



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, www.upg-ploiesti.ro

Telefon +40 244 573 171

Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – ÎNGINERIE MECANICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

*Studii și cercetări privind calitatea
lagărelor de alunecare confecționate
din materiale plastice*

REZUMAT

Autor: drd. ing. Mirela ROMANEȚ

Conducător științific: prof. univ. habil. dr. ing. Ion NAE

Ploiești 2025

REZUMAT

Teza de doctorat cu titlul „*Studii și cercetări privind calitatea lagărelor de alunecare confecționate din materiale plastice*” a fost structurată în șapte capitole, cuprinzând rezumat, bibliografie, anexe și index pentru figuri și tabele.

Varietatea mașinilor și utilajelor, impune diferite tipuri de lagăre care se pot diversifica în funcție de destinația utilajului, condițiile funcționale, tipul ungerii, tipul materialelor de execuție etc. Lagărele cu alunecare prezintă o importanță semnificativă în diverse domenii industriale continuând să se dezvolte pentru a răspunde cerințelor moderne ale mecanismelor și utilajelor pe care le deservește.

În acest context, teza de doctorat cu titlul “*Studii și cercetări privind calitatea lagărelor cu alunecare confecționate din materiale plastice*”, abordează problemele unui domeniu semnificativ și inovativ, cel al materialelor antifricțiune utilizate la confecționarea lagărelor cu alunecare, având ca *obiectiv principal evaluarea calității lagărelor cu alunecare confecționate din materiale plastice*.

În primul capitol al tezei de doctorat denumit „*Stadiul actual al cercetărilor privind construcția și funcționarea lagărelor cu alunecare*” s-a efectuat colectarea, sistematizarea și analiza informațiilor din literatura de specialitate referitoare la stadiul actual privind caracteristicile constructive și funcționale ale lagărelor cu alunecare. Analiza efectuată a permis, de asemenea, stabilirea tendințelor actuale și de perspectivă din domeniul construcției și fabricației lagărelor cu alunecare. Majoritatea utilajelor și mecanismelor, necesită lagăre tot mai variate din punct de vedere constructiv, de la o simplă bucășă până la forme foarte complexe.

- Diversitatea condițiilor de funcționare ale lagărelor cu alunecare, precum și dezvoltarea domeniului chimiei materialelor și materialelor avansate, au creat premisele necesare studiului, cercetării și dezvoltării unor materiale specifice care să satisfacă aceste cerințe diverse de lucru.

- Materialele plastice prezintă un larg interes pentru construcția lagărelor cu alunecare, având pe lângă costul scăzut și avantajele unor proprietăți bune de antifricțiune. Această categorie de materiale a cunoscut o largă aplicabilitate în ultimele decenii datorită proprietăților deosebite: greutate specifică redusă în comparație cu oțelul și fonta, rezistență la coroziune în diverse medii, plasticitate ridicată, unele lagăre nu necesită lubrifiere, unele materiale pot fi ecologice, coeficient de frecare scăzut, funcționare cu zgomot redus, tehnologie de prelucrare cu productivitate ridicată, cu operații și consum energetic redus.

- S-a efectuat studiul bibliografic a materialelor utilizate la confecționarea lagărelor cu alunecare. Conform analizei efectuate, se relevă faptul că, materialele plastice ocupă un loc din ce în ce mai important în confecționarea lagărelor cu alunecare pentru aplicații și domenii diverse. Acest fapt este atestat prin proprietățile deosebite pe care le prezintă materialele plastice și de asemenea, prin modul de economisire al materialelor metalice.

- Conform lucrărilor analizate în studiul bibliografic diversitatea tipurilor materialelor utilizate pentru lagărele cu alunecare se referă la: aliaj Cu-Pb, aliaj Sn-Sb-Cu, aliaj antifricțiune Sn-Sb-Cu (Babbitt), aliaj antifricțiune Sn-Sb-Cu pe bază de staniu, aliaj antifricțiune Sn-Sb-Cu pulverizat cu un strat de compozit polimer, poliuretan (PU), îmbunătățit cu particule de politetrafluoroetilena (PTFE), PEEK cu 30% fibră de carbon (PEEK CF30); PEEK cu nanotuburi de carbon (PEEK ELS NANO); compozit polieter-eter-cetonă (PEEK); compozite

pe bază de poliamidă (PA6) armate cu 20% grafit; compozite pe bază de poliamidă PA6, PA66 și PA6 umplute cu fibre dispersate de sticlă (PA6 + 30GF) și carbon (PA6 + 30CF); bisulfură de molibden (PA6 + MoS₂); poliamidă turnată impregnată cu ulei (PA6 + ulei); poliamidă PA politetrafluoretilenă PTFE, polieteretercetonă PEEK, tereftalatul de polietilenă PET; politetrafluoretilenă cu 25% bronz; poliamide (PA), turnate (PA 6G-catalizat cu Na, PA 6G/lubrifiat cu ulei și PA6G-Mg-catalizat); polietilenă cu greutate moleculară ultra mare (UHMW-PE) / oțel inoxidabil AISI 316; polieteretercetonă (PEEK), polibenzimidazol (PBI); poliparafenilen (PPP); compozite CFRP (polimer armat cu fibră de carbon); polimeri de înaltă performanță (HPP); materiale Necuron 651, 702, 1001 etc.

Alegerea materialelor și a suprafețelor de frecare presupune cunoașterea prealabilă a următoarelor elemente: parametrii de exploatare (sarcină, viteză, temperatură etc.); rolul materialului (frecțiune sau antifrecțiune); regimul de ungere (uscată, limită, mixtă, fluidă); tipul de uzare (adeziune, abraziune, pitting, coroziune etc.).

În capitolul al doilea denumit „**Obiectivele tezei de doctorat și planul cercetărilor experimentale**” se prezintă, pe baza analizei studiilor și cercetărilor expuse în capitolul unu, direcțiile programului cercetărilor experimentale proprii, efectuate în scopul realizării obiectivului general al tezei. Obiectivul general al tezei de doctorat a fost reprezentat de *evaluarea calității lagărelor cu alunecare confecționate din materiale plastice*. Pentru îndeplinirea obiectivului general, au fost abordate următoarele *obiective secundare*:

1. *Analiza informațiilor din literatura de specialitate privind caracteristicile lagărelor cu alunecare, respectiv stabilirea tipurilor materialelor utilizate pentru confecționarea acestor organe de mașini.*

2. *Modelarea mecanică a lagărului cu alunecare al utilajului de amestecare CM 120L.*

3. *Cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice ale materialelor utilizate pentru confecționarea lagărelor cu alunecare.*

4. *Cercetarea stărilor de tensiuni din lagărul cu alunecare prin metoda fotoelasticității, metoda tensometriei rezistive, metoda elementului finit.*

5. *Cercetări experimentale privind comportarea în exploatare a lagărelor cu alunecare confecționate din materiale plastice.*

În cel de-al treilea capitol al tezei cu titlul „**Studii și cercetări privind modelarea mecanică a sistemului de încărcare a lagărului cu alunecare**” sunt analizate și cercetate următoarele aspecte: elementele constructive ale lagărului cu alunecare, modelarea mecanică a sistemului de încărcare a lagărului cu alunecare, calculul de rezistență, calculul la durabilitate, determinarea duratei de viață a cuzinetului lagărului cu alunecare, metode de evaluare a tensiunilor lagărului cu alunecare.

Determinările analitice efectuate, precum și cercetările experimentale au avut ca obiectiv stabilirea stărilor de tensiuni și deformații din lagărul cu alunecare a utilajului de amestecare CM 120L.

Pentru evaluarea tensiunilor lagărului cu alunecare s-au utilizat metoda elementelor finite și metoda fotoelasticității.

Referitor la modelarea mecanică a lagărului cu alunecare, studiile și cercetările efectuate, permit formularea următoarelor concluzii:

➤ Pentru studiul comportării lagărului cu alunecare de tip consolă s-a considerat poziția uzuală de funcționare la care axul de simetrie al cuvei formează un unghi de 30° cu orizontala.

➤ Sistemul de forțe ce acționează asupra lagărului cu alunecare tip consolă a utilajului de amestecare CM 120L, este determinat de greutatea cuvei și a amestecului de material.

➤ S-a determinat poziției centrului de greutate a cuvei, încărcate cu amestec, prin aplicarea programului Solidworks.

➤ Au fost calculate și s-a reprezentat dependența eforturilor secționale N , T și M în funcție de gradul de încărcare (100%, 75% și 50%).

➤ Studiul, analiza și sinteza condițiilor de lucru ale utilajului de amestecare au creat premisele realizării un stand experimental pentru lagărul cu alunecare de tip consolă (prezentat în capitolul 6), care să permită cercetarea comportamentului acestui tip de lagăr în condiții controlate.

Pentru calculul lagărului radial de tip consolă s-au parcurs următoarele etape: calculul de rezistență (la încovoiere) al fusului, calculul presiunii de contact (dintre suprafețele fus-cuzinet) și calculul termic (de încălzire a lagărului).

Calculul de rezistență a lagărului cu alunecare a constat în: calculul fusului la încovoiere, verificarea la oboseală a fusului, verificarea cuzinetului la presiunea de contact, verificarea la încălzire a fusului.

➤ S-a stabilit schema sistemului de solicitare a ansamblului fus-cuzinet-cuvă. Secțiunea cea mai solicitată este zona de trecere dintre cuvă și lagăr unde momentul încovoietor M_i este maxim.

➤ S-au evaluat mărimea forțelor aplicate, dimensiunile de calcul stabilite conform sistemului de solicitare și proprietățile materialului din care este fabricat fusul.

Verificarea la oboseală a fusului s-a efectuat în secțiunea cea mai solicitată a acestuia, care este zona adiacentă cuvei utilajului de amestecare. Prin acțiunea sarcinii constante F , fusul rotativ este solicitat la un ciclu alternant simetric. S-a calculat coeficientul de siguranță pentru un ciclu alternant simetric.

Referitor la verificarea cuzinetului la presiunea de contact, s-au analizat două cazuri:

- *perioada de funcționare de rodaj a lagărului* (joc foarte mic);
- *perioada de exploatare*, când se consideră uzura neuniformă a suprafețelor în contact, specifică lagărelor uzate sau cu bușă (cuzinet) din masă plastică (joc mare).

Pentru *cazul perioadei de rodaj*, s-a admis, distribuția presiunii $p = ct$, longitudinal și transversal pe suprafața fusului. Pentru aplicația studiată, presiunea medie de contact dintre fus și cuzinet este $p_m = 0,535 \text{ MPa} < p_a$ - presiunea admisibilă corespunzătoare cuplului de materiale aflate în contact.

Pentru *cazul perioadei de exploatare*, care este specifică lagărelor uzate sau cu bușă (cuzinet) din masă plastică, presiunea se admite că are o variație cosinusoidală. În această situație, presiunea maximă de contact dintre fus și lagăr, este cu 27 % mai mare decât în cazul când nu există joc.

Referitor la verificarea la încălzire a fusului calculul s-a efectuat pe baza determinării valorii produsului ($p \cdot v$), ce garantează condițiile termice normale de funcționare ale lagărului și rezistență la gripare.

Prin aplicația numerică dezvoltată, se poate afirma că parametrii, $(p_m \cdot v)_a$, $(p_m)_a$ și $(v)_a$ confirmă corectitudinea alegerii materialului și dimensionarea lagărului cu alunecare pentru condiții specifice de funcționare, pe baza experiențelor.

Referitor la calculul la durabilitate s-a pornit de la modelul de uzare Archard, prin determinarea coeficientului de uzură. Determinarea coeficientului de uzură este, de obicei, efectuată cu tribometre convenționale pin-on-disk. Metodologia propusă, în cadrul tezei, oferă o abordare diferită pentru determinarea coeficientului de uzură al lui Archard, pentru contactul cilindru în cilindru, care este specific contactului fus-cuzinet (bușă).

Referitor la determinarea duratei de viață a cuzinetului lagărului cu alunecare studiile și cercetările efectuate, permit formularea următoarelor concluzii:

- Calculul duratei de viață se bazează pe un număr mare de teste de laborator și ține seama de anumite date operaționale. Factori semnificativi pentru o durată de viață lungă sunt următorii: valoarea ($p-v$) și proiectarea suprafeței de contact.

- Pentru calcularea duratei de viață a lagărului cu alunecare, fără întreținere, s-a utilizat metodologia prezentată în [97].

- Pentru compararea rezultatelor referitoare la durata de viață a lagărului cu alunecare studiat, s-a utilizat metoda propusă prin programul expert iglidur® Expert System 3.0, [124, 125].

- În aceste condiții, durata de viață a lagărului cu alunecare obținută prin metoda de calcul prezentată în aplicația numerică 5, este de $L_h = 937$ ore, iar prin utilizarea programul expert iglidur® Expert System 3.0, s-a obținut $L_h = 984$ ore. Se constată, că eroarea datelor obținute prin cele două metode este de 4,7%, ceea ce indică o concordanță bună a rezultatelor.

- Se menționează că, durata de funcționare realizată efectiv de un lagăr poate să difere de durata de viață calculată. Durata de viață calculată este o valoare orientativă.

Modelarea cu metoda elementelor finite (MEF) a ansamblului lagărului cu alunecare, a constat în parcurgerea următoarelor etape: definirea (modelarea) geometriei; selectarea materialelor (stabilirea proprietăților de material și a caracteristicilor geometrice); definirea condițiilor de frontieră și a sarcinilor; discretizarea modelului; analiza și interpretarea rezultatelor; validarea modelului.

- S-a realizat modelul tridimensional a ansamblului lagărului cu alunecare care cuprinde componentele: cuzinetul, fusul, arborele și cuva.

- S-au studiat două variante pentru determinarea stării de tensiuni prin MEF: *varianta A* – solicitarea statică și *varianta B* – solicitarea în regim de rotație uniformă. Aceste variante au oferit informații utile privind comportamentul structural al ansamblului lagărului cu alunecare.

- Pentru modelarea și determinarea stării de tensiuni s-a utilizat Programul ANSYS. Pentru modelarea fusului și a cuzinetului s-a folosit elementul SOLID 45 cu 8 noduri care are 3 grade de libertate pe fiecare nod, iar pentru modelarea contactelor dintre fus și cuzinet s-a ales perechea de elemente CONTA 174 – TARG 170. S-a adoptat, tipul de contact flexibil–flexibil.

Referitor la metoda fotoelasticității privind determinarea tensiunilor de contact ale lagărului cu alunecare se fac următoarele aprecieri:

- ♦ În cadrul tezei de doctorat, metoda fotoelasticității este utilizată pentru determinarea cantitativă a tensiunilor, atât pe suprafața discurilor cât și în interiorul acestora, indicând atât zonele de concentrare a tensiunilor, cât și zonele de tensiuni cu un nivel mai scăzut, în care materialul nu este utilizat eficient.

- ♦ Deoarece presiunea de contact scade de la extremitățile cuzinetului spre centrul acestuia, cuzinetul a fost modelat prin două discuri, care sunt solícitate asimetric față de axa fusului.

- ♦ S-au confecționat două modele de discuri având diametrele: $d = 28,2$ mm, $D = 65$ mm și grosimea $h = 5$ mm. Discurile au fost executate din material optic birefringent Araldit D. Valoarea benzii pentru modelele experimentale, stabilită prin încercări de calibrare este $\sigma_0^{1,0} = 11,645$ (N / mm · franje).

Conform analizei prezentate, cuzinetul lagărului poate fi înlocuit cu două bucsi cu guler din material Necuron 1050, deoarece forțele de contact din lagăr au valori mari la extremitățile cuzinetului pe o lungime de maxim (10...15) mm, așa cum s-a constatat din experimentele efectuate. Aceasta propunere ar conduce la economii de material Necuron 1050.

În capitolul patru denumit „*Cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice ale materialului Necuron 1050 utilizat pentru confecționarea lagărelor cu alunecare*” au fost prezentate, analizate și cercetate problemele legate de caracterizarea, din punct de vedere al caracteristicile fizico-mecanice, a principalelor tipurilor de materiale plastice polimerice conform informațiilor din literatura de specialitate.

În acest context, obiectivul acestui capitol este de a analiza și evalua utilizarea materialului Necuron 1050 ca înlocuitor pentru materialele clasice (oțel, fontă, bronz etc.) la fabricarea lagărelor cu alunecare.

Pe baza analizei, prelucrării și sistematizării informațiilor obținute, s-a realizat planul cercetărilor experimentale proprii, referitoare la materialul Necuron 1050, care cuprinde următoarele aspecte: **a)** cercetări experimentale privind determinarea compoziției chimice; **b)** cercetări experimentale privind analiza microstructurală; **c)** determinarea densității; **d)** determinarea durității; **e)** cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la tracțiune (determinarea rezistenței de rupere, a limitei de curgere și modulului de elasticitate longitudinal); **f)** cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la compresiune (determinarea rezistenței de rupere, a limitei de curgere și a modulului de elasticitate longitudinal); **g)** cercetări experimentale privind comportarea la solicitarea la încovoiere (determinarea rezistenței de rupere, a deformației specifice la rupere și a modulului de elasticitate); **h)** încercări experimentale privind determinarea coeficientului de contracție transversală; **i)** încercarea la oboseală rotativă.

S-au studiat și analizat caracteristicile materialului Necuron 1050 în două etape: **a)** pe baza informațiilor din literatura de specialitate; **b)** pe baza informațiilor din fișele tehnice elaborate de diverși producători.

Din analiza informațiilor prezentate în literatura de specialitate [1, 5, 13-16, 30-81, 129-131], se remarcă următoarele aspecte:

- Materialele plastice de tip polimeri prezintă proprietăți diverse: rezistență medie la tracțiune (în unele situații rezistența la tracțiune poate depăși valoarea de 180 MPa, în cazul materialului PEI – polieterimidă), rezistență ridicată la frecare, rezistență medie la impact, rezistență la oboseală, rezistență la agenții chimici rezistență la temperaturi ridicate și scăzute (în unele situații domeniul se încadrează de la -269 °C la + 400 °C, în cazul materialului PI – poliimide), coeficientul de frecare scăzut, funcționează în condiții bune în diferite medii de lucru, proprietăți de izolare electrică bune, ungere prin metode ușoare, atenuarea vibrațiilor, greutate redusă, funcționare cu zgomot redus etc. Aceste proprietăți atestă diversitatea domeniilor în care sunt utilizate materialele plastice.

- Sunt evidențiate și o serie de dezavantaje ale materialelor plastice care se referă la: rezistență mecanică redusă (în comparație cu materialele metalice), coeficientul redus de transmitere a căldurii către exterior, ghidare imprecisă, stabilitate dimensională redusă (mai ales la temperaturi înalte) etc.

Din analiza caracteristicilor materialului Necuron 1050 pe baza informațiilor din fișele tehnice elaborate de diverși producători, se desprind următoarele aspecte:

- ♦ Categoriile de material Necuron sunt diverse (101, 301, 690, 800, 1001, 1050, 1150, 1300 etc.), având ca scop satisfacerea condițiilor de exploatare din diferite domenii industriale.

- ♦ Valorile obținute pentru caracteristicile mecanice (rezistența la compresiune, limita de curgere, rezistența la încovoiere, rezistența la impact, modulul de elasticitate, duritatea Shore etc.) sunt distribuite în limite relativ mari. Această distribuție, într-o gamă largă, poate fi explicată prin diversitatea rețetelor utilizate pentru fabricarea materialelor. De asemenea, modul de prelevare a epruvetelor de încercare poate genera rezultate diferite ale caracteristicilor mecanice.

- ♦ Dacă se consideră ca mărimi definatorii pentru lagărele cu alunecare – rezistența la compresiune, rezistența la încovoiere și rezistența la oboseală – atunci se pot selecta două categorii principale de materiale care îndeplinesc obiectivul vizat al tezei de doctorat și anume Necuron 1050 și Necuron 1300.

Referitor la cercetările experimentale privind determinarea compoziției chimice a materialului Necuron 1050, se fac următoarele aprecieri:

- Determinările experimentale au fost realizate pe probe confecționate din materialul polimeric Necuron 1050 fabricat de firma Necumer-Product din Germania.
- Se constată, din analiza hărții distribuției elementelor chimice pentru proba studiată că oxigenul (35,55%) și carbonul (58,08%) sunt elementele predominante, alături de cantități mai mici de Ca (5,46%), Na (0,45%), Mg (0,27%), Al (0,08%) și Si (0,07 %).

Referitor la cercetările experimentale privind analiza microstructurală a materialului Necuron 1050, se observă structuri complexe pe bază de oxizi fini (Al, Si) distribuiți neuniform și pori de diferite dimensiuni. Structurile formate din oxizi fini (Si, Al) sunt plasate în matrice, cu prezența porilor aglomerati zonal.

Referitor la determinarea densității materialului Necuron 1050, se pot evidenția următoarele:

- Valoarea medie a densității obținută experimental este $\rho_{\text{Necuron},1050} = 1166 \text{ kg/m}^3$.
 - Valorile din literatura de specialitate sunt: $\rho_{\text{Necuron},1050} = 1150 \text{ kg/m}^3$, [177], [184].
- În aceste condiții eroarea relativă este de 1,4 %, ceea ce înseamnă o concordanță bună a rezultatelor obținute.

Referitor la determinarea durității materialului Necuron 1050, se evidențiază următoarele aspecte:

❖ Determinările experimentale s-au efectuat prin măsurători pe epruvete tip disc, prelevate pe două direcții, o direcție longitudinală, respectiv o direcție transversală.

❖ Pentru epruvetele prelevate pe direcție transversală s-a obținut o valoare medie a durității de $D_{\text{Shore},T} = 83,2 \text{ Shore D}$, iar pentru epruvetele prelevate direcția longitudinală s-a obținut valoarea medie a durității $D_{\text{Shore},L} = 83,8 \text{ Shore D}$. Se constată că duritatea determinată pe cele 2 direcții nu variază semnificativ, valoarea medie fiind $D_{\text{ShoreD},\text{Necuron},1050} = 83 \text{ Shore D}$.

❖ S-a comparat valoarea medie obținută, $D_{\text{ShoreD},\text{Necuron},1050} = 83 \text{ Shore D}$, cu datele din literatura de specialitate [184], $D_{\text{ShoreD}} = 82 \text{ Shore D}$. Eroarea relativă este de 1,2 %, ceea ce înseamnă o concordanță bună a rezultatelor obținute.

Referitor la cercetările experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la tracțiune a materialului Necuron 1050, s-au pus în evidență următoarele:

▪ Determinările experimentale ale caracteristicilor mecanice vizează următoarele mărimi: rezistența de rupere (R_m) și limita de curgere (R_c) la tracțiune.

▪ Încercările la tracțiune s-au efectuat conform standardelor ASTM Standard test method for tensile properties of plastics, D638, 2010 Plastics - Determination of tensile properties - ISO 527-1, 2019 [189].

▪ S-au confecționat două categorii de epruvete prelevate din placa de Necuron 1050 prin decuparea unor fâșii paralelipipedice cu dimensiunile de $(500 \times 50 \times 12) \text{ mm}$. Fâșiile au fost decupate, din placa de bază pe două direcții, o direcție transversală (T) și cealaltă direcție longitudinală (L). Încercările s-au efectuat pe mașină de testare a materialelor plastice de tip LRX Plus.

Referitor la cercetările experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la compresiune a materialului Necuron 1050, s-a constatat:

♦ Din punct de vedere a modului în care s-a produs cedarea materialului la solicitarea la compresiune nu s-a constatat apariția unor fisuri vizibile. Materialul s-a deformat continuu până când epruveta s-a aplatizat, tensiunea de compresiune crescând constant, fără să apară nicio fisură bine definită. Au existat situații în care testele au fost întrerupte prematur din cauza defectării fragile a epruvetei.

- ♦ S-au determinat, din analiza curbelor caracteristice forță-deplasare și a rezultatelor experimentale obținute, valorile rezistenței de rupere, a limitei de curgere și a modulului de elasticitate longitudinal.

Referitor la cercetările experimentale privind încercarea la încovoiere a materialului Necuron 1050 au fost analizate și cercetate două scheme de solicitare: a) schema de solicitare a barei cu secțiune dreptunghiulară, simplu rezemată la capete, cu aplicarea unei forțe concentrate (F) la mijlocul deschiderii (L); b) încercări la încovoiere pentru cazul barei încastrate, acționată la capătul liber cu o forță (F).

- ♦ Încercarea la încovoiere a materialelor plastice s-a efectuat conform standardului EN ISO 178: 2003 [192].

- ♦ S-au confecționat două categorii de epruvete, prelevate din placa de Necuron 1050, pe direcție transversală (T) și pe direcție longitudinală (L).

- ♦ Testarea epruvetelor s-a efectuat pe mașina de încercare la întindere și compresiune Lloyd *LRX Plus* [96], prevăzută cu o celulă de forță de 2,5 kN. Epruvetele au fost solicitate până la rupere, cu viteza de încărcare $v = 5$ mm/min.

- ♦ Din punct de vedere a modului în care s-a realizat ruperea epruvetelor studiate se constată că epruvetele s-au rupt brusc. În acest context, materialul Necuron 1050 poate fi încadrat în categoria materialelor fragile.

Pentru *cercetările experimentale privind încercarea la încovoiere a materialului Necuron 1050, pentru cazul barei încastrate*, acționată la capătul liber cu o forță F , se precizează că acest tip de încercare la încovoiere, nu este standardizată, de aceea se constituie ca o contribuție originală privind realizarea determinărilor experimentale.

- Principiul metodei de încercare la încovoiere a materialelor plastice pentru cazul barei încastrate acționată la capătul liber cu o forță F , este similar cu cel prezentat în standardul EN ISO 178: 2003 [192], cu deosebirea că schema de solicitare este particularizată pentru grinda încastrată.

- Efectuarea încercărilor la încovoiere a barei drepte, cu secțiune dreptunghiulară, încastrată la un capăt și acționată la capătul liber cu o forță F , a necesitat concepția, proiectarea și execuția unui dispozitiv original care face obiectul unui brevet de invenție, înregistrat la OSIM, RO – BOPI 135998 9/2022, [198, 199].

- Testarea epruvetelor s-a realizat pe mașina de încercare la întindere și compresiune Lloyd *LRX Plus*, la care s-a montat dispozitivul de încercare la încovoiere a barelor încastrate. Epruvetele au fost solicitate până la rupere, cu viteza de încărcare $v = 15$ mm/min.

Referitor la cercetările experimentale privind determinarea coeficientului de contracție transversală (v) a materialului Necuron 1050, în urma prelucrării rezultatelor obținute, a rezultat valoarea medie, $v_{Necuron,1050} = 0,343$. Informațiile prezentate în literatura de specialitate utilizează ca valori ale coeficientului de contracție transversală $v = 0,38$ (pentru Necuron 1020, [208]), $v = 0,38$ (pentru Necuron 1300, [169, 179]).

Referitor la încercarea la oboseală rotativă a materialului Necuron 1050, cercetările experimentale efectuate au constat în determinarea dependenței dintre valoarea tensiunii aplicate și numărul de cicluri până la ruperea epruvetei.

- ❖ Deoarece nu există un standard pentru încercarea la oboseală rotativă a materialelor plastice, încercările au fost efectuate în conformitate cu prevederile standardului ISO 1143:2021(E), [200], standard dedicat încercărilor materialelor metalice.

- ❖ S-au adaptat forma și dimensiunile epruvetelor, precum și condițiile de încercare la oboseală a materialului Necuron 1050, ținând seama de indicațiile standardului ISO 1143:2021(E).

❖ Pentru testarea epruvetelor s-a utilizat mașina de încercare la oboseală rotativă Walter Bai, [96].

❖ Determinările experimentale efectuate au constatat în stabilirea dependenței dintre valoarea tensiunii aplicate și numărul de cicluri până la ruperea epruvetei; s-a trasat curba la oboseală rotativă a materialului Necuron 1050.

❖ Pe baza curbei la oboseală trasate pentru materialul Necuron 1050 s-a determinat modelul de regresie bazat pe analiza datelor experimentale colectate, model similar cu cele obținute în referințele [203, 204, 205]).

Rezultatele cercetărilor experimentale obținute în capitolul patru au fost diseminate prin publicarea unui articol într-o revistă cotate Scopus, înregistrarea a 3 cereri de brevete de invenție OSIM, 4 participări la conferințe internaționale de invenții, după cum urmează:

- Ion Nae, **Mirela Romanet**, Mihail Bogdan Roth, Ibrahim Ramadan, *A Study on the Use of Necuron-Type Polymer Plastics Utilized for Sliding Bearing Manufacturing*, Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 15, No. 1, pp: 19824-19830, February **2025**, DOI: [10.48084/etasr.9489](https://doi.org/10.48084/etasr.9489) [224] (revistă cotate Scopus);

- Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei bare încastrate acționată de o forță F la capătul liber*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135998 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-**2022**, pp. 34, [198];

- Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei console încastrate cu măsurarea digitală a forței proprii de acționare*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135999 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-**2022**, pp. 34, [241];

- Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, Zisopol Dragoș Gabriel, Diniță Alin, Minescu Mihail, Râpeanu Răzvan George, *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometrie rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citire digitală a forței și a săgeții*, Cerere de brevet de invenție RO BOPI 10/2024, din 30.10.**2024**, pp: 29, [227];

- Bogdan-Roth, **M. Romanet**, M., Zisopol, D.G., Diniță, A., Minescu, M., Râpeanu, R.G., *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometriei rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citirea digitală a forței și a săgeții*, Inventics International Conference - The 27th edition (tuiasi.ro), Inventica, 3-5 Iulie 2024, Iași, România, pp.120-121, ISSN 1844-7880, Medalie de aur, **2024**, [199];

- Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, Zisopol Dragoș-Gabriel, Diniță Alin, Minescu Mihail, Râpeanu Răzvan-George, *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometriei rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citire digitală a forței și a săgeții*, Conferința internațională de invenții, Inventica, 3-5 Iulie 2024, Iași, România, **premiul** - Universitatea Tehnică a Moldovei, **2024**, [239];

- Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, Zisopol Dragoș-Gabriel, Diniță Alin, Minescu Mihail, Râpeanu Răzvan-George, *Stand for the determination of the mechanical and tribological characteristics in static and dynamic regime through the method of resistive tensometry of sliding bearings made of plastic materials intended to work with shafts in the console with its own system of loading and digital reading of the force and arrow*, International Exhibition INVENTCOR 6th edition, 3-5 April 2025, Deva, Romania, Catalogue INVENTCOR 2025.pdf, PowerPoint Presentation-Gold Medal, **2025**, [240];

- Bogdan-Roth, M., **Romanet, M.**, Rîpeanu R.G., *Device for bending recessed console with digital measurement of its own actuation force*, International Exhibition INVENTCOR 6th edition, 3-5 April 2025, Deva, Romania, Catalogue INVENTCOR 2025.pdf, PowerPoint Presentation - Gold Medal, **2025**, [242].

În capitolul cinci denumit „*Cercetări privind comportarea tribologică a materialul plastic Necuron 1050 utilizat la confecționarea lagărelor cu alunecare*” au fost prezentate, analizate, cercetate și interpretate încercările tribologice efectuate în scopul determinării coeficientului de frecare, variației temperaturii și a uzurii gravimetrice la contactul rolă-sabot, pe cuplurile de frecare confecționate din material Necuron 1050, bronz GCuSn14 și oțel 25CrMo4.

Planul determinărilor experimentale cuprinde testele și încercările efectuate pentru determinarea experimentală a microgeometriei suprafețelor epruvetelor de testare, determinarea experimentală a coeficientului de frecare cinetică (cu tribometrul CSM Instruments și la contactul rolă-sabot pe mașina de încercare Amsler), determinarea experimentală a coeficientului de frecare statică (cu dinamometru digital), determinarea experimentală a temperaturii și a uzurii gravimetrice la contactul rolă-sabot.

În aceste condiții, obiectivul acestui capitol este de a analiza și evalua comportarea tribologică a materialului Necuron 1050 în scopul utilizării la fabricarea lagărelor cu alunecare.

Referitor la studiul și analiza microgeometriei suprafețelor pieselor în contact determinările efectuate au constat în stabilirea profilului real al suprafețelor materialelor utilizate în încercările tribologice și anume: Necuron 1050, GCuSn14 și 25CrMo4. Determinările experimentale s-au realizat cu profilometrul Surtronic 3+ din dotarea Laboratorului de Tribologie și Coroziune din Departamentul de Inginerie Mecanică al Universității Petrol-Gaze din Ploiești. Au fost testate câte 3 epruvete, tip disc din fiecare categorie de material (Necuron 1050, GCuSn14 și 25CrMo4). S-a determinat profilograma microgeometriei suprafeței (curba de profil, curba de undulație și curba de portanță) pentru materialul Necuron 1050.

Referitor la cercetările experimentale efectuate pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare s-au efectuat următoarele categorii de încercări: **a)** determinarea experimentală a coeficientului de frecare cinetică cu tribometrul CSM Instruments; **b)** determinarea experimentală a coeficientului de frecare statică cu dinamometru digital; **c)** determinarea experimentală a coeficientului de frecare cinetică la contactul rolă-sabot.

Referitor la cercetările experimentale efectuate pentru determinarea coeficientului de frecare cinetică cu tribometrul CSM Instruments s-au constatat următoarele aspecte:

- ♦ S-au executat două tipuri de epruvete de încercare: epruvetă tip disc, confecționată din Necuron 1050, respectiv epruvetă tip cub confecționată din GCuSn14 și 25CrMo4.

- ♦ Parametrii utilizați pentru efectuarea testului de determinare a coeficientului de frecare cinetică sunt: viteza de rotație a discului, $v = 0,314$ m/s; forța normală aplicată, $F_N = 10$ N; lungimea de frecare $L_f = 6123$ m. Testele s-au efectuat la temperatura ambiantă ($t = 20^\circ\text{C}$) în aer cu 50% umiditate.

- ♦ Din analiza curbei de variație a coeficientului de frecare cinetică pentru cuplul de materiale Necuron 1050 și GCuSn14 se constată că valorile înregistrate se încadrează între $\mu_{cmin, Necuron1050-GCuSn14} = 0,569$ și $\mu_{cmax, Necuron1050-GCuSn14} = 0,593$, valoarea medie fiind $\mu_{cmed, Necuron1050-GCuSn14} = 0,580$. Valorile înregistrate sunt relativ mari, ceea ce indică un regim de frecare intens. Comparând cu datele prezentate în [17], valorile înregistrate ale coeficientului de frecare sunt apropiate de cele obținute în cazul cuplei de frecare formată din oțel-zinc, $\mu = (0,40...0,60)$.

♦ În cazul curbei de variație a coeficientului de frecare cinetică pentru cuplul de materiale Necuron 1050 și 25CrMo4 se constată că valorile înregistrate încadrează între $\mu_{cmin, Necuron1050-25CrMo4} = 0,125$ și $\mu_{cmax, Necuron1050-25CrMo4} = 0,168$, valoarea medie fiind $\mu_{cmed, Necuron1050-25CrMo4} = 0,141$. Valorile înregistrate ale coeficientului de frecare sunt mai mici, ceea ce indică faptul că materialele prezintă o frecare relativ scăzută.

♦ Analizând valorile medii ale coeficientului de frecare cinetică pentru cele două situații studiate (Necuron 1050-GCuSn14 și Necuron 1050-25CrMo4) $\mu_{cmed, Necuron1050-GCuSn14} = 0,580$ și $\mu_{cmed, Necuron1050-25CrMo4} = 0,141$ se constată o micșorare de 4,11 ori. Comparând cu datele prezentate în [17], valorile înregistrate ale coeficientului de frecare sunt apropiate de cele obținute în cazul cuplei de frecare formată din oțel-cupru cu strat de Sn, $\mu = (0,15...0,18)$.

♦ Conform rezultatelor cercetărilor efectuate, va fi utilizată varianta având cuplul de materiale Necuron 1050 și 25CrMo4. Această combinație oferă un echilibru bun între frecare redusă și durabilitate, fiind capabilă să suporte sarcini mari și condiții de operare dificile.

Referitor la cercetările experimentale efectuate pentru determinarea coeficientului de frecare statică cu dinamometru digital, studiile și cercetările efectuate permit formularea următoarelor concluzii:

- Pentru realizarea determinărilor experimentale a fost conceput și realizat un dispozitivul care constituie obiectul unui brevet de invenție [222]. Acest dispozitiv prezintă avantajul unei construcții compacte, putând fi utilizat cu ușurință în laboratoare de cercetare științifică și activități didactice.

- S-au efectuat determinări experimentale pe următoarele cuple de materiale: Necuron 1050 cu oțel 25CrMo4 și Necuron 1050 cu bronz GCuSn14.

- Au fost efectuate 3 seturi de determinări ale coeficientului de frecare statică pentru fiecare dintre cele două cupluri de materiale analizate (Necuron 1050-25CrMo4, Necuron 1050-GCuSn14) la temperatura de 22 °C și o umiditate de RH = 52%. Pentru fiecare set s-au efectuat 20 de determinări. Epruvetele utilizate sunt de tip plăcuță având dimensiunile: $L \times l \times h = 55 \times 10 \times 4$ mm, pentru epruvetele confecționate Necuron 1050 și $L \times l \times h = 15 \times 10 \times 4$ mm, pentru epruvetele confecționate din 25CrMo4.

- S-a determinat, valoarea medie a coeficientul de frecare statică, pentru cuplul de materiale (Necuron 1050-25CrMo4), aceasta fiind $\mu_{s, Necuron1050-25CrMo4} = 0,292$.

- Valoarea medie a coeficientul de frecare la alunecare în regim static rezultată, pentru cuplul de materiale (Necuron 1050-GCuSn14) este $\mu_{s, Necuron1050-GCuSn14} = 0,128$.

Referitor la determinarea coeficientului de frecare cinetică la contactul rolă-sabot studiile și cercetările efectuate, conduc la formularea următoarelor concluzii:

- Încercările experimentale s-au efectuat pe mașina de încercare Amsler A135 din dotarea *Laboratorului de Tribologie din cadrul Universității de Petrol-Gaze din Ploiești*.

S-a utilizat cupla de frecare de tip Amsler având contact pe suprafața cilindrică. Setul de epruvete este format dintr-o rolă cilindrică mobilă și un sabot fix. Epruvetele de tip rolă, au fost confecționate din oțel 25CrMo4, iar epruvetele de tip sabot din Necuron 1050 și bronz GCuSn14. Epruvetele de tip rolă au fost executate în două variante constructive, în funcție de valoarea diametrului exterior, (d): $d_1 = 40$ mm, $d_2 = 30$ mm. Valorile forței de încărcare sunt: $N_i = (196; 245; 490; 735; 980)$ N. Timpul de încercare a fost stabilit pentru intervalele, $t = (1; 2; 3; 4; 5)$ min. S-a studiat variația coeficientului de frecare cinetică (μ_c) în funcție de forța de încărcare pentru cuplele de materiale studiate.

- Încercările experimentale pentru determinarea coeficientului de frecare cinetică s-au efectuat în următoarele variante: a) încercarea sabotului confecționat din Necuron 1050 și rola din oțel 25CrMo4 cu $d = 30$ mm; b) încercarea sabotului confecționat din Necuron 1050 și rola

din oțel 25CrMo4 cu $d = 40$ mm; c) încercarea sabotului confecționat din bronz GCuSn14 și rola din oțel 25CrMo4 cu $d = 40$ mm.

- S-au trasat dependențele $\mu_c = f(N)$ pentru cele trei variante de cuple de încercare.

Referitor la determinarea variației temperaturii la contactul rolă-sabot, s-au efectuat încercări pe mașina de încercare Amsler A135 din dotarea Laboratorului de Tribologie din cadrul Universității de Petrol-Gaze din Ploiești. Printr-o construcție adecvată a sabotului, realizarea unui orificiu prin găurirea epruvetei se poate măsura temperatura în zona centrală de contact sabot-rolă. În acest scop se folosește un termocuplu Cromel-Alumel cu diametrul mantalei de 1,5 mm, având o precizie de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Încercările s-au efectuat la temperatura ambiantă și umiditatea $U = 40\%$.

Mărimile variabile din planului încercărilor experimentale sunt: a) tipul materialelor utilizate pentru confecționarea sabotului și a rolei (Necuron 1050, 25CrMo4, GCuSn14); b) diametrul rolei ($d_1 = 40$ mm, $d_2 = 30$ mm); c) mărimea forței de încărcare $N_i = (490, 735, 980)$ N. Prin combinarea adecvată a acestor mărimi au fost structurate 3 teste de încercare simbolizate $\{T1; T2; T3\}$. S-a măsurat temperatura (t_i) în zona centrală de contact sabot-rolă, la timpul de încercare, $\tau_{inc} = (0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10)$ min, trasându-se dependența $t_i = f(\tau_{inc})$.

Referitor la determinarea uzurii la contactul rolă-sabot, s-a utilizat cupla de frecare de tip Amsler având contact pe suprafața cilindrică. Setul de epruvete este format dintr-o rolă cilindrică mobilă și un sabot fix. Epruvetele de tip rolă, au fost confecționate din oțel 25CrMo4, iar epruvetele de tip sabot din Necuron 1050 și bronz GCuSn14. Epruvetele de tip rolă au fost executate în două variante constructive, în funcție de valoarea diametrului exterior, (d): $d_1 = 40$ mm, $d_2 = 30$ mm. Încercări experimentale s-au efectuat pe mașina de încercare Amsler A135 din dotarea Laboratorului de Tribologie din cadrul Universității de Petrol-Gaze din Ploiești. Uzura sabotilor (u_i) s-a determinat gravimetric prin cântărirea acestora la diferite intervale de timp $\tau_i = (0; 10; 20; 30; 40; 50)$ min, cu ajutorul unei balanțe analitică Tip Mettler H35, având precizia de 0,0001. Instalația de încercare a fost încărcată cu forța $N_i = (490, 735, 980)$ N. S-a determinat dependența $u_i = f(\tau_i)$. Conform datelor obținute prin determinările experimentale ale uzurii cumulate la contactul rolă-sabot, s-a constatat că materialul Necuron 1050 prezintă un comportament mai bun la uzură în condițiile specificate, comparativ cu materialul GCuSn14.

Rezultatele cercetărilor experimentale obținute în capitolul cinci au fost diseminate prin susținerea unui articol la o conferință internațională (lucrare acceptată spre publicare într-o revistă cotate WOS) și înregistrarea a 2 cereri de brevete de invenție OSIM, după cum urmează:

- **Romanet Mirela**, Nae Ion, Rîpeanu George-Răzvan, Mihail Roth Bogdan, *Research on Tribological Behavior of Plastic Material Necuron 1050*, 15th International Conference on Tribology ROTRIB'24, Bucharest, April 18-20, 2024, [225] - lucrare acceptată spre publicare în revista ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering;

- Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, Lambrescu I., Diniță A., *Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static cu două dinamometre digitale*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135901 A0 (51), în RO BOPI 7/2022, [221];

- Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Dispozitiv pentru determinarea coeficientul de frecare la alunecare în regim static cu dinamometru digital*, Cerere de brevet de invenție OSIM, nr. RO 135282, RO-BOPI 10/2021 din 29-10-2021, [222].

În capitolul șase denumit „Cercetări experimentale privind analiza stării de tensiuni a lagărului cu alunecare confecționat din Necuron 1050” au fost prezentate, analizate și cercetate problemele legate de distribuția și analiza stării de tensiuni a lagărului cu alunecare

confecționat din Necuron 1050 utilizând diverse metode: metoda fotoelasticității, determinarea experimentală a tensiunilor radiale a lagărului cu alunecare în consolă prin metoda tensometriei electro-rezistive, analiza tensiunilor lagărului cu alunecare realizat din șapte segmente cu lagărul cu alunecare monobloc prin MEF; analiza stării de tensiuni a cuplei arbore-cuzinet prin metoda elementului finit.

Referitor la analiza stării de tensiuni a lagărului cu alunecare confecționat din Necuron 1050 utilizând metoda fotoelasticității se fac următoarele aprecieri:

- Analiza experimentală a lagărului cu alunecare prin metoda fotoelasticității a avut ca scop stabilirea corelațiilor care apar din punct de vedere al stărilor de tensiuni în condițiile modificării diametrului lagărului și a forței de apăsare ce acționează asupra acestuia.

- Pentru analiza calitativă a stării de tensiuni din lagărul cu alunecare de tip consolă, prin metoda fotoelasticității, a fost proiectat și realizat un stand experimental de solicitare a unui model fotoelastic. Au fost realizate 4 modele fotoelastice pentru cuzinet la care diametrul exterior este $D = 52$ mm. Grosimea peretelui lagărului a fost modificată prin folosirea a patru diametre pentru arborele lagărului de alunecare.

- S-au efectuat cercetări experimentale în condițiile celor 4 variante de modele fotoelastice ale lagărului de alunecare cu următoarele diametre (d): $d = (16; 30; 36; 40)$ mm. S-au utilizat valorile forțelor de încărcare: $F_1 = (107,1; 207,1; 311,2)$ N. În conformitate cu caracteristicile tehnice ale dispozitivului de încercare, forța de apăsare F_2 a arborelui asupra lagărului de alunecare este de 4 ori mai mare, adică $F_2 = (428,4; 828,4; 1244,8)$ N.

- S-a constatat, că odată cu mărirea intensității forței de apăsare F_2 atât numărul izocromatelor cât și unghiul de contact între arbore și cuzinet cresc.

- S-au analizat rezultatele obținute pentru un model fotoelastic de lagăr având diametrul $d = 30$ mm, apropiat de diametrul lagărului studiat al utilajului de amestecare CM 120L ($d = 28$ mm), care a fost solicitat la următoarele forțe de apăsare $F_2 = (428,4; 828,4; 1244,8)$ N.

- Se observă o redistribuire a tensiunilor în secțiunea transversală a lagărului odată cu mărirea diametrului arborelui, numărul izocromatelor și unghiul de contact mărindu-se succesiv.

- Prin analogie cu metoda elementului finit (MEF) se poate constata că există o similitudine între imaginile izocromatelor determinate prin metoda fotoelasticității și harta tensiunilor normale situate în planul frontal al lagărului cu alunecare tip consolă.

Referitor la determinarea experimentală a tensiunilor radiale a lagărului cu alunecare în consolă prin metoda tensometriei electro-rezistive se formulează următoarelor concluzii:

- Pentru determinarea experimentală a stării de tensiuni radiale, în plane normale la axa de simetrie, a lagărul cu alunecare în consolă, s-a proiectat și realizat un dispozitiv experimental care face obiectul cereri de brevet nr. RO BOPI 10/2024, [227].

- Pentru determinarea stării de tensiuni din cuzinetul tip epruvetă, în consolă, realizat din materialul plastic Necuron 1050, s-a procedat la secționarea acestuia în 7 segmente de lățime egală, centrate coaxial prin două tije, astfel încât, să fie în contact fără strângere.

- S-au ales trei mărimi pentru forțele $F_2 = (291,36; 403,2; 418,6)$ N, care au fost aplicate la capătul liber al arborelui lagărului.

- Au fost efectuate determinări experimentale în regim static și în regim de rotație uniformă.

Referitor la analiza prin metoda elementului finit a tensiunilor lagărului cu alunecare realizat din șapte segmente comparativ cu lagărul cu alunecare monobloc, se pun în evidență următoarele aspecte:

- Pentru compararea rezultatelor experimentale obținute prin metoda tensometriei electro-rezistive, a fost realizată modelarea lagărului realizat din 7 segmente cu ajutorul MEF pentru cele 3 forțe de încărcare: $F_2 = (235,2; 306,0; 518,8)$ N.

♦ Pentru lagărul realizat din 7 segmente valoarea maximă a tensiunii obținute este $\sigma_{\max, Oz, 7\text{seg}} = 5,3866$ MPa, iar valoarea minimă $\sigma_{\min, Oz, 7\text{seg}} = -12,767$ MPa.

♦ Pentru lagărul monobloc valoarea maximă a tensiunii obținute este $\sigma_{\max, Oz, \text{mon}} = 6,4032$ MPa, iar valoarea minimă $\sigma_{\min, Oz, \text{mon}} = -15,193$ MPa.

♦ Dacă se consideră ca referință lagărul monobloc, pentru cazul valorilor tensiunii maxime ($\sigma_{\max, Oz, \text{mon}} = 6,4032$ MPa, respectiv $\sigma_{\max, Oz, 7\text{seg}} = 5,3866$ MPa), atunci diferența procentuală este de 18,8 %.

♦ Dacă se consideră ca referință lagărul monobloc, pentru cazul valorilor tensiunii minime ($\sigma_{\min, Oz, \text{mon}} = -15,193$ MPa, respectiv $\sigma_{\min, Oz, 7\text{seg}} = -12,767$ MPa), atunci diferența procentuală este de 18,7 %.

♦ Se constată, comparând cele două cazuri studiate (lagăr realizat din 7 segmente și lagăr monobloc), că starea de tensiuni cu valori înregistrate mai mari s-a obținut pentru varianta lagărului monobloc.

♦ Starea de tensiuni în ambele variante prezintă valori mici, ceea ce demonstrează că înlocuirea unui lagăr de rostogolire, cu un lagăr de alunecare realizat din materialul Necuron 1050 este recomandabilă.

Rezultatele cercetărilor experimentale obținute în acest capitol au fost diseminate prin publicarea unui articol într-o revistă cotate Scopus, și înregistrarea a 2 cereri de brevete de invenție OSIM, după cum urmează:

➤ **Mirela Romanet**, Dragoș Gabriel Zisopol, Mihail Bogdan-Roth, Dragoș Valentin Iacob, *A Study on the Possibility of Replacing Roller Bearings in CM 120L Concrete Mixers with Necuron 1050 Sliding Bearings*, Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 15, No. 1, pp: 19358-19363, February **2025**, DOI: [10.48084/etasr.9489](https://doi.org/10.48084/etasr.9489), [226];

➤ Bogdan Roth Mihail, **Romanet Mirela**, *Stand cu dinamometru pentru cercetarea lagărelor de alunecare din materiale plastice prin metoda fotoelasticității*, Cerere de brevet de invenție OSIM, nr. RO 138544 (A0) BOPI 12/30.12.2024, [234];

➤ Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Aparat pentru analiza experimentală a tensiunilor prin metoda fotoelasticității, cu cameră video digitală de înaltă rezoluție*, Cerere de brevet de invenție OSIM, RO 135997 A0 (51), în BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 33, [238].

În capitolul 7, cu titlul ”**Concluzii generale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare**” sunt precizate principalele concluzii care se desprind din studiile efectuate pe parcursul cercetărilor, sunt prezentate contribuțiile personale din cadrul tezei de doctorat și sunt propuse câteva direcții viitoare de cercetare, pornind de la studiile și rezultatele teoretice și experimentale efectuate de doctorand.

Ca urmare a studiilor și cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat se apreciază următoarele aspecte care constituie contribuția personală a autorului.

A. Studiu bibliografic

• S-a efectuat colectarea, sistematizarea și analiza informațiilor din literatura de specialitate referitoare la stadiul actual privind caracteristicile constructive și funcționale ale lagărelor cu alunecare. Analiza efectuată a permis, stabilirea tendințelor actuale și de perspectivă din domeniul construcției și fabricației lagărelor cu alunecare.

• S-a efectuat studiul bibliografic a materialelor utilizate la confecționarea lagărelor cu alunecare. Conform analizei efectuate, se relevă faptul că, materialele plastice ocupă un loc din ce în ce mai important în confecționarea lagărelor cu alunecare pentru aplicații și domenii diverse.

B. Aplicații. Model de calcul

♦ Aplicație numerică 1. Determinarea diametrului fusului lagărului cu alunecare.

♦ Aplicație numerică 2. Calculul presiunii maxime de contact dintre fus și cuzinet, în cazul perioadei de funcționare incipientă a lagărului cu alunecare.

- ◆ Aplicație numerică 3. Calculul presiunii maxime de contact dintre fus și cuzinet, în cazul perioadei de exploatare a lagărului cu alunecare.

- ◆ Aplicație numerică 4. Determinarea condiției ce caracterizează nivelul de încălzire a lagărului cu alunecare.

- ◆ Aplicație numerică 5. Determinarea duratei de viață a lagărului cu alunecare.

- ◆ Utilizarea software specializat pentru stabilirea duratei de viață a lagărului cu alunecare – programul expert iglidur® Expert System 3.0.

C. Cercetări experimentale - referitoare la materialul Necuron 1050:

- Cercetări experimentale privind determinarea compoziției chimice.

- Cercetări experimentale privind analiza microstructurală.

- Determinarea densității.

- Determinarea durtății.

- Cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la tracțiune (determinarea rezistenței de rupere și a limitei de curgere).

- Cercetări experimentale privind determinarea caracteristicilor mecanice la încercarea la compresiune (determinarea rezistenței de rupere, a limitei de curgere și a modulului de elasticitate).

- Cercetări experimentale privind comportarea la solicitarea la încovoiere (determinarea rezistenței de rupere, a deformației specifice la rupere și a modulului de elasticitate).

- Încercări experimentale privind determinarea coeficientului de contracție transversală.

- Încercarea la oboseală rotativă.

- Determinarea experimentală a coeficientului de frecare cinetică cu tribometrul CSM Instruments.

- Determinarea experimentală a coeficientului de frecare statică cu dinamometru digital.

- Determinarea experimentală a coeficientului de frecare cinetică la contactul rolă-sabot.

- Determinarea experimentală a variației temperaturii la contactul rolă-sabot.

- Determinarea uzurii la contactul rolă-sabot.

- Determinarea experimentală a tensiunilor radiale a lagărului cu alunecare în consolă prin metoda tensometriei electro-rezistive.

D. Conceperea, proiectarea, modernizarea dispozitivelor de încercare

- *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei bare încastrate acționată de o forță F la capătul liber*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135998 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 34, [198];

- *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei console încastrate cu măsurarea digitală a forței proprii de acționare*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135999 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 34, [241];

- *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometrie rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citire digitală a forței și a săgeții*, Cerere de brevet de invenție RO BOPI 10/2024, din 30.10.2024, pp: 29, [227];

- *Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static cu două dinamometre digitale*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135901 A0 (51), în RO BOPI 7/2022, [221];

- *Dispozitiv pentru determinarea coeficientul de frecare la alunecare în regim static cu dinamometru digital*, Cerere de brevet de invenție, nr. 135282, RO-BOPI 10/2021 din 29-10-2021, [222].

- *Stand cu dinamometru pentru cercetarea lagărelor de alunecare din materiale plastice prin metoda fotoelasticității*, Cerere de brevet de invenție OSIM, nr. RO 138544 (A0) BOPI 12/30.12.2024, [234];

- *Aparat pentru analiza experimentală a tensiunilor prin metoda fotoelasticității, cu cameră video digitală de înaltă rezoluție*, Cerere de brevet de invenție OSIM, RO 135997 A0 (51), în BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 33, pp. 33, [238].

E. Modelare, simulare

- Modelarea cu metoda elementului finit a ansamblului lagărului cu alunecare.
- Analiza stării de tensiuni prin metoda elementului finit a cuplei arbore-cuzinet.
- Analiza stării de tensiuni a lagărului cu alunecare confecționat din Necuron 1050 utilizând metoda fotoelasticității.

F. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele studiilor experimentale obținute în cadrul programului de cercetare a tezei de doctorat au fost diseminate prin publicarea a 3 articole (WOS, Scopus), înregistrarea a 7 cereri de brevete de invenție OSIM, 4 participări la conferințe internaționale de invenții (prezentarea acestora fiind realizată la finalul capitolelor 4, 5 și 6).

Cuvinte cheie: lagăre cu alunecare; materiale plastice; Necuron 1050; analiza experimentală a tensiunilor; fotoelasticitate; tensometrie; încercări tribologice; durabilitate; stand experimental.

Bibliografie selectivă

1. Manea, Gh., *Organe de mașini, vol. I*, Editura Tehnică, București, 1970
2. Jula, A., Lateș, M., *Organe de mașini*, Editura Universității din Transilvania, Brașov, 2004
5. Gafițeanu, M., Mocanu, D., Pavelescu, D., ș.a., *Organe de mașini, vol. I*, Editura Tehnică, București, 1981
6. Slatineanu, L., Dodun, O., Nagiț, G., ș. a., *Using the principles of axiomatic design in the development of bushing manufacturing technology*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1174, The 14th International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2021) 23rd-25th June 2021, Lisbon, Portugal, 2021 DOI 10.1088/1757-899X/1174/1/012009
13. Pavelescu, D., Rădulescu, Gh., Gafițeanu, M., Crudu, I., Ghiorghiu, N., *Organe de mașini*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
14. Chișiu, Al., *Organe de mașini*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
15. Constantinescu, V. N., ș. a., *Lagăre cu alunecare*, Editura Tehnică, București, 1980
17. Dumitru Olaru, *Tribologie, cursuri cu aplicații*, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Facultatea de Mecanică, Departamentul de Inginerie Mecanică, Mecatronica și Robotică, 2020, https://mec.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2020/09/DUMITRU-OLARU_TRIBOLOGIE-CURSURI-CU-APLICATII.pdf
59. S. Panda, M. Sarangi, S.K. Roy Chowdhury, *An Analytical Model of Mechanistic Wear of Polymers*, Journal of Tribology, vol. 140, iss. 1, pp. 1–11, 2018, <https://doi.org/10.1115/1.4037136>
62. Mariusz Walczak and Jacek Caban, *Tribological characteristics of polymer materials used for slide bearings*, Journal Open Engineering, April 15, 2021, <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0062>
79. Liviu Marsavina, Anghel Cernescu, Emanoil Linul, ș. a., *Experimental Determination and Comparison of Some Mechanical Properties of Commercial Polymers*, Materiale Plastice, vol. 47, no. 1, pp: 45-89, January 2010
https://www.researchgate.net/publication/267208626_Experimental_Determination_and_Comparison_of_Some_Mechanical_Properties_of_Commercial_Polymers
85. Posea, N., *Rezistența materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
89. Florian, V., *Mecanică teoretică și rezistența materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982

96. *** Utilaje și instalații din dotarea departamentului Inginerie Mecanică, Facultatea Inginerie Mecanică și Electrică, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, 2024
106. Filipe Gomes Vieira, Alexandre S., et al, *Analysis of Stresses in a Tapered Roller Bearing Using Three-Dimensional Photoelasticity and Stereolithography*, Materials (Basel), vol. 12, no. 20, 2019, Oct. 20, doi: [10.3390/ma12203427](https://doi.org/10.3390/ma12203427)
107. Bruno Mose, D. K. Shin, Jeong Hwan Nam, *Experimental Stress Analysis of Spherical Roller Bearing for High-Speed Trains Using Photoelasticity*, Experimental Techniques vol. 7, no. 8, May 2022, DOI: [10.1007/s40799-022-00576-3](https://doi.org/10.1007/s40799-022-00576-3)
159. Jenel Marian Patrascu, Mihaela Amarandei, Karla Noemy Kun, Nicolae Faur, *Compression and Bending Tests in order to Evaluate the Use of Necuron for the Manufacturing of Transtibial Prostheses*, Materiale Plastice, vol. 51, no. 3, pp: 263-266, August 2014, <https://revmaterialeplastice.ro/pdf/PATRASCU%20J.pdf%203%2014.pdf>
162. Adrian Pugna, Romeo Negrea, Emanoil Linul and Liviu Marsavina, *Is Fracture Toughness of PUR Foams a Material Property? A Statistical Approach*, Materials (Basel), 2020 Nov., 13(21), Published online 2020, Oct 30. doi: [10.3390/ma13214868](https://doi.org/10.3390/ma13214868)
169. Ionuț Lambrescu, Mihai Bogdan-Roth, *Static and Transient Stress Analysis of Necuron-Necuron Elliptical Gear Transmission*, U.P.B. Sci. Bull., Series D, vol. 84, issue 1, 2022, https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full9bc_474377.pdf
170. Enis Muratovic, Adil Muminovic, Nedim Pervan, Muamer Delic, Adis Muminovic, Isad Saric, *Assessing Wear Coefficient and Predicting Surface Wear of Polymer Gears: A Practical Approach*, Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 14, issue: 4, pp: 15923-15930, August 2024, <https://doi.org/10.48084/etasr.7421>
179. Bogdan-Roth, M., *Cercetări teoretice și experimentale privind construcția și funcționarea angrenajelor cu roți dințate necirculare confecționate din Necuron 1300*, Teză de Doctorat, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, 2022
198. Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei bare încastrate acționată de o forță F la capătul liber*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135998 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 34
199. Bogdan-Roth, M., **Romanet M.**, Zisopol, D.G., Diniță, A., Minescu, M., Rîpeanu, R.G., *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometriei resistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citirea digital a forței și a săgeții*, Inventics International Conference - The 27th edition (tuiasi.ro), Inventica, 3-5 Iulie 2024, Iași, România, pp.120-121, ISSN 1844-7880, Medalie de aur, 2024
201. Brčić, M.; Krščanski, S.; Brnić, J., *Rotating Bending Fatigue Analysis of Printed Specimens from Assorted Polymer Materials*, Polymers, vol. 13, no. 7, 2021 <https://doi.org/10.3390/polym13071020>
211. Neis, P. D., Ferreira, N. F., Poletto, J. C., Sukumaran, J., Andó, M., & Zhang, Y. *Tribological behavior of polyamide-6 plastics and their potential use in industrial applications*. Wear, vol. 376–377, part B, pp: 1391-1398, 15 April 2017, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.090>
212. Myshkin, N. K., Petrokovets, M. I., *Mechanical behavior of plastics: surface properties and tribology*, in Mechanical Tribology, pp: 69-106, CRC Press, 2004.
216. Deleanu, L., Botan, M., Georgescu, C., *Tribological behavior of polymers and polymer composites*, Tribology in Materials and Manufacturing-Wear, Friction and Lubrication, pp: 1-48, 2021.
217. Brostow, W., Fałtynowicz, H., Gencel, O., Grigoriev, A., Hagg Lobland, H. E., Zhang, D., *Mechanical and tribological properties of polymers and polymer-based composites*, Chem. Chem. Technol, vol. 14, issue 4, pp: 514-520, 2020. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2021/jun/24141/fulltext1039.pdf>
221. Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, Lambrescu I., Diniță A., *Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static cu două dinamometre digitale*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135901 A0 (51), în RO BOPI 7/2022

222. Bogdan-Roth M., **M., Romanet**, *Dispozitiv pentru determinarea coeficientul de frecare la alunecare în regim static cu dinamometru digital*, Cerere de brevet de invenție OSIM, nr. RO 135282, RO-BOPI 10/2021 din 29-10-2021
224. Ion Nae, **Mirela Romanet**, Mihail Bogdan Roth, Ibrahim Ramadan, *A Study on the Use of Necuron-Type Polymer Plastics Utilized for Sliding Bearing Manufacturing*, Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 15, No. 1, pp: 19824-19830, February 2025, DOI: [10.48084/etasr.9489](https://doi.org/10.48084/etasr.9489)
225. **Romanet Mirela**, Nae Ion, Rîpeanu George-Răzvan, Mihail Roth Bogdan, *Research on Tribological Behavior of Plastic Material Necuron 1050*, 15th International Conference on Tribology ROTRIB'24, Bucharest, April 18-20, 2024
226. **Mirela Romanet**, Dragoș Gabriel Zisopol, Mihail Bogdan-Roth, Dragoș Valentin Iacob, *A Study on the Possibility of Replacing Roller Bearings in CM 120L Concrete Mixers with Necuron 1050 Sliding Bearings*, Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 15, no. 1, pp: 19358-19363, February 2025, DOI: [10.48084/etasr.9489](https://doi.org/10.48084/etasr.9489)
227. Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, Zisopol Dragoș Gabriel, Diniță Alin, Mînescu Mihail, Rîpeanu Răzvan George *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometrie rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citire digitală a forței și a săgeții*, Cerere de brevet de invenție RO BOPI 10/2024, din 30.10.2024, pp: 29, https://osim.ro/images/Publicatii/Inventii/2024/bopi_inv_10_2024.pdf
234. Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, *Stand cu dinamometru pentru cercetarea lagărelor de alunecare din materiale plastice prin metoda fotoelasticității*, Cerere de brevet de invenție OSIM, nr. RO 138544 (A0) BOPI 12/30.12.2024
238. Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Aparat pentru analiza experimentală a tensiunilor prin metoda fotoelasticității, cu cameră video digitală de înaltă rezoluție*, Cerere de brevet de invenție OSIM, RO 135997 A0 (51), în BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 33
239. Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, Zisopol Dragoș-Gabriel, Diniță Alin, Mînescu Mihail, Rîpeanu Răzvan-George, *Stand pentru determinarea caracteristicilor mecanice și tribologice în regim static și dinamic prin metoda tensometriei rezistive a lagărelor de alunecare din materiale plastice destinate funcționării mecanismului cu arbori în consolă cu sistem propriu de încărcare și citire digitală a forței și a săgeții*, Conferința Internațională de invenții, Inventica 3-5 Iulie 2024, Iași, România, premiul - Universitatea Tehnică a Moldovei, 2024
240. Bogdan-Roth Mihail, **Romanet Mirela**, *Stand for the determination of the mechanical and tribological characteristics in static and dynamic regime through the method of resistive tensometry of sliding bearings made of plastic materials intended to work with shafts in the console with its own system of loading and digital reading of the force and arrow*, International Exhibition INVENTCOR 6th edition, 3-5 April 2025, Deva, Romania, Catalogue INVENTCOR 2025.pdf, PowerPoint Presentation-Gold Medal, 2025
241. Bogdan-Roth M., **Romanet M.**, *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei console încastrate cu măsurarea digitală a forței proprii de acționare*, Cerere de brevet de invenție OSIM nr. RO 135999 A0 (51), în RO BOPI 9/2022 din 30-09-2022, pp. 34, 2022
242. Bogdan-Roth, M., **Romanet, M.**, Rîpeanu R.G., *Device for bending recessed console with digital measurement of its own actuation force*, International Exhibition INVENTCOR 6th edition, 3-5 April 2025, Deva, Romania, Catalogue INVENTCOR 2025.pdf, PowerPoint Presentation - Gold Medal, 2025