie.

Fiecare țară europeană dezvoltată, în baza conceptului nou european al Industriei 4.0, își dezvoltă politicile naționale aferente, astfel:

• industria franceză: ”Industrie du Future (IdF)” este legată de noua Franță industrială (NFI), unde subinvestirea semnificativă și problemele în dezvoltarea industriilor digitale competitive, au fost forțele motrice din spatele politicii;

• industria italiană: prin ”Cluster Factory Inteligent Italian (CFI)”, au întocmit împotriva Foii de parcurs italiene pentru inovare, o strategie mai largă cu privire la mega-provocări socio-economice din Italia, precum schimbările climatice, deficitul de resurse, evoluțiile demografice, etc.

• industria olandeză: identifică motive foarte tangibile de a lansa inițiative;

• industriile Țărilor de Jos: prin cota relativ scăzută de ocupare a forței de muncă legate de sectorul de producție, a condus la crearea unei industrii inteligente;

• industriile altor țări europene, prin inițiativă politică, cu un rezultat direct al unui cadru național general, strategie și/sau agendă;

• industria germană a creat Industria 4.0, prin zece mari proiecte viitoare din cadrul Acțiunii Planul Strategiei high-tech 2020.

• industria spaniolă, a dezvoltat parte digitală din Agenda de Consolidare a Sectorului Industrial, care treptat s-a transformat în Industria Conectada 4.0.

• industria britanică, a acționat recomandarea strategiei de politică pentru înființarea de centre tehnologice în diferite industrii;

• industria românească, are la bază Strategia Națională de Dezvoltare a României 2015-2020 și 2020-2030, Programul Național de Competitivitate 2015-2020;

și Inițiativa Grupului Mecatron, către MMACA, de elaborare a Strategiei de Dezvoltare Industria 4.0.

Industria 4.0 aplică focusarea strategică și focusarea pe sector / tehnologie:

În prima etapă, focusarea pe sector/tehnologie, în cadrul Industriei 4.0, cuprinde o structură locală distributivă, în implementare, precum: transport, IoT, inteligența artificială, date bloc, hardware PC, încredere digitală, orașe inteligente, IoT Sisteme Cyber-Fizice, IoT Sisteme Cyber-Mecatronice și Cyber-MixMecatronice, platforme digitale, aplicații colaborative, implementare sectorială aferentă domeniilor aerospațial, automotive, chimice, nucleare, farmaceutică, electronică, mecatronică, etc.

În a 2-a etapă, focusarea strategică, în cadrul Industriei 4.0, cuprinde o structură arhitectonică de ansamblu, pe domeniu industrial și pe întreprindere specifică acestuia, în implementarea strategică.

2. POLITICILE STRATEGICE ALE INDUSTRIEI 4.0

În sinteză, politicile strategice aferente Industriei 4.0, sunt bine definite și arată excelent, suprapunându-se obiectivelor și țintelor urmărite, în special consolidarea țării și competitivitatea industrială nouă, modernizarea și o mai bună asigurare a creșterii durabile a sectorului de producție inteligentă.

Cele mai multe țări europene, în special Germania, se concentrează pe câștigarea unei mai mari productivități și eficiențe sporită.

Astfel, furnizarea de tehnologii de generație viitoare (precum Italia, Marea Britanie), dezvoltarea de noi produse și servicii de îmbunătățire a proceselor industriale, (precum Germania și Italia), care oferă sprijin IMM-urilor pentru inovare și comercializare (precum Marea Britanie, Franța și Spania), se numără printre cele mai multe dintre obiectivele proeminente.

În Europa, politicile Industriei 4.0 au obiective comune, toate însă posedă elemente ce oferă fiecărei politici, o influență mică, astfel:

• inițiativele franceze, prezintă o abordare bazată pe împrumuturi de piață către societățile care participă la program;

• inițiativele spaniole, prezintă o abordare bazată pe costul acoperit de împrumut, care depinde de linia de acțiune și de tipul de companie, care variază între un cost de acoperire, de 25% la 70%; IdF francez, combină o gamă largă de finanțări, instrumente (de ex. împrumuturi și stimulente fiscale cu investiții private în cercetare și dezvoltare);

• inițiativele suedeze (Suedia P2030), prezintă o abordare de conducere și finanțare puternică de către industrie, care asigură impactul și durabilitatea pe termen lung a industriei;

• inițiativele britanice, se concentrează pe furnizarea unei tehnologii și expertize la scală industrială, pentru companii, pentru eliminarea riscului în inovare prin centre tehnologice.

Focusarea și zona de impact implică efectuarea de cercetări asupra Industriei 4.0, prioritatea fiind acordată accelerării desfășurării și aplicării tehnologiilor Industriei 4.0 cu accent pe dezvoltarea de noi tehnologii ce fac față provocărilor de inovare în fabricație, precum Internetul obiectelor (IoT), Sistemele Cyber-Fizice (CPS) / Sistemele Cyber-MixMecatronice (CMMS).

Se remarcă, pentru acestea, inexistența modelelor, iar inițiativele din Industria 4.0 tind să fie relativ deschise în ceea ce privește aplicarea de tehnologii specifice sau domenii sectoriale, în ceea ce privește creșterea sustenabilității producției ca domeniu comun de impact vizat, în ceea ce privește oferirea de informații și suport pentru implementare și în ceea ce privește exploatarea mai bună a întreprinderilor și oportunităților, o mai mare flexibilitate în volumul producției, eficiența, costurile și satisfacerea nevoilor clienților ca principale efecte preconizate.

Exemplificările de surse de finanțare pentru Industria 4.0 conțin o structură de surse publice, de surse private și de surse public-private, astfel:

• industria 4.0 din Germania, surse public-private, în raport 2:1 ÷ 5:1;

• industria de viitor, din Franța, surse publice (10 mld. Euro) și surse private, în raport 5:1;

• industria spaniolă, fabricație de înaltă valoare (CATAPULT) din Spania, surse publice (367 mld. Euro) în finanțare multianuală și surse private, în raport: 17:1.

Rezultatele Industriei 4.0 din Europa, au produse tangibile și rezultate calitative și cantitative, ca urmare a politicilor naționale pentru Industria 4.0 din Europa (Ex. Franța, Țările de Jos, Suedia și Regatul Unit), astfel:

• în Franța, prin IDF, mai mult de 800 împrumuturi pentru întreprinderi și 3400 de diagnosticări au fost realizate;

• în Suedia, prin P2030, s-au finanțat 30 proiecte cu participarea a peste 150 întreprinderi;

• în Germania, prin inițiativa I.40, s-au evidențiat rezultate calitative deosebite, precum segregarea industriilor reduse, transformarea cercetării în aplicații practice și crearea de arhitecturi de referință de platforme cu peste 150 de membri;

• în Marea Britanie, prin HVMC, au fost inițiative cu obiective clare de digitalizare, monitorizare și cicluri de evaluare, cu valoarea muncii de inovare de peste 123% din ținta inițială (în 2013-2015)

• etc.

În România, există inițiative pentru abordarea Industriei 4.0, în etape, într-o complementaritate cu inițiativele țărilor europene, astfel:

- **elaborarea Strategiei pentru Industria 4.0** în perioada **2019-2023 și 2023-2027 și în viitor;**
- **integrarea Strategiei Industria 4.0,** în cadrul Strategiilor și Programelor Naționale elaborate pentru perioadele 2019-2023 și 2023-2027 și în viitor;
- **elaborarea Programelor și Planurilor strategice ale** Industriei 4.0 (pe sectoare industriale / întreprinderi pilot), (ex.: Programul Producția Inteligentă 2030; Programul Școală Națională Universitară de Producție Digitalizată; etc.);
- **implementarea** Strategiei Industria 4.0 pentru perioadele 2019-2023 și 2023-2027 și în viitor;
- **implementarea** Programelor și Planurilor strategice ale Industriei 4.0;
- **implementarea Inițiativelor** privind Industria 4.0 și a domeniilor conexe și complementare;
- elaborarea tehnologiilor și infrastructurilor specifice Industriei 4.0;
- **ș.a.**

3. ABORDAREA STRATEGIEI INDUSTRIA 4.0, PRIN GRUPUL MECHATRON

Producția industrială aferentă Industriei 4.0, se va dezvolta în simbioză cu tehnica modernă de mecatronică, cyber-mixmecatronică, informație și comunicare.

Baza tehnică pentru realizarea acestui scop o constituie problematica generală și complexă a digitalizării industriei, odată cu integrarea sistemelor inteligente mecatronice, cyber-mixmecatronice, informaționale și de comunicație și cu dobândirea competențelor aferente și corespunzătoare ale resurselor umane.

Astfel, acestea în totalitatea lor, fac posibilă pentru Industria 4.0, o producție inteligentă auto-organizată, în care oamenii (operatorii), mașinile, instalațiile, logistica și produsul (ca mărime de ieșire în lanțul valoric) comunică și cooperează unele cu altele, nemijlocit împreună.

Interconectarea/integrarea va face posibil un salt de la supravegherea unui mic segment de producție în auto-organizarea unui lanț întreg până la nivelul unei întreprinderi.

Rețeaua va trebui sa includă toate fazele unui produs: de la idee, trecând prin procesele de proiectare și producție, incluzând logistica, urmărirea utilizării produsului și a service-ului până la reciclare.

Această a patra revoluție industrială este cumva fundamental diferită de predecesoarele sale. Ar fi imposibil s-o definim fără să folosim termenii de „sisteme cyber-fizice/cyber-mixmecatronice“ sau „computerizare în cloud“.

Este o revoluție a rețelelor, platformelor, oamenilor și tehnologiei digitale.

Industria 4.0 se axează pe digitalizarea de la un capăt la altul a tuturor activelor fizice și proceselor precum și integrarea în ecosisteme digitale împreună cu partenerii din lanțul valoric.

Marea revoluție industrială depinde de mici revoluții tehnologice în diverse domenii:

Aplicarea tehnologiei informației și comunicațiilor pentru a digitiza informația și integra sisteme de la concepție la dezvoltare, fabricație și utilizarea produselor.

Noi tehnologii software pentru modelare, simulare, virtualizare și fabricație digitală.

Dezvoltarea sistemelor Cyber-Fizice si Cyber-MixMecatronice pentru a monitoriza și controla procesele fizice.

Evoluția imprimantelor 3D și additive manufacturing pentru a simplifica fabricația.

Suport pentru decizie la operatorii umani, apariția uneltelor inteligente și asistență folosind realitatea augmentată. Noi forme de interacțiune om-mașină. Multe din aceste tehnologii sunt disponibile de câțiva ani, iar altele nu sunt încă gata pentru a fi folosite la scară largă.

Având la baza cele menționate, GRUPUL MECATRON, format din Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Mecatronica si Tehnica Măsurării - INCDMTM, Clusterul Strategic Inovativ pentru Domeniul de Specializare Inteligentă de Mecatronică și Cyber-MixMecatronică «MECATHREC», Asociatia Patronala a Industriei de Mecanică Fină, Optică si Mecatronică din Romania – APROMECA Entitate de Management a Clusterului, Centrul Releu de Transfer Tehnologic si Consultantă – CRTTC al INCDMTM, Polul de Competitivitate al Industriei Mecatronice - INMECHATRON si Centrele de Formare si Evaluare pentru Mecatronica Inteligentă au conceput si realizat începând cu anul 2010, concepte, sinteze, principii, modele, arhitecturi inteligente, construcții modulare și produse mecatronice și Cyber-MixMecatronice pentru Industria 4.0, in prezent multe dintre acestea fiind deja

transferate tehnologic şi implementate in Industrie (ex: Industria Automobilului - SC Automobile Renault–Dacia SA Piteşti; in Industria Medicala – Tehnologia de Sinterizare prin Selecţie cu Laser; in Industria Aerospaţiala – Sisteme Mecatronice de Măsurare prin Telemetrie a Poziţionării si a Distanţelor Relative dintre Microsateliţi; in Industria Agricola Inteligentă - Roboţi în Sisteme Integrate cu Drone; etc), economie si societate.

GUPUL MECATRON împreuna cu consorţiile aferente la nivel naţional, consorţii ce au in structură entităţi precum Institute Naţionale de Cercetare, Universităţi cu Cercetare Avansata, IMM-uri inovative etc. şi structuri la nivel european, ce au in componenta entităţi de cercetare precum Universităţi, Institute de Cercetare, Firme de Cercetare si IMM-uri. Au conceput, elaborat si propus in diferite programe naţionale si internaţionale de cercetare, proiecte mari si complexe de cercetare pentru diferite programe naţionale si internaţionale, inclusiv in cadrul programului Horizon – 2020.

Contribuţia acestor concepte si construcţii Mecatronice Inteligente si Cyber-MixMecatronice la Industria 4.0 este realizata in proporţie substanţiala asupra sistemelor si părţilor sistemice ale produselor si proceselor de fabricaţie inteligente si mai puţin ansamblului de întreprinderi industriale.

Pentru realizarea şi susţinerea Industriei 4.0, concepţia românească are la baza doua etape structurale si anume: digitalizarea si cibernetizarea părţilor componente ale ansamblului arhitectural de industrie (Întreprindere Industriala, Firma, IMM-uri) şi digitalizarea ansamblului arhitectural de întreprindere (de la mărimi de intrare la mărimi de ieşire).

4. EXEMPLE DE CONCEPTE ŞI SOLUŢII ORIGINALE PENTRU DIGITALIZAREA INDUSTRIEI, AVÂND LA BAZĂ DEZVOLTAREA ŞI INTEGRAREA MECATRONICII ŞI CYBER-MIXMECATRONICII CA ŞTIINŢE ALE SECOLULUI XXI

Concepte originale de sisteme mecatronice inteligente şi cyber-mixmecatronice integratoare

- Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator de control (fig. 1)

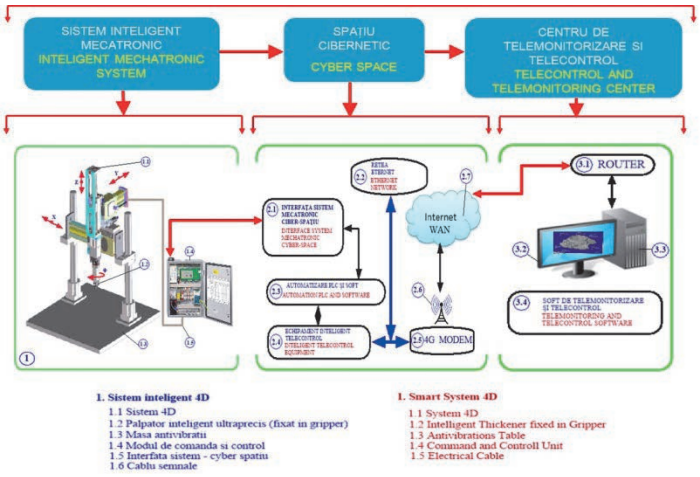


Fig. 1

- Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator de verificare şi măsurare etanşeitate la repere turnate din industria auto (fig. 2)

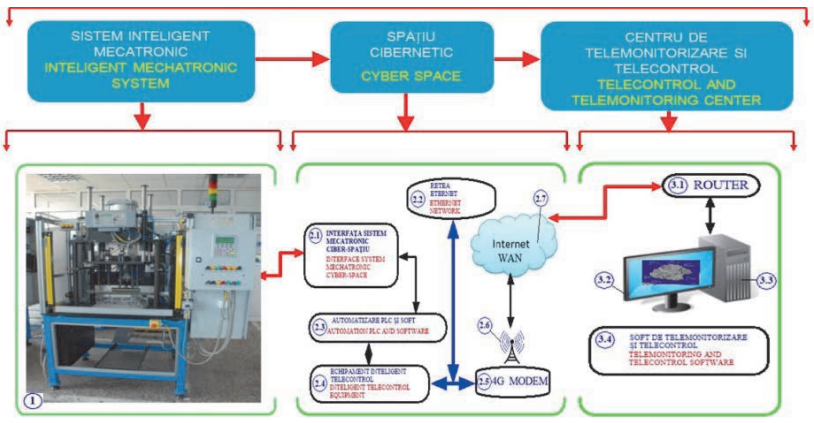


Fig. 2

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic arhitectural de senzori (multiaplicativ în industrie) (fig. 3)

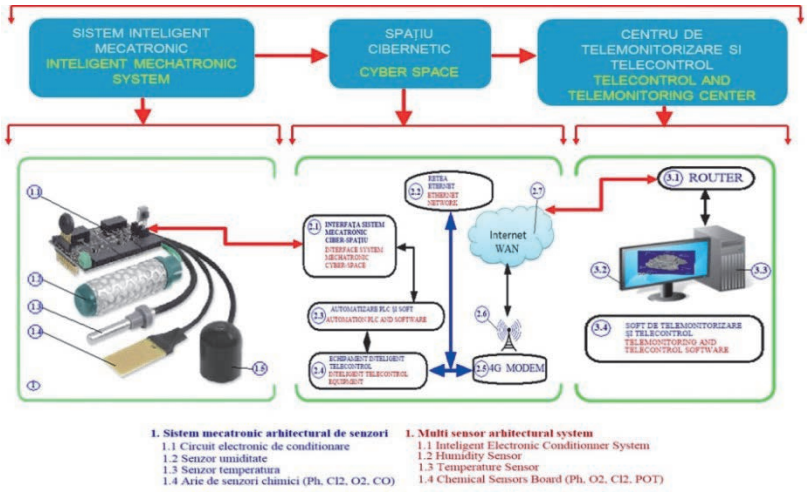


Fig. 3

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru sudură (multiaplicativ industrial) (fig. 4)

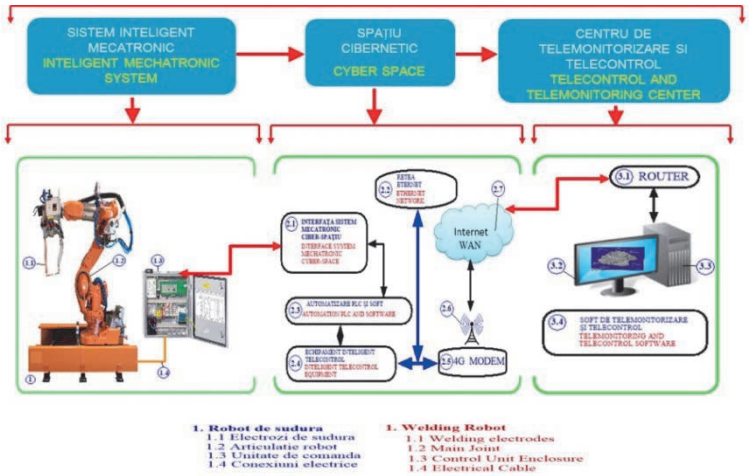


Fig. 4

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru ambalare / asamblare (colete), (multiaplicativ) (fig. 5)

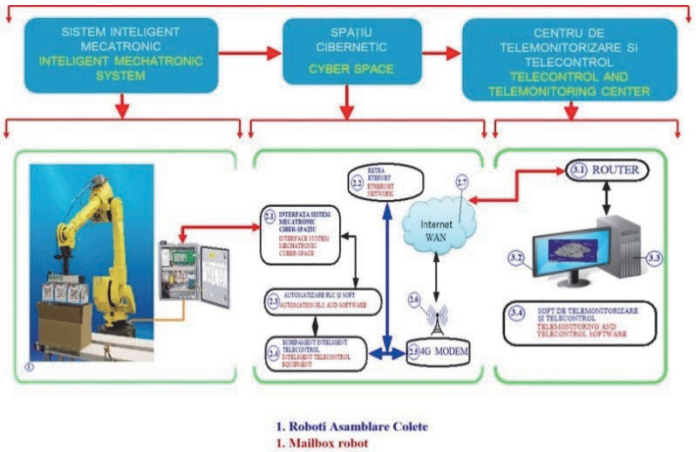


Fig. 5

➢ Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator pentru asistenţă Maşini Unelte (multiaplicativ) (fig. 6)

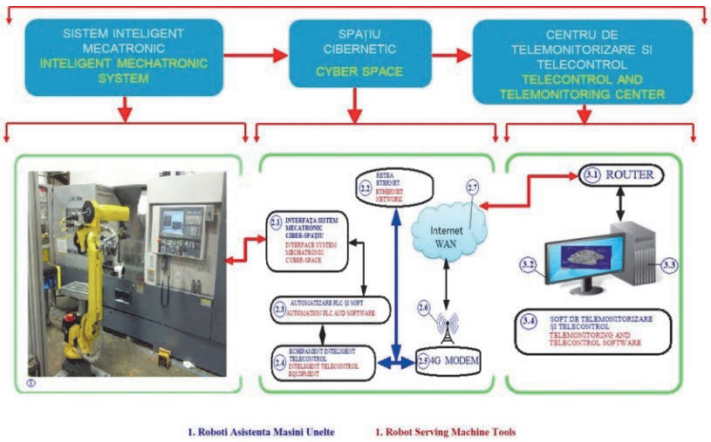


Fig. 6

➢ Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator pentru vopsitorie auto (multiaplicativ) (fig. 7)

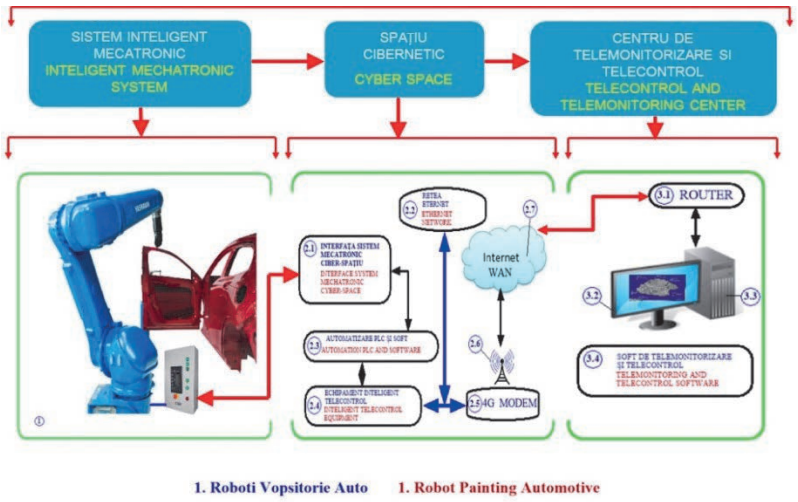


Fig. 7

➢ Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator pentru control dimensional (multiaplicativ) în industrie (fig. 8)

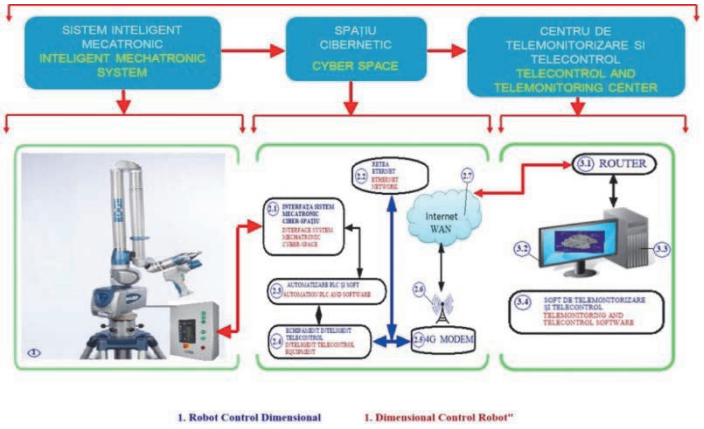
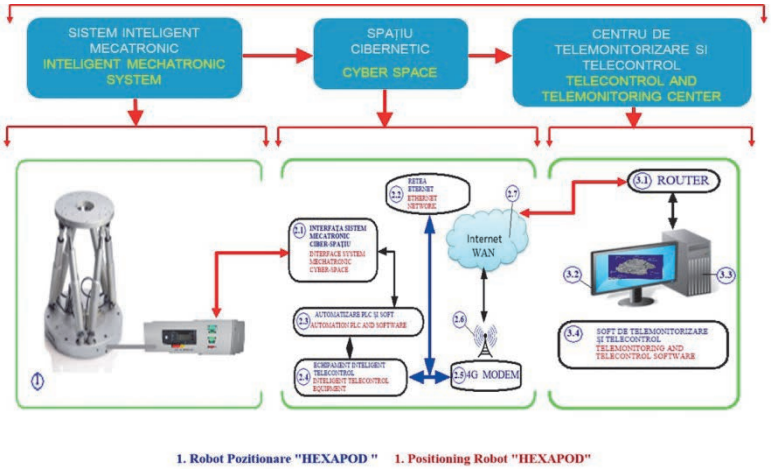


Fig. 8

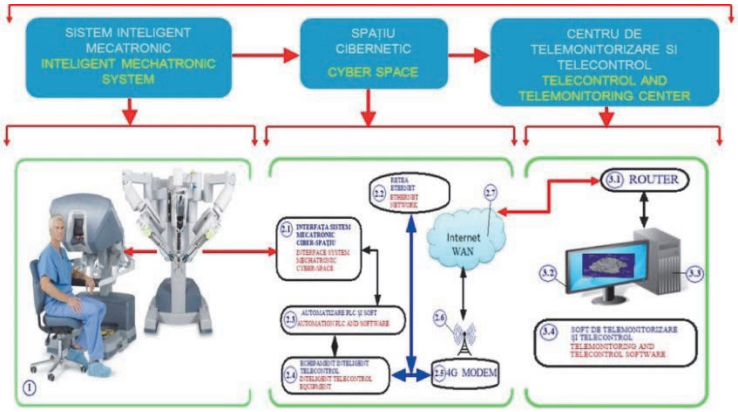
➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru poziționări ultraprecise (multiaplicativ) (fig. 9)



1. Robot Pozitionare "HEXAPOD " 1. Positioning Robot "HEXAPOD"

Fig. 9

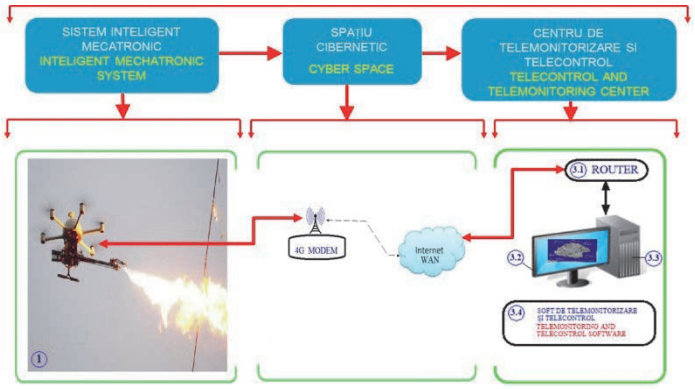
➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru medicină (în chirurgie), (multiaplicativ) (fig. 10)



1. Robot Chirurgie "DaVinci" 1. Surgical Robot "DaVinci"

Fig. 10

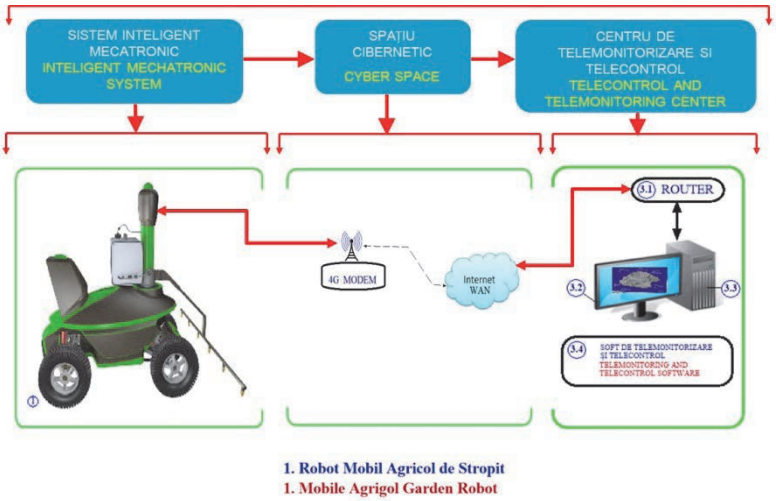
➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator (tip Dronă) pentru stingere incendii electrice (fig. 11)



1 Drona pentru stingere incendii electrice 1 Drone for extinguishing electric fires

Fig. 11

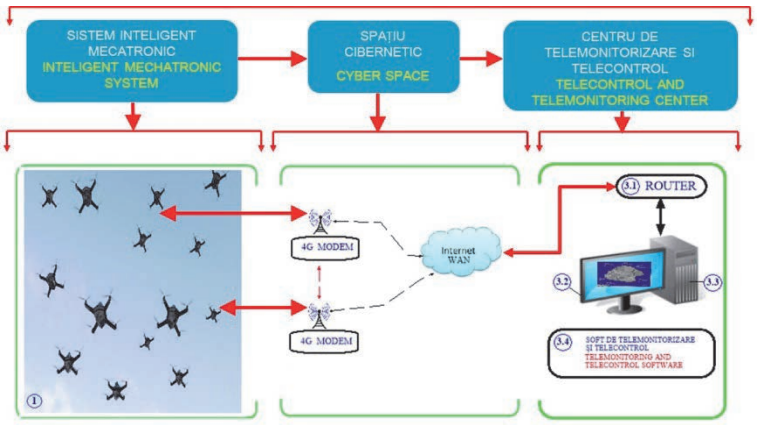
- Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator pentru agricultură (stropire), (fig. 12)



1. Robot Mobil Agricol de Stropit
1. Mobile Agrigol Garden Robot

Fig. 12

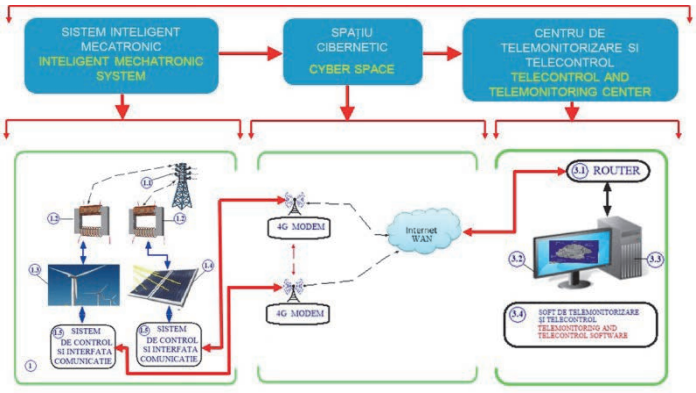
- Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator, tip ”roi drone inteligente” (fig. 13)



1. Roi de drone inteligente **1. Inteligents Drones Roe**

Fig. 13

- Sistem inteligent mecatronic şi cyber-mixmecatronic integrator pentru energii regenerabile (fig. 14)



1. Sisteme inteligente de energie regenerabila
1.1 Retea de distributie a energiei
1.2 Transformatoare - invertoare generice
1.3 Turbina eoliana cu orientare inteligenta
1.4 Panou solar cu orientare inteligenta
1.5 Echipamente de control si interfata

1. Intelligent Renewable Energy Systems
1.1 Power Line Network Distribution
1.2 Transformers
1.3 Intelligent wind turbine
1.4 Solar panel with intelligent orientation
1.5 Control and Interface Equipments

Fig. 14

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru rețea de telescoape terestre (astronomice), (fig. 15)

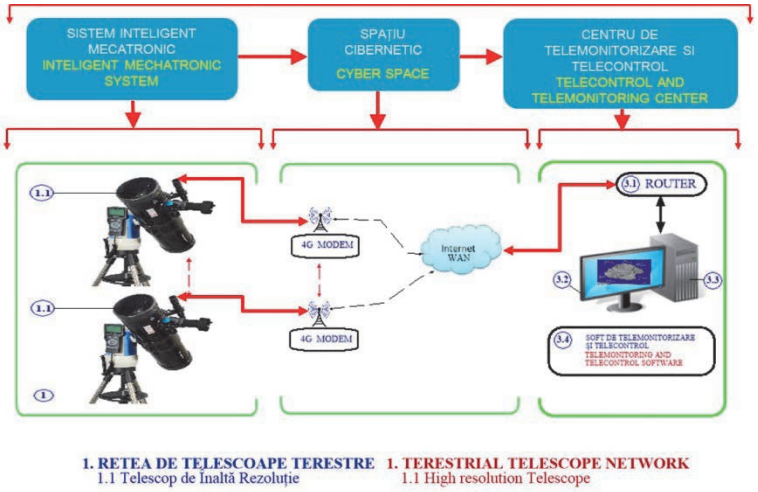


Fig. 15

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru sortare automată deșeuri (fig. 16)

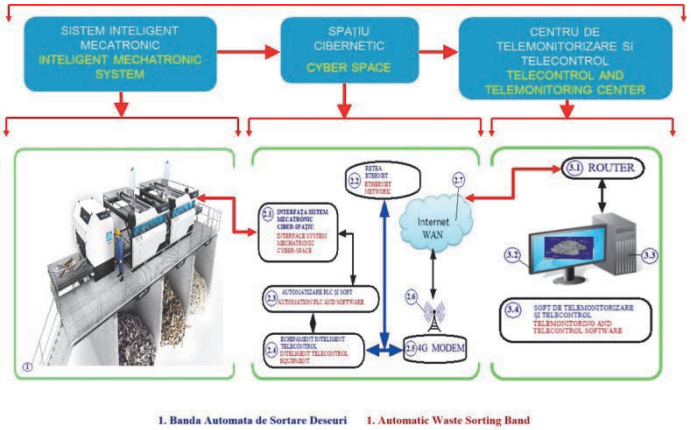


Fig. 16

➢ Sistem inteligent mecatronic și cyber-mixmecatronic integrator pentru Rețea de micronanosateliți (fig. 17)

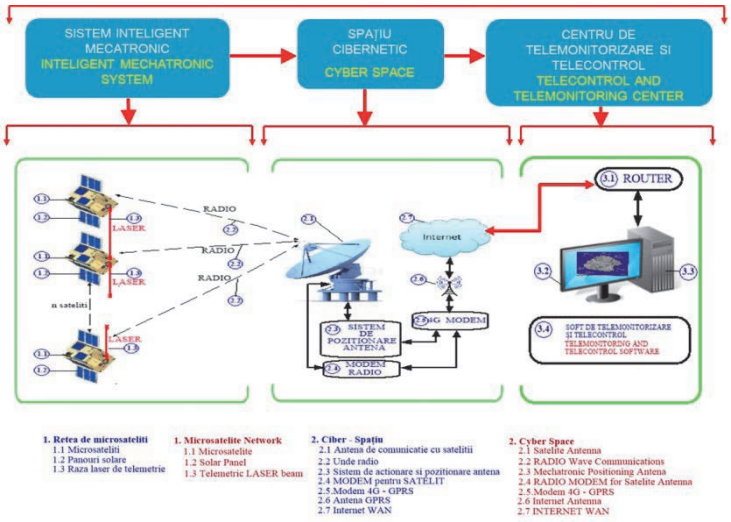


Fig. 17

- **Concepte ale activităților în Industria 4.0**

➢ ”Cercul” activităților în Industria 4.0 (fig. 18)

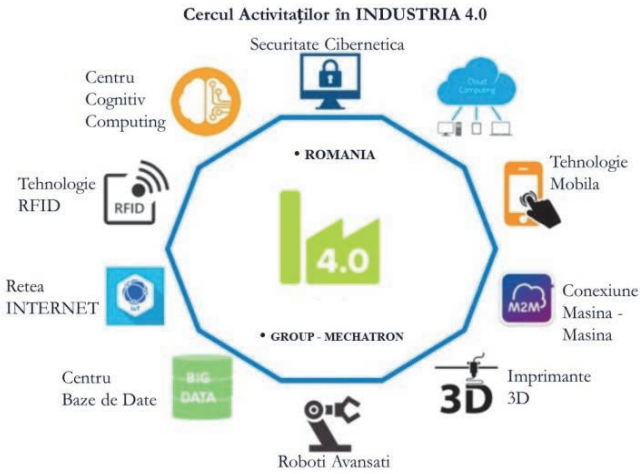


Fig. 18

➢ ”Cubul” activităților în Industria 4.0 (fig. 19)

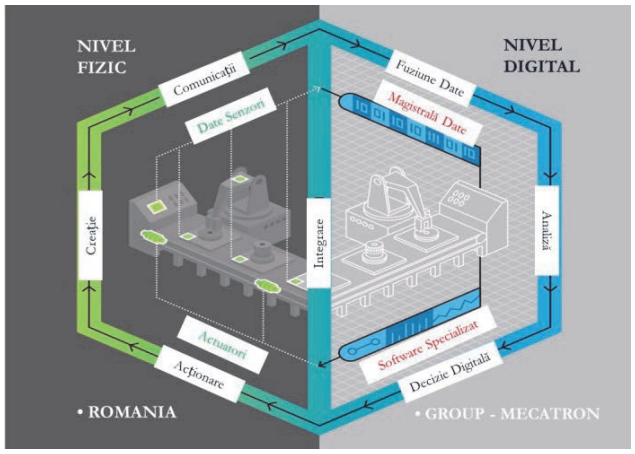


Fig. 19

➢ ”Arhitectura” Industriei 4.0 (fig. 20)

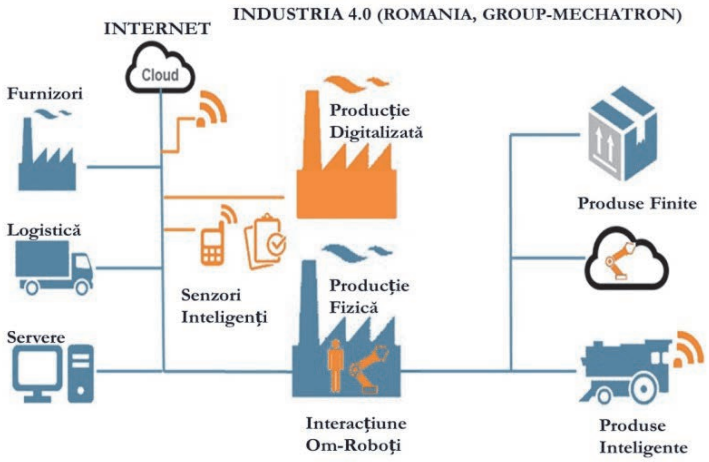


Fig. 20

- Model inovativ pentru Digitalizarea unei Întreprinderi (fig. 21)

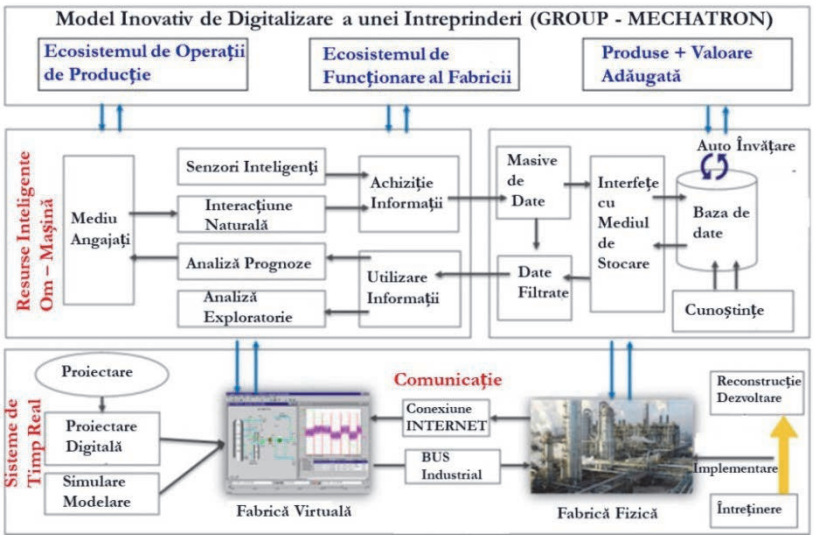


Fig. 21

- Structură simplificată Întreprindere Digitalizată (fig. 22)

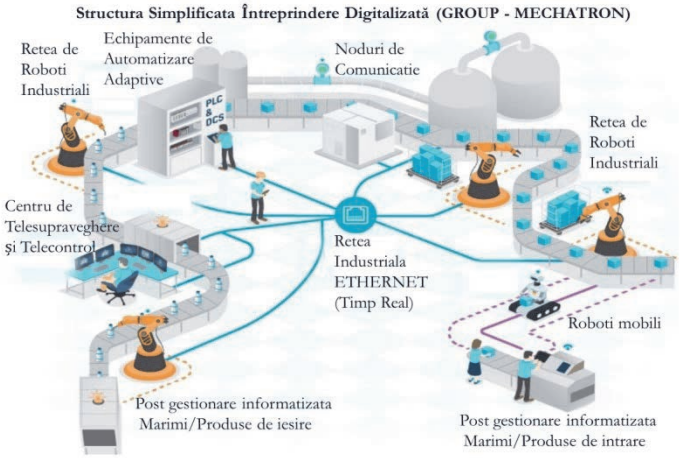


Fig. 22

- Schemă simplificată Fabrică Auto Digitalizată (fig. 23)

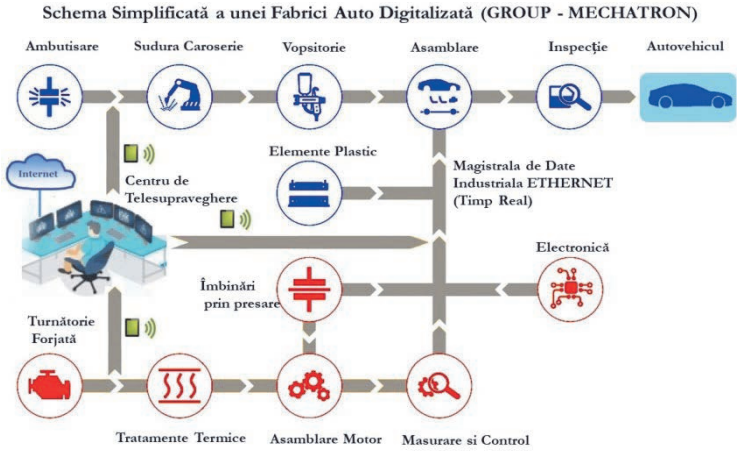


Fig. 23

- Schemă simplificată Fabrică Energetică Digitalizată (fig. 24)

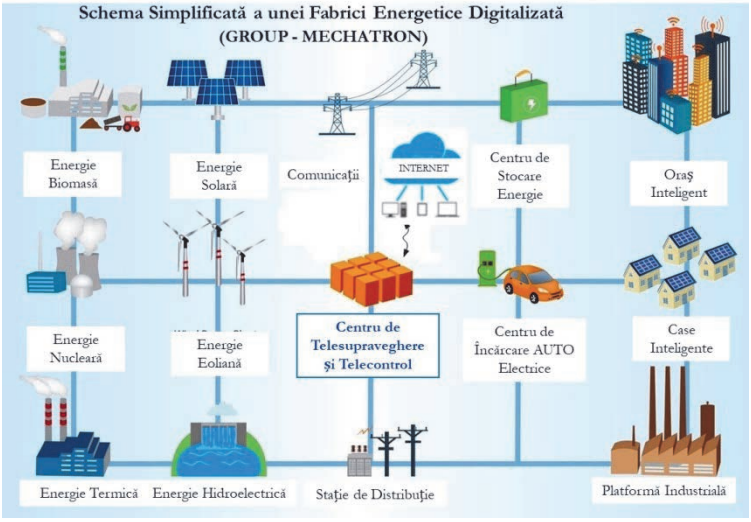


Fig. 24

- Schemă simplificată Fabrică de Brânzeturi Digitalizată (fig. 25)

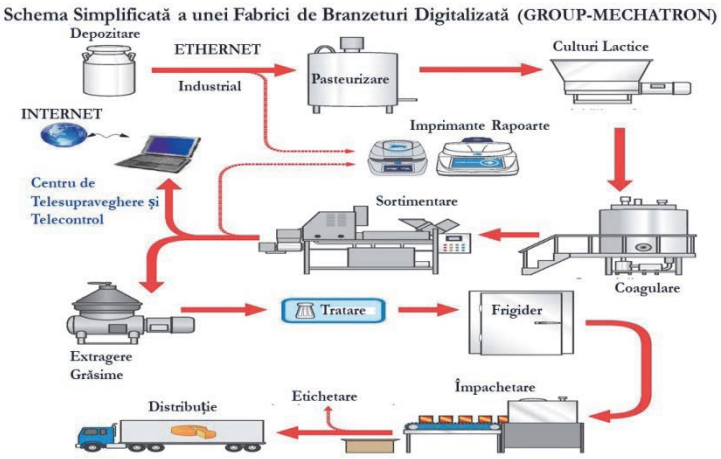


Fig. 25

5. AVANTAJELE INDUSTRIEI 4.0

• **timp**: Fiecare angajat devine mai eficient, productiv si calitativ;
• **cost minim**: prin date foarte precise în contextul corect şi necesar;
• **flexibilitate**: prin crearea de sisteme flexibile pregătite pentru schimbare şi pentru noi oportunităţi;
• **integrare**: fabricaţia digitală presupune dezvoltarea simultană a produsului şi procesului de producţie.

6. AVANTAJELE ROMÂNIEI ÎN PERSPECTIVA INDUSTRIEI 4.0

România este într-o poziţie favorabilă pentru Industria 4.0, astfel:

• **reprezintă** cele mai bune destinaţii pentru investiţiile în facilităţi noi de producţie, prin readucerea producţiei industriale în Europa;
• **are** industria auto bine dezvoltată, cu un lanţ larg de furnizori în domeniu;
• **are** viteza conexiunii la Internet dintre cele mai ridicate din Europa;
• **există** în România, multe firme specializate în TIC, multe institute de cercetare, cu domenii în Mecatronică şi Cyber-Mix-Mecatronică şi personal cu competenţe profesionale;
• ş.a.

7. CONCLUZII

Lucrarea ştiinţifică arată că digitalizarea industrială va avea un impact atât la nivel orizontal cât şi vertical asupra lanţului valoric, fapt ce presupune că, pe de o parte companiile trebuie să-şi integreze şi să-şi digitalizeze mult mai bine fluxul vertical de date, de la dezvoltarea produselor şi achiziţiilor până la prelucrare şi logistica transporturilor, iar pe de altă parte,

presupune o colaborare orizontală cu furnizori cheie, clienți și alți parteneri din lanțul valoric

Companiile, întreprinderile și în general Industria 4.0 trebuie să se implice în realizarea și implementarea de soluții digitale complexe, iar tot personalul angajat să aibă totală încredere că digitalizarea industrială este cea mai potrivită și necesară alegere pentru viitor.

Lucrarea științifică sintetizează și începuturile digitalizării industriale, prin prezentarea unor concepte și soluții inteligente propuse de autor, pentru sisteme mecatronice și cyber-mixmecatronice integratoare care sunt sau urmează a fi implementate în diferite sectoare industriale (automobile, aerospațiale, agricultură, medicină, etc.) din România

BIBLIOGRAFIE

[1] Digital Transformation Monitor – *Key lessons from national Industry 4.0 policy initiatives in Europe*: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/

[2] Bishop, R., H., Erbe, H., (2002). *The Mechatronics Handbook*, The University of Texas at Austin, Austin, Texas;

[3] Bowles, P., Tiller, M., (2001). *Feasibility of Detailed Vehicle Modelling*, Proc. of SAE World Congress, paper 01P-321, Detroit

[4] Bruns, F., W., Erbe, H., (2005). *Engineering Future Laboratories*, In: Marvel – A Leonardo da Vinci Pilot Project– Mechatronics Training in Real and Virtual Environments, Bremen

[5] Busse, M., Wostmann, F., (2006). *Application of Adaptronic components with cast parts*. Proc. Adaptronic Congress, Gottingen

[6] Gheorghe, G., (2016), *Study and analyse regarding the concepts of mechatronics and adatronics virtual models and cyber-mechatronics and cyber-adaptronics*, Cefin Publishing House, Romania.

[7] Gheorghe, G., (2016), *Elaboration of new scientific and technological concepts and new virtual mechatronics and adaptronics models and cyber-mechatronics and cyber-adaptronics*, Cefin Publishing House, Romania.

[8] Noble, B, Flinn, J., (2007), *Wireless, self-organizing cyberphysical systems*, Proc. of the NSF Workshop on CyberPhysical Systems. Austin, TX.

[9] Pop, L., G., Matiec, V., (2011), *Transdisciplinary Approach of the Mechatronics in the Knowledge-based Society*, Advances in Mechatronics. H. Martinez-Alfar (Ed.), InTech.

CONSIDERAȚII PRIVIND ROBOȚII SUBACVATICI ȘI UTILIZAREA LOR

Prof. dr. ing. Ionel STAREȚU

Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, România
Academia de Științe Tehnice din România

REZUMAT. Lucrarea prezintă succint câteva aspecte privind roboții subacvatici, o categorie foarte importantă de roboți care se folosesc din ce în ce mai mult în activități acvatice în special în mări și oceane, la adîncimi mari și foarte mari, dar și în intervenții în mediu acvatic în lacuri, canale, râuri și fluvii. În prezent activitățile acvatice sunt indeplinite în cea mai mare parte de scafandrii autonomi care sunt puși de multe ori în situații foarte periculoase soldate chiar cu victime, ceea ce justifică pe deplin folosirea unor echipamente robotice care să îi ajute sau chiar să îi înlocuiască în astfel de activități deosebit de riscante. În prezent există o varietate destul de mare de roboți subacvatici în continuă perfecționare și diversificare. Performanțele acestora sunt din ce în ce mai bune și pentru că în ultimii ani senzorii necesari au evoluat foarte mult ca și capacitățile de calcul a procesoarelor necesare. Pentru tipurile de roboți subacvatici prezentați se precizează principalele caracteristici constructive și funcționale și sunt evidențiate principalele domenii de utilizare, cu accent pe utilizarea la activitățile specifice platformelor marine de foraj. Lucrarea atrage atenția asupra acestui tip de roboți și urmărește creșterea interesului specialiștilor în mecatronică și robotică pentru intensificarea preocupărilor pentru imaginarea, proiectarea și realizarea practică a unor astfel de roboți.

Cuvinte cheie: robot subacvatic, senzori, actuatori, prehensoare, platformă marină de foraj. .

ABSTRACT. The paper briefly presents some aspects of underwater robots, a very important category of robots that are increasingly used in aquatic activities, especially in seas and oceans, at great and very large depths, but also in aquatic interventions in lakes , canals and rivers. At present, aquatic activities are largely met by autonomous divers that are often placed in very dangerous situations even with victims, which fully justifies the use of robotic equipment to help or even replace them in such particularly risky activities. At present there is a fairly large variety of underwater robots in continuous improvement and diversification. Their performance is steadily improving and because in recent years the necessary sensors have evolved a lot like the computing capacities of the necessary processors. For the types of underwater robots presented, the main constructive and functional features are highlighted and the main areas of use are highlighted, with emphasis on use in the activities of specific marine drilling platforms. The paper draws attention to this type of robots and aims to increase the interest of specialists in mechatronics and robotics to intensify the preoccupations for imagining, designing and practicing such robots.

Keywords: Underwater robot, Sensors, Actuators, Grippers, Sensors, Marine drilling platform.

1. INTRODUCERE

Roboții subacvatici reprezintă o clasă importantă de roboți mobili care sunt destinați utilizării în mediul acavatic, în special în mări și oceane la adâncimi mari, pentru activități de investigare și/sau de intervenție, inclusiv efectuarea unor operații tehnologice, care pot fi însă adaptați și pentru utilizare în lacuri, râuri și fluvii, în cazul nostru fluviul Dunărea. Acești roboți se utilizează pentru a ușura sau a înlocui munca scafandrilor autonomi care este foarte periculoasă și de multe ori s-a sfârșit chiar tragic. În prezent există o varietate destul de mare de astfel de roboți în continuă dezvoltare și diversificare care devin din ce în ce mai performanți pe măsura dezvoltării sistemelor senzoriale utilizabile și a softurilor disponibile din ce în ce mai performante.

În lucrare sunt prezentate câteva tipuri semnificative de roboți subacvatici cu precizarea unora din caracteristicile lor principale și evidențierea principalelor domenii de utilizare[1,2].

2. VARIANTE REPREZENTATIVE DE ROBOȚI SUBACVATICI

2.1. Robotul SONIA AUV

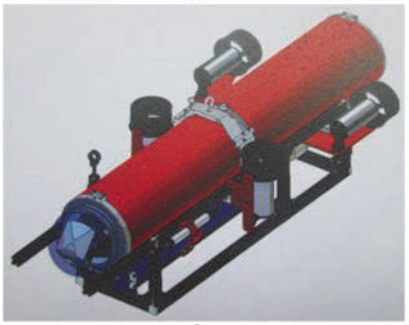
Acesta este un robot[3] capabil să intre în imersiune de pe o construcție fixă sau o ambarcațiune,

să se deplaseze telecomandat de la postul de comandă, să inspecteze zona de interes cu ajutorul unor camere TV cu redarea imaginii pe monitorul pupitrului de control și să înregistreze imaginile pentru o inspectare și prelucrare ulterioară. Misiunile executate pot fi inspectarea platformelor marine, carenelor navelor, a picioarelor podurilor și a digurilor precum si localizarea și recuperarea diverselor obiecte de pe fundul apei(Fig 1a).

2.2. Robotul Darya Bird

Un alt exemplu de robot subacvatic este Darya Bird Robot[4](Fig. 1b), care operează uzual la adâncimi mici, de până la 50 de metri, aplicațiile principale fiind cartografiere și inspectarea. Acest robot a fost proiectat să fie autonom dar poate fi controlat și de o unitate de supraveghere.

a



b

Fig. 1. Robotul Sonia AUV(a) și robtul Darya Bird(b)

2.3. Robotul Falcon UAV

Robotul subacavatic Falcon Robot UAV[5], arătat în Fig. 2a, se utilizează la cercetare, în cartografiere și își poate construi o hartă pentru navigare și pentru evitarea obstacolelor și pentru localizarea obiectelor cunoscute de către acesta, cu acurateţe mare. Este comandat printr-un acces direct de la un calculator/laptop sau chiar o tabletă.

2.4. Robotul KILLICH

Robotul KILLICH[6](Fig. 2b), este un robot autonom, care poate explora medii subacvatice și colecta date cu o perturbare minimă a vieții marine.

a

b

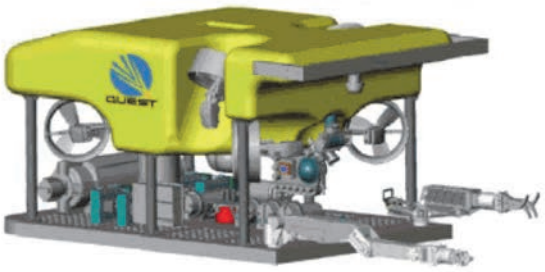
Fig.2. Robotul Falcon UAV(a) și robotul KILLICH(b)

2.5. Robotul Schilling[7]

Schilling Robotics realizează robotul din Fig.3a. Acest robot combină un vehicul cu telecomandă cu propulsoare pentru manevrare și două brațe de robot pentru manipulare. Unul dintre brațe este special pentru că poate apuca ceva rigid, cum ar fi baza unei platforme de foraj, pentru a menține vehiculul în timp ce celălalt braț efectuează sarcini precum sudarea sau întreținerea diverselor echipamente din dotarea paltformei marine.

2.6. Robotul Northeastern[7]

Robotul(Fig.3b) este o imitația de homar dezvoltat de Universitatea Northeastern Marine Science Center. Roboții de acest tip numiți și roboți biomimetici pot folosi actuatoare miomorfe, care imită acțiunea musculară; senzori neuromorfi, care sunt asemenea senzorilor naturali, Astfel de roboți se pot deplasa pe fundul apei.



a

b

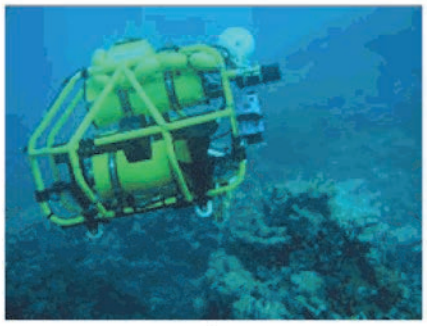
Fig.3. Robotul Schilling(a) și robotul Northeastern(b)

2.7. Robotul Oberon[7]

Centrul australian pentru Robotica Fields de la Universitatea din Sydney a dezvoltat robotul din Fig. 4a, ca un prototip pentru roboți subacvatici autonomi, care ar putea explora și monitoriza inclusiv Marea Barieră de Corali. În prezent, acest robot trebuie să rămână conectat de o navă aflată la suprafață, dar se preconizează că într-un deceniu ar fi posibil ca roboții de acest tip să fie coborâți la fundul oceanului și să realizeze de exemplu o cartografierea a terenului. Oberon are două sonare de scanare și un senzor de adâncime, precum și o cameră video color. Nu are nevoie de informații suplimentare, cum ar fi cele de la sateliții sistemului de poziționare globală, pentru a afla unde este poziționat.

2.8 Robotul Ocean One[8]

Cercetătorii de la Universitatea Stanford au realizat un robot humanoid care poate înlocui un scafandru și poate să pătrundă în locurile greu accesibile de pe fundul mărilor. Robotul OceanOne(Fig.4b) a fost deja folosit cu succes în recuperarea unor artefacte de pe un vas care s-a scufundat în largul coastei franceze în anul 1664. Epava a aparţinut regelui Ludovic al XIV-lea și a fost inaccesibilă pentru explorarea de către scafandri din cauza stadiului avansat de degradare. Descris ca un robot-sirenă, inițial a fost destinat să studieze recifele de corali din adâncuri, însă s-a dovedit că are un potenţial mult mai mare. Măsoară aproximativ 1,5 metri lungime, cu tot cu zona ocupată de acumulatori și motoarele multi-direcţionale. Controlul se face de la distanță cu ajutorul unui calculator, conectat la senzorii și camerele de luat vederi ale robotului.



a

b

Fig. 4. Robotul Oberon(a) și robotul OceanOne(b)

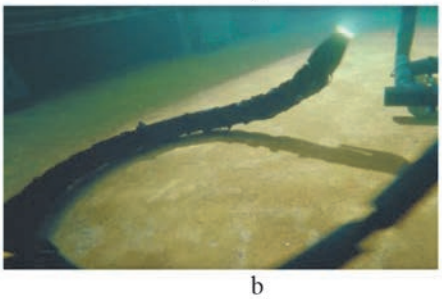
2.9. Robotul UUVs Sea Fox[9]

UUVs Sea Fox(Fig.5a), sunt niste roboți specializați în distrugerea minelor de pe fundul mării, în zonele cu adâncimea apei relativ scăzută. Aceste tipuri de mine sunt proiectate să stea în așteptare pe nisip, sau la o adâncime prestabilită și să se ridice în calea navelor doar atunci cand acestea sunt în preajmă, fiind astfel imune la dragarea clasica. Cântarind doar 43 de kg. aceste drone kamikaze sunt operate prin cablu de fibră optică de la bordul ambarcațiunilor sau a elicopterelor și distrug mina inamică printr-un jet de plasma.

2.10. Robotul tip Șarpe[10]

Robotul(Fig.5b) se deplasează cu ajutorul unor propulsoare, dar poate primi energie și comenzi și prin intermediul unui cablu atașat de coadă. Datorită corpului flexibil, șarpele poate intra în locuri inaccesibile pentru un rover sau alt tip de submersibil. Acesti roboţii, dezvoltați de Eelume cu finanțare de la Kongsberg Maritime și Statoil, vor fi folosiți pe stațiile petroliere maritime, dar și pe nave.

a



b

Fig. 5. Robotul UUVs Sea Fox(a) și robotul șarpe(b)

2.11. Robotul tip meduză Robojelly[11]

Robotul(Fig.6a) a fost numit Robojelly și se mișcă și arată la fel ca o meduză. Funcționează cu hidrogen, ceea ce înseamnă că, cel putin în teorie, nu poate rămâne fără energie. Robotul este fabricat din materiale inteligente împachetate în nanotuburi de carbon, cunoscute pentru proprietățile lor electrice. Pe suprafața are platină pulverizată. Aceasta creează o reacție chimică împreună cu hidrogenul și oxigenul, producând astfel energia de care robotul are nevoie pentru a funcționa.

2.12. Robotul tip dronă CCROV[12]

Robotul CCROV(Fig.6b) este prevăzut cu o camera cu rezoluție 4K. CCROV este capabil să înregistreze imagini și video Ultra HD, dar și să realizeze transmisiuni în timp real la 720p, prin intermediul cablului. Datorită senzorilor de adâncime și temperatură, precum și carcasei impermeabile, realizata din aliaj de aluminiu durabil, **CCROV** este proiectat să efectueze scufundări la adâncimi de până la 100m. Prevăzut cu un sistem de 6 propulsoare și cu elice cu diametru de 34 mm, **CCROV** se poate deplasa și avansa cu o viteză de până la 1m/s. Fiind un aparat versatil, **CCROV** poate fi utilizat pentru a servi în numeroase domenii de activitate, fiind capabil să îndeplinească o serie de acțiuni care, de cele mai multe ori, depășesc capacitățile umane. De la acvacultura, pescuit și turism, până la inginerie si proiectare navală, navigație și misiuni de salvare, **CCROV** poate ajunge în cele mai dificile locuri și înregistra imagini ce se pot dovedi utile într-un număr foarte mare de situații.

a

b

Fig. 6. Robotul Robojelly(a) și robotul CCROV(b)

În baza celor prezentate, sintetic se poate arăta că roboții subacvatici pot înlocui operațiunile subacvatice de lungă durată efectuate de om în medii foarte periculoase, în medii contaminate și în apele cu vizibilitate zero. Roboții subacvatici sunt în general echipați cu sisteme de sonar, camere video, lumini și brațe robotizate pentru a oferi imagini în timp real, imagini sonare, brațele robotice pot apuca obiecte grele. Roboți subacvatici sunt utilizați pe scară largă în exploatarea petrolului, aplicații militare și alte domenii, cum ar fi: căutarea și salvarea în siguranță, inspectarea țevilor și cablurilor marine, cercetări marine, energetica marină, arheologie marină, divertisment subacvatic etc.

3. ROBOT SUBACVATIC MODULAR

Pentru a răspunde unor eventuale cereri locale autorul a coordonat proiectarea unui robot subacvatic cu utilizări multiple cu o structură modulară STARSEE 1 [13]. Principalele funcții adoptate pentru acest robot au fost: deplasare în siguranță în zona de lucru, inspecție în zona de proximitate a robotului, manipularea unor obiecte din spațiul de lucru al robotului, și înregistrare și emitere semnale video către operator. Structura constructivă mecanică a robotului subacvatic în concepție modulară este formată din: o platforma mobilă, brațul robotic și dispozivul de prehensiune. Robotul (Fig. 7a) are o acționare corespunzătoare, este echipat cu senzorii necesari pentru indeplinirea funcțiilor prevăzute și are un sistem de comandă și control performant. Proiectl robotului a fost realiza în softul CATIA, și s-a realizat simularea funcțională în mai multe situații(Fig.7b).

a

b

Fig.7. Robotul modular STARSEE 1

4. UTILIZAREA ROBOȚILOR SUBACVATICI LA PLATFORMELE MARINE DE FORAJ

Platformrlr marine, în special cele de exploatare a petrolului, sunt structuri foarte complexe amplasate relativ departe de țărm și sunt supuse unor condiții foarte dure de lucru. O platformă marină (Fig. 8) are o parte la suprafața apei dar și o parte importantă sub apă. Intervențiile la nivelul structurii submarine se fac de obicei cu scafandrii autonomi, care pot fi puși în situații deosebit de periculoase și de aceea utilizarea roboților subacvatici este o soluție alternativă potrivită. Acești roboți pot fi folosiți la inspectarea structurii subacvatice a platformelor marine, dar și la intervenții de tipul reparațiilor curente sau accidentale, necesare în urma apariției unor avarii de multe ori datorate condițiilor atmosferice care conduc la o mare agitată sau la furtuni de mai mică sau mai mare amploare.

Fig. 8. Platformă marină de foraj[14]

În acest context este necesară creșterea preocupărilor de a imagina, proiecta și realiza o gamă cât mai variată de roboți subacvatici utilizabili la diverse activități specifice platformelor marine, având în vedere și instalațiile de acest tip din Marea Neagră, existente în prezent dar mai ales de perspectiva dezvoltății acestei activități în viitor.

5. CONCLUZII

În baza celor prezentate în această lucrare se pot formula următoarele concluzii:

- roboții subacvativci formazează o categorie importantă de roboți care sunt în continuă dezvoltare și diversificare;
- dacă inițial aplicațiile acestor roboți erau în special în zona inspectării spațiilor marine și oceanice la adâncimi mari și foarte mari, în prezent se poate susține că acești roboți se pot utiliza pentru activități variate atât în zona maritimă sau oceanică dar la toate adâncimile, cât și pentru multe situații în lacuri, canale, râuri și fluvii, deoarece gradul de pericol și dificultate al activităților acvatice pentru operatorul uman, scafandrul autonom, recomandă robotizarea extinsă în acest domeniu;
- performanțele roboților subacvatici sunt în continuă creștere, chiar creștere explozivă, datorită măririi performanțelor sesnzorilor și sistemelor de calcul utilizabile;
- preocupările pentru imaginarea, proiectarea, simularea funcținală și realizarea practică a unor roboți subacvatici cât mai performanți și diverși, până la realizarea unor familii modulare de astfel de roboți trebuie încurajate și susținute la toate nivelurile;
- lucrarea se dorește o semnalare a acestui subdomeniu deosebit de important al roboticii în prezent dar și în viitor și stimularea interesului speciaaliștilor în robotică și mecatronică pentru a aborda realizarea unor astfel de echipamente.

BIBLIOGRAFIE

[1] Kovacs, Fr. ș.a., *Roboți de serviciu*, Ed. Universitații din Oradea, 2001.
[2] Stareţu, I., *Robotică medicală și Robotica serviciilor*, Notițe de curs, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 2012.
[3] Inf 1: http://sonia.etsmtl.ca/en.
[4] Inf.2: http://www.brain.kyutech.ac.jp/~ishii/Darya_Bird/db.html.
[5] Inf.3: https://sites.google.com/site/falconroboticsauvteam/.
[6] Inf.4: http://cuauv.ece.cornell.edu/vehicles/killick.
[7] Inf.5: https://www.learnaboutrobots.com/undersea.htm
[8] Inf.6: http://www.cunoastelumea.ro/tag/roboti-subacvatici/
[9] Inf.7:https://www.rumaniamilitary.ro/americanii-au-trimis-roboti-subacvatici-in-golf.
[10] Inf.8: http://www.go4it.ro/curiozitati/acest-sarpe-robot-poate-inspecta-si-repara-echipamente-subacvatice-video-15265061/
[11] Inf.9: https://a1.ro/lifestyle/gadget/s-a-inventat-robotul-subacvatic-in-forma-de-meduza-id9753.html
[12] Inf.10: https://www.f64.ro/ccrov-underwater-robot.html
[13] Stareţu, I., Tutunaru, D., *Robot subacvatic – proiect CAD și simulare funcțională*, Volum Conferința anuală Zilele ASTR, Constanța 2017, pp. 200-207.
[14] Inf.11:https://ro.wikipedia.org/wiki/Platform%C4%83_petrolier%C4%83_marin%C4%83

ASPECTS CONCERNING THE RELATIONSHIP BETWEEN CIRCULAR ECONOMY AND ROBOTICS

Asist. ing. Mihaela TRIF[1], Dr. ing. Ciprian RAD[1], Dr. Veturia. CHIROIU[2], Dr. ing. Cornel BRISAN[1]

[1]Technical University of Cluj-Napoca, Cluj, Romania [2]IMSAR Bucharest, Romania

ABSTRACT. Lucrarea prezintă o introducere a stării actuale a economiei circulare și a beneficiilor sale în comparație cu abordarea tradițională de creare-utilizare-depozitare pe care o are economia liniară. Pentru a implementa un sistem mai eficient din punct de vedere ecologic sunt necesare schimbări în industrie și societate. Prin urmare, este imperios necesar să apară noi tehnologii în favoarea unor metode de producție mai eficiente și mai curate. În acest context, lucrarea propune un sistem robotizat folosit în sortarea deșeurilor care integrează trei roboți ce lucrează simultan pentru sortarea diferitelor tipuri de deșeuri.

Cuvinte cheie: sistem robotizat, sortarea deșeurilor, reciclare, economie circulară.

ABSTRACT. This paper presents an introduction to the current state of circular economy and its benefits compared to the traditional *create-use-dispose* approach that linear economy holds. To implement a more environmentally and eco-efficient system changes are necessary in the industry and society. Therefore, it is imperative that new technologies emerge that are in favor of more efficient and clean production methods. In this context, the paper proposes a robotic system used in waste sorting that integrates three robots working simultaneously to sort different types of waste.

Keywords: robotic system, waste sorting, recycling, circular economy.

1. INTRODUCTION

In the recycling industry, waste sorting has become an efficient and reliable method of waste disposal. In recent years more and more companies have acknowledged the benefits that come along with waste sorting such as: reducing the number of human operators in the facility and as such reducing the risk of contamination with certain diseases or illnesses.

Another benefit is using robotic systems that are functional for long periods of time and do not require breaks compared to human operators. This represents an advantage for the employer, eliminating costs of overtime work. Moreover, the robots can work in a continuous flow, providing 24 hours a day efficiency if necessary.

An effective robotic system is essential to a waste sorting facility because it's long term profit it's better. When programmed correctly, the role of the robotic system is to depict different types of waste that are placed on a moving conveyor belt and separate them into different bins, each bin corresponding to a certain type of waste. The amount of waste that is sorted by the robotic arm is the amount placed on the conveyor belt, the type of waste sorting being decided by the owner of the facility.

When choosing the appropriate system, the user has only a few options from which we can choose. There are a few types of robotic system that are on the market, the client can determine which one is more suitable for their facility, taking into considerations factors such as storage capacity, power consumption, types of waste that need to be sorted in the facility, number of employees qualified to operate the system, etc.

Furthermore, it is important that the client is aware of all the existing systems to make an informed decision. In this context, the paper presents a robotic system composed of three different robots placed on a metallic frame. The robots can be arranged in several ways on the frame. All the possible combinations of the robots are determined and presented in the paper. Therefore, the consumer can choose the appropriate system that can be used in their facilities.

The paper is structured in the following manner: a brief introduction of circular economy and its role and benefits is presented in Chapter 2 Next, the concept of waste management along with the possible health risk associated with current waste management, risk that appear when improper handling is presented in Chapter 3 while the CAD simulations of the robotic system composed of the three robots and the all the outcomes taking into consideration their placement of the metallic frame are presented in Chapter 4. Finally, the paper ends up with the conclusions.

2. CIRCULAR ECONOMY

In modern society the concept of linear economy is still being used, the repercussions of these actions consist of massive amount of pollution in our water, air

and soil. Linear economy is based on extracting vast amounts of natural resources, which are not unlimited, using those resources to create products or provide services and then disposal of the goods in waste facilities around the world when we deem them outdated or no longer useful.

Most of the products people throw away are functional products that could be used for a longer period but are being discarded because of the need to stay in touch with the latest technologies. Often, costumers would purchase a similar product with the one they already own but that has a few additional features as opposed to the original to have an upgraded version of the product. This is not a practical approach taking into consideration that some features are not entirely essential.

Due to these actions most cities cannot contain the amount of waste produced by its citizens and so, the waste is usually stored in large landfills or incinerated. These landfills can be extremely dangerous because of the toxic emissions emitted which can cause air pollution and can deteriorate the health of nearby citizens. At the same time, it can damage the soil around it, causing crops to wither and die and even cause harm to the ecosystem by damaging the health of livestock or wildlife.

To eliminate the problems caused by the current linear economy, society needs to adopt a more stable and healthy option such as circular economy.

The concept of circular economy aims to find numerous methods to reduce and eventually eliminate daily waste to minimize the number of current landfills and toxic debris that we meet.

Most cities have embraced the change and as a result the amount of waste created was managed in a more appropriate manner. Multiples studies have been made regarding implementing circular economy in China which has rapid and continuous economic development.

The implementation of circular economy can be achieved in different countries by imposing laws that ban landfills on specific materials, labelling laws and making the consumption process more eco-efficient by introducing technologies that make the manufacturing process reduce its environmental impact. As a result, by implementing laws that enforce a greener attitude towards the manufacturing and consumption of these products, the progress made in China to establish an eco-friendlier approach has been consistent since the start of the natural resources problem [1-3].

3. WASTE MANAGEMENT

Most studies conducted on waste management have determined that the health issues cause by current improper handling of hazardous substances, such as medicinal waste, can have severe consequences on the health of the population. The risk of contamination is great, especially when constructing new waste disposal facilities, locals around the area being concerned for their safety knowing that the performance of most landfills and incinerators have been weak due to poor handling. The main negative aspects of these facilities are the unpleasant odors, the risk of noxious substances being leaked and contaminating the surrounding area which leads to food being contaminated with chemicals released by the incinerators. Another disadvantage of constructing a waste facility in a populated area is the reduction in value of the property [4].

Furthermore, studies show an increase risk of congenital anomalies in babies who were born near landfills. Assuming the mother lived in the contaminated perimeter for a prolonged period she was exposed to chemicals that were release in the water, air and soil. Additional investigation is needed to determine the level of impact the pollution caused by the landfills have on a pregnant woman and if the risk of health issues would decrease if the distance from landfills would increase [5].

Other research results show a significant increase in the risk of sarcoma, which is a form of cancer, on population exposed to dioxin-like substances, the risk being just as high in males and females. The study was made in Italy on a large population (422,924 subjects) where the area included several industrial plants and waste incinerators. The results stated that the risk of developing sarcoma was 3.3 times higher among subjects that has long periods of exposure to the toxic chemicals released by the facilities [6].

Due to these health concerns, locals are understandably concerned and stubbornly oppose the idea of a waste facility near their homes.

Waste management include activities or actions that manage all types of waste from conception until their disposal. For waste management to be effective all types of waste such as: construction debris, household waste, agricultural waste, hospital waste and so on, must be classified and regulated in a specific manner.

Waste management strategies include: reducing, reusing and recycling.

Reducing – can be achieve by reducing the amount of natural resources used in fabrication of different material and using high quality material in the production process. This change may affect large companies that rely on certain resources to manufacture their product but nonetheless most companies have found alternative material that works just as well and, in some cases, even better than the original material.

Reusing – consist of reusing a finished product several times before its final disposal. An example of reusable material is glass bottles in which products such as milk, water or soda can be bottled. After consuming the drink, the customer can drop off the used bottle at the store or in a specific disposable container which will be collected by company employees or sanitation team. This approach can have a positive effect on the environment, most glass bottles being hard to recycle and, when mass produced from natural resources, create carbon emissions.

There are many other reusable materials that are being discarded that still have value to them such as clothes, books, backpacks and so on, these products

being most of the time essential and useful for communities that struggle and do not have the necessary resources to procure them.

Recycling – is a process of converting waste into new material. A few benefits of recycling are reducing the amount of extracted natural resources because the resources used to manufacture new material is existing waste and reducing greenhouse gas emissions.

However, recycling cannot be viewed as a perfect loop where material is reused an infinite amount of times, most researches concluding that it would be too expensive from an economical and environmental point of few due to the entropy law.

In recent years different robotic systems have been created to ensure a more environmentally friendly approach on daily tasks. A few concrete examples are the modern bins that use sensors and smart technology, these bins can optimize waste collection schedules in real-time to prevent unnecessary gas consumption by the company who picks up the waste from the bin. This leads to lower emission levels as well as lowering the number of inefficient collections. Furthermore, the bins are no longer prone to overflowing, an action that can prevent flies and pests from gathering around the area [7].

There are different types of robots that are currently being used in the industry. These robots range from ordinary single stream and multi stream machines to high performance robotic systems.

Single stream machines have several systems that collect and sort different types of waste. An advantage of using such systems is that it requires a small number of employees who need to supervise the workflow. Even though the staff number is low the employees still need to sort the remaining waste at the end of the conveyor belt, the machines not being able to sort all types of waste. Because of this, employees can develop health problems due to the environment.

Stream systems include equipment such as; separators, sorters, fine screen, drums and so on [8].

Other robotic systems that are being used in the industry are advanced robots that have incorporated as a first step (the beginning of the sorting process) image processing technology that can detect different types of waste by scanning the material spread across a conveyor belt. The camera detects the type of waste and sends a signal to the control panel. The signal is being processed with the help of a program based of artificial intelligence, the program stores the data received by the image processing program and in turn sends data to the robot. At the end, a robotic arm is being actuated with the help of motors, the arm is being used to collect the waste and transport it into bins that are specific to the type of waste sorted.

In figure 1 is illustrated an advanced robotic system used in waste sorting. The robot in the image is a waste sorting robot developed by AMP Robotics, the robot aims to cut sorting costs and make sorting lines safer which in turn increases employee satisfaction [9].

Fig. 1. AMP Robotics Facility – Waste sorting robot [9].

Other similar robotic systems include the waste sorting robotic system ZenRobotics Recycler (ZRR) from ZenRobotics. It claims to be able to sort construction and demolition waste as well as commercial waste. It is designed to lower the cost of recycling by replacing the low performance techniques and manual jobs that can cause health issues to the employees with more efficient autonomous robotic pickers that are faster and more precise. Just as the previous robotic system, the ZenRobotics Recycler relies of machine learning technology to determine the nature of the waste and to control the robotic arms movements [10].

The challenges these robots face is the correct recognition of the material type as well as determining the most accurate approach to deal with the material that it picked up. Another challenge is avoiding collision with other objects while the conveyor belt is in motion.

4. CAD SIMUATIONS

The paper proposes a robotic system that integrates three robots (a Cartesian robot, a cylindrical robot and a spherical robot) used for waste sorting tasks.

The Cartesian robot $[R_1]$ is placed on a metallic cell, it is actuated by a primary prismatic joint along the [Z] axes. The second robot, the cylindrical robot $[R_2]$ is placed as well on the metallic cell, it can be suspended alongside three axes [X], [Y] and [Z]. The third robot, the spherical robot $[R_3]$ can be placed on three different axes, like the cylindrical robot.

Due to the possible number of positions that the robots can have the number of outcomes is equal to 18. The 18 different possible outcomes are presented in table 1 along with the resulting conditions of the set outcome.

As a result, knowing every possible outcome, the client can calculate and determine which outcome is

more efficient in their facility, taking into consideration critical factors that can affect the productivity of the sorting line.

Table 1 – **The 18 possible outcomes of the robotic system.**

Var. no.	R_1 first axis	R_2 first axis	R_3 first axis	Result	Conditions
1	Z	X	X	$R_z^1 R_x^2 R_x^3$	$R_z^1 \; R_x^2 \| R_x^3$
2					$R_z^1 \; R_x^2 \equiv R_x^3$
3			Y	$R_z^1 R_x^2 R_y^3$	$R_z^1 \; R_x^2 \; R_y^3$
4			Z	$R_z^1 R_x^2 R_z^3$	$R_z^1 R_x^2 R_z^3 \;\|$
5					$R_z^1 R_x^2 R_z^3 \;\equiv$
6		Y	X	$R_z^1 R_y^2 R_x^3$	$R_z^1 \; R_y^2 \; R_x^3$
7			Y	$R_z^1 R_y^2 R_y^3$	$R_z^1 \; R_y^2 \| R_y^3$
8					$R_z^1 \; R_y^2 \equiv R_y^3$
9			Z		$R_z^1 R_y^2 R_z^3 \;\|$
10					$R_z^1 R_y^2 R_z^3 \;\equiv$
11		Z	X	$R_z^1 R_z^2 R_x^3$	$R_z^1 \| R_z^2 \; R_x^3$
12					$R_z^1 \equiv R_z^2 \; R_x^3$
13			Y	$R_z^1 R_z^2 R_y^3$	$R_z^1 \| R_z^2 \; R_y^3$
14					$R_z^1 \equiv R_z^2 \; R_y^3$
15			Z	$R_z^1 R_z^2 R_z^3$	$R_z^1 \| R_z^2 \| R_z^3$
16					$R_z^1 \equiv R_z^2 \equiv R_z^3$
17					$R_z^1 \equiv R_z^2 \| R_z^3$
18					$R_z^1 \| R_z^2 \equiv R_z^3$

The outcomes have been simulated using a CAD software, SolidWorks. In table 2 all the possible outcomes are presented, the mathematical equation that corresponds to each CAD simulation is given above each figure [11].

Each robot can be distinguished in the following manner:

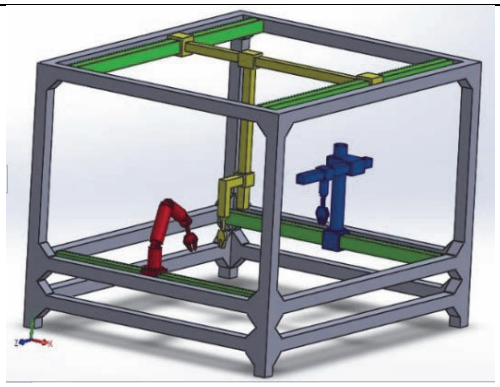
R^1- Cartesian robot (yellow)

R^2- Cylindrical robot (blue)

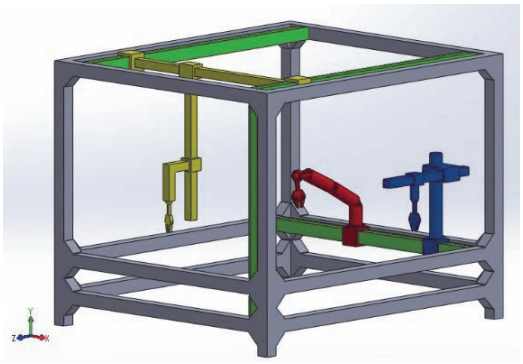
R^3- Spherical robot (red)

Table 2 – **CAD simulations of all versions of the robotic system**

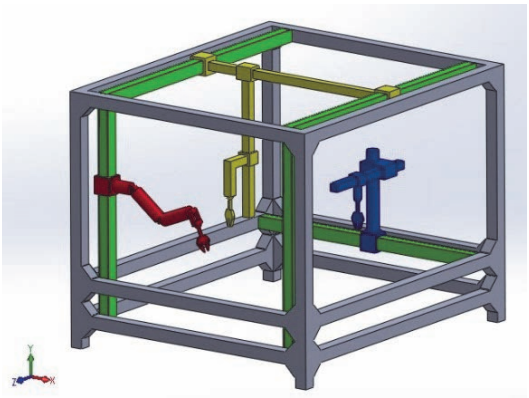
Version no. 1: $R_z^1 \; R_x^2 \| R_x^3$



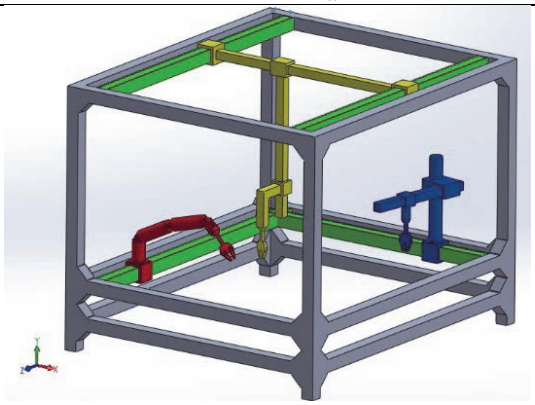
Version no. 2: $R_z^1 \; R_x^2 \equiv R_x^3$



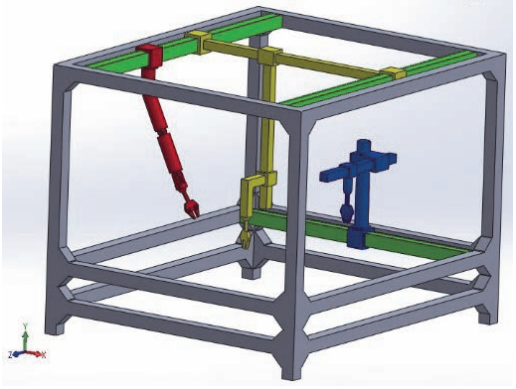
Version no. 3: $R_z^1 \; R_x^2 \; R_y^3$



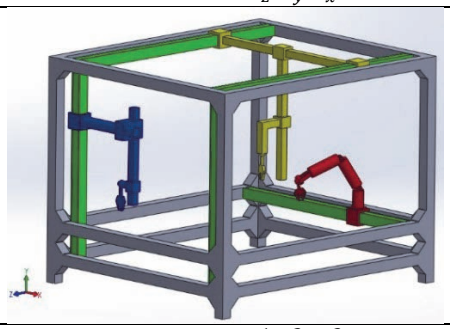
Version no. 4: $R_z^1 R_x^2 R_z^3 \;\|$



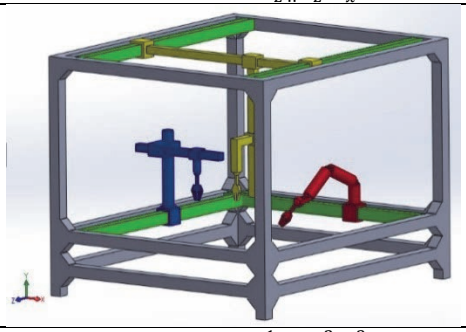
Version no. 5: $R_z^1 R_x^2 R_z^3 \;\equiv$



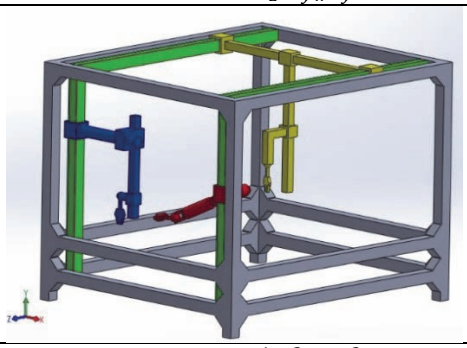
Version no. 6: $R_z^1\ R_y^2\ R_x^3$



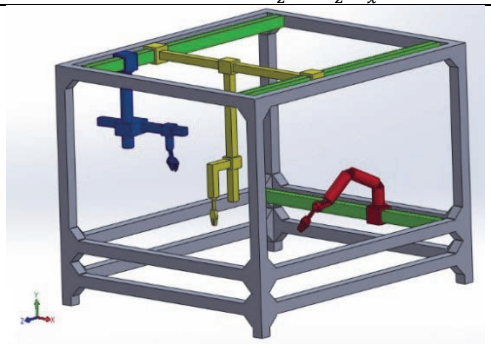
Version no. 11: $R_z^1 \| R_z^2\ R_x^3$



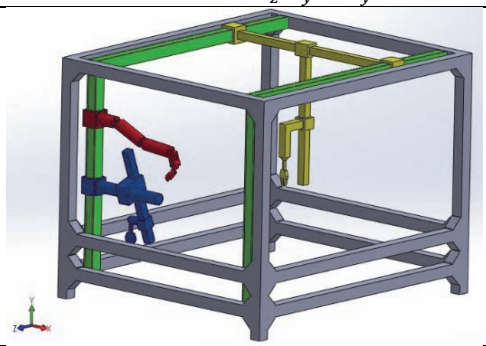
Version no. 7: $R_z^1\ R_y^2 \| R_y^3$



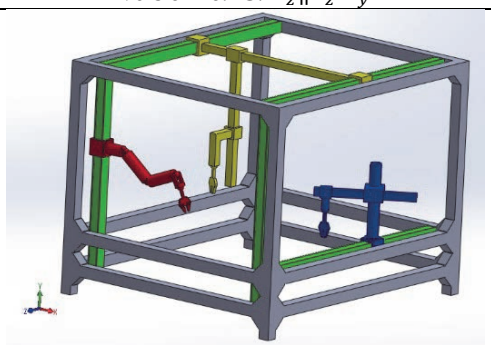
Version no. 12: $R_z^1 \equiv R_z^2\ R_x^3$



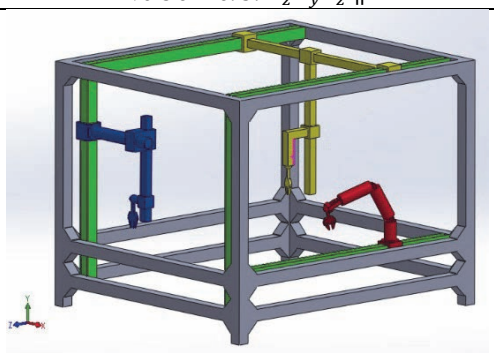
Version no. 8: $R_z^1\ R_y^2 \equiv R_y^3$



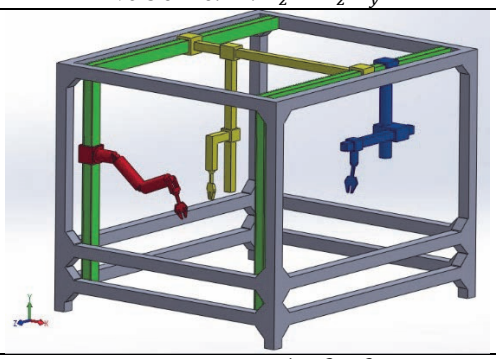
Version no. 13: $R_z^1 \| R_z^2\ R_y^3$



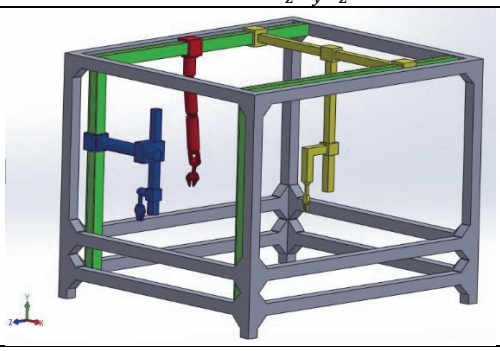
Version no. 9: $R_z^1 R_y^2 R_z^3 \|$



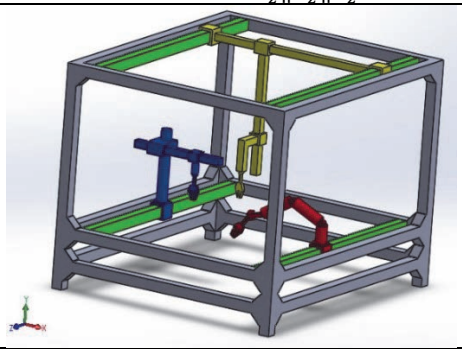
Version no. 14: $R_z^1 \equiv R_z^2\ R_y^3$



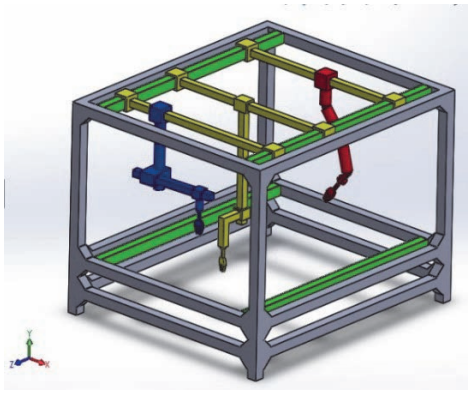
Version no. 10: $R_z^1 R_y^2 R_z^3\ \equiv$



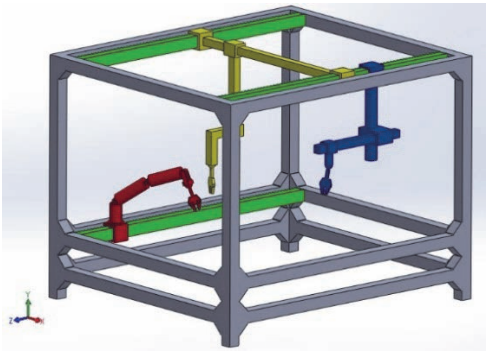
Version no. 15: $R_z^1 \| R_z^2 \| R_z^3$



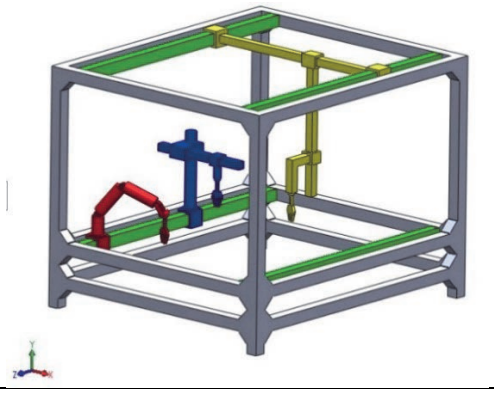
Version no. 16: $R_z^1 \equiv R_z^2 \equiv R_z^3$



Version no. 17: $R_z^1 \equiv R_z^2 \| R_z^3$



Version no. 18: $R_z^1 \| R_z^2 \equiv R_z^3$



5. CONCLUSIONS

A robotic system cell for waste sorting tasks with three types of robotic arms was proposed and studied and resulted in 18 different outcomes that are possible when combining three types of robots. The CAD simulation were presented for all outcomes.

6. REFERECENS

[1] Ghisellini, Patrizia, Catia Cialani, and Sergio Ulgiati. "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems." *Journal of Cleaner production* 114 (2016): 11-32.

[2] Andersen, Mikael Skou. "An introductory note on the environmental economics of the circular economy." *Sustainability Science* 2.1 (2007): 133-140.

[3] Morrissey, Anne J., and John Browne. "Waste management models and their application to sustainable waste management." *Waste management* 24.3 (2004): 297-308.

[4] Giusti, Lorenzo. "A review of waste management practices and their impact on human health." *Waste management* 29.8 (2009): 2227-2239.

[5] Dolk, Helen, et al. "Risk of congenital anomalies near hazardous-waste landfill sites in Europe: the EUROHAZCON study." *The Lancet* 352.9126 (1998): 423-427.

[6] Zambon, Paola, et al. "Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy)." *Environmental Health* 6.1 (2007): 19.

[7] ***http://ecubelabs.com/ - accessed in August 2018

[8] Lakhan, Calvin. "A comparison of single and multi-stream recycling systems in Ontario, Canada." *Resources* 4.2 (2015): 384-397.

[9] ***https://www.amprobotics.com/- accessed in August 2018

[10] ***https://zenrobotics.com/- accessed in August 2018

[11] Chow, Peter, Tetsuyuki Kubota, and Serban Georgescu. "Automatic Detection of Geometric Features in CAD models by Characteristics." *Computer-Aided Design and Applications* 12.6 (2015): 784-793.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a grant of the Romanian Ministry of Research and Innovation, CCDI-UEFISCDI, project number PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0086 / 22/2018, within PNCDI III. Each author has contributed equally for the paper.

ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE
DIN ROMÂNIA

THE ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES
IN ROMANIA

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE
DIN PLOIEȘTI

PETROLEUM-GAS UNIVERSITY
OF PLOIEŞTI

Secțiunea VII

„ EFICACITATE ȘI EFICIENȚĂ ÎN INGINE RIE (II) “

Moderatori:

- Prof. dr. ing. Costică Atanasiu
- Prof. dr. ing. Leontin Drugă
- Prof. dr. ing. Mărioara Abrudeanu

VII.01. *Dumitra Lucan, Serban Constantin Valeca, Gheorghita Jinescu, Lucian Velciu,*
Procese specifice coroziunii materialelor structurale ale reactorului LFR 211

VII.02. *Mihai Cojocaru, Leontin Druga, Florica Tudose,* **Rezistenţa la oxidare a superaliajelor cu bază de nichel**.....219

VII.03. *Adrian Ion Ciocodeiu,* **Comportarea panourilor „Sandwich" la acțiuni exterioare în cazul clădirilor ușoare** 224

PROCESE SPECIFICE COROZIUNII MATERIALELOR STRUCTURALE ALE REACTORULUI LFR

Dr. ing. Dumitra LUCAN[1,4], Prof. univ. dr. ing. Șerban Constantin VALECA[1,3,4,5], Prof. em. dr. ing. Gheorghița JINESCU[2,4], Ing. Lucian VELCIU[1]

[1]Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară Institutul de Cercetări Nucleare RATEN ICN, Pitești, România, [2]Universitatea Politehnica București UPB, București, România, [3]Universitatea din Pitești, Pitești, România, [4]Academia de Științe Tehnice din România ASTR, București, România, [5]Academia Oamenilor de Știinta din România

REZUMAT. După accidentul de la Fukushima, din martie 2011, a rezultat necesitatea stringentă de a se obține o energie nucleară cât mai sigură iar din acest punct de vedere consecința constă în intensificarea cercetării referitoare la reactoarele de Generație IV. Acestea au avantajul de a fi durabile, economice, fiabile și sigure reducând probabilitatea degradării miezului prin eliminarea oricărei necesități de intervenție de urgență în afara amplasamentului. Printre cele șase tipuri de reactoare, o mare importanță, la nivel european, o prezintă reactorul cu neutroni rapizi răcit cu plumb, (Lead Fast Reactor – LFR). Cel mai provocator aspect al tehnologiei pe bază de plumb îl reprezintă natura corozivă a acestui metal lichid care impune un control atent al conținutului de oxigen și folosirea unor materiale structurale având rezistență mare la coroziune. Coroziunea metalelor sau aliajelor utilizate la construcția unor echipamente care lucrează în prezența metalelor lichide se datorează, în mare parte, dizolvării diferiților constituenți ai metalelor sau aliajelor de către metalul lichid. Modul în care are loc dizolvarea produce diferite tipuri de atac începând cu un atac simplu și ajungându-se până la un atac intergranular intens cu eliminarea preferențială a unui element din compoziția aliajului. Scopul acestei lucrări este acela de a prezenta materialele structurale ale principalelor echipamente dintr-un reactor LFR și de a descrie procesele aferente degradării acestora. Lucrarea conține rezultate experimentale obținute în urma testării unor materiale structurale în prezența plumbului lichid. După testare, materialele au fost examinate vizual, prin microscopie optică și s-au făcut determinări ale microdurității. În cadrul lucrării sunt prezentate și direcții noi de cercetare care urmează să fie abordate în scopul cunoașterii detaliate a proceselor care au loc atunci când materialele vin în contact cu plumbul lichid.

Cuvinte cheie: materiale structurale, LFR, coroziune, sistem de control al concentrației de oxigen.

ABSTRACT. Following the Fukushima accident, in March 2011, there has been a strong need for a more safe nuclear power, and the consequence of this is the intensification of research on Generation IV reactors. These types of reactors have the advantages of being sustainable, economical, reliable and safe by reducing the probability of core degradation by eliminating any need for off-site emergency intervention. Among the six types of reactors of great importance, at European level, is the Lead Fast Reactor (LFR). The most challenging aspect of lead - based technology is the corrosive nature of this liquid metal that requires careful oxygen control and the use of structural materials with high corrosion resistance. The corrosion of metals or alloys used in the construction of equipment working in the presence of liquid metals is largely due to the dissolution of various constituents of metals or alloys by the liquid metal. The way in which dissolution occurs produces different types of attack from a simple attack and reaches an intense intergranular attack with the preferential removal of an alloy constituent. The purpose of this paper is to present the structural materials of the main equipment in an LFR reactor and to describe the processes related to their degradation. The paper contains the experimental results obtained by the exposure of structural materials in the presence of liquid lead. After testing, the materials were examined by visual examination, optical microscopy and microhardness determinations were made.The paper also presents new research directions to be dealt with in order to know in detail the processes that occur when materials come into contact with liquid lead.

Keywords: structural materials, LFR, corrosion, Oxygen Concentration System (OCS)

1. INTRODUCERE

Potențialul enorm al energiei nucleare, ca opțiune atractivă din punct de vedere al securității și al prevenirii schimbărilor climatice, este recunoscut de către fabricanți, industriași și experți tehnici. Prin urmare este de așteptat ca energia nucleară să joace un rol esențial în îndeplinirea cererilor crescute de energie din lumea întreagă.

Obiectivele adoptate de GIF (Generation IV International Forum) implică o activitate susținută pentru identificarea și selectarea a șase sisteme

energetice nucleare în vederea unei dezvoltări viitoare. Sistemele selectate se bazează pe o diversitate tehnologică de reactoare, modalități de conversie a energiei și cicluri combustibile închise sau deschise. Tipurile de reactoare cu neutroni termici sau cu neutroni rapizi, ciclurile de combustibil închise sau deschise precum și un domeniu larg de capacități ale reactoarelor de la foarte mici la foarte mari constituie tot atâtea direcții de cercetare.

Depinzând de gradul de maturitate tehnică a sistemelor de Generație IV este de așteptat ca acestea să fie disponibile comercial începând din anul 2030.

Toate sistemele de Generație IV au ca scop îmbunătățirea performanței, aplicații noi în energia nucleară și/sau abordări durabile ale managementului materialelor nucleare. Sistemele la temperatură înaltă oferă posibilitatea aplicării atât la procese energetice eficiente cât și (eventual) la producerea hidrogenului. Îmbunătățirea durabilității este realizată, în principal, prin adoptarea unui ciclu combustibil închis incluzând reprocesarea și reciclarea plutoniului, a uraniului și a actinidelor secundare în reactoare cu neutroni rapizi și, de asemenea, prin eficiența termică ridicată. Această abordare asigură o reducere semnificativă a cantității de deșeuri generate și a necesităților de resurse de uraniu.

Tabelul 1 prezintă principalele caracteristici ale sistemelor de Generație IV. În Fig.1 este prezentat schematic reactorul LFR, [1] ÷ [3].

Tabelul 1. **Sisteme de Generaţie IV – caracteristici principale** [2]

Sistem	Neutroni	Agent răcire	Temp (^oC)	Ciclu comb.	Capacitate(MW_e)
VHTR Very High Temperature Reactor Reactor la temp. foarte înaltă	termici	heliu	900-1000	deschis	250-300
SFR Sodium Coaled Fast Reactor Reactor rapid răcit cu heliu	rapizi	sodiu	550	închis	300-1500 1000-2000
SCWR Super-Critical Water Reactor Reactor cu apă super critic	termici/ rapizi	apă	510-625	deschis/ inchis	300-700 1000-1500
GFR Gas-coaled fast Reactor Reactor rapid răcit cu gaz	rapizi	heliu	850	închis	1200
GFR (Lead-coaled Fast Reactor) Reactor rapid răcit cu plumb	rapizi	plumb	480-800	închis	20-180 300-1200 600-1000
MSR (Molten Salt Reactor) Reactor cu săruri topite	rapizi/ termici	săruri ale F	700-800	închis	1000

Tabelul 2. **Compoziția chimică a materialelor candidate pentru LFR [3]**

Element	C	Si	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Nb	Mo
T91	0.1025	0.22	0.21	8.99	0.38	89.04	0.11	0.06	0.89
316L	0.0185	0.67	0.070	16.73	1.81	68.68	9.97	0.00	2.05
15-15 Ti	0.08	0.3	Ti=0.3	14.0	1.0	69.32	14.0	-	1.0

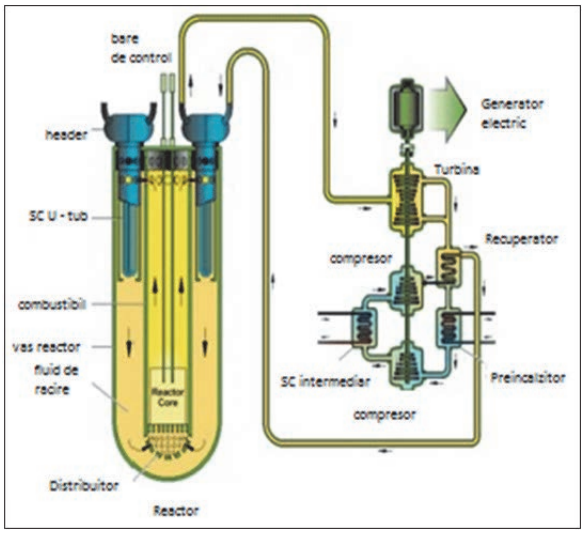


Fig.1. Reactor cu neutroni rapizi răcit cu plumb (LFR) [1]

Având în vedere intenția RATEN ICN de a găzdui reactorul demonstrativ ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor Demonstrator) s-au făcut pași importanți atât în plan organizatoric cât și în privința activității de cercetare. În ICN există un program de cercetare special dedicat acestui tip de reactoare iar o parte semnificativă a acestui program este dedicată studiului teoretic și experimental al materialelor de construcție a reactoarelor LFR.

Materiale structurale LFR. Dintre toate materialele cunoscute până în prezent, oțelul ferito - martensitic T91 și oțelurile inoxidabile austenitice (316L și 15-15 Ti) au fost selectate ca fiind principalele materiale structurale candidate pentru componentele unui reactor LFR, Tabelul2.

Comportarea la coroziune a materialelor LFR. Atacul coroziv al metalelor solide se poate clasifica în următoarele categorii:

1. dizolvarea simplă;
2. alierea dintre metalul lichid şi cel solid;
3. atacul intergranular;

4. reacţia cu impurităţile;
5. transferul de masă determinat de gradientul de temperatură;
6. transferul de masă determinat de gradientul de concentraţie sau de coexistenţa a două metale diferite în metalul lichid.

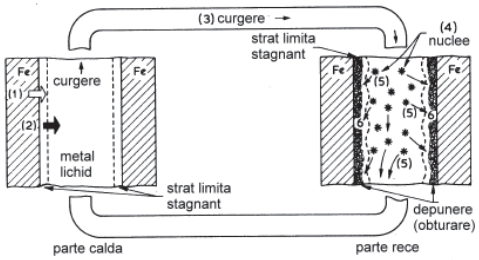
Coroziunea în metale lichide poate fi influenţată de numeroşi factori dintre care cei mai importanţi sunt:

- temperatura;
- gradientul de temperatură;
- modificarea ciclică a temperaturii;
- raportul dintre aria suprafeţei şi volum;
- puritatea metalului lichid;
- viteza de curgere sau criteriul Reynolds;
- starea suprafeţei materialului structural al echipamentului de proces;
- numărul materialelor structurale aflate în contact cu acelaşi metal lichid;
- proprietăţile materialului structural cum ar fi, de exemplu: prezenţa precipitatelor la limita de grăunte, prezenţa unei faze secundare, gradul de tensionare al materialului şi mărimea de grăunte.

Temperatura este unul din cei mai importanţi factori datorită faptului că o temperatură mai mare atrage după sine o solubilitate mai crescută a materialului metalic solid în metalul lichid.

De asemenea, dacă temperatura creşte, viteza de difuzie creşte, fapt deosebit de important în numeroase tipuri de coroziune care au loc în metalele lichide.

Când există un ***gradient de temperatură*** într-un sistem care implică prezenţa metalului lichid, diferenţa de solubilitate a metalului dizolvat în metalul lichid, între partea rece şi cea caldă a sistemului, determină transferul de masă, Fig.2.



1. Dizolvare
2. Nucleere
3. Difuzie
4. Transportulul cristalitelor
5. Transportul metalului dizolvat
6. Cresterea cristalelor si sinterizarea (formarea depunerilor care pot obtura sectiunea de curgere)

Fig.2 Influenţa gradientului termic asupra de transferului de masă [1]

Modificarea ciclică a temperaturii reprezintă un factor util în explicarea rezultatelor eronate obţinute la testele de coroziune în regim static când, deşi condiţiile de testare sunt izoterme, într-o incintă cu un control neriguros al temperaturii, aceasta poate fluctua apreciabil în jurul unei valori medii. Astfel, la temperatură ridicată, materialul solid trece în soluţia metalică (metalul lichid) şi ulterior, când temperatura scade, părăsesc metalul lichid şi precipită în interiorul acestuia sau formează dentrite ori formează un strat uniform pe suprafaţa materialului structural.

De exemplu, viteza de coroziune pentru sistemul Cu-Bi la $500^oC \pm 5^oC$ este de câteva ori mai mare decât cea la temperatura $500^oC \pm 0,5^oC$.

Raportul dintre aria suprafeţei materialului şi volumul metalului lichid constituie un factor de control al intensităţii coroziunii în condiţii statice întrucât metalul se va coroda până când va satura metalul topit aflat la temperatura de operare, de aceea, dacă raportul suprafaţă/volum scade, viteza de coroziune va creşte.

Puritatea metalului lichid poate influenţa viteza de atingere a limitei de solubilitate şi poate afecta semnificativ tendinţa de umectare a materialului metalic solid de către metalul lichid.

Viteza de curgere (criteriul Reynolds), constituie un parametru important doar în buclele cu circulaţie forţată asigurată de pompe în care are loc o scădere a grosimii stratului limită laminar atât în partea caldă cât şi în cea rece a instalaţiei atunci când viteza de curgere are valori mari. Astfel, când atomii metalului se deplasează din partea caldă spre cea rece, lungimea de difuzie este mai mică între aceste două regiuni.

Starea suprafeţei nu este o variabilă atât de importantă ca filmele formate pe suprafaţa acestora. După ce este atins echilibrul între metalul lichid şi cel solid, starea suprafeţei nu mai prezintă importanţă, efectul ei principal fiind acela de a schimba viteza de saturare a metalului. Cu cât este mai mare aria suprafeţei expuse, cu atât mai rapid se saturează lichidul metalic.

Când două sau mai multe metale solide sunt în contact, fenomenul de transfer între metale diferite, sau transferul de masă datorat gradientului de concentraţie ar trebui să fie luat în consideraţie chiar dacă temperatura este constantă. Într-un sistem multicomponent, sau multifazic, echilibrul se atinge numai atunci când potenţialul chimic al fiecărui component în oricare dintre faze este egal cu potenţialul său chimic în oricare dintre celelalte faze. O redistribuţie a componenţilor între fazele sistemului va avea loc până când va fi atinsă egalitatea potenţialelor chimice.

Astfel, forţa motrice a acestor procese va exista până la egalizarea potenţialelor chimice ceea ce are ca rezultat scăderea energiei libere a sistemului.

Starea materialului, cum ar fi mărimea de grăunte şi alte variabile, trebuie să fie luată în consideraţie din cauza proprietăţilor diferite de umectare a grăunţilor individuali şi a limitelor de grăunte. O reţea continuă de carburi sau de oxizi la limita de grăunte poate să crească semnificativ coroziunea.

În toate testele de coroziune, în metale lichide, aceste variabile trebuie să fie avute în vedere şi controlate pentru a obţine informaţii folositoare în înţelegerea completă a compatibilităţii materialelor structurale cu metalele solide, în diferite procese.

Referitor la coroziunea materialelor solide expuse în metale lichide se poate spune că acest proces a fost observat încă de la începutul prelucrării metalelor când

s-a impus manipularea şi stocarea metalelor topite. Studii ale acestui fenomen sunt necesare atunci când metalele lichide sunt utilizate în domenii care impun anumite proprietăţi fizice şi chimice ale acestora.

Metalele lichide pot fi utilizate ca agenţi reducători în procesele de obţinere a metalelor şi datorită excelentelor proprietăţi de transfer termic acestea se au în vedere pentru a fi utilizate ca agenţi de răcire în diferite sisteme de producere a energiei.

Procese care au loc la interfaţa aliaj/metal lichid. Coroziunea în metale lichide se manifestă în diferite moduri. În cazul cel mai general, pentru a clasifica fenomenele de coroziune relevante, se utilizează următoarele procese:

- dizolvarea;
- impurităţile şi reacţiile interstiţiale;
- alierea;
- reducerea compuşilor.

Toate aceste reacţii presupun umectarea materialului structural de către metalul lichid. Acest fenomen poate constitui o problemă inerentă în majoritatea sistemelor sau în cazurile în care un material solid, care în mod normal ar putea fi umectat de metalul lichid, are pe suprafaţă un strat care împiedică umectarea.

Dizolvarea. Cea mai simplă reacţie de coroziune care poate avea loc într-un metal aflat în stare lichidă este dizolvarea (directă) selectivă. Această dizolvare constă în îndepărtarea atomilor din materialul metalic din care este construit echipamentul şi transferul acestora în metalul lichid (topitură) în absenţa efectelor oricărei impurităţi. O astfel de reacţie este un proces simplu care are loc în soluţie şi din acest motiv este determinată de solubilităţile elementului în metalul lichid şi de cinetica etapei care controlează viteza reacţiei de dizolvare.

Fluxul masic net, J, la care un anumit element intră în metalul lichid, poate fi descris astfel:

$$J = k\,(Co-C) \qquad \text{(Ec. 1)}$$

J – fluxul masic care descrie scăderea concentraţiei unui element, cauzată de dizolvare;

Co – solubilitatea elementului în metalul lichid;

C – concentraţia reală a elementului în masa lichidului;

k – constantă care caracterizează transferul de masă în soluţie (în metalul lichid).

Transferul impurităţilor si al elementelor de aliere. Acest proces se manifestă ca un transfer net al elementelor de aliere sau impurităţilor către, de la sau prin metalul lichid. Deşi, compuşii se pot forma sau dizolva ca urmare a acestui transfer, atomii de metal lichid nu iau parte la formarea produşilor stabili prin reacţie cu elementele constituente ale materialelor de constructie ale echipamentelor.

Din punct de vedere termodinamic, forţa motoare care determină transferul unui element între materialul structural (solid) şi metalele lichide se exprimă, de obicei, prin intermediul coeficientului de distribuţie (partiţie). Acest coeficient de distribuţie se defineşte ca fiind raportul dintre concentraţia la echilibru a unui element (cum ar fi oxigenul, azotul, carbonul sau hidrogenul) în metalul solid sau aliaj şi concentraţia aceluiaşi element în metalul lichid. Aceşti coeficienţi pot fi calculaţi din energiile libere de formare cunoscute sau estimate sau din activităţile bazate pe echilibrul între specii în faza solidă şi în faza lichidă.

Alierea. Reacţiile dintre atomii metalului lichid şi cele care compun materialul structural pot conduce la formarea unui produs stabil în solid, fără participarea impurităţilor sau a elementelor de aliere.

$$xM + yL = MxLy$$

Aceasta nu este o formă obişnuită a coroziunii în metalele lichide, în special în topiturile metalelor alcaline, însă ea poate avea consecinţe dramatice dacă nu este bine înţeleasă sau anticipată.

Reacţiile de aliere pot fi totuşi folosite pentru a inhiba coroziunea prin adăugarea în metalul lichid a unui element care, prin reacţie, va forma pe suprafaţa oţelului un strat rezistent la coroziune (inhibitori de coroziune).

Un exemplu constă în adăugarea de aluminiu în topitura de litiu care vine în contact cu un metal.

Astfel, pe suprafaţa oţelului se va forma un strat mai rezistent la dizolvare (aluminizat) şi în felul acesta se reduce coroziunea.

Reducerea unor constituenţi ai oţelurilor. Atacul materialelor metalice expuse în metale lichide poate avea loc din cauza reducerii elementelor de către topitură. În situaţia când există o agresivitate foarte ridicată, cum ar fi, de exemplu, când majoritatea oxizilor sunt expuşi în plumb topit, rezultatul efectiv al acestei expuneri constă în pierderea integrităţii structurale prin reducerea şi îndepărtarea elementelor nemetalice din solid. Tendinţa de a fi posibilă o astfel de reacţie, în aceste condiţii poate fi estimată cantitativ prin luarea în consideraţie a energiei libere de formare a oxidului solid în comparaţie cu stabilitatea oxigen/oxid în metalul lichid. Consideraţii similare sunt valabile în cazul evaluării reacţiilor posibile dintre alţi compuşi nemetalici (nitruri, carburi şi altele) şi metalele lichide.

Controlul oxigenului. Când concentraţia oxigenului în faza metalică lichidă este foarte scăzută, degradarea materialului se produce, în principal, prin dizolvarea constituenţilor oţelului. Această degradare se poate micşora apreciabil atunci când pe suprafaţa oţelurilor se formează un strat de oxizi cu proprietăţi protectoare. În vederea înlesnirii formării unui astfel de strat, concentraţia oxigenului dizolvat în metalul lichid trebuie să fie riguros controlată, [4] ÷ [63].

În Fig.3 este prezentată diagrama Ellingham care reprezintă un instrument util pentru estimarea concentraţiei optime a oxigenului în plumbul lichid astfel încât să fie evitate fenomenele nedorite la contactul dintre materialele structurale şi plumbul lichid. Această diagramă prezintă dependenţa stabilităţii termodinamice a oxizilor elementelor constituente ale oţelului/aliajului de temperatură şi de concentratia oxigenului dizolvat în plumbul lichid.

Oxigenul este consumat în mod constant pentru formarea oxizilor pe suprafaţa oţelului, de aceea concentraţia oxigenului în metalul lichid trebuie să fie

controlată cu ajutorul senzorilor adecvaţi şi insoţită de folosirea unei metode de adăugare a oxigenului în metalul lichid.

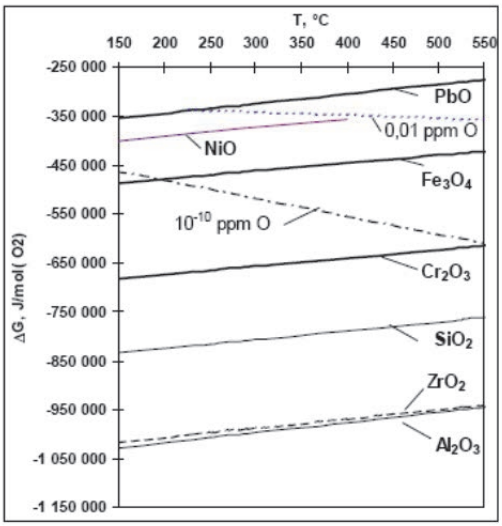


Fig.3 Diagrama Ellingham pentru plumb topit [1].

Diminuarea coroziunii oţelurilor prin adăugarea de oxigen este aplicabilă doar în cazul în care cel puţin unul din elementele componente ale oţelului este mai puţin nobil decât componenţii metalului lichid şi concentraţia elementelor mai puţin nobile din oţel trebuie să fie suficient de mare pentru a forma un strat de oxizi continuu și compact pe suprafața oţelului.

2. EXPERIMENTE

Au fost testate la coroziune, în plumb lichid, la temperatura de 450^0C, timp de 48 ore, oţelul inox 316L şi oţelul ferito – martensitic T91. Examinarea post – testare s-a facut vizual, prin microscopie optică şi prin determinări de microduritate. Timpul de testare fiind scurt nu a necesitat controlul oxigenului. Acest tip de experimente prezintă un interes deosebit întrucât este pentru prima dată cînd se fac în ICN.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

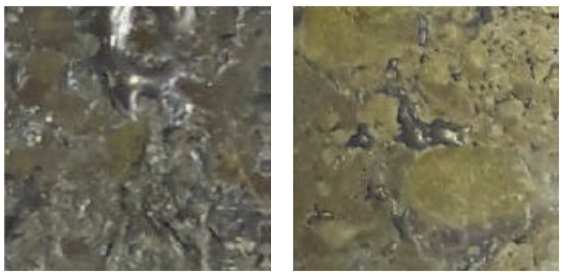
Probele au fost extrase din plumbul lichid și lăsate în aer. După răcire, plumbul s-a solidificat pe suprafața probelor și nu a fost îndepărtat, [64].

3.1 . Examinarea vizuală

În Fig.4 se observă aspectul suprafeței probelor care au fost menținute în plumb lichid timp de 48 de ore.

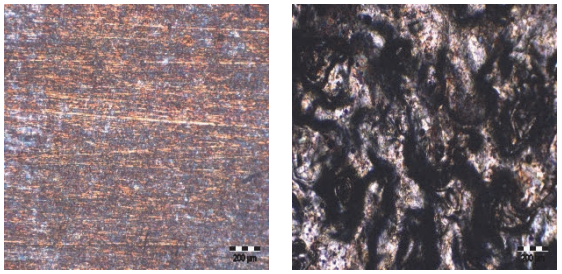
3.2. Microscopia optică

Morfologia suprafeței probelor de 316L și T91 este prezentată în Fig.5 a), respectiv Fig.5 b). Se observă că pe suprafața materialului T91 s-a depus un strat mai consistent de plumb fapt ce poate fi explicat prin proprietățile diferite de umectare a suprafeței celor două materiale.



a) b)

Fig.4. Oțel inox 316L – imaginea unor probe testate în Pb

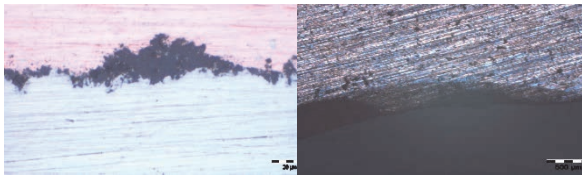


a) b)

Fig. 5. Morfologia oțelului inox 316L (a) și T91 (b) testate în Pb.

Grosimea stratului de plumb rezidual

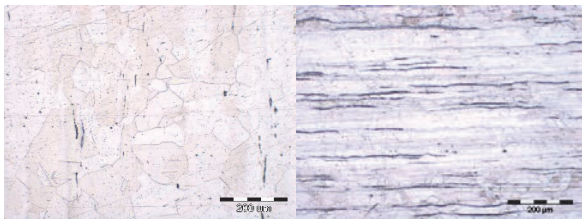
Pentru 316L stratul de plumb rezidual este neuniform având o grosime de la 0 la circa 24 µm, Fig. 6 a). Pentru T91, stratul de plumb rezidual este neuniform și are grosimea de la 0 la circa 580 µm, Fig. 6 b).



a) b)

Fig.6 Oțel inox 316L (a) și T91 (b)

Structura oțelului inox 316L. Pentru evidențierea structurii probele au fost atacate electrolitic cu soluţie 10% acid oxalic, 6V, 45-65 sec. Pe probele de 316L în stare de livrare s-a evidențiat prezența austenitei cu grăunţi echiacşi şi a precipitatelor de carburi, Fig.7 a). Structura probelor de 316L testate în plumb constă din austenită şi carburi orientate în direcţia de deformare, linii de deformare cauzate de aplicarea unei tensiuni asupra probelor expuse în plumb lichid, Fig.7 b) .

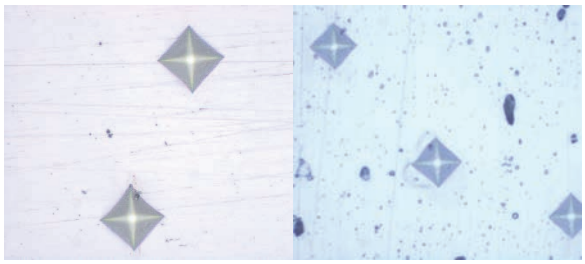


a) b)

Fig.7. Structura oțelului inox 316L stare de livrare (a) și testat în plumb (b).

3.3. Determinări ale microdurității

Pentru proba în stare de livrare, microduritatea Vickers medie MHV0.1 are valoarea 188 kgf/mm^2, Fig.8 a).



a) b)

Fig. 8. Microduritatea Vickers pentru 316L în stare de livrare (a) și 316L testat în Pb la 450^{0}C (b).

Pentru proba testată în Pb microduritatea Vickers are valoarea 291kgf/mm^2, Fig.8 b). Se observă o creștere a microdurității în cazul probei testate în Pb fapt ce poate fi explicat atât prin acțiunea temperaturii cât și a tensiunii aplicate probei.

Direcţii de cercetare în domeniul coroziunii materialelor structurale LFR:

- Determinarea vitezelor de coroziune posibile în funcție de:
  - temperatură;
  - viteza de curgere a metalului lichid;
  - concentraţia oxigenului dizolvat în plumbul lichid;
  - alți parametri atat pentru materialele ferito-martensitice cât și pentru cele austenitice.
- Îmbunătățirea și/sau punerea la punct a unor tehnici/metode de diminuare a contaminării agentului de răcire (plumb lichid) cum ar fi:
  - senzori performanți pentru măsurarea concentrației oxigenului;
  - sisteme de control al oxigenului;
  - filtre specializate pentru purificarea metalelor lichide.
- Elaborarea de materiale noi având rezistența mare la coroziune la temperaturi ridicate pentru atingerea unei eficienţe termice şi electrice sporite şi alte aplicaţii (obţinerea hidrogenului).
- Investigarea degradării proprietăților mecanice.
- Testarea acoperirilor superficiale.
- Determinarea degradării rezistenţei la coroziune a materialelor structurale cauzată de iradiere.

3. CONCLUZII

- Reactoarele nucleare de Generație IV prezintă avantaje care le fac competitive pe piața energiei în perioada care urmează.
- Unul dintre tipurile de reactoare de Generație IV care are șanse considerabile să fie realizat în timp relativ scurt este reactorul LFR fiind precedat de realizarea reactorului demonstrativ ALFRED.
- Cel mai provocator aspect al tehnologiei pe bază de plumb îl reprezintă natura corozivă a acestui metal lichid care impune un control atent al conținutului de oxigen și folosirea unor materiale structurale având rezistență mare la coroziune. Realizarea acestui tip de reactor depinde în măsură covârșitoare de soluționarea problemelor referitoare la materialele de construcție.
- Principalele materiale care pot fi utilizate la echipamentele LFR pot fi clasificate astfel:
  - oţeluri inoxidabile austenitice care sunt rezistente la temperaturile ridicate de funcționare specifice LFR;
  - oţelurile ferito-martensitice;
  - oţelurile ferito-martensitice performante tratate termo-mecanic pentru a determina înlăturarea sensibilităţii acestora referitoare la fragilizare;
  - aliajele ODS pot constitui o alternativă pentru materialele structurale LFR însă în viitorul apropiat elaborarea acestora nu este foarte promiţătoare. În plus, aceste materiale constituie o soluţie mult prea costisitoare pentru unele echipamente LFR. Punerea la punct a acestor materiale ar fi benefică pentru componente mai importante ale circuitului primar al reactoarelor LFR;
  - materiale ceramice şi aliaje refractare.
- Până în prezent cele mai promiţătoare materiale sunt: oțelul austenitic 316L, oțelul ferito – martensitic T91 și oțelul austenitic 15 – 15 Ti.
- Procesele specifice coroziunii materialelor structurale care vin în contact cu plumbul lichid sunt următoarele:
  - dizolvare simplă;
  - alierea dintre metalul lichid şi cel solid;
  - atacul intergranular;
  - reacţia cu impurităţile;
  - transferul de masă determinat de gradientul de temperatură;
  - transferul de masă determinat de gradientul de concentraţie sau de coexistenţa a două metale diferite în metalul lichid.
- Coroziunea în metale lichide poate fi influenţată de numeroşi factori dintre care cei mai importanţi sunt:
  - ✓ raportul dintre aria suprafeţei materialului structural şi volumul metalului lichid;
  - ✓ puritatea metalului lichid;
  - ✓ viteza de curgere sau criteriul Reynolds;
  - ✓ starea suprafeţei materialului structural al echipamentului de proces;

✓ numărul materialelor structurale aflate în contact cu același metal lichid;

✓ proprietățile materialului structural cum ar fi, de exemplu: prezența precipitatelor la limita de grăunte, prezența unei faze secundare, gradul de tensionare al materialului și mărimea de grăunte.

➢ Au fost testate la coroziune, în plumb lichid, la temperatura de 450^0C, timp de 48 ore, oțelul austenitic 316L și oțelul ferito – martensitic T91.

➢ Nu a fost necesar controlul oxigenului în plumbul lichid întrucât timpul de expunere a fost scurt iar raportul dintre volumul de plumb lichid și suprafața probelor expuse a avut o valoare ridicată.

➢ După testare probele au fost inspectate vizual, analizate prin microscopie optică și a fost determinată microduritatea acestora.

➢ Prin microscopie optică au fost puse în evidență: morfologia, grosimea stratului de depunere și microstructura materialelor testate.

➢ Grosimea stratului de Pb a avut valori cuprinse în intervalul 0 ÷ 24μm pentru oțelul 316L și 0 ÷ 580μm pentru T91.

➢ Microduritatea Vickers medie MHV0.1 a avut valoarea 188kgf/mm^2 pentru 316L în stare de livrare și 291kgf/mm^2 pentru 316L testat în plumb lichid.

BIBLIOGRAFIE

[1] *** Handbook on Lead – Bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal – Hydraulics and Technologies, OECD/NEA Nuclear Science, 2007.

[2] T. Abram, S. Ion, Generation IV Nuclear Power, International Atomic Energy Agency Standing Advisory Group for Nuclear Energy.

[3] *** Materials for Generation IV Reactors, Argonne National Laboratory, Advanced Nuclear Materials R&D, www.cmt.anl.gov/nuclear -materials/.

[4] D. Wilson, Advanced Materials for DOE's Gen IV Reactor Program: Heat Exchangers, "High Temperature Exchanger Meeting" Selection Criteria for the High Temperature Reactor, Las Vegas, USA, October 24, 2003.

[5] S. J. Dewson, X. Li, Intermediate Heat Exchangers, Proceedings of ICAPP 05, Seoul, Korea, May 15 – 19, 2005.

[6] X. Li, R. Le Pierres and S. J. Dewson, Heat Exchangers for the Next Generation of Nuclear Reactors, Proceedings of ICAPP 06, Reno, NV USA, June 04 – 08, 2006.

[7] I. Franke, R. Kral, E. Wittchow, Steam Generators for the Next Generation of Power Plants Aspects of Design and Operating Performance, article first appeared in VGB Power Tech 12/1999.

[8] W. Corwin, T. Burchell, GEN IV – Nuclear Energy Systems, ORNl/TM-2003/244/R2, December 31, 2005.

[9] W. R. Corwin, T. D. Burchell, W. Ren, G. S. Was, N. M. Ghoniem, T. L. Sham, D. F. Wilson, Generation IV Reactors Integrated Materials Technology Program Plan: Focus on Very High Temperature Reactor Materials, ORNL/TM-2008/129, 2008.

[10] A., Hechanova, High Temperature Heat Exchanger Development, UNLV Research Foundation, May 2005.

[11] W. Van Hove, SuperCritical Light Water Reactor (SCLWR) with Intermediate Heat Exchanger (IHX), Cd-Rom, SCK - CEN Tractebel Engineering, Division of Suez-Tractebel SA, Arianelaan 7, B-1200 Brussel, Belgium August 21–26, 2005.

[12] S. Fazluddin, K. Smit, J. Slabbe, The Use of Advanced Materials in VHTR's, 2nd International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology Beijing, China, September 22-24, 2004.

[13] M. Corradini, Rohsenow Symposium on Future Trends in Heat TransferAdvanced Nuclear Energy Systems: Heat Transfer Issues and Trends, May 16th, MIT, SUA, 2003.

[14] F. Carré, C. Renault, Equipment during Fabrication and Service: Safety, Competitiveness, Innovation New Requirements and R&D Needs for Future Nuclear Reactors, ESOPE 2007, European Symposium on Pressure Equipment, Paris – October 9-11, 2007.

[15] C. Cabet, A. Terlain, P. Lett, D. Gauvain, L. Guétaz, J. M. Gentzbittel, R. Couturier, Corrosion Resistance of High Corrosion Resistance of High Ttemperature Structural Materials for Application in Gas Cooled Reactors DEN/DPC/SCCME CEASaclay DRT/LITEN/ DTEN CEA Grenoble, December 7 – 9, 2004.

[16] T. Williams, Development of Advanced High Temperature Heat Exchangers, U.S. Department of Energy, Science & Technology from University of Nevada, Office of Nuclear Energy, 2003.

[17] K. Natesan, A. Moisseytsev, S. Majumdar, P. S. Shankar, Preliminary Issues Associated with the Next Generation Nuclear Plant Intermediate Heat Exchanger Design, ANL/EXT-06/46, Nuclear Engineering Division, Argonne National Laboratory, U.S. Department of Energy, Office of Nuclear Energy, Science, and Technology, September 2006.

[18] W., Van Hove, R. Beauwens, M. Giot, Supercritical Light Water Reactor (SCLWR) with Intermediate Heat Exchanger (IHX), 12th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES'2005)

[19] N. Kisohara, M. Konomura, Y. Nishiguchi, "Innovative Sodium/Water Reaction Mitigation System for a Large-Sized Steam Generator of Fast Breeder Reactor" Proceedings of ICAPP'03 Córdoba, Spain, May 4-7, 2003.

[20] L. Cinotti, M. Bruzzone, N. Meda, G. Corsini, "Steam Generator of the International Reactor Innovative and Secure", Proceedings of ICONE 10, 10th International Conference on Nuclear Engineering Arlington, VA, April 14-18, 2002.

[21] ***Generation IV Water-Cooled Reactor Concepts – Technical Working Group 1 – Advanced Water-Cooled Reactors – Generation IV Roadmap Session ANS Winter Meeting Reno, NV, november 13, 2001 (http://nuclear.gov).

[22] C. E. Boardman "S-PRISM's Advanced Steam Generator Leak Protection System", Proceedings of ICAPP'03 Cordoba, Spain, May 4-7, 2003.

[23] S. J. Dewson, B. Thonon, The Development of High Efficiency Heat Exchangers for Helium Gas Cooled Reactors".

[24] E. Breuil AREVA NP, G. Francois AREVA NP, Patrice Tochon CEA "Development of the Intermediate Heat Exchanger (IHX) for Antares", Proceedings of ICAPP'06 Reno, NV USA, June 4-8, 2006.

[25] Jacques Bouchard, "The GEN IV Roadmap: The Way Towards Sustainable Development of Nuclear Energy", International Energy Agency Workshop on Energy Technology Roadmaps, Paris, May 15-16, 2008.

[26] K. Ehrlich, J.Konys, L.Heikinheimo, "Materials for High performance Light Water Reactors", Proceedings of ICAPP'03 Córdoba, Spain, May 4-7, 2003.

[27] W. R. Corwin, „U.S. Generation IV Reactor Integrated Materials Technology Program", Oak Ridge National Laboratory U.S.A., August 18, 2006.

[28] D. Matzner, W. Kriel, M. Correia, "Cycle Configurations for a PBMR Steam and Electricity Production Plant", Proceedings of ICAPP'06 Reno, NV USA, June 4-8, 2006.
[29] Tarantino, M., Rozzia, D., Cinotti, L., Lead-cooled Fast Reactor (LFR) Development Gaps, Technical Meeting on Identify Innovative Fast Neutron Systems Development Gaps , Italy.
[30] Gavoille, P., Courcelle, A., Seran, J., l., Averty, X., Bourdiliau, B., Provitina, O., Garat, V., Verwaerde, D., Mechanical Properties of Cladding and Wrapper Materials for the Astrid Fast-Reactor Project, FR 13 IAEA International Conference, France, 2013.
[31] Lee Ho, S., Yung Song, T., Kinetics of Gas Phase Oxygen Control System and Oxygen Concentration Measurement in Liquid Pb and LBE, J.Ind.Eng.Chem, no.4, p.602-607, Korea, 2007.
[32] Kishimoto, A., Wada, A., Michimoto, T., Furukawa, T., Aoto, K., Oishi, T., Solubility and Activity of Oxygen in Pb-Bi Melts, Materials Transactions, no.1, p.122 si 128, Japan, 2006.
[33] Cinotti, L., Key Topics for LFR Develipment, ADRIANA Workshop, Bologna, Italy, 2010.
[34] Perlado, J., M., Alonso, E., Fernandez, R., Garcia, J., Martinez-Val, M., Minguez, E., Neutron Damage of Some Refractory, Corrosion Resistant Candidate Materials, Emerging Energy Technologies - CERN, Geneve.
[35] Allen, T., Advanced Computational Materials Science: Application to Fusion and Generation-IV Fission Reactors, Generation IV Systems and Materials, Madison , 2004.
[36] Zinkle, S., J., Radiation Embrittlement Database for High Temperature Refractory Alloys, Metals & Ceramics Division, Oak Ridge Bational Lab, 1999.
[37] Smit, C., F., Cinotti, L., Sekimoto, H., Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) Ongoing R&D and Key Issues, Symposium , Paris-France, 2009.
[38] Schuurmans, P., SCK.CEN , Key Topics for LFR R&D Support,
[39] Gomez Briceno, D., Materials Corrosion in Heavy Liquid Metals Systems, Post-FISA Workshop 2, Luxembourg, 2006.
[40] Van Goethem, G., Manolatos, P., Hugon, M., Bhatnagar, V., Casalta, S., Deffrennes, M., EU research and Training in Reactor Systems , European Commission Euratom Framework Programme 2002-2006 key Action Nuclear Fission, 2006.
[41] Buckthorpe, D., Davies, M., Ali, J., Lejeail, Y., Hegeman, J., Vreeling, A., Gelineau, O., Hurst, R., Moormann, R., Orden, A., Friedrich, B., C., Blatt, M., Marek, M., Chen, J., Klotz, C., Homerin, P., Hall, G., Material Challenges of the new Advanced Gas Cooled Systems, 20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT 20), p. 2038, Finlanda, 2009.
[42] Penttila, S., Toivonen, A., Heikinheimo, L., Generation IV Material Issues - Case SCWR, 20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT 20), p. 3143, Finlanda, 2009.
[43] Kyrki-Rajamaki, R., Salomaa, R., Vanttola, T., Suikkanen, H., Viitanen, T., Penttila, S., Kangas, P., The Finnish Sustainable Energy (SusEn) Project on New Type Nuclear Reactors (NETNUC), 20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT 20), p. 3163, Finlanda, 2009.
[44] Gladinez, K., Rosseel, K., Lim, J., Marino, A., Heynderickx, G., Aerts, A.,Nucleation and Growth of Lead Oxide Particles in Liquid Lead-Bismuth Eutectic, Physical Chemistry Chemical Physics, 2017.
[45] Wu, X., Sivaraman, R., Li, N., Hang, W., Darling, T., W., Jiang, Y., Yim, W., Fu, B., Calibration of Ysz Sensors for the Measurement of Oxygen Concentraction in Liquid Pb-Bi Eutectic, Nevada, Las Vegas.
[46] Zhang, J., Oxygen control technology in Applications of Liquid Lead and Lead-Bismuth Systems for Mitigating Materials Corrosion, Journal Applied Electrochemistry, no.8, 2013.
[47] Wu, X., Ma, J., Jiang, Y., Fu, B., Hang, W., Zhang, J., Li, N., Instrumentation of YSZ Oxygen Sensor Calibration in Liquid Lead-Bismuth Eutectic, Internal Report, IEEE, USA, 2005.
[48] Craig, F.S., Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) - GEN IV , 2017.
[49] Mansani, L., Design of Nuclear Power Plants Primary System, Ansaldo Nucleare - Madrid, Spain, 2012.
[50] Schroer, C., Konys, J., Physical Chemistry of Corrosion and Oxigen Control in Liquid Lead and Lead-Bismuth Eutectic, Institut fur Materialforschung Programm Nukleare Sicherheitsforschung, 2007.
[51] Negrini, A., Alemberti, A., Petre, G., Generation IV Reactor Concepts and Structural Materials Challenges with Special Focus on Corrosion, Ansaldo Nucleare Genova, Italia.
[52] Li, N., Zhang, J., S., Yu, H., D., Jansen, J., Model-Based Analysis of Corrosion test Results and Extraction of Long-Term Corrosion Rates, Gen.IV LFR, Lead Coolant Testing, Los Alamos, 2006.
[53] Moosa, A., Oxidation and Corrosion Mechanism of Steel Alloys and Inconel 600 Alloy in Liquid-Lead-Bismuth Eutectic, Eng.& Tech., no.11, 2008
[54] Kondo, M., Takahashi, M., Sawada, N., Hata, K., Corrosion of Steels in Lead-Bismuth Flow, 2005.
[55] Zhang, J., Corrosion by Liquid Lead and Lead - Bismuth: Experimental Results Review and Analysis, Los Alamos, USA, 2014.
[56] Li, N., Shaw, D., Snodgrass, L., Woloshun, K., Liquid Lead-Bismuth Materials Test Loop, Los Alamos, USA, 2012.
[57] Laverde, D., Gomex-Acebo, T., Castro, F., Continuous and Cyclic Oxidation of T91 Ferritic Steel Under Steam, Corrosion Science, no.46, p.613-631, 2004.
[58] Hojna, A., Gabriele, F., D., Klecka, J., Character of Liquid metal Embrittlement of the Steel T91 in Contact With Lead-Bismuth Eutectic, International Conference on Nuclear Engineering ICONE22, Praga, 2014.
[59] Damiani, L., Montecucco, M., Prato, A., P., Conceptual Design of a Bayonet-Tube Steam generator for the ALFRED Lead-Cooled Reactor, Nuclear Engineering and Design. Genoa, Italy, 2013.
[60] Garcia, M., S., Overview on Clad and Structure Materials for Fast Reactor Systems, CIEMAT, Germany, 2011.
[61] Totemeier, T., C., Ren, W., Procurement and Initial Characterization of Alloy 230 and CMS Alloy 617, INL , 2006.
[62] Chien, F., R., Brown, R., Cyclic Oxidation of Haynes 230 Alloy., Journal of Materials Science, USA, 1992.
[63] Grasso, G., Petrovich, C., Mattioli, D., Artioli, C., Sciora, P., Gugiu, D., Bandini, G., The Core Design of ALFRED, a Demonstrator for the European Lead-Cooled Reactors, Nuclear Engineering and Design, no.278, p.287-301, Italy, 2014.
[64] Petrescu D., Velciu L., „Chemical Cleaning of Solidified Lead from 316 Austenitic Steel a Structure Candidate Material for Lead-Cooled Fast Reactors", WEC Central & Eastern Europe Regional Energy Forum – FOREN 2018, Costinești, Romania, 10-14 June 2018.

REZISTENŢA LA OXIDARE A SUPERALIAJELOR CU BAZĂ DE NICHEL

M. COJOCARU [1,2]; L.N. DRUGĂ[2]; F. TUDOSE[1]

[1]Univ.Politehnica din Bucureşti; [2] Academia de Stiinte Tehnice din Romania

REZUMAT. In lucrare este abordată problema rezistenţei la oxidare a matricilor de nichel şi-n special a superaliajelor cu bază de nichel alitate in medii solide pulverulente ,sau protejate cu straturi depuse prin electroeroziune şi transfer polar,in domeniul temperaturilor ridicate (800÷1000^{o}C),in stadiile iniţiale ale procesului (1÷6ore). Adoptând drept indicator al vitezei de oxidare variaţia indicelui gravimetric , Δm/S.t, s-a constatat că se inregistrează o diminuare a rezistenţei la oxidare a acestor categorii de matrici procesate termochimic in medii solide pulverulente, fenomen determinat in special de prezenţa aderenţelor pe suprafaţa acestora; prin indepărtarea aderenţelor se inregistrează o creştere considerabilă a rezistenţei la oxidare .Au fost explicitate ecuaţiile care descriu cinetica oxidării matricilor de nichel şi a superaliajelor cu bază de nichel alitate in medii solide pulverulente şi s-a constatat că acestea sunt logaritmice in cazul in care suprafeţele sunt nelepuite (cu aderenţe),respectiv liniare,cu pante uşor negative, in cazul in care sunt lepuite (aderenţele indepărtate). Testele privind posibilitatea creşterii rezistenţei la oxidare in domeniul temperaturilor ridicate prin generarea unor straturi de tip „sandwich" ,constând dintr-o succesiune de depuneri prin electroeroziune şi transfer polar de aliaje de tip compozit aluminiu-aluminide, alternând cu straturi de aluminiu şi/sau nichel,au condus la concluzia că acestea asigură o majorare a rezistenţei la oxidare a matricilor cu bază de nichel, cu condiţia ca aceste straturi să fie uniforme şi continue.

Cuvinte cheie: rezistenta la oxidare; nichel; superaliaje cu baza de nichel; alitare; depunere prin electroeroziune si transfer polar

ABSTRACT. The paper deals with the problem of oxidation resistance of nickel matrices and especially superalloys with nickel base aluminizing in powdery solid media, or protected with layers deposited by electroerosion and polar transfer, in the high temperature range (800 ÷ 1000^{o}C), in the initial stages of the process (1 ÷ 6h). By adopting the variation of the gravimetric index, Δm / S.t, as an indicator of oxidation velocity, it was found that there was a decrease in the oxidation resistance of these thermochemically processed matrices in powdery solid media, phenomenon determined in particular by the presence of adhesions on their surface; by removing the adhesions there is a considerable increase in the resistance to oxidation. The equations describing the kinetics of nickel matrix oxidation and superalloys with nickel base, aluminizing in powdery solid media were explained, and it has been found that these are logarithmic if the surfaces are not polished (with adhesions), respectively linear, with slightly negative slopes, if they are polished (the adhesions are removed). Tests on the possibility of increasing oxidation resistance in the high temperature range by generating "sandwich" layers consisting of a succession of deposition by electroerosion and polar transfer of aluminum-aluminide composite alloys, alternating with of aluminum and / or nickel layers, have led to the conclusion that they provide an increase in the oxidation resistance of the nickel-based matrices provided these layers are uniform and continuous

Keywords. oxidation resistance; nickel; nickel base superalloys; aluminizing ;deposition by electroerosion and polar transfer

1. INTRODUCERE

Toate superaliajele se oxidează la temperaturi ridicate in prezenţa oxigenului din mediul inconjurător. Viteza de oxidare depinde de compoziţia chimică a superaliajului,temperatură,potenţialul de oxigen al mediului,tipul oxizilor formaţi, viteza de difuzie in matricea metalică şi-n oxid,solubilitatea oxigenului in matrice şi de multe alte variabile. Oxidarea poate avea un caracter general conducând la formarea unui strat uniform de oxid , intergranular, sau in substrat-oxidarea internă, sau se poate manifesta sub toate cele trei aspecte. Efectele oxidării pot fi benefice sau pot sta la baza ruperilor catastrofice. Referitor la efectele benefice, acestea se manifestă, de exemplu, prin creşterea emisivităţii suprafeţelor cu implicaţii imediate in disiparea cantităţii de căldură generate pe suprafaţele metalice datorită frecării cu mediile in care se deplasează (de exemplu, in timpul zborurilor de mare viteză, sau la reintrarea in atmosferă a componentelor navelor spaţiale, suprafeţele metalice ale acestora, realizate din

superaliaje, au tendinţa de a se supraincălzi ca urmare a frecării cu aerul atmosferic).

2. MATERIALE SI APARATURA UTILIZATE IN CERCETARE

Materialele utilizate in cerecetare au fost plăcuţe din nichel electrolitic (99,2%Ni) din care s-au prelevat epruvete cu dimensiunile 15x15X6mm, bare laminate din INCONEL 718(Ni-54,99%; Cr-18,49%; Fe-16,58%; Co+Ta-4,96%;Mo-2,87%;Ti-0,95%; Al-0,46%; C+Mn +Si+S+Cu-rest), din care au fost prelevate probe cu dimensiuni Φ15x6mm.Mediile de alitare au fost constituite din pulbere de aluminiu, 50%,aluminină,49% şi 1% NH_4Cl.Alitarea s-a realizat in amestecuri solide pulverulente Al-Al_2O_3-NH_4Cl in care au fost impachetate probele de nichel, sau Inconel 718,in recipiente din oţel, etanşate cu zăvoare din argilă , incălzite in cuptoare cu comandă program a evoluţiei in timp a temperaturii. Depunerea de straturi subţiri prin tehnica electroeroziunii şi transferului polar s-a realizat cu ajutorul unei instalaţii de tip MPI-702ER(realizată in Rep.Moldova), in condiţiile: n=200rot/min(turaţia electrodului);f=100s^{-1}(frecvenţa de vibraţie a electrodului); E=8*10^{-3}J (energia unei descărcări).Au fost utilizaţi electrozi din aluminiu şi respectiv nichel pur,sub formă de sârme cu diametrul de 2 mm şi din material compozit aluminiu-aluminide ale nichelului, obţinut prin extruziune la cald. Investigaţiile de microscopie electronică s-au efectuat cu ajutorul unui microscop electronic de baleiaj Tescan Vega XMU 8;pentru investigaţiile de spectrometrie EDAX s-a utilizat un spectrometru EDAX Sapphire, cu o rezoluţie de128kV. Variaţiile masice inregistrate de epruvete, prin oxidare in aer atmosferic in diferite condiţii de temperatură şi timp, au fost determinate prin utilizarea unei balanţe analitice electronice cu o precizie de ±10^{-3}g.In calitate de indicator al rezistenţei/vitezei de oxidare a fost utilizat indicele gravimetric, Δm/S*t (mg/cm^2*h).

3. REZULTATE.EXPERIMENTALE. INTERPRETARI...

Alitările in medii solide pulverulente care au drept componentă activă pulberea de aluminiu (50%) a matricilor de nichel pur, au determinat o comportare aparent necorespunzătoare a acestora la oxidare in domeniul temperaturilor ridicate(fig.1):in prezenţa aderenţelor pe suprafaţa probelor, asociate cu concentraţiile ridicate ale aluminiului in aceste zone (datorate componentei active a mediului-aluminiul) şi tensiunile locale ridicate legate de particularităţile structurii cristaline a compusului intermetalic NiAl (compus electronic)[4], rezistenţa la oxidare scade in raport cu cea inregistrată de nichelul pur neprocesat termochimic(fig.1).

Legat de particularităţile structurii cristaline a compusului electronic NiAl poate fi făcută următoarea subliniere: la concentraţii ale nichelului in compusul NiAl sub 50% at, parametrul reţelei cristaline scade puternic generând o majorare a concentraţiei vacanţelor in zonele in care au dispărut atomii de nichel(concentraţia in aluminiu rămâne constantă);la concentraţii ale nichelului mai mari de 50%at,in faza NiAl atomii aluminiului sunt inlocuiţi de atomi de nichel şi-n consecinţă concentraţia aluminiul scade, determinând in acest fel o diminuare a parametrului reţelei cristaline, deoarece diametrul atomilor de nichel este mai redus comparativ cu al celor de aluminiu.

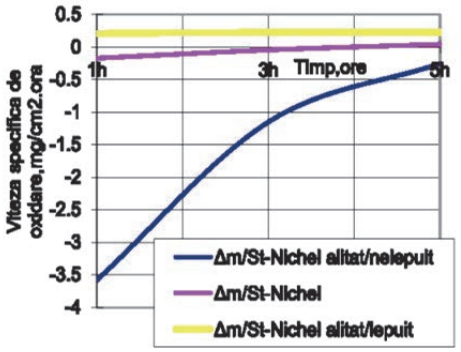


Fig. 1. Viteza de oxidare a nichelului pur ,comparativ cu nichelul alitat şi nelepuit ,respectiv alitat şi lepuit
*Alitare realizată in condiţiile 640^{o}C/20ore in mediu solid constituit din 50% pulbere de aluminiu;49% Al_2O_3+1%NH_4Cl
*Oxidarea in atmosfera cuptorului, la 900^{o}C,perioade de timp intre 1 şi 5ore

Toate aceste modificări au implicaţii directe asupra densităţii compusului şi implicit deci asupra nivelului tensiunilor structurale locale. Ecuaţiile care descriu cinetica oxidării in domeniul temperaturilor ridicate (900^{o}C),in etapele iniţiale ale procesului de oxidare (1÷5ore),in cele trei situaţii luate in analiză sunt:

- pentru nichelul pur,neprocesat termochimic

$$Y = \frac{\Delta m}{S*t} = 0.054X - 0,224\ , \qquad (1)$$

unde X = timpul, in ore

Y,mg/cm^2*h

- in cazul nichelului alitat şi nelepuit:

$$Y=-3,548+2,091\ln X \qquad (2)$$

- in cazul nichelului alitat şi lepuit:

$$Y=-0,047X+0,358 \qquad (3)$$

Atat in cazul matricei de nichel pur cat si a celei de nichel alitat si lepuit, dependentele vitezelor de oxidare de timpul de mentinere izoterma la temperatura de testare(oxidare) sunt liniare, ambele indicand diminuari ale acestei marimi in timp, dar cu rate diferite: viteza de variatie in timp a indicatorului gravimetric in cazul matricii de nichel alitat si lepuit este mai tredusa comparativ cu valoarea vitezei de variatie a acestui indicator incazul matricii de nichel pur,aspect care confirma stabilitatea la oxidare mai ridicata a matricii in primul caz. Valorile coeficientului de expasiune in cazul nichelului (V_{NiO}/V_{Ni}=1,60 [5]) este supraunitar, indicând faptul că pelicula de oxid este aderentă şi continuă,având un rol protector, fenomen confirmat şi de rezultatele

obţinute experimental. .Totusi, prin alitarea matricii de nichel,se creaza premisele formarii unor pelicule dense si continue de Al_2O_3 pe suprafata acestor zone si totodata a unei proportii ridicate de aluminide ale nichelului,bogate in aluminiu,in zonele adiacente suprafetei care contribuie suplimentar la stabilizarea unui nivel ridicat al rezistentei la oxidare. In prezenţa unor elemente de aliere de tipul cromului (~18,5% in INCONEL718),efectul procesarii termochimice in ceeace priveste oxidarea la temperaturi inalte este mai evident comparativ cu cazul matricii de nichel .

Astfel,in prezenta elementelor de aliere, matricile de nichel işi modifică comportarea la oxidare, datorită schimbării mecanismelor de apariţie a oxizilor. Aliajele Ni-Cr sunt un exemplu reprezentativ de oxidare selectivă; mecanismul oxidării implică formarea oxidului nichelului NiO şi oxidarea internă a cromului in superaliaj. In prezenţa cromului in superaliajul cu baza de nichel se formează un strat protector de Cr_2O_3,foarte stabil termodinamic la temperaturi ridicate, cu stoichiometrie foarte scăzută şi conductivitate ionică deasemenea redusă. Prezenţa suplimentară a aluminiului in compoziţia superaliajului, in concentraţii relativ reduse, sub 3% (0,465% in cazul INCONEL718) ,face ca protecţia la oxidare să fie asigurată de prezenţa unor straturi de Cr_2O_3,sub care se regăsesc particule de Al_2O_3[3].La temperaturi mai mari de 1000^oC Cr_2O_3 continuă oxidarea şi se transformă in CrO_3 volatil. In superaliajele cu bază de nichel se formează oxizi de tipul spinelului $NiCr_2O_4$,sau $Ni(Cr,Al)_2O_4$ in prezenta aluminiului[1;2].Deoarece difuziunea cationilor este mult mai lentă prin spinelul $NiCr_2O_4$ decât prin stratul de oxid NiO, spinelurile pot acţiona ca bariere pentru difuzia spre exterior a ionilor de nichel, fenomen ce va genera o scădere considerabilă a fluxului total de nichel prin pelicula de oxid. Cu toate acestea, deoarece viteza de creştere a oxizilor care conţin nichel (NiO) este mult mai mare comparativ cu a celor care conţin crom(Cr_2O_3) ,se poate forma o cantitate mare de $NiCr_2O_4$ şi NiO inainte de a se forma straturile protectoare de Cr_2O_3,fenomen ce poartă numele de oxidare tranzitorie; durata perioadei de oxidare tranzitorie este dependentă de conţinutul de crom din aliaj şi de presiunea oxigenului din mediul oxidant(potenţialul de oxigen al acestuia).In cazul concret al superaliajelor cu bază de nichel de tip INCONEL 718, alitate, datorită faptului că valoarea conţinutului de crom din ele este mai mare de 15%,iar cea a aluminiului in straturile superficiale alitate depăşeşte cu mult limita de 3%,stratul superficial cu rol de protecţie impotriva oxidării va fi format in exclusivitate din α-Al_2O_3 [3], raportul proporţiilor masice ale celor două elemente cromul şi respectiv aluminiul jucând un rol hotărâtor in aceasta. La valori ridicate ale concentratiei aluminiului si nichelului in matricile de nichel(cazul superaliajului cu baza de nichel INCONEL 718 alitat),prezenta oxizilor acestor metale, Al_2O_3 şi Cr_2O_3 (alături de aluminidele nichelului prezente in strat) creaza premisele unei diminuari considerabile a cineticii oxidarii in domeniul temperaturilor ridicate. Cercetările experimentale vizând comportarea la oxidare la temperaturi inalte a superaliajului cu bază de nichel INCONEL718 alitat in medii solide pulverulente(fig.2) cu activităţi diferite (modificarea activităţii s-a realizat trecând de la aluminiu ,in calitate de componentă activă la amestecuri mecanice echimasice de pulberi de fier şi aluminiu),au condus la concluzii apropiate de cele obţinute in cazul nichelului alitat in medii solide pulverulente şi anume:

- rezistenţa la alitare a acestor matrici creşte considerabil prin alitare, aspect care devine evident abia după lepuirea suprafeţelor, deci după indepărtarea aderenţelor de pe suprafaţa probelor procesate termochimic;
- din punct de vedere a rezistenţei la oxidare, comportarea superaliajelor alitate(indiferent de activitatea mediului de alitare) şi nelepuite, este mai apropiată de cea a superaliajelor nealitate;
- ulterior lepuirii, comportarea la oxidare a superaliajelor cu bază de nichel alitate se supune unei dependenţe liniare ,rel 4;7(similar nichelului, rel.1;3),relaţii valabile pentru etapele incipiente ale procesului;
- legea de variaţie a vitezei de oxidare in cazul superaliajului neprocesat termochimic(rel.4),sau procesat in medii solide pulverulente şi nelepuit, expresie a vitezei cu care au loc pierderile masice, poate fi descrisă cu ajutorul unor ecuaţii de tip logaritmic(rel.5;6);
- comportarea la oxidare a superaliajelor cu bază de nichel şi-n mod similar a matricilor de nichel, alitate in medii solide pulverulente, nelepuite, se apropie in timp de comportarea celor alitate şi lepuite. Fenomenul este determinat de netezirea in timp a suprafeţelor, prin pierderile masice dictate de cauzele menţionate anterior.

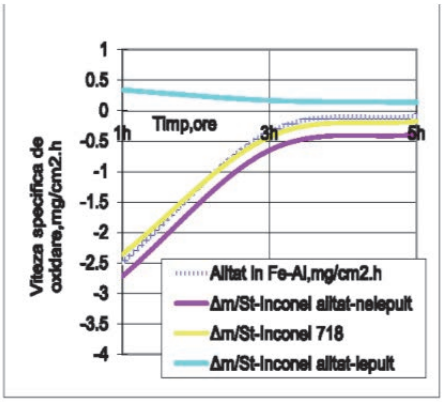


Fig.2 Viteza de oxidare a superaliajului cu baza de nichel INCONEL718,comparativ cu cea a INC.718 alitat şi nelepuit ,respectiv alitat şi lepuit
*Alitare realizată in condiţiile:640^oC/20ore in mediu solid pulverulent continand :50%pulbere de aluminiu-49%Al_2O_3-1%NH_4Cl,respectiv:950^oC/20ore in mediu solid pulverulent conţinând 50% (amestec mecanic echimasic de pulberi de fier şi aluminiu)-49%Al_2O_3 +1%NH_4Cl;
*Oxidarea in atmosfera cuptorului, la 900^oC,perioade de timp intre 1 şi 5ore

Ecuaţiile care descriu cinetica oxidării in domeniul temperaturilor ridicate (900°C),in etapele iniţiale ale procesului de oxidare (1÷5ore),in cele patru situaţii luate in analiză sunt:

- pentru INCONEL 718,neprocesat termochimic

$$Y = \frac{\Delta m}{S * t} = -2{,}4 + 1{,}34 \ln X \ , \qquad (4)$$

unde X=timpul,in ore

Y,mg/cm^2*h

-in cazul Inconelului 718 alitat in medii conţinând aluminiul drept componentă activă şi nelepuit:

$$Y=\mathbf{-2{,}6+1{,}498lnX} \qquad (5)$$

-in cazul INCONELULUI 718 alitat in medii conţinând amestecuri mecanice echimasice de fier şi aluminiu in calitate de componentă activă şi nelepuit:

$$Y=\mathbf{-2{,}57+1{,}706lnX} \qquad (6)$$

- in cazul Inconelului 718 alitat in medii conţinând aluminiul drept componentă activă şi lepuit:

$$Y=\mathbf{0{,}31-0{,}027X} \qquad (7)$$

Ulterior alitarii si lepuirii,in prezenta peliculelor de α-Al_2O_3 cu rol protector pe suprafata superaliajului si datorita existentei unei proportii ridicate de oxizi de crom(Cr_2O_3) si aluminide ale nichelului in strat, in zonele adiacente peliculelor, rezistenta la oxidare creste considerabil, devenind aproximativ constanta in timp si descrisa de o dependenta liniara cu panta usor negativa (rel.7).Acoperirea produselor realizate din superaliaje cu bază de nichel de tip INCONEL 718 cu straturi compozite, realizate din aluminiu cu fază de armare aluminide ale nichelului, utilizând tehnica electroeroziunii şi transferului polar(aliere prin scânteierea suprafeţei), asigură acestora o majorare substanţială a rezistenţei la oxidare (fig.3),cu condiţia ca straturile să fie uniforme şi continue. Acest deziderat poate fi atins prin mecanizarea/ automatizarea operaţiei de depunere.

Observaţie. Amestecurile mecanice aluminiu cu ~13%aluminide ale nichelului, preponderent bogate in aluminiu, au fost obţinute prin alierea mecanică in mori cu bile, la valori ale energiilor cedate de corpurile de măcinat de aproximativ 13J/s[6] amestecului echimasic de pulberi de aluminiu şi nichel).

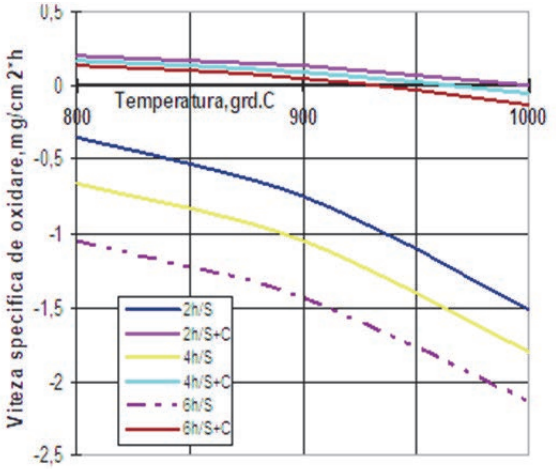
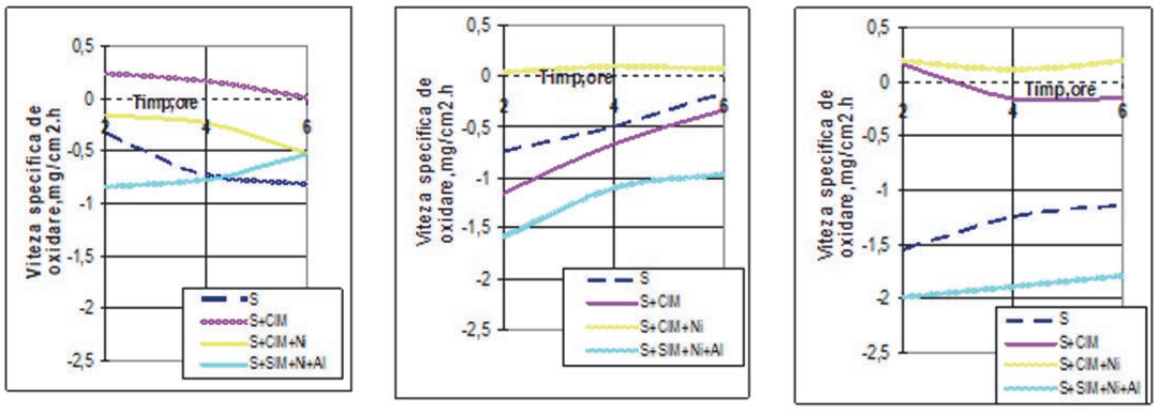


Fig. 3. Variaţia vitezei de oxidare a superaliajului INCONEL 718 neacoperit (S),respectiv acoperit (S+C) prin electroeroziune şi transfer polar cu un compozit (C) cu matrice de aluminiu armat cu aluminide ale nichelului, funcţie de parametrii termici şi temporali ai oxidării (800÷1000°C/2÷6ore)

Rezultate similare privind comportarea la oxidare in domeniul temperaturilor ridicate a superaliajelor cu bază de nichel pot fi obţinute prin protejarea suprafeţelor expuse cu depuneri alternânde de straturi, de diverse naturi(de exemplu straturi compozite Al-aluminide, alternând cu straturi de nichel şi/sau aluminiu), utilizând tehnica de depunere prin electroeroziune şi transfer polar(fig.4-5). Obs.Grosimea fiecărui strat depus este de aproximativ 10μm.



800°C 900°C 1000°C

Fig. 4 Variaţia vitezei de oxidare a superaliajului INCONEL 718(S) acoperit prin electroeroziune şi transfer polar cu straturi de diverse compoziţii:CIM(compozit cu matrice de aluminiu conţinând ~13%aluminide obţinut prin aliere mecanică);CIM+Ni(Compozit +strat de nichel);CIM +Ni+Al(compozit + straturi succesive de nichel şi aluminiu),in funcţie de parametrii termici şi temporali ai regimului de oxidare(800÷1000°C/2÷6ore).

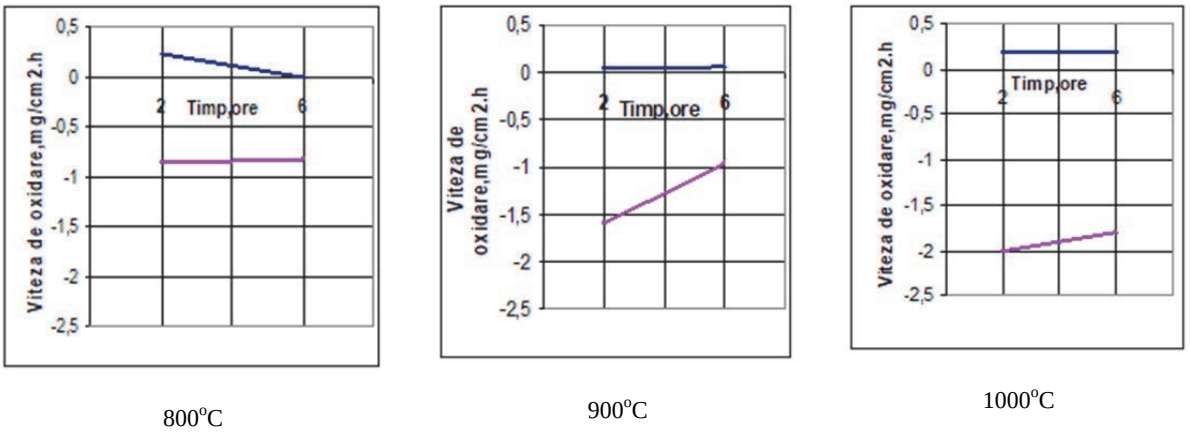


Fig. 5. Reprezentarea simplificată a evoluţiei limitelor domeniului in care se inscriu vitezele de oxidare ale superaliajului INCONEL 718 acoperit prin electroeroziune şi transfer polar cu straturi succesive de diferite naturi(structuri tip sandwich),*conf.inf.din fig.4.*

Dispersia valorilor referitoare la viteza de oxidare la temperatură inaltă a superaliajului INCONEL718 protejat cu structuri de tip „sandwich",constând dintr-o succesiune de straturi de tip compozit/metal pur-Ni şi/sau metal pur-Al, depuse prin tehnica alierii prin scânteiere, este relativ largă datorită imperfecţiunilor dictate de modul de realizare a depunerii-manual, dar, din analiza limitelor domeniului in care se inscriu aceste valori (fig.5),se poate trage concluzia că aceste depuneri pot asigura protecţia suprafeţelor impotriva interacţiunilor cu mediile oxidante in domeniul temperaturilor ridicate. Analiza modului de deplasarea a limitelor domeniului la variaţia temperaturii, conduce la concluzia că acesta işi lărgeşte limitele pe măsura creşterii temperaturii de oxidare.

4. CONCLUZII

Alitarea in medii solide pulverulente a produselor din superaliaje cu bază de nichel (tip INCONEL 718) reprezintă o soluţie de creştere a rezistenţei la oxidare in domeniul temperaturilor ridicate ;pentru ca soluţia să fie deosebit de eficientă ,este necesar ca suprafeţele procesate termochimic să fie lepuite, anterior exploatării produsului.

Depunerea de straturi de tip compozit aluminiu-aluminide ale nichelului, sau succesiuni de straturi de tip compozit-metale pure (nichel şi/sau aluminiu, spre exemplu),prin metoda alierii prin scânteiere(electroeroziunea şi transferul polar),poate reprezenta deasemenea o metodă eficientă de protecţie impotriva interacţiunii cu mediile oxidante in domeniul temperaturilor ridicate, cu condiţia ca straturile să fie uniform depuse şi continue.

BIBLIOGRAFIE

[1] N. Birks; G. H. Meier; F. S. Pettit „Introduction on the high temperature oxidation of metals" Cambridge University Press, 2004

[2] G. F. Chen; H. Y. Lou „ Prediction the oxide formation of Ni-Cr-Al alloys with nano-sized grain" Materials Letters, 2000, 45(5)

[3] C. T. Sims; W. C. Hagel "The superalloys" A Wiley-Interscience Publication, 1972

[4] Iu. M. Lahtin; B. N. Arzamasov „Himico-termiceskaia obrabotka metallov" Moskva; Metallurghia, 1985

[5] S. Zamfir; R. Vidu; V. Brânzoi „Coroziunea materialelor metalice"Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1994

[6] M. Cojocaru; L. Drugă; F. Tudose „The effects of change the energy conditions and synthesis media activity on nickel aluminides type and proportion" in Journal of Engineering Sciences and Innovation, vol 2, Issue 4/2017; D. Chemical Engineering, Materials Science and Engineering, Natural Resources

COMPORTAREA PANOURILOR „SANDWICH" LA ACTIUNI EXTERIOARE IN CAZUL CLADIRILOR USOARE

Ing. Adrian ION CIOCODEIU

IMSAR BUCURESTI ROMANIA

REZUMAT.

Panourile "sandwich" sunt realizate din materiale de înalta calitate şi cu ajutorul tehnologiei avansate de producţie care le oferă proprietăţi fizice şi mecanice excelente. Prin urmare, panourile de tip "sandwich" au o gamă largă de aplicaţii. Avantaj important care provine din rezistenţă lor înaltă, este reducerea elementelor de structura secundara (profile tip Z , C , Σ) prin care se realizeaza o economie de materialele din construcţia structurii de rezistenta şi reducerea naturală a timpului de instalare.
Datorită flexibilităţii constructive la panourile tip sandwich, clădirile pot fi cu uşurinţă extinse şi renovate, fără ca acest lucru sa impună schimbări serioase ale activităţii în clădire. În practică, nu există limite tehnice sau economice împotriva faptului de a fi mutată chiar o clădire.

1. TEHNICI DE ASAMBLARE

Tehnicile de imbinare ale panourilor sandwich includ concomitent legătura panou cu panou şi conectarea acestor elemente cu structura metalica. Îmbinarea dintre elementele de perete se realizează prin metoda dinte - canelură (fixare aparenta) sau dinte dublu - canelură (fixare ascunsa). Metoda utilizată la panourile de acoperiş este suprapunerea standard cu nervura goală a panoului adiacent. Avantajele importante ale panourilor de perete de înaltă calitate sunt instalarea uşoară, compactitatea şi legătura strânsă în zona de conectare. Tehnicile cunoscute de legătura la panourile sandwich sunt de o sută de ori mai mult ermetice decât ramele de ferestre de înaltă calitate. Pentru încăperi frigorifice şi camere de depozitare la rece cu temperaturi de îngheţ se aplică conexiuni rezistente la umezeala .

2. COSTURI SI CHELTUIELI DE AMORTIZARE

Costurile pentru materiale şi instalare în construcţia cu panouri tip sandwich sunt ca cele pentru metodele alternative. Dar, dacă se iau în considerare costurile de exploatare şi costurile de întreţinere, panourile sandwich au avantaje clare care cresc cu raportarea economiei de energie. Proiectarea şi construcţia cu panouri tip sandwich permit mai uşor să fie obţinută etanşeitatea la acoperiş şi perete în comparaţie cu alte soluţii. Etanşeitatea cu panouri

sandwich are o foarte mică greutate proprie în comparaţie cu metodele alternative , ceea ce duce la o reducere a costului la structură de rezistenta. Panourile sandwich se disting prin faptul că aproape nu necesită întreţinere. Acoperirea de înaltă calitate asigură o protecţie de lungă durată împotriva coroziunii.

3. ECONOMIE DE SPATIU

Datorită structurii cu pereţi subţiri, pereţii externi şi interni ocupă un volum mult mai mic decât metodele masive de construcţie. Pentru aceeaşi cantitate a coeficientului de transfer termic (U) panourile sandwich sunt foarte subţiri în comparaţie cu peretele monolit. Prin urmare, se realizează o creştere măsurabilă a proporţiei de suprafaţă disponibilă în comparaţie cu metodele alternative. Pentru a ajunge la U = 0,3 (W/m2 K) pentru panoul cu izolatie de poliuretan este suficientă o grosime de 80 mm, pentru panoul cu izolatie de vată minerală - o grosime de 100mm, iar pentru peretele de beton aceasta grosime trebuie să fie de 365 mm cu tencuială internă şi externă, precum şi izolaţie externă de 80 mm. Această structură pentru perete ajunge la o grosime totală de 465 de mm.

4. REZISTENTA LA INCENDII

Panourile tip sandwich cu miez izolator din spuma rigidă poliuretanică au clasa de reacţie la foc Cs,d0, panourile cu izolaţie poliizocianurat - B-s2,d0, iar cele cu vată minerală - A2-s,d0. Panourile de sunt certificate şi după indicatorul de rezistenţă la foc. Testarea şi clasificarea panourilor de perete sunt făcute în conformitate cu EN 1364-1, şi cele a panourilor de acoperiş - în conformitate cu EN 1365-2. în caz de aderare strictă la cerinţele pentru rezistenţa la incendii şi cerinţele de securitate construcţia din panouri sandwich poate fi atribuită uneia dintre cele mai sigure metode de construcţie.

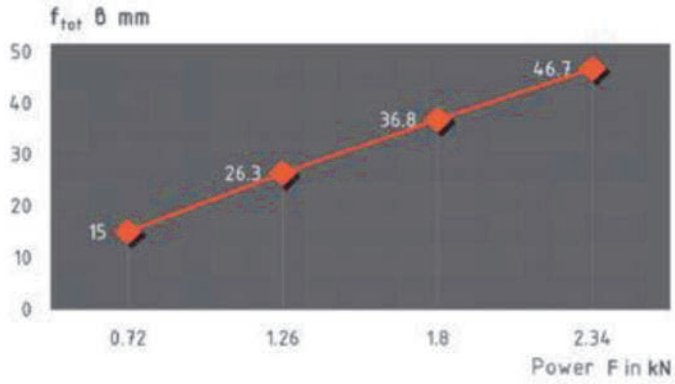
5. IZOLARE FONICA

Obiectivul inginerilor este de a obţine izolarea optimă a sunetului utilizând construcţie şi materiale potrivite. Principiul fizicii este că izolaţia de sunet se îmbunătăţeşte cu creşterea grosimii, în timp ce scopul metodelor constructive uşoare este utilizarea de materiale uşoare. Apare contradicţie la performanţa optimă a ambelor cerinţe. Acest lucru nu înseamnă că , construcţiile uşoare nu sunt izolate fonic. Panourile cu un miez de vată minerală şi grosimea de 80 mm reduc nivelul de zgomot cu R'w = 28 dB la o densitate de 100 kg/m3, şi anume au calităţi de izolare fonică foarte bune. Aceste rezultate au fost obţinute în teste efectuate în laboratoare acreditate.

6. PARTICULARITATI STRUCTURALE ALE PANOURILOR SANDWICH

Proprietăţile mecanice ale materialului izolator şi suprafeţele de metal se combină perfect în structura panoului sandwich, cu scopul de a permite o creştere semnificativă a rezistenţei la îndoire a panoului. Panoul tip sandwich cu trei straturi are o rezistenţă la îndoire mult mai mare în comparaţie cu suma rezistenţelor de suprafaţele metalice şi miezul de izolare. Cele doua table subţiri şi stratul izolator gros din spuma rigidă poliuretanică individual au practic rezistenţă zero la îndoire. Datorită adeziunii de spuma poliuretanică către placările metalice care apare în etapa de formare a spumei, se formează aşa-numită secţiune transversală de tip "sandwich". Măsurătorile arată valorile ridicate de rezistenţă la îndoire şi valorile scăzute de suspendare a grinzii din panou.

Valorile medii ale suspendărilor realizate pe grinda "sandwich".



În plus faţă de comportamentul favorabil sub sarcină a structurii de tip sandwich, consolidarea suprafeţelor metalice datorită miezului izolator creşte capacitatea portantă. Acest efect este deosebit de avantajos pentru panourile de tip sandwich cu suprafaţa subţire, netedă sau aproape netedă care ating o înaltă rezistenţă, dar fără efectul de

consolidare sunt predispuse la pierderea anticipată de stabilitate sau formarea de zdrobiri sub acțiunea tensiunilor de compresiune. Prin urmare, cu cât adeziunea de spumă poliuretanică către tabla este mai mare, cu atât mai mult se împiedică zdrobirea suprafețelor de acoperire. În acest caz, miezul izolator se comportă ca o baza elastică de consolidare. Prin creșterea durității miezului distanțele dintre zdrobirile de pe placări devin mult mai mici prin ajungerea la sarcina critică. Acest lucru duce la o creștere avantajoasă a tensiunii critice. Prin urmare, duritatea crescută a miezului corespunde capacității portante crescute. Datorită acestei baze elastice se poate ajunge la tensiuni mult mai mari decât în cazul suprafețelor neconsolidate.