

# MODEL DEMONSTRATIV PENTRU RECUPERAREA ENERGIEI CINETICE DE ROTAȚIE ÎN ECHIPAMENTELE CU ACȚIONAREA HIDROSTATICĂ

Dr. ing. Corneliu CRISTESCU, Dr. ing. Cătălin DUMITRESCU,  
Dr. ing. Radu RĂDOI, Ing. Liliana DUMITRESCU

Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000 – IHP)

**REZUMAT.** Articolul prezintă un model hidraulic demonstrativ pentru demonstrarea posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație care rămâne după realizarea lucrului mecanic util, la un mecanism de rotație cu acționare hidraulică, cu stocarea energiei salvate și, de asemenea, cu reutilizarea energiei recuperate în faza activă a ciclului următor de lucru. Sunt prezentate schema conceptuală a modelului, principalele componente ale modelului și, la final, câteva rezultate experimentale care permit nu doar demonstrarea posibilității recuperării energiei cinetice de rotație, ci și posibilitatea cuantificării energiei recuperate, prin calcularea on-line a coeficientului de recuperare. Rezultatele experimentale au confirmat tehnologia și soluțiile tehnice adoptate pentru recuperarea energiei cinetice de rotație.

**Cuvinte cheie:** eficientizare energetică, recuperarea energiei, acționări hidrostatice, cercetări experimentale.

**ABSTRACT:** The paper presents a demonstrative hydraulic model which aims the demonstration of the possibility to recovery the rotational kinetic energy, which remains after the achieving the utile mechanical work at a rotating mechanisms with hydraulic driving, with the stocking of the saved energy and, also, the reusing it, in the active phases of the next working cycle. There are presented the conceptual schema of the model, the main components and, finally, some experimental results which allows not only to demonstrate the possibility to recovery of the rotational kinetic energy, but, also, the possibility to quantify the recovered energy, by on-line calculation of the energy recovering coefficient. The e results confirm the technology and the technical solutions adopted for the rotational kinetic energy recovery.

**Keywords.** Energy efficiency, energy recovering, hydrostatic drives, experimental research.

## 1. INTRODUCERE

În fața perspectivei ca resursele fosile de combustibil să fie epuizat, în lume a luat amploare o mai mare preocupare /concuranță pentru a identifica/găsi noi surse de energie, eforturile fiind concentrate, în special, pe energia din surse regenerabile, în scopul de a menține progresul tehnic și tehnologic al societății umane și în viitor.

Până atunci, o direcție de acțiune imediată este aceea a economisirii energiei disponibile prin creșterea eficienței energetice a mașinilor, echipamentelor și sistemelor tehnologice, cu scopul reducerii consumului energetic, printr-o tehnologie nouă și curată de recuperare a energiei. Acest lucru duce la o creștere substanțială a eficienței energetice a mașinilor și echipamentelor tehnologice și scăderea emisiilor nocive, având efecte benefice asupra mediului [1, 2].

Noul concept de recuperare a energiei, puternic dezvoltat în ultimii 10-15 ani, constă în a găsi posibilitatea și mijloacele tehnice pentru a recupera o

parte din cantitatea de energie, care rămâne neutilizată după consumarea fazei active a ciclului de lucru, după realizarea lucrului mecanic util, și, în cele din urmă, stocarea acestei energii salvate și reutilizarea ei în fazele active ale următorului ciclu de lucru [3]. De exemplu, la un autovehicul, în timpul fazelor de frânare, energia cinetică acumulată de vehicul, este îndepărtată din sistem prin metode convenționale, disipative (adică prin frânare), în care energia este pierdută iremediabil în atmosferă și, uneori, cu impact negativ asupra mediului [4].

Pentru ingineri, provocarea care trebuie rezolvată, este de a recupera această energie disponibilă și, apoi, reutilizarea ei în fazele active ale următorului ciclu de lucru, în scopul de a îmbunătăți / crește eficiența energetică a sistemelor de acționare a mașinilor, echipamentelor și sistemelor tehnologice [5]. Problema tehnică, ce trebuie rezolvată, este de a concepe și implementa sisteme de recuperare a energiei care să realizeze captarea, conversia și stocarea energiei cinetice, și, apoi, redarea/reutilizarea ei în fazele de pornire ale următorului ciclu de lucru [6].

În cele ce urmează, lucrarea prezintă unele cercetări experimentale cu privire la recuperarea energiei cinetice de rotație pentru un model demonstrativ al unui echipament sau mecanism cu acționare hidraulică, dezvoltat de *Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică* din București, cu privire la crearea și punerea în aplicare a unor sisteme hidraulice de recuperare a energiei, în scopul de a demonstra posibilitatea și viabilitatea soluțiilor tehnice alese și, de asemenea, pentru a arăta creșterea eficienței energetice, în sistemele de acționare hidraulice mobile și industriale.

## 2. PREZENTAREA MODELULUI DEMONSTRATIV

În scopul de a dezvolta cercetarea experimentală cu privire la recuperarea energiei cinetice de rotație, a fost necesară proiectarea și fabricarea unui model demonstrativ (fig. 1 și fig. 2), care simulează un posibil echipament tehnologic, având o structură mecanică cu un mecanism de rotație (MROT) cu acționare hidraulică (SHP). Pe modelul demonstrativ a fost implementată o nouă soluție tehnică pentru un sistem cu recuperare de energie (ERHS). A urmat realizarea fizică unui model experimental mic, care nu are nevoie de mase prea mari în mișcare de rotație (MR), pentru a evita pierderea controlului, cu consecințe negative în timpul experimentelor în cadrul unui laborator de cercetare.

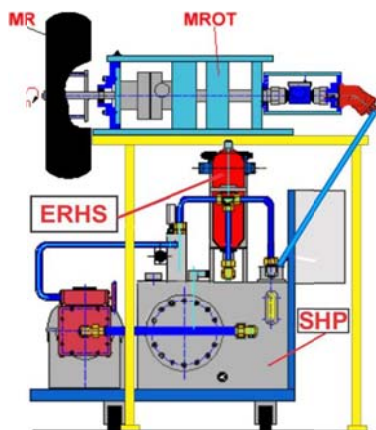


Fig. 1. Modelul conceptual demonstrativ.



Fig. 2. Modelul demonstrativ.

În cele ce urmează, sunt prezentate principalele componente ale modelului demonstrativ pentru recuperarea energiei.

### 2.1. Componentele principale ale modelului demonstrativ

Componentele principale ale modelului demonstrativ constă dintr-un **sistem mecanic**, care conține un dispozitiv mecano-hidraulic giro-inerțial cu axă orizontală, așa cum se arată în figura 3, care este un ansamblu mecanic (3), care asigură transmisia puterii hidrostatice, prin conversia în energie mecanică cu o mașină hidraulică reversibilă (1), cu axa orizontală cuplată cu axa de rotație a masei și, de asemenea, o cutie de măsurare, care oferă posibilitatea de a măsura cuplul și viteza de rotație, de către un traductor de moment și de viteză de rotație special (2). Celelalte trei elemente, 4, 5 și 6, reprezintă un rulment consolidat (4), axa de rotație a masei (5) și, respectiv, flanșa (6) a masei rotitoare (M).

Al doilea ansamblu important al modelului experimental, reprezentat în figura 4, constă într-un **sistem hidraulic** compus dintr-o stație hidraulică clasică (1), cu panou de comandă electric (2) și, de asemenea, un ERHS – sistem hidraulic de recuperare a energiei (3).

Al treilea ansamblu al modelului experimental este reprezentat de sistemul de achiziție de date, care a fost necesar pentru a fi proiectat și a fi dezvoltat, în scopul de a monitoriza și înregistra evoluția principalilor parametri funcționali ai modelului demonstrativ, pentru recuperarea energiei cinetice de rotație. A fost necesară proiectarea și dezvoltarea unui sistem special de achiziție de date. Acest sistem permite achiziția datelor și prelucrarea computerizată a semnalelor colectate de la toate traductoarele existente pe sistemul hidro-mecanic. Pentru a demonstra posibilitatea recuperării energiei cinetice de rotație, a fost necesară proiectarea și fabricarea unui stand special de testare (fig. 5).

După fabricarea și testarea sistemului de achiziție de date și monitorizare, acesta a fost integrat/implementat în standul de testare propriu-zis, pentru a capta și monitoriza evoluția parametrilor dinamici principali ai modelului experimental, în scopul demonstrării posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație la un mecanism de rotație cu sistem hidraulic de acționare.

Standul de testare, prezentat în figura 6, are în componență 3 sisteme principale:

- un sistem electro-informatic, prezentat în figura 7, care conține sistemul de monitorizare și achiziție de date, cu plăci electronice, placă de achiziție de date DAQ și calculator PC cu software-ul special con-

struit în Lab VIEW și, de asemenea, toți senzorii și traductorii implementați pe sistemele mecanice și hidraulice;

– un sistem mecanic, prezentat în figura 8, care conține: o masă inerțială giroscopică (M), acționată de un motor hidraulic (HM), un traductor de cuplu și de rotație (TRT), traductoarele de presiune (TP1,

TP2 și TP3) și, de asemenea, debitmetrele (TQ1 și TQ2), conform figurii 5;

– un sistem hidraulic, prezentat în figura 9, compus dintr-o stație hidraulică clasică care conține o generator hidraulic (HG), o supapă de siguranță (RV), un rezervor de ulei (T) și, de asemenea, o supapă și un distribuitor (DCV) – figura 9.

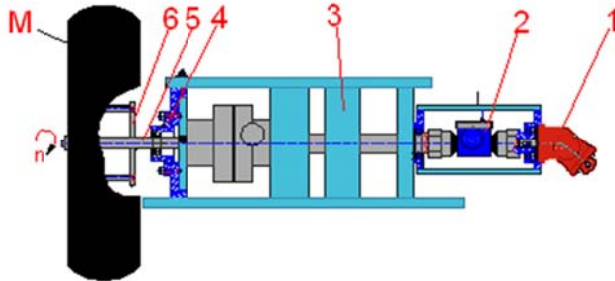


Fig. 3. Dispozitivul giroinercial.

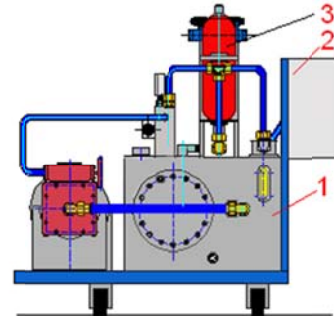


Fig. 4. Stația hidraulică cu ERHS.

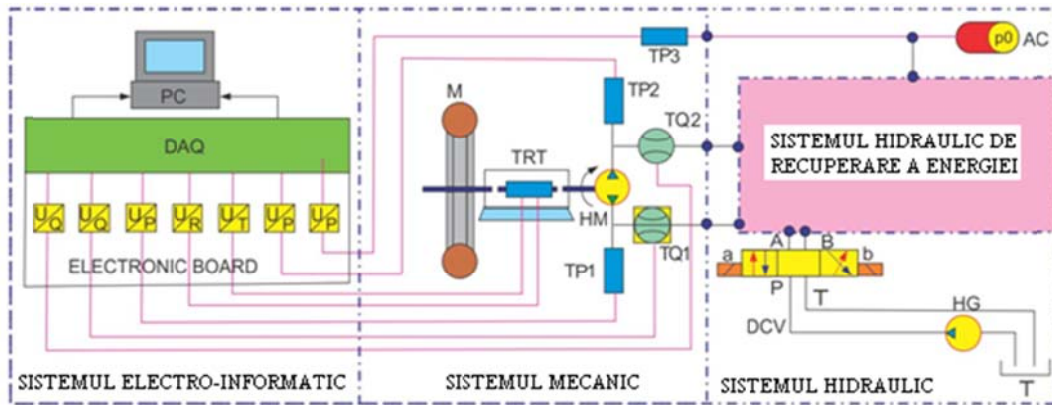


Fig. 5. Schema generală a standului de testare.



Fig. 6. Vedere generală a standului de testare.



Fig. 7. Sistemul electro-informatic.



Fig. 8. Sistemul mecanic.



Fig. 9. Sistemul hidraulic.

## MODEL DEMONSTRATIV PENTRU RECUPERAREA ENERGIEI CINETICE DE ROTAȚIE

Sistemul hidraulic are un sistem suplimentar de recuperare a energiei hidraulice – ERHS, în prezent fiind în curs de brevetare, care conține soluția tehnică pentru recuperarea de energie, stocarea energiei economisite (AC) și, de asemenea, reutilizarea energiei economisite în faza activă a următorului ciclu de lucru.

Ultimele două sisteme sunt principalele subsansamble ale modelului demonstrativ pentru recuperarea energiei cinetice de rotație, care simulează un mecanism de rotație a echipamentelor tehnologice.

### 2.2. Senzori și traductori

Modelul demonstrativ de recuperare a energiei cinetice de rotație, care a fost supus la testarea cu privire la demonstrarea posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație, are multe senzori și traductori implementați pe sistemul mecanic și cel sistemul hidraulic, montați în scopul monitorizării și înregistrării evoluției principalilor parametri funcționali în timpul testelor experimentale.

Conform schemei generale a standului de testare din figura 5, sunt prevăzute următoarele traductoare:

- 1 traductor de moment și turație montat pe axul de rotație, care este tipul DR 2112, de la Lorenz Messtechnik, caracterizat prin: cuplu (0.025 - 28000) Nm, rotație max. 15000 RPM, alimentare (12-28) V DC, de ieșire:  $\pm$  (0-5) V DC și  $\pm$  (0-10) V DC. Acesta are un semnal de ieșire TTL pentru viteza de rotație;

- 3 traductoare de presiune, care sunt de tip GS4200, de la GENSPEC, cu afișarea locală, de la ELLISON SENZORI INTER, cu: gama de presiune de 0-400 bar, alimentare 13-36 V DC și ieșire de 4-20 mA ;

- un debitmetru cu roți dințate, cu două direcții de curgere, care este de tip KZA1865R20S3, de la KOBOLD, presiune de 160 bar, cu semnal de ieșire

de frecvență și de alimentare de 24 V DC (12-30 V DC), a puterii maxime ieșire 0,3 W;

- un debitmetru cu turbină, cu o singură direcție a curgerii, de tip RT- 015AK001E, cu afișare locală, de la HONSBURG, caracterizată prin: gama de tensiune 10-30 VDC, ieșire 4 0-20 mA și contorizare gamă 1,8-18,0 l/min.

### 3. UNELE REZULTATE EXPERIMENTALE

Pentru a demonstra posibilitatea recuperării energiei cinetice de rotație și, de asemenea, pentru a verifica soluția tehnică adoptată, modelul demonstrativ a fost supus la o mulțime de teste. Acest teste au constat într-o variație mare a principalilor parametri, și anume: variația presiunii maxime a sistemului hidraulic, variația maselor de rotație și, de asemenea, variația presiunii azotului din acumulator.

În cele ce urmează este prezentat doar un exemplu de variație grafică a principalilor parametri ai sistemului, pentru o anumită valoare a presiunii, pentru o anumită valoare a masei de rotație și o anumită valoare a presiunii inițiale a azotului în acumulatorul hidro-pneumatic. În fig. 10 și fig. 11, sunt prezentați parametrii mecanici: viteza de rotație [rpm], cuplul [Nm] și numărul de rotație [-].

Folosind sistemul de monitorizare și achiziție a datelor s-au obținut o mulțime de rezultate grafice.

Astfel, s-au obținut variațiile parametri hidraulici ai sistemului:  $p_1$  – presiunea de intrare în motorul hidraulic [bar];  $p_2$  – priza de presiune de la motorul hidraulic [bar] și variația debitului de ulei [lpm], conform figurii 12, precum și variațiile principalilor parametri energetici, printre care: energia de accelerare [J], energia recuperată [J] și, de asemenea, coeficientul de recuperare a energiei [-], care evidențiază clar eficiența energetică a sistemului de recuperare.

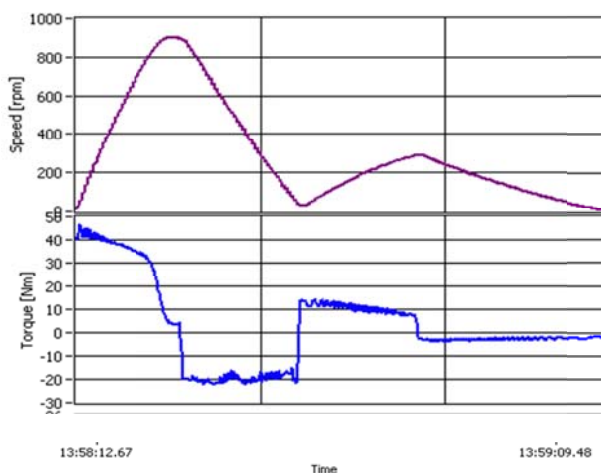


Fig. 10. Variația vitezei de rotație și a cuplului.

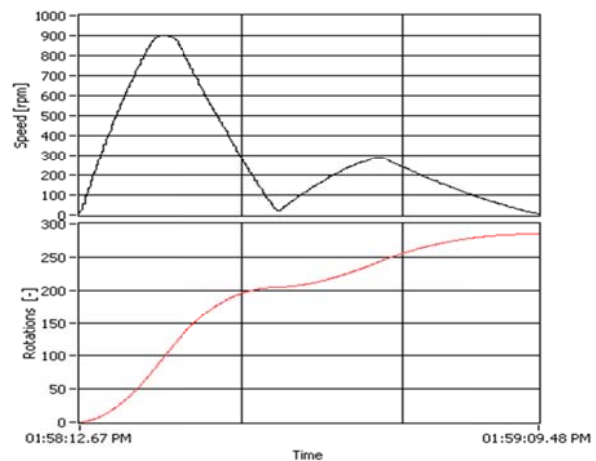


Fig. 11. Viteza de rotație și numărul de rotații.

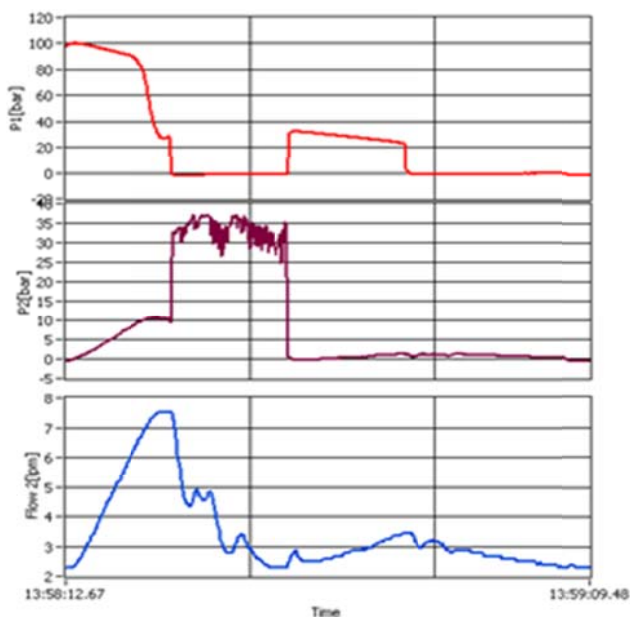


Fig. 16. Variația parametrilor hidraulici.

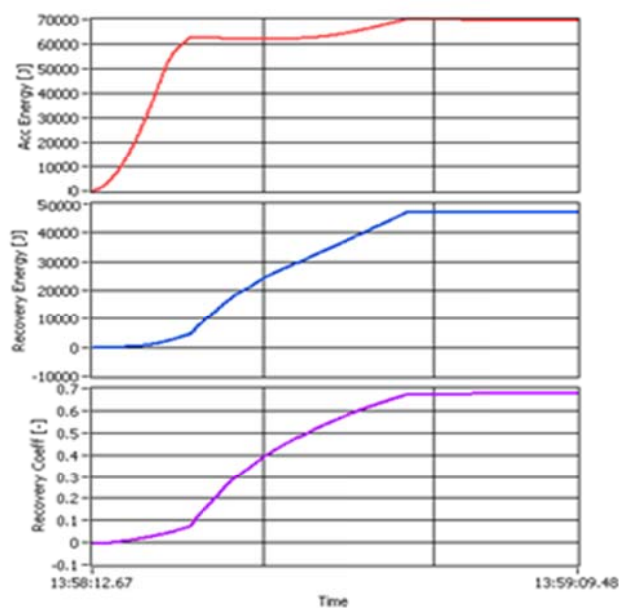


Fig. 17. Variația parametrilor energetici.

#### 4. CONCLUZII

În lucrare este prezentat un model hidraulic demonstrativ care are ca scop demonstrarea posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație, care rămâne după realizarea lucrului mecanic util, în interiorul ciclului de lucru a unui mecanism de rotație cu acționare hidraulică, și reutilizarea energiei recuperate, în fazele active ale următorului ciclu de lucru, cu scopul de a crește eficiența energetică a sistemelor hidraulice.

Sunt prezentate schema conceptuală a modelului, principalele componente și, de asemenea, sunt prezentate unele rezultate experimentale, care permit demonstrarea posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație de la mecanismele rotative cu acționare hidraulică.

Prin subsistemul informatic și electronic, modelul demonstrativ permite cuantificarea energiei recuperate, și, de asemenea, calcularea coeficientului de recuperare a energiei.

Rezultatele experimentale, obținute deja, au validat soluțiile tehnice abordate, și, prin măsurătorile experimentale, au confirmat posibilitatea reală de recuperare a energiei cu un procent de aproximativ 60%, ceea ce confirmă rezultatele teoretice cu privire la recuperarea de energie, în faza de frânare, care este de peste 65% [3].

Soluțiile tehnice adoptate pot fi promovate în noile echipamente tehnologice, în faza de proiectare, cât și în echipamentele existente, în cazul în care pot fi implementate în faza de reabilitare.

Utilizatorii rezultatelor cercetării sunt producătorii de echipamente tehnologice auto și industriale, cu acționare hidraulică, care pot adopta această tehnologie inovatoare, pentru obținerea de beneficii importante și mari.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Bosch Rexroth Hydrostatic Regenerative Braking System HRB - Hydraulic Hybrid
- [2] [http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/systems/mobile\\_hydraulics\\_systems/hrb/index](http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/systems/mobile_hydraulics_systems/hrb/index)
- [3] Cristescu C, Drumea P., Dumitrescu C. The increasing of the energy efficiency of the motor vehicles by using the hydraulic systems for kinetic energy recovering. In: Proceedings Vol. II of the 10th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO - SGEM 2010, 20 - 26 June 2010, Albena Resort, Bulgaria, pp. 339- 346, ISBN 10: 954-91818-1-2, ISBN 13: 978-954-91818-1-4, Bulgaria, 2010.
- [4] Hirose, K., a.o. Overview of Current and Future Hybrid Technology, ATA vol. 55, no. 11/12, pp. 365-373, 2002.
- [5] Cristescu C. Recuperarea energiei cinetice la frânarea autovehiculelor (The kinetic energy recovering at the braking of the motor vehicles). Editura (Publishing House) AGIR, ISBN 978-973-720-219-2, Bucharest, Romania, 2008.
- [6] Chiappini, E., Recupero di energia cinetica sui veicoli, ATA Ingegneria dell'autoveicolo, pp. 49-54, maggio-giugno, 2005.
- [7] Cristescu, C., Drumea, P., Ion Guta, Dr., Dumitrescu, C., Chirita, C. Mechatronic Systems for Kinetic Energy Recovery at the Braking of Motor Vehicles, Chapter in book Advances in Mechatronics, Horacio Martínez-Alfaro (Ed.), ISBN: 978-953-307-373-6, InTech, Croatia, 2011. Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/mechatronic-systems-for-kinetic-energy-recovery-at-the-braking-of-motor-vehicles>

## Despre autori

Dr. ing. **Corneliu CRISTESCU**

Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000-IHP Bucuresti) – CS I

În anul 1972 a absolvit Facultatea de Inginerie Mecanică din Universitatea de Petrol și Gaze din Ploiești. De la început, a lucrat în domeniul de cercetare-proiectare. În timpul a 42 de ani, a elaborat numeroase de studii, proiecte și lucrări de cercetare în domeniul construcției de mașini, în special în aria echipamentelor cu acționare hidraulică și pneumatică. În acest timp, a publicat peste 230 de articole, 5 cărți tehnice și a obținut 9 brevete de invenție și 12 certificate de inovator. În anul 1998, Corneliu Cristescu a devenit doctor inginer la Universitatea „Politehnica“ din București, iar în anul 2000 a făcut o specializare în Structuri inteligente de roboți și manipolatoare la CISM – Centrul Internațional de Științe Mecanice din orașul Udine, Italia. Acum lucrează ca cercetător științific principal gradul I în cadrul Institutului de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000-IHP) din București.

Dr. ing. **Cătălin DUMITRESCU**

Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000-IHP Bucuresti) – CS I

Este absolvent al Universității „Politehnica“ din București, Facultatea de Inginerie Mecanică, specializarea Echipamente hidro-pneumatice de automatizare și roboți industriali (1997); master inginer (1998). Doctorand în cadrul Facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică, cu o temă referitoare la utilizarea presiunilor ridicate în acționările hidraulice. Are o experiență de 12 ani în domeniul componentelor și sistemelor hidraulice, participând în proiecte de cercetare din cadrul programelor ORIZONT 2000, RELANSIN, CALIST, CEEX, INOVARE, în calitate de director / responsabil de proiect (5 proiecte) sau elaborator.

Dr. ing. **Radu-Iulian RĂDOI**

Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000-IHP Bucuresti) – CS I

Este absolvent al Universității „Politehnica“ din București, Facultatea de Inginerie Mecanică, specializarea Mașini Hidraulice și Pneumatice (2000); studii aprofundate - Informatica sistemelor hidraulice și pneumatice (2001). Diplomă de doctor în cadrul Facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică, cu o temă referitoare la optimizarea performanțelor dinamice ale distribuitorilor electrohidraulice proporționale (2011). Are o experiență de 13 ani în domeniul echipamentelor de reglare electrohidraulice, participând în proiecte de cercetare din cadrul programelor ORIZONT 2000, RELANSIN, CALIST, CEEX, INOVARE, în calitate de director (2)/ responsabil de proiect sau elaborator.

Ing. **Liliana DUMITRESCU**

Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică (INOE 2000-IHP Bucuresti) – CS

A absolvit Facultatea de Inginerie Mecanică din cadrul UPB în anul 1995 și a obținut masteratul la aceeași facultate în anul 1997. Are o experiență de 16 ani în activitatea de cercetare - dezvoltare - proiectare în domeniul hidraulicii și pneumaticii, fiind coautor la mai multe articole și brevete de invenție. A participat ca elaborator la proiecte derulate în cadrul programelor naționale de cercetare (CEEX, AMTRANS, INOVARE etc.).