



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680 Ploiești - România
www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



TEZĂ DE DOCTORAT

*CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE
PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA
ANGRENAJELOR CU ROȚI DINȚATE
NECIRCULARE CONFEȚIONATE DIN
NECURON 1300*

Autor: Ing. Mihail BOGDAN-ROTH

Conducător științific: Prof.Univ.Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU

Ploiești 2022



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIESTI

B-dul. București nr. 39, 100680 Ploiești - România
www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



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

TEZĂ DE DOCTORAT

*CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND
CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA ANGRENAJELOR CU
ROȚI DINȚATE NECIRCULARE CONFEȚIONATE DIN
NECURON 1300*

*THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE
CONSTRUCTION AND OPERATION OF GEARS WITH NON-
CIRCULAR GEARS MADE OF NECURON 1300*

Autor: Ing. Mihail BOGDAN-ROTH

Conducător științific: Prof.Univ.Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU

Nr. Decizie 263 din 3.05.2022

Comisia de doctorat:

| | | | |
|-----------------------|---|-------|---|
| Președinte | Conf.Univ.Dr.Ing. Diniță Alin Decan Facultatea IME | de la | Universitatea Petrol -Gaze din Ploiești |
| Conducător științific | Prof.Univ.Habil.Dr.Ing. Rîpeanu Răzvan George | de la | Universitatea Petrol -Gaze din Ploiești |
| Referent oficial | Prof.Univ.Dr.Ing.DHC. Bratu Polidor-Paul | de la | Universitatea Dunărea de Jos din Galați |
| Referent oficial | Prof.Univ.Habil.Dr.Ing.Cănănau Sorin | de la | Universitatea Politehnica București |
| Referent oficial | Conf.Univ.Dr.Ing.Popa Alexandru | de la | Universitatea Petrol -Gaze din Ploiești |

Ploiești 2022

MULȚUMIRI

Teza de doctorat având ca domeniu de studiu utilizarea angrenajelor cu roți dințate necirculare realizate din material polimeric *Necuron 1300* a implicat un efort de documentare, cercetare și inovare deosebit. Pentru aceasta au fost realizate o serie de dispozitive auxiliare care pot fi brevetate. În elaborarea acestei lucrări m-am bucurat de colaborarea unor specialiști cu capacități profesionale și umane de excepție, cărora doresc să le mulțumesc.

Doresc să exprim recunoștința, respectul și mulțumirile mele conducătorului de doctorat, domnului Prof. univ. habil. dr. ing. **Răzvan George Rîpeanu**, pentru îndrumare, și încurajare de-a lungul perioadei de pregătire a doctoratului și de elaborare a tezei. Îi mulțumesc domnului profesor pentru că mi-a oferit libertatea de a explora și aborda această temă de doctorat.

Pe această cale, doresc să le mulțumesc tuturor acelor oameni minunați care mi-au oferit consultanță științifică și care și-au rupt din timpul lor liber pentru a-mi oferi sprijin și ajutor.

Mulțumesc pe această cale domnului prof. univ. dr. ing. **Ionuț LAMBRESCU**, conf. dr. ing. **Alexandru POPA**, șef lucr. dr. ing. **Ion Florea**, șef lucr. dr. ing. **Ibrahim Naim RAMADAN** și drd. ing. **Mirela ROMANEȚ**.

Mulțumesc domnului decan al facultății de Inginerie Mecanică și Electrică **Alin DINIȚĂ** pentru sprijinul acordat.

Și nu în ultimul rând mulțumesc familiei pentru înțelegerea și susținerea în perioada de elaborare a tezei de doctorat.

Ploiești, 2022

Mihail Bogdan - Roth

CUPRINS

| | Pag |
|--|-------|
| LISTĂ FIGURI | VIII |
| LISTĂ TABELE | XVI |
| ABSTRACT | XVIII |
| INTRODUCERE | XXI |
| REZUMAT | XXIV |
| 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND DANTURAREA ROȚILOR DINȚATE NECIRCULARE | 1 |
| 1.1 Mașini și dispozitive pentru danturarea roților dințate necirculare | 1 |
| 1.1.1. Roți dințate necirculare în antichitate | 1 |
| 1.1.2. Mașini de danturat roți dințate necirculare | 3 |
| 1.2. Tipuri și utilizări de roți dințate necirculare | 6 |
| 1.2.1. Roți dințate necirculare cilindrice dezaxate cu un lob | 6 |
| 1.2.2. Roți dințate necirculare eliptice și ovale cu doi lobi | 7 |
| 1.2.3. Roți dințate necirculare triunghiulare cu trei lobi | 8 |
| 1.2.4. Roți dințate necirculare pătrate cu patru lobi | 9 |
| 1.2.5. Roți dințate necirculare cu cinci sau mai mulți lobi | 10 |
| 1.2.6. Roți dințate necirculare logaritmice și roți răsucite | 10 |
| 1.2.7. Roți dințate necirculare cu segmente de viteze constantă | 11 |
| 1.2.8. Roți dințate necirculare multiviteze | 12 |
| 1.2.9. Roți dințate sferice concave și convexe | 14 |
| 1.3. Materiale utilizate la construcția roților dințate necirculare | 16 |
| 1.4. Elemente geometrice și cinematice ale danturii în evolventă | 18 |
| 1.4.1. Cremaliera de referință. Cremaliera generatoare. | 19 |
| 1.4.2. Elementele geometrice ale angrenajului cilindric cu dinți drepți cu profil nedeplasat | 20 |
| 1.4.3. Modificarea danturii roților dințate necirculare | 22 |
| 1.5. Concluzii | 28 |
| 2. ASPECTE PRIVIND CINEMATICA ROȚILOR DINȚATE NECIRCULARE | 30 |
| 2.1. Elemente de cinematica mișcării plan-paralele a rigidului | 30 |
| 2.2. Traiectoriile punctelor rigidului | 31 |
| 2.3. Calculul distribuției de viteză | 31 |
| 2.4. Calculul distribuției de accelerație | 33 |
| 2.5. Viteza de deplasare a centrului instantaneu de rotație pe centroida fixă | 34 |
| 2.6. Accelerația de deplasare a centrului instantaneu de rotație pe centroida fixă | 34 |
| 2.7. Mecanismul atiparalelogram | 34 |
| 2.7.1. Centroidele mecanismului antiparalelogram | 35 |
| 2.7.2. Viteza de deplasare a C.I.R. pe centroida fixă pentru mecanismul atiparalelogram | 37 |
| 2.7.3. Accelerația de deplasare a C.I.R. pe centroida fixă pentru mecanismul atiparalelogram | 38 |
| 2.7.4. Cinematica angrenajului cu roți dințate eliptice | 40 |
| 2.7.5. Viteza și accelerația unghiulară ale roților dințate eliptice conduse | 42 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.7.6. | Suprafețe primitive și raportul de angrenare al angrenajului paralel necircular ordinar | 43 |
| 2.7.7. | Angrenaj format din roți eliptice | 43 |
| 2.8. | Concluzii | 46 |
| 3. | PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNEI MAȘINI ORIGINALE CU ACȚIONARE ELECTRICĂ AUTOMATĂ CU TELECOMANDĂ PENTRU PRELUCRAREA ROȚILOR DINȚATE NECIRCULARE | 47 |
| 3.1. | Considerații generale | 47 |
| 3.2. | Descrierea mașinii electrice automată pentru prelucrarea roților dințate necirculare | 48 |
| 3.3. | Proiectarea roții dințate necirculare cu model oval | 49 |
| 3.4. | Concluzii | 64 |
| 4. | REALIZAREA DE MECANISME CU ROȚI DINȚATE CILINDRICE NECIRCULARE | 65 |
| 4.1. | Realizarea de angrenaje originale cu roți dințate cilindrice necirculare cu variația continuă a distanței între axe | 65 |
| 4.1.1. | Determinarea expresiei matematice a raportului de angrenare | 67 |
| 4.1.2. | Construcția și funcționarea dispozitivului cu excentric | 70 |
| 4.2. | Realizarea unui dispozitiv original de forță constantă cu arc și roată dințată necirculară spirală (Varianta 1) | 72 |
| 4.3. | Realizarea unui dispozitiv original de forță constantă cu angrenaj cu roți dințate necirculare spirale și arc (Varianta 2) | 74 |
| 4.4. | Realizarea unui dispozitiv original digital cu măsurarea digitală a forței pentru determinarea caracteristicii elastice arcurilor cu rigiditate mică | 75 |
| 4.5. | Realizarea unui dispozitiv original pentru trasarea trasarea centroidelor roților dințate necirculare spirale cu măsurarea digitală a unghiului | 77 |
| 4.6. | Concluzii | 80 |
| 5. | DETERMINĂRI EXPERIMENTALE ALE CARACTERISTICILOR DE REZISTENȚĂ ȘI TRIBOLOGICE PENTRU MATERIALUL PLASTIC POLIMERIC NECURON 1300 UTILIZAT ÎN FABRICAREA ROȚILOR DINȚATE NECIRCULARE | 82 |
| 5.1. | Caracterizarea materialului <i>Necuron 1300</i> | 82 |
| 5.1.1. | Caracterizarea materialului <i>Necuron 1300</i> de către producător | 82 |
| 5.1.2. | Determinarea experimentală a microgometriei suprafețelor probelor din <i>Necuron 1300</i> , Bronz (Cu Sn 10) și Aluminiu (Al Mg Si 1) | 84 |
| 5.1.3. | Cercetarea microgometriei materialului polimeric <i>Necuron 1300</i> | 86 |
| 5.1.4. | Determinarea durității materialului polimeric <i>Necuron 1300</i> | 88 |
| 5.2. | Determinarea caracteristicilor de rezistență mecanică la solicitarea de tracțiune pentru <i>Necuron 1300</i> | 90 |
| 5.3. | Determinarea caracteristicilor de rezistență mecanică la solicitarea de compresiune pentru <i>Necuron 1300</i> | 99 |
| 5.4. | Determinări experimentale la solicitarea de încovoiere | 103 |
| 5.4.1. | Date preliminare | 103 |
| 5.4.2. | Realizarea unui dispozitiv original pentru încercarea la încovoiere a unei bare în consolă încastrată | 104 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.4.3. | Rezultatele experimentale ale încercărilor la încovoiere | 107 |
| 5.4.4. | Determinarea modului de elasticitate longitudinal | 111 |
| 5.5. | Determinarea coeficientului de contracție transversală (coeficientului lui Poisson) pentru materialul plastic <i>Necuron 1300</i> | 113 |
| 5.5.1. | Modelarea stării de tensiuni din bara încastrată acționată de o forță concentrată la capătul liber prin metoda fotoelasticității | 116 |
| 5.6. | Determinarea experimentală a coeficienților de frecare la alunecare | 123 |
| 5.6.1. | Introducere | 123 |
| 5.6.2. | Scurt istoric | 123 |
| 5.6.3. | Dispozitive pentru determinarea coeficienților de frecare la alunecare în regim static | 124 |
| 5.6.4. | Realizarea unui dispozitiv original cu dinamometru digital pentru determinarea experimentală a coeficienților de frecare la alunecare în regim static | 127 |
| 5.6.4.1 | Descrierea dispozitivului | 127 |
| 5.6.4.2 | Modelarea calculului coeficientului de frecare la alunecare în regim static folosind dispozitivul realizat | 130 |
| 5.6.4.3 | Modul de utilizare al dispozitivului cu determinarea valorilor coeficienților statici de frecare | 131 |
| 5.6.5. | Realizarea unui dispozitiv original cu două dinamometre digitale pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static | 135 |
| 5.6.6. | Determinarea experimentală a coeficienților de frecare la alunecare în regim dinamic | 138 |
| 5.7. | Concluzii | 141 |
| 6. | CERCETĂRI PRIVIND STAREA DE TENSIUNI DIN DINTELE UNEI ROȚI DINȚATE CU PROFIL EVOLVENTIC | 143 |
| 6.1. | Elemente ce intră în calculul de rezistență al dintelui | 143 |
| 6.1.1. | Exemplul de calcul la încovoiere al dintelui unei roți cu profil evolventic | 149 |
| 6.2. | Cercetări privind solicitarea mecanică din dantura roților necirculare utilizând MEF | 151 |
| 6.2.1. | Cosiderații generale | 151 |
| 6.2.2. | Analiza statică a solicitărilor din dantura roților dințate necirculare | 151 |
| 6.2.3. | Analiza tranzitorie a solicitărilor din dantura roților dințate necirculare | 162 |
| 6.2.4. | Comparație între rezultatele obținute prin analiza statică cu cele obținute prin analiza tranzitorie | 169 |
| 6.3. | Încercări experimentale de rupere a dinților drepți cu profil în evolventă | 172 |
| 6.3.1. | Introducere | 172 |
| 6.3.2. | Realizarea unui dispozitiv original de încercare la rupere a dinților roților dințate circulare cu dinți drepți | 172 |
| 6.3.3. | Descrierea epruvetelor tip roată dințată cu profil în evolventă ce au fost supuse la încercarea de rupere a dinților | 174 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.3.4. | Încercarea experimentală de rupere a dinților pentru epruveta tip roată dințată cu modul 4.5 mm | 178 |
| 6.3.5. | Încercarea experimentală de rupere a dinților pentru epruveta tip roată dințată cu modul 2 mm | 182 |
| 6.3.6. | Prelucrarea rezultatelor experimentale obținute | 185 |
| 6.3.6.1 | Determinarea mărimii forței F_d ce acționează asupra dintelui | 185 |
| 6.3.6.2 | Starea de tensiuni din dintele epruvetei tip roată dințată acționat de F_d | 186 |
| 6.3.6.3 | Aplicarea metodologiei de calcul pentru rezultatele experimentale obținute | 187 |
| 6.3.6.4 | Aplicarea metodei fotoelasticității pentru studiul stării de tensiuni din angrenajele roților dințate cilindrice cu dinți drepți | 187 |
| 6.3.7. | Aspecte privind randamentul angrenajelor necirculare | 191 |
| 6.3.8. | Randamentul angrenajelor necirculare | 193 |
| 6.3.8.1 | Calculul randamentului angrenajelor necirculare | 193 |
| 6.3.9. | Realizarea de staduri pentru încercarea roților dințate necirculare | 196 |
| 6.3.9.1 | Noțiuni introductive | 196 |
| 6.3.9.2 | Realizarea unui stand pentru încercarea la oboseală a angrenajelor cu roți dințate eliptice din materiale plastice cu distanță fixă între axe | 196 |
| 6.3.10. | Realizarea unui stand original cu flux energetic închis cu variația distanței între axe pentru încercarea experimentală angrenajelor cu roți dințate necirculare din materiale plastice | 200 |
| 6.3.11. | Modul de utilizare al standurilor | 201 |
| 6.3.12. | Mașină originală pentru danturarea cu profil în evolventă a roților dințate sferice convexe (conduse) prin metode mecanice de așchiere realizate din materiale plastice <i>Necuron 1300</i> | 204 |
| 6.3.13. | Mașină originală pentru danturarea cu profil în evolventă a roților dințate sferice concave conducătoare conjugată la o roată dințată sferică convexă prin metode mecanice de așchiere realizate din materiale plastice <i>Necuron 1300</i> | 207 |
| 6.3.14. | Dispozitiv original pentru danturarea roților dințate sferice convexe conduse cu profil în evolventă pe două direcții perpendiculare prin strunjire dinte cu dinte realizate din materiale plastice de tip <i>Necuron 1300</i> | 209 |
| 6.4. | Concluzii | 211 |
| 7. | CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. | 214 |
| 7.1. | Concluzii finale | 214 |
| 7.2. | Contribuții personale | 214 |
| 7.3. | Direcții viitoare de cercetare | 218 |
| | LISTĂ DE LUCRĂRI | 219 |
| | BIBLIOGRAFIE | 221 |
| | ANEXE | 226 |

| ANEXE | | Pag |
|-----------------|---|-----|
| Anexa 1 | Curbele caracteristice tensiune – deplasare pentru primul set epruvetele prelucrate pe direcție transversală, (Anexele A1.1 - A1.4). Curbele caracteristice tensiune – deplasare pentru primul set de epruvete care au fost prelucrate pe direcție longitudinală, (A.1.5 - A.1.10). Anexele (A.1.8 - A.1.10) este marcat momentul în care a fost decuplat extensometrul de pe epruvetă înaintea ruperii. | 288 |
| Anexa 2 | Programul “Statist” | 233 |
| Anexa 3 | Prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale obținute pentru epruvetele supuse la întindere pentru mărimile: σ_r (Tab A.3.1.); σ_c (Tab A.3.2.); Δl_c (Tab A.5.3); Δl_r (Tab A.5.4). | 237 |
| Anexa 4 | Diagramele Forță - Deformație pentru epruvetele supuse la compresiune (A.4.1 – A.4.10). | 239 |
| Anexa 5 | Prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale obținute pentru epruvetele supuse la compresiune pentru mărimile: σ_c (Tab.A.5.); σ_r (Tab.A.5.2); Δl_c (Tab.A.5.3); Δl_r (Tab.A.5.4). | 244 |
| Anexa 6 | Curbele Forță - Timp pentru încercarea la încovoiere cu moment de inerție mare (Anexele: A.6.1 - A.6.10.). | 246 |
| Anexa 7 | Prelucrarea statistică a mărimilor σ_{max} (Tab.A.7.1); σ_r (Tab.A.7.2); v_{max} (Tab.A.7.3); v_r (Tab.A.7.4). | 251 |
| Anexa 8 | Solicitarea de încovoiere a fost efectuat pe epruvete cu moment de inerție mic (Anexele A.8.1 – A.8.10.). | 253 |
| Anexa 9 | Analiza statistică a mărimilor σ_{max} (Tab.A.9.1); σ_r (Tab.A.9.2); v_{max} (Tab.A.9.4); v_r (Tab.A.9.5). | 225 |
| Anexa 10 | Prelucrarea statistică a rezultatelor determinării modulului de elasticitate E pentru epruvetele cu moment de inerție mare pentru valoarea $F = 100$ N (Tab.A.10.1) și pentru $F = 200$ N din domeniul elastic al solicitării (Tab.A.10.2). Analiza statistică a determinării modulului de elasticitate E corespunzător valorii $F = 50$ N din domeniul elastic al solicitării (Tab.A.10.3), respectiv pentru $F = 100$ N din domeniul elastic al solicitării, iar (Tab.A.10.4) pentru epruvetele cu moment de inerție mic. | 257 |
| Anexa 11 | Rezultatele prelucrării statistice corespunzător celor două seturi de determinări ale coeficientului lui Poisson ν (Tab.A.11.1 și Tab.A.11.2) pentru al doilea set de încercări). | 259 |
| Anexa 12 | Distribuția valorilor experimentale obținute pentru forța limită de apăsare pentru cuplul de materiale Necuron1300 – Bronz (Cu Sn 10) (A.12.1) | 260 |
| Anexa 13 | Distribuția valorilor experimentale obținute pentru forța limită de apăsare (A.13.1.) pentru cuplul de materiale Necuron 1300 – Aluminiu (Al Mg Si 1) | 263 |
| Anexa 14 | Fig.A.14.1. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,02 sec. Fig.A.14.2. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,03875 sec. Fig.A.14.3. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,05625 sec. Fig.A.14.4. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,081519 sec. Fig.A.14.5. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,11385 sec. Fig.A.14.6. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,1331 sec. | 266 |

Fig.A.14.7. Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,5368 sec.

Fig.A.14.8 Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,59145sec.

Fig. A.14.9 Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,6028 sec.

Anexa 15 Prelucrarea statistică a mărimii F_{max} (Tab.A.15.1).

275

LISTĂ DE FIGURI

Capitolul 1

- Fig. 1.1** Roți dințate necirculare schițate de Leonardo da Vinci, [73]
Fig. 1.2 Roți dințate necirculare schițate de Leonardo da Vinci din colecția “Codex” ,[73]
Fig. 1.3 Roți dințate necirculare din interiorul Muzeului de Arte și Meserii din Paris
Fig. 1.4 Roți dințate necirculare din interiorul Muzeului de Arte și Meserii din Paris
Fig. 1.5 Generarea unei roți dințate necirculare prin așchiere cu o sculă așchietoare tip pieptene,[30]
Fig. 1.6 Generarea unei roți dințate necirculare, prin frezare, [30]
Fig. 1.7 Generarea roților dințate necirculare cu o sculă așchietoare tip pieptene, [30]
Fig. 1.8 Schema cinematică a dispozitivului pentru prelucrarea roților dințate necirculare, [71]
Fig. 1.9 Secțiune longitudinală prin subansamblul de generare, [71]
Fig. 1.10 Secțiune după planul I-I din fig.1.9,[71]
Fig. 1.11 Angrenaj cu roți cilindrice dezaxate cu un lob, [75]
Fig. 1.12 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu un lob, [76]
Fig. 1.13 Mecanism de antrenare conveior cu roți dințate cilindrice dezaxate, [77]
Fig. 1.14 Angrenaj cu roți eliptice cu doi lobi, [75]
Fig. 1.15 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu doi lobi, [76]
Fig. 1.16 Model de pedalier pentru biciclete profesionale de competiție, [75]
Fig. 1.17 Angrenaj cu roți identice cu trei lobi, [75]
Fig. 1.18 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu trei lobi, [76]
Fig. 1.19 Pompă cu jet ritmic, [75]
Fig. 1.20 Roată dințată necirculară cu patru lobi, [77]
Fig. 1.21 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu patru lobi, [78]
Fig. 1.22 Mecanism de acționare a scârilor rulante cu roți dințate necirculare, [30]
Fig. 1.23 Ceas cu roți dințate necirculare, [79]
Fig. 1.24 Pedalier de bicicletă cu patru lobi, [77]
Fig. 1.25 Angrenaj cu roți dințate necirculare cu cinci lobi și roată necirculară cu patru lobi,[75]
Fig. 1.26 Roboți cu angrenaje necirculare, [77]
Fig. 1.27 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu cinci lobi, [76]
Fig. 1.28 Roți dințate logaritmice din oțel, [30,31,75]
Fig. 1.29 Roți dințate logaritmice din materiale plastice, [30,31,75]
Fig. 1.30 Roată dințată necirculară răsucită, [30,31]
Fig. 1.31 Angrenaj cu roți dințate necirculare răsucite, [30,31,75]
Fig. 1.32 Roți dințate necirculare cu segmente de viteză constantă, [75]
Fig. 1.33 Roți dințate pentru mașini agricole,[76]
Fig. 1.34 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile cu segment de viteză constantă, [75]
Fig. 1.35 Roți dințate necirculare multiviteze, [75]
Fig. 1.36 Programatoare mecanice, [75]
Fig. 1.37 Graficul raportului de reducere a vitezei la roțile multiviteze
Fig. 1.38 Angrenaj planetar cu roți dințate necirculare [75]
Fig. 1.39 Angrenaj cu mai multe tipuri de roți dințate necirculare, [75]
Fig. 1.40 Mecanismul activ cu articulație sferică cu roți dințate sferice, [92]
Fig. 1.41 Angrenaj cu două roți sferice, [92]

- Fig. 1.42** Roată dințată sferică convexă și concavă, [92]
- Fig. 1.43** Roata dințată sferică convexă cu un număr dublu de dinți față de roata dințată sferică concavă, [92]
- Fig. 1.44** Roată dințată sferică convexă, [92]
- Fig. 1.45** Angrenaj încrucișat cu roți dințate sferice concave conducătoare dispuse la 90° , [92]
- Fig. 1.46** Planul median asemănător cu cel al roților dințate cilindrice cu dinți dreپți, [92]
- Fig. 1.47** Roți dințate sferice realizate cu imprimantă 3D [92]
- Fig. 1.48** Elementele cinematice ale danturii în evolventă, [26]
- Fig. 1.49** Cremaliera de referință, [26]
- Fig. 1.50** Elementele geometrice ale angrenajului cilindric cu dinți dreپți, [26]
- Fig. 1.51** Schița angrenajului cilindric cu dinți dreپți, [26]
- Fig. 1.52** Deplasare de profil, [26,27]
- Fig. 1.53** Profilul real al dinților având corecție $x=0$, pentru $z < 17$, [74]
- Fig. 1.54** Profilul dinților în zona lobilor după o corijare pozitivă, [74]
- Fig. 1.55** Diagrama de rezistență a dinților, [72]
- Fig. 1.56** Corijarea dinților în zona lobilor:
- Fig. 1.57** Profilul dintelui la diferiți factori de corecție pentru diferite raze de divizare în cazul roților dințate necirculare, [75]
- Fig. 1.58** Curba de divizare corijată pozitiv în dreptul lobilor și corijată negativ în zona razelor mari
- Fig. 1.59** Set de trei freze pentru o gamă mică de raze de divizare cu **modul 2,5**
- Fig. 1.60** Set de opt freze pentru o gamă mare de raze de divizare cu **modul de 2,5**

Capitolul 2

- Fig.2.1** Proprietățile distribuției de viteze și accelerații în mișcarea plan – paralelă
- Fig.2.2** Centroidele mecanismului antiparalelogram
- Fig.2.3** Mecanismul antiparalelogram având centroidelor elpise
- Fig.2.4** Roți eliptice cu mecanism antiparalelogram atașat
- Fig.2.5** Elipsă pentru stabilirea razei de curbură a centroidei
- Fig.2.6** Modelarea cinematică a angrenajului cu roți dințate eliptice
- Fig.2.7** Construirea curbelor primitive ale angrenajelor paralele necirculare, [1,33]
- Fig.2.8** Angrenaj format din roți eliptice, [33]
- Fig.2.9** Diagrama de variație a vitezei unghiulare a roții conduse pentru viteza unghiulară constantă a roții conducătoare, [33]

Capitolul 3

- Fig. 3.1** Procedee de danturare a roților cilindrice cu dantura dreaptă, [88]
- Fig. 3.2** Schema cinematică a mașinii de danturat roți dințate circulare și necirculare prin mortezare utilizând cuțit – roată, [69]
- Fig. 3.3** Generarea evolventei, [90]
- Fig. 3.4** Elemente geometrice pentru realizarea semifabricatului roții dințate necirculare model
- Fig. 3.5** Forma evolventei pentru diferite raze ale cercului de bază

- Fig. 3.6** Sectoare de cerc pentru realizarea roții model
- Fig. 3.7** Mașină electrică automată individuală pentru prelucrarea roților dințate necirculare, vedere generală din față
- Fig. 3.8** Mașină electrică automată individuală pentru roți dințate necirculare, vedere de sus
- Fig. 3.9** Mașină electrică automată individuală pentru roți dințate necirculare. vedere din spate
- Fig. 3.10** Roți model executate din oțel
- Fig. 3.11** Lanțul cinematic de deplasare al roții model
- Fig. 3.12** Mecanismul de deplasare longitudinală a roții model
- Fig. 3.13** Sistemul electric pentru limitarea cursei
- Fig. 3.14** Cremaliera de generare a mișcării de rotație
- Fig. 3.15** Subansamblul roată model – roată produs finit
- Fig. 3.16** Motoarele electrice de curent continuu pentru acționarea sculei așchietoare
- Fig. 3.17** Ansamblul pentru generarea danturii
- Fig. 3.18** Bloc electric pentru variația turației sculei așchietoare
- Fig. 3.19** Transmisia cu lanț de acționare pe axa (Z)
- Fig. 3.20** Mecanism pentru realizarea avansului vertical al sculei așchietoare
- Fig. 3.21** Sistem de avans automat pe verticală (axa Z)
- Fig. 3.22** Sistem de transmisie pentru avansul pe verticală
- Fig. 3.23** Sistem mecanic de menținere în angrenare a roții model cu cremaliera
- Fig. 3.24** Sistem mecanic de acționare al sculei așchietoare
- Fig. 3.25** Roți dințate eliptice de tip epruvetă pentru cercetări tribologice, executate cu mașina electrică automată individuală
- Fig. 3.26** Roți cilindrice dezaxate de tip epruvetă pentru cercetări tribologice

Capitolul 4

- Fig. 4.1** Schema de montaj cu roți dințate cu excentric în varianta A
- Fig. 4.2** Schema de montaj cu roți dințate cu excentric în varianta B
- Fig. 4.3** Dispozitiv experimental cu roți cilindrice dezaxate pentru modelarea variantelor prezentate în **fig. 4.1, 4.2**
- Fig. 4.4** Metoda 1 de montaj
- Fig. 4.5** Metoda 2 de montaj
- Fig. 4.6** Schema de calcul a raportului de angrenare pentru varianta din **fig.4.5**
- Fig. 4.7** Rapoarte de angrenare între cele două roți
- Fig. 4.8** Variația raportului de angrenare în funcție de excentricitate
- Fig. 4.9** Variația raportului de angrenare în funcție de variația razei roții centrice
- Fig. 4.10** Dispozitivul cu excentric
- Fig. 4.11** Variantă pentru dezaxare cu melc – roată melcată
- Fig. 4.12** Variantă pentru dezaxare cu mecanism culisă și piatră de culisă
- Fig. 4.13** Imagine de ansamblu cu dezaxare cu melc – roată melcată
- Fig. 4.14** Imagine de ansamblu, dezaxare cu mecanism culisă și piatră de culisă
- Fig. 4.15** Dispozitiv pentru producerea unei forțe constante, cu roată dințată necirculară spirală, arc și cremalieră înclinată culisantă

- Fig. 4.16 Determinarea supraînălțării (S) a centroidei spiralei
- Fig. 4.17 Dispozitiv de forță constantă cu angrenaj de roți dințate necirculare spirale și arc
- Fig. 4.18 Dispozitiv pentru ridicat caracteristica arcului
- Fig. 4.19 Caracteristica arcului determinată cu dispozitivul din **fig.4.18**
- Fig. 4.20 Dispozitiv pentru trasarea centroidelor spirale, cu afișaj digital
- Fig. 4.21 Dispozitiv pentru trasarea unei spirale realizat de firma SKODA, **[89]**
- Fig. 4.22 Centroidele de danturare

Capitolul 5

- Fig. 5.1 Eșantioane din gama de materiale polimerice de tip Necuron
- Fig. 5.2 Matrițe din *Necuron 1300* pentru ambutisarea pieselor de caroserie auto, **[70]**
- Fig. 5.3 Piese din *Necuron 1300*, **[70]**
- Fig. 5.4 Matrițe executate prin așchiere din *Necuron 1300* **[70]**
- Fig. 5.5 Modele de caroserii auto executate din *Necuron 1300* **[70]**
- Fig. 5.6 Profilometrul surtronic 3+ și epruvetele analizate
- Fig. 5.7 Profilograma suprafeței epruvetei din material *Necuron 1300*
- Fig. 5.8 Epruvetă din *Necuron 1300* studiată cu microscopul OLIMPUS V-CAMD-2
- Fig. 5.9 Microstructura materialului *Necuron 1300* [100X]
- Fig. 5.10 Microstructura materialului *Necuron 1300* [200X]
- Fig. 5.11 Microstructura materialului *Necuron 1300* [500X]
- Fig. 5.12 Histograma compoziției chimice
- Fig. 5.13 Aparat pentru măsurarea durității Shore D tip Test Stand model: SLX-D
- Fig. 5.14 Epruvetă prelucrată pe direcția transversală a plăcii de *Necuron 1300*
- Fig. 5.15 Schița pentru epruvetele din primul set
- Fig. 5.16 Epruvete din polimerul *Necuron 1300* (primul set)
- Fig. 5.17 Exemplu de prindere al unei epruvete din primul set pe mașina de încercat
- Fig. 5.18 Exemplu de prindere al extensometrului pe o epruvetă din primul set
- Fig. 5.19 Epruvetă din primul set după rupere
- Fig. 5.20 Epruvetele din primul set după încercarea la tracțiune
- Fig. 5.21 Schița epruvetei care s-a prelucrat pe direcția longitudinală a plăcii de *Necuron 1300*
- Fig. 5.22 Setul al doilea de epruvete
- Fig. 5.23 Epruvetă din setul al doilea montată pentru încercarea la tracțiune
- Fig. 5.24 Epruvetă din setul al doilea montată în mașina de încercat cu extensometrul electronic
- Fig. 5.25 Epruvetele din setul al doilea după rupere
- Fig. 5.26 Curbe caracteristice pentru materiale plastice, **[57]**
- Fig. 5.27 Curba caracteristică **tensiune - deplasare** pentru o epruvetă din setul doi
- Fig. 5.28 Schița epruvetei pentru solicitarea de compresiune
- Fig. 5.29 Epruvetele din *Necuron 1300* care au fost supuse la compresiune
- Fig. 5.30 Mașina universală *Walter Bai LF300*
- Fig. 5.31 Încercarea la compresiune a epruvetei numărul 2 din *Necuron 1300*
- Fig. 5.32 Diagrama **forță -deformație**
- Fig. 5.33 Epruvetele supuse la compresiune la sfârșitul solicitării

- Fig. 5.34** Modelarea solicitării la încovoiere a barei încastrate
- Fig. 5.35** Dispozitiv de încercare la încovoiere a barelor încastrate
- Fig. 5.36** Imaginea fotografică a dispozitivului de încercare la încovoiere a barelor încastrate
- Fig. 5.37** Încercarea unei epruvete cu rază de racordare
- Fig. 5.38** Încercarea unei bare încastrate la încovoiere (epruvetă fără rază de racordare)
- Fig. 5.39** Detaliu privind încercarea la încovoiere a unei epruvete fără rază de racordare
- Fig. 5.40** Epruvetă fără rază de racordare la finalul încercării (epruvetă ruptă)
- Fig. 5.41** Bară încastrată cu moment de inerție mare
- Fig. 5.42** Bară încastrată cu moment de inerție mic
- Fig. 5.43** Diagrama **forță – timp** pentru epruveta **2**
- Fig. 5.44** Diagrama **forță – timp** pentru epruveta **7**
- Fig. 5.45** Diagrama **forță – timp** pentru epruveta **1A**
- Fig. 5.46** Diagrama **forță – timp** pentru epruveta **2A**
- Fig. 5.47** Bara încastrată acționată la capătul ei de forța ***F***
- Fig. 5.48** Amplasarea traductoarelor rezistive pe epruveta solicitată
- Fig. 5.49** Montajul pe mașina de încercat pentru determinarea deformațiilor specifice longitudinale și transversale
- Fig. 5.50** Diagramele trasate de mașina de încercat pentru deformațiile specifice longitudinale și transversale în funcție de timp
- Fig. 5.51** Epruvete din material anizotrop birenfringent pentru modelarea barei încastrate cu diferite raze de racordare, acționate la capătul liber de o forță ***F***
- Fig. 5.52** Dispozitiv cu dinamometru digital de încercare la încovoiere al barelor încastrate
- Fig. 5.53** Fotografia dispozitivului cu dinamometru digital de încercare la încovoiere a barelor încastrate
- Fig. 5.54** Fotografia fotoelasticimetrului și a dispozitivului în timpul solicitării epruvetei **(1)**
- Fig. 5.55** Variația tensiunilor pe contur
- Fig. 5.56** Fotografia fotoelasticimetrului și a dispozitivului în timpul solicitării epruvetei **(2)**
- Fig. 5.57** Variația tensiunilor pe contur
- Fig. 5.58** Fotografia fotoelasticimetrului și a dispozitivului în timpul solicitării epruvetei **(3)**
- Fig. 5.59** Variația tensiunilor pe contur
- Fig. 5.60** Fotografia fotoelasticimetrului și a dispozitivului în timpul solicitării
- Fig. 5.61** Variația tensiunilor pe contur
- Fig. 5.62** Diagrama de variație a tensiunilor pe contur, **[1]**
- Fig. 5.63** Izoclinele epruvetelor cu sau fără rază de racordare, **[1]**
- Fig. 5.64** Schițe pentru studiul frecării din caietele lui Leonardo da Vinci, **[37]**
- Fig. 5.65** Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare cu ajutorul planului înclinat, **[37]**
- Fig. 5.66** Modelarea mecanică a echilibrului punctului material pe planul înclinat, **[37]**
- Fig. 5.67** Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare pe plan orizontal **[49]**
- Fig. 5.68** Imagine fotografică a dispozitivului pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare
- Fig. 5.69** Vedere de sus a dispozitivului pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare
- Fig. 5.70** Desenul dispozitivului pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare

- Fig. 5.71** Piesă mobilă cu șine de frecare laterale din materialele cercetate cu greutate atașată
- Fig. 5.72** Piesa mobilă cu șine laterale din material plastic *Necuron 1300*
- Fig. 5.73** Determinarea forței limită de apăsare [daN] pentru *Necuron 1300 -Necuron 1300*
- Fig. 5.74** Determinarea forței limită de apăsare [daN] pentru *Necuron 1300 -Bronz (Cu Sn10)*
- Fig. 5.75** Determinarea forței limită de apăsare[daN] pentru *Necuron 1300 - Aluminiu (Al Mg Si I)*
- Fig. 5.76** Distribuția valorilor experimentale obținute pentru forța limită de apăsare la cuplul de materiale *Necuron 1300-Necuron 1300*
- Fig. 5.77** Histograma distribuției datelor experimentale pentru forța limită de apăsare la cuplul de materiale *Necuron 1300-Necuron 1300*
- Fig. 5.78** Testul de normalitate pentru forța limită de determinare la cuplul de materiale *Necuron 1300-Necuron 1300*
- Fig. 5.79** Desenul dispozitivului pentru determinarea coeficientului de frecare static utilizând două dinamometre digitale
- Fig. 5.80** Imaginea fotografică a dispozitivului pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare static cu două dinamometre digitale
- Fig. 5.81** Modelarea mecanică a determinării coeficientului de frecare la alunecare când este stabilită forța de apăsare (N).
- Fig. 5.82** Tribometrul CSM pentru determinarea coeficientului de frecare în regim dinamic
- Fig. 5.83** Epruvetele de încercat pe tribometrul CSM
- Fig. 5.84** Detaliu cu epruvetele realizate din *Necuron 1300* și *Bronz (Cu Sn 10)* montate pe tribometrul CSM
- Fig. 5.85** Diagrama de variație a coeficientului de frecare în regim dinamic pentru cele trei cupluri de materiale *Necuron 1300 – Necuron 1300*, *Necuron 1300 – Bronz (Cu Sn 10)*, *Necuron 1300 – Aluminiu (Al Mg Si I)*

Capitolul 6

- Fig.6.1** Forța normală care acționează pe vârful dintelui
- Fig.6.2** Forța normală acționând pe cercul de divizare
- Fig.6.3** Dintele aproximat trapezoidal, forțe și tensiuni care încarcă și solicită dintele
- Fig.6.4** Tensiuni în diferite puncte ale dintelui
- Fig.6.5** Schema de calcul a elementelor geometrice ale dintelui necesare calculului de rezistență
- Fig.6.6** Schema logică de calcul
- Fig.6.7** Variația eforturilor unitare σ_y
- Fig.6.8** Angrenajul cu roți necirculare modelat
- Fig.6.9** Condițiile dimensionale impuse elementelor
- Fig.6.10** Rezultatul discretizării
- Fig.6.11** Condițiile de legătură
- Fig.6.12** Condițiile de contact
- Fig.6.13** Tensiunile echivalente Von Mises la nivelul angrenajului
- Fig.6.14** Tensiuni echivalente pe roata conducătoare
- Fig.6.15** Tensiuni echivalente pe roata condusă
- Fig.6.16** Presiunea de contact pe roata condusă

- Fig.6.17** Tensiuni de frecare (tangențiale)
- Fig.6.18** Tensiunea normală după axa Y
- Fig.6.19** Distanța dintre dinții din zona de angrenare
- Fig.6.20** Distanțele de alunecare în zona de contact (prezentate pe roata condusă)
- Fig.6.21** Deplasările specifice în zona de angrenare
- Fig.6.22** Tensiunile pe înălțimea dintelui
- Fig.6.23** Variația tensiunii echivalente pe dinte
- Fig.6.24** Tensiunile la baza dintelui
- Fig.6.25** Variația tensiunii echivalente pe lățimea dintelui
- Fig.6.26** Factorul de siguranță (pe roata conducătoare)
- Fig.6.27** Factorul de siguranță (pe roata condusă)
- Fig.6.28** Setările analizei tranzitorii
- Fig.6.29** Legăturile de tip „Revolute Joint”
- Fig.6.30** Încărcările
- Fig.6.31** Legea de mișcare a roții conducătoare
- Fig.6.32** Variația momentului motor, necesar învingerii celui rezistent
- Fig.6.33** Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,01 secunde
- Fig.6.34** Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,54607 secunde
- Fig.6.35** Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,6195 secunde
- Fig.6.36** Tensiunile echivalente Von Mises la momentul 0,79386 secunde
- Fig.6.37** Tensiunile tangențiale de frecare la momentul 0,79836 secunde
- Fig.6.38** Distanța de alunecare la momentul de timp 1,0 secunde
- Fig.6.39** Comparatie între tensiunile echivalente și presiunea de contact, statice și tranzitorii pentru roata conducătoare
- Fig.6.40** Comparatie între tensiunile tangențiale (de frecare) și alunecare, statice și tranzitorii pentru roata conducătoare
- Fig.6.41** Comparatie între tensiunile tangențiale (de frecare) și alunecare, statice și tranzitorii pentru roata condusă
- Fig.6.42** Diferența relativă între valorile calculate static și tranzitoriu pentru roata conducătoare
- Fig.6.43** Diferența relativă între valorile calculate static și tranzitoriu pentru roata condusă
- Fig.6.44** Schița dispozitivului pentru încercarea la rupere a dinților roților dințate circulare cu dinți drepti
- Fig.6.45** Epruvetă tip roată dințată de **modul 4,5** din *Necuron 1300*
- Fig.6.46** Epruvetă tip roată dințată de **modul 2** din *Necuron 1300*
- Fig.6.47** Dinte de cremalieră din oțel **modul 4,5** și **modul 2**
- Fig.6.48** Epruvete tip roată dințată și piesele de solicitare
- Fig.6.49** Piesă intermediară montată pe capul mașinii de încercat pentru acționarea cremalierii culisante
- Fig.6.50** Imaginea fotografică a dispozitivului realizat cu epruveta cu roată dințată de **modul 4,5 mm**
- Fig.6.51** Imaginea fotografică a dispozitivului realizat cu epruveta cu roată dințată de **modul 2 mm**

- Fig.6.52** Dispozitivul având montată epruveta roată dințată cu **modul 4,5 mm** pregătit pentru încercare
- Fig.6.53** Curba de variație **forță – timp** pentru ruperea primului dinte
- Fig.6.54** Dispozitivul pregătit pentru ruperea celui de al doilea dinte
- Fig.6.55** Curba de variație **forță – timp** pentru ruperea celui de al doilea dinte
- Fig.6.56** Dispozitivul cu epruveta tip roată dințată după ruperea celui de al treilea dinte
- Fig.6.57** Curba variației forță - timp pentru ruperea celui de al treilea dinte
- Fig.6.58** Epruveta tip roată dințată
- Fig.6.59** Încercarea la rupere a primului dinte
- Fig.6.60** Curba de variație forță - timp pentru ruperea primului dinte de modul 2 mm
- Fig.6.61** Curba de variație a forței - timp pentru ruperea celui de-al doilea dinte de modul 2 mm
- Fig.6.62** Curba de variație a forței - timp pentru rupere a celui de-al treilea dinte de modul 2 mm
- Fig.6.63** Instantaneu în timpul solicitării ultimului dinte
- Fig.6.64** Epruveta tip roată dințată de modul 2 mm după testare
- Fig.6.65** Schema de încărcare a subansamblului roată danturată parțial – dinte de solicitare
- Fig.6.66** Modelarea solicitării dintelui supus ruperii
- Fig.6.67** Fotoelasticimetrul de construcție proprie
- Fig.6.68** Dispozitiv pentru încărcarea dinților
- Fig.6.69** Izocromatele obținute pentru angrenarea a doi dinți de modul 4,5 mm cu ajutorul dispozitivului prezentat în **fig.6.68**
- Fig.6.70** Model fotoelastic acționat de un dinte metalic în timpul angrenării, **[72]**
- Fig.6.71** Imaginea modelului fotoelastic al angrenajului de roți dințate cu grad mare de acoperire, **[72]**
- Fig.6.72** Ruperea dintelui cu o zonă din obada roții evidențiată prin metoda fotoelasticității, **[72]**
- Fig.6.73** Elementele geometrice și cinematice ale angrenajului
- Fig.6.74** Roată eliptică a angrenajului necircular
- Fig.6.75** Graficele numerelor de dinți ai roților echivalente, z_{1e} și z_{2e}
- Fig.6.76** Randamentul angrenajului cu roți necirculare
- Fig.6.77** Roți dințate necirculare dezaxate tip epruvetă
- Fig.6.78** Schema cinematică de principiu a standurilor cu circuit închis de forțe
- Fig.6.79** Stand pentru determinarea experimentală la oboseală a roților dințate necirculare cu distanță fixă între axe
- Fig.6.80** Stand pentru determinarea experimentală la oboseală a roților dințate necirculare cu distanță fixă între axe, și aparatura auxiliară
- Fig.6.81** Roțile dințate eliptice tip epruvetă ale angrenajului de încercat
- Fig.6.82** Roțile dințate eliptice ale angrenajului auxiliar de întoarcere (returnare)
- Fig.6.83** Schema cinematică de principiu pentru standul cu variația distanței între axe
- Fig.6.84** Stand cu distanță variabilă între axe pentru încercarea experimentală la solicitarea la oboseală de încovoiere și contact
- Fig.6.85** Stand cu distanță variabilă între axe pentru încercarea experimentală la solicitarea la oboseală de încovoiere și contact cu aparatura auxiliară
- Fig.6.86** Roțile dințate excentrice (dezaxate) tip epruvetă ale angrenajului de testat

- Fig.6.87** Roțile dințate excentrice (dezaxate) ale angrenajului auxiliar de întoarcere (returnare)
- Fig.6.88** Vedere generală a mașinii de danturat roți dințate *sferice convexe* (conduse)
- Fig.6.89** Vedere laterală a mașinii de danturat roți dințate *sferice convexe* (conduse) cu roțile dințate danturate pe două direcții perpendiculare
- Fig.6.90** Imagine de ansamblu a mașinii de danturat cu profil în evolventă a roților dințate sferice concave conducătoare
- Fig.6.91** Planul median al roților dințate sferice concave conducătoare și al roții dințate sferice convexe condusă cu un număr dublu de dinți față de roata dințată sferică concavă,[92]
- Fig.6.92** Roată dințată sferică convexă
- Fig.6.93** Vedere de ansamblu
- Fig.6.94** Detaliile dispozitivului

LISTĂ TABELE

Capitolul 5

- Tabelul 5.1** Caracteristicile fizice și mecanice ale materialului *Necuron 1300*
- Tabelul 5.2** Parametrii standardizați de rugozitate pentru **proba 1**
- Tabelul 5.3** Parametrii standardizați de rugozitate pentru **proba 2**
- Tabelul 5.4** Aparat tip Durometru Test Stand Model: SLX – D [Shore D]
- Tabelul 5.5** Analiza statistică pentru determinarea durtății pe epruvete cu prelucrare longitudinală
- Tabelul 5.6** Analiza statistică pentru determinarea durtății pe epruvete cu prelucrare transversală
- Tabelul 5.7** Determinarea limitei de curgere σ_c și a limitei de rupere σ_r . Epruvetă cu grosime prelucrată prin așchiere
- Tabelul 5.8** Prelucrarea statistică a rezultatelor obținute pentru σ_c conform **STAS 11278-79**
- Tabelul 5.9** Valorile experimentale prelucrate ale limitei de curgere σ_{ci} și a limitei σ_{ri}
- Tabelul 5.10** Valorile obținute ale limitei de curgere σ_c a limitei de rupere σ_r și modulul lui Young E pentru epruvetele din setul al doilea
- Tabelul 5.11** Dimensiunile epruvetelor supuse la compresiune, [mm]
- Tabelul 5.12** Valorile determinate ale mărimilor caracteristice pentru solicitarea la compresiune
- Tabelul 5.13** Caracteristici mecanice obținute la încercarea de încovoiere a epruvetelor cu moment de inerție mare
- Tabelul 5.14** Caracteristici mecanice obținute la încercarea de încovoiere a epruvetelor cu moment de inerție mic
- Tabelul 5.15** Sinteza rezultatelor obținute pentru valorile medii aritmetice σ_{max} , σ_r , $\nu_{F_{max}}$, ν_{F_r} caracteristice la cele două tipuri de epruvete
- Tabelul 5.16** Valorile săgeților determinate experimental, ν_{exp} , [mm] pentru epruvete cu moment de inerție mare

- Tabelul 5.17** Valorile săgeților determinate experimental, v_{exp} , [mm] pentru epruvete cu moment de inerție mic
- Tabelul 5.18** Valorile experimentale ale deformațiilor specifice ϵ_{tr} și ϵ_{long} și **coeficientul lui Poisson** rezultat pentru primul set de date
- Tabelul 5.19** Valorile experimentale ale deformațiilor specifice ϵ_{tr} și ϵ_{long} și **coeficientul lui Poisson** rezultat pentru al doilea set de date
- Tabelul 5.20** Determinarea forței limită de apăsare [daN] pentru *Necuron 1300-Necuron 1300*
- Tabelul 5.21** Determinarea forței limită de apăsare [daN] pentru *Necuron 1300-Bronz (Cu Sn 10)*
- Tabelul 5.22** Determinarea forței limită de apăsare [daN] pentru *Necuron 1300-Aluminiu (Al Mg Si 1)*

Capitolul 6

- Tabelul 6.1** Tensiunile σ_y care soliciță dintele
- Tabelul 6.2** Proprietățile geometrice ale roților dințate
- Tabelul 6.3** Proprietățile mecanice ale materialului (determinate experimental)

REZUMAT

Teza de *cercetări teoretice și experimentale privind construcția și exploatarea angrenajelor cu angrenaje necirculare din Necuron 1300* elaborată de ing. Bogdan-Roth Mihail conține **296** de figuri, **25** de tabele, **15** anexe și se derulează pe șapte capitole, după cum urmează:

În **capitolul 1** sunt prezentate exemple de angrenaje necirculare de la cele schițate și realizate de Leonardo da Vinci până în epoca modernă, când își găsesc un loc binemeritat în construcția de mașini și mecanisme. Diferite angrenaje, cu un singur lob sau mai mulți lobi, au fost analizate cu modul în care influențează raportul de transmisie. Sunt analizate procedurile de dentiție existente, pe diferite mașini, evidențiind performanțele scăzute ale acestora, adică; complexitate ridicată, precizie scăzută și productivitate scăzută. Mecanismele cu angrenaje non-circulante pot înlocui cu succes o gama larga de mecanisme cu came, mecanisme predispușe la un fenomen pronunțat de uzura dar și cu o eficiența scăzută.

Capitolul 2 se bazează pe analogia cu mecanismul paralelogram. Acest mecanism prezintă un interes deosebit pentru cinematica roților necirculare, deoarece centroida barei în mișcare plan-paralelă pot fi două elipse sau două hiperbole congruente. În funcție de bara fixă a mecanismului paralelogram, se transformă în mecanismul antiparalelogram. A fost considerat cazul în care centroidei sunt două elipse congruente. S-au stabilit relațiile matematice ale elipsei descrise de mecanismul antiparalelogram. Calculat: raza de curbură pentru un punct curent de pe elipsă, componentele normale și tangențiale ale accelerării deplasării centrului instantaneu de rotație pe centroidă fixă.

În **capitolul 3** este prezentată o mașină de dentiție a angrenajelor non-circulare, proiectată și practic realizată de autor. Mașina este de complexitate scăzută, independentă de utilizarea unei mașini de frezat universale sau a unei mașini specializate de dentiție și oferă o precizie și o productivitate ridicată. Precizia ridicată a mașinii este dată de procesul de prelucrare, și anume procesul de prelucrare între un suport materializat care generează unelte și roata semifinită. Pentru generarea de angrenaje necirculare pe această mașină, o roată model trebuie să fie proiectată și prelucrată pe un CNC. Un pachet de roți, suprapus, poate fi realizat într-o prelucrare simultană. Este necesar ca proiectarea mașinii să fie efectuată astfel încât să nu existe probleme generale în fixarea roților semifinite în dispozitivul de dentiție. Pentru a realiza lanțurile cinematice, a fost luat în considerare principiul inversării rostogolirii instrumentului generator în jurul martorului. Profilul dinților roții prelucrate este un profil evoluat.

Capitolul 4 este capitolul în care sunt prezentate majoritatea dispozitivelor proiectate și realizate fizic de către autor. Pentru fiecare dispozitiv realizat, construcția și funcționarea au fost explicate. Au fost concepute și realizate: dispozitiv experimentale cu roți cilindrice dezamblare necirculare pentru a evidenția variația dintre axe pentru două variante de montare; dispozitiv cu excentric cu modificarea continuă a distanței dintre axe, acest dispozitiv a fost realizat în versiunea cu roată de melc – melc și varianta de de-amestecare cu culise și culise; dispozitive de forță

constantă cu roți necirculare cu arc electric și spirală în trei variante constructive; dispozitiv pentru ridicarea caracteristicii din aplicația anterioară, operațiune necesară pentru cunoașterea exactă a forței dezvoltate de dispozitivele prezentate; originalis dispozitiv cu afișaj digital pentru desenarea spiralelor centroidelor, disponibilul permite desenarea zonei centroidei de dentiție; fotoelasticimetru proiectat la dimensiuni mici, cu posibilitatea de a fi utilizat și ca material didactic în instituțiile de învățământ.

În **capitolul 5** sunt prezentate determinările experimentale ale caracteristicilor materialului Necuron 1300, caracteristici absolut necesare atât în calculul clasic al rezistenței pentru diferite tipuri de solicitări, cât și în analiza comportamentului unei angrenaje cu roți necirculare prin metoda elementului finit. Testele mecanice au fost efectuate pe piesele și dispozitivele de testare realizate de autor, dar și pe mașini specializate dintr-un laborator acreditat RENAR. Au fost efectuate determinările experimentale privind: stabilirea coeficientului de frecare statică pe dispozitivul proiectat de autor și a coeficientului dinamic pe mașina specializată; evaluarea dimensiunii coeficientului de contracție al lui Poisson pentru Necuron 1300; stabilirea dimensiunii modulului de elasticitate Young pentru același material, a comportamentului la tracțiune, îndoire și compresie pe mașini specializate, dar și cu instalarea unor mostre pe dispozitivele proiectate; evidențierea stării tensiunilor pe dinte și concentratoarele de tensiune de la baza acestuia cu ajutorul fotoelasticimetrelui.

În **capitolul 6** se utilizează cantitățile determinate experimental aferente materialului Necuron 1300, cum ar fi: rezonanța la ruperea la tracțiune, îndoire, compresie, stabilirea valorilor pentru coeficientul Poisson, modulul Young și a coeficientului de frecare pentru a studia starea de tensiuni în dintele unui angrenaj cu un profil evoluat. Cercetările s-au materializat în: relațiile și algoritmul de calcul al stresului în dintele roții, combinând metoda clasică de calcul cu metoda generală a teoriei plane a elasticității, calculând eforturile unitare ale unui dinte pe grosime și înălțime; analiza cu elemente finite ale stării de tensiune într-o treaptă de viteză cu angrenaje necirculare.

Au fost efectuate simulări de analiză statică și analiză tranzitorie a angrenajelor. Rezultatele analizei statice se referă la: variația stresului echivalent von Mises asupra dintelui, într-o secțiune situată la jumătatea lățimii roții, vizualizată pe lățimea dintelui; stresul cauzat de fenomenul de frecare între cele două roți; alunecarea relativă în zonele de contact; deplasările specifice în zona de contact; stresul la baza dintelui și la înălțimea acestuia. Analiza tranzitorie a fost aplicată pentru a surprinde comportamentul dinților care nu sunt identici în funcție de raza de curbură a roții, dar și comportamentul lor în modul dinamic. Rezultatele analizei tranzitorii se referă la: distribuții de tensiune, presiuni de contact, tensiuni de frecare tangențiale, alunecări în zona angrenajului în diferite momente de timp, precum și comparații între aceste valori și cele obținute din analiza statică. Analiza tranzitorie evidențiază, de asemenea, efectul dinamic al mișcării. Compararea valorilor tensiunii echivalente în cazul static și tranzitoriu arată că valorile obținute în cazul unei analize tranzitorii sunt cu până la 40 % mai mari decât cele obținute printr-o analiză statică.

Capitolul 7 prezintă propriile realizări, realizări care au fost surprinse în prezentarea capitolelor anterioare. Obiectivele și direcțiile de cercetare au ca punct de plecare cele două

standuri cu flux închis de forțe, realizate de autor. Aceste standuri sunt potrivite pentru teste cu un consum redus de energie și diverse posibilități de cercetare experimentală: cercetarea rezistenței la oboseala de îndoire pulsantă la baza dintelui; cercetarea rezistenței la stresul pulsatoriu de contact pe flancurile dinților; comportamentul de uzură al materialului *Necuron 1300* pentru diferite viteze de funcționare. De asemenea, pot fi abordate următoarele direcții de cercetare: stabilirea rezistenței limită la presiunea de contact; comportamentul materialului *Necuron 1300* la temperaturi de lucru diferite.

ABSTRACT

The thesis of *Theoretical and experimental research on the construction and operation of gears with noncircular gears made of Necuron 1300* elaborated by ing. Bogdan-Roth Mihail contains **296** figures, **25** tables, **15** annexes and runs on seven chapters as follows:

In **Chapter 1** are presented examples of noncircular gears from those sketched and made by Leonardo da Vinci to the modern era when they find a well-deserved place in the construction of machines and mechanisms. Different gears, with a single lobe or several lobes, were analyzed with the way they influence the gear ratio. There are analyzed the existing teething procedures, on different machines, highlighting their low performance, i.e.; high complexity, low accuracy, and low productivity. Mechanisms with non-circulatural gears can successfully replace a wide range of cam mechanisms, mechanisms prone to a pronounced wear phenomenon but also with a low efficiency.

Chapter 2 is based on the analogy with the parallelogram mechanism. This mechanism is of particular interest to the kinematics of noncircular wheels since the centroids of the bar in plane-parallel motion can be two ellipses or two congruent hyperboles. Depending on the fixed bar of the parallelogram mechanism, it turns into the antiparalelogram mechanism. It was considered the case when the centroids are two congruent ellipses. The mathematical relations of the ellipse described by the antiparalelogram mechanism have been established. Calculated: the radius of curvature for a current point on the ellipse, the normal and tangential components of the acceleration of displacement of the instantaneous center of rotation on the fixed centroid.

In **Chapter 3** is presented a non-circular gear teething machine, designed, and practically realized by the author. The machine is of low complexity, independent of the use of a universal milling machine or specialized teething machine and gives high precision and productivity. The high precision of the machine is given by the processing process, namely the machining process between a materialized tool generating rack and the semi-finished wheel. For the generation of non-circulating gears on this machine, a model wheel must be designed and machined on a CNC. A package of wheels, superimposed, can be made in a simultaneous processing. It is necessary that the design of the machine is carried out in such a way that there are no overall problems in fixing the semi-finished wheels in the teething device. In order to achieve the kinematic chains, the principle of inversion of the rolling of the generating tool around the blank was taken into account. The profile of the processed wheel teeth is an evolventic profile.

Chapter 4 is the chapter in which most of the devices designed and made physically by the author are presented. For each device made, the construction and operation were explained. There were conceived and realized: experimental dispositive with noncircular disassembly cylindrical wheels to highlight the variation between the axes for two mounting variants; dispositive with eccentric with continuous modification of the distance between the axes, this device was made in the version with snail – snail wheel and the variant of de-mixing with backstage and

backstage stone; dispositives of constant force with arc and spiral noncircular wheels in three constructive variants; dispositive for raising the characteristic of the from the previous application, operation necessary for the precise knowledge of the force developed by the presented devices; originalis dispositive with digital display for drawing the centroids spirals, the dispositive allows the drawing of the area of the teething centroids; the photoelastimeter designed at small dimensions, with the possibility of use also as didactic material in educational institutions.

In *Chapter 5* are presented the experimental determinations of the characteristics of the Necuron 1300 material, characteristics absolutely necessary both in the classical calculation of resistance for different types of stresses and in the analysis of the behavior of a gear with non-circulating wheels by the Method of the finished element. The mechanical tests were performed on the test pieces and devices realised by the author, but also on specialized machines from a RENAR accredited laboratory. The experimental determinations regarding: the establishment of the static friction coefficient on the device designed by the author and the dynamic coefficient on the specialized machine were performed; evaluation of the size of Poisson's contraction coefficient for Necuron 1300; establishing the size of Young's elasticity module for the same material, the behavior at traction, bending and compression on specialized machines, but also with the installation of some test-pieces on the designed devices; highlighting the state of tensions on the tooth and the voltage concentrators at its base with the help of the photoelasticimeter.

In *Chapter 6* are used the experimentally determined quantities related to the Necuron 1300 material such as: the resonance at the breakage at traction, bending, compression, the setting of the values for the Poisson coefficient, the module of Young and of the coefficient of friction in order to study the state of tensions in the tooth of a gear with an evolventic profile. The research was materialized in: relations and calculation algorithm of the stress in the tooth of a wheel, combining the classical method of calculation with the general method of the plane theory of elasticity, calculating the unitary efforts from a tooth on thickness and height; the analysis with finite elements of the tension state in a gear with noncircular gears.

Simulations of static analysis and transient gear analysis were performed. The results of the static analysis refer to: the variation of the von Mises equivalent stress on the tooth, in a section located at the half of the width of the wheel, visualized on the width of the tooth; the stress caused by the friction phenomenon between the two wheels; the relative slippage in the contact areas; the specific displacements in the contact area; the stress at the base of the tooth and on its height. The transient analysis was applied to capture the behavior of the teeth that are not identical depending on the radius of curvature of the wheel but also their behavior in dynamic mode. The results of the transient analysis refer to: voltage distributions, contact pressures, tangential frictional stresses, slips in the gear zone at various points of time as well as comparisons between these values and those obtained from static analysis. Transient analysis also highlights the dynamic effect of movement. The comparison of the values of the equivalent stress in the static and transient case shows that the values obtained in the case of a transient analysis are up to 40 % higher than those obtained with a static analysis.

Chapter 7 presents its own achievements, achievements that were captured in the presentation of the previous chapters. The objectives and directions of research have as starting point the two stands with closed flow of forces, made by the author. These stands are suitable for tests with a low energy consumption and various possibilities of experimental research: research of resistance to pulsating bending fatigue at the base of the tooth; research of resistance to the pulsating contact stress on the flanks of the teeth; wear behavior of the *Necuron 1300* material for different operating speeds. The following research directions can also be approached: establishing the limit resistance to the contact pressure; behavior of the material *Necuron 1300* at different working temperature.

BIBLIOGRAFIE

- 1 **Bogdan-Roth M.**, *Fiabilitatea și Degradarea Sistemelor Mecanice* Lucrare de Disertație U.P.G. Ploiești, 2018,
- 2 **Bogdan-Roth M.**, Romanet M., Ripeanu R.G., *Device for machining non-circular gears*, Proceedings on Engineering Science 16th International Conference on Tribology, 15 – 17 May, 2019, <http://www.serbiatrib.mfkg.rs/>, Vol. 1, No. 1 (2019), ISSN: 2620-2832 pp.449-453, Kragujevac, Serbia
- 3 **Bogdan-Roth M.**, Romanet M., Ripeanu R.G., *Eccentric device for varying the gear ratio*, The 14th International Conference on Tribology September 19-21, 2019 – Cluj Napoca, Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Vol. 724, 2020, pp.1-7, ISSN 1757-899X, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/724/1/012010>, Bristol BS1 6BE, England, 2020
- 4 **Bogdan -Roth M.**, Popa Al. H., *Acceleration of the instantaneous center of rotation on the fixed centrode*, *Scientific Bulletin of University Politehnica of Bucharest Series D*, 83 (4), 2021, pp.27-35, ISSN 1454-2358(print), ISSN 2286-3699(online), https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezbb2_265125.pdf, Bucharest, Romania, 2021
- 5 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static cu dinamometru digital – depunere documentație invenție cu brevet în național A/00286/26/05/2021*
- 6 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Mașină de frezat automată acționată cu telecomandă pentru danturarea cu profil în evolutivă a roților dințate necirculare - depunere documentație invenție cu brevet în național A/00013/21/01/2022*
- 7 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv de forță constantă cu arc și roată dințată necirculară spirală- depunere documentație invenție cu brevet în național A/00018/21/01/2022*
- 8 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv de forță constantă cu angrenaj de roți dințate necirculare spirale și arc depunere documentație invenție cu brevet în național A/00016/21/01/2022*
- 9 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Dinu F., Diniță A., Nae I., *Dispozitiv cu măsurarea digitală a forței pentru determinarea caracteristicii elastice a arcurilor cu rigiditate mică documentație invenție cu brevet în național A/00012/21/01/2022*
- 10 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv pentru trasarea centroidelor roților dințate necirculare spirale cu măsurarea digitală a unghiului documentație invenție cu brevet în național A/00009/21/01/2022*
- 11 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Ripeanu R.-G., *Roată dințată circulară excentrică cu motoreductor atașat pentru variația continuă a distanței între axele unui angrenaj cu acționarea prin telecomandă a motorului în timpul funcționării documentație invenție cu brevet în național A/00017/21/01/2022*

- 12 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Rîpeanu R.-G., *Roată dințată necirculară cu variația continuă a distanței între axe (cu o culisă și piatră de culisă) cu reglaj automat documentație invenție cu brevet în național A/00011/21/01/2022*
- 13 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei bare încastrate acționată de o forță F la capătul liber documentație invenție cu brevet în național A/00015/21/01/2022*
- 14 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere a unei console încastrate cu măsurarea digitală a forței proprii de acționare documentație invenție cu brevet în național A/00019/21/01/2022*
- 15 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Lambrescu I., Diniță A., *Dispozitiv pentru determinarea coeficientului de frecare la alunecare în regim static cu două dinamometre digitale acționare documentație invenție cu brevet în național A/00010/21/01/2022*
- 16 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Dispozitiv de încercare la rupere a dinților roților dințate circulare cu dinți drepecți documentație invenție cu brevet în național A/00014/21/01/2022*
- 17 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Aparat pentru analiza experimentală a tensiunilor prin metoda fotoelasticității, cu cameră video digitală de înaltă rezoluție documentație invenție cu brevet în național A/00008/21/01/2022*
- 18 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., *Stand pentru încercarea roților dințate necirculare cu distanța între axe variabilă pentru determinarea gradului de uzură la solicitarea de oboseală, încovoiere și presiune de contact documentație invenție cu brevet în național A/00021/21/01/2022*
- 19 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Dinu F., Pană I., Rîpeanu R.-G., *Mașină pentru danturarea cu profil în evolventă a roților dințate sferice convexe (conduse) documentație invenție cu brevet în național A/00077/16-02-2022*
- 20 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Dinu F., Pană I., Rîpeanu R.-G., *Mașină pentru danturarea cu profil în evolventă a roților dințate sferice concave (conducătoare) documentație invenție cu brevet în național A/00075/16-02-2022*
- 21 **Bogdan -Roth M.**, Romanet M., Dinu F., Pană I., Rîpeanu R.-G., *Dispozitiv pentru danturarea roților dințate sferice convexe conduse cu profil în evolventă pe două direcții perpendiculare prin strunjire dinte cu dinte realizate din materiale plastice documentație invenție cu brevet în național A/00076/16-02-2022*
- 22 Chang S.L., Tsay C.B., Computerized Tooth profile Generation and Undercut Analysis of noncircular gears manufactured With Shaper cutters, Journal of Mechanical Design, March, 1998, 120 (1), pp. 92-99
<https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article-abstract/120/1/92/417965/Computerized-Tooth-Profile-Generation-and-Undercut?redirectedFrom=fulltext>
- 23 Chișiu Al., Matieșan D., Mădărășan T., Pop D., *Organe de Mașini*, Ediția a – II – a, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
- 24 Drumeanu A. C., *Mentenanța Sistemelor Tehnice*, Editura Petrol-Gaze din Ploiești, 2016
- 25 Fangyan Zheng, lin Hua, Xinghui Han, BoLi, Dingfang Chen, *Linkage model and manufacturing process of shaping non -circular gears*, Mechanism and Machine Theory, Volume 96, Part 1, February, 2016, pp.192-212
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X15002244>
- 26 Florea I., *Organe de mașini*, U.P.G. Ploiești, 2014

- 27 Florea I., Rizea N., Popa I., *Graphics of the involute profile for gear drawing*, Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Vol. 62, Nr. 4B, pp.7-12, 2010
- 28 Gang Li, Weidong Zhu., *Desing and power loss evaluation of noncircular gear pair for an infinitely variable transmission*, Mechanism and Machine Theory, Volume 156, February 2021, Article 104137
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X20303542>
- 29 Jula A., ș.a. *Proiectarea angrenajelor evolventice*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1989
- 30 Lambrescu I., **Bogdan -Roth M.**, *Static and transient stress analysis of Necuron-Necuron elliptical gear transmission*, Scientific Bulletin of University Politehnica of Bucharest Series D, 84, 2022, ISSN 1454-2358
https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez1f8_622810.pdf Bucharest Romania, 2022
- 31 Litvin F. L., Aznar A. F., Kenichi H., *Noncircular Gears Design and Generation*, Cambridge Universty Press, 2009
- 32 Litvin F., ș.a., *Generation of planar and helical elliptical gears by application of rack-cutter, hob, and shaper*, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., 196 (2007) pp.4321–4336.
- 33 Madenci E., Guven I., *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*, Springer, ISBN 978-1-4899-7549-2, 2015
- 34 Maroș D., *Teoria Mecanismelor și a Mașinilor, Cinematica roților dințate*, Editura Tehnică București, 1958
- 35 Meng Li, TianShi, jungang Yang, Longhui Qi, Zhihua Zhao, *Realizing nonlinear spring through noncircular planetary gears*, Mechanism and Machine Theory, Volume 156, February 2021, Article 104151
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X20303682>
- 36 Mladinescu T., *Contribuții la studiul, frecării dintre flancurile dinților angrenajelor cilindrice cu dantură dreaptă*, Studii și Cercetării de Mecanică Aplicată, Tomul 48, nr.4, Iulie, pp. 372-387,1986
- 37 Niculescu M., *Cercetări privind proiectarea și generarea angrenajelor necirculare cu aplicabilitate în industria metalurgică*, Teză de doctorat, Galați, 2014
- 38 Popa Al. H., Pupăzescu AL., Tănase M., - *Lucrări Experimentale de Mecanică*, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 2017
- 39 Popa Al., *Raze de curbură în cinematica mișcării plan-paralele a rigidului*, Buletinul Universității Petrol-Gaze, Ploiești,vol. XLVII-L (1995-1998), Nr.10, pp.243-250, Ploiești 1998,
- 40 Popa Al., *Unele aspecte ale cinematicii mișcării plan-paralele a rigidului*, Buletinul Institutului de Petrol și Gaze, vol.XXXIII, Nr.1, pp. 47-55 Ploiești 1981.
- 41 Popa Al. H., **Bogdan-Roth M.**, *Speed of moment of the instantaneous center of Rotation on the fixed centroid*, the 8th Internațional Conferințe on Computațional Mechanics and Virtual Engineering- COMEC 2019, and the 43^{ed} Internațional Conference on „Mechanics of Soilds” –ICMS 2019- „P.P. Teodorescu”, Transilvania University of Brașov, 21-22 November 2019 pp 79-82
<http://aspekt.unitbv.ro/jspui/bitstream/123456789/2497/1/79%20-%2082.pdf>

- 42 Posea N., *Rezistența Materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- 43 Posea N., și alții, *Îndrumar de Laborator la Rezistența Materialelor*, Institutul de Petrol și Gaze Ploiești, 1983
- 44 Posea N., Anghel Al., *Asupra Tensiunilor Reale din dantura angrenajelor – Studii și Cercetări de Mecanică aplicată*. Tomul 34 Nr. 2, pp.1975
- 45 Quintero Rianza H. F., Cardona Foix S., Jordi Nebot L., *Study of the base Curve and Formation of Singular points on the Tooth profile of noncircular gears*, Journal of Mechanical Design, May 2007, 129 (5), pp. 538-545
<https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article-abstract/129/5/538/466869/Study-of-the-Base-Curve-and-Formation-of-Singular?redirectedFrom=fulltext>
- 46 Tatu N., *Organe de mașini*, Editura Institutului de Petrol și Gaze din Ploiești 1986
- 47 Theocaris P. S., Mocanu D. R., și alții., *Analiza Experimentală a Tensiunilor*, Vol. I Editura Tehnică București, 1976
- 48 Tocaci E., *Mecanică, curs și culegere de probleme*, Editura didactică și pedagogică, 1985
- 49 Tresse A., Thybant A., *Course de Geometrie Analytique*, Librairie Armand Colin, Paris, 1922
- 50 Vâlcovici V., Bălan Șt., Voinea R., *Mecanică teoretică*, Ediția a II a, Editura Tehnică București, 1963
- 51 Voinaroski R., *Mecanică teoretică*, Editura Didactică și Pedagogică-București, 1968
- 52 Yazar M., Özdemir A., *Computer-aided design, manufacture and experimental analysis of a pair of elliptical spur gears*, Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering, Volume 17, Number 5, 2016, pp. 869-881
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/261249>
- 53 Zheng Fangyan, Xinghui Han, Hua Lin, Zhang Mingde, Zhang Weiqing, *Design and manufacture of new type of non-circular cylindrical gear generated by face-milling method*, Mechanism and Machine Theory, Volume 122, April, 2018, pp.326-346
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X17312090>
- 54 P N 09 - 160202 *Fundamentarea aplicațiilor și cercetărilor experimentale, considerând concepțiile mecanicii ruperii materialelor polimerice sudate și nesudate*
- 55 SR EN 10002-1:2002 *Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metoda de încercare la temperatura ambiantă*
- 56 STAS 1552 - 78 *Încercările metalelor. Încercarea la compresiune*
- 57 STAS 11278 - 79 *Identificarea rezultatelor aberante ale măsurărilor*
- 58 SR EN ISO 527 – 1 – 2020 *Materiale plastice; Determinarea proprietăților de tracțiune; Partea I: Principii generale*
- 59 SR EN ISO 683-1:2018 *Oțeluri pentru tratamente termice, oțeluri aliate și oțeluri pentru automate. Partea 1: Oțeluri nealiate pentru călire și revenire*
- 60 SR EN 1560 *Turnătorie. Sistem de simbolizare pentru fonte. Simbolizare alfanumerică și numerică.*
- 61 SR EN 1561 *Turnătorie. Fontă cu grafit lamelar.*
- 62 SR EN 1563 *Turnătorie. Fontă cu grafit nodular.*

- 63 SR EN 573-3:1995 *Aluminiu și aliaje de aluminiu. Compoziția chimică și forma produselor obținute prin deformare plastică. Partea 3: Compoziție chimică.*
- 64 SR EN ISO 472:2013 *Materiale plastice. Vocabular.*
- 65 SR EN 13706-1:2003 *Compozite de materiale plastice armate. Specificații pentru profile pultrudate. Partea 1. Codificare.*
- 66 SR EN 10213+A1:2016 *Piese turnate din oțel utilizate sub presiune.*
- 67 SR EN 10025-2:2019 *Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 2. Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții nealiatate.*
- 68 SR ISO 53:2011 *Angrenaje cilindrice în evolventă, de uz general. Profil de referință.*
- 69 O.S.I.M. București Brevet de invenție RO 128055 B1 *Dispozitiv și metodă de testare a dinților roților dințate asimetrice*, Editat de București, 2017
- 70 Oficiul de Stat de Invenții și Mărci (OSIM) Brevet de invenție RO 119002 B 1 *Mașină de danturat roți dințate cilindrice, circulare, și necirculare, prin mortezare cu cuțit-roată* publicat la data de 27-02-2004, titular Cioară Gh. Gheorghe Romeo, Brașov
- 71 ***Catalog de firmă pentru materialul Necuron, <https://www.btools.ro/placi-poliuretanic-necuron.html>, (accesat 12.01.2022)
- 72 *** Întreprinderea de Mașini- Unelte, Bacău, *Dispozitiv pentru prelucrarea roților dințate necirculare*, Brevet de invenție, Oficiul de stat pentru invenții și mărci, București, Nr. RO 95167, 1986
- 73 <http://www.spin-corp.com/files/104620669.pdf> (accesat 24-04-2021)
- 74 <https://www.google.com/search?q=colectia+codex+madrid> (10-03-2020)
- 75 <https://www.google.com/search?q=non+circular+gears> (02-01-2020)
- 76 <http://www.robotpark.com/academy/robotic-mechanisms-non-circular-gears-51041> (5-03-2020)
- 77 <https://www.google.com/search?q=clock+with+non-circular+wheels> (4-03-2020)
- 78 https://www.google.com/search?rlz=1C1AVFA_enRO736RO736&q=non+circular+gears (06-03-2020)
- 79 <https://www.google.com/search?q=clock+with+non-circular+wheels> (14-03-2020)
- 80 <https://www.woodenclocks.co.uk/clock-18/> (15-03-2020)
- 81 <https://biblioteca.regielive.ro/disertatii/mecanica/mase-plastice-pentru-roti-dintate-366440.html> (19-12-2019)
- 82 https://www.google.com/search?rlz=1C1AVFA_enRO736RO736&q=concurve+gears (14-03-2020)
- 83 <http://www.tandwiel.info/en/gears/tooth-corrections-at-cylindrical-gears/> (12-02-2020)
- 84 file:///C:/Users/USER/Downloads/englisch_flyer.pdf (15-09-2019)
- 85 <https://www.scribd.com/document/45284391/FOTOELASTICITATEA> (12-03-2020)
- 86 <https://www.woodenclocks.co.uk/clock-18/> (1 03 2020)
- 87 <http://www.creeaza.com/tehnologie/tehnica-mecanica/MATERIALE-SI-TEHNOLOGII-UTILIZ621.php> (06-03-2020)
- 88 https://www.google.com/search?rlz=1C1AVFA_enRO736RO736&q=concurve+gears

(14-03-2020)

- 89 http://webbut.unitbv.ro/Carti%20on-line/TM/Capitolul_1.pdf (20-05-2020)
- 90 <https://fdocumente.com/document/mecanisme-cu-came-sinteza-trasarea-3-dispozitive-utilizate-dispozitivul.html> (25-05-2020)
- 91 <https://www.youtube.com/watch?v=PSDWS6U> (25-05-2020)
- 92 <https://www.thingiverse.com/thing:4891402> (15-01-2022)
- 93 <https://www.google.com/search?q=sferic+gears&sxsrf> (25-01-2022)