

II 39. 850

UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ

STUDII ASUPRA COMPORTĂRII
ETANȘĂRIILOR CU MANȘETĂ DE LA
CILINDRII PNEUMATICI CU TIJĂ DIN
MATERIALE POLIMERICE

-Rezumat teză doctorat-

Conducător științific,
Prof.dr.ing. IULIAN GABRIEL BÎRSAN

Doctorand,
Ing. GEANINA MARCELA PAȚILEA

GALAȚI
2011

CUPRINS REZUMAT TEZĂ

CAP. 1. Stadiul actual al cercetărilor asupra etanșărilor utilizate în cilindrii pneumatici.....	1
1.1. Generalități.....	1
1.2. Sisteme de acționare pneumatică.....	1
1.3. Cilindri pneumatici.....	2
1.4. Etanșări pentru motoarele pneumatice.....	3
1.5. Etanșări utilizate pentru cilindrii pneumatici.....	3
1.6. Materiale folosite în etanșările cilindrilor pneumatici.....	4
1.7. Modelarea frecării în etanșările pneumatice.....	4
1.8. Analiza eficienței etanșărilor pneumatice.....	5
1.9. Concluzii.....	6
1.10. Obiectivele tezei.....	7
CAP. 2. Materiale și metode experimentale.....	8
2.1. Materiale utilizate.....	8
2.2. Standuri și echipamente utilizate pentru diferite încercări experimentale.....	9
2.3. Stand pentru studiul comportării tribologice și a eficienței etanșărilor cu manșetă elastomerică pe tijă polimerică pentru cilindrii pneumatici.....	9
2.4. Metodologia de cercetare experimentală.....	11
2.4.1. Rețele neurale – generalități.....	11
2.4.2. Identificarea parametrilor funcționali cu impact maxim asupra parametrilor tribologici și de eficiență.....	12
2.4.3. Stabilirea limitelor maxime pentru viteza tije.....	14
2.4.4. Stabilirea programului de testare.....	14
CAP. 3. Rezultate experimentale.....	15
3.1. Analiza comportării tribologice.....	15
3.2. Analiza regimului termic.....	27
3.3. Analiza eficienței etanșării.....	34
CAP. 4. Modelarea și optimizarea etanșărilor pneumatice pentru tije polimerice.....	40
4.1. Simulator neural pentru modelarea funcționării etanșării.....	40
4.2. Analiza interdependenței intrări - ieșiri.....	42
4.3. Predicția valorilor și optimizarea regimului termic.....	43
4.4. Predicția valorilor și optimizarea duratei de funcționare.....	45
CAP. 5. Concluzii generale și contribuții personale.....	49
5.1. Concluzii generale.....	49
5.2. Contribuții personale originale.....	51
BIBLIOGRAFIE.....	52

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ASUPRA ETANSĂRIILOR UTILIZATE ÎN CILINDRII PNEUMATICI

1.1 Generalități

Sistemele de acționare pneumatică sunt preferate într-un număr mare de aplicații industriale din cele mai diverse sectoare [65,182], datorită unor calități incontestabile precum: productivitatea, fiabilitatea ridicată, simplitatea constructivă și nu în ultimul rând prețul scăzut. Acestea sunt recomandate în mod expres pentru utilizarea în medii cu pericol de explozie și pentru industriile sau activitățile în care respectarea normelor igienico-sanitare este strict necesară (industria alimentară, farmaceutică, parfumerie, tehnică dentară etc.).

1.2 Sisteme de acționare pneumatică

Acționarea pneumatică utilizează energia aerului comprimat, sau a altui gaz, ce se caracterizează prin doi parametri: presiune și debit.

Acționarea pneumatică constituie una dintre căile cele mai eficiente de mecanizare și automatizare a instalațiilor, mașinilor și utilajelor [81,92,120].

Elementele motoare din structura unui sistem pneumatic sunt cilindrii pneumatici cu mișcare de translație continuă. Se mai întâlnesc și motoarele pneumatice cu mișcare de rotație continuă, dar cei mai utilizați sunt cilindrii pneumatici. Deși sunt realizați într-o varietate de forme constructive, din punct de vedere funcțional cilindrii pneumatici prezintă o serie de componente comune prezentate în figura 1.3.

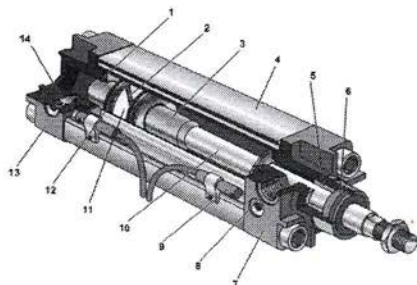


Fig. 1.3

Componentele cilindrului pneumatic cu dublu efect cu tijă unilaterală [92]
1 - garnitură; 2 - magnet; 3 - bucsă frânare; 4 - cilindru; 5 - bucsă; 6 - garnitură; 7 - capac; 8 - cale alimentare; 9 - întrerupător magnetic; 10 - tijă pistonului; 11 - inel metalic; 12 - garnitură; 13 - capac; 14 - drosel frânare.

1.3. Cilindri pneumatici

În cilindrii pneumatici, datorită mișcării rectilinii alternative, viteza de alunecare nu este constantă de-a lungul cursei tijei [148]. La capetele cursei, viteza de alunecare este minimă în timp ce accelerația este maximă și atinge o valoare maximă în apropierea mijlocului cursei, când accelerația devine minimă (figura 1.4,a). Forțele de inerție care apar datorită frecvenței mișcării sunt variabile, iar regimul forțelor de frecare este și el variabil depinzând de viteza de alunecare. Ținând cont de evoluția forței de frecare în mișcarea rectilinie alternativă, prezentată în [148] (figura 1.4,b), este evident că, întreaga cantitate de căldură generată prin frecare nu este constantă pe toata lungimea cursei.

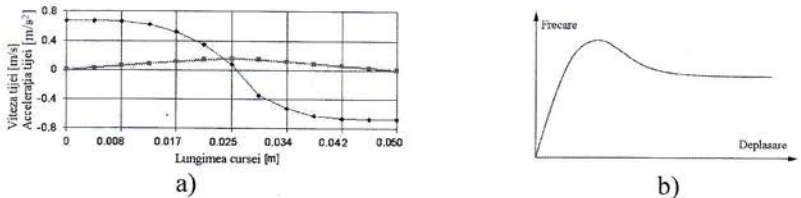


Figura 1.4

Caracteristicile mișcării liniar-alternative

a) Viteza de alunecare și variația accelerației în mișcarea rectilinie alternativă; b) Evoluția forței de frecare în mișcarea liniară [24]

La capătul cursei, la viteze aproape nule, forța de frecare statică înregistrează cote maxime conducând la generări mari de căldură, iar la mijlocul cursei, unde viteza este maximă, este preponderentă forța de frecare dinamică. Astfel, în mișcarea rectilinie alternativă, pe lungimea cursei tijei, are loc trecerea de la frecarea dinamică la frecarea statică (figura 1.5).

Existența frecărilor are drept consecință micșorarea randamentului, apariția uzurii și chiar degradarea materialului garniturilor. În cazul actuatorilor pneumatici, forța de frecare este folosită ca factor de control pentru precizia poziționării [92,98].

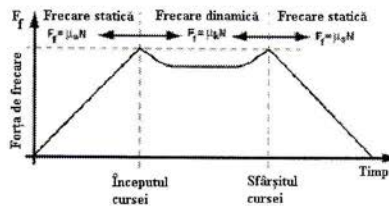


Figura 1.5

Evoluția forței de frecare în mișcarea rectilinie alternativă

Frecarea este influențată de numeroși factori [67], cum ar fi: materialul și forma garniturii, condițiile de ungere, calitatea și duritatea suprafețelor, condițiile de montaj, presiunea mediului etanșat, viteza relativă de deplasare a suprafețelor de contact, sensul de deplasare, stabilitatea caracteristicilor materialelor garniturilor în timp și la variații de temperatură etc.

1.4. Etanșări pentru motoare pneumatice

Printre cerințele fundamentale impuse etanșărilor amintim: *fiabilitatea, durabilitatea, posibilitate de acces, necesitatea unei întrețineri cât mai reduse, rezistență mecanică, pierderi minime de putere în etanșări, compatibilitate cu mediul etanșat, conductibilitate termică și rezistență și nepermeabilitate la gaze.*

În cazul etanșărilor cu garnitură, materialele pentru garniturile de etanșare trebuie să prezinte proprietăți adecvate pentru a face față condițiilor de lucru ale etanșării. Nu de puține ori proprietățile cerute sunt contradictorii, ceea ce face ca alegerea materialului optim să fie o problemă dificilă.

Decizia privind alegerea unei etanșări corespunzătoare, în acționările pneumatice, trebuie să se bazeze pe cunoașterea amănunțită a tuturor factorilor care intervin în funcționare (figura 1.7).

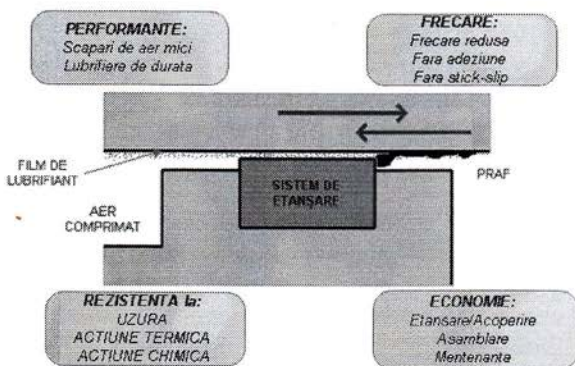


Figura 1.7
Cerințele de bază pentru o etanșare pneumatică [27]

1.5. Etanșări utilizate pentru cilindrii pneumatici

Pentru cilindrii pneumatici, garniturile de etanșare se execută din materiale elastice având diferite forme în funcție de destinația lor, de care depinde buna funcționare și fiabilitatea cilindrilor. Sistemele de etanșare din cilindrii pneumatici

conțin o varietate de tipuri de garnituri. Dintre acestea, garniturile manșetă realizează etanșarea prin presarea pe suprafața de contact, datorită forței rezultante prin deformarea lor elastică inițială și a forței provenite de la însăși presiunea mediului etanșat, proces denumit și „auto-etanșare”.

Elementul caracteristic al manșetelor, din punct de vedere al procesului de etanșare, este buza de etanșare. În funcție de dispunerea buzelor de etanșare în raport cu corpul manșetei și cu suprafața piesei în mișcare, se obțin diferite variante constructive de etanșări cu manșetă.

1.6. Materiale folosite în etanșările cilindrilor pneumatici

Alegerea celui mai indicat material constituie o problemă dificilă. Practic, pentru a realiza o etanșare eficientă, cu scurgeri minime, toate garniturile, fie statice sau dinamice, depind de proprietățile materialelor din care sunt realizate și de interacțiunea dintre suprafețele de contact.

Materialele trebuie să ofere o bună deformabilitate în scopul adaptării la suprafețele pieselor etanșării, să aibă o rezistență la comprimare corespunzătoare, să prezinte în stare presată o permeabilitate cât mai redusă față de mediul etanșat, să prezinte o frecare redusă de alunecare și o rezistență ridicată la uzură, calități esențiale pentru asigurarea durabilității în funcționare, să fie stabile la temperaturi ridicate sau joase, păstrându-și calitățile mecanice [51].

Ținând cont de condițiile de funcționare impuse în sistemele pneumatice, care pot conduce la temperaturi extreme, este necesară utilizarea unor materiale cu proprietăți speciale, cum sunt elastomerii [111, 58]. Dintre elastomerii utilizați la confecționarea garniturilor de etanșare, *cauciucul siliconic* își păstrează performanțele mecanice într-un domeniu larg de temperaturi, de la -100°C și până la $+300^{\circ}\text{C}$.

1.7. Modelarea frecării în etanșările pneumatice

Una din principalele probleme întâlnite la acționările pneumatice este obținerea unui control precis de poziționare, în special la actuatori unde precizia de poziționare este ridicată. Cel mai complex factor ce generează neliniarități în poziționarea sistemelor pneumatice, este forța de frecare. Identificarea și analiza evoluției frecării la acționările pneumatice, se realizează pornind de la rezultate experimentale. Informațiile din cataloagele existente, puse la dispoziție de către producătorii de actuatori pneumatici, conțin referințe și despre regimurile de frecare corespunzătoare. Rezultatele experimentale au permis obținerea caracteristicilor frecării statice, frecării Coulumb, frecării Stribeck și a frecării vâscoase, pentru fiecare cilindru pneumatic testat pentru o stare de echilibru forță de frecare – viteză de alunecare (figura 1.8).

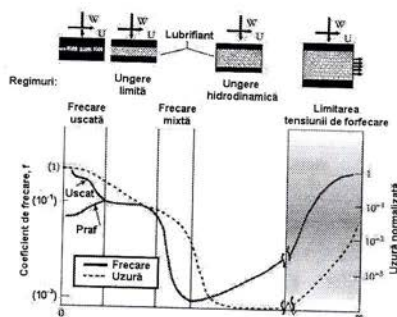


Fig. 1.8
Curba Stribeck, regimuri de frecare [48]

Pe baza rezultatelor experimentale obținute și reprezentate în figura 1.11, s-a putut concluziona că aceiași actuatori au caracteristici de frecare diferite în timpul mișcărilor de avans și de retragere, și, de asemenea, că frecarea variază în funcție de producător.

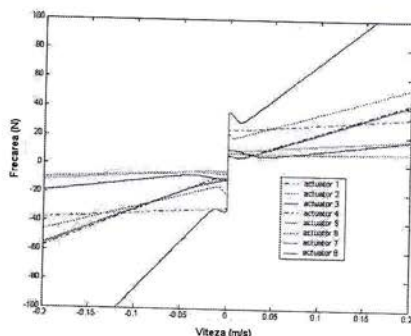


Figura 1.11
Diagrama frecării pentru actuatorii testați [43]

1.8. Analiza eficienței etanșărilor pneumatice

Garniturile de etanșare sunt elemente esențiale în buna funcționare a componentelor pneumatice. Viteza mare și fiabilitatea, frecarea redusă și durata lungă de funcționare, sunt caracteristicile din ce în ce mai cerute în acționările pneumatice. În cazul actuatorilor pneumatici liniari aceste performanțe sunt influențate de sistemele de ghidare (inelul de ghidare al pistonului și bucușă de ghidare a tijei) și de comportamentul sistemelor de etanșare. În scopul evaluării forțele de

frecare, a eficacității etanșărilor și a durabilității componentelor întregului sistem pneumatic sau a fiecărui element component s-au efectuat cercetări folosind materiale și forme diferite ale garniturilor etanșărilor.

În [103] se prezintă o soluție posibilă pentru cilindrii pneumatici – fabricarea acestora în întregime din materiale polimerice, și elaborarea unor soluții, pentru optimizarea construcției cilindrului, utilizând analiza cu element finit. Acest studiu s-a realizat doar din punct de vedere al proprietăților mecanice.

În vederea creșterii rigidității globale a cilindrului au fost proiectate două variante, o variantă fără coaste de armare și una cu coaste de armare, prezentate în figura 1.26 și s-au studiate folosind analiza cu element finit. Accentul principal punându-se pe verificarea la deformare a corpului cilindrului, din cauza presiunii de lucru asupra pereților cilindrului.



Figura 1.26

Modelul cilindrului pneumatic proiectat [103]

1 – varianta fără coaste de armare; 2 – varianta cu coaste de armare; 3 – tija pistonului

În sistemele de etanșare căldura generată prin frecare este disipată în special în garnitură și tijă, putând atinge nivele semnificative în funcție de cuplul de materiale ales. Luând în considerare faptul că, în comparație cu metalele, materialele polimerice prezintă un coeficient de transfer termic mult mai redus, timpul de disipare al căldurii este mai mare, având ca rezultat o perioadă când pe tijă pot apărea "vârfuri de căldură" ce pot depăși valorile admisibile ale temperaturii pentru materialele polimerice.

1.9. Concluzii

Având în vedere aspectele privind funcționarea etanșărilor cu manșetă din cilindrii pneumatici, se pot evidenția o serie de concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu:

- Materialele polimerice sunt o alternativă de dorit în locul materialelor metalice, în special pentru construirea tijelor, deoarece oferă avantaje reale precum forțe de inerție reduse și rezistență mare la medii agresive;
- În cazul sistemelor de etanșare fără ungere, filmul de material transferat – o caracteristică bine cunoscută în alunecarea uscată a contactului elastomer-polimer – poate fi folosit ca un factor de îmbunătățire a eficienței etanșării;

- Cercetările experimentale au arătat că formarea filmului de material transferat este direct legată de materialul tijei și de temperatura de contact;
- Uzura tijelor din cilindrii pneumatici cu sisteme de etanșare prezintă aspecte particulare din cauza comportamentului materialelor polimerice și a evoluției frecării în timpul curselor de avans și retragere;
- În mișcarea alternantă funcționarea garniturilor prezintă aspecte particulare, în primul rând datorită schimbării periodice a vitezei, de la zero la o valoare maximă, precum și trecerii de la frecarea statică la frecarea dinamică;
- Pentru păstrarea performanțelor mecanice ale garniturii într-o gamă cât mai largă de temperaturi de funcționare, sunt necesare materiale cu o comportare bună atât la temperaturi scăzute, cât și la temperaturi ridicate. Un astfel de material este cauciucul siliconic, justificând utilizarea sa în acționările pneumatice unde se cere o lubrifiere minimă în funcționare;
- Analiza cu element finit poate fi folosită pentru stabilirea distribuției tensiunilor mecanice în cilindrii pneumatici permițând în acest fel optimizarea proiectării acestora. Referitor la comportamentul termic al etanșării și al eficienței acesteia rezultatele sunt modeste datorită complexității fenomenelor implicate, modelarea acestora necesitând multiple ipoteze simplificatoare.
- Informațiile despre comportamentul sistemelor de etanșare de la cilindrii pneumatici cu tije din materiale polimerice și garnituri din cauciuc, cu funcționare complet uscată, lipsesc din literatura de specialitate.

1.10. Obiectivele tezei

Teza urmărește investigarea următoarelor aspecte ale funcționării cilindrilor pneumatici cu tije din materiale polimerice, funcționând în regim de frecare uscată:

- tribologia etanșării:
 - evoluția forței de frecare;
 - uzura elementelor de etanșare: pierdere de material și degradarea suprafețelor;
 - regimul termic al etanșării: evoluția temperaturii în etanșare;
 - eficiența etanșării: evoluția pierderilor de presiune prin etanșare.

Pe baza rezultatelor obținute în urma analizei se propune o metodă de optimizare a funcționării etanșării, bazată pe un model realizat cu ajutorul rețelelor neurale.

CAPITOLUL 2

MATERIALE ȘI METODE EXPERIMENTALE

2.1. Materiale utilizate

Materialele polimerice sunt materiale cu pronunțate calități reologice. În schema generală ce reprezintă proprietățile corpurilor reale [17] ele intră în zona corpurilor vâsco-elasto-plastice cu caracter predominant vâsco-elastic, figura 2.1.

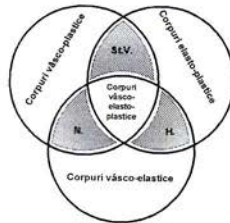


Figura 2.1

Clasificarea corpurilor reale

N. - fluidul ideal (al lui Newton); *H.* - elasticul ideal (al lui Hooke); *St.V.* - plasticul ideal (al lui St. Venant).

Dat fiind faptul că temperatura este unul din factorii externi care influențează proprietățile în orice condiții de exploatare, criteriul de clasificare ales este **stabilitatea termică**, înțelegând prin aceasta capacitatea materialului de a-și păstra structura și proprietățile timp îndelungat la o temperatură dată.

Este cunoscut că principala consecință a structurii amorfe este faptul că materialele respective nu au o temperatură definită de topire - solidificare, trecerea către starea lichidă la încălzire făcându-se treptat într-un interval de temperatură. La polimeri, ca și în cazul sticlelor, există o **temperatură T de tranziție sticloasă (vitroasă)** sub care se comportă, din punct de vedere mecanic, ca solidele cristaline și o **temperatură de curgere T** deasupra căreia materialul se comporta ca un lichid vâscos, figura 2.5 [97].

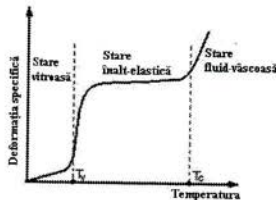


Figura 2.5

Curba termo-mecanică a unui polimer

În tabelul 2.2 se prezintă o centralizare a caracteristicilor fizico-dimensionale ale materialelor testate.

Tab. 2.2. Materiale testate și caracteristici

Tije		Garnituri	
Material	Dimensiuni	Material	Dimensiuni
PA	D=8mm L=250mm	Cauciuc siliconic	<ul style="list-style-type: none"> • Diametrul exterior: D=15mm • Diametrul interior: d=8mm • Lățimea garniturii: b=5mm
POM			
PEEK			

2.2. Standuri și echipamente utilizate pentru diferite încercări experimentale

În scopul cercetării comportamentului tribologic al etanșărilor elastomerice în condiții de funcționare complet uscate, au fost realizate experimente pe standuri proiectate în acest scop, ce simulează condițiile reale de funcționare ale etanșării. Scopul urmărit este de a evalua starea de tensiuni și presiunea de contact, precum și forța de frecare dintre suprafețele în mișcare relativă, folosind diferite materiale și forme pentru garniturile de etanșare.

2.3. Stand pentru studiul comportării tribologice și a eficienței etanșărilor cu manșetă elastomerică pe tijă polimerică pentru cilindrii pneumatici

Standul proiectat și realizat în vederea desfășurării prezentului studiu este prezentat în figura 2.27.

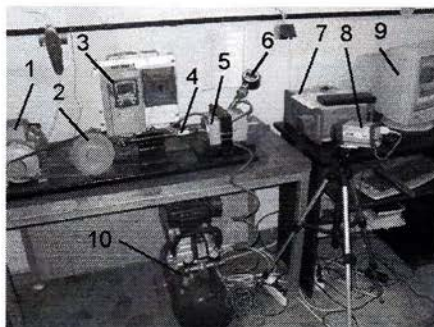


Figura 2.27

Standul experimental

*1-motor electric; 2-mecanism excentric; 3-variator electronic de turație; 4-senzor de forță;
5-incinta presurizată; 6-manometru digital; 7-tensometru digital DMC Plus; 8-camera termografică; 9-calculator electronic; 10-compresor pneumatic*

Incinta presurizată este prevăzută cu etanșări la ambele capete, permițând studierea simultană a comportării a două cuple manșetă-tijă. Această soluție constructivă oferă un grad ridicat de precizie a măsurătorilor efectuate pe cupla manșeta-tijă, rezultatele obținute la o testare fiind dublate.

Ca **sursă de aer** a fost utilizat un compresor industrial mono-cilindru, cu presostat reglabil și filtru de aer.

Sistemul de acționare al tijeii este format dintr-un mecanism bielă-manivelă, o transmisie prin curea trapezoidală și un motor electric asincron alimentat de la un variator de frecvență. Sistemul permite, prin modificarea turației motorului electric, modificarea vitezei mișcării rectilinii alternative a tijeii în incinta presurizată. Transmisia prin curea are rol de protecție, permițând patinarea în cazul unor suprasarcini accidentale.

Mecanismul bielă-manivelă acționează tija cu o cursă de 50 mm, simulând mișcarea rectilinie alternativă a unei tije în condiții reale de funcționare.

Pentru **aprecierea eficienței etanșării** a fost aleasă metoda măsurării ratei de scădere a presiunii, folosind un manometru digital conectat la incinta presurizată și un cronometru electronic.

Forța de frecare generată între tijă și cele două manșete elastice a fost monitorizată în timp real și înregistrată cu ajutorul unui traductor tensometric rezistiv, a unui amplificator de semnal DMC Plus – Hottinger și a unui calculator electronic.

Câmpurile termice dezvoltate în etanșări în timpul funcționării au fost monitorizate și înregistrate cu o cameră termografică Flir A320, conectată la un calculator electronic.

Pentru verificarea capacității instalației proiectate de a simula mișcarea rectilinie alternativă a tijeii, în aceleași condiții ca într-un cilindru pneumatic real, au fost analizate distribuțiile de viteze și accelerații în tijă, corespunzătoare diferitelor viteze de rotație ale axului motorului electric. În acest scop a fost modelat sistemul de acționare cu excentric folosind pachetul software Working Model 2D, figura 2.28.

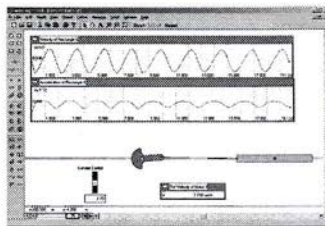


Figura 2.28

Modelarea mecanismului de acționare al tijeii

Standul proiectat și executat permite controlul următorilor parametri:

- viteza tijeii
- presiunea de lucru
- materialul tijeii

Comparativ cu cele descrise în literatură, există și posibilitatea înregistrării evoluției câmpurilor termice în etanșare, element esențial pentru analiza comportării materialelor polimerice

2.4. Metodologia de cercetare experimentală

Pe parcursul testelor efectuate, urmărind comportarea tribologică și eficiența etanșării, au fost monitorizați următorii parametri:

Parametri tribologici:

- forța de frecare în etanșare;
- evoluția temperaturii în zona de contact tijă-garnitură;
- uzura tijeii și a garniturilor;
- modificarea suprafețelor în contact.

Parametri de eficiență a etanșării:

- evoluția ratei de scădere a presiunii în incinta presurizată

Având în vedere caracteristicile materialelor alese, în special regimurile termice de lucru recomandate de producător, a fost necesară efectuarea unor teste preliminare în vederea stabilirii condițiilor de testare și a programului de lucru.

Luând în considerare că nu toți parametrii funcționali ce pot fi modificați pe instalația proiectată au același grad de influență asupra mărimilor măsurate, a fost necesară stabilirea celor mai importanți, evitându-se în acest mod acumularea de date cu semnificație minoră.

Ținând cont că informațiile despre comportarea cuplei polimer-elastomer în mișcare rectilinie alternativă fără ungere sunt minime [155,122] singura posibilitate de investigare a fost utilizarea unei rețele neuronale [6].

2.4.1. Rețele neurale – generalități

Rețelele neurale artificiale sunt sisteme de calcul non-algoritmice capabile să identifice și să reproducă relațiile complexe dintre un set de intrări și ieșiri, prin realizarea unor conexiuni similare celor din creierul uman. Pornind de la perechi de date intrare-ieșire cunoscute, rețeaua stabilește o echivalență intrare-ieșire optimă, echivalență ce poate fi apoi utilizată pentru determinarea valorii de ieșire pentru o valoare de intrare dată (predicție) sau pentru investigarea influențelor intrărilor asupra ieșirilor (analiză).

O rețea neurală artificială este formată dintr-un număr de unități de calcul elementare – neuroni (sau "perceptroni") interconectați în diferite arhitecturi, funcție de scopul în care este utilizată. Cea mai generală arhitectură este "feed forward MLP" (multi layer perceptron – neuroni organizați pe straturi multiple cu informația circulând dinspre intrare spre ieșire), figura 2.30.

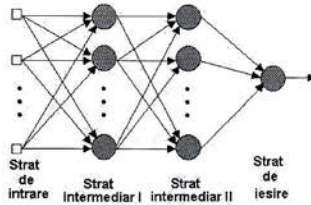


Figura 2.30

Arhitectura generală a rețelelor neuronale

Fiecare neuron primește informații de la cei anteriori, le prelucrează pe baza unei funcții de transfer specifice și le transmite mai departe, către neuronii din stratul următor, figura 2.31.

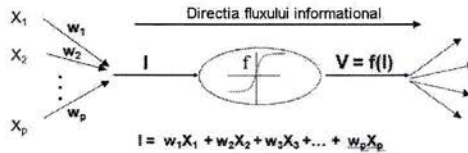


Figura 2.31

x_i - neuroni anteriori; w_i - ponderi sinaptice; I - intrare; f - funcție de transfer; V - ieșire

Funcția de transfer poate avea mai multe expresii, cea mai utilizată fiind funcția sigmoidă, ecuația 2.4.

$$y_{hid}(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad (2.4)$$

Utilizarea unei rețele neuronale presupune parcurgerea în prealabil a următoarelor etape:

- alegerea și optimizarea arhitecturii rețelei;
- implementarea perechilor de date intrare-ieșire cunoscute;
- antrenarea rețelei;
- validarea rețelei.

2.4.2. Identificarea parametrilor funcționali cu impact maxim asupra parametrilor tribologici și de eficiență

Pentru stabilirea ierarhiei influențelor parametrilor asupra mărimilor măsurate precum și a valorilor acestora au fost desfășurate o serie de teste preliminare. Rezultatele obținute au fost utilizate pentru antrenarea unei rețele neuronale cu trei intrări și o singură ieșire. Având în vedere că temperatura este principalul parametru ce influențează formarea stratului de material transferat la

contactul dintre un polimer și o suprafață mai dură [60,67,190,] și în același timp reprezintă principala limitare a materialului aceasta a fost ales ca ieșire pentru rețeaua neurală. Caracteristicile rețelei sunt prezentate în tabelul 2.3.

Tab. 2.3. Parametri utilizați pentru rețeaua neurală

Codificare	Parametrul	Poziție	Tip de date
PA6, POM, PEEK	Material tijă	Intrare	Boolean
PL	Presiunea de lucru	Intrare	Real
VT	Viteza tijei	Intrare	Real
T	Temperatura	Ieșire	Real

Utilizând pachetul software EasyNN a fost obținută arhitectura optimizată a rețelei neuronale, figura 2.32.

După antrenare și validare rețeaua neurală este utilizată în două scopuri: stabilirea ierarhiei influențelor intrărilor și stabilirea valorilor limită de intrare astfel încât temperatura să nu depășească limitele de funcționare impuse de producător.

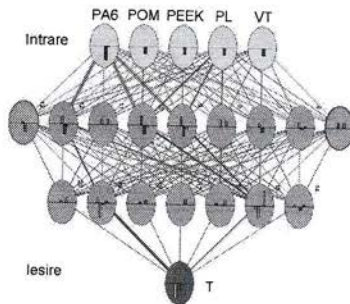


Figura 2.32

Arhitectura rețelei neuronale utilizate pentru analiza etanșării

EasyNN oferă două posibilități de ierarhizare a influențelor intrărilor asupra ieșirilor, [123]. Prima, analiza importanței, se bazează pe compararea sumelor ponderilor sinaptice ce pornesc de la fiecare neuron de intrare către primul strat ascuns. Intrarea cu suma de ponderi cu cea mai mare valoare va avea cea mai mare influență asupra ieșirii, figura 2.34.

The first 5 of 5 inputs in descending order.

Column	Input Name	Importance	Relative Importance
4	VT	23.8070	
1	POM	16.5163	
0	PA6	15.5522	
2	PEEK	7.7915	
3	PL	5.3778	

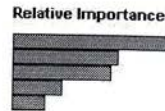


Figura 2.34

Importanța relativă a intrărilor față de ieșire

Cea de-a doua metodă oferită de EayNN, analiza sensibilității, are la bază aprecierea nivelului de variație a ieșirii atunci când fiecare valoare a fiecărei intrări este variată de la minimum la maximum. Se stabilește în acest mod intrarea a cărei modificare are maximum de efect asupra ieșirii, figura 2.35.

The first 5 of 5 Inputs in descending order. Output column 5 T

Column	Input Name	Sensitivity	Relative Sensitivity
4	VT	0.240261388	
1	POM	0.108873476	
2	PEEK	0.100287687	
0	PA6	0.089005627	
3	PL	0.065983679	

Figura 2.35

Sensibilitatea ieșirii față de intrări

2.4.3. Stabilirea limitelor maxime pentru viteza tijei

În urma experimentelor efectuate au fost obținute valorile maxime prezentate în tabelul 2.4

Tabelul 2.4

Material tijă	Limitele termice de lucru [°C] Intervale lungi (>10000 ore)	Viteze maxime de lucru [curse/minut]
PA6	85	418
POM	115	365
PEEK	250	472

2.4.4. Stabilirea programului de testare

Pe baza informațiilor furnizate de rețeaua neuronală și a testelor preliminare efectuate, a fost stabilit programul de testare prezentat în tabelul 2.5

Tab. 2.5. Materiale și condiții de testare

Material tijă	Material garnitură	Strângerea [mm]	Viteze de lucru [curse/minut]	Presiunea [bar]	Parametri monitorizați în etanșare
PA6	Cauciuc siliconic	0.15	105;157;210;264; 315; 365; 418	6...8	Temperatura Forța de frecare Uzura Eficacitatea
POM			105;157;210;264; 315; 365		
PEEK			105;157;210;264; 315;365;418; 472		

CAPITOLUL 3

REZULTATE EXPERIMENTALE

În cazul funcționării sistemului de etanșare tijă polimerică-garnitură din cauciuc în regim uscat, se remarcă apariția unui strat de material transferat dinspre garnitură pe tijă. Datele achiziționate au făcut posibilă analiza comportării sistemului de etanșare pentru diferite regimuri de viteză.

3.1. Analiza comportării tribologice

Pentru toate regimurile de viteză și materialele studiate s-a observat o variație a forței de frecare de la valori maxime la începutul testelor spre valori minime la sfârșitul acestora, cu amplificări spre finalul perioadei de funcționare.

Se observă o comportare uniformă a tribosistemului tijă garnitură, în toată gama de viteze studiată. La începutul funcționării forțele de frecare dezvoltate în etanșare sunt foarte mari, ca urmare temperaturile locale în zonele de contact cresc rapid atingând valori critice în intervale extrem de scurte de timp, de circa 1×10^{-13} 1×10^{-1} ore, observație coerentă și cu [108]. Datorită capacității reduse de transfer termic a materialelor tijelor și garniturilor, local se depășește temperatura de înmuiere și se inițiază transferul materialului garniturii către tijă [25]. În aceste momente, predomină fenomenele de adeziune și stick-slip.

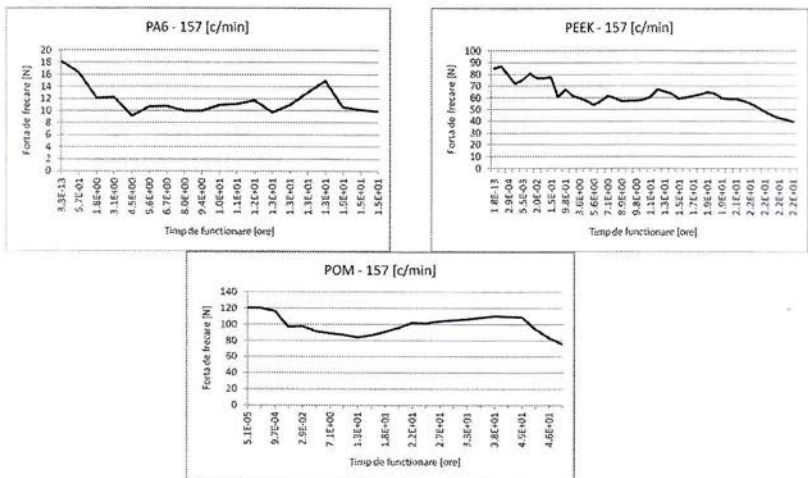


Figura 3.1

Variația forțelor de frecare pentru materialele testate în domeniul vitezelor mici

După un interval de circa 1×10^{-3}1 ore de funcționare regimul termic se stabilizează, pelicula de material transferat se dezvoltă pe toată suprafața de contact tijă-garnitură și forțele de frecare încep să scadă. În această perioadă de funcționare forța de frecare prezintă variații datorită modificărilor apărute în pelicula de material transferat, care joacă rolul unui lubrifiant vâcos.

Spre sfârșitul perioadei de funcționare, datorită uzurii și a modificărilor dimensionale, pelicula își pierde proprietățile lubrifiante remarcându-se creșteri ale forțelor de frecare urmate de scăderi rapide corespunzătoare cedării etanșării.

În figura 3.4 se prezintă graficele de variație ale forțelor de frecare, corespunzătoare celor trei materiale testate, în funcție de viteza de alunecare.

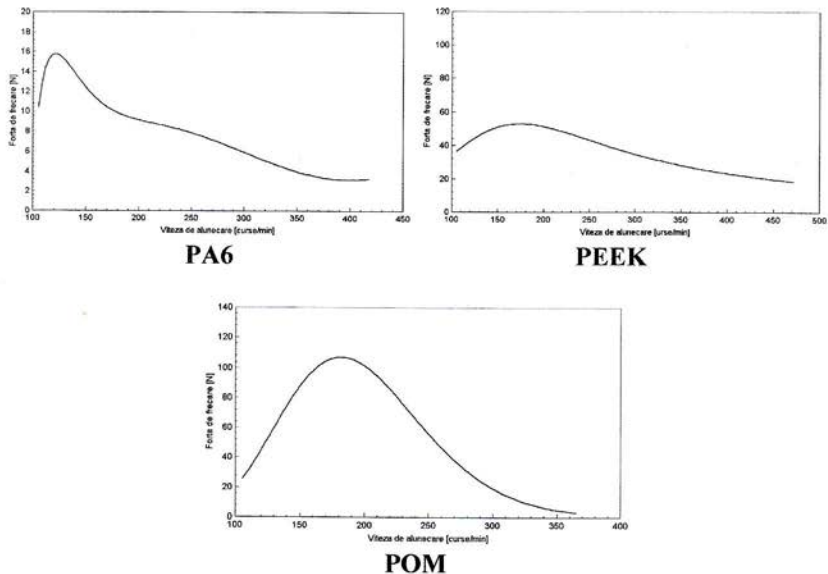


Figura 3.4
*Variația forțelor de frecare pentru materialele testate
 în funcție de viteza de alunecare*

Analizând figura 3.4, se poate observa că forțele de frecare minime sunt oferite de tije din PA6, cu dezavantajul unei distribuții puternic neliniare în domeniul vitezelor testate. În cazul tijelor din PEEK, se obține cea mai mică variație a forțelor de frecare (între cca. 20 - 60 N) pe tot domeniul de viteze. POM-ul prezintă variații mari ale forțelor de frecare, oferind valori minime spre limita superioară a domeniului de viteze.

266.602



Pentru analiza intimității fenomenelor au fost folosite metode bazate pe microscopie optică și reconstrucție tridimensională.

Sunt vizibile în figura 3.5 aspecte specifice fenomenului de stick-slip [40,134], constând în urme de material transferat dispuse periodic și uniform pe lungimea de alunecare.

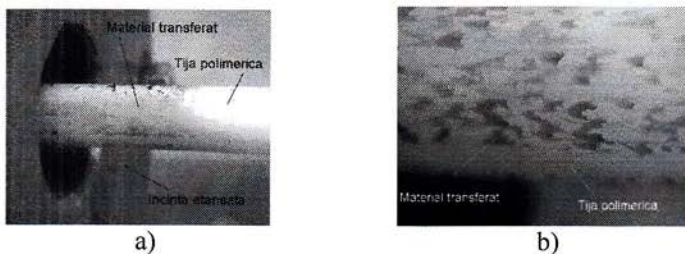


Figura 3.5

*Faza inițială de formare a stratului de material transferat
dinspre garnitură pe tija polimerică*

Funcționarea la viteze de translație ridicate poate conduce la deteriorarea rapidă a suprafețelor tijelor, prin uzură de adeziune [63]. Fenomenul este vizibil în cazul tijelor din POM, material performanțele termice cele mai scăzute, dintre cele testate.

La macro-scală, funcționarea tijelor din POM în regim preponderent de uzură de adeziune are ca efect micșorarea diametrului acestora, figura 3.6.

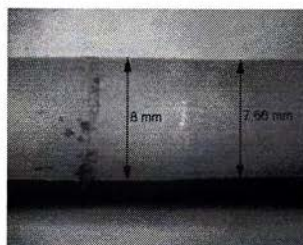


Figura 3.6

Pierderea de diametru datorată uzurii în cazul POM-ului

Investigarea la scara microscopică [29] a suprafeței tijelor din POM a fost efectuată prin metode optice, cele cu contact riscând să deterioreze zona investigată [45] a demonstrat că modificările geometrice se datorează adeziunii și stick-slipului, figura 3.7,*a*. Prelucrarea digitală a imaginilor obținute cu ajutorul software-urilor dedicate [64,125,157,187,178] permite evidențierea modificărilor precum și aprecierea dimensiunii acestora, figura 3.7,*b,c*.

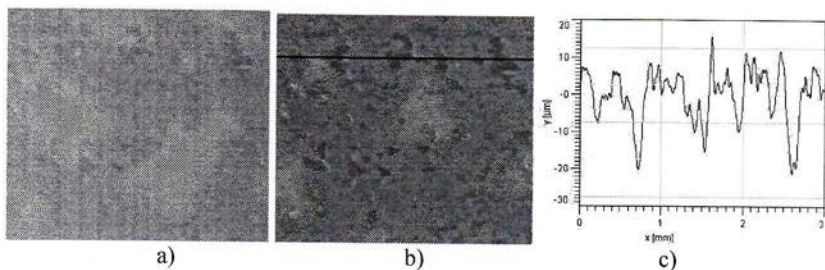


Figura 3.7

Modificări geometrice pe suprafața tije din POM survenite în cazul funcționării în regim de adeziune

a) aspectul original al suprafeței tije; b) prelucrare digitală pentru evidențierea urmelor de uzură; c) profilul transversal prin zona afectată de uzura adezivă

În figura 3.8 este prezentată o reconstrucția 3D [24,179,184] care a permis o mai bună observare a suprafeței tije din POM unde sunt vizibile urmele de uzură adezivă și stick-slip.

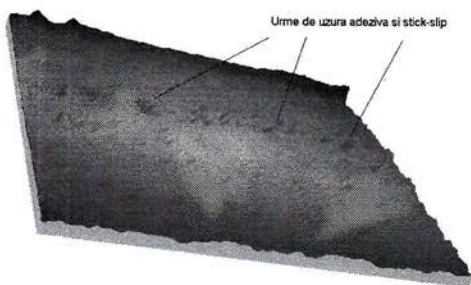


Figura 3.8

Reconstrucția 3D a suprafeței tije din POM, cu modificări geometrice

În cazul tijelor de PA6 și PEEK, materiale cu performanțe termice superioare, nu s-au observat modificări geometrice ale suprafețelor în perioada de inițiere a transferului de material.

Pe parcursul funcționării etanșării transferul de material continuă, având ca rezultat formarea, după circa 1...2 ore, a unei pelicule continue pe suprafața tije, figura 3.9. Urmărind evoluția forțelor de frecare se observă o scădere a acestora. Asta înseamnă că stratul de material depus pe tijă acționează pe de o parte ca un lubrifiant

[84,91] și, pe de altă parte, ca un agent de etanșare care nivelează prin umplere urmele lăsate pe suprafața tije de procesele de uzură adevzivă, fenomenele de adeziune scăzând în intensitate.



Figura 3.9

Pelicula de material transferat complet formată

În această etapă de funcționare devin preponderente procesele de uzură abrazivă [15], susținute de existența în masa de cauciuc a garniturii a unor particule microscopice de silică, material folosit ca adaos în rețeta cauciucului siliconic [117], figura 3.10.

După cum se poate observa în figura 3.10,c, particulele de silică au o geometrie neregulată, cu muchii ascuțite și dimensiuni cuprinse aproximativ între 3 μm și 17 μm . Pe parcursul transferului de material dinspre garnitură pe tijă ajung și particule de silică, acestea putând influența funcționarea tribosistemului în mai multe moduri. Primul caz este atunci când particulele sunt "înglobate" parțial în stratul de material transferat aflat în formare dar depășesc grosimea acestuia. În această situație, particulele dure de silică acționează abraziv asupra tije, lăsând urme liniare paralele cu direcția de alunecare și "agață" pelicula de material transferat, insuficient dezvoltată, provocând rupturi în aceasta, figura 3.11.



Figura 3.10

Distribuția particulelor de silică în masa de cauciuc a garniturii de etanșare
a) secțiune transversală prin garnitura de etanșare; b) aglomerări de particule; c) geometria particulelor de silică

Se pot remarca în figura 3.11,*a* urmele abrazive lăsate de particulele de silică pe suprafața tijei. În reconstrucția 3D, prezentată în figura 3.11,*b*, se observă pliul format de pelicula de material transferat în urma rupei parțiale și a deplasării.

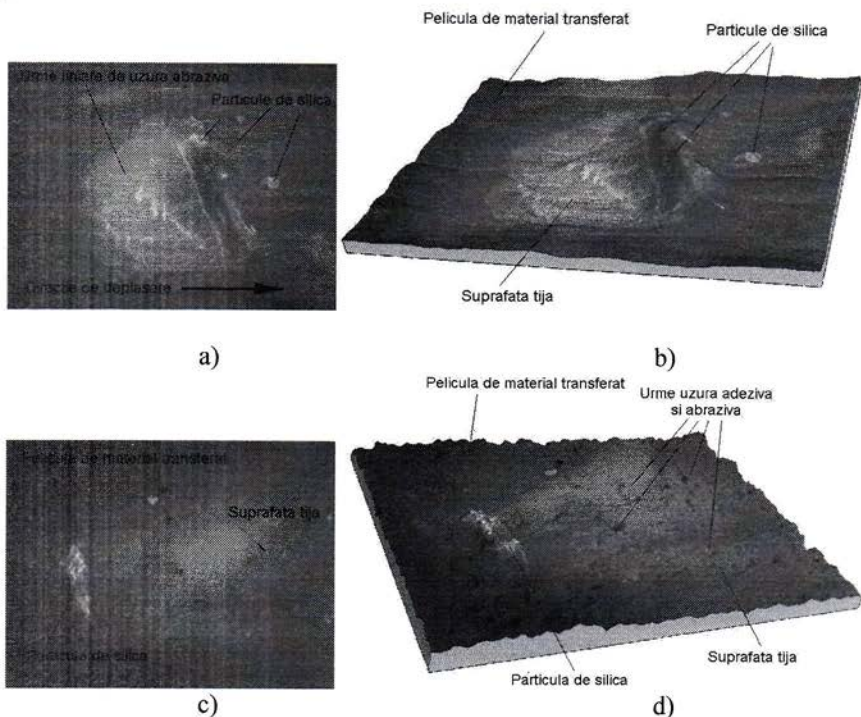


Figura 3.11
Particule înglobate parțial în pelicula de material transferat
 PA6: a) ruptura în pelicula; b) reconstrucția 3D
 POM: c) ruptura în pelicula; d) reconstrucția 3D

Pe parcursul funcționării etanșării stratul de material depus continuă să se dezvolte, ajungând la un moment dat să înglobeze total particulele de silică. Acestea sunt acum complet izolate și astfel nu afectează suprafața tijei. Situația este exemplificată în figura 3.12, care reprezintă un astfel de caz. Acesta este perioada de funcționare în care s-au obținut cele mai mici valori pentru forțele de frecare. Fenomenul de adeziune este minim, pelicula de material depus acționând ca un

amortizor elastic. Abraziunea este de asemenea minimă, pelicula înglobând complet particulele dure iar etanșarea intră într-o perioadă de funcționare stabilizată, în prezența unui strat continuu de material depus pe tijă.

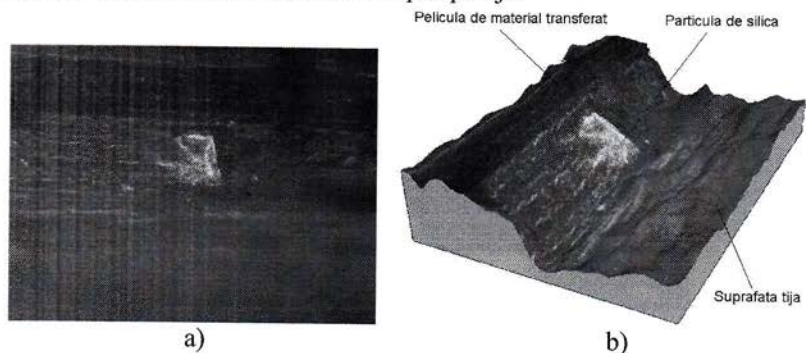


Figura 3.12
Particula înglobată complet în pelicula de material transferat
 a) imagine optică; b) reconstrucția 3D

În etapa stabilizată de funcționare, datorită regimului termic și mecanic la care este supus stratul de material transferat, apare un fenomen de "supravulcanizare" la nivelul peliculei [18,60,96] având ca rezultat generarea unor fragmente de cauciuc durificate ce se desprind, se aglomerează și, rămânând în zona de contact, intensifică fenomenele de abraziune [53]. Centrele de aglomerare sunt constituite atât de particulele de silica înglobate în peliculă cât și de noile particule generate. Aglomerările nou formate depășesc înălțimea peliculei, generând noi rupturi și abraziuni pe suprafața tijei [100], figura 3.13, regăsite în creșterile forței de frecare înregistrate pe parcursul experimentelor în această perioadă de funcționare.

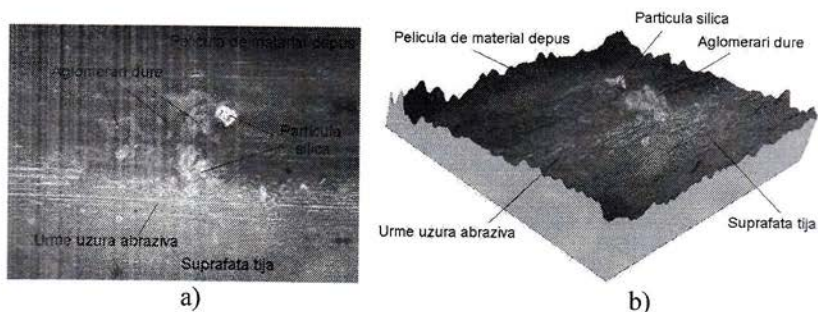


Figura 3.13
Aglomerări de particule dure în pelicula de material transferat
 a) imagine optică; b) reconstrucția 3D

Acțiunile abrazive ale aglomerărilor de particule nou formate asupra suprafeței tijei sunt facilitate de forma neregulată, cu margini ascuțite a acestora, care le permite să "agațe" și să deplaseze material de pe tijă, figura 3.14.

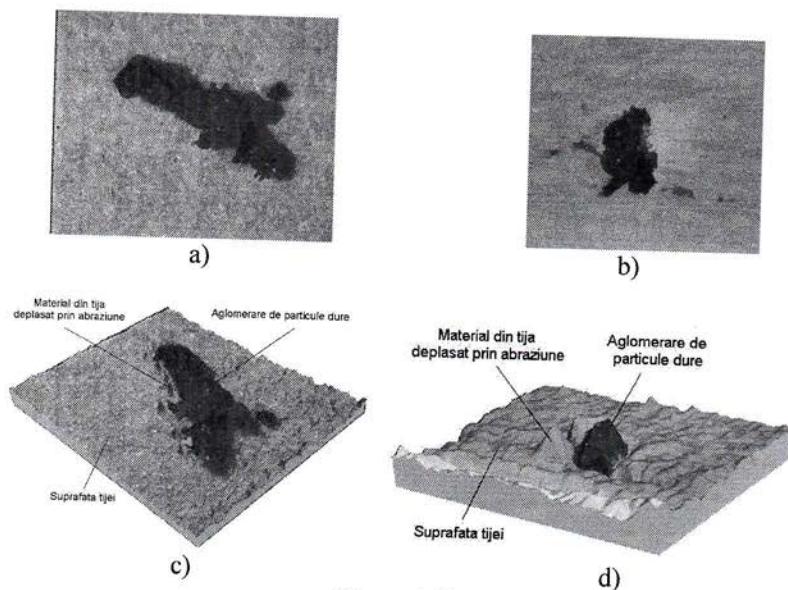


Figura 3.14
 Aglomerare de particule dure acționând abraziv asupra tijei
 a, b) imagini optice; c, d) reconstrucții 3D

În momentul în care aglomerările de particule ating dimensiuni mult mai mari decât grosimea peliculei sunt evacuate prin efectul mecanic de "curățire" al buzei garniturii de etanșare, acumulându-se în spațiul din spatele acesteia, figura 3.15.

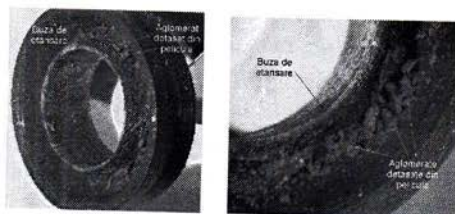


Figura 3.15
 Materiale de uzură depuse pe garnitură

După evacuarea particulelor abrazive pelicula se reface având ca rezultat scăderea forțelor de frecare, vizibilă în graficele prezentate în figurile 3.1 - 3.3. Ciclul se reia, prin amorsarea formării de noi aglomerări, conducând la variații ale forțelor de frecare pe perioada de funcționare stabilizată a etanșării.

Spre finalul duratei de funcționare stratul de material transferat își pierde total elasticitatea, ceea ce are ca rezultat dezvoltarea de rupturi largi, cu îndepărtare de material, figura 3.16.

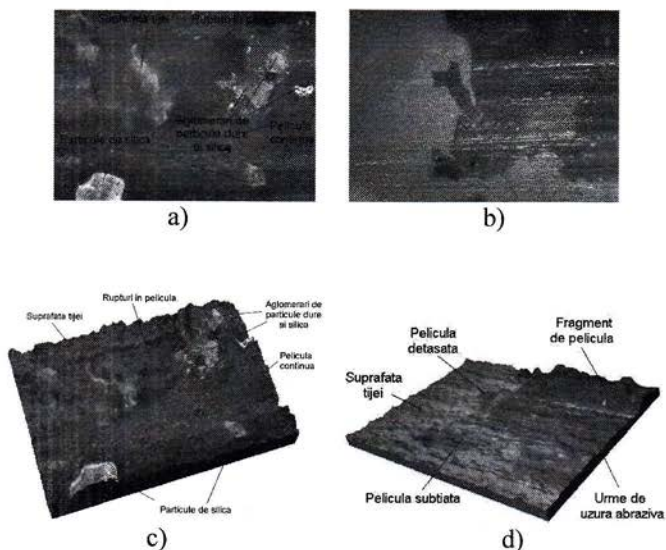


Figura 3.16

*Evoluția stratului de material transferat în etapa finală de funcționare a etanșării
a.b) imagini optice: c.d) reconstrucții 3D*

În figura 3.16,a,c sunt vizibile aglomerări de dimensiuni mari, formate din particule dure detașate din pelicula de material transferat și din particule de silică. Acestea generează rupturi largi în pelicula ajungând până la suprafața țijeii, imposibil de reparat datorită elasticității acesteia aflată în continuă scădere.

Se observă, în figura 3.16,b,d, cum porțiuni largi de peliculă se detașează, lăsând suprafața țijeii fără protecție împotriva acțiunilor abrazive exercitate de particulele dure [54]. Pelicula se subțiază vizibil, rămânând doar fragmente separate cu înălțime suficientă pentru asigurarea protecției țijeii, figura 3.16,d.

Spre finalul duratei de funcționare stratul de material transferat își pierde total elasticitatea conducând la rupturi largi cu îndepărtare de material și astfel etanșarea este compromisă. Ca urmare se remarcă o creștere semnificativă a forțelor

Se observă în figura 3.18,*a* că, pentru toate materialele polimerice testate, garniturile prezintă o pierdere de masă. În cazul tijelor, comportarea este diferită: dacă la POM se remarcă o pierdere de masă, pentru PA6 și PEEK pierderea de masă este negativă, adică tijele uzate au masa mai mare decât cele noi.

În vederea investigării comportării diferite a tijelor din POM - la care se remarcă o pierdere de masă - față de cea a tijelor din PA6 și PEEK - unde masa tijelor uzate a crescut comparativ cu valorile anterioare testării - a fost folosită analiza SEM și spectrografia cu raze X. În figura 3.19 și 3.20 sunt prezentate rezultatele analizei stratului superficial al tijelor înainte și după uzură, pentru materialele testate.

Se observă că POM-ul a reținut cea mai mică cantitate de material transferat dinspre garnitură, vizibil prin conținutul de siliciu. În cazul tijelor din PA6 și PEEK cantitățile sunt mult mai mari, figura 3.20.

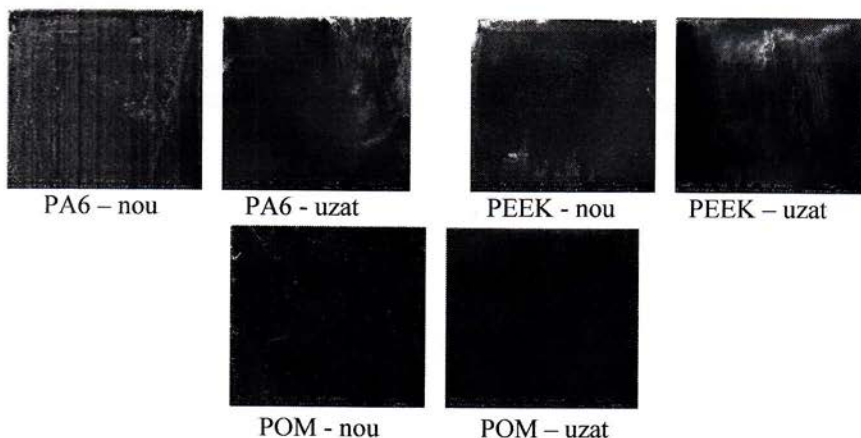


Figura 3.19
Imagini SEM pentru materialele testate

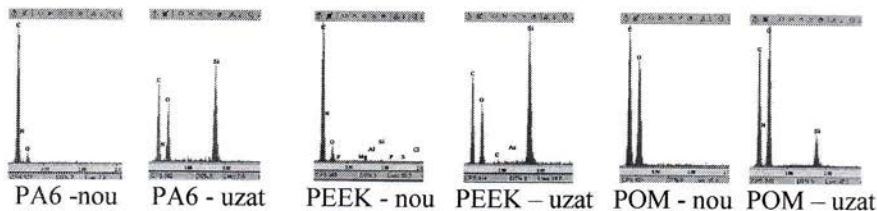


Figura 3.20
Spectrograme EDX pentru materialele testate

de frecare, dar această creștere nu depășește totuși valorile inițiale. Acest fapt este cauzat de scăderea forței de strângere a garniturii pe tijă datorită uzurii care are ca rezultat distrugerea buzei de etanșare a garniturii și, eventual, micșorarea diametrului tijei, figura 3.17.

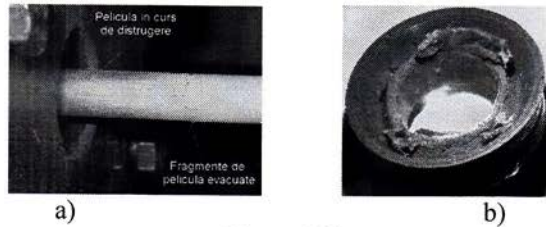


Figura 3.17

Distrugeri în sistemul de etanșare

a) distrugerea peliculei de material transferat; b) distrugerea garniturii de etanșare

Analiza evoluției uzurii pentru tijă și garnitură, calculată ca pierdere de masă, a demonstrat comportamente diferite pentru materialele studiate, figura 3.18.

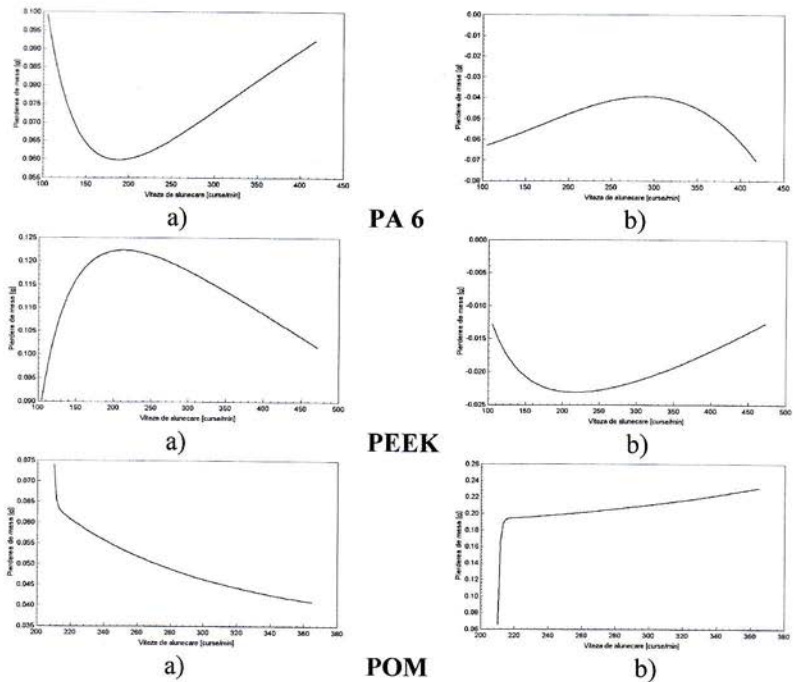


Figura 3.18

Evoluția uzurii pentru elementele sistemului de etanșare: a) garnitura; b) tija

Din cele prezentate mai sus se pot concluziona următoarele:

- procesele tribologice dezvoltate în sistemul de etanșare format din tijă polimerică și garnitură din cauciuc siliconic, lucrând în absența oricărui lubrifiant, sunt puternic influențate de existența stratului de material transferat dinspre garnitură pe tijă;

- stratul de material transferat, odată format, se comportă ca un lubrifiant modificând favorabil regimul de frecare din etanșare;

- în funcție de materialul tije și viteza de alunecare forțele de frecare prezintă evoluții specifice, păstrând o alură comună: valori ridicate în domeniul vitezelor mici, când condițiile de formare a peliculei de material sunt mai nefavorabile și valori scăzute în domeniul vitezelor mari, unde pelicula se poate forma în timp scurt, modificând adecvat regimul de frecare din etanșare.

3.2. Analiza regimului termic

Monitorizarea testelor efectuate cu camera de termoviziunea a permis urmărirea evoluției regimului termic în etanșarea formată din garnitură de cauciuc pe tijă din material polimeric, acesta având un rol esențial în funcționarea etanșării [90,162].

S-a urmărit stabilirea condițiilor termice de apariție și dezvoltare a stratului de material depus pe tijă. Astfel este prezentată evoluția temperaturilor în zona de contact în cazul vitezelor de alunecare mici, medii și maxime admisibile.

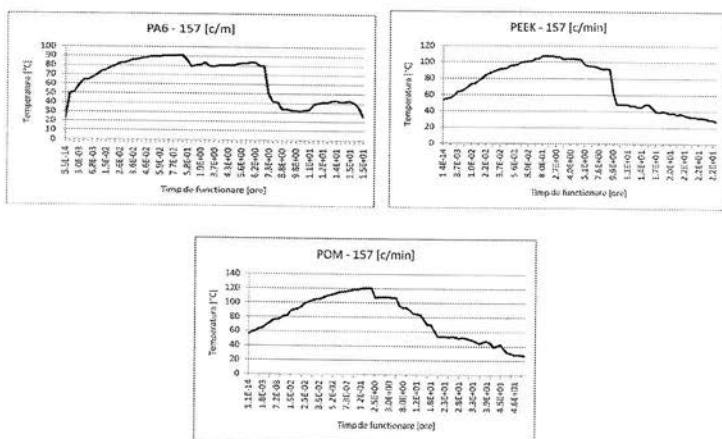


Figura 3.21
Evoluția temperaturilor în etanșare în domeniul vitezelor mici

Se observă în figura 3.21 că, la începutul funcționării, temperatura crește rapid într-un interval foarte scurt de timp, cuprins între 1×10^{-14} 1×10^{-1} ore de la pornire. Această creștere se datorează, după cum s-a arătat la paragraful anterior, regimului de frecare uscată care generează cantități importante de energie termică. Ca urmare a fenomenelor de adeziune, începe transferul de material dinspre garnitură spre tijă având ca rezultat dezvoltarea unui strat pe suprafața acesteia. După un interval de timp de circa 1×10^{-3} 2 ore pelicula devine continuă și, acționând ca un lubrifiant, are ca rezultat scăderea forțelor de frecare. În această situație, etanșarea trece într-un regim de lucru stabilizat, aceasta fiind vizibilă în figura 3.21, ca o modificare spre scădere rapidă a valorilor temperaturii.

Aspectul evoluției temperaturilor se păstrează și în domeniul vitezelor medii, figura 3.22.

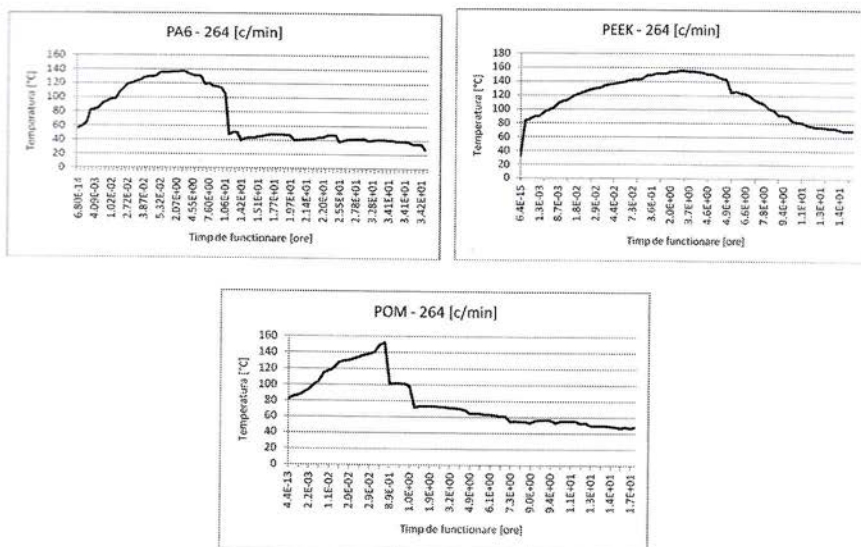


Figura 3.22

Evoluția temperaturilor în etanșare în domeniul vitezelor medii

În cazul vitezelor maxim admisibile, figura 3.23, materialele testate prezintă variații termice asemănătoare, cu intervalul de creștere a temperaturilor mai mic ca în cazul vitezelor mici și medii, de circa 1×10^{-13} 1×10^{-2} , excepție făcând PEEK-ul, unde timpul de formare a stratului transferat poate atinge 1 oră.

Analizând modul de variație al temperaturilor, prezentat în figurile 3.21-3.23, se observă că formarea completă a stratului de material transferat, vizibil prin

scăderea bruscă a valorilor temperaturilor, este influențată atât de regimul termic cât și de regimul mecanic de funcționare al etanșării.

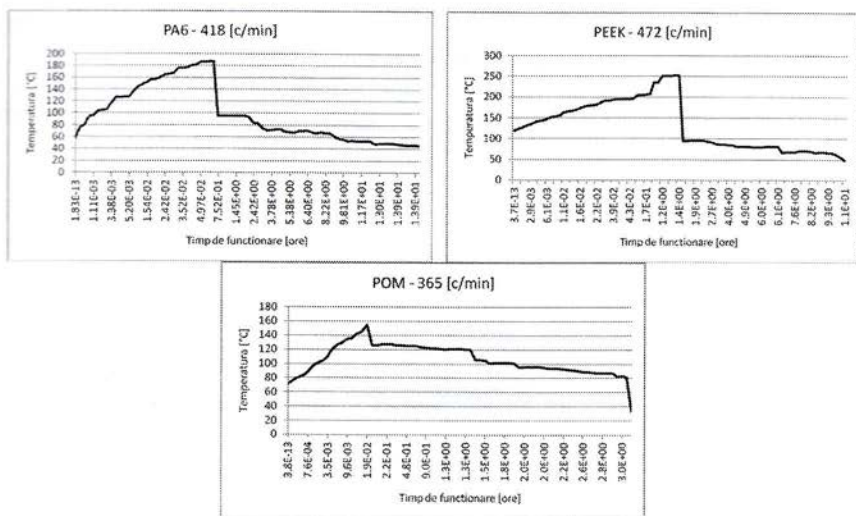


Figura 3.23
Evoluția temperaturilor în etanșare pentru vitezelor maxime admisibile

Variația timpului de formare al peliculei pentru materialele studiate, apreciat ca timpul scurs de la începutul testului până la începerea scăderii temperaturii în etanșare, este prezentat în figura 3.24.

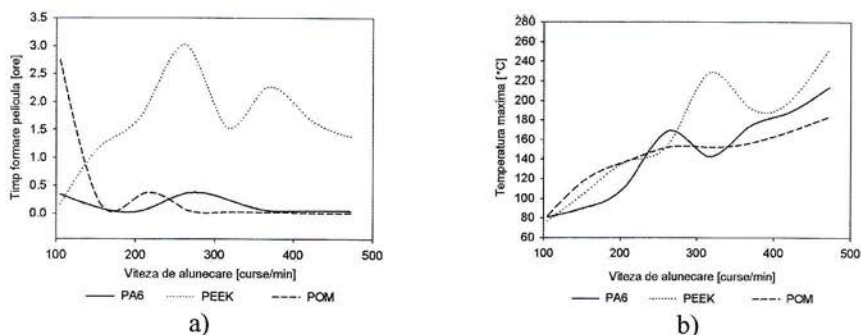
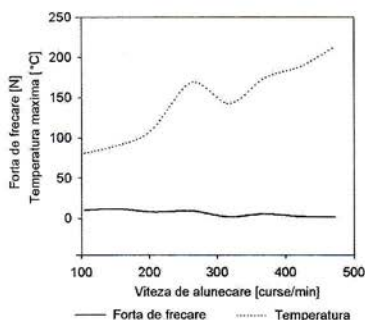


Figura 3.24
a) variația timpului de formare a peliculei; b) evoluția temperaturilor maxime

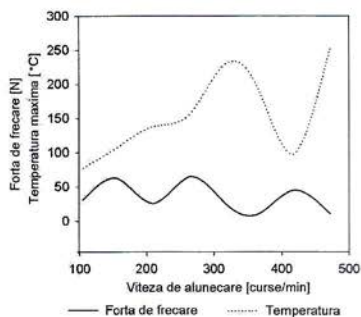
Analizând figura 3.24,*a* se poate observa că PEEK-ul este cel mai sensibil material la variația vitezei de alunecare, diferența dintre valorile timpului de formare al peliculei la viteze medii fiind mult mai mare decât cel corespunzător vitezelor mici și mari.

Este evident, comparând variațiile din figura 3.24,*a* și 3.24,*b*, că domeniile de viteză corespunzătoare valorilor minime ale timpului de formare a peliculei de material transferat coincid cu cele corespunzătoare valorilor maxime ale temperaturilor. Aceasta este o dovadă clară a faptului că determinantă pentru evoluția peliculei de material transferat este temperatura din zona contactului.

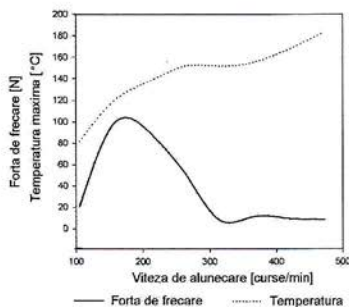
În figura 3.25 sunt prezentate evoluțiile comparative ale forțelor medii de frecare și a temperaturilor maxime din etanșare. Se observă tendințele opuse de variație ale temperaturilor și forțelor de frecare, valabile pentru toate materialele testate. În toate domeniile de viteză în care temperaturile au valori ridicate forțele de frecare prezintă valori scăzute. Acest fapt este explicabil prin formarea și dezvoltarea optimă a stratului de material depus în zona temperaturilor ridicate, ceea ce conduce la auto-lubrifierea etanșării și scăderea forțelor de frecare.



PA6



PEEK



POM

Figura 3.25

Evoluția comparativă a temperaturilor maxime și a forțelor de frecare medii în etanșare

Prin investigarea cu ajutorul termografiei, a fost posibilă evidențierea dinamicii regimului termic în etanșare, pe parcursul funcționării acesteia.

Din punct de vedere termic, suprafața tijei poate fi împărțită, pe lungime, în trei zone: o zonă principală, direct influențată de contactul cu garnitura de etanșare - pe care se generează căldură prin frecare - o zonă de tranziție, prin care fluxul termic trece spre cea de-a treia zonă, secundară, formată din restul tijei - unde căldura ajunge prin transfer termic. Acest fapt este vizibil în figura 3.26,a, unde este reprezentată o termogramă a etanșării în funcționare, înregistrată la $1,5 \times 10^{-2}$ ore de la pornire.

Distribuția temperaturilor pe lungimea tijei este prezentată în figura 3.26,b. Se poate observa delimitarea celor trei zone, cu valorile corespunzătoare ale temperaturii.

Analizând înregistrările termografice la diferite momente de funcționare se poate urmări dinamica regimului termic. În figura 3.26,c este prezentată o termogramă înregistrată în momentul când se atinge temperatura maximă, la $7,6 \times 10^{-2}$ ore de la pornire, iar în figura 3.26,d este prezentată distribuția temperaturilor pe zonele principală și de tranziție.

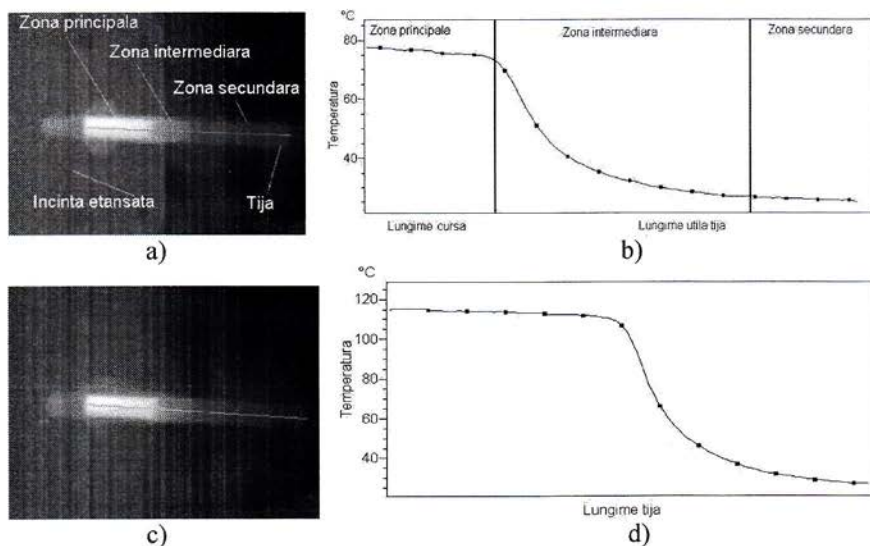


Figura 3.26

Zone influențate termic pe lungimea tijei

a) termograma la $1,5 \times 10^{-2}$ ore de la pornire; b) distribuția temperaturilor pe lungimea tijei; c) termograma la $7,6 \times 10^{-2}$ ore de la pornire; d) distribuția temperaturilor pe lungimea tijei

Se observă din figura 3.26,*b,d* că atingerea valorii maxime a temperaturii suprafeței tijei se obține într-un interval de $6,1 \times 10^{-2}$ ore de la pornire. Aceasta se datorează valorii scăzute a coeficientului de transfer termic al tijei, căldura generată prin frecare acumulându-se doar în zona principală și având ca efect creșterea rapidă a temperaturii. Un alt efect al timpului scurt de creștere a temperaturii este mărirea pantei variației în zona de tranziție, temperatura zonei secundare rămânând neschimbată.

În figura 3.28 este prezentată termograma etanșării în curs de deteriorare, cu scurgeri de fluid.

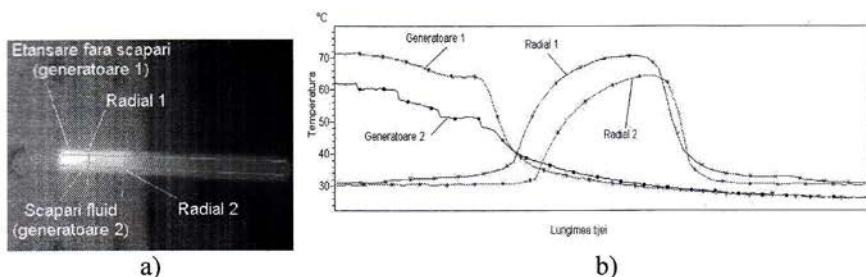


Figura 3.28

Etanșare în curs de deteriorare

a) termograma; b) repartiția temperaturilor pe suprafața tijei

În figura 3.30 este prezentată etanșarea compromisă complet, cu debite de scăpări mult peste limita admisibilă. În acest caz, efectul de răcire al pierderilor de aer conduce la scăderea puternică a temperaturilor în zona activă. Regimul termic pe tijă este dezechilibrat, timpul necesar restabilirii echilibrului termic fiind, datorită coeficientului scăzut de transfer termic al materialului tijei, mult mai mare decât cel necesar răcirii zonei principale de către curenții de aer.

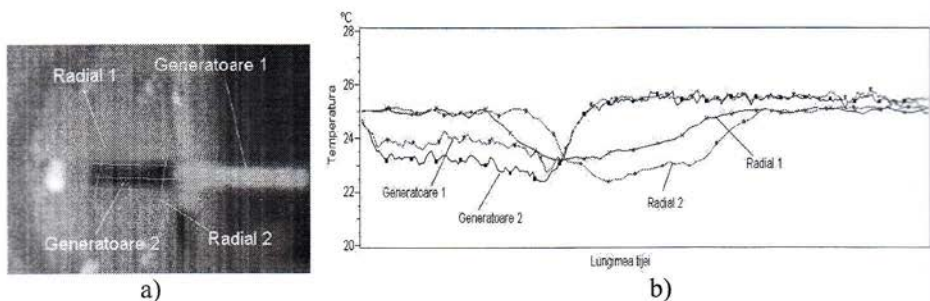


Figura 3.30

Etanșare complet distrusă

a) termograma; b) repartiția temperaturilor pe suprafața tijei

Prin folosirea termografiei a fost posibilă identificarea limitelor de temperatură pentru fiecare material, corespunzătoare domeniului optim de evoluție al peliculei de material depus, tabelul 3.1

Tab. 3.1 Domenii termice de funcționare

Materialul tije	Limitele domeniului termic optim [°C]		Limitele termice recomandate [°C]	
	Maximum	Minimum	Intervale scurte (< 10 ore)	Intervale lungi (> 10000 ore)
PA6	106.8	74.6	160	85
PEEK	190.5	96.8	310	250
POM	117.8	89.4	140	115

În figura 3.31 este prezentată distribuția domeniilor termice pentru materialele studiate. Se observă că pentru PEEK, domeniul optim este situat sub limita de funcționare îndelungată. Ca urmare, asigurarea unui regim termic corespunzător obținerii unei pelicule eficiente nu periclitează integritatea tije. La POM și PA6, limita superioară a domeniului optim ("Optim superior", în figura 3.31) depășește limita admisibilă pentru funcționare îndelungată ("Admisibil lung", în figura 3.31). Pentru a nu periclita integritatea tije, în condițiile beneficierei de avantajele oferite de o peliculă optim dezvoltată, trebuie menținută temperatura de funcționare între valorile termice "Optim inferior" și "Admisibil lung", figura 3.31.

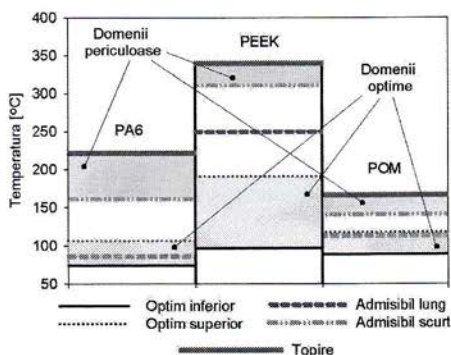


Fig. 3.31

Distribuția limitelor termice pentru materialele studiate

"Optim inferior"; "Optim superior" - limitele domeniului optim de formare a peliculei
 "Admisibil lung" - limita admisibilă de funcționare pentru durate lungi (>5000 ore)
 "Admisibil scurt" - limita admisibilă de funcționare pentru durate scurte (<10 ore)
 "Topire" - limita de topire

În urma celor prezentate, se observă că metoda termoviziunii poate fi utilizată ca metodă de diagnoză a etanșărilor pneumatice cu tije polimerice și garnituri de cauciuc, care funcționează în condiții de frecare uscată. Comparativ cu tijele metalice și lubrificate, tijele polimerice oferă o valoare mai mică a coeficientului de transfer termic care, în acest context devine un avantaj [130]. Astfel, datorită inerției termice, modificările survenite în regimul termic al tijeii pot fi vizualizate, înregistrate și analizate, furnizând informații prețioase despre starea funcțională a etanșării.

Luând în considerare cele prezentate mai sus se pot trage următoarele concluzii:

- Factorul esențial în formarea stratului de material transferat, în cazul etanșărilor cu tijă din polimer și garnitură din cauciuc siliconic în frecare uscată, este temperatura zonei de contact.

- Datorită caracteristicilor fizice ale materialelor testate (coeficient transfer termic scăzut) cantitățile de căldură degajate prin frecare se acumulează în zona de contact. La viteze mici, aceasta este evacuată parțial prin contactul prelungit al tijeii cu fluidul de lucru, făcând relativ dificilă obținerea regimului termic adecvat dezvoltării transferului de material. La viteze medii și mari condițiile formării peliculei sunt îndeplinite în timp mai scurt, asigurând o funcționare mai eficientă a etanșării.

- Există, funcție de materialul tijeii, un domeniu termic optim, în care pelicula se dezvoltă intens, compensând rapid efectele uzurii.

- Prin utilizarea termoviziunii se poate stabili o metodă de verificare a stării etanșării, fără a fi necesară întreruperea funcționării acesteia.

3.3. Analiza eficienței etanșării

Ca parametru de apreciere a eficienței s-a ales timpul de scădere a presiunii de la o valoare maximă la o valoare minimă admisibilă, acestea fiind cuprinse în domeniul de lucru.

În figura 3.32 sunt prezentate evoluțiile timpilor de scădere a presiunii de lucru, pentru materialele testate, în domeniul vitezelor de alunecare mici (105,27.....210 curse /minut).

Se poate remarca în figura 3.32 că, în primele ore de funcționare, timpul de scădere al presiunii crește, atinge un maximum, apoi începe să scadă. Această comportare este determinată de apariția și dezvoltarea peliculei de material transferat care, odată apărută, compensează pierderile de presiune existente în etanșarea nouă datorate abaterilor dimensionale, erorilor de montaj etc.. În următoarea etapă de funcționare, se remarcă o tendință de scădere a eficienței garniturii.

Comportamentul etanșării la viteze mici poate fi explicat prin modul diferit de formare a stratului transferat pentru fiecare material. POM-ul, fiind cel mai sensibil la fenomenele de adeziune, oferă cele mai bune condiții de formare a

peliculei, în acest domeniu de viteze. Micile variații al pantei graficului din figura 3.32 corespund perioadelor de pierdere parțială a etanșeității și de refacere a acesteia prin dezvoltarea corespunzătoare a stratului depus pe tijă. Cedarea totală a etanșării are loc prin distrugerea completă a peliculei, facilitată de grosimea exagerată atinsă datorită compensării pierderilor dimensionale prin uzură. Distrugerea survine brusc, prin expulzarea peliculei datorită presiunii și prin acțiunile mecanice ale buzei de etanșare.

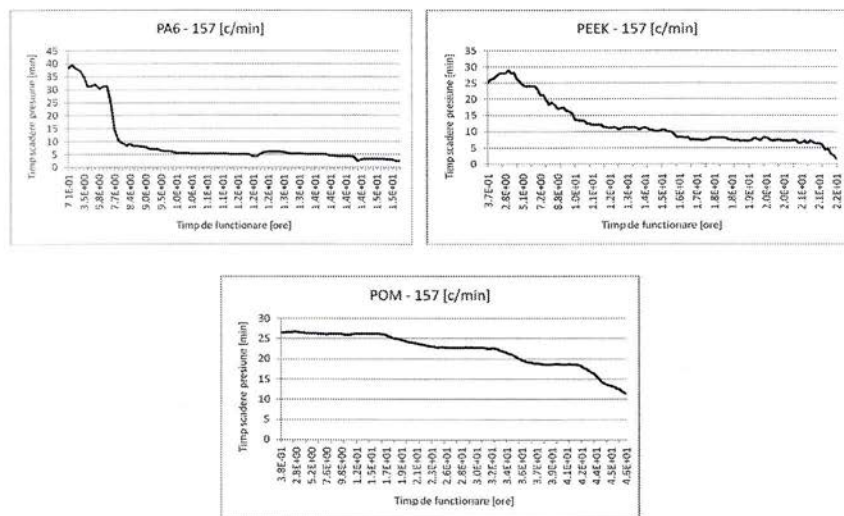


Figura 3.32

Aspectul evoluției timpului de scădere a presiunii în domeniul vitezelor mici

În figura 3.33 este prezentată evoluția eficienței etanșării în domeniul vitezelor medii (210.....315 curse /minut). Se observă o îmbunătățire evidentă a comportării etanșării la PA6, timpul de funcționare dublându-se și panta de scădere a eficienței devenind mai lină. La PEEK și POM aspectul variației eficienței se păstrează asemănător cu cel corespunzător domeniului vitezelor mici iar timpul de funcționare scade cu circa 30% la PEEK și circa 60 % la POM.

În figura 3.34 este prezentată evoluția eficienței pentru vitezele maxime permise de materialele testate.

Datorită regimului termic ce depășește limitele de funcționare de lungă durată (figura 3.31), comportarea tijelor din PA6 și POM este diferită. În această zonă termică formarea stratului de material depus este facilitată de modificările microscopice survenite pe suprafața tijei și efectul este vizibil în figura 3.34: la PA6

panta de scădere a eficienței este mai mică și se pot observa variațiile datorate pierderilor parțiale de presiune și revenirea prin refacerea peliculei de material transferat. În cazul POM-ului, este evidentă o creștere substanțială a eficienței și a timpului de funcționare, distrugerea etanșării survenind brusc, ca și în cazul vitezelor mici.

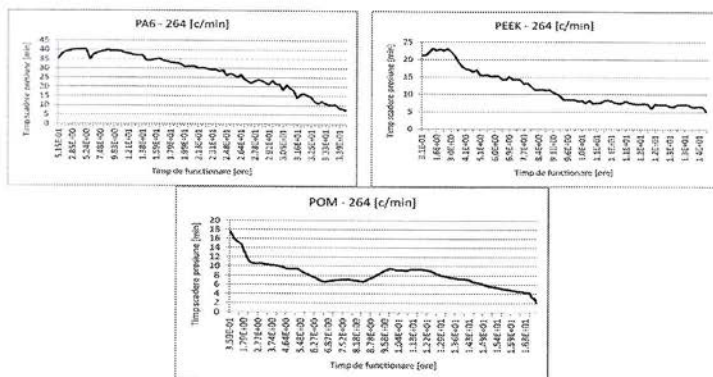


Figura 3.33
Aspectul evoluției timpului de scădere a presiunii în domeniul vitezelor medii

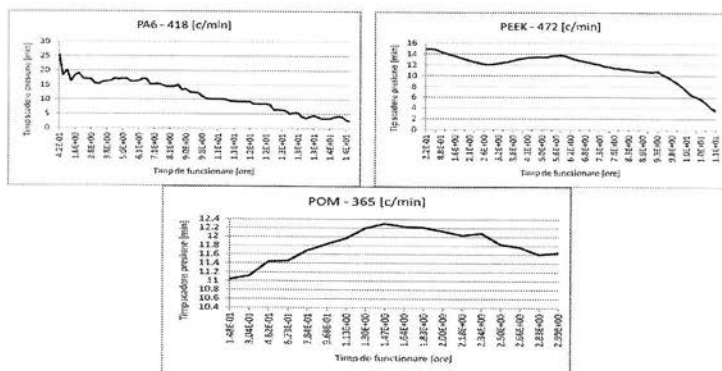


Figura 3.34
Aspectul evoluției timpului de scădere a presiunii în domeniul vitezelor maxime admisibile

În figura 3.35 sunt prezentate variațiile eficienței etanșării, apreciată atât ca timp mediu de scădere a presiunii de lucru cât și ca timp de funcționare, în funcție de viteza de alunecare a teji. Se observă o comportare diferită a celor trei materiale testate, din punct de vedere al eficienței etanșării în domeniile de viteză studiate.

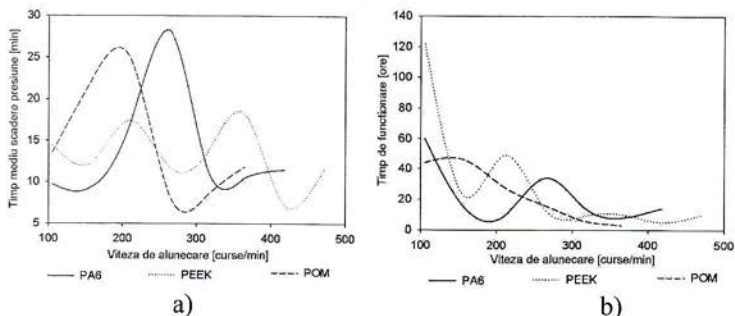


Figura. 3.35

Comportarea etanșării în funcționare

a) variația timpului de scădere a presiunii de lucru; b) variația timpului de funcționare

În figura 3.36 sunt reprezentate variațiile timpilor de scădere a presiunii și de funcționare cuplate pe materiale testate.

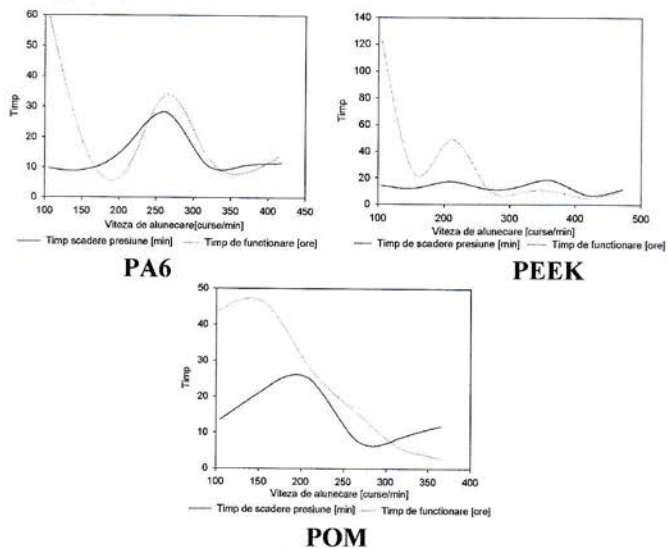


Figura 3.36

Evoluția timpului de scădere al presiunii și a timpului de funcționare pentru materialele studiate

Analizând graficele din figura 3.36 se poate observa că valorile maxime ale timpul de funcționare nu corespund întotdeauna cu cele corespunzătoare timpului de scădere a presiunii. La viteze foarte mici, timpul de funcționare este maxim pentru toate materialele pe când timpul de scădere prezintă valorile minime.

Pe măsură ce viteza crește, se produc modificări în regimul termic și mecanic din etanșare, obținându-se un optim funcțional în zona vitezelor medii. Aici maximul local al timpului de funcționare coincide cu cel al timpului de scădere a presiunii, ceea ce oferă atât avantajul unei funcționări îndelungate cât și avantajul unor pierderi de presiune scăzute. Aceasta este situația cu eficiența funcțională maximă a etanșării, fără suprasolicitarea componentelor sistemului pneumatic.

În figura 3.37 sunt prezentate interdependențele dintre viteza de alunecare a tijei, timpul de scădere a presiunii și timpul total de funcționare pentru etanșările studiate.

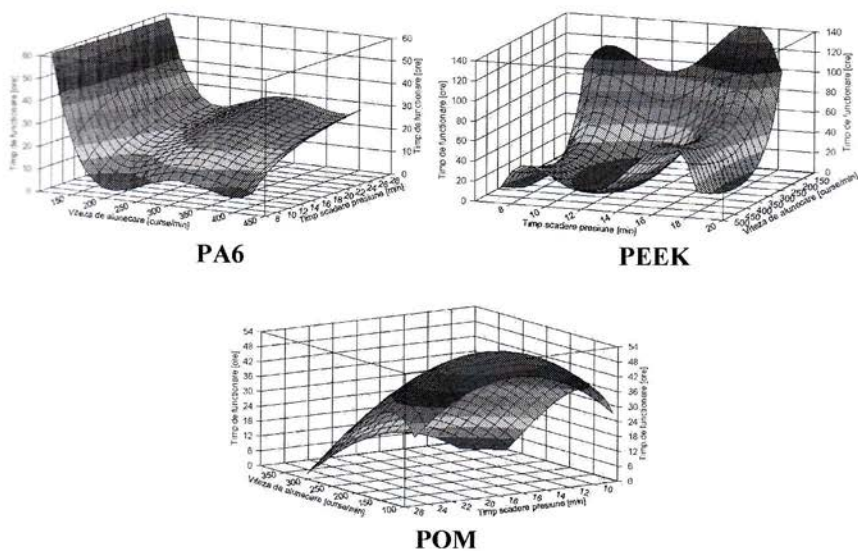


Figura. 3.37
Interdependențele viteza, timp scădere presiune și timp de funcționare pentru materialele studiate

Pe baza acestora se poate optimiza funcționarea etanșării, în funcție de scopul dorit: pentru durată maximă de funcționare sau pentru pierderi minime.

Luând în considerare cele prezentate mai sus, se pot trage următoarele concluzii:

- Stratul de material transferat dinspre garnitură pe tijă are un efect pozitiv asupra eficienței etanșării compensând, după formare, uzura și stabilizând timpul de scădere a presiunii de lucru.

- Se observă o diferență între valorile vitezelor de alunecare pentru care se obțin maxime pentru timpul de funcționare și, respectiv, pentru timpul de scădere al presiunii. Există totuși domenii de viteză în care ambele valori de timp prezintă maxime locale, acestea fiind considerate zone de funcționare optime.

- Reprezentarea grafică a interdependenței dintre vitezele de alunecare ale tije, timpul de scădere a presiunii de lucru și timpul total de funcționare poate fi utilizată pentru stabilirea regimului optim de lucru al etanșării funcție de scopul sistemului respectiv.

CAPITOLUL 4

MODELAREA ȘI OPTIMIZAREA ETANȘĂRILOR PNEUMATICE PENTRU TIJE POLIMERICE

4.1. Simulator neural pentru modelarea funcționării etanșării

După cum s-a arătat în paragrafele anterioare, funcționarea etanșărilor polimer-elastomer în regim uscat este puternic influențată de apariția și dezvoltarea unui strat de material transferat dinspre garnitură pe tijă, sub forma unei pelicule ce acționează atât ca un lubrifiant cât și ca un agent de etanșare [152]. Experimental s-a dovedit că există un domeniu termic optim de formare a acestei pelicule, influențat de o serie de factori printre care viteza de alunecare a tije joacă rolul principal. O posibilitate de optimizare a funcționării unei astfel de etanșări este asigurarea unui regim termic adecvat apariției și dezvoltării peliculei de material transferat, astfel încât să se beneficieze de toate avantajele oferite.

În vederea modelării regimului termic din etanșare, cu scopul optimizării formării și dezvoltării peliculei de material transferat și luând în considerare rezultatele analizelor făcute în capitolul precedent, a fost aleasă structura de date (tabelul 4.1) ca bază de construire a simulatorului neuronal, optându-se pentru o rețea de tip Multilayer Perceptron [6,86,104].

Tab. 4.1 Parametrii pentru simularea neurală a temperaturii în etanșare

Eticheta	Parametrul	Poziție	Tip numeric
PA6, POM, PEEK	Materialul tije	Intrare	Logic
P	Presiunea de lucru	Intrare	Real
V	Viteza de alunecare	Intrare	Real
T	Temperatura	Ieșire	Real

Datele numerice corespunzătoare parametrilor din tabelul 4.1 sunt rezultatele măsurătorilor efectuate pe parcursul experimentelor derulate.

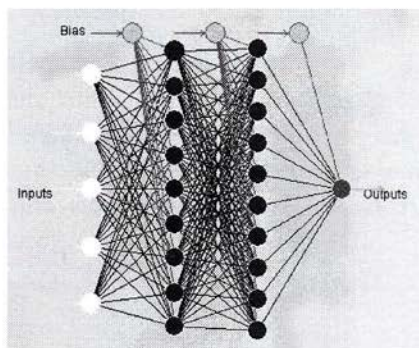
Una dintre principalele etape de construire a unui simulator neural este stabilirea arhitecturii optime a rețelei neurale utilizate [74,104]. Aceasta fiind o problemă de optimizare, bazată pe setul de date de lucru, s-a optat pentru utilizarea unui software bazat pe algoritmi genetici capabil să ofere soluția optimă pentru arhitectura rețelei. Parametrii de control ai motorului genetic sunt prezentați în tabelul 4.2 și au fost aleși astfel încât să se obțină un optim între precizie și timp de rulare.

Tab. 4.2 Parametrii motorului genetic

Parametrul	Valoare	Scop	Valoare	Contribuție la selecție
Populație	50	Abaterea pătratică medie	< 0,01	1/3
Etape de evoluție	1000	Abaterea pătratică maximă	< 0,1	1/3
Rata mutațiilor	0,04	Număr de neuroni	< 100	1/3
Rata de încrucișare	0,2			
Numărul de selecții optime	10			

No	Tipologie	Neurons	σ dev ²	σ dev ²	Fitness
7	5.8.1	9	0.002330	0.017396	100.00000
8	5.4.8.1	13	0.007035	0.058439	100.00000
9	5.8.1	9	0.002252	0.019977	100.00000
10	5.9.7.1	17	0.000863	0.005443	100.00000
11	5.8.1	10	0.003643	0.037218	100.00000
12	5.8.1	10	0.003970	0.036352	100.00000
13	5.8.1	10	0.002663	0.021501	100.00000
14	5.8.1	19	0.002668	0.018952	100.00000
15	5.9.10.1	20	0.000531	0.005630	100.00000
16	5.9.10.1	25	0.001434	0.010146	100.00000
17	5.8.11.9.1	34	0.004396	0.041706	100.00000
18	5.9.8.1	23	0.002571	0.013324	100.00000
19	5.9.8.1	23	0.005854	0.047312	100.00000
20	5.9.8.1	23	0.004214	0.038544	100.00000
21	5.9.8.1	24	0.001889	0.022828	100.00000
22	5.9.8.1	30	0.001898	0.015862	100.00000
23	5.9.10.9.1	32	0.003357	0.028671	100.00000
24	5.8.12.9.1	35	0.002270	0.013021	100.00000
25	5.8.12.9.1	36	0.002715	0.026733	100.00000

a)



b)

Figura 4.1

Rețea neurală pentru optimizarea temperaturii etanșării

a) structura optimizată prin algoritmi genetici; b) arhitectura rețelei

Se observă în figura 4.1,a că, deși sunt mai multe variante care îndeplinesc condițiile inițiale, doar varianta cu numărul 39 oferă valorile minime pentru abaterea pătratică medie și maximă; ca urmare aceasta va fi aleasă pentru rețeaua simulatorului neural.

În vederea antrenării și utilizării rețelei s-a utilizat un software dedicat, în care au fost implementate atât structura acesteia (figura 4.1,b), cât și datele numerice corespunzătoare, stabilite experimental.

Etapă de antrenare a rețelei se încheie în momentul în care eroarea obținută este mai mică decât limita prestabilită, (figura 4.2,a).

Validarea rețelei a fost făcută prin prezentarea unor seturi de date neutilizate în etapa de învățare, obținându-se o eroare medie de 2,23%, considerată satisfăcătoare pentru acest tip de simulator [3,186], figura 4.2,b.

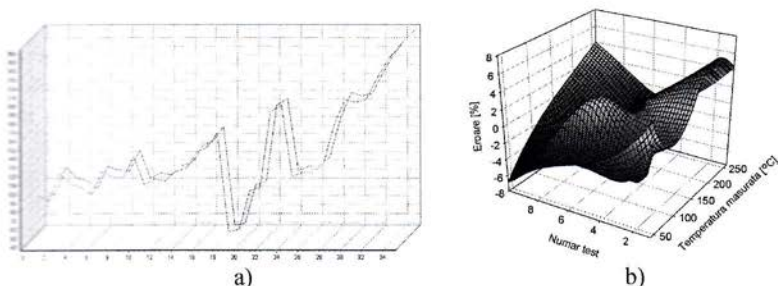


Figura 4.2

*Graficul de evoluție a erorilor rețelei neuronale pe parcursul etapei de învățare
a) distribuția erorii medii de antrenare; b) distribuția erorii medii de validare*

4.2 Analiza interdependenței intrări-ieșiri

Problematika interdependențelor dintre intrări și ieșiri, în sensul ierarhizării acestora în funcție de gradul de influență asupra ieșirii, a fost tratată pe larg în paragraful 2.4.2. Având în vedere că simulatorul utilizat acum diferă de cel prezentat anterior atât prin arhitectura rețelei cât și prin valorile numerice ale parametrilor utilizați, a fost efectuată o nouă analiză a influențelor, prezentată în figura 4.3.

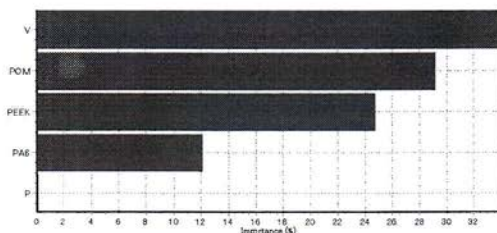


Figura 4.3

Ierarhia influențelor intrărilor asupra ieșirii

Comparând figurile 4.3 și 2.34 se observă coincidența perfectă între conținutul informațional, două rețele neuronale, deși cu arhitecturi diferite (vizibile în figurile 2.32 și 4.1,b), oferind aceeași ierarhie de influențe. Aceasta dovedește că interdependențele reprezentate de simulatorul neural nu se limitează la valorile numerice ci sunt situate mult mai profund, la nivel fenomenologic. Ca urmare, valorile regimului termic pot fi modificate prin modificarea corespunzătoare, în primul rând, a vitezei tijeii.

4.3 Predicția valorilor și optimizarea regimului termic

Simulatorul neural construit permite determinarea, cu nivelul de eroare de validare, a valorilor ieșirii când sunt cunoscute valorile parametrilor de intrare.

Facilitatea de predicție a valorilor temperaturii din etanșare este deosebit de utilă atât pentru asigurarea unui regim termic corespunzător condițiilor optime de formare și dezvoltare a peliculei de material depus cât și pentru protecția tijelor la supraîncălzire.

În tabelul 4.3 se prezintă un exemplu de optimizare în situația când sunt impuse condițiile de funcționare, respectiv presiunea de lucru (P) și viteza de translație a tijeii (V). În acest scop au fost calculate valorile minime și maxime ale temperaturii, folosind simulatorul neural.

Se poate observa în tabelul 4.3 că valoarea minimă a temperaturii se obține pentru materialul tijeii PA6. Se remarcă diferența extrem de mică a temperaturii minime față de limita superioară a intervalului termic optim pentru pelicula depusă, existând probabilitatea maximă ca această limită să fie depășită și funcționalitatea etanșării să aibă de suferit.

Valorile termice maxime se obțin pentru tijele din PEEK, unde diferența dintre temperatura maximă din etanșare și limita superioară corespunzătoare este mult mai mare, ceea ce creează o marjă rezonabilă de siguranță în funcționarea etanșării. Ca urmare, materialul optim pentru a fi utilizat în situația prezentată este PEEK-ul.

Tab. 4.3 Optimizarea materialului tijeii pentru regimul termic de funcționare

Intrări impuse - condiții de funcționare			
P [bar]		V [curse/min]	
7		283	
Rezultate optimizare - materialul tijeii			
T maxim [°C]	Material tija	T minim [°C]	Material tija
165,7357	PEEK	106,3636	PA6
Comparație cu regimul termic optim pentru peliculă (Tab. 3.1)			
190,5.....96,8		106,8.....74,6	
190,5 - 165,7357 = 24,7643		106,8 - 106,3636 = 0,4364	
Concluzie			
Adecvat		Riscant	

În tabelul 4.4 este prezentat un exemplu de optimizare a condițiilor de funcționare, când este impus materialul tijeii. Se calculează temperaturile de funcționare minime și maxime în etanșare pentru fiecare dintre materialele studiate,

comparându-se apoi valorile obținute cu limitele domeniilor termice optime corespunzătoare fiecărui material ales pentru tijă.

Se observă în tabelul 4.4 că, pentru PA6, valoarea termică minimă în funcționare este mai mare decât limita inferioară a domeniului termic optim, ceea ce asigură o dezvoltare corespunzătoare peliculei de material transferat și, deci, etanșării. Valoarea maximă a temperaturii este mai mare decât limita domeniului optim, ceea ce poate conduce la afectarea calității peliculei dacă condițiile de funcționare prezintă variații, având ca rezultat disfuncții ale etanșării.

În cazul tijelor din POM, limitele termice obținute în funcționare se încadrează în domeniul optim de funcționare, tabelul 4.3, deci din punct de vedere al calității peliculei materialul este corespunzător. Totuși, din punct de vedere al limitei termice la funcționare îndelungată, aceasta este depășită existând posibilitatea ca la durate mari de funcționare să apară modificări fizice în tijă. Ca urmare, acest material trebuie utilizat cu discernământ.

Tab. 4.4 Optimizarea condițiilor de funcționare pentru regimul termic de funcționare

Intrări impuse - materialul tijei					
PA6		POM		PEEK	
Rezultate optimizare - condiții de funcționare					
T maxim [°C]		T maxim [°C]		T maxim [°C]	
116,7182		117,4761		186,9502	
P [bar]	V [curse/min]	P [bar]	V [curse/min]	P [bar]	V [curse/min]
8	262,73	8	364,74	8	331,43
T minim [°C]		T minim [°C]		T minim [°C]	
77,7820		84,7377		94,2041	
P [bar]	V	P [bar]	V	P [bar]	V
6	156,55	6.02	304,36	6	156,55
Comparație cu regimul termic optim pentru peliculă (Tab. 3.1)					
106,8.....74,6		117,8....89,4		190,5.....96,8	
116,7.....77,7		117,4.....84,7		186,9.....94,2	
Concluzie					
Riscant		Atenție		Adecvat	

PEEK-ul oferă o limită termică superioară convenabilă ceea ce face ca acest material să fie recomandat deși valoarea minimă a temperaturii în funcționare este mai mică decât limita inferioară a domeniului optim.

O altă posibilitate de optimizare a funcționării etanșării oferită de simulatorul neural este stabilirea valorilor intrărilor pentru o valoare de ieșire impusă, respectiv pentru un regim termic dorit în etanșare.

În figura 4.4 este prezentat rezultatul optimizării vitezei de alunecare pentru o valoare impusă a temperaturii etanșării. Se remarcă faptul că sunt livrate mai multe soluții ale problemei, ordonate după eroarea absolută, utilizatorul urmând să decidă alegerea optimă.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Inputs		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
2	PA6		1	1	1	1	1
3	POM		0	0	0	0	0
4	PEEK		0	0	0	0	0
5	P		6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
6	V		220	251.5	188.5	157	157
7	Outputs	Desired Values	Cal. 1	Cal. 2	Cal. 3	Cal. 4	Cal. 5
8	T	100	90.893507	114.5176	75.087983	71.923934	71.923934
9	Sum of Abs. Error		9.1065	14.518	24.912	28.076	28.076

Figura 4.4

Optimizarea valorii vitezei de alunecare pentru temperatură impusă

4.4 Predicția valorilor și optimizarea duratei de funcționare

Simularea neurală poate fi utilizată și pentru estimarea duratei de funcționare a etanșării sau a timpului de scădere a presiunii. Parametrii luați în considerare pentru simulare sunt prezentați în tabelul 4.5.

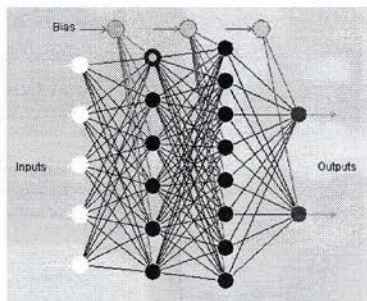
Tab. 4.5 Parametrii pentru simularea neurală a duratei de funcționare

Eticheta	Parametrul	Poziție	Tip numeric
PA6, POM, PEEK	Materialul tijei	Intrare	Logic
P	Presiunea de lucru	Intrare	Real
V	Viteza de alunecare	Intrare	Real
TF	Timp de funcționare	Ieșire	Real
TS	Timp de scădere presiune	Ieșire	Real

Întrucât structura parametrilor de simulare diferă de cea folosită pentru calculul temperaturii, este necesară refacerea arhitecturii rețelei neurale. Astfel, rezultatul obținut și rețeaua corespunzătoare sunt prezentate în figura 4.5.

No	Topologie	Neuroni	θ dev ²	σ dev ²	Fitness
01	5,4,2	6	0.012290	0.070259	93.78822
02	5,4,2	6	0.011707	0.047788	35.13914
03	5,4,4,2	10	0.013164	0.057971	91.80795
04	5,5,2	7	0.004855	0.045898	100.00000
05	5,5,2,2	13	0.003191	0.016222	100.00000
06	5,5,2,2	13	0.006073	0.022407	100.00000
07	5,5,2,2	13	0.003623	0.017216	100.00000
08	5,4,5,2	17	0.009149	0.048308	100.00000
09	5,4,5,2	12	0.017247	0.088321	85.88372
10	5,4,5,2	12	0.004362	0.037910	100.00000
11	5,5,2,2	13	0.003962	0.035491	100.00000
12	5,5,6,7,2	20	0.010600	0.084408	96.11338
13	5,5,6,7,2	20	0.015478	0.159395	79.73373
14	5,5,6,7,2	20	0.003034	0.014804	100.00000
15	5,5,5,2,2	22	0.005190	0.046308	100.00000
16	5,6,6,8,2	22	0.004522	0.046309	100.00000
17	5,6,6,8,2	22	0.009160	0.068062	100.00000
18	5,5,5,2,2	16	0.003031	0.012621	100.00000
19	5,6,2	8	0.009510	0.038348	100.00000

a)



b)

Figura 4.5

Rețea neurală pentru optimizarea timpului de funcționare

a) structura optimizată prin algoritmi genetici; b) arhitectura rețelei

Efectuând o analiză a importanței parametrilor de intrare asupra ieșirilor se obține rezultatul prezentat în figura 4.7.

Se observă aceeași ierarhie ca și în cazul celorlalte rețele construite anterior, ceea ce este justificat de faptul că ambele ieșiri (atât timpul de scădere a presiunii cât și timpul de funcționare) sunt determinate de calitatea peliculei depuse care, la rândul ei depinde de regimul termic - impus de viteză.

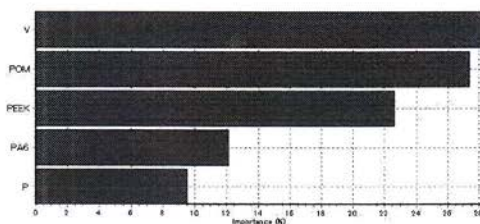


Fig. 4.7

Ierarhia influențelor intrărilor asupra ieșirilor

Simulatorul neural, în noua structură, poate fi utilizat pentru predicția timpului maxim/minim de funcționare pentru fiecare material, în condiții de funcționare impuse sau nu.

În figura 4.8 sunt prezentate predicțiile de rang I și II ale simulatorului pentru valorilor maxime și ale timpilor analizați pentru materialul PA6, fără impunerea condițiilor funcționale.

De asemenea, există posibilitatea determinării valorilor parametrilor de intrare pentru valori impuse timpilor de funcționare și/sau scădere a presiunii.

Max. Values	Min. Values		
	A	B	C
1		Max.-1	Max.-2
2	TS	29.29922	29.26081
3	PA6	1.00000	1.00000
4	POM	0.00000	0.00000
5	PEEK	0.00000	0.00000
6	P	8.00000	6.40000
7	V	251.90000	251.80000

a)

Max. Values	Min. Values		
	A	B	C
1		Min.-1	Min.-2
2	TS	8.24858	6.41392
3	PA6	1.00000	1.00000
4	POM	0.00000	0.00000
5	PEEK	0.00000	0.00000
6	P	7.20000	6.40000
7	V	325.20000	178.40000

b)

Max. Values	Min. Values		
	A	B	C
1		Max.-1	Max.-2
2	TF	123.11588	122.98938
3	PA6	1.00000	1.00000
4	POM	0.00000	0.00000
5	PEEK	0.00000	0.00000
6	P	6.80000	7.60000
7	V	105.00000	105.00000

c)

Max. Values	Min. Values		
	A	B	C
1		Min.-1	Min.-2
2	TF	7.19064	8.37245
3	PA6	1.00000	1.00000
4	POM	0.00000	0.00000
5	PEEK	0.00000	0.00000
6	P	6.80000	8.00000
7	V	215.10000	361.90000

d)

Figura 4.8

Predicțiile valorilor extreme de timp pentru PA6

a) valoarea maximă a timpului de scădere a presiunii (minute); b) valoarea minimă a timpului de scădere a presiunii (minute); c) valoarea maximă a timpului de funcționare (ore); d) valoarea minimă a timpului de funcționare (ore)

Simulatorul poate fi utilizat pentru optimizarea proiectării etanșării, prin determinarea materialului corespunzător unei combinații impuse de presiune-viteză. În figura 4.9 este prezentată o optimizare cu algoritmi genetici pentru stabilirea materialului ce oferă valori maxime pentru timpul de funcționare.

Search Objects Optimal Algorithms Running Status	
Algorithms	<input type="checkbox"/> Genetic Algorithms (GA) <input type="checkbox"/> Particle Swarm Optimization (PSO) <input type="checkbox"/> Particle Swarm Optimization (PSO)
Parameters	Population Size: 50 Crossover: Uniform Crossover Rate: 0.0 Uniform Crossover Mutation Rate: 0.1 Selection: Absolute Top Male Selection <input type="checkbox"/> Tournament Selection

a)

Search Objects Optimal Algorithms Running Status						
Iterations: 250	Time Elapsed: 00:00:00					
	A	B	C	D	E	F
1	Inputs	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
2	PA6	0.5447111	0.54418177	0.54418177	0.54688974	0.5474049
3	POM	0.01189117	0.01189117	0.01189117	0.01189117	0.01189117
4	PEEK	0.0018355484	0.0018355484	0.00222685	0.00222685	0.00222685
5	P	7	7	7	7	7
6	V	283	283	283	283	283
7	Outputs	Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5
8	TF	40.016595	59.95936	50.257732	48.198275	46.218155

b)

Figura 4.9

Valorilor optimizate ale timpului de funcționare corespunzătoare unor condiții de funcționare impuse

a) setările optimizatorului genetic; b) valorile maxime ale timpului de funcționare (ore)

Tab. 4.6 Optimizarea materialului tijeii pentru durata maximă de funcționare

Intrări impuse - condiții de funcționare	
P [bar]	V [curse/min]
7	283
Rezultate optimizare - materialul tijeii	
TF maxim [ore]	Material tija
40,014509	PA6

Având în vedere cele prezentate anterior se poate concluziona că:

- în funcționarea etanșării studiate sunt implicați o serie de parametri a căror interdependență nu poate fi descrisă printr-un aparat matematic datorită complexității acesteia;

- simulatoarele bazate pe rețele neural sunt o soluție viabilă pentru modelarea și optimizarea funcționării acestui tip de etanșări;

- simulatoarele respective pot fi utilizate și pentru aprecierea nivelurilor de influență a parametrilor de intrare asupra celor de ieșire.

- pentru optimizarea proiectării și funcționării unei etanșări pneumatice uscate trebuie luate în considerare atât aspectele legate de regimul termic de funcționare cât și cele legate de durata dorită de funcționare, materialul tijeii putând fi diferit pentru fiecare situație.

CAPITOLUL 5

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

5.1. Concluzii generale

În urma analizării literaturii de specialitate se constată o pondere majoră a acțiunilor pneumatice, datorată avantajelor oferite:

- fluid de lucru ieftin;
 - lipsa poluării mediului în cazul unor scurgeri accidentale;
 - greutate și gabarit redus al elementelor active;
 - lipsa pericolului de incendii putând fi folosite în medii periculoase
- Totuși, sistemele pneumatice prezintă și o serie de dezavantaje, cum ar fi:
- necesitatea lubrifierii etanșării tijelor cilindrilor pneumatici, ceea ce poate genera contaminarea mediului de lucru;
 - dificultățile de poziționare precisă, datorate forțelor de inerție generate de masa tijelor în mișcare;

Ca urmare a răspândirii din ce în ce mai largi sistemelor pneumatice și studiile asupra acestora au luat amploare [8,9,22,46,88,115,132,176]

Există situații în care, datorită restricțiilor impuse de mediul de lucru, este necesară absența totale a substanțelor lubrifiante, în acest caz sistemul de etanșare mobilă a tije funcționând în regim de frecare uscată [87,118,195]. De asemenea, există situații când confecționarea tijelor din metal nu este o soluție optimă (medii corozive, impunerea unei mase minime etc.).

În lumina ultimilor noutăți în domeniul materialelor polimerice, ce posedă proprietăți fizico-mecanice comparabile și chiar superioare metalelor, a apărut tendința construirii cilindrilor pneumatici din acest tip de materiale [103,156], ceea ce oferă o serie de avantaje cum ar fi:

- masă redusă a elementelor în mișcare, având ca rezultat forțe de inerție mai mici, posibilități de poziționare mai precisă etc.;
- rezistență superioară în cazul funcționării în medii corozive;
- compatibilitate totală cu mediile cu restricții la poluare.

Pornind de la fenomenul de transfer de material în cazul tribosistemului elastomer-polimer, menționat în literatură, au fost efectuate o serie de experimente în vederea investigării posibilității folosirii acestei caracteristici pentru optimizarea etanșărilor de cilindri pneumatici cu tije din materiale polimerice, funcționând în condiții de frecare uscată. În urma analizării rezultatelor cercetărilor experimentale, efectuate pe un stand ce simulează funcționarea unei etanșări pentru tija cilindrilor pneumatici reali, se pot trage următoarele concluzii:

1 - În cazul etanșărilor cilindrilor pneumatici cu tijă din materiale polimerice și garnitură din cauciuc, funcționând în regim de frecare uscată, apare un

fenomen de transfer al materialului garniturii spre tijă, formând pe aceasta o peliculă continuă ce influențează funcționarea etanșării.

2 - Transferul de material se amorsează și se dezvoltă datorită fenomenelor de aderență a materialului garniturii la suprafața tijei, potențate de creșterea temperaturii din zona de contact în urma regimului de frecare uscată. Coeficientul de transfer termic scăzut al materialului tijei are ca efect concentrarea vârfurilor termice și generarea de modificări structurale pe suprafața tijei, la nivel microscopic.

3 - După formarea peliculei pe tijă, aceasta îndeplinește mai multe roluri, influențând pozitiv funcționarea etanșării:

- *agent lubrifiant*: în urma izolării (parțiale sau totale) a suprafețelor în contact regimul de frecare se modifică, forțele de frecare scăzând substanțial;
- *agent de etanșare*: pelicula depusă pe tijă modifică profilul suprafețelor, compensând neetanșeitățile datorate abaterilor dimensionale (la începutul funcționării) și uzurii (în timpul funcționării).

4 - Debitul de pierderi prin etanșare este influențat de formarea peliculei, remarcându-se atât o scădere vizibilă în prezența acesteia, cât și un efect de compensare a continuă a creșterii pierderilor datorate uzurii sistemului de etanșare.

5 - Pe parcursul funcționării etanșării regimul de uzură evoluează de la adeziune spre abraziune, datorită particulelor dure detașate din garnitură sau/și formate din fragmente de peliculă durificate în urma acțiunilor termice și mecanice. Pelicula depusă pe tijă înglobează inițial particulele dure dar, pe măsură ce numărul și dimensiunile acestora cresc, acțiunile abrazive exercitate de acestea produc rupturi ce au ca rezultat accelerarea uzurii tijei și distrugerea etanșării.

6 - În urma experimentelor efectuate s-a constatat că formarea și dezvoltarea peliculei este optimă într-un domeniu termic, specific fiecărui material testat, în acest domeniu observându-se cu preponderență efectele pozitive asupra tribologiei și eficienței etanșării.

7 - Cele trei materiale polimerice testate (PA6, PEEK și POM) prezintă comportări diferite, din punct de vedere al formării și dezvoltării peliculei de material transferat, în funcție de regimul de viteză utilizat. Ca urmare și performanțele etanșării diferă atât ca tribologie cât și ca eficiență.

8 - Optimizarea funcționării etanșării poate fi făcută pe baza modelării și simulării funcționării acesteia. Având în vedere interdependențele dintre factorii implicați și a lipsei unui suport matematic adecvat, rețelele neurale sunt singura opțiune pentru modelarea comportării acestui tip de etanșări.

9 - Prin construirea, folosind pachete software dedicate, unor simulatoare bazate pe rețele neurale și antrenarea acestora cu date obținute prin măsurători experimentale, se poate optimiza proiectarea etanșării prin alegerea corespunzătoare

a condițiilor de funcționare, a materialului tijei sau prin predicția valorilor unor parametri funcționali.

5.2. Contribuții personale originale

În urma desfășurării cercetărilor asupra comportării etanșărilor cu manșetă folosite la cilindrii pneumatici cu tije polimerice se evidențiază următoarele contribuții originale:

1 - Sintetizarea informațiilor existente în literatură cu referire la studierea etanșărilor cilindrilor pneumatici.

2 - Identificarea fenomenului de transfer de material, ce apare la mișcarea relativă în contact dintre elastomeri și polimeri, ca un posibil factor de eficientizare a funcționării etanșărilor pentru cilindrii pneumatici cu tije din materiale polimerice.

3 - Proiectarea și executarea unui stand de concepție originală, pentru simularea funcționării etanșărilor pneumatice.

4 - Stabilirea unui program de testare a trei materiale polimerice comerciale folosind analiza bazată pe rețele neurale a ponderii influențelor în interdependențele dintre factorii ce guvernează funcționarea etanșărilor pneumatice.

5 - Punerea la punct a unor metode de investigare și analiză bazate pe reconstrucția tridimensională și termografie, capabile să permită studierea etanșărilor pneumatice.

6 - Construirea unor modele, bazate pe rețele neurale, pentru simularea și optimizarea proiectării și funcționării etanșărilor pneumatice.

7 - Publicarea la conferințe internaționale și în reviste de specialitate a unui număr de **10 lucrări științifice pe subiectul tezei** (din care 9 ca prim autor):

- în conferințe internaționale cu **proceedings indexat ISI - 48, 148;**

- în reviste indexate ISI - **154;** în reviste indexate B+ - **146;**

- în conferințe internaționale - **147,149,150,151,152,153.**

Bibliografie

1. Achenbach M., 2006, Predicting Seal Life with FEA, Machine Design, www.machinedesign.com.
2. Adam Al-Mulla, 2009, *Development and Characterization of Polyamide-10, 6/Organoclay Nanocomposites*, International Journal of Polymer Anal. Charact., 14, pp. 540-550.
3. Afferrante L., Ciavarella M., Barber J.R., *Sliding thermoelastodynamic instability*, Mathematical, Physical & Engineering Sciences, 2006.
4. Alvarez G. A., 1997, *Finite Element Fourier on Rad Series for Asymmetric Loads ial Lip Seals*, Tribology Transactions, Volume 40, 1, pp.11-20.
5. Amza Gh., Marinescu M., Moraru A., Amza C. Gh., Negut N., Stoica G., 2008, *Monitoring the Processing Temperature of the Polymeric Matrix Composite Materials*, Materiale Plastice, v.45, Nr.1, pp. 61-66.
6. Anderson J.A., 1995, *An introduction to neural networks*, Bradford MIT Press, Cambridge, USA.
7. Andreas Mandelis, Li Li, Natalie Baddour, Rod C. Tennyson, W. Don Morrison, 2003, *Quantitative measurements of sliding friction coefficients of tribological interfaces with a new differential infrared radiometric instrument*, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS Vol. 74, No. 1, American Institute of Physics, pp.407-410.
8. Andrighetto P. L., Valdiero A. C., Vincensy C. N., 2003, *Experimental comparisons of the control solutions for pneumatic servo actuators*, Proceedings of the 17th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, São Paulo, Brazil.
9. Andrighetto P.L., 2006, *Study of the friction behavior in industrial pneumatic actuators*, ABCM Symposium Series in Mechatronics, Vol. 2, pp. 369-376.
10. Andrighetto Pedro Luis, Antonio Carlos Valdiero, Leonardo Carlotto, 2006, *Study of the Friction Behavior in Industrial Pneumatic Actuators*, ABCM Symposium in Mechatronics – Vol.2 – pp.369 – 376, Brazil.
11. Anghelache G., Ionescu M., 2008, *Analysis of Rubber Elastic Behaviour and Its Influence on Modal Properties*, Materiale Plastice, Vol.45, Nr.2, pp. 143-148.
12. Anonymous, *Don't overlook leakage in pneumatic applications*, Machine Design, Nov 18, 1997,71, 22, Academic Research Library, pg.116
13. Anonymous, *Festo muscles-up with contractions drive solutions*, The Industrial Robot, 2002, Academic Research Library, pg.362
14. Ayca Ertekin, Narasi Sridhar, 2009, *PERFORMANCE OF ELASTOMERIC MATERIALS IN GASOLINE - ETHANOL BLENDS - A REVIEW*, NACE International, CORROSION 2009 Annual Conference and Exhibition, Atlanta.
15. Badisch E., M. Kirchgäßner, F. Franek, 2009, *Continuous impact/abrasion testing: influence of testing parameters on wear behaviour*, Proc. IMechE Vol. 223 Part J: J. Engineering Tribology, pp.741-750.
16. Bartonicck J.; Hahn, R.; Kockelmann, H.; Roos, E.; Schockle, F., 2001, *Characteristics of Packings for Stuffing Boxes for the Proof of Strength, Function and Tightness of Valves*, Proceedings of SMIRT 16 International Conference, Washington DC, USA, ISSN: 0029-5493
17. Barnes H.A., Hutton J.F., Walters K. - *An introduction to Rheology*, Netherlands, 1997.
18. Bauer D.R., Baldwin J.M., Ellwood K.R., *Rubber aging in tyres. Accelerated oven aging tests. Polymer Degradation and Stability*, 92, 2007.
19. Belforte G., D'Alfio N., Raparelli T., 1989, *Experimental analysis of friction forces in pneumatic cylinders*, The Journal of Fluid Control, Vol.20, n.1 , 1989,pp 42-60.
20. Belforte G., A. Manuello, L. Mazza, 2006, *Optimization of the Cross Section of an Elastomeric Seal for Pneumatic Cylinders*, ASME Journal of Tribology, Vol. 128, pp. 406-413.

21. Belforte G., M. Conte, A. Manuello Bertetto, L. Mazza, C. Visconte, 2009, *Experimental and numerical evaluation of contact pressure in pneumatic seals*, Tribology International 42, pp. 169-175.
22. Belforte G., T. Raparelli, 1997, *Friction Analysis of Pneumatic Semi-Rotary Actuators*, Tribology Transactions, Volume 40, 1, pp. 57-62.
23. Belforte G., T. Raparelli, L. Mazza, *Life Tests on Elastomeric Lip Seals for Pneumatic Cylinders*, Tribotest Journal, 3, 3, 251-266, (1997).
24. Berejinov V., Sinton D.; Djilali N., 2009, *Rapid reconstruction of 3D structure of fibrous media*, Proceedings of the 20th International Symposium on Transport Phenomena, Victoria BC, Canada.
25. Betul Buchler, 2006, *Molecular Adhesion and Friction at Elastomer/Polymer Interfaces*, PhD. Thesis, University of Akron, U.S.A..
26. Bhushan B., *Surface having optimized skewness and kurtosis parameters for reduced static and kinetic friction*, U.S. Patent, 1999.
27. Bignardi C., Manuello A., Mazza L., *Photoelastic Measurements and Computation of the Stress Field and Contact Pressure in a Pneumatic Lip Seal*, Tribology International, 32, n. 1, 1-13, (1999).
28. Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007, *Tribological behaviors of several polymer-polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated conditions*, Wear 262, pp. 1353-1359.
29. Bista C. S., A. Galliano, 2005, *Nano and macro tribology of elastomers*, Tribology Letters, Vol. 18, No. 1, pp. 21-25.
30. Bistray-Balku S., 1999, *Tribology of Elastomeric and Composite Reciprocating Hydraulic Seals*, Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng., v.43, no.1, pp. 63-80.
31. Bo Yang, Richard F. Salant, 2008, *A Numerical Model of a Reciprocating Rod Seal With a Secondary Lip*, Tribology Transactions, 51, pp. 119-127.
32. Bo Yang, Richard F. Salant, 2008, *Numerical Model of a Tandem Reciprocating Hydraulic Rod Seal*, ASME Journal of Tribology Vol.130, pp. 1-7.
33. Bollmann A., 1997, *Fundamentals of pneuonics industrial automation* (In Portuguese), Brazilian Society of Hydraulics and Pneumatics, São Paulo, Brazil, 278 p.
34. Bong Keun Kim, Hyun-Taek Choi, Wa n Kyun Chung, Il Hong Suh, 2002, *Analysis and Design of Robust Motion Controllers in the Unified Framework*, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.124, pp. 313-321.
35. Botto P., E. Dragoni, A. Strozzi, *Finite Element Redesign of a Reciprocating PTFE Rod Seal*, Proc. of 13 International Conference on Fluid Sealing, BHR Group Publ., Bedford, UK, 671-683, (1992).
36. Briscoe B.J., Sinha S.K., 2002, *Wear of polymers*, Journal of Engineering Tribology, Vol. 216, pp. 401-413.
37. Budescu M. ș.a. - *Încercarea materialelor*, București, 1982.
38. Calvert C., M. Tirovic, T. Stolarski, *Design and Development of an Elastomer-Based Pneumatic Seal Using Finite Element Analysis*, Journal of Engineering Tribology, 216, n. J3, 127-138, (2002).
39. Campo E.A., (2007), *Polymeric Materials, properties, testing and material selection handbook*, El Paso, Texas, SUA
40. Casoli A., M. Brendle, J. Schultz, P. Auroy, G. Reiter, 2000, *Friction of an elastomer sliding on polymeric model surfaces*, Tribology Letters 8, pp. 249-253.
41. Catalog KLUBER LUBRICATION – Pneumatics
42. Catalog Pneumatics & Automation Technology, *Actuator for any applications*, Machine Design, Nov 20, 1997, Academic Research Library, pg.S26
43. Catalog SIMRIT
44. Ceprinov S.A., 2009, *General and advanced plastic materials catalog*, www.ceproinov.ro

266.602

