



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Inginerie Tehnologică și Management Industrial

Ing. Valentin-Gabriel SZEKELY

**TITLU (română): CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND  
CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI  
TITLU (engleză): INNOVATIVE RESEARCH REGARDING  
CONSTRUCTION OF HEAVY BEARING CAGES**

Rezumatul tezei de doctorat

Summary of PhD Thesis

Conducător științific

Prof.dr.ing. Romeo CIOARĂ

BRAȘOV, 2020



D-lui (D-nei) Valentin-Gabriel SZEKELY

## **COMPONENȚA**

### **Comisiei de doctorat**

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

PREȘEDINTE:	Prof.dr.ing. Gheorghe OANCEA
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Romeo CIOARĂ
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Miron ZAPCIU
	Prof.dr.ing. Cătălin DUMITRAȘ
	Conf.dr.ing. Cristian PISARCIUC

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa [szekely.valentin.gabriel@unitbv.ro](mailto:szekely.valentin.gabriel@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

Teză de doctorat - Rezumat

---

## CUVÂNT ÎNAINTE

*Investiția în cunoaștere este o investiție sustenabilă și dă întotdeauna rezultate.*

Teza de doctorat intitulată "Cercetări inovative privind construcția coliviilor pentru rulmenți grei" a fost elaborată în cadrul programului de cercetare științifică universitară avansată al departamentului de Inginerie Industrială a Facultății de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, Universității Transilvania din Brașov, unde autorul a fost admis ca doctorand și a efectuat stagiile de pregătire universitară, program care are ca scop dezvoltarea, inovarea și transferul tehnologic.

Cu ocazia publicării curente teze de doctorat doresc să îi transmit pe această cale conducătorului științific de doctorat, domnul prof.univ.dr.ing. Romeo CIOARĂ, grațitudinea mea și cele mai sincere mulțumiri pentru profesionalismul, devotamentul și implicarea de care a dat dovadă pe întreaga perioadă a studiilor doctorale. Sprijinul necondiționat acordat atât în vederea susținerii examenelor teoretice, elaborării rapoartelor de cercetare științifică și a referatelor anuale pentru a fi prezentate în comisiile de evaluare, cererilor de brevet în vederea depunerii acestora la OSIM, a articolelor cu scopul publicării acestora, cât și în vederea elaborării tezei de doctorat a reprezentat un factor de o importanță majoră în formarea mea atât ca tânăr cercetător, cât și ca persoană.

Consider că domnul prof.univ.dr.ing. Romeo CIOARĂ a avut o contribuție relevantă la elaborarea și finalizarea acestei cercetări științifice avansate, prin cunoștințele împărtășite și transmise, îndrumarea succesivă, răbdarea și pasiunea pentru cunoaștere de care a dat dovadă. Îi mulțumesc în același timp pentru oportunitatea de dezvoltare oferită în plan profesional prin cadrul programului de doctorat, dar și pentru susținerea și încrederea acordată în tot acest timp. Prin activitatea desfășurată consider că domnul prof.univ.dr.ing. Romeo CIOARĂ participă activ atât la îndeplinirea misiunii Universității Transilvania din Brașov, cât și la strategia națională de dezvoltarea durabilă prin activitatea de cercetare, inovare și de pregătire a resursei umane specializate.

Adresez mulțumiri deosebite domnului conf.univ.dr.ing. Marian Nicolae VELEA din cadrul Facultății de Inginerie Mecanică, Departamentul Inginerie Mecanică, pentru timpul și suportul acordat, precum și pentru cunoștințele de specialitate oferite în vederea pregătirii și realizării testelor pentru teza de față, teste care oferă o înțelegere aprofundată a posibilității de aplicare a soluțiilor noi inovative de colivii pentru rulmenți grei.

Mulțumesc domnilor profesori referenți științifici, prof.univ.dr.ing. Miron ZAPCIU, Universitatea POLITEHNICA din București, prof.univ.dr.ing. Cătălin Daniel DUMITRAȘ, Universitatea "Gheorghe. Asachi" din Iași, și conf.univ.dr.ing. Cristian PISARCIUC, Universitatea Transilvania din Brașov, pentru acceptul de a fi membri ai comisiei de doctorat și pentru profesionalismul, competența și răbdarea cu care au analizat și evaluat această teză de doctorat.

Pe această cale doresc să le mulțumesc și domnilor prof.univ.dr.ing. Gavrilă CALEFARIU, prof.univ.dr.ing. Tudor DEACONESCU și conf.univ.dr.ing. Cristian PISARCIUC, pentru faptul că au acceptat de a fi membri ai comisiei de îndrumare și ai comisiilor de susținere a rapoartelor științifice. Observațiile, discuțiile și sugestiile formulate au sprijinit studiul de față în vederea îmbunătățirii.

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

---

Sincere mulțumiri adresez atât întregului colectiv al Departamentului de Inginerie și Management Industrial, cât și celui al Scolii Doctorale Interdisciplinare care prin activitatea desfășurată m-au susținut direct sau indirect în vederea desfășurării activității pe întreaga perioadă a studiilor doctorale, implicit la realizarea tezei de doctorat.

Cercetarea experimentală a fost posibilă și datorită implicării domnului ing. Ioan Ovidiu SÂRBU, cărui îi mulțumesc pe această cale pentru sprijinul acordat în vederea realizării seturilor de epruvete.

Totodată țin să mulțumesc familiei și prietenilor apropiați pentru susținerea necondiționată, încrederea acordată și înțelegerea de care au dat dovadă.

Valentin-Gabriel Szekely  
szekely.valentin.gabriel@unitbv.ro

Brașov, septembrie 2020

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

CUVÂNT ÎNAINTE .....	4	5
<b>CUPRINS</b>		
	Rezumat	Teză
<b>1. CAPITOL 1. GENEZA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI .....</b>	<b>9</b>	<b>15</b>
1.1. Geneza temei .....	9	15
1.2. Obiectivele tezei .....	10	16
<b>2. CAPITOL 2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII RULMENȚILOR ȘI A COLIVIILOR ACESTORA .....</b>	<b>12</b>	<b>20</b>
2.1. Istoria, apariția și dezvoltarea rulmenților .....	12	20
2.2. Realizări majore în istoria antică și premodernă .....	12	21
2.3. Momente importante în dezvoltarea rulmenților .....	14	26
2.4. Lagăre de alunecare versus lagăre de rostogolire .....	14	29
2.5. Diversitatea, structura și funcțiile rulmenților și ale coliviilor .....	15	30
2.5.1. Elemente componente ale rulmenților. Generalități .....	15	30
2.5.2. Criterii de clasificare a rulmenților .....	-	32
2.5.3. Clasificarea rulmenților după tipul coliviilor .....	-	36
2.5.4. Rolul coliviilor și elementele componente ale acestora .....	15	36
2.5.5. Funcțiile generale ale rulmenților și ale coliviilor .....	16	38
2.5.6. Funcțiile coliviilor pentru rulmenți grei .....	16	40
2.6. Materiale utilizate la construcția inelelor și a corpurilor rostogolire ale rulmenților. Aspecte generale .....	-	45
2.7. Materiale utilizate la confecționarea coliviilor rulmenților .....	17	46
2.8. Durata de viață a coliviilor rulmenților. Aspecte generale .....	-	50
2.9. Ghidarea coliviei .....	-	52
2.9.1. Colivii pentru rulmenți grei. Studiu de brevet .....	17	52
2.10. Concluzii .....	21	64
<b>3. CAPITOL 3. MODEL MATEMATIC DE MIȘCARE A COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI .....</b>	<b>23</b>	<b>68</b>
3.1. Model de mișcare al unui rulment .....	23	68
3.1.1. Model de mișcare al unui rulment radial .....	23	69
3.2. Energia de exploatare a unui rulment radial .....	25	72
3.3. Concluzii .....	27	76
<b>4. CAPITOL 4. MODEL MATEMATIC DE SOLICITARE STATIC A COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI .....</b>	<b>28</b>	<b>77</b>
4.1. Model de solicitare al coliviei unui rulment radial .....	28	77
4.1.1. Repartiția forțelor externe care solicită un rulment radial .....	28	78
4.1.2. Model ideal de solicitare a unei colivii .....	31	82
4.1.3. Model real de solicitare a unei colivii .....	32	85
4.2. Expresia forțelor care solicită colivia la contactul acesteia cu corpurile de rostogolire .....	36	102
4.3. Exemplu numeric .....	40	107
4.4. Concluzii .....	40	110
<b>5. CAPITOL 5. REZULTATE INOVATIVE PRIVIND CONCEPEREA UNOR SOLUȚII CONSTRUCTIVE NOI ORIGINALE DE COLIVII PENTRU RULMENȚI GREI .....</b>	<b>42</b>	<b>113</b>

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

5.1. Prima soluție identificată de colivie pentru rulmenți grei cu bile. Descriere și analiza procesului de creație tehnică .....	42	114
5.2. Tehnici, metode și demersuri euristice aplicate pentru a dezvolta noi soluții constructive, inovative, de colivii pentru rulmenți grei .....	-	119
5.3. Colivie pentru rulmenți grei cu bile. A doua grupă de soluții constructive .....	45	120
5.4. Colivie pentru rulmenți grei cu role cilindrice .....	48	124
5.5. O privire retrospectivă asupra activității de creație tehnică desfășurată pentru conceperea de soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei .....	53	130
5.6. Concluzii .....	55	134
<b>6. CAPITOL 6. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PE EPRUVETE PRIVIND CARACTERISTICILE DE REZISTENȚĂ ALE PLACĂRII PRIN LIPIRE .....</b>	<b>57</b>	<b>136</b>
6.1. Considerente de bază cu privire la cercetarea experimentală .....	57	136
6.1.1. Etape și activități ale cercetării experimentale .....	-	137
6.2. Proiectarea epruvetelor .....	58	138
6.2.1. Epruvete halteră simple .....	-	139
6.2.2. Epruvete compuse de tip halteră, multistrat .....	-	140
6.2.3. Epruvete „compuse” de tip 2, multistrat .....	-	142
6.3. Echipamente utilizate în cadrul cercetării experimentale .....	58	145
6.4. Adezivi industriali disponibili pentru cercetarea experimentală .....	-	148
6.5. Planificarea cercetării experimentale .....	60	152
6.5.1. Determinarea numărului de încercări .....	-	152
6.5.2. Stabilirea parametrilor variabili studiați .....	60	153
6.6. Realizarea epruvetelor și pregătirea lor pentru teste .....	-	154
6.7. Testarea epruvetelor și achiziția datelor .....	61	157
6.8. Reproiectarea epruvetelor .....	61	162
6.9. Planul de cercetare experimentală cu epruvete reproiectate .....	62	164
6.10. Cercetarea experimentală asupra epruvetelor reproiectate. Rezultate și interpretări .....	63	168
6.10.1. Testarea rezistenței materialului epruvetelor .....	63	168
6.10.2. Testarea epruvetelor compuse de tip 2, varianta constructivă 4 .....	64	169
6.10.3. Testarea epruvetelor compuse de tip halteră, varianta constructivă 4, solidarizate prin lipire cu adezivi industriali .....	66	173
6.10.4. Testarea epruvetelor compuse de tip halteră, varianta constructivă 4, solidarizate prin lipire la cald cu aliaj metalic .....	67	175
6.11. Concluzii .....	68	177
<b>7. CAPITOL 7. CONTRIBUȚII ORIGINALE, FORME DE VALORIFICARE A CERCETĂRII ȘI CONCLUZII FINALE .....</b>	<b>70</b>	<b>180</b>
7.1. Contribuții originale .....	70	180
7.2. Forme de valorificare a cercetării .....	73	183
7.3. Direcții de cercetarea ulterioară .....	74	184
7.4. Concluzii finale .....	75	185
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>80</b>	<b>191</b>

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

<b>FOREWORD</b> .....	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CONTENT</b>		Rezumat Teză
<b>1. CHAPTER 1. THE GENESIS OF THEME AND THESIS OBJECTIVES</b> .....	<b>9</b>	<b>15</b>
1.1. The genesis theme .....	9	16
1.2. Thesis objectives .....	10	16
<b>2. CHAPTER 2. CURRENT KNOWLEDGE STATE OF BEARINGS AND THEIR CAGES</b> .....	<b>12</b>	<b>20</b>
2.1. History, appearance and development of bearings .....	12	20
2.2. Major achievements in ancient and premodern history .....	12	21
2.3. Important moments in the development of bearings .....	14	26
2.4. Sliding bearings versus rolling bearings .....	14	29
2.5. Diversity, structure and function of bearings and their cages .....	15	30
2.5.1. Bearings components. Generalities .....	15	30
2.5.2. Bearings classification criteria .....	-	32
2.5.3. Bearings classification by the type of cages .....	-	36
2.5.4. The role of cages and their components .....	15	36
2.5.5. General functions of bearings and cages .....	16	38
2.5.6. Functions of heavy bearing cages .....	16	40
2.6. Materials used for rings and roller bearings manufacturing. General aspects .....	-	45
2.7. Material used for bearing cages manufacturing .....	17	46
2.8. Bearing cages lifespan. General aspects .....	-	50
2.9. Cage guidance .....	-	52
2.9.1. Cages for heavy bearings. A patent study .....	17	52
2.10. Conclusions .....	21	64
<b>3. CHAPTER 3. MATHEMATICAL MOVEMENT MODEL FOR BEARING CAGES</b> .....	<b>23</b>	<b>68</b>
3.1. Mathematical movement model of a bearing .....	23	68
3.1.1. Movement model of a radial bearing .....	23	69
3.2. Exploitation energy of a radial bearing .....	25	72
3.3. Conclusions .....	27	76
<b>4. CHAPTER 4. STATIC MATHEMATICAL MODEL FOR STRESS OF CAGES FOR BEARINGS</b> .....	<b>28</b>	<b>77</b>
4.1. Cage stress model for a radial bearing .....	28	77
4.1.1. Distribution of external forces which loads a radial bearing .....	28	78
4.1.2. Ideal cage stress model .....	31	82
4.1.3. Real cage stress model .....	32	85
4.2. Expression of forces which stress the cage in its contact point with the rolling bodies .....	36	102
4.3. Numerical example .....	40	107
4.4. Conclusions .....	40	110
<b>5. CHAPTER 5. INNOVATIVE RESULTS REGARDING THE DESIGN OF NEW CONSTRUCTIVE AND ORIGINAL SOLUTIONS OF CAGES FOR HEAVY BEARINGS</b> .....	<b>42</b>	<b>113</b>
5.1. First solution identified of a cage for heavy ball bearings. Description and analysis of the technical creation process .....	42	114

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

---

5.2. Heuristic techniques, methods and approaches applied to develop new constructive, innovative solutions of cages for heavy bearings .....	-	119
5.3. Cage for heavy ball bearings. The second group of constructive solutions .....	45	120
5.4. Cage for heavy bearings with cylindrical rollers .....	48	124
5.5. A retrospective look at the technical creation activity carry out for the design of new constructive solutions of cages for heavy bearings .....	53	130
5.3. Conclusions .....	55	134
<b>6. CHAPTER 6. EXPERIMENTAL RESEARCH ON SPECIMENS REGARDING RESISTANCE CHARACTERISTICS OF PLATING BOUNDED BY GLUING .....</b>	<b>57</b>	<b>136</b>
6.1. Basic considerations regarding experimental research .....	57	136
6.1.1. Stages and activities of experimental research .....	-	137
6.2. Design of test specimens .....	58	138
6.2.1. Simple dog-bone / dumbbell specimens .....	-	139
6.2.2. Compound dog-bone / dumbbell, multilayer specimens .....	-	140
6.2.3. Compound type 2, multilayer specimens .....	-	142
6.3. Equipment used in experimental research .....	58	145
6.4. Industrial adhesives available for experimental research .....	-	148
6.5. Experimental research planning .....	60	152
6.5.1. Determination of the number of attempts .....	-	152
6.5.2. Establishing the studied variable parameters .....	60	153
6.6. Test specimens manufacturing and preparation for tests .....	-	154
6.7. Testing of specimen and data acquisition .....	61	157
6.8. Redesign of test specimens .....	61	162
6.9. Experimental research plan with redesign specimens .....	62	164
6.10. Experimental research on redesign specimens. Results and interpretations. ....	63	168
6.10.1. Testing the strength of specimens material .....	63	168
6.10.2. Testing compound specimens' type 2, constructive variant 4 .....	64	169
6.10.3. Testing compound specimens type dog-bone / dumbbell, constructive variant 4, bounded together with industrial adhesives .....	66	173
6.10.4. Testing compound specimens type dog-bone / dumbbell, constructive variant 4, bounded together by soldering with metal alloys .....	67	175
6.11. Conclusions .....	68	177
<b>7. CHAPTER 7. ORIGINAL CONTRIBUTIONS, FORMS OF CAPITALIZATION OF RESEARCH AND FINAL CONCLUSIONS .....</b>	<b>70</b>	<b>180</b>
7.1. Original contributions .....	70	180
7.2. Forms of capitalization of research .....	73	183
7.3. Directions for further research .....	74	184
7.4. Final conclusions .....	75	185
<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>80</b>	<b>191</b>



## Capitolul 1. GENEZA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI

### 1.1. Geneza temei

Tema prezentei teze de doctorat a fost convenită de comun acord cu conducătorul științific, fiind considerată ca având un potențial științific semnificativ și posibilități, deja întrevăzute la momentul inițial, de elaborare a unor soluții constructive noi inovative potențial eficiente economic și aplicabile în industrie. Tema asumată am apreciat-o ca fiind interesantă și aflată în excelentă legătură cu activitatea profesională desfășurată la momentul începerii studiilor doctorale, abordând probleme de actualitate cu impact major în cadrul industriei pentru fabricarea rulmenților.

Tema este în strânsă relație cu obiectivele și activitatea programelor de studii doctorale desfășurate în cadrul Universității Transilvania din Brașov, încadrându-se excelent în domeniul dezvoltării durabile, domeniu prioritar asumat al cercetării științifice desfășurate în Universitatea Transilvania din Brașov. S-a avut în vedere, încă de la enunțarea temei tezei de doctorat, identificarea aspectelor negative legate de funcționarea și de fiabilitatea coliviilor utilizate în prezent la rulmenții grei și relevarea de soluții constructive specifice aplicabile în domeniu prin studiul atent al literaturii de specialitate dedicate, inclusiv prin studiu de brevet. Aspectele negative relevate trebuie să contureze direcțiile de rezolvare a problemelor identificate și să argumenteze noile soluții propuse.

Soluțiile de colivii existente și preponderent utilizate în prezent – atât pentru rulmenții grei cu bile, cât și pentru rulmenții grei cu role – trebuie atent analizate din punct de vedere al potențialului de dezvoltare și aplicare. S-a avut în vedere selectarea unor soluții de referință care, prin eliminarea aspectelor negative și utilizând potențialul inovativ propriu, să genereze soluții constructive fezabile noi originale.

Odată cu enunțarea temei a fost elaborat și un plan de activități care să direcționeze cercetarea în vederea atingerii obiectivelor acesteia.

Se subliniază că o componentă foarte importantă vizată încă de la început a fost conceperea unor soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei caracterizate de originalitate semnificativă astfel încât să constituie subiect pentru cel puțin o cerere de brevet de invenție. Se urmărește prin aceasta autentificarea oficială a originalității cercetării, dar și un argument evident pentru sintagma "cercetări inovative" prezentă în titlul tezei.

Conceperea unor soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei este un subiect care presupune dezvoltarea abilităților creative, prin însușirea și utilizarea deliberată a unor tehnici și metode de creație tehnică, de preferat unele logice și logico-intuitive. Titlul convenit al tezei de doctorat, „*Cercetări inovative privind construcția coliviilor pentru rulmenți grei*”, reflectă pe deplin atât subiectul cercetării, cât și activitatea creativă imperativă de inovare-inventare pe care aceasta o presupune, însoțită în mod necesar de modelare teoretică și de cercetare aplicativă practică.

Parcurgerea etapelor și materializarea rezultatelor cercetării asigură atingerea obiectivului oricărui program de studii doctorale, și anume de a forma specialiști cu capacitate de a desfășura independent activități de cercetare.

### 1.2. Obiectivele tezei

**Conceperea unor soluții constructive noi de colivii destinate explicit pentru rulmenți grei este obiectivul principal asumat al tezei.**

Îndeplinirea obiectivului principal enunțat, dar și a problemelor conexe care asigură împlinirea acestuia, presupune (extras):

- studiul apariției și evoluției rulmenților, a structurii componente și a funcțiilor acestora, componenta "colivie" fiind vizată cu prioritate;
- destinații, cerințe specifice și particulare, tipuri constructive și durabilitatea impusă rulmenților grei;
- studiul materialelor utilizate la construcția rulmenților, în general, și în particular a materialelor utilizate pentru colivii;
- studiul unor soluții constructive relevante de colivii pentru rulmenți utilizate în prezent, în vederea stabilirii funcțiilor și caracteristicilor pe care noile soluții constructive trebuie să le îndeplinească;
- elaborarea unei prime soluții constructive nouă de colivie pentru rulmenți grei, eventual a unui grup unitar de soluții, ca rezultat al dezvoltării și detalierii unuia dintre conceptele preliminare avute în vedere încă de la enunțarea temei tezei;
- evaluarea originalității soluției (grupului de soluții) elaborate, redactarea unei descrieri de brevet de invenție și înregistrarea cererii la OSIM în vederea obținerii protecției prin brevet;
- analiza procesului de creație desfășurat și identificarea metodelor și tehnicilor de creație utilizate la elaborarea primei soluții constructive originale concepute;
- consolidarea metodelor și tehnicilor de creație deja utilizate și însușirea unora noi, de preferință logico-intuitive și logice<sup>1,2</sup>, utile și necesare la elaborarea unor noi soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei;
- opțional, dar de preferat, repetarea procesului creativ și elaborarea unei (unor) noi soluții constructive originale de colivii pentru rulmenți grei, printr-un proces logic de inovare-inventare;
- evaluarea originalității noilor soluții (grupului de soluții) elaborate, redactarea unei (unor) noi descrieri de brevet de invenție și înregistrarea cererii la OSIM;
- analiza influenței soluției constructive a coliviei și a materialului din care aceasta este utilizată asupra consumului energetic de exploatare a rulmentului;
- studiul modelelor de mișcare cunoscute ale unui rulment, în principal a coliviei, și adecvarea sau conceperea unui model de mișcare în vederea determinării părții care revine coliviei din totalul energiei de exploatare a rulmentului;
- studiul modelelor de solicitare cunoscute ale unui rulment, în principal a coliviei, și adecvarea sau conceperea unui model de solicitare utilizabil la elaborarea unui model de dimensionare a coliviei;
- aplicarea modelului de dimensionare elaborat la dimensionarea uneia dintre coliviile pentru rulmenți grei originală concepută inovativ și analiza rezultatelor;
- cercetare experimentală în vederea validării modelului de dimensionare elaborat și a noilor soluții inovative concepute de colivii pentru rulmenți grei;
- diseminarea informațiilor și aducerea la cunoștința comunității științifice a rezultatelor noi;

---

<sup>1</sup> Belous V. (1992): *Inventica*. Editura Gh. Asachi, ISBN 973-95650-0-X, Iași

<sup>2</sup> Belous V., Plăhteanu B. (2005): *Fundamentele creației tehnice*. Editura Performantica, ISBN 973-730-138-2, Iași

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

- identificarea unor potențiale direcții de cercetare viitoare referitoare la colivii pentru rulmenți grei.

Activitățile enunțate anterior sunt obiective derivate ale tezei și reprezintă principale căi și mijloace directe de atingere a obiectivului principal enunțat.

Totodată, activitățile identificate ca fiind necesare pentru elaborarea tezei determină structura acesteia, capitole avute în vedere fiind:

- "Stadiul actual al cunoașterii referitoare la rulmenți și la coliviile acestora";
- "Destinații, tipuri, soluții constructive și funcții ale coliviilor";
- "Cercetări teoretice și rezultate inovative privind conceperea unor noi colivii pentru rulmenți grei";
- "Modele matematice de mișcare și de solicitare a coliviei";
- "Studii în mediu virtual privind coliviile dezvoltate inovativ"
- "Cercetări experimentale privind construcția și performanțele coliviilor nou concepute";
- "Contribuții originale, forme de valorificare a cercetării și concluzii finale".

În plus, lucrarea va cuprinde un cuprins, un capitol introductiv, o bibliografie și, dacă va fi cazul, un număr de anexe.

Conform programului de cercetare și inovare Horizon 2020<sup>1</sup> dezvoltat la nivel European, prezenta teză de doctorat poate fi încadrată în domeniul de cercetare și inovare "Industrial Leadership - Leadership in Enabling and Industrial Technologies", subdomeniile "Nanotechnologies, Advanced Materials, Advanced Manufacturing and Processing and Biotechnology" și "Advance Manufacturing and processing / Advanced Materials". Subdomeniile menționate sunt încadrate în categoriile de cercetare "Innovation in Manufacturing" și "Innovation in Process Manufacturing".

Dezvoltarea prin cercetare în cadrul proceselor industriale (Innovation in Process Manufacturing) are ca scop satisfacerea nevoilor prezentului și "conservarea resurselor astfel încât să nu se compromită abilitatea de dezvoltare a viitoarelor generații"<sup>2</sup>, aspect complet concordant cu conceptul de dezvoltare durabilă<sup>3</sup>, model de dezvoltare asumat oficial de România<sup>4,5</sup>.

Studiul actual este concordant atât cu strategia Uniunii Europene prezentată anterior, cât și cu misiunea asumată a Universității Transilvania din Brașov, enunțată la un moment dat în chiar primul articol al Cartei universității, aceea „*de a produce și a transfera cunoaștere către societate prin: (1) Cercetare științifică avansată, dezvoltare, inovare și transfer tehnologic, în domeniul Dezvoltării Durabile ...*”. Nu întâmplător institutul de cercetare al universității se numește „Pro-DD” și vizează cu prioritate cercetări pentru dezvoltare durabilă.

<sup>1</sup> \* \* (2014): *European Commission*. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/partnerships-industry-and-member-states>

<sup>2</sup> Harris J.M., Wise T.A., Gallagher K.P., Goodwin N.R. (2001): *A survey of sustainable development*. Island Press, ISBN: 1-55963-862-1

<sup>3</sup> Tureac I. ș.a. (2006): *Dezvoltarea durabilă a produselor în construcția de mașini*. Editura Universității Transilvania, ISBN 973-635-639-6

<sup>4</sup> Ambasador Celeac S., Prof. Univ. Emerit. Dr. Vădineanu A. ș.a. (2018): *Strategia Națională pentru Dezvoltarea Durabilă a României 2030*. Editura Paideia, ISBN 978-606-748-261-4, București, <https://www.edu.ro/sites/default/files/Strategia-nationala-pentru-dezvoltarea-durabila-a-Rom%C3%A2niei-2030.pdf>.

<sup>5</sup> Guvernul României: *Hotărârea pentru completarea Hotărârii Guvernului nr. 313/2017 privind înființarea, organizarea și funcționarea Departamentului pentru Dezvoltare Durabilă*. <http://dezvoltaredurabila.gov.ro/web/dd-ro/> / <https://sgg.gov.ro/new/wpcontent/uploads/2017/10/HG-15.pdf>

## Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII RULMENȚILOR ȘI A COLIVIILOR ACESTORA

Studiul produselor și a proceselor industriale din perspectiva dezvoltării durabile reprezintă un pas major în vederea dezvoltării de noi produse prin cercetare științifică avansată.

Se întreprind continuu studii și cercetări care vizează optimizarea și îmbunătățirea elementelor componente ale rulmenților astfel încât să se asigure performanțe net superioare celor actuale. Se au în vedere costul, durabilitatea, performanța energetică, mentenabilitatea precum și alte caracteristici asemenea care asigură o îmbunătățire a performanțelor. Îmbunătățirea performanței energetice a rulmenților, în particular a rulmenților grei, este un subiect de importanță majoră.

Creșterea performanței energetice a rulmenților prin reproiectarea inelelor și a corpurilor de rostogolire ale acestora este puțin probabilă. Creșterea performanțelor energetice a rulmenților, în particular a celor grei, prin reproiectarea sau conceperea unor noi tipuri de colivii este rar abordată. În vederea conceperii unor noi tipuri de colivii pentru rulmenți, în particular pentru rulmenți grei, este necesară cunoașterea evoluției rulmenților, a funcțiilor lor, a elementelor componente și a materialelor utilizate.

### 2.1. Istoria, apariția și dezvoltarea rulmenților

Rulmentul este un element mecanic care constrânge mișcarea relativă într-o anumită mișcare dorită și reduce fricțiunea între elementele mobile<sup>1</sup>. Prezenta lucrare are în vedere exclusiv rulmenți de rotație „cu corpuri intermediare de rostogolire”. În esență, un rulment are rolul de a diminua forțele de frecare, de a reduce uzura elementelor mobile ale subansamblurilor în care se integrează și de a prelua forțele la care este supus. Diminuarea apreciabilă a forțelor de frecare, și implicit a uzării suprafețelor aflate în contact, este rezultatul înlocuirii frecării de alunecare cu frecare de rostogolire.

Avantajele frecării de rostogolire comparativ cu frecarea de alunecare sunt cunoscute încă din timpuri îndepărtate, principala aplicație fiind reducerea apreciabilă a efortului la deplasarea corpurilor (foarte) grele. Deși se speculează<sup>2</sup>, nu există evidențe clare cu privire la utilizarea roților sau a roletelor în perioada preistorică. Totuși este posibil ca omul să fi utilizat diverse elemente din mediul înconjurător cu scopul de a deplasa diverse obiecte. Există însă dovezi semnificative<sup>3</sup> cu privire la utilizarea în antichitate (perioada civilizației) a roților și a roletelor pentru a înlocui frecarea de alunecare cu cea de rostogolire.

### 2.2. Realizări majore în istoria antică și premodernă

Existența și utilizarea rulmenților se identifică cu mult înaintea perioadei industriale.

Există dovezi cu privire la dezvoltarea rulmenților cu bile și role încă din perioada civilizațiilor clasice, și anume între anii 900 î.e.n. și 400 e.n.<sup>4</sup> Egiptenii au folosit o formă de lagăre sau role pentru a transporta blocurile masive de piatră utilizate la construcția piramidelor<sup>5</sup> încă de acum 2600 de ani<sup>6</sup>.

Romanii au dezvoltat exemple interesante de proto-rulmenți, chiar impresionante. Cea mai

<sup>1</sup> \* \* \* (2018): *Rulment*. Wikipedia, <https://ro.wikipedia.org/wiki/Rulment>

<sup>2</sup> Dowson D., Hamrock B. J. (1981): *History of Ball Bearing*. NASA Technical Memorandum 81689

<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> idem

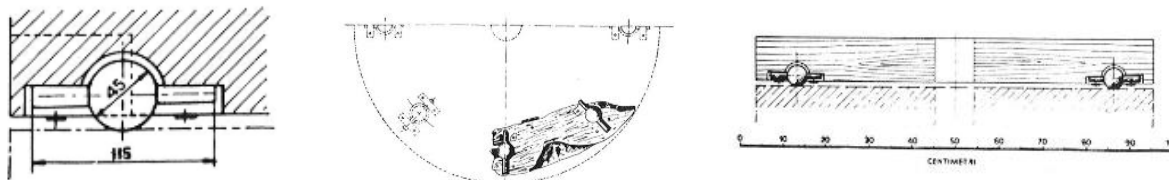
<sup>5</sup> Dieter A. (1991): *Building in Egypt. Pharaonic Stone Masonry*. Oxford University Press, ISBN 0-19-506350-3, p. 273

<sup>6</sup> \* \* \* (2016): *Bearing Time Line*. American Bearing Manufacturing Association, [https://www.americanbearings.org/page/bearing\\_timeline](https://www.americanbearings.org/page/bearing_timeline)

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

spectaculoasă descoperire cu privire la existența rulmenților provine din lacul Nemi, 29 km sud-est de Roma, unde au fost descoperite epavele a două corăbii. Au fost identificate un număr de obiecte de bronz și lemn, printre care și o platformă din lemn cu bile (rulment axial cu bile) (Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Reconstrucție a unei platforme rotative din lemn cu bile de bronz de pe nava din Lacul Nemi (circa 50 e.n.)<sup>1</sup>

Pentru perioada renașcentistă, circa 1500 e.n., dovezile nu se bazează doar pe descoperirile arheologice. Manuscrise și cărți fac dovada gradului de dezvoltare și de cunoaștere din acea perioadă. Leonardo da Vinci a efectuat diverse studii în domeniul tribologiei și descrie un tip de rulment cu role (Figura 2.2). Majoritatea studiilor de natură tehnică efectuate de Leonardo da Vinci în domeniul tribologiei au fost incluse în Codex Madrid (Madrid Codices)<sup>2</sup>.



**Figura 2.2.** Schema pentru un rulment cu bile realizată de Leonardo da Vinci<sup>3</sup> și un model 3D modern<sup>4</sup>

În perioada preindustrială (renașcentistă) avantajele frecărilor de rostogolire versus celor de alunecare erau clar recunoscute. În 1699 Guillaume Amontons publică studiile sale cu privire la legile fricțiunii, abordate inițial de către Leonardo da Vinci<sup>5</sup>. În 1781 legile fricțiunii sunt reverificate de către Charles-Augustin de Coulomb<sup>6</sup>. Ilustrații cu privire la rulmenți de tip disc – role au fost realizate de Georgius Agricola în 1556<sup>7</sup> și de Agostino Ramelli în 1588<sup>8</sup>.

În perioada secolelor al XVII-lea și al XVIII-lea fenomenele de frecare, inclusiv de rostogolire, sunt din ce în ce mai des studiate. Robert Hooke a exprimat anumite ipoteze cu privire la forțele de frecare care apar în lagăre. În 1734 regele George al II-lea al Marii Britanii îi acordă lui Jacob Rowe

<sup>1</sup> Dowson D., Hamrock B. J. (1981): *History of Ball Bearing*. NASA Technical Memorandum 81689

<sup>2</sup> Leonardo da Vinci (1493): *Tratado de Estatica y Mechanica en Italiano („Codex Madrid I“)*. Manuscris (republicat de McGraw-Hill Book Company, 1974)

<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> \* \* \* (2019): *Leonardo da Vinci Inventions*. <http://www.leonardodavincisinventions.com/mechanical-inventions/leonardo-da-vinci-ball-bearing/>

<sup>5</sup> Wang Q.J., Chung, Y.W. (2013): *Encyclopedia of Tribology*. Springer, ISBN 978-0-387-92896-8, p. 71

<sup>6</sup> Wang Q.J., Chung, Y.W. (2013): *Encyclopedia of Tribology*. Springer, ISBN 978-0-387-92896-8, p. 1384

<sup>7</sup> Hoover H.C., Hoover L.H. (1912): *Georgius Agricola De Re Metallica*. Salisbury House (Translated from the first edition of 1556)

<sup>8</sup> Ramelli A. (1588): *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli (The Various and Ingenious Machines of Captain Agostino Ramelli)*, <https://digital.sciencehistory.org/works/4b29b614k>

patentul britanic 543 pentru un tip de rulment cu role ("friction-wheels") care putea fi utilizat într-o diversitate de aplicații ale acelei perioade.

În 1794 Philip Vaughan realizează primul model pentru un rulment cu bile, acesta fiind și brevetat. Acesta este de astfel primul brevet cu privire la un rulment cu bile, principala destinație a acestuia fiind pentru axul arborilor trăsurilor.

### 2.3. Momente importante în dezvoltarea rulmenților

Evoluția industrială, cercetările întreprinse și extinderea continuă a utilizării rulmenților a determinat necesitatea apariției și creșterii capacităților de producție specifice. De-a lungul timpului au apărut și s-au dezvoltat o serie de companii industriale producătoare de rulmenți, adesea având ca punct de plecare unul sau mai multe brevete ale fondatorilor respectivelor companii, precum și asociații naționale și internaționale în domeniu. Relevante sunt următoarele momente istorice (extras):

- 1883 – Friedrich Fischer proiectează și realizează o mașină de rectificat bile care asigură o precizie ridicată a acestora, dar și o producție de masă în același timp. Anul 1883 este anul oficial în care ia naștere compania FAG<sup>1</sup>;
- 1890 – Charles Arthur Barrett înființează compania Preston Davis Ball Bearing Co., în urma identificării cerinței ridicate pentru bile necesare în industria de biciclete<sup>2</sup>;
- 1898 – Charles Arthur Barrett cumpără licența de fabricare a bilelor pentru Anglia și Europa de la firma E.G. Hoffman și astfel ia naștere compania Hoffmann Manufacturing Co., în Chelmsford<sup>3</sup>;
- 1898 – Se înființează compania Timken Roller Bearing Axle Co. În același an este eliberat și primul brevet al firmei Timken, referitor la un rulment cu role conice<sup>4</sup>;
- 1902 – Este eliberat primul brevetul britanic (cu numărul 15131) pentru un rulment cu un rând de bile, către compania E.G. Hoffman<sup>5</sup>;
- 1906-1907 – Sven Wingquist concepe primul rulment cu bile cu auto-aliniere și ia naștere compania A.B. Svenska Kullagerfabriken (SKF).

### 2.4. Lagăre de alunecare versus lagăre de rostogolire<sup>6</sup>

Lagărele de alunecare, reprezintă organe de mașini care asigură rezemarea pieselor cu mișcare de rotație sau translație, după caz, preiau forțe și funcționează utilizând frecările de alunecare. Frecările de alunecare au loc între corpul lagărului și cuzinet, cele două fiind separate printr-un al treilea mediu, aer sau lubrifiant, după caz.

Rulmenții, exemple în **Figura 2.3**, reprezintă organe de mașini care asigură rezemarea pieselor cu mișcare de rotație sau translație, după caz, preiau forțe și funcționează utilizând principiul frecării de rostogolire. În cadrul unui rulment corpurile de rostogolire (bile, role sau ace) sunt poziționate la distanțe egale între ele, această funcție fiind asigurată de colivie.

<sup>1</sup> Derdak T. (2004): *International Directory of Company Histories*. James Press, ISSN 1557-0126, Volume 62

<sup>2</sup> Dowson D., Hamrock B. J. (1981): *History of Ball Bearing*. NASA Technical Memorandum 81689

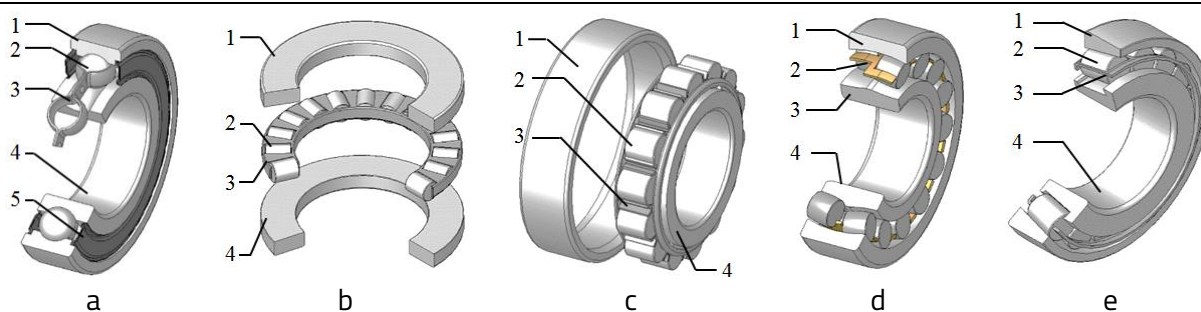
<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> Timken H., Heinzelman R. (1898): *Roller bearing for vehicles*. Brevet US 606,635

<sup>5</sup> Dowson D., Hamrock B. J. (1981): *History of Ball Bearing*. NASA Technical Memorandum 81689

<sup>6</sup> \* \* \* (2012): *General Catalogue*, NKE Bearings, Im Stadtgut C4 Steyr, Number 04, Austria. . [https://www.nke.at/fileadmin/user\\_upload/material/brochures/NKE\\_Hauptkatalog\\_General\\_Catalogue.pdf](https://www.nke.at/fileadmin/user_upload/material/brochures/NKE_Hauptkatalog_General_Catalogue.pdf)





**Figura 2.3.** Elementele componente ale rulmenților (a – cu bile; b, c, d, e – cu role) <sup>1,2,3</sup>

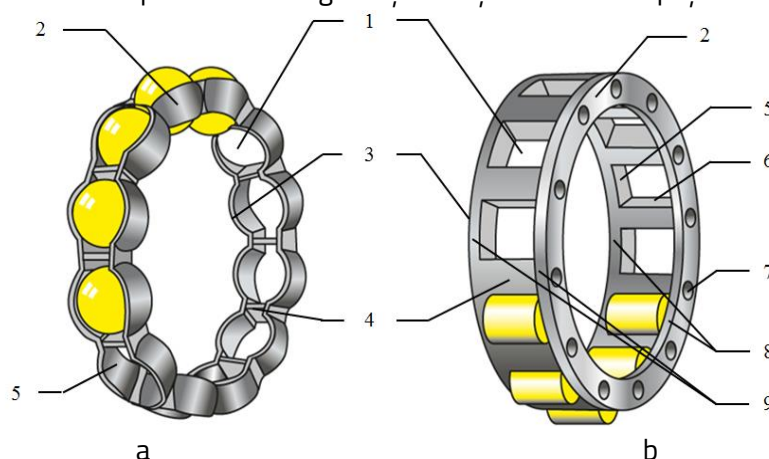
Datorită diversității largi a rulmenților și a aplicațiilor în care se încadrează aceștia, rulmenții grei sau „de dimensiuni mari sunt considerați, de obicei, acei rulmenți cu alezajul mai mare de 300 mm” <sup>4</sup>, aceștia prezentându-se în general sub forme speciale, utilizați în componența turbinelor eoliene, hidrocentralelor, utilajelor și mașinilor de dimensiuni mari, laminatoarelor etc.

## 2.5. Diversitatea, structura și funcțiile rulmenților și ale coliviilor

Utilizând același principiu de bază, și anume înlocuirea frecării de alunecare cu frecare de rostogolire, există o largă diversitate de rulmenți. Aceștia pot avea *diferite dimensiuni și forme constructive și pot fi realizați dintr-o multitudine de materiale*<sup>5</sup>. Deși este în general cunoscută, o prezentare sintetică a clasificării rulmenților este utilă și pentru lucrarea de față.

### 2.5.4. Rolul coliviilor și elementele componente ale acestora

Colivia este parte componentă a unui rulment și are rolul principal de a asigura repartizarea uniformă și la distanțe egale a corpurilor de rostogolire în spațiul cuprins între căile de rulare ale inelelor rulmentului. Pe lângă funcția de bază, coliviile asigură și ghidarea corpurilor de rostogolire (bile, role sau ace) pe căile de rulare, lubrifierea corpurilor de rostogolire și retenția acestora în spațiul dintre inelele rulmenților.



**Figura 2.4.** Elementele componente ale coliviilor<sup>6</sup> (a – colivie pentru bile; b – colivie pentru role)

<sup>1</sup> Rabinovici I., Badea G., Anghel A., Ioniță N., Nibeleanu Ș. (1977/1972): *Rulmenți*. Editura Tehnică, București

<sup>2</sup> Madsen D.A., Madsen D.P. (2012): *Engineering Drawing & Design*, Delmar, ISBN-13: 978-1-111-30957-2, p. 709 - 726

<sup>3</sup> Gafițanu M., Năstase D., Crețu S.P., Olaru D. (1985): *Rulmenți. Proiectarea și tehnologie*. Editura Tehnică, București

<sup>4</sup> Gafițanu M., Năstase D., Crețu S.P., Olaru D. (1985): *Rulmenți. Proiectarea și tehnologie*. Editura Tehnică, București, Vol. 1, p. 40

<sup>5</sup> U.S. Customs and Border Protection. (2012): *The Classification of Ball Bearings, Roller Bearings and Parts Thereof*. <https://www.cbp.gov/sites/default/files/assets/documents/2018-Mar/ballbearings.pdf>

<sup>6</sup> \* \* \* (2016): *Rolling element Bearing*, KSB, <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/rolling-element-bearing/191386/>

Coliviile, **Figura 2.4**, sunt formate dintr-o serie de locașuri (1) destinate corpurilor de rostogolire, inele laterale (2 și 3), bare transversale (4), suprafețe laterale de contact (5), suprafețe de contact plane (6), elemente de asamblare (7) și suprafețe pilot de ghidare pentru inelul interior (8) și/sau exterior (9) ale coliviei.

Locașurile (1) ale coliviilor asigură ghidarea și repartizarea uniformă a corpurilor de rostogolire în cadrul rulmentului, limitarea gradelor de libertate ale acestora și creșterea semnificativă a preciziei de ghidare.

### 2.5.5. Funcțiile generale ale rulmenților și ale coliviilor

Funcțiile reprezintă o însușire sau o sumă de însușiri de bază pe care un produs sau o componentă a unui produs trebuie să le îndeplinească în raport cu utilizatorul. Acestea indică valoarea de întrebuițare materială a unei componente sau a unui subansamblu de componente care alcătuiesc produsul în esența sa materială<sup>1</sup>. Funcțiile sau însușirile de bază ale unui produs pot fi clasificate în caracteristici tehnice, funcționale, legate de disponibilitate, economice, ergonomice, de mediu, psihosenzoriale, estetice etc.

### 2.5.6. Funcțiile coliviilor pentru rulmenți grei

Funcțiile coliviilor rulmenților sunt în genere cunoscute, dar un studiu sistematic asupra acestora nu a fost identificat prin cercetarea documentară efectuată în vederea elaborării prezentei teze. Ca urmare a fost elaborat un studiu referitor la funcțiile coliviilor<sup>2</sup>, cu accent asupra coliviilor pentru rulmenți grei, care se prezintă în sinteză în cele ce urmează.

#### • Funcții principale de exploatare:

<b>Funcția A</b>	- Asigură dispunerea egal distanțată a corpurilor de rulare	(F.O.)
<b>Funcția B</b>	- Asigură rezistență	(F.O.)
<b>Funcția C</b>	- Asigură rigiditate	(F.O.)
<b>Funcția D</b>	- Este fiabilă	(F.O.)
<b>Funcția E</b>	- Are durabilitate	(F.O.)
<b>Funcția F</b>	- Are precizie	(F.O.)
<b>Funcția G</b>	- Condiționează consumurile energetice de exploatare	(F.O.)
<b>Funcția H</b>	- Asigură lubrifiere	(F.O.)
<b>Funcția I</b>	- Asigură reducerea uzurii	(F.O.)

#### • Funcții secundare de exploatare:

<b>Funcția K</b>	- Asigură preluarea de forțe	(F.O.)
<b>Funcția L</b>	- Asigură doar mobilitatea utilă a roților / bilelor	(F.O.)
<b>Funcția M</b>	- Este interschimbabilă	(F.O.)

#### • Funcții principale de fabricație:

<b>Funcția N</b>	- Este tehnologică	(F.O.)
<b>Funcția O</b>	- Implică un grad specific de complexitate tehnologică	(F.O.)

<sup>1</sup> Tureac I., Butiseacă N., Orzea V. (2002): *Ingineria Valorii*. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 973-9474-44-6, p. 252

<sup>2</sup> Szekely V.G. (2016): *Functions of Heavy Bearing Cages (Part I)*. Recent, ISSN 1582-0246, Vol. 17, No. 1(47), p. 41-48, <http://www.recentonline.ro/047/Szekely-R47.pdf>



---

**• Funcții principale post-utilizare:**

<b>Funcția Q</b>	- Are material reutilizabil	(F.O.)
<b>Funcția R</b>	- Are impact asupra mediului înconjurător	(F.S.)
<b>Funcția S</b>	- Necesită consum energetic post-exploatare	(F.O.)

Majoritatea funcțiilor sunt interconectate, astfel încât în momentul optimizării rezistenței coliviei prin reproiectare sau înlocuirea materialului există posibilitatea să fie afectate negativ sau pozitiv alte funcții ale coliviei. Rezistența, rigiditatea și precizia sunt funcții care pot fi influențate de materialul sau materialele folosite în componenta constructivă a coliviilor, de modul de proiectare și de toleranțele de execuție. Soluția constructivă și materialul utilizat au influență directă asupra consumurilor energetice de exploatare.

## 2.7. Materiale utilizate la confecționarea coliviilor rulmenților

Coliviile se pot realiza dintr-o multitudine de materiale<sup>1</sup>, tipul materialului având un impact direct asupra soluției constructive, structurii și rezistenței acestora.

Coliviile de dimensiuni medii și mari, destinate rulmenților grei, au diametrul mediu  $d_m \geq 300$  mm, acestea putând fi de tip monobloc sau formate dintr-un număr de secțiuni interconectate. Pentru realizarea lor se utilizează predilect procese tehnologice de turnare urmate de frezare.

Materialele principale utilizate pentru confecționarea coliviilor, sunt următoarele:

- Tabla de oțel – utilizată pentru fabricarea semicoliviilor ambutisate;
- Alama, bronzul, aliaje ale aluminiului, oțeluri și materiale compozite – utilizate la fabricarea semicoliviilor turnate și ulterior prelucrate mecanic prin așchiere;
- Poliamida 6.6, poliamida 4.6, polieter-eter-cetona, rășini fenolice precum și alte materiale plastice – sunt utilizate la obținerea prin injectare a coliviilor masive din mase plastice;
- Textolitul – este utilizat la fabricarea coliviilor masive pentru aplicații speciale, care necesită ghidarea mult mai precisă a rolor. Textolitul asigură condiții de funcționare caracterizate de turații și temperaturi mari.

### 2.9.1. Colivii pentru rulmenți grei. Studiu de brevet

Prezenta teză de doctorat urmărește în mod explicit identificarea unor soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei cu performanțe superioare, rezultate fie prin optimizarea unor soluții cunoscute utilizate în practica curentă, fie prin identificarea unor soluții noi inovative. Ca obiective ale cercetării, sunt avute în vedere:

- reducerea semnificativă a costurilor coliviilor pentru rulmenți grei;
- minimizarea consumurilor de materiale scumpe, deficitare;
- creșterea fiabilității coliviilor pentru rulmenți grei. Se urmărește reducerea costurilor de întreținere și reparare a acestor rulmenți, și implicit reducerea costurilor de mentenanță ale sistemelor tehnice în care aceștia sunt integrați;
- reducerea consumurilor energetice de exploatare a rulmenților grei, deci creșterea randamentului lor de funcționare;
- conservarea pe cât posibil a tehnologiei de fabricare uzuală, în scopul evitării costurilor cerute de

---

<sup>1</sup> Szekely V.G. (2016): Courses of Action to Optimize Heavy Bearings Cages. IManEE, Doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012008, Volume 161, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012008/pdf>

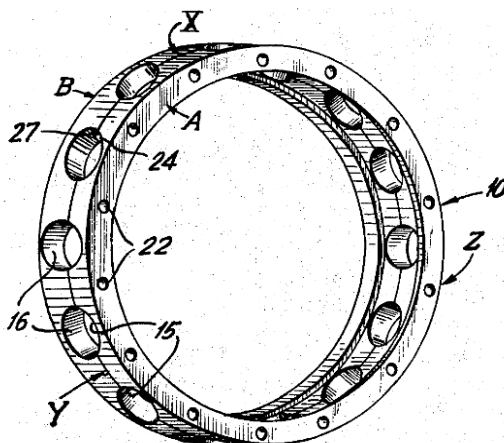
o eventuală nouă tehnologie.

Esențiale sunt obiectivele „*cost cât mai mic*” – cel care asigură în general competitivitate crescută, și „*fiabilitate*” – adică siguranță în exploatare pe o perioadă cât mai îndelungată, echivalentă cu „*costuri de exploatare cât mai reduse*”, acestea fiind în principal determinate de costurile de întreținere, reparare și eventual de înlocuire a rulmentului, la care se adaugă pierderile datorate staționării centralei eoliene. Oricare alt obiectiv avut în vedere pentru un rulment greu se subordonează obiectivului „*cost minim*” și constituie soluție tehnică sau de management care asigură îndeplinirea obiectivului principal.

Au fost reținute pentru studiu detaliat 90 de brevete de invenție, a se vedea **Anexa 2.1** atașată tezei integrale, apărute pe parcursul a peste 100 de ani. În studiul care se prezintă în continuare sunt descrise succint detalii de construcție referitoare la 10 dintre brevetele de invenție studiate. Acestea cuprind soluții uzuale tipice, colivii monobloc, colivii din componente modulare, colivii cu strat suplimentar antifricțiune, colivii care favorizează lubrifierea și colivii armate.

### *Soluții uzuale tipice de colivii*

Brevetul US 3471208<sup>1</sup>, eliberat în anul 1969, prezintă o colivie concepută pentru lagăre cu bile, aceasta fiind realizată din două inele (A și B, **Figura 2.5**). Invenția vizează asigurarea alinierii cu precizie ridicată a celor două inele care formează prin asamblare colivia.



**Figura 2.5.** Colivie conform US 3471208<sup>2</sup>. Vedere

### *Colivii monobloc*

Prin brevetul US 1765648<sup>3</sup>, datând din anul 1930, se propune o soluție constructivă de colivie masivă pentru rulmenți radiali cu role pe un rând (**Figura 2.6**) care urmărește „*reducerea apreciabilă a costurilor de fabricație*”. Colivia este monobloc, realizată prin deformare plastică sau prin turnare, și elimină nevoia de asamblare prin nituire a două componente, ceea ce contribuie la reducerea costurilor de fabricație și asamblare.

Este urmărită și minimizarea suprafeței de contact dintre role și colivie. Pentru aceasta materialul coliviei aflat în zonele care separă fiecare două locașuri (6) vecine este deformat controlat

<sup>1</sup> Vannest J.L. (1969): *Positive alignment feature for split ring bearing retainers*. Brevet US 3471208

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> Bott G.R. (1930): *Roller Bearing Cage*. Brevet US 1765648

astfel încât să se asigure „o singură linie de contact între role și pereții laterali ai locașurilor respective”, pe o lungime mai mică decât lungimea rolor.

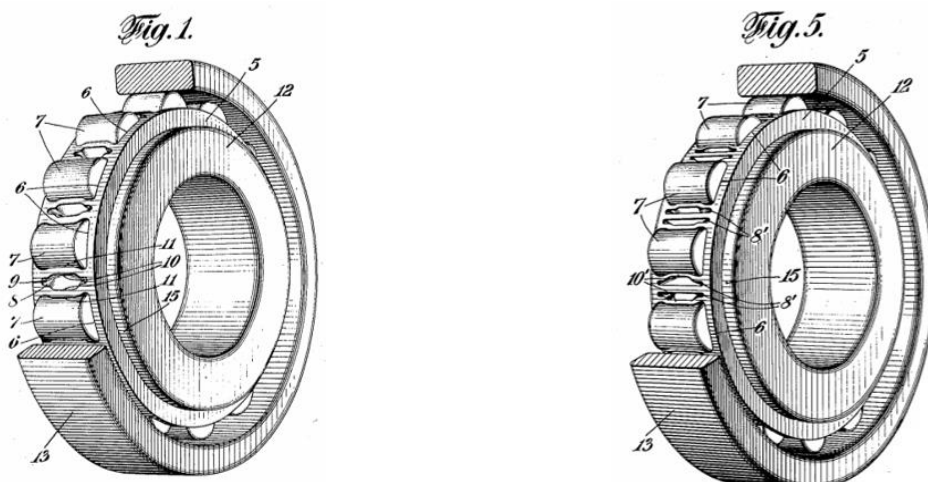


Figura 2.6. Soluții constructive de colivii propuse prin brevetul US 1765648<sup>1</sup>

#### *Colivii din componente modulare*

În literatura de specialitate se identifică și colivii modulare, realizate frecvent din materiale plastice precum polieter-eter-cetona. Principalele dezavantaje ale coliviilor modulare, comparativ cu soluțiile prezentate anterior, sunt determinate de faptul că au rigiditate și rezistență scăzută. Aceste colivii se utilizează cu precădere datorită costurilor scăzute de producție, preciziei de realizare și densității semnificativ scăzute a materialului.

Un exemplu de colivie modulară pentru rulment radial cu role este dat și de brevetul US 20100215298 A1<sup>2</sup>, înregistrat în anul 2010. În **Figura 2.7** este prezentată construcția unui segment al coliviei. Capetele fiecărui segment de colivie sunt prevăzute cu un sistem de conectare (detaliile 11, 12 și 14) destinat să asigure asamblarea segmentelor pentru a forma o colivie.

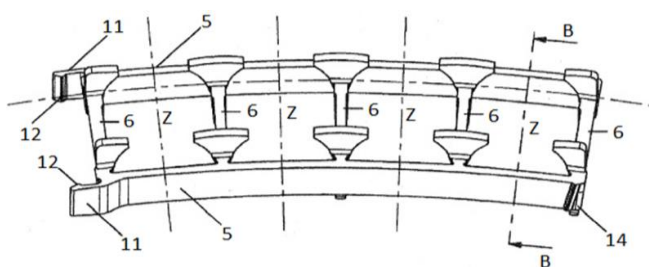


Figura 2.7. Modul de colivie, conform invenției US 20100215298<sup>3</sup>

#### *Colivii cu strat suplimentar antifricțiune*

Preocuparea de a asigura condiții antifricțiune cât mai bune la contactul corpurilor de rostogolire cu pereții locașurilor coliviilor se regăsește frecvent la diverse soluții brevetate de colivii. Prin brevetul US 8157446 B2<sup>4</sup>, eliberat în anul 2012, se prezintă o colivie pentru rulmenți cu bile (**Figura 2.8**) sau role (**Figura 2.9**), realizată în construcție clasică din tablă de oțel, posibil din alamă,

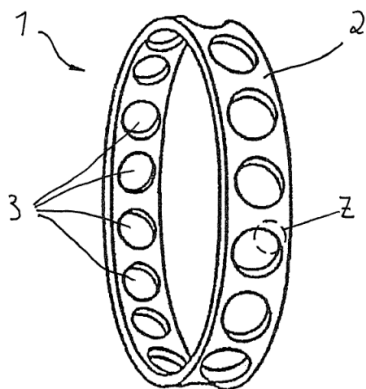
<sup>1</sup> Herrmann, K.L. (1934): *Antifriction Bearing*. Brevet US 1963407

<sup>2</sup> Zeidlhack R. (2010): *Cage segment of a plastic cage and roller bearing comprising said plastic cage*. Brevet US 20100215298 A1

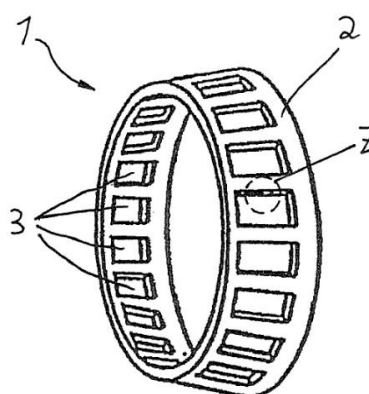
<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> Horton S., Hultman L. (2012): *Cage for a roller bearing and method of producing the same*. Brevet US 8157446 B2

aluminiu sau magneziu, chiar din material plastic, la care cel puțin pe suprafețele locașurilor (3) pentru bile sau role este aplicat un strat (5) metalic subțire, cu grosimea  $T = 25 \text{ nm} \div 5 \mu\text{m}$ , din crom, aluminiu, molibden, titan sau wolfram, peste care este aplicat un strat (4), cu grosimea  $t = 0,1 \div 10 \mu\text{m}$ , din nitrură de carbon cu structură moleculară specială (FL-CNx).



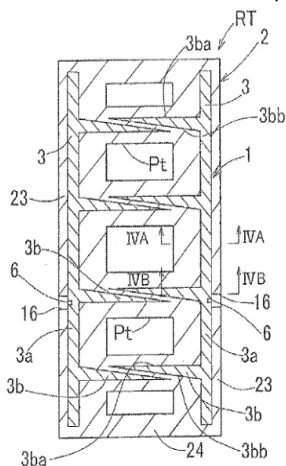
**Figura 2.8.** Vedere în perspectivă a unei colivii pentru bile, conform US 8157446 B2<sup>1</sup>



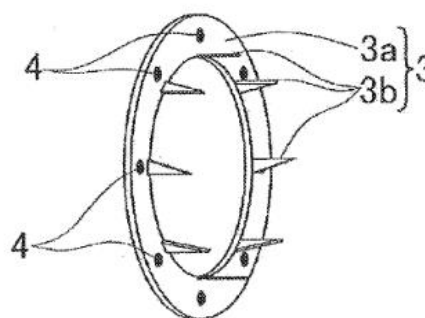
**Figura 2.9.** Vedere în perspectivă a unei colivii pentru role, conform US 8157446 B2<sup>2</sup>

### Colivii armate

Dezavantajul rezistenței reduse a coliviilor din material plastic este cunoscut. O construcție de colivie care își propune să elimine sau să reducă apreciabil acest dezavantaj face obiectul brevetului US 20150337901 A1<sup>3</sup>, eliberat în anul 2015, care prezintă o colivie al cărui corp este realizat din rășină și care are încorporate o serie de elemente (3) de tip armătură realizate din oțel. Coliviile prezentate în **Figura 2.10** și **Figura 2.11** asigură o rezistență superioară în comparație cu coliviile realizate din materiale plastice.



**Figura 2.10.** Vedere în secțiune a unei colivii, conform US 20150337901 A1<sup>4</sup>



**Figura 2.11.** Vedere în perspectivă a unui exemplu de armătură<sup>5</sup>

Soluția prezentată poate fi utilizată atât pentru coliviile cu locașuri pentru bile cât și pentru coliviile cu locașuri pentru role.

<sup>1</sup> Horton S., Hultman L. (2012): *Cage for a roller bearing and method of producing the same*. Brevet US 8157446 B2

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> Hayashi T.K., Moriuchi M.K. (2015): *Rolling bearing retainer and method for manufacturing such retainer*. Brevet US20150337901 A1

<sup>4</sup> idem

<sup>5</sup> idem

### 2.10. Concluzii

În sensul cel mai general, rulmentul este un element mecanic care constrânge mișcarea relativă într-o anumită mișcare dorită și reduce fricțiunea între elementele mobile.

În manuscrise din perioada renascentistă se identifică fără echivoc schițe de rulmenți radiali și axiali cu corpuri intermediare de rostogolire, bile și role. Extrem de relevante sunt studiile lui Leonardo da Vinci regăsite în faimosul său manuscris Codex Madrid, din 1493.

Sfârșitul secolului XIX și începutul secolului XX (aprox. 1880-1910) poate fi considerată drept perioadă definitorie pentru industria rulmenților: sunt concepute modelele de bază și se înființează principalele companii producătoare de rulmenți – FAG, Timken și SKF.

Există o bogată literatură de specialitate referitoare la rulmenți abordați ca ansamblu. Se acordă însă atenție foarte redusă coliviei, privită de regulă ca un component auxiliar de importanță scăzută.

Lipsa informațiilor specifice a determinat elaborarea unui studiu sistematic care să identifice și să descrie funcțiile coliviilor rulmenților, cu accent asupra coliviilor pentru rulmenți grei. Au fost identificate funcții principale (de exploatare, de fabricație și port-utilizare) și funcții secundare (de exploatare).

Coliviile se pot realiza dintr-o diversitate de materiale. Tipul materialului are un impact direct asupra soluției constructive, structurii și rezistenței coliviei.

Există din partea cercetătorilor o preocupare permanentă de a găsi soluții cât mai bune pentru diverse aplicații, inclusiv în ceea ce privește coliviile pentru rulmenți. În brevetoteca mondială există sute de soluții constructive în acest sens. În studiul de brevet efectuat au fost reținute pentru studiu detaliat 90 de brevete de invenție apărute pe parcursul a peste 100 de ani. Analiza acestora a permis punerea în evidență a mai multor grupe de soluții constructive: colivii tipice, colivii monobloc, colivii din componente modulare, colivii cu strat suplimentar antifricțiune, colivii care favorizează lubrifierea și colivii armate.

Coliviile masive sunt destinate în special pentru rulmenți medii și grei. Acestea sunt monocorp sau formate din două semicolivii, identice sau nu, asamblate într-un mod oarecare. La rulmenții grei în mod frecvent coliviile masive se realizează din alamă sau bronz.

Gabaritul mare al coliviilor pentru rulmenți grei induce dificultăți tehnologice și necesită pentru prelucrare mașini-unelte de gabarite adecvate, aspecte care se reflectă în costul crescut al coliviilor respective. Coliviile realizate din componente modulare – de dimensiuni reduse, mult mai ușor de realizat – constituie o soluție la aceste probleme și conduce la scăderea costului coliviilor. Apare o scădere de rigiditate, dar și un plus la mentenabilitate.

Îmbunătățirea condițiilor antifricțiune cel puțin pentru acele suprafețe ale coliviilor care vin în contact cu corpurile intermediare de rostogolire este obiectiv al unora dintre brevetele de invenție studiate. O posibilă soluție este utilizarea unor tehnologii de suprafațare, ca de exemplu depunerile galvanice.

Rezistența coliviilor este determinantă pentru asigurarea durabilității rulmenților. Coliviile din materiale plastice sau din rășini sunt ieftine și ușor de realizat prin injecție sau turnare în matriță, dar au rezistență redusă. Pentru a elimina acest dezavantaj se propun colivii din materiale plastice armate cu unul sau mai multe repere din oțel, simple și ieftine, care să asigure rezistența necesară.

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

În esență, diversele soluții constructive de colivii – utilizate în mod frecvent sau doar propuse prin diferite brevete de invenție – satisfac inegal funcțiile coliviei și urmăresc maximizarea uneia sau doar a câtorva dintre acestea.

Sintetizând cele de mai sus se constată următoarele:

- toate coliviile satisfac funcția principală definitorie, aceea de dispunere egal distanțată a corpurilor de rulare. Aceasta implică implicit diminuarea semnificativă a fenomenelor (de frecare, creștere a temperaturii etc.) dezvoltate în funcționare în cadrul rulmenților;
- funcția „asigură rezistență” este uneori deficitară și afectează grav durabilitatea rulmentului pe care colivia respectivă îl echipază. Din acest motiv, pentru aplicații la care durabilitatea este o cerință imperativă utilizatorii preferă rulmenți (mult) mai scumpi echipați cu colivii durabile, deseori realizate din materiale deficitare scumpe. Oricum, nu se identifică în literatura de specialitate un model de solicitare a coliviilor de rulmenți pe baza căruia să se poată face dimensionarea acestora;
- funcțiile „are durabilitate” și „este fiabilă” sunt direct legate de funcția „asigură rezistență” și sunt determinate în foarte mare măsură de caracteristicile materialului din care este realizată colivia, în special rezistența mecanică și proprietățile sale antifricțiune, acestea din urmă fiind utile în zonele de contact ale coliviei cu corpurile intermediare de rostogolire;
- funcția „asigură reducerea uzurii” este determinată de proprietățile antifricțiune ale materialului coliviei care intră în contact direct cu corpurile de rostogolire. Adesea o colivia este monomaterial (exceptând reperiile pentru asamblare, dacă este cazul), dar există și cazuri de colivii multimateriale, funcțiile fiind distribuite: pentru asigurarea rezistenței, pe de o parte, și pentru asigurarea condițiilor antifricțiune în vederea minimizării uzurii pe de altă parte;
- funcția „asigură lubrifiere” este importantă îndeosebi pentru rulmenții destinați pentru turații mari și foarte mari, ca de exemplu pentru motoare turbină;
- funcția „este tehnologică” determină costul coliviei și exprimă capacitatea de a fi cât mai ușor realizabilă prin procedee de prelucrare uzuale;
- funcția „condiționează consumurile energetice de exploatare” este de principiu cunoscută, dar nu este tratată ca atare în literatură. Aceasta nu trebuie însă să defavorizeze siguranța în exploatare. Mai mult chiar, nu a fost identificat nici un model matematic care să descrie care este contribuția coliviei la consumul de exploatare al unui rulment;
- funcția „este interschimbabilă” este cel mai adesea ignorată, cel puțin pentru rulmenții de dimensiuni mici și medii, în general la acei rulmenți la care nu se pune problema a se înlocui doar colivia. La rulmenți mari poate fi eficient a aborda această funcție.

Se impune a sublinia că importanța care se acordă diverselor funcții și modul de agregare al acestora este rezultatul unui compromis dictat de cost. De exemplu, nu se justifică a opta pentru un rulment cu durabilitate scăzută dacă cheltuielile de mentenanță depășesc un prag limită, posibil de determinat analitic.

## Capitolul 3. MODEL MATEMATIC DE MIȘCARE A COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI

În contextul dezvoltării durabile și a extinderii spectaculoase a generatoarelor eoliene, pentru rulmenți grei devine important a cunoaște și reduce consumul energetic de exploatare al lor. Pentru lucrarea de față prezintă interes a cunoaște care este consumul energetic de exploatare care revine coliviei unui rulment, informația putând fi utilă la conceperea de noi colivii cu caracteristici superioare. Studiul stadiului actual a relevat și faptul că nu a fost identificat nici un model matematic care să descrie care este contribuția coliviei la consumul de exploatare al unui rulment.

Neidentificarea în literatura de specialitate a unor modele matematice necesare fundamentării riguroase a „consumurilor energetice de exploatare” a coliviilor pentru rulmenți grei în vederea identificării de soluții constructive noi a motivat elaborarea unui model matematic propriu, original.

### 3.1. Model de mișcare al unui rulment

În tot mai multe cazuri un produs este cu atât mai apreciat și mai atractiv cu cât consumurile materiale și energetice asociate lui sunt mai mici

Eficiența energetică a produselor este frecvent abordată și din ce în ce mai des luată în considerare încă din etapa de proiectare. Tendința la nivel mondial de conservare a resurselor astfel încât să nu se compromită capacitatea de dezvoltare a viitoarelor generații<sup>7</sup> reprezintă baza fundamentală a conceptului de dezvoltare durabilă.

Rulmenții de dimensiuni mari constituie un produs frecvent întâlnit, utilizat adesea în instalații energetice (producătoare de energie) neconvenționale, „curate”, așa cum sunt centralele eoliene<sup>2</sup>. O eficiență energetică crescută a rulmentului favorizează eficiența energetică a centralei, contribuind la creșterea randamentului acesteia. Teza de față are ca scop și reducerea energiei de exploatare a rulmenților grei, în particular a componentei „colivie” și a influenței acesteia în ansamblul rulmentului.

#### 3.1.1. Model de mișcare al unui rulment radial

Componentele reprezentative ale unui rulment sunt cele două inele, interior și exterior, corpurile intermediare de rostogolire (bile, role sau ace) și colivia. La rulmenții grei se folosesc drept corpuri de rostogolire bile sau role, iar colivia este cel mai adesea masivă. La mulți dintre rulmenții grei, și nu numai, colivia este realizată din alamă, un material deficitar și scump.

Modelul care descrie mișcările componentelor rulmentului poate fi mai simplu sau mai complex, în funcție de mulțimea detaliilor luate în considerare. S-a considerat că este suficient ca modelul să permită exprimarea turațiilor elementelor componente ale rulmentului în funcție de turația inelului aflat în mișcare de rotație, în condiții ideale de contact între inele și corpurile intermediare de rostogolire.

În funcție de ansamblul în care este integrat, un rulment poate avea fix inelul exterior și în mișcare de rotație inelul interior, corpurile de rostogolire și colivia, **Figura 3.12 – a**, sau fix inelul interior și în mișcare de rotație inelul exterior, corpurile de rostogolire și colivia, **Figura 3.12 – b**.

<sup>1</sup> Harris J.M., Wise T.A., Gallagher K.P., Goodwin N.R. (2001): *A survey of sustainable development*. Island Press, ISBN 978-1559638630, Vol. 6

<sup>2</sup> \* \* \* (1990): *Wälzlagertechnik Industrietechnik* .(FAG) 501

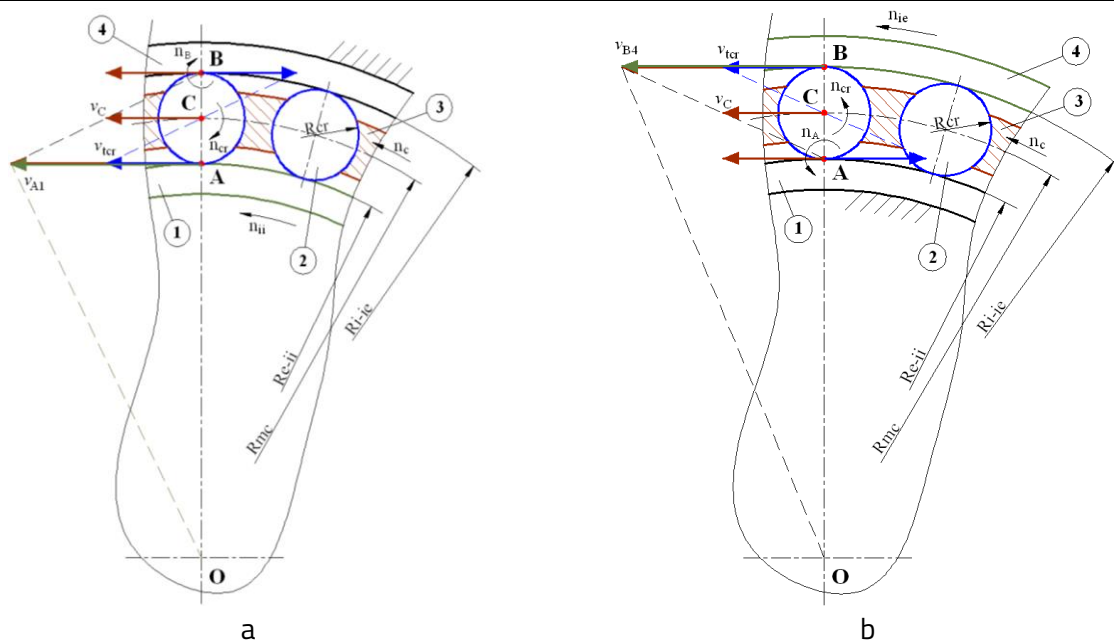


Figura 3.12. Componente mobile și viteze ale acestora la un rulment radial<sup>1</sup>

(a – rulment cu inel exterior fix și inel interior în mișcare de rotație;

b – rulment cu inel interior fix și inel exterior în mișcare de rotație)

Sunt de interes următoarele mărimi:

$n_{ii}$ ,  $n_{ie}$  – turația inelului interior, respectiv a inelului exterior;

$n_{cr}$  – turația corpurilor de rostogolire (bile sau role), în jurul axelor proprii de rotație;

$n_c$  – turația coliviei, identică cu turația corpurilor de rostogolire (bile sau role) în jurul axei de rotație a rulmentului;

$R_{i-ii}$  – raza interioară a inelului interior al rulmentului;

$R_{e-ii}$  – raza exterioară a inelului interior al rulmentului, exprimată pentru punctul teoretic de contact cu corpurile de rostogolire (bile sau role);

$R_{i-ie}$  – raza interioară a inelului exterior, exprimată pentru punctul teoretic de contact cu corpurile de rostogolire (bile sau role);

$R_{e-ie}$  – raza exterioară a inelului exterior;

$R_{cr}$  – raza corpurilor de rostogolire (bile sau role);

$R_{mc}$  – raza medie a coliviei;

$R_{i-c}$ ,  $R_{e-c}$  – raza interioară a coliviei, respectiv raza exterioară a acesteia;

$B_{ii}$ ,  $B_{ie}$  – lățimea inelului interior al rulmentului, respectiv lățimea inelului exterior al acestuia;

$B_c$  – lățimea coliviei rulmentului.

**Cazul A.** Inelul interior al rulmentului se află în mișcare de rotație ( $n_{ii} > 0$ ), iar inelul exterior este fix ( $n_{ie} = 0$ ), **Figura 3.12 - a**. Se prezumă că toate corpurile intermediare de rostogolire se află simultan în contact teoretic ideal cu ambele inele ale rulmentului și ca urmare vitezele periferice ale bilelor (rolelor) și inelelor în punctele de contact sunt egale. Expresiile pentru turațiile  $n_{cr}$  și  $n_c$ , în funcție de turația  $n_{ii}$  a inelului interior, inel aflat în mișcare de rotație, sunt:

<sup>1</sup> Szekely V.G., Romeo C. (2016): *Heavy Bearings Exploitation Energy and Reduction Methods*. IManEE, Doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012009, Volume 161, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012009/pdf>



$$n_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{e-ii}}{R_{cr}} \cdot n_{ii}; \quad (3.6)$$

$$n_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{e-ii}}{R_{e-ii} + R_{cr}} \cdot n_{ii} \quad (3.7)$$

**Cazul B.** Inelul interior al rulmentului este fix ( $n_{ii} = 0$ ), iar inelul exterior se află în mișcare de rotație ( $n_{ie} > 0$ ), **Figura 3.12 - b.** . Expresiile pentru turațiile  $n_{cr}$  și  $n_c$  în funcție de turația  $n_{ie}$  a inelului exterior, inel aflat în mișcare de rotație, sunt:

$$n_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{i-ie}}{R_{cr}} \cdot n_{ie}; \quad (3.10)$$

$$n_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{i-ie}}{R_{i-ie} - R_{cr}} \cdot n_{ie}. \quad (3.11)$$

### 3.2. Energia de exploatare a unui rulment radial

La un moment oarecare  $t_j$ , energia cinetică totală ( $E_{CTj} = E_{CT}(t_j)$ ) a rulmentului este dată de suma energiilor cinetice ale componentelor acestuia aflate în mișcare de rotație:  $E_{c-ii}$  sau  $E_{c-ie}$  – energia cinetică a inelului interior, respectiv a celui exterior, după caz;  $E_{c-cr}$  – energia cinetică cumulată a celor  $q$  corpuri de rostogolire (bile sau role);  $E_{c-c}$  – energia cinetică a coliviei.

Cel mai adesea se află în mișcare de rotație inelul interior al rulmentului, în continuare abordându-se doar acest caz. În această ipoteză:

$$\begin{aligned} E_{CT}(t_j) &= E_{c-ii}(t_j) + E_{c-cr}(t_j) + E_{c-c}(t_j) = \\ &= E_{c-ii}(n_{ii}) + E_{c-cr}(n_{ii}) + E_{c-c}(n_{ii}); \end{aligned} \quad (3.12)$$

turațiile  $n_{cr}$  și  $n_c$  fiind proporționale cu turația  $n_{ii}$  a inelului interior și exprimabile în funcție de aceasta. Evident, turațiile  $n_{cr}$ ,  $n_c$  și  $n_{ii}$  au valori diferite la momente  $t_j$  diferite, deci  $n_{cr} \equiv n_{cr}(t_j)$ ,  $n_c \equiv n_c(t_j)$  și  $n_{ii} \equiv n_{ii}(t_j)$ . Această dependență se subînțelege și în continuare nu se va mai exprima ca atare.

Energiile cinetice menționate sunt dependente<sup>1</sup> de caracteristicile geometrice ale corpurilor la care se referă, de densitatea materialelor acestora și de viteza lor de mișcare de la momentul considerat:

$$E_{c-ii} = \frac{1}{2} \cdot J_{ii} \cdot \omega_{ii}^2 = \pi^3 \cdot \rho_{ii} \cdot B_{ii} \cdot (R_{e-ii}^4 - R_{i-ii}^4) \cdot k_{ii} \cdot n_{ii}^2; \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} E_{c-c} &= \frac{1}{2} \cdot J_c \cdot \omega_c^2 = \pi^3 \cdot \rho_c \cdot B_c \cdot (R_{e-c}^4 - R_{i-c}^4) \cdot k_c \cdot n_c^2 = \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi^3 \cdot \rho_c \cdot B_c \cdot (R_{e-c}^4 - R_{i-c}^4) \cdot k_c \cdot \frac{R_{e-ii}^2}{(R_{e-ii} + R_{cr})^2} \cdot n_{ii}^2; \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$E_{c-cr} = q \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot J_{cr} \cdot \omega_{cr}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{cr} \cdot v_c^2 \right) = q \cdot \frac{\pi^2}{2} \cdot R_{e-ii}^2 \cdot \left( \frac{J_{cr}}{R_{cr}^2} + m_{cr} \right) \cdot n_{ii}^2; \quad (3.15)$$

unde  $k_{ii}$  și  $k_c$  sunt coeficienți care țin cont de particularități geometrice ale inelului interior și respectiv ale coliviei în raport cu secțiunea dreptunghiulară idealizată a acestora,  $J_{ii}$ ,  $J_c$  și  $J_{cr}$  sunt momentele de inerție față de axele proprii de rotație ale inelului interior, coliviei și respectiv a unui corp de rostogolire,  $m_{cr}$  este masa unui corp de rostogolire,  $\rho_{ii}$ ,  $\rho_c$  și  $\rho_{cr}$  sunt densitățile materialelor inelului interior, al coliviei și respectiv al corpurilor de rostogolire, iar  $q$  este numărul de corpuri de rostogolire ale rulmentului. Coeficientul  $k_c$  ia în considerare și prezența în cadrul coliviei a celor  $q$  locașuri pentru corpurile de rostogolire.

<sup>1</sup> Deliu Gh. (2003): *Mecanica*. Editura Albastră, ISBN 973-650-106-X, Cluj-Napoca, România

Dacă corpul de rostogolire este bilă plină, atunci<sup>1</sup>

$$m_{cr} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \rho_{cr} \cdot R_{cr}^3; \quad (3.16)$$

$$J_{cr} = \frac{2}{5} \cdot m_{cr} \cdot R_{cr}^2 = \frac{8}{15} \cdot \pi \cdot \rho_{cr} \cdot R_{cr}^5; \quad (3.17)$$

și ca urmare relația (3.15) devine

$$E_{c-cr} = q \cdot \frac{14}{15} \cdot \pi^3 \cdot \rho_{cr} \cdot R_{e-ii}^2 \cdot R_{cr}^3 \cdot n_{ii}^2. \quad (3.18)$$

Dacă corpul de rostogolire este rolă cilindrică plină, atunci<sup>2</sup>

$$m_{cr} = \rho_{cr} \cdot \pi \cdot R_{cr}^2 \cdot B_{cr}; \quad (3.19)$$

$$J_{cr} = \frac{1}{2} \cdot m_{cr} \cdot R_{cr}^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_{cr} \cdot R_{cr}^4 \cdot B_{cr}; \quad (3.20)$$

iar relația (3.15) ia forma

$$E_{c-cr} = q \cdot \frac{3}{4} \cdot \pi^3 \cdot \rho_{cr} \cdot R_{e-ii}^2 \cdot R_{cr}^2 \cdot B_{cr} \cdot n_{ii}^2. \quad (3.21)$$

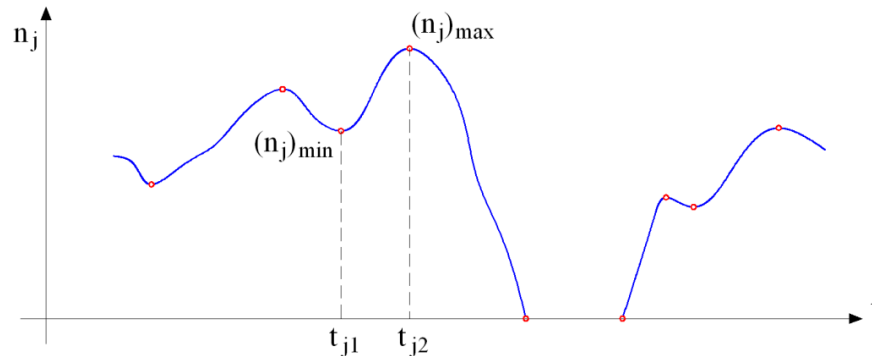
La un moment oarecare  $t_j$  turația  $n_j$  a inelului antrenat (cel interior în cazul studiat) este  $n_{ii} = n(t_j) = n_j$  iar energia cinetică a rulmentului este

$$E_{cT}(t_j) = E_{cT}(n_j) = E_{c-ii}(n_j) + E_{c-cr}(n_j) + E_{c-c}(n_j) = K \cdot n_j^2. \quad (3.22)$$

prin coeficientul  $K$  fiind notată suma:

$$K = K_{ii} + K_{cr} + K_c. \quad (3.23)$$

În timpul funcționării rulmentului, inelul antrenat al acestuia are turație variabilă, foarte evidentă în cazul utilizării în componența centralelor eoliene la care turația arborelui port-pale este variabilă în funcție de viteza vântului, **Figura 3.13**. Consecința imediată este că toate componentele rulmentului aflate în mișcare de rotație au turație variabilă.



**Figura 3.13.** Grafic al variației în timp a turației arborelui port-pale la o centrală eoliană<sup>3</sup>

Energia de exploatare a rulmentului este dependentă și de consumul de energie necesar pentru accelerarea (repetată a) componentelor aflate în mișcare ale acestuia. O parte din energia acumulată poate fi returnată în scop util.

Fie  $(n)_{\min}$  și  $(n)_{\max}$  două valori extreme locale consecutive din graficul de turație al arborelui port-

<sup>1</sup> Gellert W., Küstner H., Hellwich M., Kästner H. (Editori): *Mică enciclopedie matematică*. Editura Tehnică, București, 1980 (traducere după "Kleine Enzyklopädie der Mathematic", 1971, 1975, VEB Bibliographisches Institut Leipzig)

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> Szekely V.G., Romeo C. (2016): *Heavy Bearings Exploitation Energy and Reduction Methods*. IManEE, Doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012009, Volume 161, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012009/pdf>

pale, care corespund unor momente diferite ale timpului:

$$(n_j)_{min} = n(t_{j1}); (n_j)_{max} = n(t_{j2}), t_{j1} < t_{j2}. \quad (3.30)$$

Evident, turația  $n_j$  a arborelui port-pale devine turație a inelului antrenat al rulmentului. Energia de exploatare a coliviei rulmentului datorată variației de turație se exprimă prin relația:

$$\begin{aligned} E_{c-exp} &= \sum_j (E_{cT} \cdot (t_{j2}) - E_{cT} \cdot (t_{j1})) = \\ &= \sum_j (E_{cT} \cdot ((n_j)_{max}) - E_{cT} \cdot ((n_j)_{min})) = K \cdot \sum_j ((n_j)_{max}^2 - (n_j)_{min}^2). \end{aligned} \quad (3.31)$$

Micșorarea energiei de exploatare a rulmentului presupune micșorarea valorii factorului  $K$ , turația  $n_j$  instantanee a inelului antrenat depinzând strict de condiții externe.

Poate fi redusă valoarea factorului  $K$  prin reducerea valorii care corespunde coliviei. În acest sens au fost identificate două direcții de acțiune:

- ❶ utilizarea unui material mai puțin dens<sup>1</sup> (efectul fiind reducerea simultană și în aceeași proporție atât a masei coliviei, cât și a momentului de inerție al acesteia), și
- ❷ conceperea unor soluții constructive noi cărora să le corespundă mase și/sau momente de inerție mai mici datorate exclusiv geometriei coliviilor. Evident, există și posibilitatea cumulării efectelor datorate utilizării unor materiale mai puțin dense și adoptării unor soluții constructive favorabile.

Pentru soluțiile noi de colivii avute în vedere direcția principală de cercetare vizată este cea a utilizării unor materiale cu densitate redusă, astfel încât să se reducă masa și momentul de inerție al acestora.

### 3.3. Concluzii

La un moment oarecare energia cinetică a rulmentului este dată de suma energiilor cinetice ale componentelor acestuia aflate în mișcare de rotație.

Este puțin probabilă posibilitatea reducerii energiei cinetice a rulmentului prin modificarea soluției constructive a inelului aflat în mișcare de rotație. Este însă posibilă reducerea energiei cinetice a corpurilor de rostogolire și a coliviei. Utilizarea de corpuri de rostogolire goale, role<sup>2</sup> sau bile<sup>3</sup>, este o posibilitate rațională de reducere a energiei cinetice dar nu constituie însă subiect pentru lucrarea de față.

Reducerea energiei cinetice a rulmentului prin reducerea energiei cinetice a coliviei este posibilă, dar nu este abordată în literatură. Pentru a identifica mărimile de care depinde energia cinetică a unei colivii a fost conceput un model matematic original de mișcare a unui rulment radial. Acesta pune cu claritate în evidență modalitățile prin care se poate reduce energia cinetică a coliviei.

Utilizarea unui material cu densitate mai mică nu trebuie să afecteze negativ rezistența coliviei, în primul rând, și nici costul sau diverse aspecte de natură tehnologică.

O soluție constructivă nouă diferită semnificativ față de una de referință care se dorește a fi îmbunătățită este posibilă, dar este de preferat ca modificările de tehnologie să fie minime.

<sup>1</sup> Csaki I. (1999): *Cercetări privind fabricarea coliviilor de rulmenți din materiale compozite ușoare cu parametrii tribologici optimizați, solicitate de industriile de aeronautică și ușoară*. PNCD 45 grant C 5076

<sup>2</sup> Luca V., Șerban C.V., Barabaș S. (2013): *Role cave pentru rulmenți*. Brevet RO 125038

<sup>3</sup> Cioară Gh.R., Pisarciuc C., Cioară T.Rx., Mărăscu-Klein Vl. (2015): *Bilă pentru rulmenți grei*. Brevet RO 125679

## Capitolul 4. MODEL MATEMATIC DE SOLICITARE STATICĂ A COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI

Necesitatea fundamentării riguroase a dimensionării coliviilor pentru rulmenți grei, dar nu numai, impune elaborarea și utilizarea unui model matematic de solicitare a coliviilor. Aceasta s-a relevat pe parcursul cercetărilor de documentare întreprinse în vederea tezei de față și s-a constituit într-o misiune asumată. A rezultat, evident, un model matematic original de solicitare a coliviei unui rulment radial, o contribuție la ansamblul de cunoștințe teoretice referitoare la rulmenți.

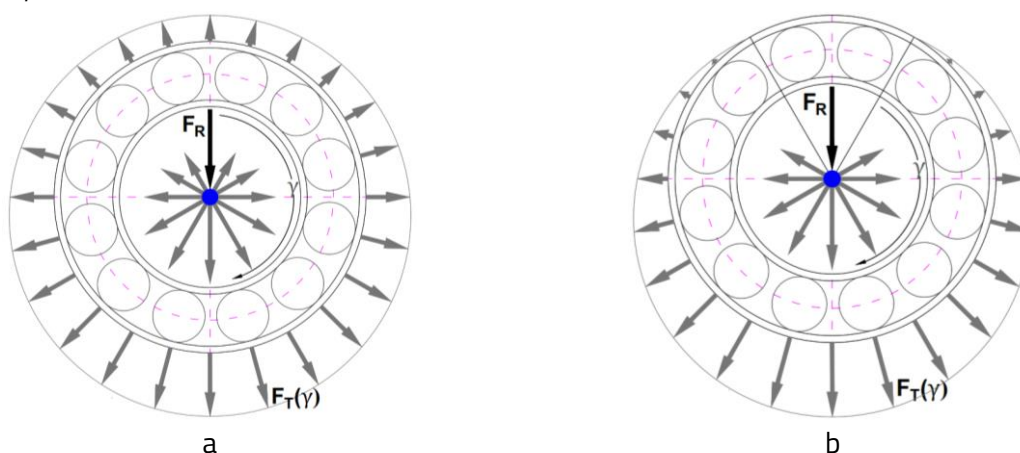
Modelul de solicitare a luat în considerare, într-o primă etapă, condiții ideale ale geometriei componentelor rulmentului, iar într-o a doua etapă condiții reale. S-a considerat totuși că abateri au doar corpurile de rostogolire, prezumând că acestea „cumulează” și abaterile care aparțin inelelor rulmentului. În ambele cazuri s-a luat în considerare o solicitare statică a rulmentului.

### 4.1. Model de solicitare al coliviei unui rulment radial

#### 4.1.1. Repartiția forțelor externe care solicită un rulment radial

Forțele externe care solicită un rulment (cu inel exterior fix) sunt distribuite dinspre arbore către inelul interior și prin intermediul corpurilor de rostogolire către inelul exterior. Asupra coliviilor rulmenților forțele se aplică prin intermediul corpurilor de rostogolire (bile, role sau ace), care intră în contact cu colivia prin intermediul suprafețelor locașurilor special prevăzute în aceasta pentru ghidarea și distanțarea respectivelor corpuri de rostogolire.

Forța totală  $F_T$  se distribuie în sens radial neuniform asupra corpurilor de rostogolire ale rulmentului, dar simetric stânga dreapta față de direcția versorului forței exterioare totale. Rulmentul poate fi cu sau fără presolicitare, **Figura 4.14** (a și b). Forța totală  $F_T$  este compusă din rezultanta  $F_R$  a forțelor externe la care se adaugă o forță de pretensionare  $C_m$ . Este utilă și o reprezentare desfășurată, **Figura 4.15** și **Figura 4.16**.



**Figura 4.14.** Repartiția forțelor asupra corpurilor de rostogolire ale unui rulment radial  
(a – rulment cu pretensionare; b – rulment fără pretensionare)

Notațiile utilizate au semnificația:

$F_T$  – forța totală;

$F_{T(j-(j+1))}$  – partea din forța totală care corespunde spațiului unghiular  $\xi_{ii}$  cuprins între corpurile de

rostogolire „j” și „j+1”;

$F_T(\gamma)$  – funcția de distribuție în sens radial a forței totale  $F_T$ ,  $F_T(\gamma) = F_R(\gamma) + C_m$ ;

$K_m$  – Coeficient de proporționalitate cu  $F_T$  al forței de pretensionare  $C_m$ .

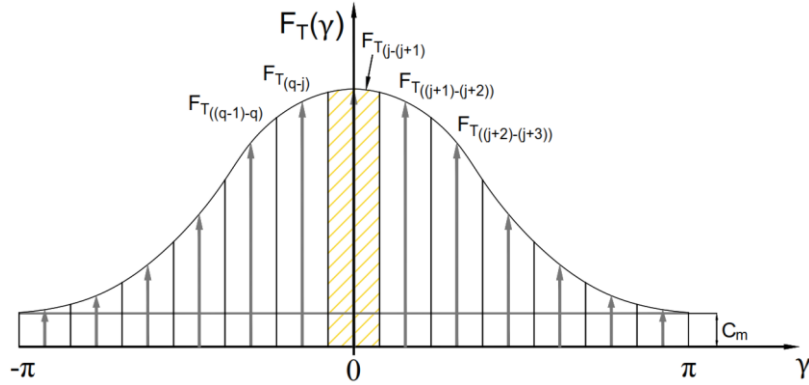


Figura 4.15. Reprezentare desfășurată a repartiției forței totale pentru un rulment radial cu pretensionare

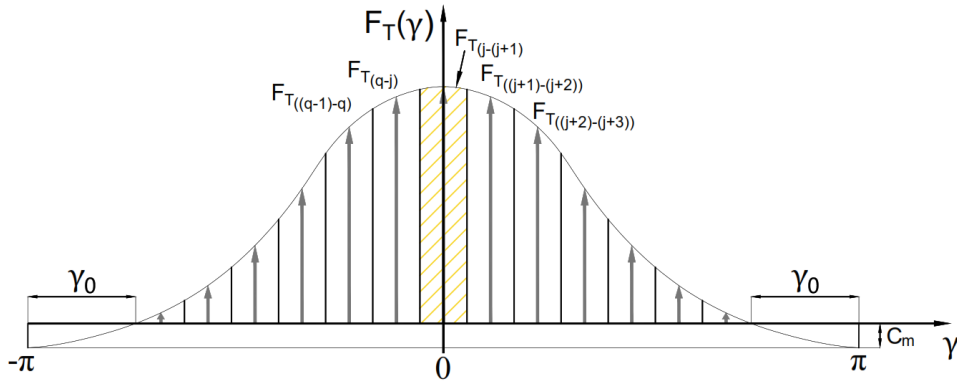


Figura 4.16. Reprezentare desfășurată a repartiției forței totale pentru un rulment radial fără pretensionare

Funcția  $F_R(\gamma)$  poate fi în particular o funcție Gauss centrată sau una cu o variație similară.

Evident

$$F_T = \int_{-\pi}^{\pi} F_R(\gamma) d\gamma + C_m, \quad (4.1)$$

unde  $C_m > 0$  dacă rulmentul este cu pretensionare, sau  $C_m < 0$  în caz contrar.

În bun acord cu **Figura 4.15** și **Figura 4.16**,

$$(F_R(\gamma))_{max} + C_m = F_R(0) + C_m. \quad (4.2)$$

Pentru un spațiu unghiular  $\xi_{ii} (\equiv \xi_0)$  se determină componenta  $F_{T(j-j+1)}$  care reprezintă partea din forța totală care corespunde spațiului unghiular  $\xi_{ii}$  cuprins între corpurile de rostogolire „j” și „j+1”. Considerând că sunt maxim solicitate corpurile de rostogolire 1 și 2, caz în care acestea trebuie să se afle simetric stânga-dreapta față de direcția forței totale  $F_T$ , se obține

$$(F_{T(j-j+1)})_{max} = F_{T(1-2)} = \int_{-\frac{\xi_0}{2}}^{\frac{\xi_0}{2}} F_R(\gamma) d\gamma + C_m. \quad (4.3)$$

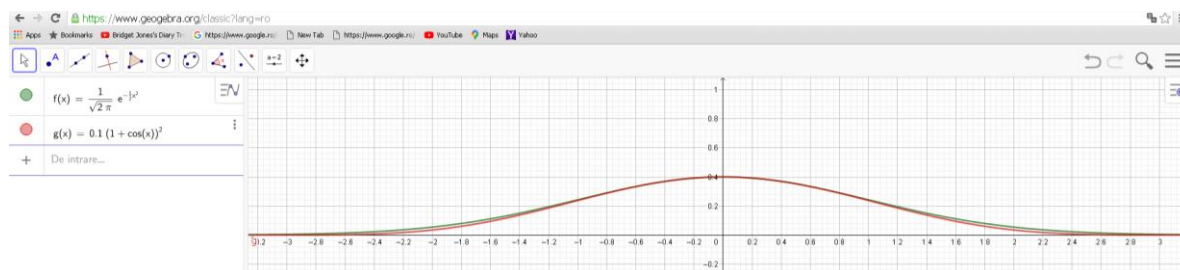
Este de preferat a utiliza o funcție cu variație similară uneia Gauss, care să fie direct integrabilă.

Un bun exemplu este funcția

$$F_R(\gamma) = k_1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2 = 0,1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2, \quad (4.6)$$

unde  $k_1$  este un coeficient de amplificare.

Utilizând GeoGebra<sup>1</sup>, reprezentarea grafică a expresiilor (4.5) și (4.6), **Figura 4.17**, relevă diferențe minore.



**Figura 4.17.** Reprezentare grafică a funcțiilor (4.5) și (4.6)

Pentru a lua în considerare și eventuala pretensionare a rulmentului, se va considera pentru funcția  $F_T(\gamma)$  expresia mai generală

$$F_T(\gamma) = C_m + k_1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2, \quad (4.7)$$

reprezentată cu albastru în **Figura 4.18** (unde s-a luat  $C_m = 0,1$  și  $k_1 = 0,1$ ). Similitudinea **Figura 4.18** cu **Figura 4.15** este evidentă.



**Figura 4.18.** Reprezentare grafică a funcțiilor (4.5), (4.6) și (4.7)

Primitiva funcției (4.7) este

$$\begin{aligned} \int F_T(\gamma) d\gamma &= \int k_1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2 d\gamma + C_m = \\ &= C_m + \frac{3}{2} \cdot k_1 \cdot \gamma + 2k_1 \cdot \sin \gamma + \frac{k_1}{4} \cdot \sin 2\gamma + C, \end{aligned} \quad (4.8)$$

C fiind constanta de integrare.

Relația (4.8) permite scrierea relației

$$F_T = \int_{-\pi}^{\pi} F_T(\gamma) d\gamma = \int_{-\pi}^{\pi} k_1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2 d\gamma + C_m = C_m + 3\pi \cdot k_1. \quad (4.9)$$

Se adoptă o valoare adecvată pentru  $C_m$ , de preferat proporțională cu  $F_T$ , și se determină valoarea coeficientului  $k_1$  utilizând relația (4.9). Luând, de exemplu,

$$C_m = k_m \cdot F_T, \quad |k_m| < 1, \quad k_m \in R, \quad (4.10)$$

rezultă

<sup>1</sup> \*\*\* (2019): GeoGebra. <https://www.geogebra.org/classic?lang=ro>

$$k_1 = \frac{1 - k_m}{3\pi} \cdot F_T. \quad (4.11)$$

Cunoscând  $C_m$  și  $k_1$  se poate determina expresia analitică pentru forța  $F_{T(1-2)}$

$$\begin{aligned} F_{T(1-2)} &= \int_{-\frac{\xi_0}{2}}^{\frac{\xi_0}{2}} F_T(\gamma) d\gamma = \int_{-\frac{\xi_0}{2}}^{\frac{\xi_0}{2}} k_1 \cdot (1 + \cos\gamma)^2 d\gamma + C_m = \\ &= \frac{3}{2} \cdot k_1 \cdot \xi_0 + 4k_1 \cdot \sin \frac{\xi_0}{2} + \frac{k_1}{2} \cdot \sin \xi_0 + C_m, \end{aligned} \quad (4.12)$$

precum și expresiile analitice pentru forțe de tipul  $F_{T(2-3)}$  și similare, a se vedea relația (4.4).

#### 4.1.2. Model ideal de solicitare a unei colivii

Într-o primă abordare poate fi pus în evidență un model ideal de repartiție a forțelor la contactul dintre corpurile de rostogolire și inelul exterior.

Modelul ideal de solicitare a coliviei unui rulment radial nu ia în considerare frecările dintre componentele aflate în contact și mișcare relativă între ele, consideră nule abaterile de formă și de poziție ale componentelor rulmentului și că acestea sunt complet Detaliate, aceste premise sunt:

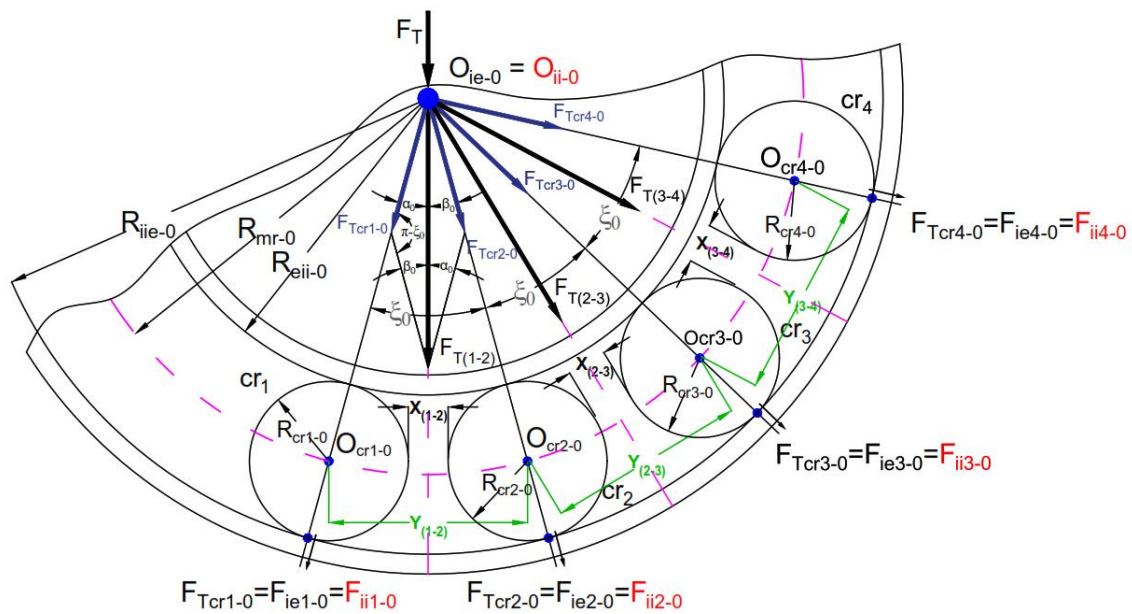
- corpurile de rostogolire ale rulmentului nu au abateri de la diametrul nominal ( $D_{n-cr}$ );

$$D_{n-cr} = D_{n-cr_1} = D_{n-cr_2} = \dots = D_{n-cr_q}; \quad (4.15)$$

- corpurile de rostogolire nu au abateri de circularitate ( $A_{c-cr} = 0$ );
- corpurile de rostogolire nu au abateri de cilindricitate ( $A_{ci-cr} = 0$ );
- se consideră că deformația elastică a corpurilor de rostogolire este nulă;
- se consideră că centrele corpurilor de rostogolire nu au abateri de poziție unul față de celălalt;
- se consideră că centrele  $O_{crj-0}$  ale corpurilor de rostogolire se dispun de-a lungul cercului de rază medie a coliviei  $R_{mr-0}$ ;
- inelul interior și exterior nu au abateri de la diametrele lor nominale;
- inelul interior și exterior nu au abateri de circularitate ( $A_{c-ie} = 0$ ;  $A_{c-ii} = 0$ ) (inclusiv căile de rulare ale inelelor sunt perfect circulare);
- inelul interior și exterior nu au abateri de cilindricitate ( $A_{ci-ie} = 0$ ;  $A_{ci-ii} = 0$ );
- se consideră că deformația elastică a inelelor este nulă;
- se consideră că centrele inelului exterior ( $O_{ie}$ ) și interior ( $O_{ii}$ ) sunt suprapuse ( $O_{ie} \equiv O_{ii}$ ).

Se consideră că din întreaga forță  $F_T$  care solicită extern rulmentul componenta care corespunde spațiului unghiular  $\xi_0$  cuprins între corpurile de rostogolire 1 și 2 este  $F_{T(1-2)}$ . Această componentă este orientată variabil în raport cu direcția  $O_{ii-0}O_{cr1-0}$  și cu direcția  $O_{ii-0}O_{cr2-0}$ , direcții cu care face unghiurile  $\alpha$  și respectiv  $\beta$ . Unghiurile  $\alpha$  și  $\beta$  sunt continuu variabile și dependente de mișcarea de rotație a inelului interior (inelul mobil) în raport cu direcția (presupusă invariabilă a) forței externe  $F_T$  care solicită rulmentul.

Dinspre inelul interior forța  $F_{T(1-2)}$  se descompune în două componente care solicită în sens radial cele două corpuri de rostogolire  $cr_1$  și  $cr_2$ : componenta  $F_{Tcr1-0}$  solicită corpul de rostogolire  $cr_1$  și face cu direcția forței  $F_{T(1-2)}$  unghiul  $\alpha$ , iar componenta  $F_{Tcr2-0}$  solicită corpul de rostogolire  $cr_2$  și face cu direcția forței  $F_{T(1-2)}$  unghiul  $\beta$ .



**Figura 4.19.** Reprezentarea grafică a forțelor concentrate care corespund spațiilor unghiulare dintre două corpuri de rostogolire vecine ( $F_{T(1-2)}$ ,  $F_{T(2-3)}$ ,  $F_{T(3-4)}$ , ...)

Ceea ce este foarte important din punct de vedere al modelului ideal de solicitare al coliviei este că asupra acesteia componentele  $F_{Tcrj-0}$  (Figura 4.19) nu generează nici o forță și ca urmare colivia nu este supusă nici unei solicitări.

#### 4.1.3. Model real de solicitare a unei colivii

Modelul real de solicitare a coliviei unui rulment radial, cu bile sau role, model original conceput în cadrul cercetărilor întreprinse în vederea elaborării prezentei teze de doctorat, ia în considerare abaterile geometrice și deformațiile elastice ale inelelor, corpurilor intermediare de rostogolire și coliviei, adică:

- toate corpurile de rostogolire au același diametru nominal, dar diametrele lor efective diferă;
- toate corpurile de rostogolire au abateri de circularitate ( $A_{c-cr} \neq 0$ );
- toate corpurile de rostogolire au abateri de cilindricitate ( $A_{ci-cr} \neq 0$ );
- toate corpurile de rostogolire se deformează elastic;
- inelul interior și exterior au abateri de la diametrele lor nominale;
- inelul interior și exterior au abateri de circularitate ( $A_{c-ie} \neq 0$ ;  $A_{c-ii} \neq 0$ ) (inclusiv căile de rulare ale inelelor nu sunt perfect circulare);
- inelul interior și exterior au abateri de cilindricitate ( $A_{ci-ie} \neq 0$ ;  $A_{ci-ii} \neq 0$ );
- inelele interior și exterior se deformează elastic, în special în punctele de contact cu corpurile de rostogolire;
- grosimile pereților coliviei care separă două locașuri vecine pentru corpuri de rostogolire au aceleași valori nominale  $X_0$ , dar valori efective diferite ( $X_j \neq ct.$ );
- pereții coliviei care separă două locașuri vecine pentru corpuri de rostogolire se deformează elastic la contactul cu corpurile de rostogolire pe care le ghidează;

În această etapă nu sunt luate în considerare forțele de frecare dintre colivie și corpurile de rostogolire, forțe care apar doar dacă la contactul dintre colivie și corpurile de rostogolire se manifestă



forțe normale de apăsare. Nu sunt incluse nici solicitările de natură dinamică, acestea urmând a fi considerate printr-un coeficient supraunitar de amplificare a rezultatelor modelului static.

Pentru a limita complexitatea modelului real, static, de solicitare a coliviei unui rulment radial, în principal pentru minimizarea a numărului de variabile, s-a considerat că abaterile și deformațiile elastice ale inelelor și coliviei sunt preluate de corpurile de rostogolire (prin abaterea  $\delta$ ), ceea ce înseamnă că sunt considerate „ideale” inelele și colivia, și „reale” doar corpurile de rostogolire, cu observația că acestea prezintă abateri și deformații elastice mai mari decât cele care le sunt efectiv proprii. Cu alte cuvinte, abaterile și deformațiile elastice ale inelelor și coliviei au fost „transferate” către corpurile de rostogolire în dreptul cărora respectivele abateri și deformații elastice se manifestă.

În condiții reale, datorită a abaterilor dimensionale și a deformațiilor elastice ale corpurilor de rulare, mișcarea acestora (corpurilor de rostogolire) față de inele este însoțită și de alunecări. Ca urmare apar forțe de frecare (de alunecare) între corpurile de rulare și inele, forțe care se descarcă și în colivie.

Solicitarea coliviei este dată de componenta datorată deplasării centrului  $O_{ii}$  al inelului interior față de centrul  $O_{ie}$  al inelului exterior și de componenta datorată forțelor de frecare care se manifestă între corpurile de rostogolire și inelele rulmentului.

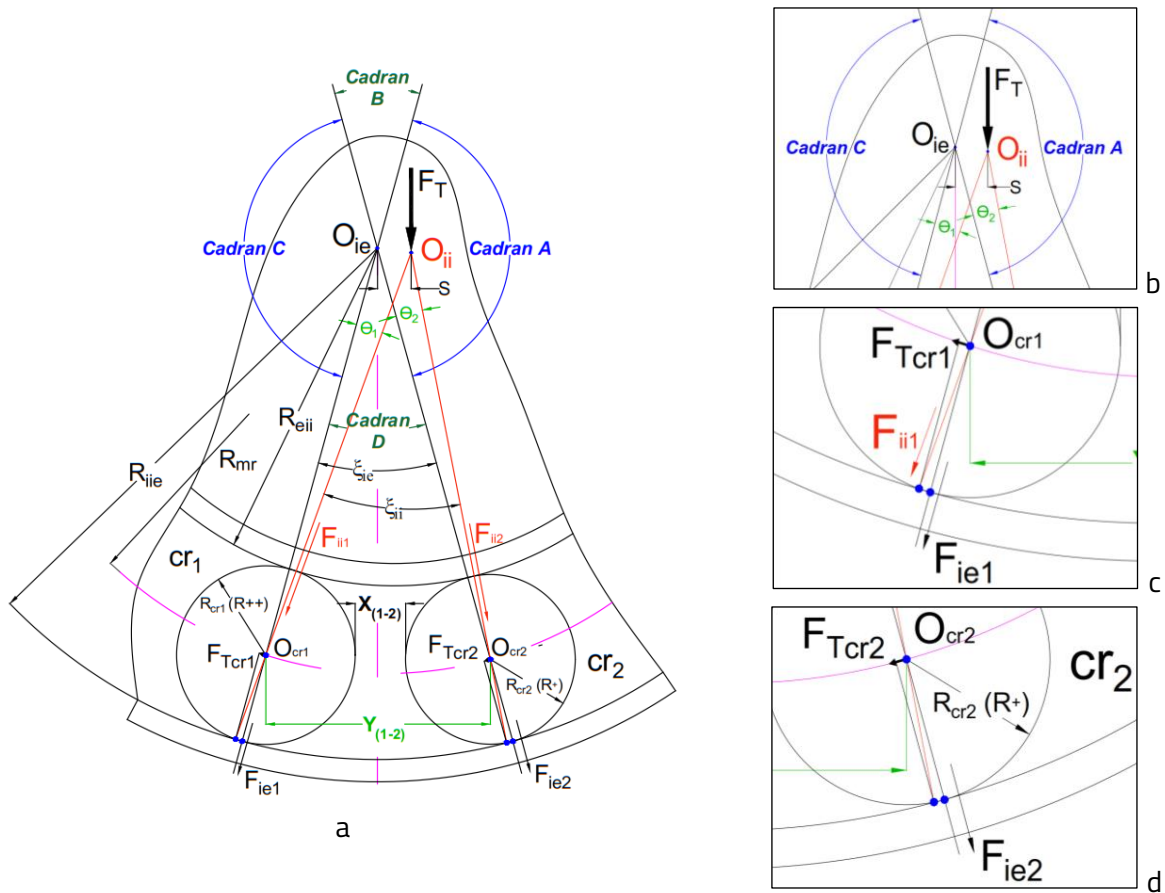
Solicitarea coliviei este suma algebrică a celor două componente, care se pot determina distinct, independent una față de cealaltă. În cele ce urmează se determină întâi componenta datorată deplasării centrului  $O_{ii}$  al inelului interior față de centrul  $O_{ie}$  al inelului exterior, deloc abordată în literatura studiată, iar ulterior componenta datorată forțelor de frecare menționate.

Dacă inelele și corpurile de rostogolire ar fi rigide nedeformabile, iar corpurile de rostogolire nu ar avea raze (diametre) egale, atunci doar două corpuri de rostogolire ar fi simultan în contact atât cu inelul interior, cât și cu inelul exterior. O bună ipoteză este și cea conform căreia cele două corpuri de rostogolire sunt imediat vecine și că direcția forței externe  $F_T$  care solicită rulmentul se află în spațiul unghiular  $\xi_0$ . În această ipoteză cele două corpuri de rostogolire sunt maxim sollicitate de forța externă, ceea ce este echivalent cu cazul de solicitare maximă a coliviei. Acesta este în fapt ceea ce se urmărește prin modelul real de solicitare a coliviei, și anume identificarea cazului de încărcare al rulmentului care corespunde solicitării celei mai intense a coliviei.

Fie  $cr_1$  și  $cr_2$  corpurile de rostogolire care la modelul analizat se află simultan în contact cu inelele rulmentului. Direcțiile  $O_{ie}O_{cr1}$  și  $O_{ie}O_{cr2}$  împart spațiul din jurul centrului  $O_{ie}$  al inelului exterior în patru cadrane: A, B, C și D, **Figura 4.20**. În funcție de diversele combinații de valori ale abaterilor  $\delta_1$  și  $\delta_2$ , centrul  $O_{ii}$  al inelului interior se poate afla în oricare dintre aceste cadrane și ca urmare trebuie studiate toate cele patru posibilități.

Distanța  $S = \overline{O_{ie}O_{ii}}$  este necunoscută atât ca valoare, cât și ca orientare. Este însă latură comună pentru triunghiurile  $\Delta O_{ie}O_{cr1}O_{ii}$  și  $\Delta O_{ie}O_{cr2}O_{ii}$  și, utilizând teorema lui Pitagora generalizată, se poate exprima (în funcție de necunoscutele  $\theta_1$  și  $\theta_2$ ) prin relațiile:

$$\begin{aligned} S &= \overline{O_{ie}O_{ii}} = \sqrt{\overline{O_{ie}O_{cr1}}^2 + \overline{O_{ii}O_{cr1}}^2 - 2 \cdot \overline{O_{ie}O_{cr1}} \cdot \overline{O_{ii}O_{cr1}} \cdot \cos\theta_1}; \\ S &= \overline{O_{ie}O_{ii}} = \sqrt{\overline{O_{ie}O_{cr2}}^2 + \overline{O_{ii}O_{cr2}}^2 - 2 \cdot \overline{O_{ie}O_{cr2}} \cdot \overline{O_{ii}O_{cr2}} \cdot \cos\theta_2}; \end{aligned} \quad (4.35)$$



**Figura 4.20.** Modelul de repartitie al forțelor în structura coliviei – Cadranul A

(a – Vedere de ansamblu; b – vedere detaliată a zonei centrelor  $O_{ie}$  și  $O_{ii}$

c – vedere detaliată forțe la  $cr_1$ ; d – vedere detaliată forțe la  $cr_2$ )

care permit a scrie egalitatea

$$\begin{aligned} & \sqrt{\overline{O_{ie}O_{cr1}}^2 + \overline{O_uO_{cr1}}^2 - 2 \cdot \overline{O_{ie}O_{cr1}} \cdot \overline{O_uO_{cr1}} \cdot \cos\theta_1} = \\ & = \sqrt{\overline{O_{ie}O_{cr2}}^2 + \overline{O_uO_{cr2}}^2 - 2 \cdot \overline{O_{ie}O_{cr2}} \cdot \overline{O_uO_{cr2}} \cdot \cos\theta_2}. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Dezvoltând adecvat relația anterioară rezultă.

$$\begin{aligned} & (R_{iie} - R_{cr1})^2 + (R_{eii} + R_{cr1})^2 - 2 \cdot (R_{iie} - R_{cr1}) \cdot (R_{eii} + R_{cr1}) \cdot \cos\theta_1 = \\ & = (R_{iie} - R_{cr2})^2 + (R_{eii} + R_{cr2})^2 - 2 \cdot (R_{iie} - R_{cr2}) \cdot (R_{eii} + R_{cr2}) \cdot \cos\theta_2; \end{aligned} \quad (4.40)$$

și implicit

$$\cos\theta_1 = \frac{(\delta_1^2 - \delta_2^2) + (R_{mr-0}^2 - \delta_1^2) \cdot \cos\theta_2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2}; \quad (4.53)$$

sau

$$\cos\theta_2 = \frac{-(\delta_1^2 - \delta_2^2) + (R_{mr-0}^2 - \delta_1^2) \cdot \cos\theta_1}{R_{mr-0}^2 - \delta_2^2}; \quad (4.54)$$

Între necunoscutele  $\theta_1$  și  $\theta_2$  s-a obținut până acum o singură relație. Pentru a putea determina cele două necunoscute este necesar a determina încă o relație între acestea.

Se admite ca fiind acceptabilă aproximația

$$\xi_{ie(1-2)} = \xi_{ie} = \xi_0 = \frac{2\pi}{q}; \quad (4.62)$$

și ca urmare, pentru cadranul A, se poate scrie relația

$$\xi_{ii(1-2)} = \xi_{ie(1-2)} - \theta_1 + \theta_2 = \xi_0 - \theta_1 + \theta_2. \quad (4.63)$$

Relația (4.63) scrisă sub forma

$$\theta_1 = (\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) + \theta_2; \quad (4.69)$$

permite a scrie relația

$$\cos \theta_1 = \cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) \cdot \cos \theta_2 - \sin(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) \cdot \sin \theta_2. \quad (4.70)$$

Egalând relația anterioară cu relația (4.40) se obține o ecuație care are ca singură necunoscută unghiul  $\theta_2$ :

$$\cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) \cdot \cos \theta_2 - \sin(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) \cdot \sin \theta_2 = \frac{(\delta_1^2 - \delta_2^2) + (R_{mr-0}^2 - \delta_2^2) \cdot \cos \theta_2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2}. \quad (4.71)$$

Prin dezvoltări succesive se obține:

$$\begin{aligned} & \left\{ \sin^2(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) + \left[ \cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) - \frac{R_{mr-0}^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right]^2 \right\} \cdot \cos^2 \theta_2 - \\ & - 2 \left[ \cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) - \frac{R_{mr-0}^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right] \cdot \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \cdot \cos \theta_2 \\ & + \left( \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right)^2 - \sin^2(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) = 0. \end{aligned} \quad (4.78)$$

Ecuația anterioară este una de gradul II, având ca necunoscută  $\cos \theta_2$ . Notând cu  $a_A$ ,  $b_A$  și  $c_A$  expresiile:

$$\begin{aligned} a_A &= \sin^2(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) + \left[ \cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) - \frac{R_{mr-0}^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right]^2; \\ b_A &= -2 \left[ \cos(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}) - \frac{R_{mr-0}^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right] \cdot \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2}; \\ c_A &= \left( \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{R_{mr-0}^2 - \delta_1^2} \right)^2 - \sin^2(\xi_0 - \xi_{ii(1-2)}), \end{aligned} \quad (4.79)$$

ecuația (4.78) se scrie sub forma:

$$a_A \cdot \cos^2 \theta_2 + b_A \cdot \cos \theta_2 + c_A = 0, \quad (4.80)$$

soluțiile sale fiind:

$$(\cos \theta_2)_{1,2} = \frac{-b_A \pm \sqrt{b_A^2 - 4a_A c_A}}{2a_A}, \quad (4.81)$$

Evident,  $\theta_2 \geq 0$  doar dacă

$$b_A^2 - 4a_A c_A \geq 0. \quad (4.83)$$

Dintre valorile unghiurilor  $(\theta_2)_1$  și  $(\theta_2)_2$  se va lua în considerare pentru  $\theta_2$  acea valoare care conduce la cea mai mare valoare pentru forța care solicită colivia. În acord cu respectiva valoare  $\theta_2$  se va determina, utilizând relația (4.53), și valoarea unghiului  $\theta_1$ .

Fie  $\overrightarrow{F_{\max A}}$  valoarea maximă a forței care solicită colivia în sens normal la suprafața de contact dintre un corp de rostogolire și alveola care corespunde acesteia, considerând plasarea centrului  $O_{ii}$  în cadranul A.

Pentru cadranele B, C și D procedura de determinare a expresiilor analitice ale unghiurilor  $\theta_1$  și  $\theta_2$  este similară. Pentru cadranele A și B, respectiv pentru cadranele C și D, expresiile obținute sunt identice. Cele două seturi de relații diferă prin semn.

Prezentul model de solicitare ia în considerare și posibilitatea ca centrul  $O_{ii}$  să se plaseze și în cadranele B, C sau D, în funcție de posibilele combinații ale valorilor abaterilor  $\delta_1$  și  $\delta_2$ . Se determină adecvat expresii pentru  $\overrightarrow{F_{\max B}}$ ,  $\overrightarrow{F_{\max C}}$  și  $\overrightarrow{F_{\max D}}$ , iar pentru dimensionarea coliviei se va lua în final în considerare forța

$$(\overrightarrow{F_{\max}})_{\text{calcul}} = \max (\overrightarrow{F_{\max A}}; \overrightarrow{F_{\max B}}; \overrightarrow{F_{\max C}}; \overrightarrow{F_{\max D}}). \quad (4.84)$$

#### 4.2. Expresia forțelor care solicită colivia la contactul acesteia cu corpurile de rostogolire

În ceea ce s-a prezentat anterior s-a considerat că forța totală exterioară care solicită rulmentul se transmite dinspre inelul interior mobil, solidar cu un arbore pe care îl lăgăruiește, către inelul exterior considerat fix. Transmiterea forței se face prin intermediul corpurilor de rostogolire, care nu sunt identic solicitate. Forța care solicită un corp de rostogolire  $cr_j$  are ca versor direcția  $O_{ii}O_{crj}$ . Atunci când centrul  $O_{ii}$  al inelului interior nu se suprapune cu centrul  $O_{ie}$  al inelului exterior, caz în care se identifică un unghi  $\theta_j$  între direcțiile  $O_{ii}O_{crj}$  și  $O_{ie}O_{crj}$ , forța care solicită un corp de rostogolire  $cr_j$  se descompune într-o componentă radială la inelul exterior și o componentă perpendiculară pe aceasta, care solicită în sens normal colivia rulmentului. Această ultimă componentă prezintă interes pentru modelul de solicitare abordat și determină solicitare la compresiune sau la întindere, după caz, a corpului coliviei, pe de o parte, și solicitare la strivire a suprafeței dintre respectivul corp de rostogolire și suprafața alveolei coliviei cu care acesta se află în contact.

Prin modelul de solicitare de față se dorește identificarea a cazului de solicitare cel mai intens a coliviei și ca urmare se va lua în considerare cazul descris prin relația (4.2).

Se folosesc notațiile:

$F_T$  – forța totală exterioară;

$F_{T(j-(j+1))}$  – partea din forța totală care corespunde spațiului unghiular  $\xi_{ii}$  cuprins între corpurile de rostogolire „j” și „j+1”;

$F_{Tcrj}$  – forța reală totală care solicită corpul de rostogolire  $cr_j$  (cu punct de aplicație în centrul  $O_{crj}$  al corpului de rostogolire „j”);

$(F_{Tcrj})_{\max}$  – forța reală totală maximă care solicită corpul de rostogolire  $cr_j$  (cu punct de aplicație în centrul  $O_{crj}$  al corpului de rostogolire „j”);

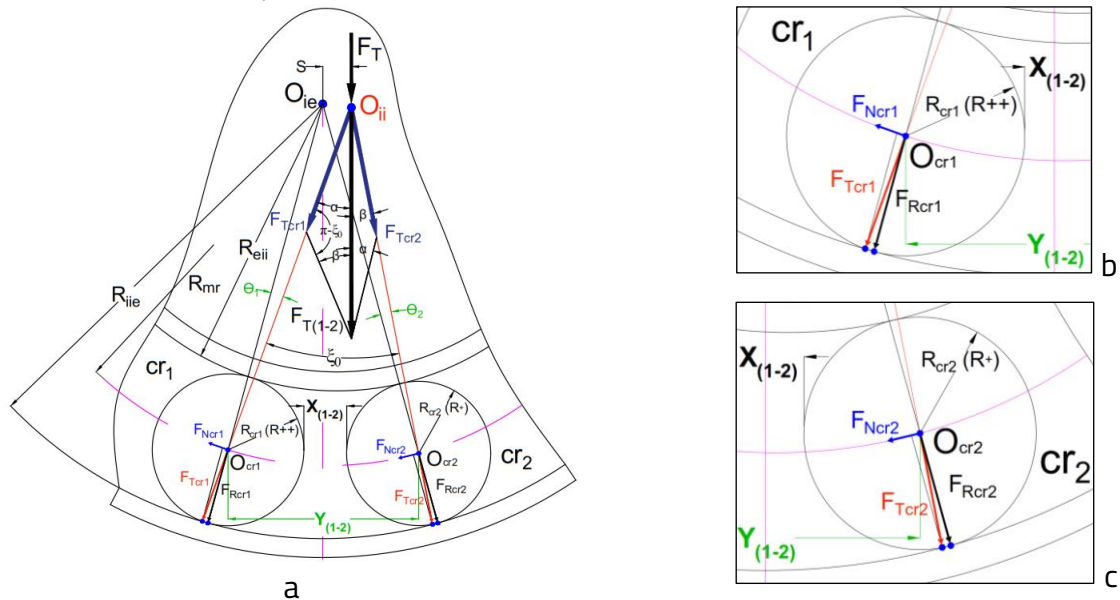
$F_{Rcrj}$  – componenta radială a forței  $F_{Tcrj}$  corespunzătoare corpului de rostogolire  $cr_j$ ;

$F_{Ncrj}$  – componenta tangențială a forței  $F_{Tcrj}$  corespunzătoare corpului de rostogolire  $cr_j$ , care soliciță colivia în sens normal la suprafața de contact dintre corpul de rostogolire  $cr_j$  și alveola care corespunde acestuia.

Pentru deplină concordanță cu notații utilizate în etape anterioare se face precizarea că:

$$\begin{aligned} F_{Tcr1} &\equiv F_{ii1}; F_{Tcr2} \equiv F_{ii2} \Rightarrow F_{Tcrj} \equiv F_{ii j}; F_{Tcr(j+1)} \equiv F_{ii(j+1)}, \\ F_{Rcr1} &\equiv F_{ie1}; F_{Rcr2} \equiv F_{ie2} \Rightarrow F_{Rcrj} \equiv F_{ie j}; F_{Rcr(j+1)} \equiv F_{ie(j+1)}. \end{aligned} \quad (4.111)$$

Componenta  $F_{T(1-2)}$  se consideră invariantă ca orientare (are aceeași direcție ca forța externă totală  $F_T$ ) și se descompune în componentele  $F_{Tcr1}$  și  $F_{Tcr2}$ , acestea solicițând în sens radial, dinspre  $O_{ii}$  corpurile de rostogolire 1 și respectiv 2, **Figura 4.21**. În timpul funcționării rulmentului poziția corpurilor de rostogolire în raport cu direcția forței externe totale  $F_T$  se schimbă continuu. Ca urmare unghiul  $\alpha$  dintre componenta  $F_{Tcr1}$  și forța  $F_{T(1-2)}$  este continuu variabil în domeniul  $0 \dots \xi_0$ . Similar, continuu variabil este și unghiul  $\beta$  dintre componenta  $F_{Tcr2}$  și forța  $F_{T(1-2)}$ , domeniul său de variație același ca cel al unghiului  $\alpha$ , a se vedea relația (4.18).



**Figura 4.21.** Cazul real de repartiție al forțelor

(a – vedere de ansamblu; b – vedere detaliată forțe la  $cr_1$ ; d – vedere detaliată forțe la  $cr_2$ )

Expresiile analitice ale componentelor  $F_{Tcr1}$  și  $F_{Tcr2}$ , dependente de forța  $F_{T(1-2)}$  și de unghiurile  $\alpha$  și  $\beta$ , se determină făcând apel la teorema sinusurilor<sup>1</sup>:

$$\frac{\sin(\pi - \xi_0)}{F_{T(1-2)}} = \frac{\sin \beta}{F_{Tcr1}} = \frac{\sin \alpha}{F_{Tcr2}}. \quad (4.112)$$

S-a precizat deja că pentru modelul de solicițare conceput prezintă interes cazurile de solicițare maximă ale coliviei, adică  $(F_{Tcr1})_{max}$  și/sau  $(F_{Tcr2})_{max}$ :

$$\begin{aligned} (F_{Tcr1})_{max} &= \max \left[ F_{T(1-2)} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \xi_0)} \right] = F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \max(\sin \beta) \\ &= F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \sin \beta_{max} = F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \sin \xi_0; \end{aligned} \quad (4.115)$$

<sup>1</sup> McKeague C.P., Turner M.D. (2016): *Trigonometry*. Brooks/Cole, ISBN-13: 978-1-305-65222-4

$$\begin{aligned} (F_{Tcr2})_{max} &= \max \left[ F_{T(1-2)} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\pi - \xi_0)} \right] = F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \max(\sin \alpha) \\ &= F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \sin \alpha_{max} = F_{T(1-2)} \cdot \frac{1}{\sin(\pi - \xi_0)} \cdot \sin \xi_0. \end{aligned} \quad (4.115)$$

Evident, cele două componente  $(F_{Tcr1})_{max}$  și  $(F_{Tcr2})_{max}$  au aceeași expresie, dar nu sunt maxime simultan. La momentul în care  $\alpha = \alpha_{max} = \xi_0$  este maximă forța  $F_{Tcr2}$ , dar  $\beta = \beta_{min} = 0$  și implicit componenta  $F_{Tcr1}$  este nulă.

Componenta  $(F_{Tcr1})_{max}$  generează o forță  $(F_{Ncr1})_{max}$  (denumită forță normală la colivie, orientată tangent la cercul de diametru mediu al coliviei) dependentă de unghiul  $\theta_1$ :

$$(F_{Ncr1})_{max} = (F_{Tcr1})_{max} \cdot \sin \theta_1, \quad (4.116)$$

iar componenta  $(F_{Tcr2})_{max}$  generează o forță  $(F_{Ncr2})_{max}$  dependentă de unghiul  $\theta_2$ :

$$(F_{Ncr2})_{max} = (F_{Tcr2})_{max} \cdot \sin \theta_2. \quad (4.117)$$

Este foarte puțin probabil, pentru oricare dintre cadranele A, B, C și D, ca unghiurile  $\theta_1$  și  $\theta_2$  să fie egale. Se va lua în considerare, pentru fiecare cadran, forța cu cea mai mare valoare dintre cele determinate cu relațiile (4.116) și (4.117).

De exemplu, pentru cadranul A se va lua în considerare forța

$$\overrightarrow{F_{maxA}} = \max((F_{Ncr1})_{max}; (F_{Ncr2})_{max}), \quad (4.118)$$

cele două componente fiind determinate cu relațiile (4.116) și (4.117) în funcție de unghiurile  $\theta_1$  și  $\theta_2$  corespunzătoare cadranelor A.

Se procedează similar pentru cadranele B, C și D, determinând corespunzător forțele  $\overrightarrow{F_{maxB}}$ ,  $\overrightarrow{F_{maxC}}$  și  $\overrightarrow{F_{maxD}}$ .

Forța de calcul  $|(F_{max})_{calcul}|$  datorată abaterilor dimensionale  $\delta_1$  și  $\delta_2$ , abateri care iau în considerare și deformațiile elastice, care va fi folosită la dimensionarea coliviei se determină cu relația (4.84), adică  $\overrightarrow{(F_{max})_{calcul}} = \max(\overrightarrow{F_{maxA}}; \overrightarrow{F_{maxB}}; \overrightarrow{F_{maxC}}; \overrightarrow{F_{maxD}})$ .

Prezentul model a fost elaborat luând în considerare solicitare statică a rulmentului. În caz real funcționarea unui rulment este însoțită de șocuri, vibrații și variații ale forței externe. Toate acestea pot fi luate în considerare printr-un coeficient  $K_d$  de amplificare dinamic aplicabil forței  $\overrightarrow{(F_{max})_{calcul}}$ . Dezvoltarea modelului în acest sens este un obiectiv de viitor.

Datorită abaterilor dimensionale ale căilor de rulare și ale corpurilor de rostogolire, precum și datorită deformațiilor elastice ale acestora, în timpul funcționării unui rulment apar fenomene de alunecare între suprafețele corpurilor de rostogolire și căile de rulare ale inelelor. Ca urmare apar forțe de frecare (de alunecare) între corpurile de rostogolire și inelele rulmentului, coeficientul de frecare fiind  $\mu$ .

Se consideră corpul de rostogolire  $cr_1$  drept cel mai intens solicitat cu forță exterioară, adică este maximă forța  $F_{T(1-2)}$  dintre toate forțele  $F_{T(i-1)}$ .

Forța de frecare care se manifestă între corpul de rostogolire  $cr_1$  și inelul exterior, paralelă cu forța  $F_{Ncr1}$ , se exprimă prin relația

$$F_{\mu cr_1-ie} = \mu \cdot F_{Rcr1} = \mu \cdot F_{Tcr1} \cdot \cos \theta_1, \quad (4.119)$$

iar forța de frecare care se manifestă între corpul de rostogolire  $cr_1$  și inelul interior, care face cu direcția forței  $F_{Ncr1}$  un unghi  $\theta_1$  (Figura 4.22), se exprimă prin relația

$$F_{\mu_{cr_1-ii}} = \mu \cdot F_{Tcr_1} \cdot \quad (4.120)$$

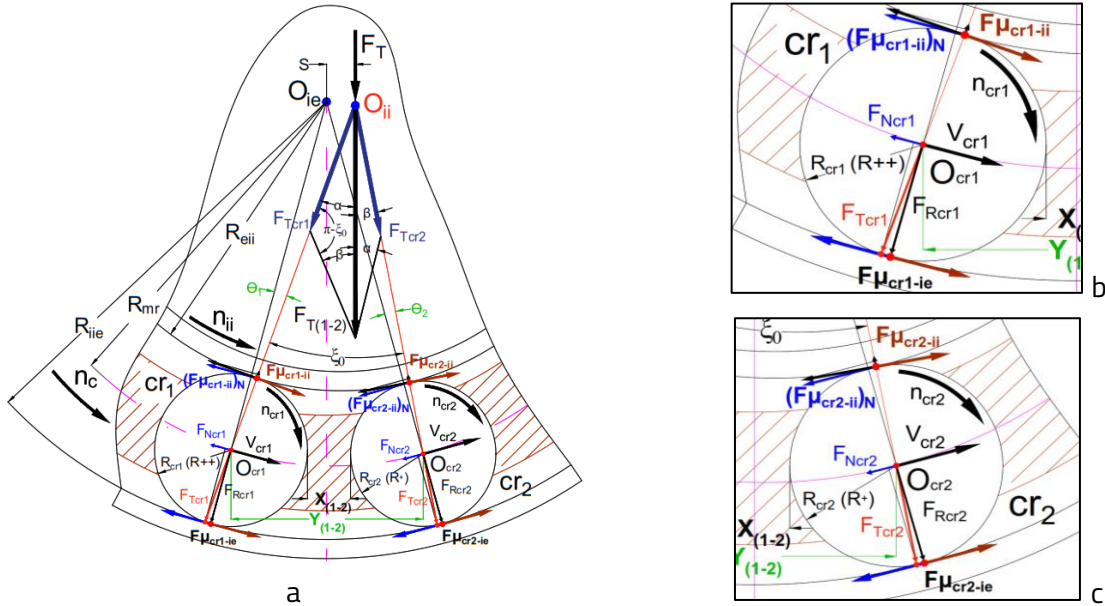


Figura 4.22. Forțele de frecare  $F_{\mu_{cr_j-ie}}$  și  $F_{\mu_{cr_j-ii}}$  care se manifestă între un corp de rostogolire  $cr_j$  și inelele rulmentului (a – vedere de ansamblu; b – vedere detaliată forțe de frecare  $F_{\mu_{cr_1-ie}}$  și  $F_{\mu_{cr_1-ii}}$ ; d – vedere detaliată forțe de frecare  $F_{\mu_{cr_2-ie}}$  și  $F_{\mu_{cr_2-ii}}$ )

Componenta forței  $F_{\mu_{cr_1-ii}}$  paralelă cu forța  $F_{Ncr1}$  este

$$\left(F_{\mu_{cr_1-ii}}\right)_N = \mu \cdot \frac{F_{Tcr_1}}{\cos \theta_1} \quad (4.121)$$

Forțele de frecare  $F_{\mu_{cr_1-ie}}$  și  $\left(F_{\mu_{cr_1-ii}}\right)_N$  pot avea același sens cu forța  $F_{Ncr1}$  sau sensuri contrare. Cazul de solicitare cel mai defavorabil corespunde situației când ambele forțe de frecare  $F_{\mu_{cr_1-ie}}$  și  $\left(F_{\mu_{cr_1-ii}}\right)_N$  sunt simultan de același sens cu forța  $F_{Ncr1}$ , caz în care forța care solicită la strivire colivia dinspre corpul de rostogolire  $cr_1$  este:

$$\begin{aligned} ((F_{calcul})_{strivire})_{cr_1} &= F_{Ncr1} + F_{\mu_{cr_1-ie}} + \left(F_{\mu_{cr_1-ii}}\right)_N = \\ &= F_{Ncr1} + \mu \cdot F_{Tcr_1} \cdot \cos \theta_1 + \mu \cdot F_{Tcr_1} / \cos \theta_1. \end{aligned} \quad (4.122)$$

În relația anterioară se va lua în considerare acel unghi  $\theta_1$  care corespunde cadranelui pentru care forța  $(F_{Tcr_1})_{max}$  are valoarea maximă, implicit cadranelui care determină  $(F_{max})_{calcul}$ .

Pentru solicitarea de întindere sau de compresiune a corpului coliviei se iau în considerare simultan forțele care se manifestă dinspre două corpuri de rostogolire, posibil imediat vecine. În ipoteza că  $cr_1$  generează forța  $(F_{calcul})_{cr_1}$  și că  $cr_2$  generează forța  $(F_{calcul})_{cr_2}$ , în sensuri opuse și ambele având valoarea maximă cea determinată cu relația (4.122) pentru  $cr_1$  (ipoteză acoperitoare), forța de calcul pentru solicitarea de întindere sau compresiune, după caz, a corpului coliviei se exprimă cu relația:

$$(F_{calcul})_{întindere/compresiune} = (F_{calcul})_{strivire} / \cos \frac{\xi_0}{2}. \quad (4.124)$$

Modelul de calcul prezentat ia simultan în considerare atât componenta normală pe colivie datorată deplasării centrului inelului interior, cât și componentele datorate forțelor de frecare dintre corpul de rostogolire și inelele rulmentului.

### 4.3. Exemplu numeric

În teză este dat și un exemplu numeric relevant.

### 4.4. Concluzii

În literatura de specialitate nu se identifică un model de solicitare a coliviilor de rulmenți pe baza căruia să se poată face dimensionarea acestora. Se pare că „dimensionarea” coliviilor rulmenților este mai degrabă rezultat al unor încercări corective succesive validate în practică pentru diversele aplicații.

Necesitatea elaborării unui model matematic de solicitare a coliviilor rulmenților s-a relevat pe parcursul cercetărilor de documentare întreprinse în vederea tezei de față.

În acord cu multe alte modele din inginerie, modelul de solicitare a luat în considerare, într-o primă etapă, condiții ideale ale geometriei componentelor rulmentului. Dacă corpurile intermediare de rostogolire și căile de rulare ale inelelor rulmentului nu prezintă abateri geometrice, modelul elaborat demonstrează că nu se dezvoltă forțe asupra coliviei acestuia.

Într-o a doua etapă au fost luate în considerare condiții geometrice reale, adică corpurile intermediare de rostogolire (bile sau role) și căile de rulare ale inelelor prezintă abateri dimensionale și de formă, pe de o parte, și că acestea se deformează elastic sub acțiunea unei sarcini radiale externe care solicită rulmentul. S-a considerat totuși că abateri au doar corpurile de rostogolire, prezumând că acestea „cumulează” și abaterile și deformațiile elastice locale ale inelelor rulmentului.

Ca urmare a abaterilor geometrice și a deformațiilor elastice centrul (axa) inelului interior nu se mai suprapune peste centrul inelului exterior. Au fost identificate patru cadrane, notate A, B, C și D, pentru care relațiile inițiale sunt diferite. S-a constatat totuși că relațiile finale sunt diferite doar pentru două zone: un același set de relații s-a obținut pentru cadranele A și B, iar un alt set de relații pentru cadranele C și D.

Forța externă se distribuie neuniform circumferențiar asupra inelului interior, indiferent dacă rulmentul este cu pretensionare sau nu. Consecința imediată este că apare o solicitare inegală a corpurilor de rostogolire. Modelul a luat în considerare cazul cel mai defavorabil, de încărcare maximă a două corpuri de rostogolire imediat vecine, urmărind a pune în evidență maximul de solicitare al coliviei.

Forța externă a fost discretizată, în sensul că forța externă care corespunde spațiului unghiular dintre două corpuri de rostogolire este forță concentrată și invariantă ca orientare. Forța externă discretizată se descarcă asupra corpurilor de rostogolire și dezvoltă asupra acestora forțe radiale ai căror versori intersectează centrul inelului interior și ale căror valori sunt dependente de poziția de moment a corpurilor de rostogolire, acestea efectuând o mișcare de rotație în jurul axei inelului interior.

Abaterile dimensionale și deformațiile elastice ale căilor de rulare și ale corpurilor intermediare de rostogolire determină deplasarea relativă a centrelor inelelor rulmentului. Modelul dezvoltat a luat în considerare că inelul exterior este fix, deplasabil fiind doar centrul inelului interior.



## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

S-a determinat expresia forței maxime care solicită un corp de rostogolire, datorată doar deplasării centrului inelului interior. În toate cazurile forța maximă care solicită un corp de rostogolire are aceeași direcție și sens ca forța externă care solicită rulmentul.

Pentru cazul real, forța care solicită un corp de rostogolire intermediar datorată deplasării centrului inelului interior se descompune într-o forță orientată radial față de inelul exterior și o componentă perpendiculară față de aceasta, orientată tangent la cercul de diametru mediu al coliviei. Această a doua componentă, denumită forță normală la colivie, se manifestă asupra coliviei și determină solicitare de strivire între corpul de rostogolire și suprafața alveolei coliviei cu care acesta se află în contact, pe de o parte, și solicitare de tracțiune sau compresiune, după caz, a corpului coliviei cuprins în spațiul unghiular dintre fiecare două corpuri de rostogolire imediat vecine.

Modelul real ia în considerare și forțele de frecare de alunecare care se manifestă la contactul dintre corpurile de rostogolire și inelele rulmentului, și anume acele componente paralele cu forța normală datorată deplasării centrului inelului interior față de centrul inelului exterior.

Modelul propune determinarea valorilor maxime a forțelor normale la colivie pentru fiecare cadran avut în vedere în cadrul modelului și, în mod logic, adoptarea în vederea dimensionării coliviei a celei mai mari dintre aceste valori, de preferat amplificată cu un coeficient supraunitar care să ia în considerare condițiile dinamice de funcționare și de solicitare ale rulmentului.

Model matematic de solicitare a coliviei unui rulment radial este integral original și constituie o contribuție la ansamblul de cunoștințe teoretice referitoare la rulmenți.

## Capitolul 5. REZULTATE INOVATIVE PRIVIND CONCEPEREA UNOR SOLUȚII CONSTRUCTIVE NOI ORIGINALE DE COLIVII PENTRU RULMENȚI GREI

### 5.1. Prima soluție identificată de colivie pentru rulmenți grei cu bile. Descriere și analiza procesului de creație tehnică

Încă de la început cercetarea care a motivat teza de față și-a propus găsirea unor soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei care să satisfacă simultan următoarele atribute:

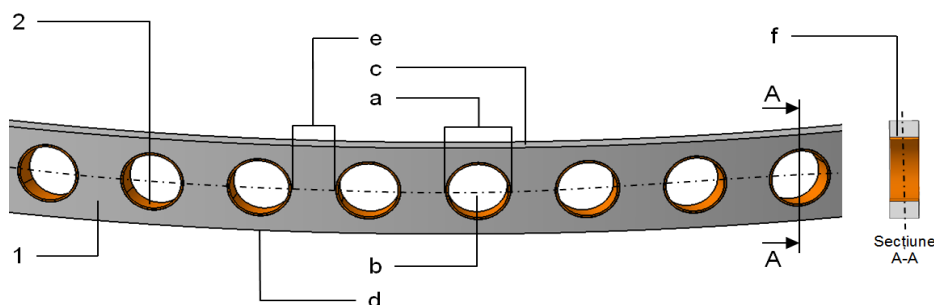
- să fie semnificativ mai ieftine decât cele utilizate în prezent;
- să fie cel puțin la fel de rezistente ca cele utilizate în prezent;
- să asigure proprietăți antifricțiune cel puțin egale cu cele ale celor mai bune colivii utilizate în prezent;
- să conserve în cât mai mare măsură soluția constructivă uzuală, ceea ce este echivalent cu un minim de modificări de natură tehnologică și de dotare tehnică necesară realizării lor.

Ulterior elaborării modelului de mișcare a coliviei unui rulment radial și a modelului de consum energetic de exploatare asociat unei astfel de colivii s-a adăugat o cerință nouă, și anume ca densitatea materialului din care este realizat corpul coliviei să fie cât mai mică. Consecința imediată este că trebuie schimbat materialul din care se execută în prezent coliviile performante cu unul cu densitate mai mică.

Primele cercetări s-au focalizat pe găsirea unor soluții constructive noi pentru rulmenți radiali cu bile, care să satisfacă în cât mai mare măsură cerințele menționate anterior.

O conexiune ideatică inițială cu lagărele cu cuzineți utilizate la biețele motoarelor cu ardere internă a generat ideea de a concepe o colivie pentru rulmenți grei la care locașurile pentru bile să fie placate cu un material antifricțiune.

S-a conturat soluția constructivă prezentată în **Figura 5.23**. Corpul (1) al coliviei este realizat din bandă de oțel, rulată pentru a forma un cilindru și sudată la capete. Soluția asigură rezistență mecanică, consum redus de material, simplitate tehnologică și costuri minime, caracteristici regăsite în stadiul actual. Nu se exclude a se folosi pentru corpul coliviei material plastic, de exemplu poliamidă, teflon sau politetrafluor-etenă, sau material compozit, de exemplu textolit.



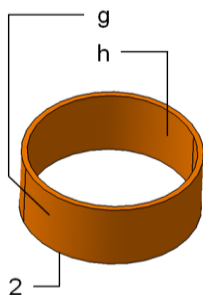
**Figura 5.23.** Colivie pentru rulmenți grei cu bile, în vedere axonometrică, într-o variantă de realizare. Detaliu<sup>1</sup>

În locașurile cilindrice pentru plasarea bilelor se montează inele (2) realizate din alamă, posibil din bronz sau un alt material cu foarte bune proprietăți antifricțiune, **Figura 5.24**. Inelele (2) se pot obține

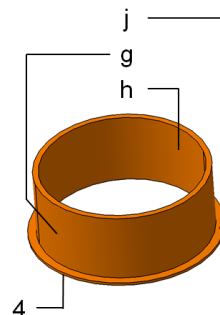
<sup>1</sup>Cioară R., Szekely V.G. (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

eficient din tablă de alamă, prin ambutisare sau prin răsfrângerea marginilor<sup>1</sup>, sau prin debitare din țevă de diametru și grosime a peretelui adecvate.

S-a optat pentru montare nedemontabilă. În final s-a considerat că o soluție eficientă și sigură este montarea nedemontabilă prin lipire cu adezivi industriali. Nu s-a exclus brazarea, ca tehnologie alternativă, cunoscută și utilizată cu succes la construcția sculelor așchietoare și nu numai.



**Figura 5.24.** Inel pentru placarea locașurilor pentru bile<sup>2</sup>



**Figura 5.25.** Inel cu umăr, pentru placarea locașurilor pentru bile<sup>3</sup>

Selectată fiind tehnica de montaj au fost imediat identificate un număr de implicații:

- stratul de adeziv are o anumită grosime, ceea ce impune ca diametrul alezajelor cilindrice din corpul (1) al coliviei să fie mai mare decât diametrul exterior al inelelor (2) de placare;
- pentru a favoriza lipirea trebuie prevăzută rugozitate mare atât pentru suprafețele alezajelor cilindrice din corpul (1) al coliviei, cât și pentru suprafața cilindrică exterioară (g) a inelelor (2) de placare;
- în urma lipirii nu este cert că axa unui inel (2) de placare se va suprapune peste axa alezajului cilindric din corpul (1) al coliviei unde este montat. Rezultă că ulterior lipirii inelele (2) de placare trebuie prelucrate suplimentar, ceea ce impune ca diametrul suprafeței cilindrice interioare (h) a inelelor (2) de placare trebuie să fie inițial mai mic decât cel prevăzut ca diametru pentru locașurile pentru bile;
- nu se cere precizie și calitate deosebite pentru suprafața cilindrică interioară (h) a inelelor (2) de placare;
- stratul de adeziv rezultat în urma lipirii va fi solicitat în timpul prelucrării suplimentare finale a fiecărui inel (2) de placare.

S-a identificat și posibilitatea ca inelele (2) de placare să nu ajungă în urma montajului în mod sistematic în poziții identice în sens radial față de corpul (1) al coliviei, ceea ce ar putea impune prelucrări suplimentare.

Este cunoscut că dacă este pusă întrebarea corectă se obține mult mai ușor răspunsul corect. Apelul la întrebări adecvate este caracteristic mai multor tehnici și metode de creație tehnică<sup>4</sup>. În cazul de față întrebarea corectă a fost „ce anume asigură sistematic poziționarea axială într-un același loc?”, iar răspunsul așteptat a fost „un opritor”. Sau un umăr, sau un guler, în funcție de situație. Analizând posibilitățile a rezultat că fie alezajele cilindrice practicate în corpul (1) al coliviei au prevăzute câte un

<sup>1</sup> Drăghici C. (2017): *Contribuții la optimizarea unor caracteristici constructive ale pieselor realizate prin deformare plastică la rece*. Teză de doctorat, Universitatea POLITEHNICA din București

<sup>2</sup> Cioară R., Szekely V.G. (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> Belous V., Plăhteanu, B. (2005): *Fundamentele creației tehnice*. Editura Performantica, ISBN 973-730-138-2, Iași

salt de diametru, deci un umăr în care se sprijină axial inelele (2) de placare, fie acestea din urmă prezintă înspre exterior câte un guler sau ceva de tipul unei proeminențe care să limiteze mereu identic translația inelului (2) în lungul oricărui alezaj cilindric din corpul (1) al coliviei.

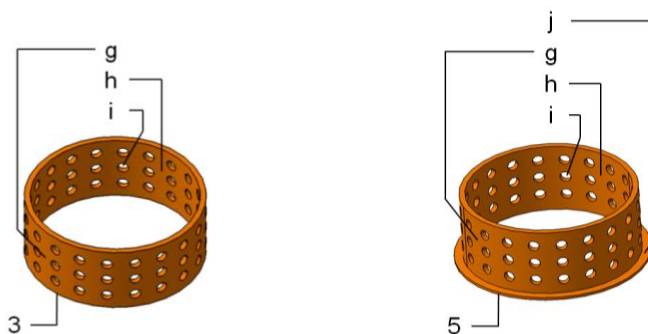
Realizarea unor inele (4) de placare cu guler, **Figura 5.25** p.43, s-a apreciat ca fiind o soluție bună: gulerul se poate obține ușor din punct de vedere tehnologic, costurile suplimentare sunt mici, gulerul circular nu impune o orientare unghiulară prealabilă a inelului (4) înainte de montaj, iar alezajele cilindrice radiale din corpul (1) al coliviei sunt integral lise și realizabile cu minimum de costuri.

În această etapă obiectivul cercetării era deja atins cel puțin la un nivel minim, atributele urmărite pentru noua soluție fiind îndeplinite: soluția constructivă nou concepută conservă în mare măsură soluția constructivă de referință, asigură bună rezistență, proprietățile antifricțiune în zonele de contact cu bilele sunt egale cu cele ale coliviilor corespondente realizate integral din alamă, iar consumul de material scump și dens este minimizat.

Înainte de a trece la redactarea descrierii de brevet s-a procedat la o analiză finală, în principal din perspectiva gradului de îndeplinire a funcțiilor coliviei. Au fost formulate întrebări de tipul: „poate fi îmbunătățită rezistența?”, „poate fi redus costul?”, „se identifică dificultăți tehnologice sau de montaj?”, „este disponibilă tehnologia necesară?”.

Întrebarea „pot fi îmbunătățite condițiile de lubrifiere?” a condus la noi căutări în sensul identificării unor posibilități de a menține lubrifianții în zonele locașurilor pentru bile. Soluția a venit ca răspuns la întrebarea „ce se poate îmbunătăți la elementele de placare?”, iar rezultatul a fost modificarea inelelor de placare în sensul perforării radiale a lor cu un număr oarecare de găurele, **Figura 5.26**, care în timpul funcționării rulmentului să se comporte ca niște mici (și multe) rezervoare locale de lubrifianți.

S-a constatat că elaborarea noii soluții de colivie pentru rulmenți grei cu bile a constituit rodul conlucrării dintre gândirea logică și cea intuitivă, prin utilizarea mai multor demersuri creative<sup>1, 2, 3, 4</sup>.



**Figura 5.26.** Inele de placare prevăzute cu perforații radiale<sup>5</sup>

Procesul de creație a fost unul atractiv și plăcut, o experiență personală care a dat imbold pentru noi căutări. Devenise în același timp necesară aprofundarea unor cunoștințe teoretice de tehnica inventării și formarea de noi abilități în acest sens.

<sup>1</sup> Belous V., Plăhteanu B. (2005): *Fundamentele creației tehnice*. Editura Performantica, ISBN 973-730-138-2, Iași

<sup>2</sup> Belous V., Moraru I. (1998): *Tratat de creatologie*. Editura Performantica, ISBN 973-97813-8-1, Iași

<sup>3</sup> Belous V. (1992): *Invenția*. Editura Gh. Asachi, ISBN 973-95650-0-X, Iași

<sup>4</sup> Belous V. (1990): *Manualul Inventatorului*. Editura Tehnică, București

<sup>5</sup> Cioară R., Szekely V.G. (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

### 5.3. Colivie pentru rulmenți grei cu bile. A doua grupă de soluții constructive

Mult mai frecvent întâlniți decât rulmenții radiali demontabili sau cu contact în patru puncte sunt cei radiali cu bile „normali”, nedemontabili, la care colivia este formată din două semicolivii asamblate într-un mod oarecare ulterior plasării bilelor în locașurile dedicate lor. La rulmenții grei de tipul menționat semicoliviile sunt masive, frecvent realizate din alamă sau bronz, și asamblate prin șuruburi.

Dezavantajele majore ale soluției de referință sunt determinate de materialul scump și deficitar din care sunt realizate seminalele, de gradul de utilizare relativ redus al materialului (ca urmare a pierderilor importante care apar în procesul de fabricare), de rezistența mai scăzută a acestuia în raport cu cea a oțelului și de masa și momentul de inerție mai mare date de densitatea crescută a materialului.

S-a procedat la studierea posibilităților de eliminare a dezavantajelor identificate, în special în sensul reducerii costurilor și a eliminării în cât mai mare măsură a utilizării de materiale scumpe și deficitare, așa cum sunt alama și bronzul. S-a avut în vedere satisfacerea în grad înalt a funcțiilor „are rezistență”, „are durabilitate”, „este fiabilă”, „asigură reducerea uzurii” și „are consumuri energetice de exploatare reduse”.

S-a făcut apel la fondul de demersuri creative și procedurile elementare de căutare, utilizând întrebări adecvate, ca de exemplu: „ce se poate prelua de la soluția inovativă anterior concepută?”, „ce se poate modifica?”, „ce material se poate utiliza pentru semiinele?”, „ce impact are materialul asupra costurilor?”, „materialul utilizat la semiinele asigură bune proprietăți antifricțiune?”, „materialul utilizat asigură rezistența necesară?”, „ce densitate are materialul?”.

Întrebările utilizate au condus cercetarea către două direcții de acțiune, și anume:

- ❶ identificarea unor materiale care pot fi utilizate la confecționarea semicoliviilor, și
- ❷ confirmarea posibilității utilizării conceptului de placare, aplicat la prima soluție constructivă nouă elaborată.

S-a conturat cu claritate că soluția constructivă nouă are caracteristice două semicolivii ale căror alveole destinate plasării și ghidării bilelor sunt placate cu elemente adecvate, solidarizarea acestora cu corpurile de bază ale semicoliviilor realizându-se prin lipire folosind adezivi industriali adecvați sau prin brazare.

Corpurile de bază ale semicoliviilor trebuie să aibă minime modificări constructive față de soluția de referință și să fie realizate din materiale cu rezistență superioară celei a alamei sau bronzului, ieftine și suficient de ușor prelucrabile. Satisfac aceste cerințe oțelurile comune, posibil duraluminiul, unele materiale plastice și unele materiale compozite, ca de exemplu textolitul.

Pentru elementele de placare, care în cazul de față sunt de forma unui dreptunghi curbiliniu detașat din peretele unui corp de revoluție de tip sferă, s-a ajuns la concluzia că materialul cel mai indicat este alama sub formă de tablă, din care să se obțină elementele de placare prin decupare și ambutisare.

A rezultat, ca primă variantă de realizare, soluția constructivă prezentată în **Figura 5.27**, elementele de placare având forma din **Figura 5.28 - a**. Experiența demersului creativ anterior a generat imediat ca posibil de utilizat pentru elementele de placare și varianta cu găurele, **Figura 5.28 - b**.

S-a procedat la analiza soluției constructive elaborate, procesul fiind însoțit de formularea unor întrebări de natură să identifice aspecte de natură tehnologică sau/și să conducă la noi variante de realizare.

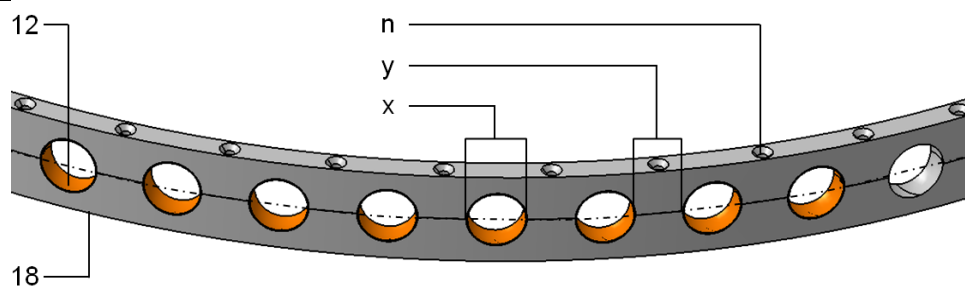


Figura 5.27. Vedere axonometrică a coliviei, asamblată într-un mod în sine cunoscut<sup>1</sup>

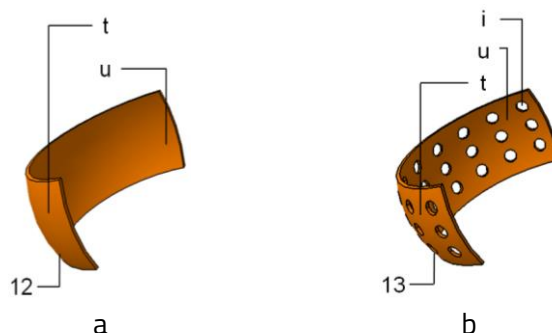


Figura 5.28. Element de placare, în vedere axonometrică (a – variantă 1; b – variantă 2)<sup>2</sup>

Punând întrebarea „procesul de fabricare al semicoliviilor se modifică?” s-a constatat în mod logic că raza alveolelor practicate în corpul de bază al semicoliviilor trebuie să fie mai mare decât raza bilelor, cu o valoare care este determinată de grosimea stratului de adeziv și de grosimea elementelor de placare, și că ulterior solidarizării prin lipire a elementelor de placare cu corpul de bază al fiecărei semicolivii alveolele trebuie prelucrate suplimentar pentru a obține precizia dimensională și de poziție adecvată. Consecința imediată este că în raport cu soluția de referință numărul de alveole este posibil să fie mai mic, iar că stratul de adeziv trebuie să reziste solicitării de forfecare în planul de lipire generată de forțele de așchiere în timpul prelucrării suplimentare a alveolelor. Nu se identifică alte aspecte de natură tehnologică, în afara celor generate de schimbarea materialului semicoliviilor.

Necesitatea prelucrării suplimentare a alveolelor a generat întrebarea „este necesară fixarea suplimentară a elementelor de placare?” S-a apreciat ca fiind utilă fixarea suplimentară și s-au căutat soluții în acest sens. O similitudine cu construcția cuzineților utilizați la biețele motoarelor cu ardere internă a generat două variante de realizare pentru elementele de placare, care au fost prevăzute două urechiușe (v), Figura 5.29, sau două creștături (w), Figura 5.30.

Evident, detaliile constructive suplimentare ale elementelor de placare impun modificări adecvate la semicolivii, dar minore. Pentru a se putea monta elemente de placare (14 sau 15) prevăzute cu urechiușe (v) la semicolivii trebuie prelucrate degajări (q), Figura 5.31, iar pentru a se putea monta elemente de placare (16 sau 17) prevăzute cu creștături (w) la semicolivii trebuie prelucrate creștături (r), Figura 5.32.

Nu sunt excluse dezvoltări ulterioare care să genereze variante noi de realizare sau chiar soluții constructive noi de colivii pentru tipurile considerate de rulmenți sau pentru alte tipuri, în funcție de particularitățile acestora.

<sup>1</sup> Cioară R., Szekely V.G. (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

<sup>2</sup> idem

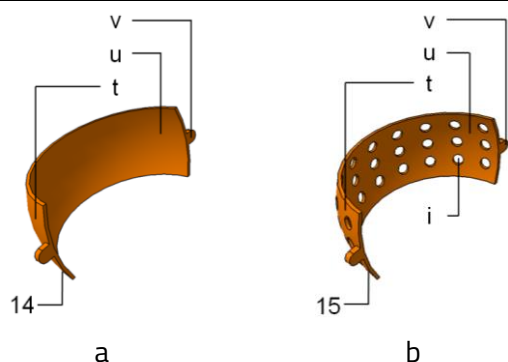


Figura 5.29. Element de placare, în vedere axonometrică (a – variantă 3; b – variantă 4)<sup>7</sup>

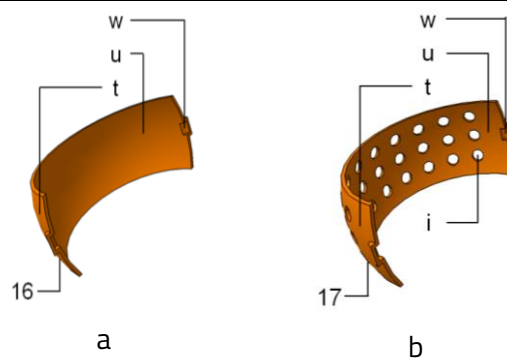


Figura 5.30. Element de placare, în vedere axonometrică (a – variantă 5; b – variantă 6)<sup>2</sup>

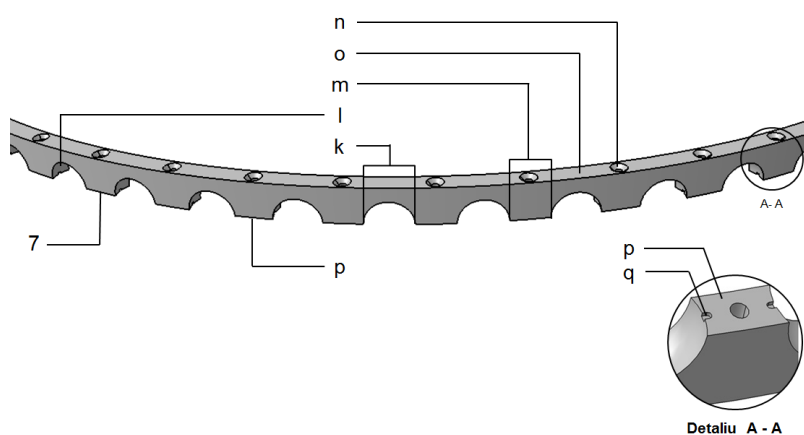


Figura 5.31. Semicolivie superioară, în vedere axonometrică (variantă 2)<sup>3</sup>

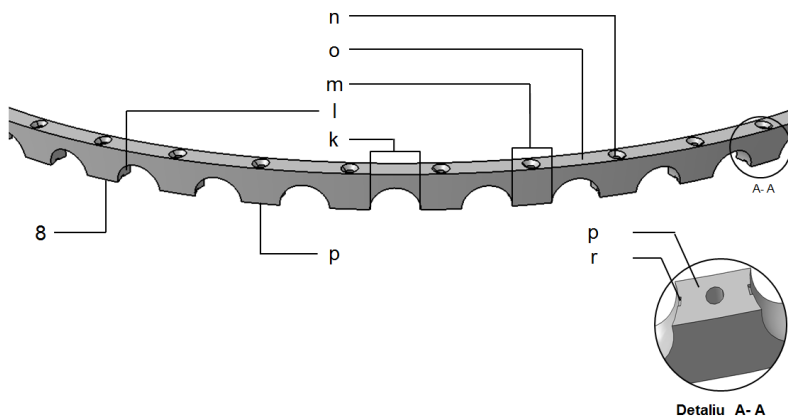


Figura 5.32. Semicolivie superioară, în vedere axonometrică (variantă 3)<sup>4</sup>

S-a apreciat că cele două grupe de soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei cu bile respectă criteriul unității invenției<sup>5</sup> și ca urmare au făcut obiectul unei singure invenții<sup>6</sup>. Descrierea de

<sup>1</sup> Cioară R., Szekely V.G. (2017): Colivie pentru rulmenți cu bile. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> Idem

<sup>5</sup> \* \* \* (1991): *Legea 64*. [https://ns.osim.ro/publicatii/editura/TOATE%20MATERIALELE/LEGISLATIE/Legea%2064\\_1991\\_RO.pdf](https://ns.osim.ro/publicatii/editura/TOATE%20MATERIALELE/LEGISLATIE/Legea%2064_1991_RO.pdf)

<sup>6</sup> Cioară R., Szekely V.G. (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52

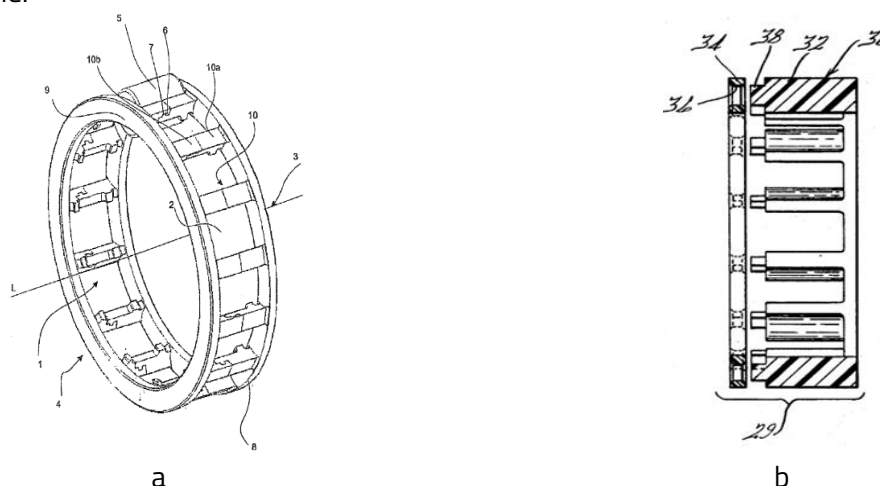
brevet în forma sa inițială, așa cum a fost înregistrată la OSIM, se prezintă în extenso în Anexa 5.1 din teză. S-a urmărit astfel minimizarea costurilor cu taxele de înregistrare, de examinare și de menținere în vigoare, și nu de creștere, poate artificială, a numărului de brevete din portofoliu.

Ulterior elaborării soluțiilor descrise anterior a fost identificată în brevetoteca mondială o cerere de brevet de invenție, US 2013/0336609 A1<sup>1</sup>, apreciat ca fiind foarte interesant și posibil în acord cu conceptul de placare utilizat la soluțiile originale descrise mai sus.

Pasul următor, logic și necesar, a fost identificarea unui grup de soluții constructive noi, originale, de colivii pentru rulmenți grei cu role, tip de rulmenți grei frecvent utilizat. S-a urmărit în mod explicit utilizarea conceptului de placare și pentru acest caz, asigurând și prin aceasta un caracter de unitate a cercetării desfășurate.

#### 5.4. Colivie pentru rulmenți grei cu role cilindrice

Dintre foarte multele soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei cu role cilindrice au fost selectate ca fiind de referință două, prezentate în **Figura 5.33**. În esență astfel de colivii sunt formate din două componente, asamblate demontabil sau nedemontabil, după caz: corpul propriu-zis al coliviei, cel în care sunt practicate locașurile pentru role, și un inel de retenție care închide în sens axial spațiul ocupat de role.



**Figura 5.33.** Colivii din semifabricat masiv (a – material metalic<sup>2</sup>; b – material plastic<sup>3</sup>)

Ca regulă, atât corpul coliviei, cât și inelul de retenție sunt realizate dintr-un semifabricat masiv, de exemplu alamă, oțel, aluminiu sau chiar din materiale plastice. La mulți dintre rulmenții grei cu role corpul coliviei și inelul de retenție sunt realizate din alamă sau bronz, materiale scumpe și deficitare, dar cu bune proprietăți antifricțiune, urmărindu-se cu precădere îndeplinirea funcțiilor „are durabilitate” și „are fiabilitate”. Însă chiar dacă rezistența mecanică este acceptabilă, sunt scumpe și au masă și moment de inerție crescute ca urmare a densității mari a materialelor din care sunt realizate.

Procesul de inovare-inventare s-a bazat și de această dată pe formularea de întrebări personalizate concepute în acord cu metodele, tehnicile și demersurile creative însușite și consolidate deja prin experiențele anterioare. Ca exemple de întrebări care au contribuit la identificarea de soluții și

<sup>1</sup> Brock J. (2013): *Overmolded cage*. Cerere de brevet de invenție US 2013/0336609 A1

<sup>2</sup> Schroeder R. (2009): *Bearing Cage*. Cerere de brevet de invenție US 2009/0304317 A1

<sup>3</sup> Williams C.W. (1968): *Plastic Bearing Retainer*. Brevet US 3387901



## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

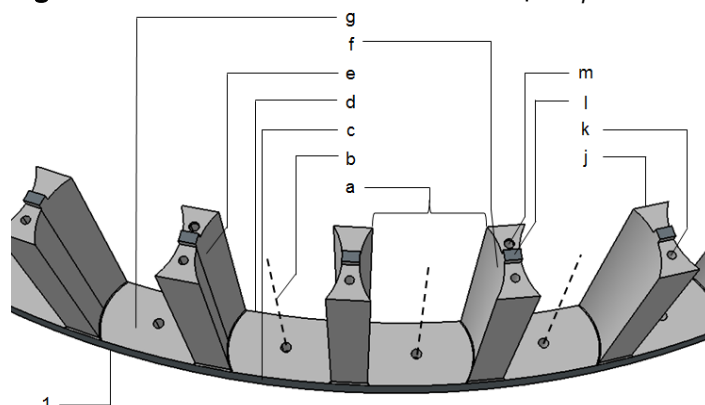
### Teză de doctorat - Rezumat

variante originale se menționează: „ce suprafețe necesită placare?“, „este suficientă placarea suprafețelor laterale ale locașurilor?“, „este necesară placarea suprafețelor plane ale locașurilor?“, „este necesară modificarea materialului inelului de retenție?“, „dacă se modifică materialul, inelul de retenție poate fi placat?“, „suprafețele inelului de retenție trebuie placate integral sau doar parțial?“.

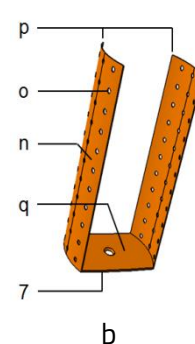
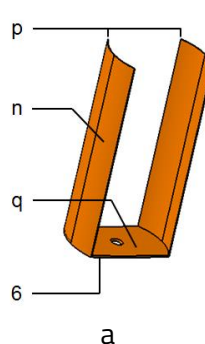
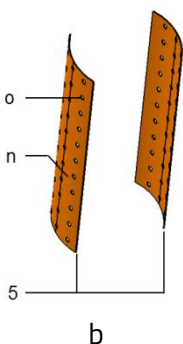
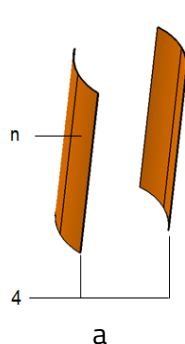
O primă soluție constructivă, **Figura 5.34**, a rezultat considerând că este suficientă doar placarea pereților laterali (e și f) ai locașurilor corpului de bază al coliviei. Elementele de placare, simple sau cu găurele, **Figura 5.35** (a și respectiv b), sunt de forma unui dreptunghi curbiliniu detașat din peretele unui corp de revoluție cilindric. Acestea se pot obține simplu și eficient prin decupare din tablă de alamă, urmată de o ușoară ambutisare sau de o rulare.

Dacă se consideră necesară și placarea suprafețelor plane (g) ale locașurilor, a se vedea **Figura 5.34**, o soluție logică este utilizarea unor elemente de placare de tip U, **Figura 5.36**, caz în care înălțimea locașurilor (a) ale corpului coliviei trebuie să fie mai mare, luând în considerare grosimea stratului de adeziv și grosimea părții plane (q) a elementelor de placare.

Având în vedere forma uzuală a rotelor cilindrice utilizate la rulmenți, mai ales dacă acestea sunt goale la interior<sup>1</sup>, nu este imperativ necesar ca întreaga suprafață plană (g) a locașurilor să fie placată, ci doar o zonă inelară (h), **Figura 5.37**, aflată în imediata vecinătate a pereților verticali (e și f) ai locașurilor.



**Figura 5.34.** Corpul de bază al coliviei în vedere axonometrică (variantă 1)<sup>2</sup>



**Figura 5.35.** Elemente de placare tip I în vedere axonometrică<sup>3</sup> (a – varianta 1, b – varianta 2)

**Figura 5.36.** Elemente de placare tip U în vedere axonometrică (a – varianta 1, b – varianta 2)<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Luca V., Șerban C.E., Barabaș S. (2013): *Role cave pentru rulmenți*. Brevet RO 125038

<sup>2</sup> Szekely V.G., Cioară R.: *Colivie pentru rulmenți cu role*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00702 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov. BOPI 2/2018, p. 24, și BOPI 3/2019, p. 52

<sup>3</sup> idem

<sup>4</sup> idem

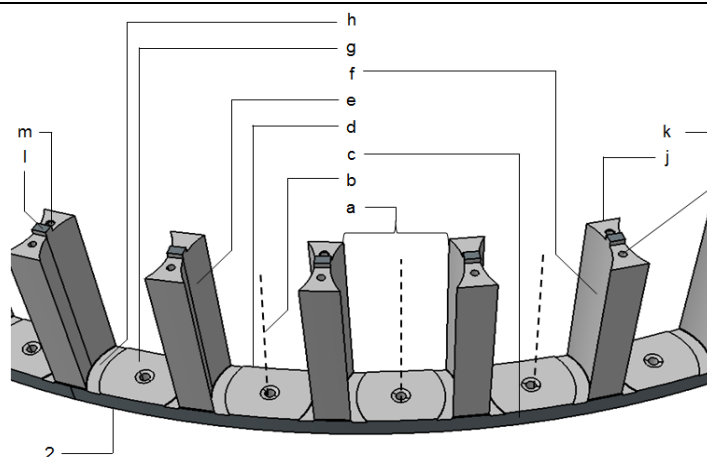


Figura 5.37. Corpul de bază al coliviei în vedere axonometrică (variantă 2)<sup>1</sup>

Pentru aceasta este suficient a utiliza elemente de placare (8 sau 9) în formă de L, fără sau respectiv cu găurele, Figura 5.38, care prezintă în partea lor inferioară câte o talpă (r) orientată către partea concavă a elementelor de placare.



Figura 5.38. Elemente de placare tip L în vedere axonometrică<sup>2</sup>

(a – varianta 1, b – variantă 2)

Comun variantelor de realizare în formă de U și de L ale elementelor de placare prezentate anterior este faptul că partea dedicată sprijinului rolor în partea lor frontală formează un același corp cu restul. Unul dintre demersurile euristice studiate propune utilizarea întrebării „ce se poate diviza / separa?”, cu adaptările adecvate obiectului supus studiului. Acest demers a condus la ideea de a utiliza elemente de placare de tip I pentru pereții laterali ai locașurilor, a se revedea Figura 5.35, și distinct față de acestea niște elemente de placare corespunzătoare pentru partea frontală a locașurilor pentru role. S-a apreciat ca potențial considerabilă probabilitatea deteriorării stratului de adeziv ca urmare a solicitării de torsiune determinată de contactul respectivelor elemente de placare cu rolele aflate în mișcare de rotație și pentru a evita aceasta la elementele de placare s-a prevăzut o protuberanță poligonală care să preia posibila solicitare la torsiune. Au rezultat elemente de placare de tip T pentru partea frontală a locașurilor pentru role, Figura 5.39.

Pentru ca elementele de placare de tip T să poată fi montate în corpul coliviei se impune ca părțile frontale plane ale locașurilor practicate în acesta să prezinte o construcție adecvată. A rezultat

<sup>1</sup> Szekely V.G., Cioară R.: *Colivie pentru rulmenți cu role*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00702 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov. BOPI 2/2018, p. 24, și BOPI 3/2019, p. 52

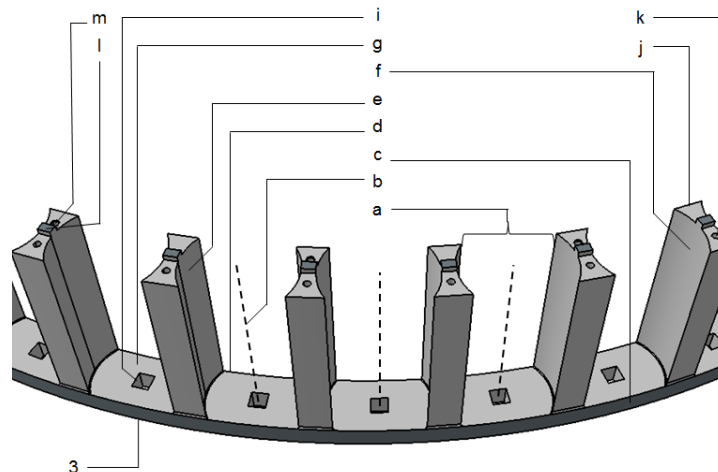
<sup>2</sup> idem

pentru corpul coliviei soluția constructivă prezentată în **Figura 5.40**, unde se identifică perforațiile străpunse (i) cu profil pătrat.



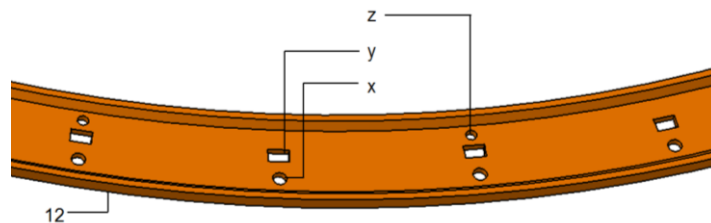
**Figura 5.39.** Elemente de placare tip T în vedere axonometrică<sup>1</sup> (a – varianta 1, b – varianta 2)

Piciorul T-ului poate fi cilindric, mult mai tehnologic, caz în care montarea elementelor de placare de tip T s-ar putea face prin strângere, dar este de evaluat impactul pe care starea de tensiuni generată astfel în corpul coliviei ar avea-o asupra stabilității sale dimensionale.



**Figura 5.40.** Corpul de bază al coliviei în vedere axonometrică (variantă 3)<sup>2</sup>

Inelul de retenție al coliviilor pentru rulmenți grei cu role se execută în mod uzual din alamă sau bronz, din semifabricat masiv, **Figura 5.41**. În cadrul cercetărilor efectuate s-a studiat și pentru acesta dacă este posibilă utilizarea conceptului de placare în vederea reducerii semnificative a consumului de material metalic scump și deficitar, și de a reduce costurile asociate acestuia.



**Figura 5.41.** Inel de retenție, în variantă de realizare cunoscută

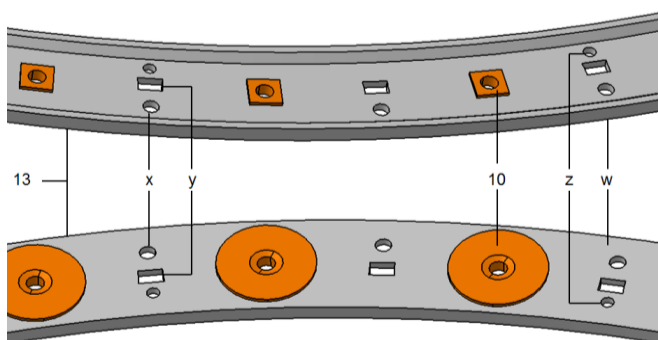
S-a avut în vedere faptul că rolele au contact cu inelul de retenție doar cu una dintre suprafețele lor plane frontale în mod similar cu contactul rolor cu părțile frontale plane (g), **Figura 5.40**, ale locașurilor din corpul coliviei. În aceste condiții o soluție nouă pentru inelul de retenție a rezultat firesc și propune

<sup>1</sup> Szekely V.G., Cioară R.: *Colivie pentru rulmenți cu role*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00702 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov. BOPI 2/2018, p. 24, și BOPI 3/2019, p. 52

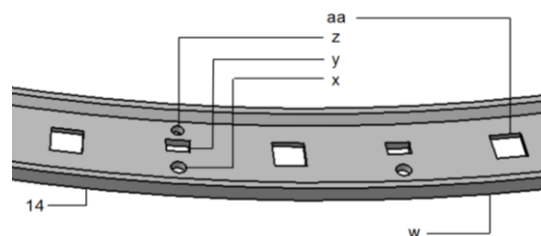
<sup>2</sup> idem

realizarea corpului inelului de retenție dintr-un material ieftin, suficient de rezistent, cu densitate redusă și ușor prelucrabil, placat în zonele de contact cu rolele cu elemente de placare de tip T, **Figura 5.39**, deja propuse spre a fi utilizate la placarea corpului coliviei și descrise anterior. Elementele de placare de tip T se solidarizează nedemontabil cu corpul inelului de retenție prin lipire cu adezivi industriali adecvați. Soluția constructivă pentru un astfel de inel de retenție se prezintă în **Figura 5.42**.

Evident, soluția constructivă de referință a inelului de retenție trebuie modificată pentru a putea fi montate elementele de placare de tip T (10 sau 11). Pentru aceasta la corpul inelului de retenție trebuie prevăzute găurile pătrate (aa), **Figura 5.43**. În afară de acestea nu se impune nici un fel de modificare constructivă. Funcția „asigură proprietăți antifricțiune” fiind îndeplinită, corpul inelului de retenție rămâne să satisfacă cu prioritate funcțiile „are rezistență”, „are durabilitate”, „este tehnologic”, totul în condiții de cost minim.



**Figura 5.42.** Soluție constructivă nouă pentru inel de retenție, în vedere axonometrică (dinspre exterior și dinspre interior)<sup>1</sup>



**Figura 5.43.** Inel de retenție în vedere axonometrică<sup>2</sup>

Pentru corpul inelului de retenție, ca și pentru corpul coliviei, se propune ca materialul utilizat să fie material metalic, de exemplu oțel sau duraluminiu, material plastic, de exemplu poliamidă, teflon sau politetrafluor-etilenă, sau material compozit, de exemplu textolit.

S-a apreciat că soluția nouă concepută îndeplinește toate atributele unei invenții și s-a procedat la redactarea descrierii de brevet și la demararea procedurilor oficiale de recunoaștere a noutății soluției și de obținere a brevetului de invenție. Descrierea de brevet în forma sa inițială<sup>3</sup>, așa cum a fost înregistrată la OSIM, se prezintă în extenso în Anexa 5.2.

Au fost formulate și alte idei inovative referitoare la colivii pentru rulmenți grei cu role, unele cu potențial deosebit, dar acestea au fost reținute ca potențiale direcții viitoare de cercetare. Obiectivul principal al tezei fusese deja atins, chiar semnificativ depășit, iar pentru finalizarea tezei mai erau multe de făcut.

<sup>1</sup> Szekely V.G., Cioară R.: *Colivie pentru rulmenți cu role*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00702 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov. BOPI 2/2018, p. 24, și BOPI 3/2019, p. 52

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> idem

### 5.5. O privire retrospectivă asupra activității de creație tehnică desfășurată pentru conceperea de soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei

Procesul de creație necesită parcurgerea unor etape structurate, logice, care au inclus și realizarea studiului stadiului actual al construcției coliviilor de rulmenți. Identificarea diverselor dezavantaje ale soluțiilor constructive existente au constituit elementele de intrare în vederea aplicării procesului de creație, astfel încât să se dezvolte prin inovare-inventare noi soluții constructive, superioare celor existente.

Privind retrospectiv se constată că procesul de creație a fost preponderent logic, cu evoluție evidentă dinspre act de creație semispontan, stimulat, bazat pe formulări logice a temelor de creație urmat de folosirea tehnicilor și metodelor intuitive și a colaborării eficiente dintre conștient și subconștient, către un act de creație logic-determinat bazat pe tehnici și metode logice de căutare.

Începând cu un anumit moment a fost utilizată sistematic metoda euristică generalizată<sup>1</sup>. Prima sa etapă, *formularea preliminară a problemei de creație*, a fost mai degrabă abordată intuitiv, ca o necesitate resimțită. S-a constatat ulterior că au fost urmate, dar nu chiar în această ordine, procedurile  $P_1^1$  (determinarea funcțiilor),  $P_1^3$  (alegerea sistemelor tehnice contemporane care satisfac maximal funcțiile formulate),  $P_1^4$  (determinarea lipsurilor sistemelor tehnice contemporane),  $P_1^{4'}$  (elaborarea diagramei inițiale a ideilor) și  $P_1^5$  (formularea prealabilă a problemei de creație). Procedura  $P_1^1$  a generat studiul care a condus la enunțarea funcțiilor coliviilor, iar procedurile  $P_1^3$  și  $P_1^4$  se reflectă în studiul stadiului actual și critica soluțiilor identificate.

În vederea conturării ideilor pentru soluțiile noi s-au utilizat cu precădere o serie de proceduri elementare de căutare, relevante fiind  $P_2^6$  (determinarea posibilităților de amplificare a atributelor soluțiilor reprezentative),  $P_2^{10}$  (analiza posibilităților de combinare a scopurilor rezolvării problemei),  $P_2^{11}$  (verificarea oportunității (caracterul realist) problemei de creație), chiar și  $P_2^{14}$  (verificarea posibilității rezolvării problemei prin modificări ale obiectelor adiacente). Aceste proceduri sunt specifice etapei a doua, *analiza problemei de creație*.

Etapa a treia, *precizarea și detalierea problemei de creație*, a fost mai puțin evidentă în procesul de creație, dar se constată că unele dintre procedurile care îi sunt caracteristice au fost folosite efectiv chiar dacă nu neapărat în etapă distinctă. Dintre acestea se remarcă procedurile  $P_3^1$  (elaborarea listei cerințelor față de sistemele tehnice actuale),  $P_3^6$  (evidențierea cerințelor principale ale sistemului studiate) și  $P_3^{13}$  (selectarea îmbunătățirilor celor mai importante; formularea finală a temei de creație).

Esențială pentru atingerea obiectivului principal al tezei a fost parcurgerea cu succes a etapei a patra a metodei euristice generalizate, *căutarea ideilor tehnice, a soluțiilor și a principiilor fizice de acționare*<sup>2</sup>. Au fost în mod evident utilizate procedurile  $P_4^7$  (încercarea de modificare a sistemului cele mai avansate),  $P_4^5$  (transformarea în soluții căutate a soluțiilor analoge din sistemele tehnice reprezentative),  $P_4^{10}$  (formularea unor noi principii fizice de acționare a sistemului tehnic),  $P_4^{11}$  (folosirea metodei ghirlandelor de asociații) și  $P_4^{12}$  (combinarea ideilor).

<sup>1</sup> Belous V. (1992): *Inventica*. Editura Gh. Asachi, ISBN 973-95650-0-X, Iași

<sup>2</sup> idem

Evident că nu toate variantele de realizare au fost reținute și cuprinse în cele două descrieri de brevet înaintate către OSIM. Selectarea celor mai adecvate, considerate eficiente și fiabile, s-a făcut în acord cu etapa a cincea a metodei euristice generalizate, *alegerea soluțiilor optime*. Pentru aceasta s-a făcut apel la procedurile  $P_5^1$  (verificarea fezabilității soluțiilor obținute),  $P_5^2$  (verificarea tehnologicității soluțiilor obținute),  $P_5^5$  (alegerea variantelor cele mai economice),  $P_5^6$  (alegerea soluțiilor care au nivel cel puțin egal cu cel al soluțiilor reprezentative existente),  $P_5^8$  (alegerea soluțiilor care satisfac integral funcția principală, scopurile și cerințele principale) și  $P_5^{10}$  (selectarea soluțiilor care necesită un număr minim sau un număr mare de modificări a soluției vecine).

Se face și mențiunea că unele idei au fost apreciate ca având un potențial deosebit și se speră că vor fi dezvoltate și detaliate ulterior finalizării tezei.

Procedura  $P_6^7$  (elaborarea proiectelor pentru soluțiile selectate) a etapei a șasea a metodei euristice generalizate, *finisarea soluțiilor selectate*, s-a suprapus practic peste unele dintre procedurile anterioare (în fapt, un prim pas a fost elaborarea proiectelor tehnice detaliate pentru soluțiile de referință, prin modelare 3D utilizând medii avansate de proiectare, iar noile soluții au fost obținute prin modificarea adecvată a soluțiilor de referință), iar procedura  $P_6^8$  (verificarea experimentală, de principiu, a soluțiilor optime) a fost amânată.

Dintre procedurile caracteristice etapei finale, a șaptea, a metodei euristice generalizate, *analiza inginerescă a soluțiilor selectate*, a fost abordată cel puțin procedura  $P_7^6$  (elaborarea descrierilor de invenții pentru soluțiile selectate).

Studiul fondului interdisciplinar de demersuri creative<sup>1</sup> și utilizarea unora dintre ele a fost foarte utilă. Au fost utilizate în special demersurile:

- $D_{A11}$  – Acceptarea ideii unor modificări pozitive minore;
- $D_{A12}$  – Modificarea factorilor negativi în așa măsură încât aceștia să înceteze să mai fie negativi;
- $D_{B2}$  – Realizarea în obiect sau în elementele acestuia de găuri sau goluri, sau invers – eliminarea acestora;
- $D_{F3}$  – Trecerea de la material omogene la material compozite, sau invers;
- $D_{F5}$  – Divizarea obiectului sau elementelor în părți, astfel încât fiecare dintre acestea să poată fi executate din materiale diferite;
- $D_{F12}$  – Folosirea altui material; de folosit unul mai ieftin, unul mai nou etc.; de schimbat materialul tradițional cu unul echivalent;
- $D_{F15}$  – Executarea elementelor din materiale diferite în conformitatea cu efectul căutat;
- $D_{J14}$  – Divizarea funcțiilor obiectului; elemente diferite ale obiectului să îndeplinească funcții diferite.

Pe tot parcursul perioadei dedicată în mod predilect găsirii de soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei foarte utile au fost întrebări de ghidare a căutării, specifice unor diferite tehnici de creație tehnică. Întrebările formulate au vizat aspecte punctuale sau mai generale, de natură constructivă sau de natură tehnologică și la diversele implicații, referitoare la materialul posibil de utilizat, la diversele posibilități de montare / fixare, la aspecte legate de modul de comportare în timp

<sup>1</sup> Belous V. (1992): *Inventica*. Editura Gh. Asachi, ISBN 973-95650-0-X, Iași

a rulmentului, chiar și post-exploatare etc. Dintre multele întrebări, nu toate notate la momentul potrivit, se prezintă selecția următoare (extras):

- Ce se poate modifica?
- Este necesară înlocuirea materialului coliviilor?
- Înlocuirea materialului asigură creșterea performanțelor coliviei?
- Trebuie să fie tot materialul coliviei din alamă?
- Există materiale care au proprietăți antifricțiune superioare / identice alamei?
- Există materiale care să asigure rezistență crescută?
- Ce caracteristici trebuie să aibă materialul corpului de bază și al inelului de retenție?
- Ce densități au materialele utilizabile?
- Dacă se utilizează mai multe materiale pentru colivie se pot asigura funcțiile de bază?
- Se poate utiliza tehnologia actuală de realizare a coliviilor?
- Ce impact au materialele asupra costurilor?
- Se poate utiliza placarea?
- Ce suprafețe necesită placare?
- Din ce materiale se poate realiza elementul de placare?
- Cum se assemblează elementul de placare?
- Este nevoie de prelucrarea ulterioară a elementului de placare?
- Sunt necesare elemente de fixare suplimentare?
- Este suficientă placarea suprafețelor laterale ale locașurilor?
- Este necesară placarea suprafețelor plane ale locașurilor?
- Pot fi utilizate elemente de placare individuale?
- Se poate utiliza principiul rezervoarelor locale de lubrifianț pentru elementele de placare?
- Se reduce semnificativ consumul de material deficitar la noile soluții?
- Noile soluții constructive asigură simplitate constructivă?
- Cum este influențată energia de exploatare a rulmentului?
- Sunt necesare modificări constructive la coliviile la care se aplică conceptul inovativ?
- Noile soluții induc provocări tehnologice?
- La ce alte tipuri de colivii se poate aplica conceptul?

În final se impune o precizare foarte importantă: procesul creativ desfășurat, prin însăși esența sa, a rezonat în toate etapele cu conceptul de dezvoltare durabilă. Dovadă a acestui fapt sunt chiar soluțiile constructive noi de colivii, care urmăresc explicit utilizarea eficientă a resurselor disponibile.

### 5.6. Concluzii

În mod uzual coliviile pentru rulmenți sunt monomaterial, selectarea unuia sau a altuia fiind rezultatul unui compromis dictat de cost în defavoarea satisfacerii integrale a uneia sau a mai multor funcții ale coliviei. Mai mulți inventatori propun colivii multimaterial, caz în care funcțiile sunt distribuite pentru asigurarea rezistenței, pe de o parte, și pentru asigurarea condițiilor antifricțiune în vederea

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

minimizării uzurii pe de altă parte. În cazul coliviilor multimaterial funcțiile sunt satisfăcute în mai mare măsură cu costuri mai reduse.

Cercetarea care a motivat teza de față și-a propus găsirea unor soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei care în raport cu cele în prezent să satisfacă simultan atributele: mai ieftine, cel puțin la fel de rezistente, proprietăți antifricțiune cel puțin egale și să conserve în cât mai mare măsură soluția constructivă uzuală.

Apelând la conceptul de placare și la realizarea coliviei din două materiale diferite, deci la divizare prin diferențiere pentru a maximiza simultan diferite funcții ale coliviei, obiectivele asumate au fost îndeplinite cu succes.

Au fost concepute două grupe de soluții constructive pentru colivii pentru rulmenți grei cu bile, una pentru rulmenți radiali demontabili sau pentru rulmenți radiali în patru puncte, iar cealaltă pentru rulmenți radiali „normali”, și o grupă de soluții constructive pentru rulmenți radiali grei cu role. La toate acestea solidarizarea elementelor de placare, pentru care se propun mai multe variante de realizare, cu corpul de bază al respectivelor colivii se propune a se realiza prin lipire cu adezivi industriali sau prin brazare.

Noile soluții constructive fac obiectul a două cereri de brevet de invenție, dorindu-se prin aceasta recunoașterea noutății și originalității soluțiilor concepute, precum și necesara protecție a proprietății intelectuale care derivă din acestea.

Pe parcursul procesului de inovare-inventare desfășurat au fost utilizate sistematic și deliberat diverse tehnici și metode de creație tehnică, apelând la proceduri elementare de căutare. Procesul de creație a fost preponderent logic, cu evoluție evidentă dinspre act de creație semispontan, stimulat, bazat pe formulări logice a temelor de creație urmat de folosirea tehnicilor și metodelor intuitive și a colaborării eficiente dintre conștient și subconștient, către un act de creație logic-determinat bazat pe tehnici și metode logice de căutare. Formularea explicită a funcțiilor coliviilor rulmenților a fost determinantă în procesul de creație, bazat preponderent pe întrebări personalizate concepute astfel încât să direcționeze rapid și explicit căutarea în sensul satisfacerii în cât mai mare măsură cât mai multe dintre funcțiile identificate.

S-au dovedit deosebit de benefice modelele matematice originale concepute, cele de mișcare și de solicitare a coliviilor rulmenților, care au direcționat și au argumentat logic căutarea. Acesta este încă un exemplu de utilitate a teoriei în sprijinul practicii.

Procesul creativ desfășurat a rezonat în toate etapele cu conceptul de dezvoltare durabilă. Dovadă a acestui fapt sunt chiar soluțiile constructive noi de colivii, care urmăresc explicit utilizarea eficientă a resurselor disponibile.

Aplicabilitatea soluțiilor constructive noi de colivii propuse și descrise mai sus este evidentă pentru un specialist în domeniu. Totuși este necesară validarea practică, fie prin realizarea și testarea unui produs, fie prin cercetare experimentală relevantă.



## Capitolul 6. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PE EPRUVETE PRIVIND CARACTERISTICILE DE REZISTENȚĂ ALE PLACĂRII PRIN LIPIRE

S-a mai subliniat că obiectivul principal al cercetării de față, asumat și pus în evidență însăși de titlul tezei, este „*conceperea unor soluții noi constructive de colivii pentru rulmenți grei*”, obiectiv îndeplinit integral la nivel de proiect tehnic. Mai mult chiar, au fost depuse și două cereri de brevet de invenție și, dacă brevetele vor fi acordate, se va obține implicit recunoașterea oficială la nivel mondial a noutății și originalității soluțiilor constructive noi propuse.

Chiar dacă poate fi prezumat, atributul „aplicabilitate industrială” al invențiilor propuse trebuie demonstrat în mod convingător. Aceasta se poate realiza în două moduri, în funcție de resursele disponibile și de costurile pe care cercetarea le implică: fie prin realizarea efectivă a produsului (sau a unui model la scară redusă) și testarea în condiții reale sau cât mai apropiate de acestea, fie prin cercetare experimentală în laborator focalizată pe caracteristicile esențiale specifice ale sistemului tehnic studiat.

Deși a fost opțiunea preferată, nu a fost găsit sprijin sau resurse pentru testarea unui rulment greu echipat cu colivie de tipul original propus, și nici pentru un model la scară redusă.

Pentru cercetare experimentală în laborator s-a impus stabilirea caracteristicilor esențiale specifice ale noilor soluții constructive propuse, identificarea tipurilor de solicitări relevante la care sunt supuse în condiții reale noile tipuri de colivii și, în deplină concordanță cu acestea, alegerea celui mai adecvat mod de testare. Sunt urmărite rezultate sistematice care să confirme (sau nu!) corectitudinea conceptului care stă la baza noilor soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei. Este cunoscut că există o relație „*foarte strânsă între studiile teoretice și partea experimentală*”<sup>1</sup>, aceasta din urmă având ca scop principal validarea ipotezelor, teoriilor sau conceptelor care au stat la baza studiilor teoretice.

În tehnică, în general în știință, există încredere doar în ceea ce poate fi dovedit.

### 6.1. Considerente de bază cu privire la cercetarea experimentală

Conceptul comun care a condus la noile soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei, cu bile sau cu role, este realizarea corpului de bază al coliviei dintr-un material ieftin și rezistent și placarea suprafețelor locașurilor pentru corpurile de rostogolire cu elemente de placare realizate dintr-un material cu bune proprietăți antifricțiune. Solidarizarea elementelor de placare se poate realiza prin lipire, utilizând un adeziv industrial ca soluție prioritară sau prin brazare.

În timpul funcționării rulmentului corpul de bază al coliviei este solicitat în diferite zone ale sale la întindere și la compresiune, iar la nivelul suprafețelor de contact ale locașurilor coliviei și corpurile intermediare de rostogolire ale rulmentului apar forțe de frecare și solicitare la strivire. Aceste solicitări sunt concordante cu modelul de solicitare al coliviei elaborat în cadrul prezentei cercetări.

În fiecare locaș forțele de frecare dintre suprafața acestuia și corpul intermediar de rostogolire corespondent generează asupra elementului de placare o solicitare care se transmite către materialul de adaos cu care s-a realizat lipirea sub forma unei solicitări la forfecare în stratul care separă elementul de placare de corpul de bază al coliviei. Această ultimă formă de solicitare se manifestă în stratul de material de adaos și în timpul prelucrării suplimentare finale prin aşchiere a locașurilor coliviei.

<sup>1</sup> Ionescu R., Amarandei D. (2004): *Planificarea experimentelor - Eficientă și calitate*. Editura AGIR, ISBN 973-8466-43-1, București

Caracteristicile materialului elementelor de placare, alama fiind vizată cu prioritate, sunt de asemenea cunoscute. Sunt de interes în primul rând rezistența la strivire și proprietățile antifricțiune.

Nu sunt în detaliu cunoscute caracteristici ale unor diverși adezivi industriali, definitorie în cazul cercetării de față fiind forța rezistentă opusă de stratul de adeziv aflat între două corpuri atunci când respectivul strat este solicitat la forfecare în planul de lipire.

Se prezumă că rugozitatea suprafețelor care se lipesc are influență asupra calității lipiturii, în fapt asupra mărimii forței rezistente la rupere în planul de lipire. Se prezumă și că mărimea suprafeței lipiturii are și ea influență asupra forței menționate. Ca urmare planul de cercetare experimentală trebuie să prevadă cel puțin două seturi de teste: unul la care epruvetele se diferențiază prin rugozitatea suprafețelor supuse solidarizării prin lipire și unul la care epruvetele se diferențiază prin aria suprafețelor supuse solidarizării prin lipire.

Este de studiat dacă adezivul industrial selectat are afinități anume față de diverse materiale, mai ales dacă forța rezistentă la rupere în planul de lipire este determinată și de natura materialelor care se solidarizează prin lipire.

### 6.2. Proiectarea epruvetelor

Într-o primă etapă de proiectare a cercetării experimentale s-a considerat că testele trebuie să pună în evidență care este contribuția stratului de adeziv la forța totală rezistentă opusă de epruvetă la tracțiune simplă.

Pe parcursul cercetării experimentale s-au utilizat trei tipuri de epruvete, și anume:

- Epruvete halteră simple (reglementate prin standardul SR EN ISO 527-4:2000) – necesare pentru determinarea rezistenței la tracțiune a materialelor epruvetelor simple care formează epruveta compusă. Astfel de epruvete sunt necesare și pentru setarea parametrilor de testare ale mașinii de încercare;
- Epruvete „compuse” halteră, de tip multistrat – necesare pentru a determina contribuția stratului de adeziv la rezistența la tracțiune întregului astfel format. Sa avut ca referință construcția epruvetelor plane de tip halteră indicată în standardul SR EN ISO 527-4:2000;
- Epruvete „compuse” (de tip 2), multistrat (conform standardului SR EN ISO 527-4:2000) – necesare pentru a determina doar rezistența la tracțiune a adezivului în planul de lipire.

### 6.3. Echipamente utilizate în cadrul cercetării experimentale

Întreaga activitate de cercetare experimentală efectuată în sprijinul prezentei teze de doctorat s-a desfășurat în cadrul Universității Transilvania din Brașov.

Toate epruvetele supuse testelor desfășurate au fost realizate din platbandă din oțel.

Profilul epruvetelor simple de tip halteră a fost generat prin frezare, utilizând o mașină de frezat FUS 22 aflată în dotarea.

Toate epruvetele au fost rectificat plan, utilizând o mașină RPO-150-2, pentru a obține aceeași rugozitate de referință pentru suprafețele destinate solidarizării cu adeziv industrial și pentru a obține aceeași grosime a epruvetelor.

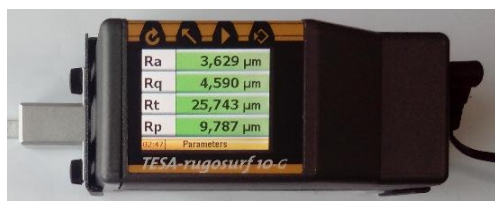
Rugozitatea suprafețelor destinate solidarizării prin lipire a fost măsurată și înregistrată

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

sistematic utilizând un rugozimetru TESA rugosurf 10 G, **Figura 6.44**.

La un număr de epruvete s-a intervenit ulterior rectificării plane pentru a modifica rugozitatea suprafețelor care urmau a fi solidarizate prin lipire. Pentru aceasta a fost utilizat un polizor de mână Dexter dotat cu arbore flexibil, **Figura 6.45**. Fiecare epruvetă a fost prelucrată și măsurată succesiv de mai multe ori până când a fost obținută rugozitatea dorită. Evident, au fost utilizate pietre abrazive și scule cu pânză abrazivă cu granulații diferite.



**Figura 6.44.** Rugozimetrul TESA rugosurf 10 G



**Figura 6.45.** Polizor de mână Dexter, dotat cu arbore flexibil

Au fost achiziționate imagini ale suprafețelor de interes ale epruvetelor utilizând un microscop digital Hayer, **Figura 6.46**.

Pentru ca stratul de adeziv să aibă o aceeași grosime (de aprox. 1 mm) la toate epruvetele compuse s-a folosit o menghină și distanțiere adecvate, **Figura 6.47**.



**Figura 6.46.** Microscopul digital Hayer; ansamblul general și fotografie din timpul cercetării



**Figura 6.47.** Menghina folosită pentru formarea prin lipire a epruvetelor compuse și imagine din timpul procesului de solidarizare

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

Testarea efectivă a epruvetelor s-a efectuat utilizând o mașină universală de testare la tracțiune LFV 50-HM, **Figura 6.48**, aflată în dotarea laboratorului de rezistența materialelor din cadrul Departamentului Inginerie Mecanică. Câteva caracteristici ale mașinii de testare se dau în **Tabel 6.1**.



a



b

**Figura 6.48.** Mașină universală de testare tip LFV 50-HM

a - celula de testare; b - sistemul de prindere cu bacuri pe plan înclinat

**Tabel 6.1.** Caracteristici tehnice ale mașinii universale de testare tip LFV 50-HM

Denumire caracteristică	Valoare de bază
Încărcare statică maximă	$\pm 63$ kN
Încărcare dinamică maximă	$\pm 50$ kN
Cursă piston	100 mm
Distanța între adaptoarele de conectare	maxim 1200 mm

Mașina universală de testare tip LFV 50-HM este comandată prin intermediul unui computer dedicat. Software-ul specializat utilizat este „DION”. Acesta este capabil atât să regleze parametri de lucru ai mașinii, ca de exemplu viteza de deplasare a pistonului, cât și să înregistreze în timp real informațiile din timpul testelor. Rezultatele pot fi afișate inclusiv grafic pentru fiecare test în parte.

Evident, analiza și interpretarea rezultatelor obținute în urma testelor s-a făcut ulterior cercetării efective în laborator, procesul fiind unul de durată.

## 6.5. Planificarea cercetării experimentale

### 6.5.2. Stabilirea parametrilor variabili studiați

În primul rând este necesară calibrarea mașinii de testare.

În al doilea rând este imperativă determinarea rezistenței la rupere a materialului sau materialelor din care sunt executate epruvetele simple care formează epruvetele compuse.

Cercetarea experimentală efectivă vizează rezistența la rupere a epruvetelor compuse. Caracteristicile studiate sunt influența rugozității suprafețelor lipite și influența ariei lipiturii asupra rezistenței epruvetelor compuse.

## 6.7. Testarea epruvetelor și achiziția datelor

Testarea epruvetelor compuse de tip halteră, prin intermediul cărora se urmărește determinarea contribuția stratului de adeziv la rezistența la forfecare totală opusă de epruveta compusă a fost un eșec deoarece una dintre epruvete s-a distrus în timpul prinderii în bacurile mașinii de testare, o a doua epruvetă s-a distrus la începutul testului, iar a treia epruvetă nu a mai fost supusă testării.

În urma analizei s-a determinat că în timpul fixării capătului superior apare începând cu un anumit moment solicitarea axială a epruvetei ca urmare a faptului că perechea de bacuri din capul de prindere superior al mașinii translatează în jos pentru a asigura strângerea fermă a capului superior al epruvetei.

Au fost emise mai multe ipoteze. S-a apreciat ca fiind corectă cea conform căreia în timpul testării epruveta nu este solicitată doar la tracțiune simplă, ci la o solicitare compusă de tracțiune însoțită de încovoiere.

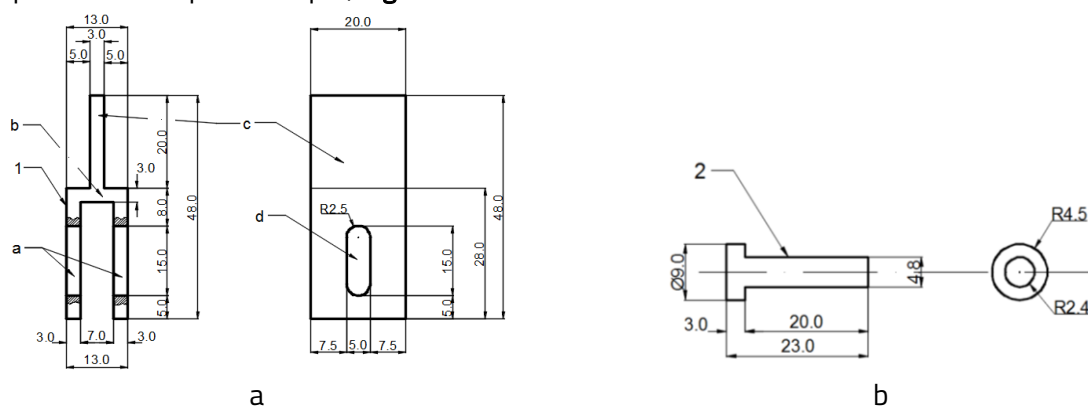
A devenit astfel tot mai plauzibilă ipoteza conform căreia deformarea la încovoiere (care apare și în cazul flambajului) nu este suportată de ansamblul format prin lipire cu un adeziv care a devenit în timp foarte rigid.

Oricum, devenise clar că se impunea re-proiectarea epruvetelor astfel încât fenomenele defavorabile identificate – deplasarea unui cap al epruvetei față de celălalt în timpul strângerii în mașina de testare și respectiv apariția unei solicitări de încovoiere a epruvetei compuse în timpul testării – să nu se mai poată manifesta. Această primă cercetare experimentală a fost considerată una exploratorie<sup>1</sup>.

## 6.8. Re-proiectarea epruvetelor

Noua soluție constructivă a epruvetelor compuse trebuie să evite prinderea celui de-al doilea capăt al epruvetelor direct în capul de prindere al mașinii și trebuie să anuleze posibilitatea de solicitare la încovoiere a epruvetelor.

O soluție care rezolvă cerințele precizate face apel la un reper suplimentar 1, **Figura 6.49**, în formă de Y, și la un bolț 2, destinat realizării conexiunii cu unul dintre capetele epruvetelor compuse. În concordanță cu dispozitivul proiectat s-au re-proiectat și epruvetele compuse de tip halteră, **Figura 6.50**, cât și epruvetele compuse de tip 2, **Figura 6.51**.



**Figura 6.49.** Piese pentru fixare epruvete  
a – dispozitiv tip „Y” rotit; b – bolț de fixare

<sup>1</sup> Szekely V.G. (2017): *Cages for Bearings with Plated Pocket's -Resistance Tests. An Exploratory Research*. Recent, ISSN 1582-0246, Vol. 18, No. 3(53), p. 247-254, <http://www.recentonline.ro/053/Szekely-R53.pdf>

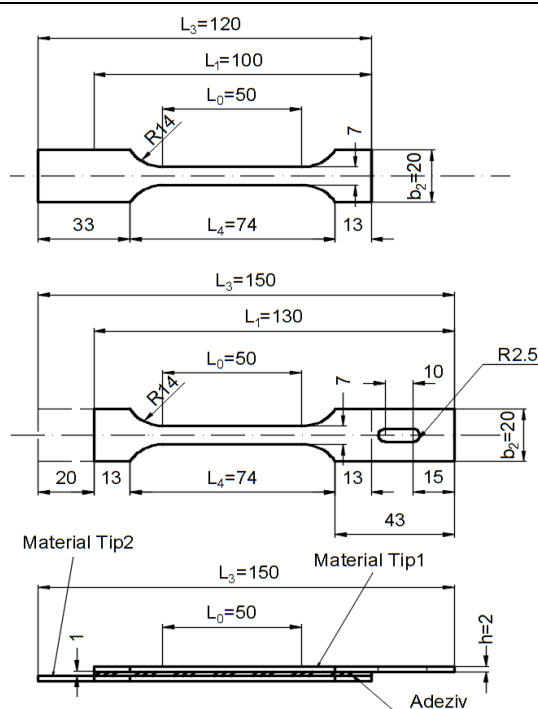


Figura 6.50. Epruvetă compusă de tip halteră (tip 1B) (variantă constructivă 4)

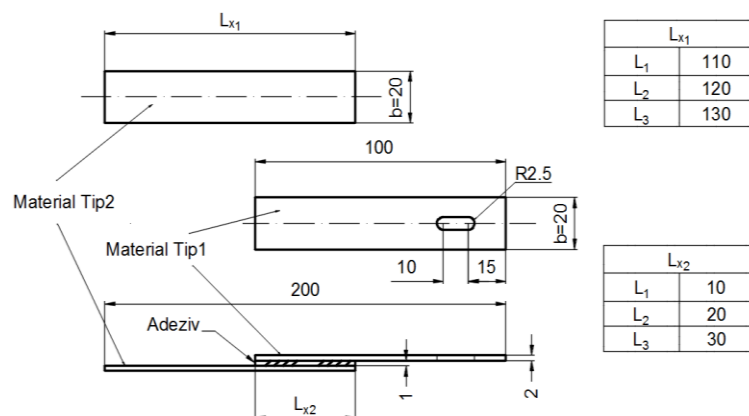


Figura 6.51. Epruvetă compusă de tip 2 (variantă constructivă 4)

Variantele constructive 4 propuse pentru epruvete compuse elimină posibilitatea apariției perturbațiilor de tipul celor identificate în etapa de cercetare experimentală exploratorie și constituie o alternativă viabilă la soluții constructive identificate în literatura de specialitate<sup>7</sup> destinate evitării încovoierii epruvetelor în timpul testării.

## 6.9. Planul de cercetare experimentală cu epruvete reprojectate

În vederea reluării cercetării experimentale au fost executate noi seturi de epruvete simple și compuse de tipul celor reprojectate. S-a utilizat un alt material decât cel folosit pentru epruvetele testate în etapa cercetării experimentale exploratorii.

Informațiile relevante referitoare la epruvetele realizate pentru a fi testate în etapa doua a cercetării experimentale sunt prezentate sintetic în **Tabel 6.2**. Codificarea seturilor și a epruvetelor asigură o bună trasabilitate a cercetării.

<sup>7</sup> Brockmann W., Klingens J., Schröder B. (2008): *Adhesive Bonding - Materials, Applications and Technology*. Wiley, ISBN 978-3-527-31898-8



Tabel 6.2. Codificarea și caracteristicile epruvetelor

Descriere tip epruvete	Cod Set Epruvete	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Lx <sub>2</sub> [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	Ga [mm]	Coduri epruvete
Epruvete simple tip halteră	St E1	–	–	–	–	A1, A2, A3
Epruvete compuse tip 2, varianta constructivă 4	St E2	$\geq 1.6$	10	200	$\approx 1$	B1, B2, B3
	St E3		20	400		B4, B5, B6
	St E4		30	600		B7, B8, B9
	St E5	$\geq 3.2$	10	200		C1, C2, C3
	St E6	$\geq 6.3$				D1, D2, D3
Epruvete compuse tip halteră, varianta constructivă 4, lipite cu adeziv industrial	St E7	$\geq 3.2$	–	–	$\approx 1$	E1, E2, E3
Epruvete compuse tip halteră, varianta constructivă 4, lipite la cald cu aliaj	St E8	$\geq 3.2$	–	–	$\approx 1$	F1, F2, F3

(Legendă: St E x – Set epruvete x; Lx<sub>2</sub> – Lungimea de lipire; A – Aria lipiturii; Ga – Grosimea stratului de adeziv)

## 6.10. Cercetarea experimentală asupra epruvetelor reprojectate. Rezultate și interpretări

Testarea epruvetelor s-a realizat aproximativ după mai mult de 5 zile din momentul solidarizării lor cu adezivi, timp necesar pentru deplina întărire a adezivului.

### 6.10.1. Testarea rezistenței materialului epruvetelor

Cele trei epruvete simple (A1, A2 și A3) de tip halteră au fost supuse testelor de rezistență la tracțiune. Curbele caracteristice pentru cele trei probe se prezintă în **Figura 6.53**. Materialul probelor, posibil tratat termic, este atipic cel puțin în sensul că nu prezintă palier de curgere. Ruperea materialului probelor a intervenit la o forță de aprox. 10000 N, dar ulterior găturii. Forțele rezistente maxime au fost semnificativ mai mari, cu cel puțin 30%. **Tabel 6.3** conține unele informații de interes, inclusiv tensiunea maximă la care rezistă materialul epruvetelor, aceasta fiind mult mai mare decât cea a materialului epruvetelor utilizate la cercetarea experimentală exploratorie.

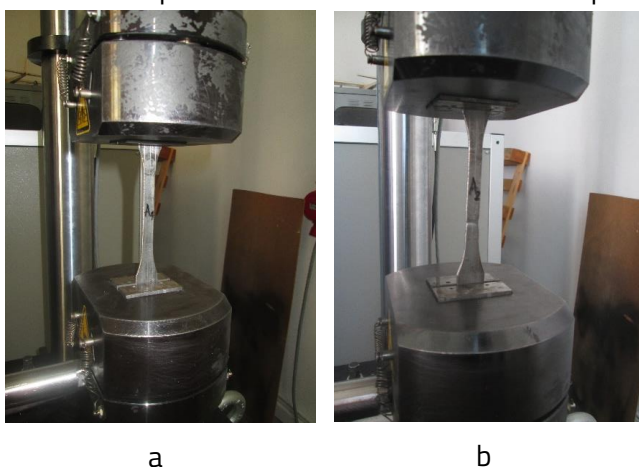


Figura 6.52. Testarea epruvetelor simple de tip halteră (a – înainte de testare ; b – după testare)

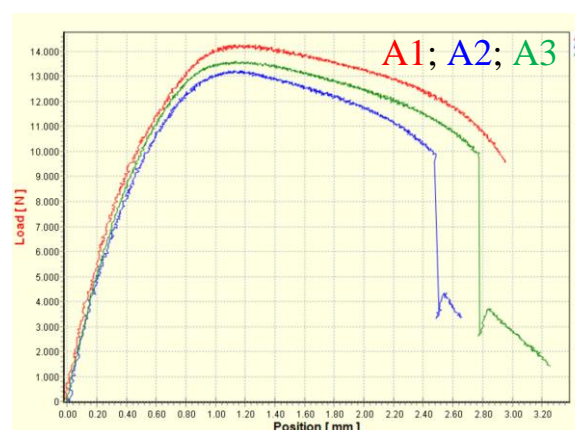


Figura 6.53. Rezultate ale testării la tracțiune a epruvetelor simple de tip halteră

# CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

## Teză de doctorat - Rezumat

**Tabel 6.3.** Rezultatele testelor la tracțiune pentru epruvetele simple de tip halteră

Caracteristică	Epruvetele simple de tip halteră pentru testare la tracțiune		
	A1	A2	A3
$F_{max}$ [N]	14200	13100	13400
A [mm <sup>2</sup> ]	19,98	20,37	19,8
$\sigma_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	710,71	643,1	676,77

(Legendă: Ex – Epruveta x;  $F_{max}$  – Forța maximă înregistrată; A – Aria secțiunii;  $\sigma_r$  – Valoarea tensiunii de rupere)

### 6.10.2. Testarea epruvetelor compuse de tip 2, varianta constructivă 4

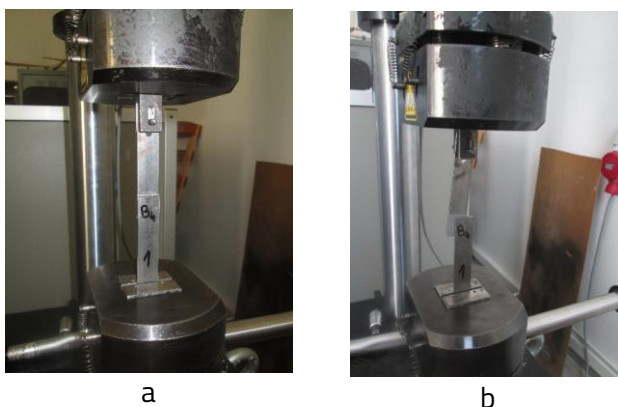
Se reamintește că prin testarea epruvetelor compuse de tip 2 se urmărește identificarea influenței asupra rezistenței epruvetelor compuse a ariei lipiturii, pe de o parte, și a rugozității suprafețelor lipite, pe de altă parte.

În primul rând au fost supuse testării seturile St E2, St E3 și St E4 de epruvete, cărora le corespund arii ale lipiturii de 200 mm<sup>2</sup> (epruvetele B1, B2 și B3), 400 mm<sup>2</sup> (epruvetele B4, B5 și B6) și respectiv 600 mm<sup>2</sup> (epruvetele B7, B8 și B9), rugozitatea suprafețelor solidarizate prin lipire fiind la toate epruvetele menționate de 1,6 μm.

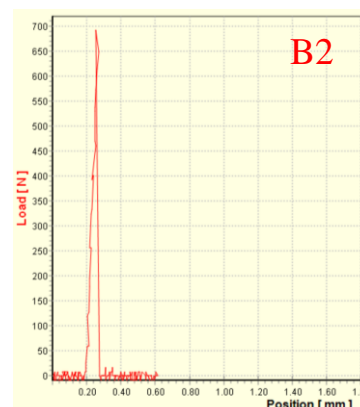
Două imagini din timpul testării epruvetelor B1 ... B9 se prezintă în **Figura 6.54**.

Rezultatele testelor se prezintă sub formă grafică în **Figura 6.55** și **Figura 6.56**, iar în **Tabel 6.4** câteva valori semnificative.

Este evident că odată cu creșterea ariei lipiturii crește și rezistența la tracțiune, chiar dacă nu liniar. Nu același lucru se poate spune despre tensiunea de rupere, care este mare (aprox. 4 N/mm<sup>2</sup>) la arie mică a lipiturii, mică (aprox. 2,1 N/mm<sup>2</sup>) pentru arie medie a lipiturii și acceptabilă (aprox. 2,5 ... 2,75 N/mm<sup>2</sup>) pentru arie mare a lipiturii.



**Figura 6.54.** Testare epruvetele compuse de tip 2, varianta constructivă 4 (a – înainte de testare ; b – după testare)



**Figura 6.55.** Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor B1 ... B4 (selecție reprezentativă)

**Tabel 6.4.** Valori asociate testelor de rezistență asupra epruvetelor B1 ... B9

Caracteristică	Epruvete compuse de tip 2 supuse testului de rezistență (rugozitatea Ra = 1,6 μm)								
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
$F_{max}$ [N]	1350	690	920	820	840	1750	1660	1500	1955
A [mm <sup>2</sup> ]	200	200	200	400	400	400	600	600	600
$\sigma_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6,75	3,45	4,6	2,05	2,1	4,7	2,76	2,5	3,2

(Legendă:  $F_{max}$  – Forța maximă înregistrată; A – Aria secțiunii lipiturii;  $\sigma_{max}$  – Valoarea tensiunii maxime)



La nici una dintre epruvetele testate rezultatele nu s-au apropiat de performanța indicată pentru adezivul folosit, de  $\approx 16 \text{ N/mm}^2$ .

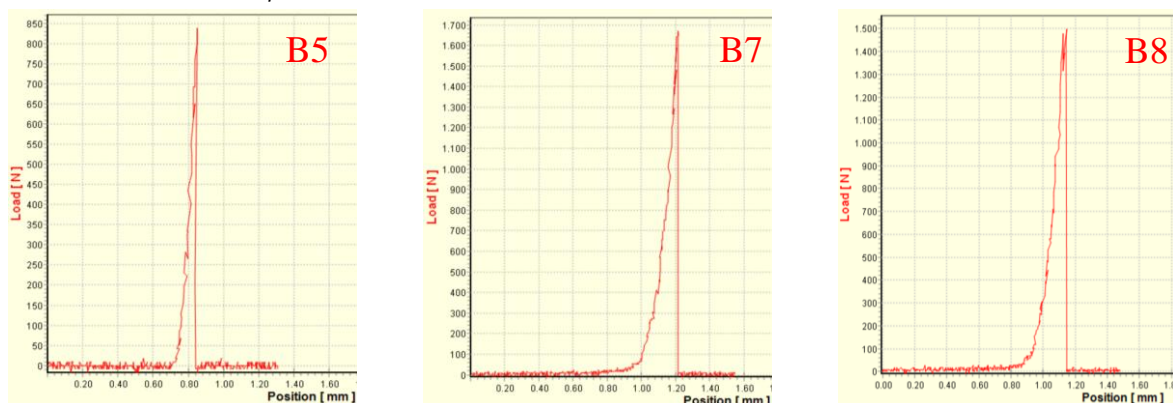


Figura 6.56. Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor B5 ... B9 (selecție reprezentativă)

În toate cazurile distrugerea epruvetelor s-a făcut nu prin rupere în stratul de adeziv, ci prin desprinderea adezivului de una dintre suprafețele de lipire, ceea ce nu reprezintă comportamentul așteptat. Rugozitatea suprafețelor solidarizate prin lipire, de numai  $1,6 \mu\text{m}$ , se pare că este total insuficientă. Rămâne de studiat dacă doar aceasta este cauza, sau dacă se manifestă și alte influențe.

A urmat testarea seturilor St E5 și St E6 de epruvete, cărora le corespund arii ale lipiturii de  $200 \text{ mm}^2$  și rugozități de  $3,2 \mu\text{m}$  (epruvetele C1, C2 și C3) și respectiv  $6,3 \mu\text{m}$  (epruvetele D1, D2 și D3).

Se reamintește că al treilea set de epruvete destinat identificării influenței rugozității asupra rezistenței stratului de adeziv a fost deja testat. Este vorba despre setul St E2, format din epruvetele C1, C2 și C3 la care aria lipiturii este de  $200 \text{ mm}^2$  ca și la seturile St E5 și St E6, iar rugozitatea suprafețelor lipite este de  $1,6 \mu\text{m}$ .

Rezultatele testelor se prezintă sub formă grafică în Figura 6.57 și Figura 6.58, iar în Tabel 6.5 sunt date câteva valori semnificative.

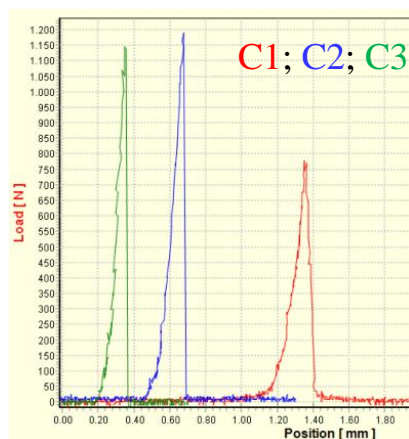


Figura 6.57. Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor C1, C2 și C3

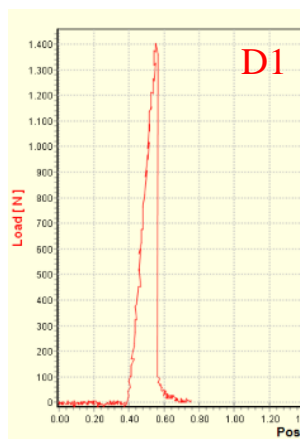
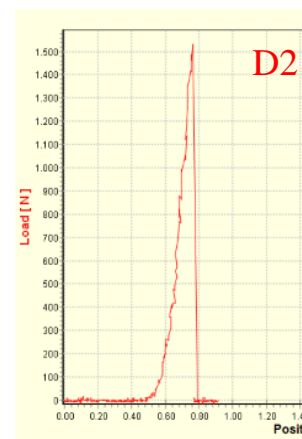


Figura 6.58. Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor D1, D2 și D3 (selecție reprezentativă)



## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

**Tabel 6.5.** Valori asociate testelor de rezistență asupra epruvetelor seturilor St E2, St E5 și St E6

Caracteristică	Epruvete compuse de tip 2 supuse testului de rezistență (aria lipiturii A = 200 mm <sup>2</sup> )								
	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
<b>F<sub>max</sub> [N]</b>	1350	690	920	775	1190	1150	1400	1530	1500
<b>Ra [μm]</b>	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
<b>σ<sub>max</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	6,75	3,45	4,6	3,87	5,95	5,75	7,0	7,65	7,5

(Legendă: F<sub>max</sub> – Forța maximă înregistrată; Ra – rugozitatea; σ<sub>max</sub> – Valoarea tensiunii maxime)

Influența rugozității asupra rezistenței la tracțiune a epruvetei compuse este evidentă și chiar încurajatoare: odată cu creșterea rugozității crește rezistența epruvetei și implicit tensiunea la rupere.

Din totalul de nouă epruvete testate se identifică practic două excepții de comportament, și anume epruveta B1, cu rezistență mare în raport cu celelalte două de aceeași rugozitate, și epruveta C1, la care rezistența opusă este semnificativ mai mică decât celelalte două din set.

Este de subliniat că rezultatele înregistrate sunt aproape identice la epruvetele din setul St E6, cele cu rugozitate Ra = 6,3 μm.

Este de studiat, ca obiectiv de viitor, dacă crescând în continuare rugozitatea suprafețelor lipite, la Ra = 12,5 μm sau chiar Ra = 25 μm, rezistența epruvetelor continuă să crească și care va fi evoluția și dacă tensiunea de rupere se apropie semnificativ de cea indicată de producătorul adezivului.

Tot ca obiectiv de viitor este de studiat chiar și dacă practicarea pe suprafețele supuse lipirii a unor șanțuri adecvat orientate sau a unor mici adâncituri sau alezaje au ca efect creșterea rezistenței la rupere a epruvetelor compuse și implicit a tensiunii de rupere.

### 6.10.3. Testarea epruvetelor compuse de tip halteră, varianta constructivă 4, solidarizate prin lipire cu adezivi industriali

Acest test urmărește să identifice, în ipoteza că forța rezistentă în planul de lipire opusă de adeziv este mai mare decât rezistența la rupere a materialului unei epruvete simple în zona sa îngustă, care este contribuția rezistenței stratului de adeziv la rezistența de rupere totală a epruvetei. Aria suprafeței lipiturii la epruvete compuse de tip halteră, varianta constructivă 4, este A<sub>h4</sub> = 1255 mm<sup>2</sup> (a se vedea **Figura 6.50**).

Valorile maxime la care s-a înregistrat distrugerea probelor E1, E2 și E3, precum și tensiunile care corespund acestor valori, se prezintă în **Tabel 6.6**.

**Tabel 6.6.** Valori asociate testelor de rezistență asupra epruvetelor E1, E2 și E3

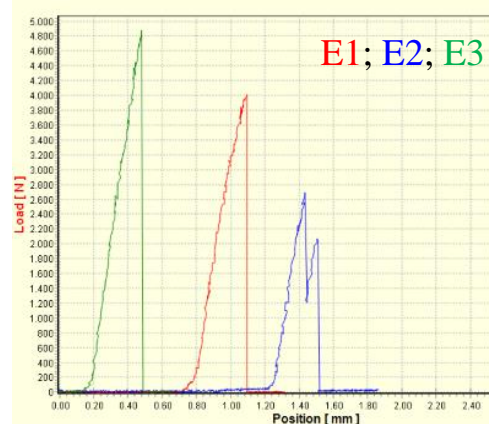
Caracteristică	Epruvete compuse de tip halteră supuse testului de rezistență (aria lipiturii A <sub>h4</sub> = 1255 mm <sup>2</sup> )		
	E1	E2	E3
<b>F<sub>max</sub> [N]</b>	4000	2850	4840
<b>σ<sub>max</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	3,187	2,271	3,856

(Legendă: F<sub>max</sub> – Forța maximă înregistrată; σ<sub>max</sub> – Valoarea tensiunii maxime)

Imagini din timpul testelor se prezintă în **Figura 6.59**, iar rezultatele încercărilor sunt surprinse sub formă grafică în **Figura 6.60**.



**Figura 6.59.** Testare epruvete compuse de tip halteră solidarizate cu adezivi (a – înainte de testare; b – după testare)



**Figura 6.60.** Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor E1, E2 și E3

Rezistența opusă de stratul de adeziv, atât în volumul său, cât și la limita cu suprafețele de lipire ale epruvetelor simple, este insuficientă pentru a determina o deteriorare cât de cât semnificativă a materialului epruvetelor simple ale epruvetei compuse.

Având în vedere valorile tensiunilor maxime care corespund distrugerii epruvetelor, rezultatele testelor de rezistență asupra epruvetelor E1, E2 și E3 este în foarte mare măsură comparabilă cu rezultatele testelor asupra epruvetelor B1 ... B9, la care relevantă este rugozitatea de doar 1,6  $\mu\text{m}$  a suprafețelor lipite.

Testele asupra epruvetelor E1, E2 și E3 sunt puțin relevante pentru scopul urmărit, dar confirmă că dacă rugozitatea suprafețelor lipite este mică, de doar 1,6  $\mu\text{m}$ , atunci tensiunea la care are loc distrugerea epruvetei prin desprinderea stratului de adeziv de suprafața uneia dintre epruvetele simple care formează epruveta compusă are o valoare de 2 ... 4  $\text{N}/\text{mm}^2$  și că aceasta este relativ puțin influențată de mărimea ariei suprafeței de lipire.

#### 6.10.4. Testarea epruvetelor compuse de tip halteră, varianta constructivă 4, solidarizate prin lipire la cald cu aliaj metalic

În lipsa unor epruvete compuse obținuți prin brazare s-a făcut apel la epruvete solidarizate prin lipire la cald cu aliaj metalic. La setul St E8, format din epruvetele F1, F2 și F3, aria de lipire este tot de 1255  $\text{mm}^2$  ca și la setul St E7 format din epruvetele E1, E2 și E3.

Rezultatele grafice ale testelor se prezintă în **Figura 6.61**.

Distrugerea probelor a rezultat în urma ruperii uneia dintre epruvetele simple care formează epruvetele compuse F1, F2 și F3, urmată imediat de forfecarea materialului de adaos în planul de lipire din zona cu aria cea mai mică rezultată în urma ruperii epruvetei.

Rezistența maximă a epruvetelor setului St E8 este sistematică în domeniul 19,4 – 20,1 kN, apreciabil mai mult decât rezistența maximă de 13,1 – 14,2 kN a unei singure epruvete de tip halteră (a se revedea **Figura 6.53**).

Rezultatele testelor asupra epruvetelor F2 și F3 pun cu claritate în evidență că ruperea uneia dintre epruvetele simple componente s-a făcut la o forță de 14 kN și respectiv de 15 kN, valori comparabile cu forța rezistentă maximă de 13 – 14 kN a epruvetelor simple A1, A2 și A3, a se revedea

Figura 6.53, și consistent mai mari decât forța rezistentă de aprox. 10 kN la care apare ruperea efectivă a epruvetelor simple A1, A2 și A3. Diferența nu poate fi datorată decât rezistenței opuse la forfecare în planul de lipire de către materialul de adaos al lipiturii.

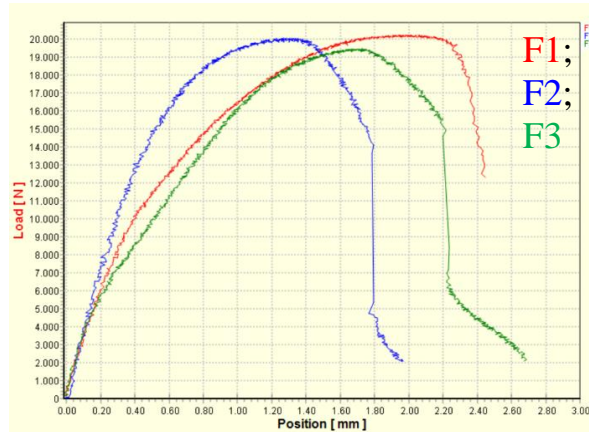


Figura 6.61. Rezultatele testelor la rezistență asupra epruvetelor F1, F2 și F3

Partea ruptă a epruvetei simple are o arie a lipiturii de aprox. 450...470 mm<sup>2</sup>.

Graficul forței rezistente corespunzătoare epruvetei F2 pune în evidență că lipitura nu rezistă la forfecare la o sarcină de 14000 N, deci  $\sigma_f < 28...31 \text{ N/mm}^2$ .

Pe de altă parte este foarte interesant faptul că valoarea obținută ca produs între aria lipiturii desprinse și tensiunea maximă determinată,  $F \approx 460 \times 16 = 7360 \text{ N}$ , este surprinzător de apropiată de valoarea rezultată ca diferență între forța rezistentă maximă și forța de la momentul desprinderii bruște a celor două părți ale epruvetei,  $\Delta F = 20 - 14 = 6 \text{ kN}$ .

Solidarizarea prin brazare este superioară din punct de vedere al rezistenței solidarizării prin lipire la cald utilizând ca material metalic de adaos un aliaj de staniu, și nu prezintă restricții severe din perspectiva temperaturii de lucru.

Cunoscând forma și dimensiunile corpurilor de rostogolire, se stabilesc adecvat parametrii regimului de așchiere utilizat la prelucrarea finală a elementelor de placare deja solidarizate prin lipire cu locașurile coliviei astfel încât forța de așchiere tangentă la suprafața elementelor de placare să fie mai mică decât forța rezistentă opusă de stratul de adeziv industrial sau de materialul metalic de adaos.

## 6.11. Concluzii

Demonstrarea în mod convingător că invențiile propuse pot fi aplicate industrial s-a realizat prin cercetare experimentală în laborator.

Conceptul comun care a condus la noile soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei, cu bile sau cu role, este realizarea corpului de bază al coliviei dintr-un material ieftin și rezistent și placarea suprafețelor locașurilor pentru corpurile de rostogolire cu elemente de placare realizate dintr-un material cu bune proprietăți antifricțiune. Solidarizarea elementelor de placare se poate realiza prin lipire, utilizând un adeziv industrial ca soluție prioritară, sau prin brazare.

În timpul funcționării rulmentului corpul de bază al coliviei este solicitat în diferite zone ale sale la întindere și la compresiune, iar la nivelul suprafețelor de contact ale locașurilor coliviei și corpurile intermediare de rostogolire ale rulmentului apar forțe de frecare și solicitare la strivire. În fiecare locaș

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

forțele de frecare generează asupra elementului de placare o solicitare care se transmite către materialul de adaos cu care s-a realizat lipirea sub forma unei solicitări la forfecare în stratul care separă elementul de placare de corpul de bază al coliviei. Această ultimă formă de solicitare se manifestă în stratul de material de adaos și în timpul prelucrării suplimentare finale prin așchiere a locașurilor coliviei. Stabilirea ariei minime de contact dintre un element de placare și un corp de rostogolire se face luând în considerare forma și dimensiunile corpului de rostogolire, valoarea certă a tensiunii care asigură integritatea lipiturii dintre elementele de placare și locașurile coliviei și rezistența la strivire a materialului elementelor de placare.

Planul de cercetare experimentală a urmărit determinarea rezistenței la tracțiune a materialului epruvetelor, influența rugozității suprafețelor lipite asupra rezistenței la forfecare în planul de lipire, influența ariei lipiturii asupra rezistenței totale opusă de adeziv, precum și contribuția stratului de adeziv la forța rezistentă totală opusă de epruveta compusă.

Odată cu creșterea ariei lipiturii crește și rezistența la tracțiune, chiar dacă nu liniar. Tensiunea de rupere în planul de lipire are o variație alternantă: este mare (aprox.  $4 \text{ N/mm}^2$ ) la arie mică a lipiturii, mică (aprox.  $2,1 \text{ N/mm}^2$ ) pentru arie medie a lipiturii și acceptabilă (aprox.  $2,5 \dots 2,75 \text{ N/mm}^2$ ) pentru arie mare a lipiturii.

În toate cazurile distrugerea epruvetelor s-a făcut nu prin rupere în stratul de adeziv, ci prin desprinderea adezivului de pe una dintre suprafețele de lipire, ceea ce nu reprezintă comportamentul așteptat.

Influența rugozității asupra rezistenței la tracțiune a epruvetei compuse este evidentă: odată cu creșterea rugozității (între  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$  și  $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ ) crește rezistența epruvetei și implicit tensiunea maximă la rezistă stratul de adeziv.

Testele asupra epruvetelor compuse de tip halteră confirmă că dacă rugozitatea suprafețelor lipite este mică, de doar  $1,6 \mu\text{m}$ , atunci tensiunea la care are loc distrugerea epruvetelor prin desprinderea stratului de adeziv are o valoare de  $2 \dots 4 \text{ N/mm}^2$  și că aceasta este relativ puțin influențată de mărimea ariei suprafeței de lipire.

La epruvetele compuse de tip halteră solidarizate prin lipire la cald cu aliaj metalic distrugerea probelor a rezultat în urma ruperii uneia dintre epruvetele simple, urmată imediat de forfecarea materialului de adaos în planul de lipire din zona cu aria cea mai mică rezultată în urma ruperii epruvetei. Rezistența maximă a epruvetelor compuse astfel obținute este sistematic mai mare cu 45-50% decât rezistența maximă a unei singure epruvete de tip halteră. Tensiunea de forfecare în planul de lipire care corespunde materialului de adaos al lipiturii este de aprox.  $16 \text{ N/mm}^2$ . De precizat că această valoare este egală cu cea indicată de producător pentru Poxipol, adezivul industrial utilizat la celelalte epruvete, dar și că în urma experimentelor efectuate valoarea maximă confirmată a fost de numai  $7,65 \text{ N/mm}^2$ .

Solidarizarea prin brazare este superioară din punct de vedere al rezistenței solidarizării prin lipire la cald utilizând ca material metalic de adaos un aliaj de staniu, și nu prezintă restricții din punct de vedere al temperaturii de lucru. Se impune, ca direcție de cercetare de viitor, studiul rezistenței la forfecare în planul de separare a două epruvete simple solidarizate prin brazare și compararea datelor obținute cu informații similare, în caz că există, din literatura de specialitate.

## Capitolul 7. CONTRIBUȚII ORIGINALE, FORME DE VALORIFICARE A CERCETĂRII ȘI CONCLUZII FINALE

### 7.1. Contribuții originale

Prezenta teză de doctorat aduce contribuții semnificative la dezvoltarea cunoașterii și construcției rulmenților, cercetarea fiind puternic focalizată asupra coliviilor pentru rulmenți grei. Tema studiată este abordată dintr-o perspectivă originală, în conexiune cu conceptul de dezvoltare durabilă.

Contribuțiile originale acoperă echilibrat ariile teoretică și experimentală.

Contribuțiile originale importante pe care autorul consideră că le-a adus și care se identifică în mod explicit în cadrul tezei sunt următoarele:

- 1 Participarea efectivă la formularea temei tezei de doctorat și a obiectivelor acesteia. La momentul inițial al cercetării autorul își desfășura activitatea în cadrul unei importante companii producătoare de rulmenți de mari dimensiuni, alegerea temei tezei reflectând dorința de perfecționare profesională și, de ce nu, consolidarea perspectivelor de evoluție în carieră. Fiind intim cunoscute multe aspecte negative legate de funcționarea și de fiabilitatea coliviilor utilizate în prezent la rulmenții grei, încă de la enunțarea temei tezei de doctorat s-a avut în vedere potențialul ei inovativ, argumentat la momentul respectiv prin conturarea unor soluții constructive noi de colivii, în special pentru rulmenți grei. Obiectivele identificate în etapa inițială de definire a temei au fost dezvoltate, detaliate și documentate pe parcursul cercetărilor. S-a relevat și că tema tezei este în excelentă legătură cu cunoștințele de specialitate asimilate pe parcursul studiilor academice de licență, programul Inginerie Economică Industrială, și cu obiectivele programelor de studii doctorale desfășurate în cadrul Universității Transilvania din Brașov, încadrându-se excelent în domeniul dezvoltării durabile, domeniu prioritar asumat al cercetării științifice desfășurate în cadrul Universitatea Transilvania din Brașov.
- 2 Realizarea unei ample cercetări documentare și a sintezei informațiilor relevante cu privire la stadiul actual al cunoașterii privind rulmenții, cercetare puternic focalizată asupra construcției, solicitării și dimensionării coliviilor rulmenților grei. Cercetarea și sinteza realizată se numără printre puținele studii care pun în evidență personalități, evenimente și momentele importante care au contribuit la dezvoltarea rulmenților. Cercetarea bibliografică a relevat că literatura de specialitate nu abordează sau tratează prea puțin aspecte importante privind coliviile rulmenților, așa cum sunt funcțiile acestora, modele analitice pentru dimensionare sau contribuția la consumul energetic de exploatare. Ca urmare necesitatea completării obiectivelor tezei a devenit evidentă.
- 3 Lipsa informațiilor specifice a determinat elaborarea unui studiu sistematic care a avut ca rezultat identificarea și descrierea funcțiilor coliviilor rulmenților, cu accent asupra coliviilor pentru rulmenți grei. Studiul pune în evidență funcții de exploatare principale și secundare, dar și funcții de fabricație și post-utilizare. În urma studiului atent al literaturii de specialitate rezultă că se acordă o atenție scăzută coliviilor, acestea fiind privite de regulă ca un component auxiliar de importanță redusă.

- ④ O componentă importantă a studiului stadiului actual a construcției coliviilor rulmenților a fost studiul de brevet, prin accesarea unor baze de date internaționale de brevete de invenție. Au fost reținute pentru studiu peste 90 de brevete. 20% dintre acestea se regăsesc în sinteza documentară redactată. Studiul de brevet a consolidat încrederea în soluțiile constructive noi de colivii conturate inițial și a relevat aspecte noi care merită a fi luate în considerare. Altfel spus, a condus la lărgirea orizontului, a generat încredere și a dat idei noi. Este de remarcat și faptul că diversele soluții constructive de colivii utilizate în mod frecvent sau doar propuse prin diferite brevete de invenție satisfac inegal funcțiile coliviei și urmăresc maximizarea uneia sau doar a câtorva dintre acestea.
- ⑤ Una dintre funcțiile identificate ale coliviilor rulmenților, relevantă la rulmenții grei, este funcția „condiționează consumurile energetice de exploatare”. Aceasta este de principiu cunoscută, dar nu este tratată ca atare în literatură și nici nu a fost identificat un model matematic care să descrie care este contribuția coliviei la consumul energetic de exploatare al unui rulment. Acest aspect a motivat extinderea obiectivelor tezei și a impus elaborarea unui model matematic propriu, original. Modelul pune fără echivoc în evidență că determinante sunt caracteristicile geometrice ale coliviei și densitatea materialului acesteia.
- ⑥ Studiul stadiului actual al cunoașterii referitoare la coliviile de rulmenți a scos în evidență că în literatura de specialitate consultată nu se identifică un model de solicitare a coliviilor de rulmenți care să constituie baza teoretică pentru dimensionarea acestora. Pare că „dimensionarea” coliviilor rulmenților este mai degrabă empirică sau rezultat al unor încercări corective succesive validate în practică pentru diversele aplicații. Această constatare, rezultată cu claritate în urma studiului stadiului actual, a generat încă odată extinderea obiectivelor tezei cu o misiune asumată: elaborarea unui model de dimensionare a coliviilor rulmenților, argumentat și demonstrat riguros. A rezultat un model de solicitare în condiții statice, original, care se constituie într-o importantă contribuție teoretică referitoare la rulmenți și care poate deveni atât un instrument de lucru valoros, cât și un subiect de studiu în vederea dezvoltării și rafinării.
- ⑦ Având ca bază modelul de dimensionare elaborat a fost dezvoltată o aplicație Excel care generează rezultate relevante pentru orice set de mărimi care caracterizează un rulment radial. Un exemplu numeric, care ia în considerare mărimi realiste pentru un rulment radial de mari dimensiuni, relevă că forțele de frecare dintre corpurile de rostogolire și inelele rulmentului și care solicită colivia sunt mult mari în comparație cu forța normală la colivie datorată deplasării centrului inelului interior  $O_{ii}$ .
- ⑧ Elaborarea de soluții constructive noi de colivii pentru rulmenți grei, care să elimine sau să diminueze în cât mai mare măsură deficiențele identificate în practică, în fabricație și în exploatare, este un obiectiv central al tezei. Studiul stadiului actual, cercetarea de brevet, modelul de mișcare și de consum energetic și modelul de dimensionare a coliviilor au fost etape care să susțină identificarea logică a soluțiilor constructive noi. A fost nevoie și de un efort foarte specific, acela de asimilare și utilizare a unor serii de tehnici, proceduri și demersuri creative specifice creației tehnice originale. A rezultat o primă soluție constructivă nouă, inovativă, de colivie pentru rulmenți grei cu bile demontabili. Foarte important este că aceasta a pus în evidență un concept

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

inovativ – realizarea corpului coliviei din material ieftin și rezistent și placarea locașurilor pentru bile cu elemente de placare realizate din material cu bune proprietăți antifricțiune – care poate fi aplicat unei întregi familii de soluții și variante constructive noi de colivii pentru rulmenți grei.

- 9 Cel mai frecvent întâlniți sunt rulmenții radiali cu bile „normali”, nedemontabili, la care colivia este formată din două semicolivii. S-a procedat la studiul posibilității conceperii unor soluții constructive de colivii pentru astfel de rulmenți care să utilizeze conceptul deja elaborat. A rezultat o nouă grupă de soluții constructive noi, inovative, de colivii pentru rulmenți grei cu bile. Familia de soluții constructive identificată a fost considerată drept una originală și s-a decis protejarea sa prin brevet de invenție. A fost redactată descrierea de brevet, care include și prima colivie concepută. invenția este una unitară, cu revendicări multiple. Solicitantul cererii de brevet depusă la OSIM (cbi A 2017 00701 din 22.09.2017) este Universitatea Transilvania din Brașov, instituție în cadrul căreia a fost efectuată întreaga cercetare pentru elaborarea tezei de doctorat. Examinarea la OSIM este în curs.
- 10 O proporție importantă dintre rulmenții grei este reprezentată de cei radiali cu role. S-a studiat posibilitatea aplicării și la coliviile specifice acestora a conceptului constructiv original elaborat și aplicat cu succes la colivii pentru rulmenți cu bile. Demersul a fost încununat de succes și a rezultat o altă familie originală nouă de colivii, cu alveole placate cu material antifricțiune. Și acest nou grup de soluții constructive au fost apreciate ca având un caracter inovativ semnificativ și s-a decis protejarea lor prin brevet de invenție. A fost redactată descrierea de brevet și s-a înregistrat la OSIM cererea de brevet (cbi A 2017 00702 din 22.09.2017). Și în acest caz solicitantul cererii de brevet este Universitatea Transilvania din Brașov. Examinarea la OSIM este în curs, în fază finală.
- 11 Atât studiul stadiului actual, modelele matematice dezvoltate, cât și procesul creativ parcurs a pus în evidență o semnificativă rezervă de creativitate referitoare la soluții constructive noi, originale, de colivii pentru rulmenți grei. Sunt deja conturate câteva noi soluții, fiecare dintre soluțiile identificate reprezentând direcții noi de cercetare. Finalizarea lor și realizarea documentației necesare pentru brevetare constituie obiectiv pentru un viitor imediat ulterior susținerii tezei de doctorat.
- 12 Noutatea conceptului care a stat la baza noilor soluții constructive – placarea unui corp de bază al coliviei cu piese cu pereți subțiri realizate din material antifricțiune, cu solidarizare prin lipire sau prin brazare – a impus ca necesară validarea experimentală. Posibilitățile concrete au orientat cercetarea către solidarizare cu adezivi industriali. Un prim pas a fost realizarea unui studiu referitor la adezivii industriali posibil de utilizat, cu punerea în evidență a cerințelor de aplicare și a performanțelor de rezistență pe care le asigură.
- 13 Pregătirea cercetării experimentale a presupus și conceperea și realizarea unor epruvete adecvate obiectivelor cercetării. Planul de cercetare experimentală și epruvetele specifice reprezintă o contribuție originală, în bun acord cu subiectul cercetării.
- 14 Cercetarea experimentală efectivă s-a efectuat în două etape, dar fără ca aceasta să fi fost planificată ca atare. Prima etapă, denumită ulterior efectuării ei „cercetare exploratorie”, a fost



afectată negativ de un fenomen de încovoiere a epruvetelor destinate testării rezistenței stratului de adeziv în planul de lipire. Fenomenul a fost determinat în foarte mare măsură de modul specific de prindere al epruvetelor în mașina de testare și nu a fost anticipat. Analiza modului de desfășurare a testelor în această primă etapă a adus un surplus de informații și a motivat proiectarea și realizarea unor epruvete specifice noi, potențial brevetabile.

- 15) A doua etapă a cercetării experimentale a fost un real succes. Au fost testate un număr mare de epruvete, fiind studiată influența mai multor parametri asupra rezistenței în planul de lipire. Cercetarea a fost focalizată asupra epruvetelor compuse solidarizate prin lipire cu adezivi industriali. Au fost testate și un număr mic de epruvete solidarizate prin lipire la cald cu aliaj metalic, ca alternativă a studiului epruvetelor compuse obținute prin brazare.
- 16) Diseminarea informațiilor pe întreaga perioadă a cercetării prin publicarea unora dintre rezultatele cercetărilor în cadrul unor reviste de specialitate și în buletinele unor conferințe internaționale.
- 17) Însăși redactarea tezei de doctorat a fost o experiență aparte, care a contribuit la dezvoltarea profesională prin aprofundarea, asimilarea și utilizarea elementelor specifice limbajului tehnic de specialitate utilizat în comunitățile științifice de cercetători astfel încât teza de doctorat să aibă o construcție clară și riguroasă.

### 7.2. Forme de valorificare a cercetării

Până în prezent parte din rezultatele cercetărilor efectuate în vederea elaborării prezentei teze de doctorat au fost valorificate prin:

- Conceperea a două grupe de soluții constructive de colivii pentru rulmenți, una pentru rulmenți grei cu bile și una pentru rulmenți grei cu role. Au fost puse în evidență 24 de soluții constructive și variante, toate având un același principiu constructiv și anume placarea unui corp de bază realizat din material ieftin și rezistent cu elemente de placare realizate din material cu foarte bune proprietăți antifricțiune, solidarizarea realizându-se prin lipire cu adezivi industriali sau prin brazare. Aceste rezultate răspund în mod direct obiectivului principal al tezei de doctorat. Noile soluții asigură implicit diminuarea apreciabilă a consumurilor de materiale deficitare și energetice fără ca funcțiile de bază ale coliviilor să fie afectate negativ, răspunzând astfel unor obiective derivate ale tezei.
- Identificarea unor rezerve semnificative de creativitate cu privire la noi soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei. Unele construcții avute în vedere fac apel la principiul plăcării cu material antifricțiune, dar sunt imaginate deja și alte construcții al căror principiu constructiv și de funcționare este semnificativ diferit.
- Redactarea și înregistrarea la OSIM a două cereri de brevet de invenție (cbi A 2017 00701 din 22.09.2017 și cbi A 2017 00702 din 22.09.2017) având ca obiective protejarea unora dintre soluțiile constructive de colivii concepute pe parcursul cercetărilor, cât și recunoașterea pe această cale a originalității rezultatelor obținute. Solicitantul acestor cereri este Universitatea Transilvania din Brașov, Instituția Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat în cadrul căreia am desfășurat cercetarea. Transmiterea drepturilor este în conformitate cu Contractul de Studii doctorale nr. 2.8.14.1483 din 01.10.2014.

- Publicarea în domeniul tezei a cinci comunicări și articole științifice în reviste de specialitate din țară și în buletinele unor conferințe științifice internaționale. Din cele cinci comunicări și articole științifice trei sunt indexate ISI, iar două sunt incluse în baze de date internaționale. La trei dintre lucrările publicate sunt unic auto (o lucrare ISI și două BDI), la o lucrare (indexată ISI) sunt prim autor, iar la o altă lucrare (indexată ISI) am calitate de coautor.
- Anterior începerii studiilor doctorale am conceput și redactat o descriere de brevet al cărei subiect este diferit de cel abordat în prezenta teză de doctorat, cererea de brevet de invenție a fost înregistrată la OSIM (cbi A 2013 00017) și se află în examinare. Menționez această realizare deoarece este rezultat obținut în timpul studiilor de master, pe care le-am efectuat tot la Universitatea Transilvania din Brașov. Sunt convins că această realizare m-a motivat să continui cu studii doctorale, dar și că a constituit un argument în plus pentru câștigarea bursei de studii.

### 7.3. Direcții de cercetarea ulterioară

Față de obiectivele cercetării enunțate inițial, pe parcurs au fost identificate noi obiective și direcții de cercetare. Unele dintre acestea au devenit necesare, așa cum au fost cercetările care au condus la enunțarea funcțiilor coliviilor și la elaborarea modelelor de mișcare, de consum energetic și de dimensionare a coliviilor, iar altele – deși interesante și atractive – au fost doar consemnate și avute în vedere drept direcții de cercetare viitoare. Acestea acoperă toate cele trei arii mari ale cercetării desfășurate: contribuții teoretice și de concepție, extinderea cercetării aplicative și continuarea diseminării de rezultate originale.

Fiind urmărit obiectivul principal al tezei, acela de a elabora soluții constructive noi, inovative, de colivii pentru rulmenți grei care să elimine sau să reducă semnificativ dezavantajele constatate în practică – atât la fabricație, cât și la exploatare – au fost formulate mai multe seturi de idei. A fost reținut și finalizat prin două descrieri de brevet de invenție unul dintre acesta, caracterizat de un concept unitar. Altele însă au rămas în așteptare și se constituie în interesante direcții de cercetare ulterioară. Conform unei evaluări mai puțin riguroase se întrevide posibilitatea elaborării a cel puțin două descrieri de brevet de invenție, fiecare cu revendicări multiple.

Nu se exclude ca soluțiile constructive noi de epruvete compuse concepute pentru testarea rezistenței stratului de adeziv utilizat la lipire să facă obiectul unei cereri de brevet de invenție sau de model de utilitate. Trebuie să fie obținut acceptul și sprijinul Universității Transilvania din Brașov, aceasta urmând a deveni în mod justificat solicitant al dreptului de proprietate intelectuală.

Dezvoltarea modelului de solicitare și de dimensionare a coliviilor constituie și acesta un obiectiv de viitor, încadrat evident la categoria „cercetări teoretice”.

Cercetarea aplicativ-experimentală desfășurată nu a putut acoperi, din motive obiective, toate acțiunile avute inițial în vedere. Două dintre acestea constituie direcții de acțiune ulterioară foarte motivante:

- 1) realizarea de epruvete compuse solidarizate prin brazare și testarea riguroasă a lor. Pe parcursul cercetării desfășurate pentru elaborarea tezei acest mod de solidarizare a fost permanent avut în vedere, dar nu a fost identificat un agent economic capabil și dispus să realizeze epruvetele compuse necesare;

2) realizarea unei colivii cu alveole placate, echiparea cu aceasta a unui rulment greu, fie el și de dimensiuni mai reduse, și testarea întregului în condiții de laborator cât mai apropiate de solicitarea reală. În timpul studiilor doctorale s-a încercat angajarea unei colaborări cu INA Scheffler, dar demersul nu a avut succes. Se va încerca din nou, inclusiv făcând apel la un alt producător de rulmenți grei. Nu se exclude participarea la o competiție națională pentru a obține printr-un grant de cercetare finanțarea necesară pentru desfășurarea acestei activități.

Autorul este conștient că activitatea de diseminarea a rezultatelor cercetărilor desfășurate putea fi semnificativ mai consistentă. Multe dintre realizările originale importante nu se reflectă în lucrări publicate, ca de exemplu modelul de solicitare și de dimensionare a coliviilor, soluțiile constructive noi de colivii concepute și supuse evaluării de către OSIM, rezultatele obținute în a doua etapă a cercetării experimentale, inclusiv soluțiile noi originale de epruvete. Elaborarea și publicarea de noi articole și lucrări științifice este o direcție de acțiune ulterioară necesară.

#### 7.4. Concluzii finale

O multitudine de aplicații au în componentă rulmenți, cu structuri, caracteristici constructive și performanțe tehnice diferite. Se întreprind continuu studii și cercetări care vizează optimizarea și îmbunătățirea elementelor componente ale rulmenților astfel încât să se asigure performanțe net superioare celor actuale. Este rar abordată îmbunătățirea constructivă a coliviilor rulmenților. Coliviile rulmenților grei sunt frecvent realizate din materiale deficitare, alamă sau bronz, acestea asigurând simultan foarte bune proprietăți antifricțiune și bune caracteristici de rezistență. Rezultă însă costuri mari, ceea ce constituie un dezavantaj semnificativ. Foarte rar este abordată performanța energetică a rulmenților, în particular a rulmenților grei, acesta fiind un subiect de importanță majoră în contextul dezvoltării durabile.

Performanța energetică a rulmenților este determinată de toate componentele acestora, în principal de a celor aflate în mișcare. Creșterea performanței energetice a rulmenților prin reproiectarea inelelor și a corpurilor de rostogolire ale acestora este puțin probabilă. Studiul contribuției coliviei asupra performanței energetice a unui rulment nu se identifică în literatură. Lucrarea de față își propune conceperea de noi soluții constructive de colivii de rulmenți cu performanțe cel puțin egale cu cele utilizate în prezent, dar care să necesite în cât mai mică măsură materiale deficitare, să aibă rezistență mecanică și durabilitate superioare celor actuale, să poată fi realizate cu costuri mult reduse, să conserve în cât mai mare măsură tehnologia curentă de realizare și, pe cât posibil, să asigure performanțe energetice îmbunătățite.

Tema prezentei teze de doctorat a fost convenită de comun acord cu conducătorul științific, fiind considerată ca având un potențial științific semnificativ și posibilități, deja întrevăzute la momentul inițial, de elaborare a unor soluții constructive noi inovative potențial eficiente economic și aplicabile în industrie. Tema aleasă este concordantă atât cu cunoștințele de specialitate asimilate pe parcursul studiilor academice de licență, programul Inginerie Economică Industrială, și de master, programul Managementul Afacerilor în Industrie, cât și cu experiența și cunoștințele acumulate în practică ca angajat al unei mari companii producătoare de rulmenți.

Tema este în strânsă relație cu obiectivele și activitatea programelor de studii doctorale desfășurate în cadrul Universității Transilvania din Brașov, încadrându-se excelent în domeniul dezvoltării durabile, domeniu prioritar asumat al cercetării științifice desfășurate în Universitatea Transilvania din Brașov.

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

Enunțarea temei s-a făcut în strânsă legătură cu un „plan de activități” necesar în vederea direcționării cercetării astfel încât obiectivele acesteia să fie atinse cu succes. Titlul convenit al tezei de doctorat, „*Cercetări inovative privind construcția coliviilor pentru rulmenți grei*” reflectă pe deplin atât subiectul cercetării, cât și activitatea creativă imperativă de inovare-inventare pe care aceasta o presupune, însoțită în mod necesar de modelare teoretică și de cercetare aplicativă practică.

În acord cu titlul tezei și cele prezentate anterior, activitatea de cercetare determinantă în cadrul prezentei teze de doctorat este conceperea de soluții noi inovative de colivii pentru rulmenți grei cu bile și role, toate activitățile întreprinse și desfășurate fiind subordonate acestui obiectiv major.

Startul cercetării s-a făcut cu mare încredere că obiectivul principal poate fi atins cu succes. Câteva idei de soluții originale au fost schițate încă de la început, în etapa exploratorie de enunțare a titlului tezei. Noile soluții trebuind să asigure performanțe cel puțin egale cu cele ale soluțiilor constructive utilizate curent, dar la costuri semnificativ mai mici și cu consumuri de materiale deficitare minime.

Literatura de specialitate referitoare la rulmenți este deosebit de bogată: sute sau chiar mii de cărți de specialitate, sute (poate mii) de brevete de invenție, mii de articole de specialitate publicate în reviste de profil și buletine ale unor conferințe de specialitate. Cercetarea literaturii de specialitate și a bazelor de date pentru brevete de invenție a contribuit semnificativ la direcționarea cercetării, fiind întrevăzute elemente teoretice de analiză originale, neîntrevăzute în literatura de specialitate. Studiul stadiului actual a relevat date importante cu privire la apariția și dezvoltarea rulmenților și a permis elaborarea, într-o formă originală neidentificată în literatura de specialitate până în momentul de față, a unei sinteze a momentelor majore, semnificative, care au determinat dezvoltarea rulmenților.

În cadrul capitolului 2 al tezei, studiul stadiului actual este însoțit și de un studiu original referitor la funcțiile coliviilor, cu accent asupra coliviilor pentru rulmenți grei. Funcțiile coliviilor rulmenților sunt în genere cunoscute, dar un studiu sistematic asupra acestora nu a fost identificat în literatura de specialitate consultată în vederea elaborării prezentei teze. Majoritatea funcțiilor sunt interconectate. Acest studiu a contribuit în mare măsură la clarificarea direcțiilor de acțiune în sprijinul îndeplinirii obiectivului principal al tezei, acela de a concepe soluții noi inovative de colivii pentru rulmenți grei cu bile și role. Noile soluții trebuie să satisfacă simultan cât mai multe dintre funcțiile unei colivii și imperativ pe cele principale, precum: „asigură rezistență”, „asigură rigiditate”, „este fiabilă”, „are durabilitate”, „asigură lubrifiere”, „asigură preluarea de forțe”, „este tehnologică”.

O parte importantă a studiului actual al cunoașterii referitoare la construcția coliviilor pentru rulmenți, predilect a celor radiali, o reprezintă un consistent studiu de brevet de invenție, prezentat în partea finală a capitolului 2 al tezei. Au fost reținute spre consultare în detaliu 90 de brevete de invenție, în sinteza documentară – care constituie o contribuție documentară originală deosebită – fiind prezentate exemple comentate extrase din 10 brevete. Studiul de brevet a pus în evidență, încă odată, relevat atât principalele avantaje ale soluțiilor curente cât și dezavantajele acestora. S-a constatat că diversele soluții constructive de colivii – utilizate în mod frecvent sau doar propuse prin diferite brevete de invenție – satisfac inegal funcțiile coliviei și urmăresc maximizarea uneia sau doar a câtorva dintre acestea. De exemplu funcția „asigură rezistență” este uneori deficitară și afectează grav durabilitatea rulmentului pe care colivia respectivă îl echipează.

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

Funcția „condiționează consumurile energetice de exploatare” a coliviei nu este abordată în mod explicit de nici unul dintre brevetele de invenție consultate, iar în literatura consultată nu a fost identificat nici un model matematic care să descrie care este contribuția coliviei la consumul de exploatare al unui rulment. Subiectul a prezentat interes pentru teza de față, cel puțin din perspectiva identificării acelor cerințe de natură constructivă a coliviei care să asigure, la o nouă soluție, minimul de consum energetic de exploatare. Cercetările desfășurate au avut ca rezultat un model matematic de evaluare care permite determinarea contribuției coliviei la consumul de exploatare al rulmentului pe care îl echipează, model matematic care se bazează pe un model de mișcare a componentelor rulmentului, de asemenea conceput și demonstrat de autorul tezei. Rezultatele acestor cercetări fac obiectul capitolului 3 al tezei, integral original, și constituie o contribuție teoretică apreciabilă a autorului în domeniul subiectului tezei.

Se face precizarea că modelul de consum energetic a fost elaborat prezumând ca rulmentul echipează o centrală eoliană, dar fără a se rezuma doar la o asemenea aplicație. S-a considerat corect că o eficiență energetică crescută a rulmentului favorizează eficiența energetică a centralei, contribuind la creșterea randamentului acesteia. Modelul de evaluare a consumului energetic a pus pregnant în evidență că materialul corpului coliviei trebuie să aibă o densitate cât mai redusă. Analiza ulterioară a cercetărilor care au condus la conceperea modelului analitic care permite evaluarea consumului energetic de exploatare care corespunde coliviei a relevat că acestea constituie bază teoretică în sprijinul eco-proiectării acestui produs, care este una dintre caracteristicile specifice dezvoltării durabile.

În urma studiului stadiului actual nu s-a putut identifica un model analitic fundamentat adecvat destinat dimensionării coliviilor rulmenților, în particular a coliviilor rulmenților grei. Nefiind identificat un model de solicitare a coliviilor de rulmenți pe baza căruia să se poată face dimensionarea acestora s-a prezumat că „dimensionarea” coliviilor rulmenților este rezultat al unor încercări corective succesive. În general se acordă atenție foarte redusă coliviei, care este privită de regulă ca un component auxiliar de importanță secundară. Obiectivul principal al tezei, „*conceperea de soluții constructive noi, inovative, de colivii pentru rulmenți grei*”, nu poate fi îndeplinit cu succes și nu poate fi argumentat ca atare dacă este abordat empiric. Ca urmare s-a impus ca „planul de activități” avut inițial în vedere să fie extins, o misiune nou relevată ca fiind necesară fiind elaborarea unui model de solicitare a coliviei, eventual particularizat pentru colivii specifice rulmenților grei, care să constituie bază teoretică pentru dimensionarea coliviilor. Demersul a fost o adevărată provocare, dar misiunea asumată a fost îndeplinită. A fost elaborat un model de solicitare statică, complex și detaliat, demonstrat riguros. Întreg capitolul 4 al tezei este dedicat acestei realizări, care constituie o contribuție teoretică deosebită. Evident, modelul de solicitare elaborat poate fi îmbunătățit, luarea în considerare a solicitării dinamice fiind una dintre direcțiile întrevăzute.

În vederea îndeplinirii obiectivului principal al tezei, menționat și anterior, a impus și un studiu individual de cunoaștere și aprofundare a tehnicilor și metodelor de creație tehnică, punând accent pe cele cu mare potențial de a fi aplicate imediat la găsirea de noi soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei, care să satisfacă în cât mai mare măsură funcțiile coliviei și să fie în bun acord cu modelul de consum energetic de exploatare minim și cu cel de solicitare elaborate. Un prim demers creativ, încununat de succes, s-a bazat totuși în destul de mare măsură pe metode intuitive de creație tehnică. Demersurile creative ulterioare, finalizate și acestea cu rezultate pozitive notabile concordante cu

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

obiectivul principal al tezei, au fost bazate din ce în ce în mai mare măsură pe demersuri logice de creație, pe o căutare direcționată a noilor soluții constructive. Toate noile soluții relevate și reținute drept contribuții relevante în sprijinul obiectivului principal al tezei, detaliate și descrise adecvat, aduse la nivel de proiect tehnic, au caracter unitar prin aceea că utilizează un același principiu constructiv, și anume principiul placării. Se remarcă însă și diversitatea, atât prin numărul mare (18) al soluțiilor constructive și al variantelor prezentate, cât și prin aceea că acestea se referă la colivii pentru rulmenți radiali de tipuri diferite, cu bile (atât normali, cât și demontabili) și cu role. Noile soluții prezintă și avantajul, foarte important, că conservă în cea mai mare parte tehnologia de fabricație actuală.

Procesul creativ desfășurat a rezonat în toate etapele cu conceptul de dezvoltare durabilă, chiar și procesul de însușire și de dezvoltare a cunoștințelor teoretice și a abilităților practice de inventare și de redactare a descrierilor de brevet de invenție.

Noile soluții constructive fac obiectul a două cereri de brevet de invenție (cbi A 2017 00701: "Colivie pentru rulmenți grei, cu bile", și cbi A 2017 00702: "Colivie pentru rulmenți grei, cu role"), ambele având ca solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, dorindu-se prin aceasta atât recunoașterea noutății și originalității soluțiilor concepute, cât și necesara protecție a proprietății intelectuale care derivă din acestea. Întregul ansamblu al demersurilor de creație tehnică care au condus la noile soluții constructive originale, precum și descrierea acestor soluții, face obiectul capitolului 5 al tezei.

Atributul „aplicabilitate industrială” al invențiilor propuse trebuie demonstrat în mod convingător. Deși realizarea efectivă a produsului (sau a unui model la scară redusă) și testarea în condiții reale sau cât mai apropiate de acestea a fost prima opțiune, dar nu au fost găsite sprijinul și resursele necesare. A rămas ca disponibilă cercetarea experimentală în laborator, pe epruvete, focalizată pe caracteristicile esențiale specifice ale sistemului tehnic studiat.

Conceptul comun caracteristic noilor soluții constructive de colivii pentru rulmenți grei, cu bile sau cu role, este realizarea corpului de bază al coliviei dintr-un material ieftin și rezistent și placarea suprafețelor locașurilor pentru corpurile de rostogolire cu elemente de placare realizate dintr-un material cu bune proprietăți antifricțiune, solidarizate prin lipire utilizând un adeziv industrial sau prin brazare. Solicitări relevante sunt strivirea elementelor de placare la contactul cu corpurile de rostogolire și solicitarea la tracțiune în interstițiul ocupat de adezivul cu care este realizată lipire, solicitare datorată mișcării relative dintre corpurile de rostogolire și elementele de placare care generează forță de frecare.

Aria minimă necesară a suprafeței de contact dintre un corp de rostogolire și un element de placare, pentru situația care corespunde solicitării maxime, se determină făcând apel la modelul original de solicitare și de dimensionare elaborat și prezentat în teză în capitolul 4 și nu necesită în mod explicit validare experimentală.

Rezistența la forfecare a stratului de adeziv ca urmare a solicitării de tracțiune (tendință de deplasare relativă) care se manifestă între elementele de placare și corpul de bază al coliviilor originale concepute în cadrul tezei trebuie însă validată experimental. Pentru aceasta au fost concepute mai multe seturi de epruvete compuse, studiul urmărind, pe baza unui plan de cercetare experimentală, influența ariei lipiturii și influența rugozității suprafețelor supuse lipirii asupra rezistenței la forfecare în planul de lipire. Un eșec parțial întâmpinat într-o primă etapă, datorat modului specific de prindere a epruvetelor în

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat - Rezumat

---

mașina de încercări, a cercetării a impus reconceperea seturilor de epruvete și reluarea studiului. Rezultatele obținute confirmă caracteristici ale adezivului indicate de producător și validează pe deplin aplicabilitatea conceptului de placare la construcția coliviilor pentru rulmenți grei.

Odată cu creșterea ariei lipiturii crește și rezistența la tracțiune, chiar dacă nu liniar. Aria lipiturii are ca efect o variație alternantă a tensiunii de rupere în planul de lipire. Influența rugozității asupra rezistenței la tracțiune a epruvetei compuse este evidentă: odată cu creșterea rugozității (între  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$  și  $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ ) crește rezistența epruvetei și implicit tensiunea maximă la rezistența stratului de adeziv. Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru rugozitate  $R_a = 6,3 \mu\text{m}$  a suprafețelor lipite. Tensiunea de rupere a epruvetelor compuse a fost de  $7 \dots 7,65 \text{ N/mm}^2$ , ceea ce reprezintă mai puțin de jumătate decât valoarea de aprox.  $16 \text{ N/mm}^2$  indicată de producătorul adezivului pentru suprafață sablată a epruvetelor. La epruvetele compuse de tip halteră solidarizate prin lipire la cald utilizând ca material metalic de adaos un aliaj de staniu tensiunea de forfecare în planul de lipire a fost de  $15,5 \dots 16 \text{ N/mm}^2$ .

Din motive obiective nu au putut fi realizate epruvete compuse solidarizate prin brazare, obținerea și cercetarea rezistenței unor astfel de epruvete rămânând ca obiectiv de viitor.

Se consideră că epruvetele concepute pentru a doua etapă a cercetării experimentale prezintă un grad ridicat de originalitate și că pot constitui obiectul unei cereri de brevet de invenție.

Deși cercetările au relevat mai multe posibilități de extindere, îmi exprim convingerea deplină că obiectivele tezei "*Cercetări inovative privind construcția coliviilor pentru rulmenți grei*" au fost îndeplinite integral. A fost enunțat argumentat un obiectiv principal și un număr de obiective conexe și au fost identificate pe parcurs alte obiective, care au fost asumate și îndeplinite. S-a realizat o documentare și o sinteză bibliografică bogată însoțită de semnificative elemente de originalitate, remarcabile fiind studiul privind funcțiile coliviilor și studiul de brevet. Au fost elaborate două modele matematice complexe, ambele originale, riguros demonstrate, unul pentru evaluarea consumului energetic de exploatare al coliviilor și altul de solicitare și de dimensionare a coliviilor, ultimul menționat fiind destul de probabil o prioritate absolută. Obiectivul principal a fost îndeplinit, chiar la un nivel superior decât s-a estimat inițial, fiind elaborate și depuse spre examinare la OSIM două descrieri de brevete de invenție care se referă la 18 soluții constructive și variante de colivii pentru rulmenți grei, ambele având comun un același principiu constructiv, aspect care asigură unitate cercetării. Ambele cereri de brevet au ca solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, Instituție Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat în cadrul căreia am desfășurat întreaga cercetare. Sunt întrevăzute și alte soluții constructive de asemenea brevetabile. A fost desfășurată o extinsă cercetare experimentală, în două etape, prima fiind exploratorie, care a validat pe deplin principiul constructiv propus pentru noile soluții constructive originale. Au fost redactate și publicate cinci lucrări științifice în domeniul tezei, trei indexate ISI și două incluse în baze de date internaționale. Au fost identificate atractive direcții de cercetare ulterioară, care mă motivează să continui cercetarea și ulterior susținerii tezei.

Brașov, octombrie 2014 – septembrie 2020

## BIBLIOGRAFIE (extras)

## Cărți, articole, monografii și brevete

- Arenas J.M., Alia C., Narbon J.J., Ocana R., Gonzalez C. (2013): *Considerations for the industrial application of structural adhesive joints*. Elsevier, Composites Part B 44 417-423
- Ávila J.A., Lima V., Ruchert. O.F.T.C., Mei P.R., Ramirez, A.J. (2016): *Guide for Recommended Practices to Perform Crack Tip Opening Displacement Tests in High Strength Low Alloy Steels*. Soldagem & Inspeção, ISSN 0104-9224, Vol. 21, no. 3, São Paulo, Brazilia
- Belous V. (1992): *Inventica*. Editura Gh. Asachi, ISBN 973-95650-0-X, Iași
- Belous V., Moraru I. (1998): *Tratat de creatologie*. Editura Performantica, ISBN 973-97813-8-1, Iași
- Belous V., Plăhteanu B. (2005): *Fundamentele creației tehnice*. Editura Performantica, ISBN 973-730-138-2, Iași
- Branch N.A., Arakere N.K., Svendsen V., Forster N.H. (2010): *Bearing Steel Technology: Developments in Rolling Bearing Steels and Testing*. Journal of ASTM International, ISBN: 978-0-8031-7510-5, Vol. 8, Selected Technical Papers STP 1524, p. 57 – 80
- Bridges E. B., Kumar A. (2006): *Rolling element bearing cage with improved pilot surface lubrication*. Brevet US 20060193545 A1
- Brock J. (2013): *Overmolded cage*. Cerere de brevet de invenție US 2013/0336609 A1
- Brockmann W., Klingen J., Schröder B. (2008): *Adhesive Bonding - Materials, Applications and Technology*. Wiley, ISBN 978-3-527-31898-8
- Cioară Gh.R., Pisarciuc C., Cioară T.Rx., Mărăscu-Klein Vl. (2015): *Bilă pentru rulmenți grei*. Brevet RO 125679
- Cioară R., Mărăscu-Klein Vl., Pisarciuc C., Limbășan G., Cioară Rx.: *Rulment radial-axial cu bile, cu trei inele*. Brevet RO 123080 B1
- Cioară R., Mărăscu-Klein Vl., Pisarciuc C., Toma O. (2006): *Rulmenți planetari. Originea conceptului și unele soluții constructive (Planetary Bearings. Origin of the Concept and Some Constructive Solutions)*. RECENT, ISSN 1582-0246, vol. 7(2006), nr. 3(18), p. 28-36
- Cioară R., **Szekely V.G.** (2015): *Cages for Heavy Bearings: A Patent Study*. Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Vol. 809-810, p. 646-651, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.646>
- Cioară R., **Szekely V.G.** (2017): *Colivie pentru rulmenți cu bile*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00701 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov, BOPI 2/2018, p. 23, BOPI 3/2019, p. 52
- da Silva Lucas F.M., Ochsner A., Adams R.D. (2011): *Handbook of Adhesion Technology*. Springer, ISBN 978-3-642-01168-9, Heidelberg
- Deliu Gh. (2003): *Mecanica*. Editura Albastră, ISBN 973-650-106-X, Cluj-Napoca, România.
- Dowson D. (1978): *Men of Tribology*. Journal of Lubrication Technology 100(2):148-155, DOI: 10.1115/1.3453126
- Dowson D. (1979): *History of Tribology*. Longman, ISBN 0582447666 ( ISBN 9780582447660)
- Drăghici C. (2017): *Contribuții la optimizarea unor caracteristici constructive ale pieselor realizate prin deformare plastică la rece*. Teză de doctorat, Universitatea POLITEHNICA din București
- Earthrowl B.E., Caspall M.J. (2011): *Cage for roller bearings and a roller bearing*. Brevet US 8057105 B2



## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat – Rezumat

- Enescu I., Enescu D. (2013): *Rulmenți*. Editura Universității Transilvania, ISBN 978-606-19-0268-2
- Flower C., Harding J., Hofmann D. (2015): *The Oxford Handbook of Neolithic Europe*. Oxford University Press, ISBN 978-0-19-954584-1
- Gafițanu M., Năstase D., Crețu S.P., Olaru D. (1985): *Rulmenți. Proiectarea și tehnologie*. Editura Tehnică, București
- Gardiner W.M. (2015): *Bearing cage with self lubricating grease reservoirs*. Brevet US 9,109,629 B2
- Geroșanu (Limbășan) I.G. (2011): *Studii și cercetări de analiza valorii asupra unor grupe de produse din industria de rulmenți*. Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov
- Gillmor C.S. (1971): *Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France*. Princeton University Press, ISBN: 978-0-691-62009-1
- Harris J.M., Wise T.A., Gallagher K.P., Goodwin N.R. (2001): *A survey of sustainable development*. Island Press, ISBN: 1-55963-862-1
- Hayashi T.K., Moriuchi M.K. (2015): *Rolling bearing retainer and method for manufacturing such retainer*. Brevet US20150337901 A1
- Herrmann, K.L. (1934): *Antifriction Bearing*. Brevet US 1963407
- Hoover H.C., Hoover L.H. (1912): *Georgius Agricola De Re Metallica*. Salisbury House (Translated from the first edition of 1556)
- Leonardo da Vinci (1493): *Tratado de Estatica y Mechanica en Italiano („Codex Madrid I”)*. Manuscris (republicat de McGraw-Hill Book Company, 1974)
- Luca V., Șerban C.E., Barabaș S. (2013): *Role cave pentru rulmenți*. Brevet RO 125038
- Lukina N.F., Dement'eva L.A., Petrova A.P., Tyumeneva T.Yu. (2008): *Properties of adhesives and adhesive materials used in aviation industry*. Polymer Science, ISSN 1995-4212, Series D. Glues and Sealing Materials, 2009, Vol. 2, No. 3, p. 147-154
- Madsen D.A., Madsen D.P. (2012): *Engineering Drawing & Design*, Delmar, ISBN-13: 978-1-111-30957-2, p. 709 – 726
- Mang T., Kirsten B., Thorsten B. (2011): *Industrial Tribology – Tribosystem, Friction, Wear and Surface, Engineering, Lubrication*. Publisher Wiley-VCH, ISBN: 978-3-527-32057-8
- Mărăscu, K.V. (2000 / 2004): *Materiale Industriale*. Universitatea Transilvania din Brașov, ISBN: 973-9474-17-9 / ISBN: 973-635-368-0
- McKeague C.P., Turner M.D. (2016): *Trigonometry*. Brooks/Cole, ISBN-13: 978-1-305-65222-4
- Militaru C. (1987): *Fiabilitatea și precizia în tehnologia construcțiilor de mașini*. Editura Tehnică, București
- Moon F.C. (2007): *The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux - Kinematics of Machines from the Renaissance to the 20th Century*. Springer, ISBN 978-1-4020-5598-0
- Neder G., Heemskerk R., Schmmel B., Reichert J., Grull R., Beck B., Schwappach A., Wagner S. (2005): *Roller Bearing*. Brevet US 20050058383 A1
- Nowicki B., Cichowicz M. (1989): *Control of contact stiffness in machines parts*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 29, No. 4
- Perichaud M.G., Deletage J.Y., Fremont H., Danto Y., Faure C. (2000): *Reliability evaluation of adhesive bonded SMT components in industrial applications*. Pregmond, Microelectronics Reliability 40 1227-1234

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat – Rezumat

- Persson Bo.N.J. (1998): *Sliding Friction-Physical Principles and Applications*. Springer, ISBN 978-3-662-03648-8
- Pocius A.V. (2012): *Adhesion and Adhesives Technology - An Introduction*. Hanser Publications, ISBN 978-1-56990-511-1
- Rabinovici I., Badea G., Anghel A., Ioniță N., Nibeleanu Ș. (1977/1972): *Rulmenți*. Editura Tehnică, București
- Szekely V.G. (2017): *Cages for Bearings with Plated Pocket's -Resistance Tests. An Exploratory Research*. Recent, ISSN 1582-0246, Vol. 18, No. 3(53), p. 247-254,  
<http://www.recentonline.ro/053/Szekely-R53.pdf>
- Szekely V.G., Romeo C. (2016): *Heavy Bearings Exploitation Energy and Reduction Methods*. IManEE, Doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012009, Volume 161,  
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012009/pdf>
- Szekely V.G. (2016): *Courses of Action to Optimize Heavy Bearings Cages*. IManEE, Doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012008, Volume 161,  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012008/pdf>
- Szekely V.G., Cioară R.: *Colivie pentru rulmenți cu role*. Cerere de brevet de invenție A 2017 00702 din 22.09.2017, solicitant Universitatea Transilvania din Brașov. BOPI 2/2018, p. 24, și BOPI 3/2019, p. 52
- Szekely V.G. (2016): *Functions of Heavy Bearing Cages (Part I)*. RECENT, ISSN 1582-0246, Vol. 17, No. 1(47), p. 41-48, <http://www.recentonline.ro/047/Szekely-R47.pdf>
- Timken H., Heinzelman R. (1898): *Roller bearing for vehicles*. Brevet US 606,635
- Tureac I. ș.a. (2006): *Dezvoltarea durabilă a produselor în construcția de mașini*. Editura Universității Transilvania, ISBN 973-635-639-6
- Tureac I., Butiseacă N., Orzea V. (2002): *Ingineria Valorii*. Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 973-9474-44-6
- Vannest J.L. (1969): *Positive alignment feature for split ring bearing retainers*. Brevet US 3471208
- Vaughan P. (1974): *Iron ball bearings for carriage wheel-axles*. Brevet UK 2006.
- Wang Q.J., Chung, Y.W. (2013): *Encyclopedia of Tribology*. Springer, ISBN 978-0-387-92896-8
- Williams C.W. (1968): *Plastic Bearing Retainer*. Brevet US 3387901
- Winston O. Soboyejo T.S., Srivatsan (Eds.) (2006): *Advanced Structural Materials - Design Optimization and Applications*. CRC Press, ISBN 9780429121227
- Zeidlhack R. (2010): *Cage segment of a plastic cage and roller bearing comprising said plastic cage*. Brevet US 20100215298 A1

### Resurse electronice

- \* \* \* (2002): *Rolling Bearing Lubrication*. FAG OEM und Handel AG, No. WL 81 115/4 EA.  
<https://www.albeco.com.pl/data/catalogueb/smarowanie%20lozysk%20FAG.pdf>
- \* \* \* (2012): *General Catalogue*. NKE Bearing. Im Stadtgut C4 Steyr, Number 04, Austria.  
[https://www.nke.at/fileadmin/user\\_upload/material/brochures/NKE\\_Hauptkatalog\\_Genera\\_I\\_Catalogue.pdf](https://www.nke.at/fileadmin/user_upload/material/brochures/NKE_Hauptkatalog_Genera_I_Catalogue.pdf)
- \* \* \* (2015): *Technology- Generalized Bearing Life Model*. SKF, [http://evolution.skf.com/wp-content/uploads/2015/09/SKF\\_Generalized\\_Bearing\\_Life\\_Model\\_EN\\_evo415.pdf](http://evolution.skf.com/wp-content/uploads/2015/09/SKF_Generalized_Bearing_Life_Model_EN_evo415.pdf)

## CERCETĂRI INOVATIVE PRIVIND CONSTRUCȚIA COLIVIILOR PENTRU RULMENȚI GREI

### Teză de doctorat – Rezumat

- \* \* \* (2016): *Activitati curente ale JBIA*. Asociația Industrială Japoneză de Rulmenți. <http://www.jbia.or.jp/e/nbi/index2.html>
- \* \* \* (2018): *Bearing Time Line*. American Bearing Manufacturing Association, [https://www.americanbearings.org/page/bearing\\_timeline](https://www.americanbearings.org/page/bearing_timeline)
- \* \* \* (2019): *Ball bearing units*. FYH, Catalog 3310, [https://basco.com.pe/pdf/fyh/fyh\\_unit\\_bearings\\_catalog\\_3310\\_us.pdf](https://basco.com.pe/pdf/fyh/fyh_unit_bearings_catalog_3310_us.pdf)
- \* \* \* (2019): *General Catalogue*. NKE Bearing, [https://www.nke.at/fileadmin/user\\_upload/material/brochures/NKE\\_Hauptkatalog\\_General\\_Catalogue.pdf](https://www.nke.at/fileadmin/user_upload/material/brochures/NKE_Hauptkatalog_General_Catalogue.pdf)
- \* \* \* (2019): *Geogebra*. <https://www.geogebra.org/classic?lang=ro>
- \* \* \* (2019): *Leonardo da Vinci Inventions*. <http://www.leonardodavincisinventions.com/mechanical-inventions/leonardo-da-vinci-ball-bearing/>
- \* \* \*. (2016): *Scientific and Technical Information Program*. NASA, <http://www.sti.nasa.gov/>
- \* \* \*: *Carta Universității Transilvania din Brașov*. Disponibil la: <https://www.unitbv.ro/documente/despre-unitbv/regulamente-hotarari/carta-universitatii/Carta%20UnitBv.pdf>
- Ambasador Celeac S., Prof. Univ. Emerit. Dr. Vădineanu A. ș.a. (2018): *Strategia Națională pentru Dezvoltarea Durabilă a României 2030*. Editura Paideia, ISBN 978-606-748-261-4, București, <https://www.edu.ro/sites/default/files/Strategia-nationala-pentru-dezvoltarea-durabila-a-Rom%C3%A2niei-2030.pdf>
- Rademakers L.W.M.M., Braam H. (2002): *O&M Aspects of the 500 MW offshore wind farms at NL7 (80\*6 MW Turbines) - Baseline Configuration*. DOWEC 10080 rev 2, ECN Project nr.: 7.41218.11.10, [https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/wind/docs/dowec/10080\\_002.pdf](https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/wind/docs/dowec/10080_002.pdf)
- Rademakers L.W.M.M., Braam H. (2003): *O&M Aspects of the 500 MW offshore wind farms at NL7 (80\*6 MW Turbines) - Optimisation study*. DOWEC 10090 rev 1, ECN Project nr.: 7.41218.11.10, <https://pdfs.semanticscholar.org/e98a/b043329beb2a3dcbd5a3b3f36324192d6a55.pdf>
- Rademakers L.W.M.M., Braam H., Obdam T.S. (2008): *Estimating costs of operation & maintenance for offshore wind farms*. EWEC, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi86pLv5MznAhXDwMQBHR8nA38QFjACegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fpublications.tno.nl%2Fpublication%2F34630997%2F46YB00%2Fm08027.pdf&usg=AOvVaw0mmbfjpV97jEo3JoNKWNao>