



Școala doctorală de Inginerie și Matematică

Domeniul de doctorat: Inginerie Mecanică

TEZĂ DE DOCTORAT

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA DIVERȘILOR FACTORI DE MEDIU ASUPRA CARACTERISTICILOR MECANICE ȘI ELASTICE ALE MATERIALELOR POLIMERICE

- REZUMAT -

Doctorand:

Ing. Olivia-Laura PETRAȘCU

Conducător de doctorat:

Prof. dr. ing. Adrian Marius PASCU

CUPRINS

1. CONSIDERAȚII GENERALE	5
2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR DIN DOMENIUL MATERIALELOR POLIMERICE	6
3. COMPORTAREA LA TRACȚIUNE UNIAXIALĂ	9
3.1 Definirea mediilor de testare alese pentru studiu	11
3.1.1 Mediu ambiental	11
3.1.2 Apă distilată	12
3.1.3 Ulei de răcire	12
3.1.4 Raze ultraviolete tip C	13
3.1.5 Soluție salină	13
3.2 Comportarea polioximetilenei (POM) la tracțiune uniaxială	14
3.2.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la tracțiune uniaxială a epruvetelor realizate din POM supuse la acțiunea diferitelor medii agresive	14
3.3 Comportarea poliamidei (PA6) la tracțiune uniaxială	16
3.3.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la tracțiune uniaxială a epruvetelor realizate din PA6 supuse la acțiunea diferitelor medii agresive	16
3.4 Comportamentul poliamidei 6 ranforsată cu 30% fibre de sticlă (PA6-GF30) la tracțiune uniaxială	17
3.4.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PA6-GF30 și testate în diferite medii	17
3.5 Comportamentul policlorurii de vinil (PVC) la tracțiune uniaxială	19
3.5.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PVC și testate în diferite medii	20
3.6 Comportamentul polipropilenei (PP) la tracțiune uniaxială	21
3.6.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PP și testate în diferite medii	22
4. COMPORTAREA LA ÎNCOVOIERE	24
4.1 Comportamentul polioximetilenei (POM) la încovoiere	26
4.1.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din POM și testate în diferite medii	26
4.2 Comportamentul poliamidei (PA6) la încovoiere	27
4.2.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6 și testate în diferite medii	27
4.3 Comportamentul poliamidei ranforsată cu 30% fibre de sticlă (PA6-GF30) la încovoiere	29
4.3.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6-GF30 și testate în diferite medii	29
4.4 Comportamentul policlorurii de vinil (PVC) la încovoiere	30
4.4.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PVC și testate în diferite medii	30
4.5 Comportamentul popipropilenei (PP) la încovoiere	32
4.5.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PP și testate în diferite medii	32

5. SIMULAREA COMPORTAMENTULUI LA SOLICITĂRI STATICE, CU AJUTORUL METODEI ELEMENTELOR FINITE	34
5.1 Simularea comportamentului la tracțiune uniaxială în regim cvasistatic	35
5.2 Simularea comportamentului la tracțiune uniaxială în regim cvasistatic	36
5.3 Simularea numerică a testelor de încovoiere în patru puncte	39
5.4 Rezultatele simulării numerice utilizând MEF, a testelor de încovoiere în patru puncte	40
5.5 Concluzii privind simularea numerică a testelor de tracțiune și a testelor de încovoiere în patru puncte	42
6. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE	43
6.1 Concluzii finale	43
6.2 Contribuții originale ale tezei	44
6.3 Contribuții originale ale tezei	45

1. CONSIDERAȚII GENERALE

Prezenta lucrare se concentrează asupra impactului factorilor de mediu asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale diverselor materiale polimerice, având ca principal obiectiv identificarea modului în care diverse medii externe influențează caracteristicile mecanice și elastice ale câtorva dintre cele mai des utilizate materiale polimerice utilizate în diverse aplicații industriale, toate acestea dorind să sprijine viitoarele investigații asupra comportamentului acestor tipuri de materiale în diferite alte medii de lucru.

Motivația acestui studiu vine din faptul că în ultimii ani s-a observat o creștere a utilizării materialelor polimerice în industrie, în special în cea automotive, atât pe plan național, dar în special internațional. În prima parte a acestei lucrări, accentul este pus pe identificarea problemelor asociate influenței factorilor externi asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale diverselor materiale polimerice.

Așa cum am precizat anterior, în diversele sectoare industriale, materialele tradiționale, în special materialele metalice, au fost progresiv înlocuite cu materiale noi, precum cele polimerice sau compozite, motivul fiind atât performanțele tehnice ridicate ale acestor materiale, precum și raportul preț calitate, dar și greutatea specifică net inferioară. Această tranziție începută acum câteva decenii se menține și în prezent, având ca obiective îmbunătățirea proprietăților și a caracteristicilor materialelor, precum și optimizarea resurselor (Scutaru, Chiru and Vlase, 2013).

Materialele polimerice și compozite în contextul industrial contemporan, au devenit prezențe semnificative jucând un rol esențial într-o varietate de sectoare industriale. Aceste materiale versatile au fost adoptate în industrie datorită unor proprietăți distincte precum ușurința în prelucrare, rezistența la coroziune și adaptabilitatea la diverse cerințe tehnologice. Câteva dintre principalele industrii în care sunt utilizate aceste tipuri de materiale sunt:

- **Industria auto:** materialele polimerice și compozite sunt folosite în industria auto, în special pentru a reduce greutatea vehiculelor, ceea ce conduce la o eficiență sporită a noilor autovehicule precum și la reducerea consumului de combustibil. Astfel, componente precum caroseriile ușoare, panourile interioare și diverse elemente de design beneficiază de proprietățile acestor materiale polimerice / compozite;
- **Industria aeronautică și aerospațială:** în industria aeronautică și aerospațială, materialele compozite sunt esențiale pentru construcția structurilor aeronavelor și sondelor spațiale. Acestea oferă o combinație ideală între rezistență ridicată și greutate redusă, contribuind la performanțe îmbunătățite și economisire de combustibil;
- **Industria de echipamente electrice și electronice:** carcasele diverselor dispozitive electronice, precum și componente interne ale acestora, beneficiază, de asemenea, de utilizarea materialelor polimerice datorită izolației electrice și conductivității termice controlate;
- **Industria medicinală:** materialele polimerice sunt larg utilizate în producția de dispozitive medicale (orteze și proteze) și ambalaje farmaceutice datorită caracteristicilor lor de igienă, sterilizare și ușurință în modelare. Materialele compozite pot fi, de asemenea, întâlnite în dezvoltarea unor implanturi medicale avansate;
- **Industria construcțiilor civile și industriale:** materialele polimerice și compozite sunt prezente în construcții sub diverse forme, de la izolații termice și fonice la structuri de rezistență. Aceste materiale aduc beneficii precum rezistența foarte bună la coroziune și durabilitate în timp;
- **Industria echipamentelor sportive:** echipamentele sportive, precum plăci de surf, biciclete, schiuri, plăci de snowboard sau skateboard, dar și rachete de tenis, palete de ping-

pong etc., beneficiază de utilizarea materialelor polimerice / compozite datorită rezistenței ridicate și flexibilității acestora.

Prin utilizarea materialelor polimerice și compozite, industria se află într-o continuă evoluție, căutând noi modalități de a îmbunătăți performanța și eficiența, în timp ce gestionează resursele cu responsabilitate (Cofaru *et al.*, 2022). Aceste materiale reprezintă o parte semnificativă a peisajului industrial contemporan, contribuind la inovație și dezvoltare durabilă și sustenabilă.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR DIN DOMENIUL MATERIALELOR POLIMERICE

2.1 Analiza bibliometrică

În cadrul acestui capitol, va fi prezentată evoluția în timp a domeniului ce vizează utilizarea materialelor polimerice, dar și influența factorilor de mediu asupra comportării mecanice și elastice al acestor materiale. Astfel, capitolul de față își propune să ofere o perspectivă amplă asupra progreselor semnificative din acest domeniu, completată de o analiză bazată pe literatura de specialitate disponibilă în bazele de date internaționale. Prin utilizarea analizei bibliometrice, un instrument cantitativ de cercetare, se poate evalua amploarea și impactul publicațiilor relevante, prin identificarea și cuantificarea resurselor bibliografice. Ulterior, această etapă va permite cartografierea domeniului de studiu, contribuind astfel la sporirea interesului în rândul cercetătorilor care își propun să aprofundeze această temă.

În cadrul acestei cercetări bibliometrice, am efectuat o căutare amănunțită în două baze de date și un jurnal de specialitate care tratează domeniul materialelor polimerice, pe un interval de timp care vizează începutul publicării în domeniu până în decembrie 2024.

Cele două baze de date sunt: *Web of Science* și *Scopus*, iar jurnalul este *Polymer Testing*. Selecția preliminară a datelor s-a realizat pe baza unor criterii de includere și excludere aplicate ca filtre în cadrul bazelor de date mai sus menționate. Pentru căutarea articolelor științifice referitoare la domeniul vizat am folosit următoarele expresii: „*mechanical behavior*” & „*polymers*” și „*accelerated weathering*” & „*polymers*”.

Această căutare cuprinde articole publicate în intervalul de timp cuprins între aprilie 1989 și decembrie 2024, generând un număr total de 6.983 de publicații, cumulate prin însumarea numărului lor pe fiecare an, conform graficului prezentat în Figura 2.1. Articolele au fost identificate prin aplicarea formulelor menționate anterior, selectate în fila de căutare a jurnalului și a bazelor de date specificate. Jurnalul *Polymer Testing* a fost eliminat din cele două baze de date pentru a preveni duplicarea. Acest demers de eliminare a duplicărilor contribuie la asigurarea integrității datelor și furnizează o imagine mai precisă și cuprinzătoare a publicațiilor disponibile în domeniul materialelor polimerice, cu un accent deosebit pe impactul factorilor externi asupra comportamentul mecanic și elastic al acestor materiale în funcție de mediul în care acestea au fost testate sau în care lucrează.

Având în vedere numărul ridicat de publicații identificate în literatura de specialitate (6.983 lucrări), acoperind perioada 1989–2024, s-a optat pentru un proces de selecție desfășurat în două etape. Această abordare a fost aleasă pentru a evidenția cât mai eficient evoluția domeniului și pentru a surprinde cât mai fidel stadiul actual al cercetărilor. Astfel, pentru combinația „*mechanical behavior*” & „*polymers*”, au fost identificate 4.592 de articole în baza de date WoS, 1.254 în Scopus și 521 în *Polymer Testing*, totalizând 6.367 de publicații. În ceea ce privește termenii „*accelerated weathering*” & „*polymers*”, au fost regăsite 225 articole în WoS, 326 în Scopus și 65 în *Polymer Testing*, însumând 616 lucrări. Cumulat, prima etapă de selecție a condus la identificarea unui număr total de 6.983 de articole relevante.

După colectarea inițială a lucrărilor relevante, a fost realizată o fază de rafinare pentru a elimina sursele care nu îndeplineau criteriile de calitate sau erau mai puțin relevante pentru tema centrală a prezentei teze. Lucrările care se suprapun au fost, de asemenea, excluse pentru a evita redundanța în referințele selectate. Referințele selectate au fost documentate complet, inclusiv autorii, titlurile articolelor, revistele în care au fost publicate, anul publicării și numărul de citări, asigurând transparența și verificabilitatea surselor utilizate. Aceste informații au fost esențiale pentru a evalua impactul fiecărei lucrări în domeniu și pentru a construi o bază bibliografică solidă pentru această teză.

Analiza generală indică un interes mult mai mare pentru comportamentul mecanic al polimerilor comparativ cu degradarea lor accelerată. Stabilitatea numărului total de publicații sugerează o continuitate a cercetării în aceste domenii, iar o vizualizare grafică ar putea evidenția mai clar evoluțiile și fluctuațiile din ultimii ani.

Procesul de filtrare are două etape majore de excludere (Figura 2.1):

- Prima etapă elimină articolele care nu sunt din domeniul caracterizării mecanice și elastice ale materialelor polimerice, cele indisponibile sau duplicate între baze de date și jurnale, reducând astfel setul inițial de 6.983 de rezultate la 3.410.
- A doua etapă aplică criterii mai stricte, eliminând lucrările nerelevante pentru subiectul tezei, cele cu metodologie slabă, rezultate nereproductibile sau tehnologii depășite, restrângând intervalul temporal la 2015-2024.

În final, din întregul proces rămân 1.853 de articole considerate relevante pentru analiză. Această abordare asigură o selecție riguroasă a referințelor, permițând includerea doar a studiilor pertinente și de înaltă calitate în teză.

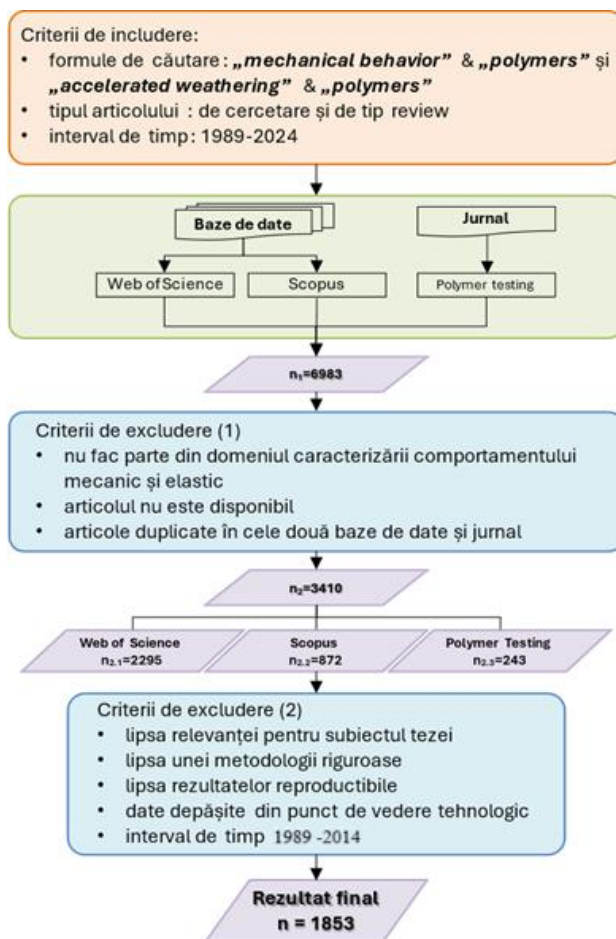


Figura 2.1 Schema procesului de filtrare și selecție al referințelor bibliografice

2.2 Analiza stadiului actual

Materialele polimerice sunt esențiale în foarte multe aplicații industriale, inclusiv în industria auto, aeronautică, biomedicală și electronică, datorită raportului favorabil între greutate specifică și rezistență, procesul de prelucrare mai ușor și costuri reduse. Totuși, interacțiunea acestor materiale cu diverși factori de mediu determină schimbări structurale și funcționale care pot compromite sau în anumite situații pot îmbunătăți performanța acestora. Studiile recente din domeniul științei materialelor și al ingineriei mecanice se bazează pe impactul factorilor de mediu precum temperatura, umiditatea, radiațiile ultraviolete, expunerea la diferite substanțe chimice asupra proprietăților mecanice și elastice ale polimerilor. În acest context, o analiză detaliată a acestor influențe este esențială pentru dezvoltarea unor materiale cu durabilitate crescută, dar și pentru aplicabilitatea acestora în industria cerută.

Degradarea polimerilor poate fi clasificată în mai multe tipuri: foto-oxidativă, termo-oxidativă, hidrotermală sau biodegradabilă. Polimerii uzuali, polietilena (PE), polipropilena (PP), policlorura de vinil (PVC), tereftalatul de polietilenă (PET), polistirenul (PS), policarbonatul (PC) prezintă sensibilități diferite la acești factori, manifestând pierderi de elasticitate, fragilizare, decolorare și scădere a rezistenței mecanice. Modelarea degradării se face pe mai multe scări: microscopice (interfața matrice-armătură), mezoscopice (structuri reprezentative) și macroscopice (comportament global), permițând o înțelegere aprofundată a proceselor implicate și dezvoltarea de modele predictive.

Umiditatea este un factor critic în comportamentul mecanic al polimerilor. De exemplu, poliamida 6 (PA6) suferă o reducere semnificativă a rigidității la creșterea umidității, scăzând modulul de stocare cu până la 74%. Soluțiile alcaline, în schimb, au fost mai agresive decât cele acide în experimentele de degradare, iar temperaturile ridicate au accentuat deteriorările.

În medii marine, compozitele ranforsate cu diverse fibre suferă pierderi de până la 50% a rezistenței mecanice, iar absorbția apei influențează comportamentul interlaminar. Testele au arătat că umiditatea se acumulează în matrice, afectând interfața fibră-matrice și favorizând delaminarea. Soluțiile saline sau alcaline accelerează hidroliza și fragilizarea materialului.

Simulările numerice, de ex. dinamica particulelor disipative, au demonstrat influența grupărilor laterale și a alegerii solventului asupra conformației și stabilității structurale a polimerilor. De asemenea, temperatura ridicată reduce modulul de elasticitate, în timp ce radiațiile UV induc reticulare sau scindare, în funcție de tipul de polimer și de condițiile de expunere.

Protecția împotriva UV se realizează prin aditivi sau pigmenti, de ex. negru de fum, dioxid de titan, care absorb sau reflectă radiațiile. Studiile au subliniat importanța stabilizatorilor chimici, de ex. Hindered amine light stabilizers (HALS) în menținerea proprietăților materialului. Testele de îmbătrânire accelerată au permis evaluarea diferențiată a efectelor radiației ultraviolete (UV) și infra-roșu (IR) asupra durabilității.

Cercetările asupra materialelor compozite și reciclate, precum cele pe bază de poliacetal (POM) sau poliamidă cu deșeuri adăugate, au arătat o îmbunătățire a rigidității, dar și limitări legate de absorbția apei și de scăderea durității la temperaturi și durate mari de expunere. De asemenea, frecvența, amplitudinea și temperatura joacă un rol cheie în degradarea izolației electrice din polimeri utilizați în sisteme de înaltă frecvență.

În cazul îmbătrânirii naturale versus celei accelerate, de ex. cu lampa cu xenon, s-a observat o bună corelație în special în cazul polimerilor transparenți ca polimetacrilat de metil (PMMA). În schimb, acrilonitril butadiene stiren (ABS) și acrilonitril stirene acrilat (ASA) au prezentat degradări mai accentuate ale culorii și comportament casant după expunere prelungită.

În concluzie, degradarea materialelor polimerice este un proces complex și inevitabil, influențat de o multitudine de factori de mediu, precum umiditatea, temperatura, radiațiile UV și

expunerea la substanțe chimice. Efectele acestor factori pot fi ireversibile și afectează semnificativ performanțele mecanice, structurale și funcționale ale polimerilor. Înțelegerea profundă a acestor fenomene necesită o abordare multiscalară, care să permită corelarea între comportamentul microscopic, mezosopic și macroscopic al materialelor în condiții reale de utilizare.

Apa, ca factor de mediu, are un impact major asupra comportamentului higroscopic al anumitor polimeri, ducând la scăderi accentuate ale rigidității și rezistenței mecanice, în special în cazul poliamidelor. Radiațiile UV induc procese de reticulare sau degradare a lanțurilor polimerice, afectând atât proprietățile fizico-chimice, cât și stabilitatea dimensională a materialelor. Prin utilizarea de aditivi și stabilizatori specifici, este posibilă creșterea rezistenței la astfel de factori, însă este esențial ca metodele de testare să reflecte cât mai fidel condițiile reale de exploatare.

Din perspectiva aplicațiilor industriale, integrarea acestor cunoștințe în procesul de proiectare și selecție a materialelor este crucială pentru asigurarea fiabilității și a performanței în medii solicitante. În acest sens, continuarea cercetărilor este indispensabilă pentru optimizarea comportamentului materialelor polimerice și pentru dezvoltarea de soluții sustenabile, cu durată de viață extinsă.

3. COMPORTAREA LA TRACȚIUNE UNIAXIALĂ

Caracterizarea mecanică a materialelor polimerice elaborate prin diferite tehnologii de fabricație, este de mare interes în rândul cercetărilor, dat fiind faptul că modul de obținere al acestora poate influența modul de funcționare al produselor fabricate din aceste materiale. Scopul prezentului studiu este de a determina caracteristicile mecanice și elastice ale materialelor polimerice menținute în diverse medii de lucru: *ambiental, apă distilată, ulei de răcire, soluție salină, radiații UV-C* prin testarea la tracțiune uniaxială. Rezultatele astfel obținute vor permite realizarea de studii comparative în vederea determinării unor relații de legătură dintre caracteristicile mediului de lucru și caracteristicile mecanice și elastice ale acestor materiale studiate. Capitolul de față investighează experimental proprietățile la tracțiune cvasistatică ale epruvetelor confecționate din: polioximetilenă (POM), poliamidă 6 (PA6), poliamidă 6 ranforsată cu fibre de sticlă în procent de 30% (PA6-GF30), policlorură de vinil (PVC), polipropilenă (PP).

Așa cum s-a precizat și anterior, sunt investigate proprietățile mecanice și elastice ale acestor materiale, în funcție de gradul de absorbție în material al apei distilate, al uleiului de răcire, al soluției saline dar și a impactului razelor ultraviolete asupra acestor materiale.

Forma și dimensiunile epruvetelor folosite sunt prezentate în Figura 3.1, conform standardului ('ISO 527-2: Tensile Testing for Plastics.', 2012), care reglementează încercarea de tracțiune uniaxială a materialelor plastice.

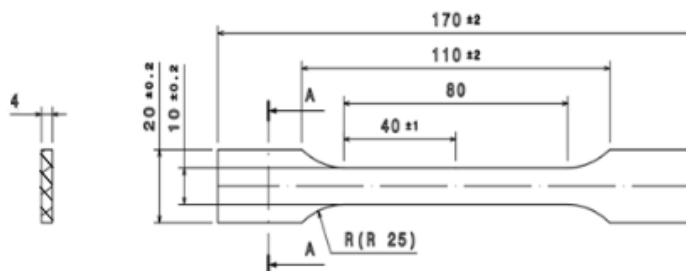


Figura 3.1 Dimensiunile epruvetelor (în mm)

În acest capitol sunt evaluate proprietățile la tracțiune ale epruvetelor. Prin urmare, etapa experimentală cuprinde o serie de încercări de tracțiune cvasistatice efectuate pe epruvete "dublu T" sau "os de câine" (*dog-bone*), urmând standardul amintit anterior ('ISO 527-2: Tensile Testing

for Plastics.’, 2012). Studiul experimental propus vizează evaluarea comportamentului materialelor polimerice în diverse medii de expunere, cu accent pe modificările survenite din perspectiva caracteristicilor mecanice și elastice ale materialelor studiate.

După confecționarea epruvetelor, am realizat o metodă de testare utilizând softul GraphWork, cu care este dotată mașina de încercare Galdabini, modelul Quasar 25, aflată în dotarea laboratorului de încercări de materiale din cadrul Facultății de Inginerie din universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu. În această metodă au fost definite: dimensiunile geometrice ale epruvetelor, viteză de încercare (5 mm/min, conform standardelor în vigoare) și s-a stabilit o alungire maximă de 700% pentru a evita depășirea limitelor mașinii. Tot în această metodă de testare au fost precizate mărimile ce se doresc a fi determinate (înregistrate) în urma testelor efectuate: forța (N), alungirea (mm), tensiunea maximă (MPa) și deformația specifică (%), corespunzătoare tensiunii maxime.

În cazul epruvetelor care urmau a fi imersate în apă distilată, ulei de răcire sau soluție salină, într-o primă etapă acestea au fost supuse unui proces de uscare într-o etuvă (Figura 3.2), la temperatura de 50⁰ Celsius, timp de 24 h, conform standardului (‘ISO 62:2008 - Plastics - Determination of water absorption’, 2008).

După scoaterea din etuvă, epruvetele au fost cântărite iar mai apoi au fost imersate în mediile mai sus menționate timp de 24 h. Ulterior scoaterii din aceste medii lichide, epruvetele au fost șterse prin tamponare cu o lavetă, pentru a îndepărta surplusul de apă de pe suprafața acestora, iar mai apoi au fost din nou cântărite pentru a se putea determina gradul de absorbție a lichidului în fiecare material studiat.



Figura 3.2 Etuva utilizată pentru uscarea epruvetelor timp de 24 h la 500 C



Figura 3.3 Mașina universală de testare Galdabini Quasar 25 kN

În cazul epruvetelor care urmau a fi supuse radiațiilor UV-C și a celor care urmau a fi testate fără a fi supuse unui factor de mediu extern, acestea au fost doar măsurate și controlate din punct de vedere dimensional.

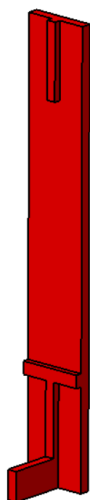
Pentru o mai bună înțelegere a metodologiei de testare pentru fiecare caz (mediu de lucru) în parte, o detaliere a procesului de pregătire a epruvetelor va fi făcută în paragrafele următoare.

În final, epruvetele au fost supuse încercărilor de tracțiune uniaxială, la temperatura ambientală, în condiții de laborator, folosind mașina universală de testare Galdabini model Quasar 25 (Figura 3.3) cu o capacitate maximă de 25 kN.

Pentru a asigura o poziționare / orientare cât mai bună a epruvetelor în bacurile mașinii de testare, precum și pentru a realiza o coaxialitate cu axele verticale ale bacurilor mașinii, precum și o plasare consecventă a epruvetelor, între bacurile mașinii de testare, s-a proiectat, realizat și utilizat un dispozitiv de orientare a epruvetelor (Figura 3.4).

Acest dispozitiv a fost esențial pentru a poziționa axa longitudinală epruvetei în coincidență cu axa centrală a bacurilor mașinii de testare, reducând astfel posibilitatea de a solicita epruveta la

întindere excentrică, lucru care ar fi condus la solicitări suplimentare de încovoiere care ar fi putut influența negativ rezultatele obținute.



a) vedere izometrică;



b) Epruvetă atașată pe mașina de testare folosind dispozitivul de orientare

Figura 3.4 Dispozitiv de orientare a epruvetelor între bacuri

Trebuie precizat că, dispozitivul utilizat la poziționarea /orientarea epruvetelor a fost realizat prin printare 3D și nu a influențat în vreun fel rezultatele experimentale, acesta fiind îndepărtat înainte de începerea fiecărui test.

Analiza rezultatelor obținute în urma acestor teste va oferi informații esențiale pentru înțelegerea comportamentului materialului în condiții diverse, având implicații semnificative în domeniul cercetării materialelor, dar și a dezvoltării produselor cu proprietăți mecanice îmbunătățite.

3.1 Definirea mediilor de testare alese pentru studiu

Studiul comportamentului materialelor polimerice sub diverse condiții de mediu reprezintă o arie de cercetare crucială, având implicații semnificative în domeniul ingineriei mecanice, dar și a științei materialelor. În acest capitol, așa cum am precizat și anterior, vor fi analizate și comparate efectele a cinci medii diferite (mediu ambiental, apă distilată, ulei de răcire, raze ultraviolete tip C, soluție salină) asupra caracteristicilor la tracțiune ale epruvetelor, căutând să identificăm modul în care expunerea materialelor polimerice studiate la aceste medii influențează comportamentul mecanic și elastic al acestor materiale.

3.1.1 Mediu ambiental

Testele de tracțiune uniaxială în condiții de laborator sunt fundamentale pentru materialele polimerice din mai multe motive. În primul rând, acestea permit determinarea proprietăților mecanice necesare pentru a compara rezultatele din diverse medii de lucru pe care le voi efectua. Prin aceste teste se pot realiza comparații directe între diferite materiale polimerice sau formule de polimeri, aspect esențial pentru ingineri în selectarea materialului optim pentru aplicații specifice. Aceste date sunt cruciale pentru evaluarea durabilității și fiabilității materialelor în diverse aplicații practice. Prin testele de tracțiune, se pot modela comportamentele materialelor polimerice sub diverse încărcări și condiții de utilizare, ceea ce permite predicția reacțiilor materialelor în cazul unor solicitări complexe.

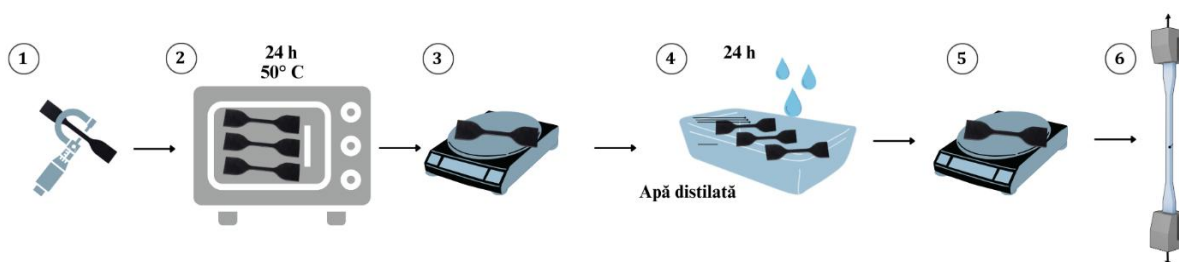
În cadrul studiului de față, rezultatele obținute pentru testele efectuate în mediu ambiental vor considera baza de referință pentru toate celelalte medii analizate.

3.1.2 Apă distilată

Al doilea mediu de testare este reprezentat de apă distilată. Pentru imersarea epruvetelor, am utilizat apa distilată furnizată de brandul Simplu Quality Products, această apă fiind utilizată în diverse aplicații industriale, cum ar fi diluarea lichidelor de tip antigel și a lichidelor pentru spălarea parbrizelor, realizarea electrolitului utilizat în acumulatele electrice, ca lichid de pulverizare pentru aparatele de călcat electrice, răcirea motoarelor cu combustie internă etc. Apa distilată utilizată a avut un pH cuprins între 6 – 7,5 și o densitate de 1 g/cm³ la 20°C.

Standardul folosit în cazul acestui mediu ('ISO 62:2008 - Plastics - Determination of water absorption', 2008), prevede imersarea și menținerea epruvetele timp de 24 h în apă distilată. Metodologia prevăzută în standard, presupune următoarele etape (Figura 3.5):

1. măsurarea epruvetelor,
2. uscarea epruvetelor timp de 24 h într-un cuptor la 50 °C,
3. cântărirea epruvetelor cu ajutorul unui cântar de precizie,
4. scufundarea epruvetelor într-un vas de sticlă, pentru a nu influența calitatea testelor, și menținerea acestora timp de 24 h,
5. cântărirea epruvetelor, ulterior procesului de imersie, în vederea determinării procentului de absorbție,
6. supunerea epruvetelor la teste de tracțiune uniaxială.



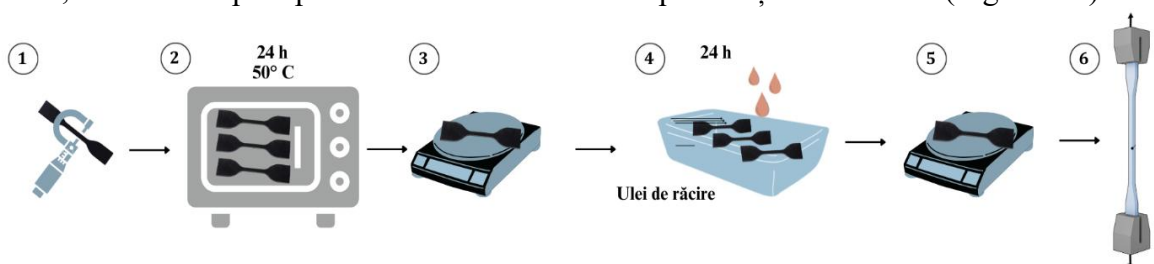
1 – măsurarea epruvetelor, 2 - uscare în etuvă, 3 - cântărire după uscare, 4 – imersia în apă distilată, 5 - cântărire privind absorbția, 6 - încercare de tracțiune uniaxială

Figura 3.5 Etapele efectuării testelor în apă distilată

3.1.3 Ulei de răcire

Al treilea mediu de testare ales pentru acest studiu, este uleiul de răcire furnizat de brandul Azur-Cut 602,01 M-15. Acesta este o combinație de ulei mineral și aditivi special concepuți pentru a funcționa la presiuni ridicate dar și pentru a face față regimurilor de prelucrare intense care apar la prelucrările mecanice cu îndepărtare de material. Uleiul are o vâscozitate de 15 mm²/s la 40 °C, fiind un ulei sintetic de răcire destinat utilizărilor industriale.

Pentru experimentele realizate în cadrul cercetărilor desfășurate și în ceea ce privește influența acestui mediu de lucru asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale materialelor polimerice, am extins / preluat prevederile din standardul destinat în mod obișnuit pentru apă distilată, astfel că etapele prezentate anterior au fost aplicate și în acest caz (Figura 3.6).



1 – măsurarea epruvetelor, 2 - uscare în etuvă, 3 - cântărire după uscare, 4 – imersia în ulei de răcire, 5 - cântărire privind absorbția, 6 - încercare de tracțiune uniaxială

Figura 3.6 Etapele efectuării testelor în ulei de răcire

3.1.4 Raze ultraviolete tip C

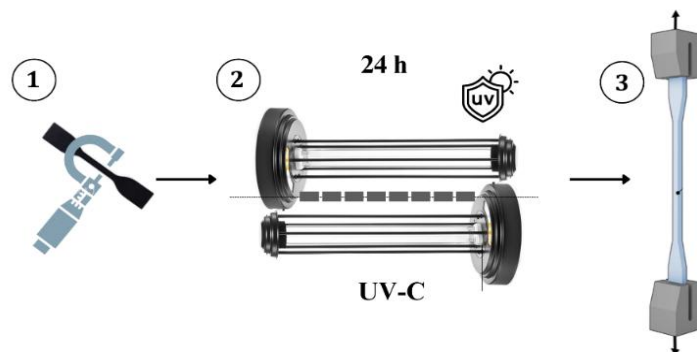
Al patrulea mediu de testare utilizat a fost cel dat de radiațiile ultraviolete de tip C (UV-C). Testarea materialelor polimerice la radiații UV-C este esențială pentru a evalua durabilitatea și rezistența acestora în condiții de expunere intensă la astfel de radiații UV.

Radiația UV-C, are o lungime de undă între 100 și 290 nanometri, și este cunoscută pentru capacitatea sa de a degrada materialele polimerice prin procese fotochimice.

Aceste teste permit identificarea potențialelor modificări ale proprietăților fizice și mecanice ale polimerilor, cum ar fi fragilizarea, pierderea elasticității, decolorarea sau scăderea rezistenței mecanice.

Prin expunerea materialelor la UV-C, putem determina durata de viață și performanța diverselor materiale polimerice în aplicații unde sunt supuse la astfel de radiații UV, asigurând astfel fiabilitatea și siguranța produselor finale.

În cazul radiațiilor UV de tip C intensitatea acestora scade proporțional cu pătratul distanței față de sursa de emisie, conform legii inversului pătratului. Aceasta înseamnă că, pe măsură ce distanța față de sursa de radiații crește, intensitatea fasciculului de radiație se diminuează semnificativ. Intensitatea radiației UV-C poate fi măsurată utilizând senzori specializați, capabili să detecteze nivelurile precise ale radiației emise. O caracteristică esențială a acestui tip de radiație este energia ridicată a fotonilor, determinată de frecvența mare a undelor electromagnetice.



1 – măsurarea epruvetelor 2 – expunerea la UV-C, 3 - încercare de tracțiune uniaxială

Figura 3.7 Etapele efectuării testelor la raze ultraviolete:

Această energie sporită permite fotonilor UV-C să rupă legăturile intermoleculare prin procesul de ionizare a moleculelor, ceea ce duce la modificări structurale și degradarea compușilor expuși. Datorită acestor proprietăți, radiațiile UV-C sunt utilizate frecvent în procese de sterilizare și dezinfectare, unde distrug structurile moleculare ale microorganismelor, împiedicând astfel replicarea acestora.

În acest caz metodologia este una mai simplă, fiind necesară doar măsurarea epruvetelor, expunerea acestora, timp de 24 h la radiații UV-C, și mai apoi testarea acestor epruvete la tracțiune uniaxială. (Figura 3.7).

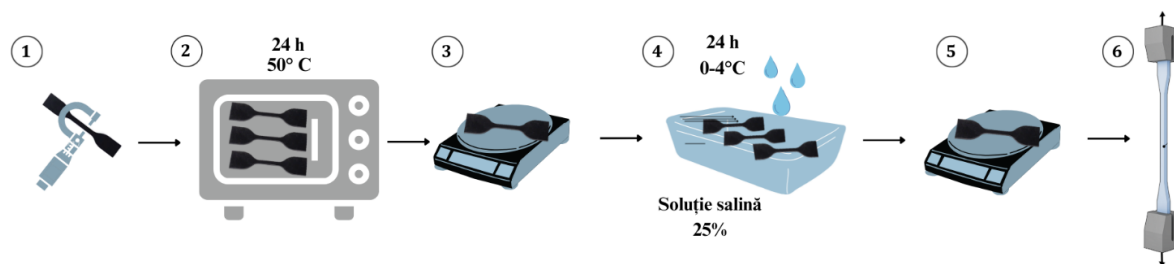
3.1.5 Soluție salină

Al cincilea mediu de testare utilizat a fost soluția salină. Pentru testarea epruvetelor în acest mediu salin am folosit standardul ('ISO 16750-4:2023(en), Road vehicles - Climatic loads', 2023). Soluția salină a fost formată din 25 l apa demineralizată, 8,34 kg sare și 30 ml acid clorhidric.

Metodologia prevăzută în standard, presupune următoarele etape (Figura 3.8):

1. măsurarea epruvetelor,
2. uscarea epruvetelor timp de 24 h într-un cuptor la 50 °C,
3. cântărirea epruvetelor cu ajutorul unui cântar de precizie,
4. condiții de aclimatizare după uscare: 23°C, 50% rH (umiditate relativă),
5. timp de aclimatizare: 2h,

6. imersarea epruvetelor în soluția de salinitate 25%, pH=2,162 timp de 24 h, la o temperatură de 0,5°C,
7. cântărirea epruvetelor, ulterior procesului de imersie, în vederea determinării procentului de absorbție,
8. supunerea epruvetelor la teste de tracțiune uniaxială.



1 - măsurarea epruvetelor, 2 - uscare în etuvă, 3 - cântărire după uscare, 4 - imersia imediată în soluție salină, 5 - cântărire privind absorbția, 6 - încercare de tracțiune uniaxială

Figura 3.8 Etapele efectuării testelor în soluție salină

3.2 Comportarea polioximetilenei (POM) la tracțiune uniaxială

Polioximetilena (poliacetal) este un polimer termoplastic semicristalin, recunoscut pentru proprietățile sale fizice și mecanice esențiale în diverse aplicații industriale (DuPont 2023). Aceste materiale prezintă o densitate ridicată și o temperatură de topire relativ înaltă, oferind stabilitate dimensională excelentă, rigiditate și un coeficient de frecare scăzut.

3.2.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la tracțiune uniaxială a epruvetelor realizate din POM supuse la acțiunea diferitelor medii agresive

În Figura 3.9 sunt prezentate toate cele cinci curbe caracteristice tensiune - deformație specifică medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea.

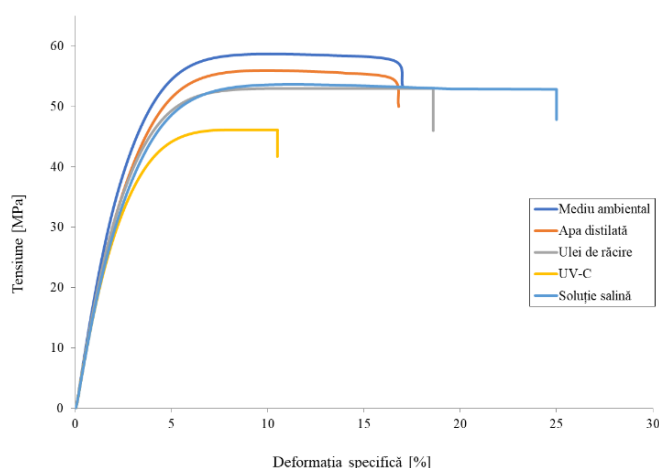


Figura 3.9 Curbele caracteristice medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la tracțiune uniaxială a epruvetelor realizate din POM și supuse acțiunii diferitelor medii agresive

În Figura 3.10 este prezentat un grafic comparativ cu media valorilor maxime ale tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

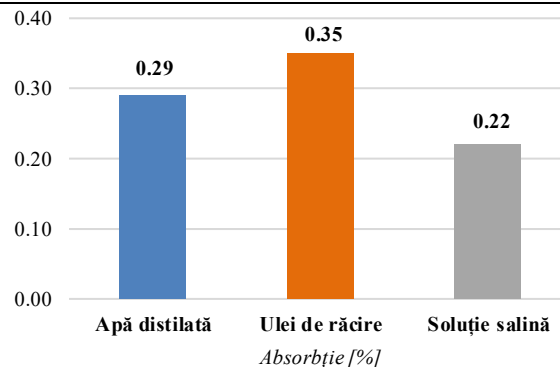
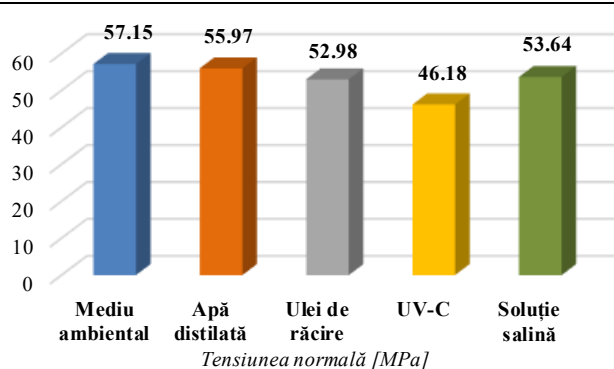


Figura 3.10 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la tracțiune [MPa] pentru epruvetele confecționate din POM obținute în cazul celor cinci medii studiate

Figura 3.11 Nivelul mediu de absorbție [%] în epruvetele realizate din POM pentru cele trei medii lichide studiate

Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental, caz în care epruvetele nu au fost supuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă scade. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a acestei tensiuni normale maxime cu 2,11%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină scăderea este de 6,54%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire scăderea este ceva mai pronunțată, fiind de 7,87%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, scăderea să fie cea mai semnificativă 23,75%.

Se poate concluziona deci, că toate cele patru medii (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) au o influență negativă asupra rezistenței la tracțiune a epruvetelor confecționate din POM, cea mai mare influență având-o radiațiile UV-C, iar cea mai mică apă distilată care are și cel mai mic grad de absorbție în material, dintre toate cele trei medii lichide studiate, așa cum se poate observa și în graficul din Figura 3.11. În Figura 3.12 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor deformații specifice maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

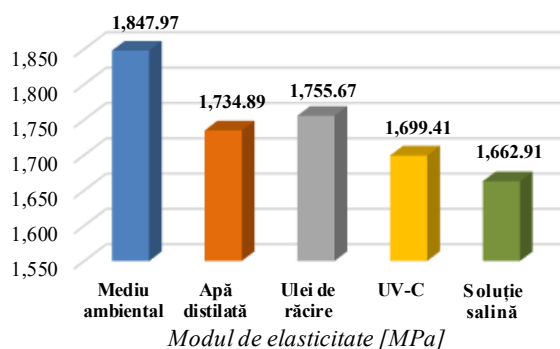
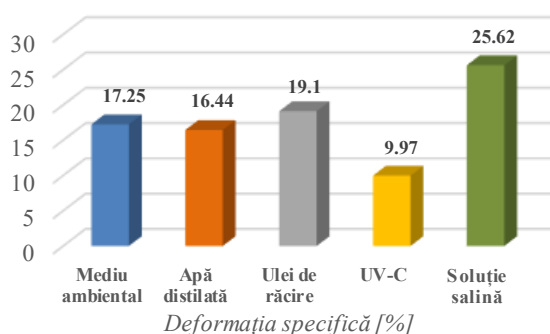


Figura 3.12 Valorile medii [%] ale deformației specifice maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din POM obținute în cazul celor cinci medii studiate

Figura 3.13 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la tracțiune pentru epruvetele confecționate din POM obținute în cazul celor cinci medii studiate [MPa]

Și în acest caz, se pot observa modificări ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

3.3 Comportarea poliamidei (PA6) la tracțiune uniaxială

Poliamida 6 (PA6), cunoscută și sub denumirea de Nylon 6 (Cervera-Moreno *et al.*, 2019), este un material termoplastice ce face parte din categoria polimerilor de nailon. Structura sa include grupări amidice repetitive (-CONH-) în cadrul lanțului molecular. Datorită configurației sale semicristaline, acest polimer se remarcă prin proprietăți mecanice de excepție, precum o rezistență mare la tracțiune și o capacitate semnificativă de a rezista la impact. (E. Alfredo Campo, 2006)

3.3.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la tracțiune uniaxială a epruvetelor realizate din PA6 supuse la acțiunea diferitelor medii agresive

În Figura 3.14 sunt prezentate toate cele cinci curbe caracteristice medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea.

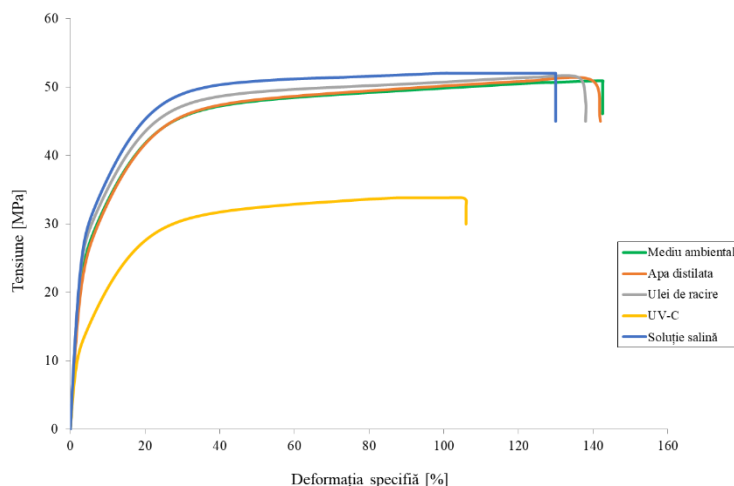


Figura 3.14 Curbele caracteristice medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la tracțiune a materialului PA6 în cinci medii diferite

În Figura 3.15 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte trei cazuri de medii lichide în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire și soluție salină) tensiunea normală maximă crește, mai puțin în cazul radiațiilor ultraviolete unde tensiunea normală scade. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a acestei tensiuni normale maxime cu 0,62%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină creșterea este de 2,76%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire creșterea este de 1,33%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, scăderea este semnificativă de 49,84%.

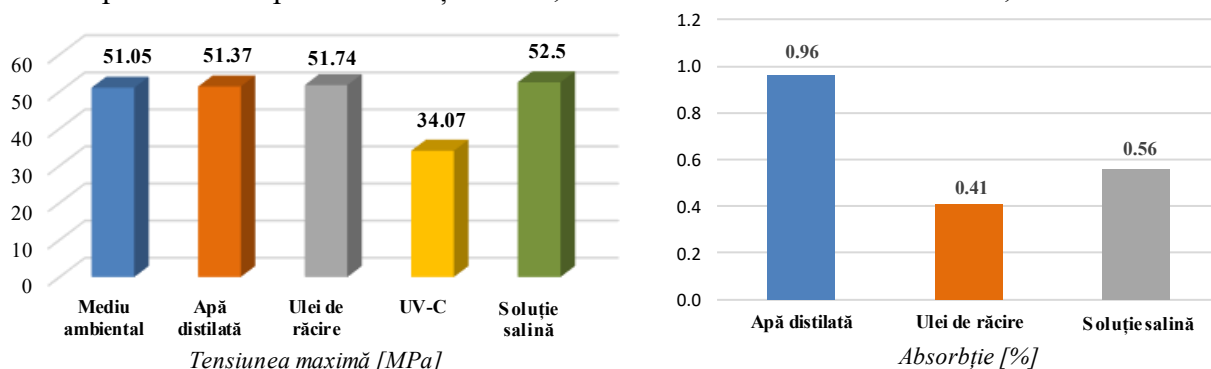


Figura 3.15 Valorile medii ale tensiunii normale maxime [MPa] la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6 obținute în cazul celor cinci medii studiate

Se poate concluziona deci, că toate cele trei medii lichide au o ușoară influență pozitivă asupra rezistenței la tracțiune a epruvetelor confecționate din PA6, în schimb cea mai mare influență, de data aceasta, negativă având-o radiațiile UV-C, care scade tensiunea normală cu aproape 50%. Din punct de vedere al absorbției, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul soluției salină, urmat de uleiul de răcire și apoi de apă distilată, care are o valoare de 0,96%, așa cum se poate observa și în graficul din Figura 3.16. În Figura 3.17 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor deformației specifice maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

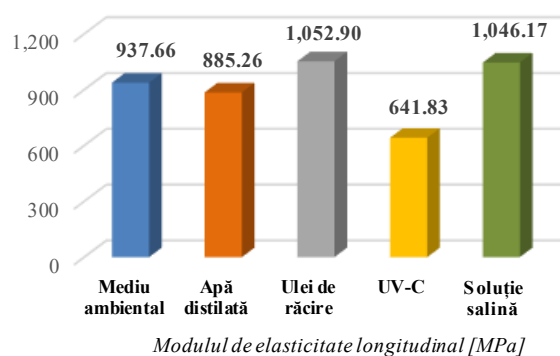
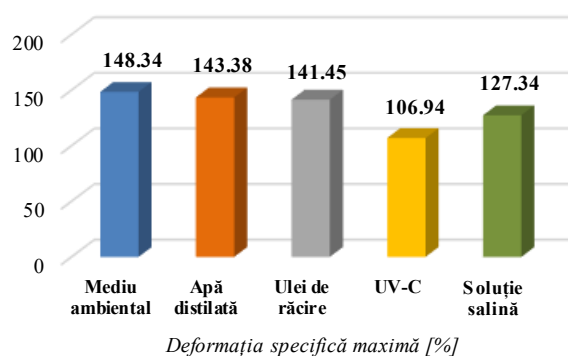


Figura 3.17 Valorile medii ale deformației specifice maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6 obținute în cazul celor cinci medii studiate

Figura 3.18 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6 obținute în cazul celor cinci medii studiate

Și în acest caz, se pot observa modificări ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

3.4 Comportamentul poliamidei 6 ranforsată cu 30% fibre de sticlă (PA6-GF30) la tracțiune uniaxială

Poliamida 6 ranforsată cu 30% fibre de sticlă (PA6-GF30) reprezintă un material polimeric compozit cu proprietăți mecanice și termice îmbunătățite față de poliamida neranforsată studiată în paragraful anterior (Wartzack, 2021). Această variantă de material se obține prin integrarea a 30% fibre de sticlă în matricea poliamidică. Această ranforsare conduce la o creștere semnificativă a performanțelor materialului astfel obținut, acesta fiind utilizat pe scară largă în aplicații industriale ce necesită o combinație de rezistență ridicată, rigiditate și stabilitate dimensională (Petrașcu and Pascu, 2023).

3.4.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PA6-GF30 și testate în diferite medii

Pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre aceste curbe medii, în Figura 3.19 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse.

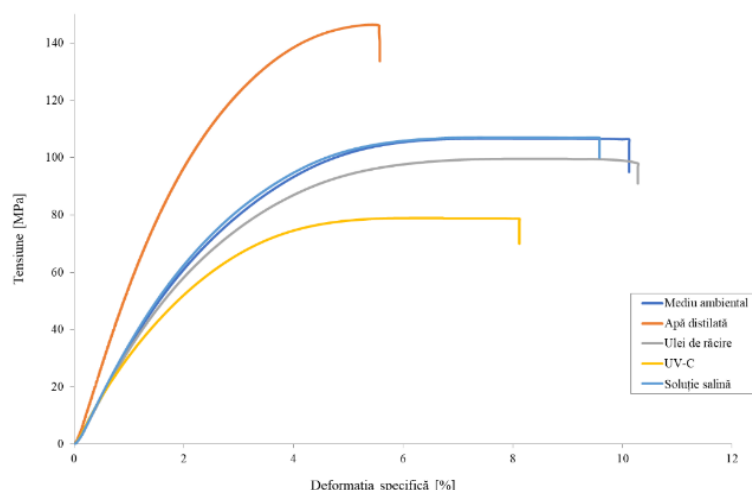


Figura 3.19 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la tracțiune a epruvetelor realizate din PA6-GF30 în patru medii diferite

În Figura 3.20 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

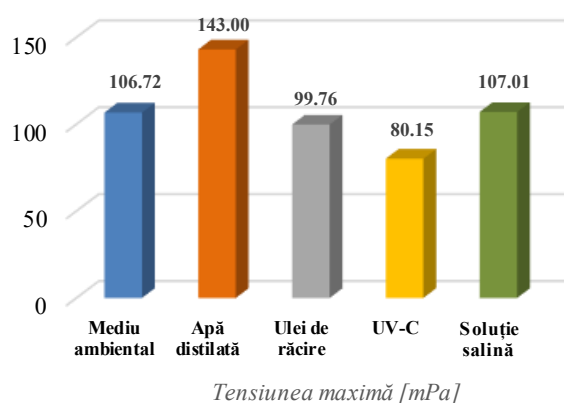


Figura 3.20 Valorile medii ale maximelor tensiunilor normale maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6GF30 obținute în cazul celor cinci medii studiate

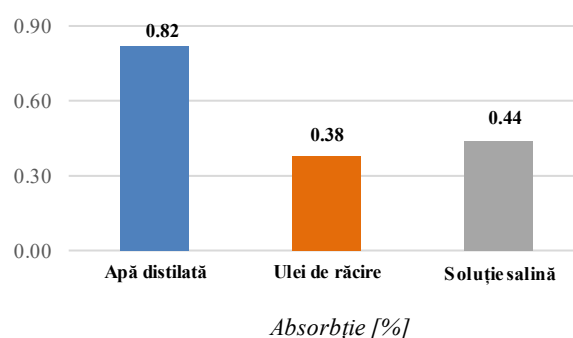


Figura 3.21 Nivelul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PA6-GF30 pentru cele trei medii lichide studiate

Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiantal nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri de medii în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, tensiunea normală maximă crește pentru apă distilată și soluție salină, mai puțin în cazul uleiului de răcire și radiațiilor ultraviolete unde tensiunea normală scade. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a acestei tensiuni normale maxime cu 25,37%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină creșterea este mai mică, de 0,25%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire scăderea este de 6,98%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, scăderea este semnificativă de 33,14%.

Se poate concluziona deci, că toate cele două medii lichide ce au la bază apa, au o ușoară influență pozitivă asupra rezistenței la tracțiune a epruvetelor confecționate din PA6GF30, în schimb cea mai mare influență, de data aceasta, negativă, o au radiațiile UV-C, care scade tensiunea normală cu 33,14%, iar uleiul de răcire are o ușoară influență negativă, scăzând tensiunea maximă cu 6,98%. Iar din punct de vedere al absorbției, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul uleiului de răcire, urmat de soluția salină și apoi de apa distilată, care are o valoare de 0,36%, așa cum se poate observa și în graficul din Figura 3.21.

În Figura 3.22 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor deformației specifice maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz, se pot observa modificări ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere (cea mai mare) a deformației specifice maxime cu 75,91%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C se observă o scădere de 24,17%, iar în cazul soluției saline avem cea mai mică scădere a deformației specifice maxime, de 2,18%. În cazul uleiului de răcire se constată o creștere a valorii maxime pentru deformația specifică de 4,63%. Se poate concluziona deci, că cea mai negativă influență asupra deformației specifice maxime a epruvetelor confecționate din PA6-GF30, o are apa distilată, alungirea maximă reducându-se cu 75,91% față de cazul epruvetelor testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern.

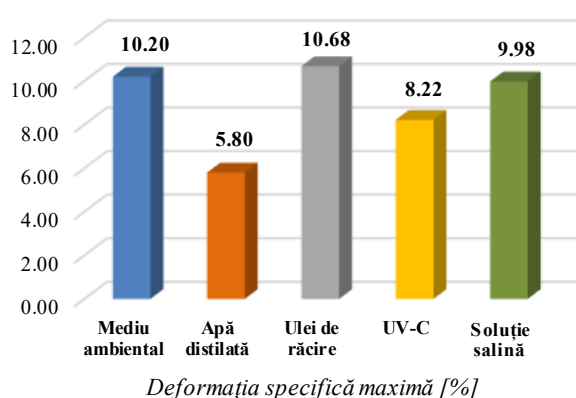


Figura 3.22 Valorile medii ale deformației specifice maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6-GF30 obținute în cazul celor cinci medii studiate

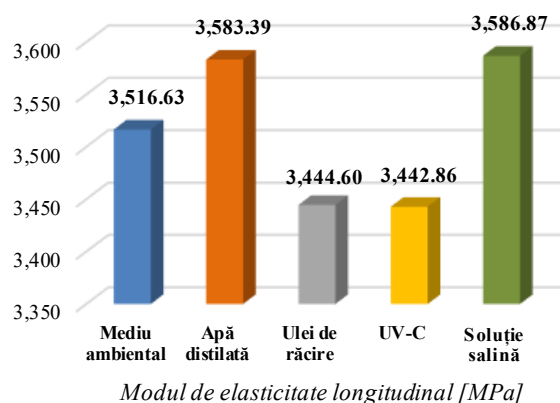


Figura 3.23 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PA6-GF30 obținute în cazul celor cinci medii studiate

În Figura 3.23 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz, al modulului de elasticitate longitudinal se pot observa scăderi ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină). Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, modulul de elasticitate longitudinal prezintă câteva modificări. Astfel în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire și în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C se constată scăderi ale acestei caracteristici cu 2,09%, respectiv 2,14%. În cazul celorlalte două medii, se constată creșteri ale valorilor, astfel, epruvetele imersate în apă distilată prezintă o creștere semnificativă de 34,68%, iar în cazul epruvetelor imersate în soluție salină, creșterea este de 1,96%.

3.5 Comportamentul policlorurii de vinil (PVC) la tracțiune uniaxială

Policlorura de vinil (PVC) este un plastic des utilizat, svând în vedere costurile reduse, dar și multiplele caracteristici fizico-chimice. PVC un polimer termoplastic creat prin polimerizarea clorurii de vinil, deține o structură chimică ce oferă posibilitatea de a schimba proprietățile cu

aditivi și plastifianți. PVC-ul este folosit și în aplicații rigide și în aplicații flexibile, din acest motiv (E. Alfredo Campo, 2006).

3.5.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PVC și testate în diferite medii

În Figura 3.24 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea.

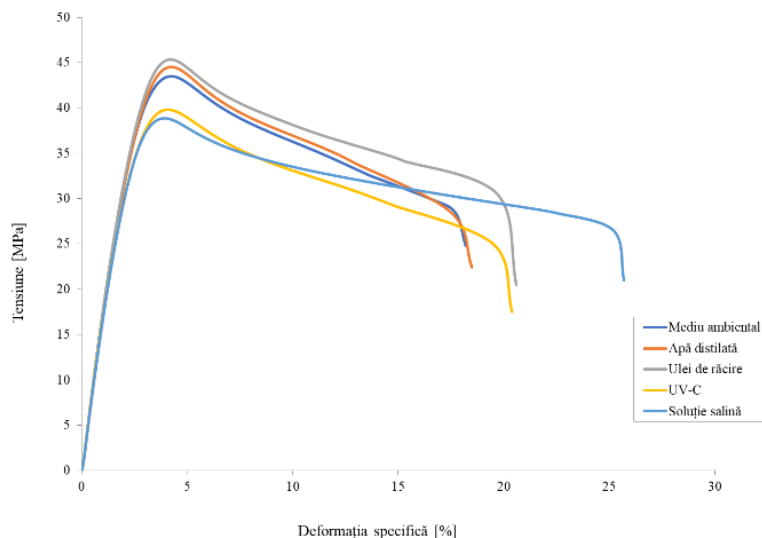


Figura 3.24 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la tracțiune a materialului PVC în patru medii diferite

În Figura 3.25 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

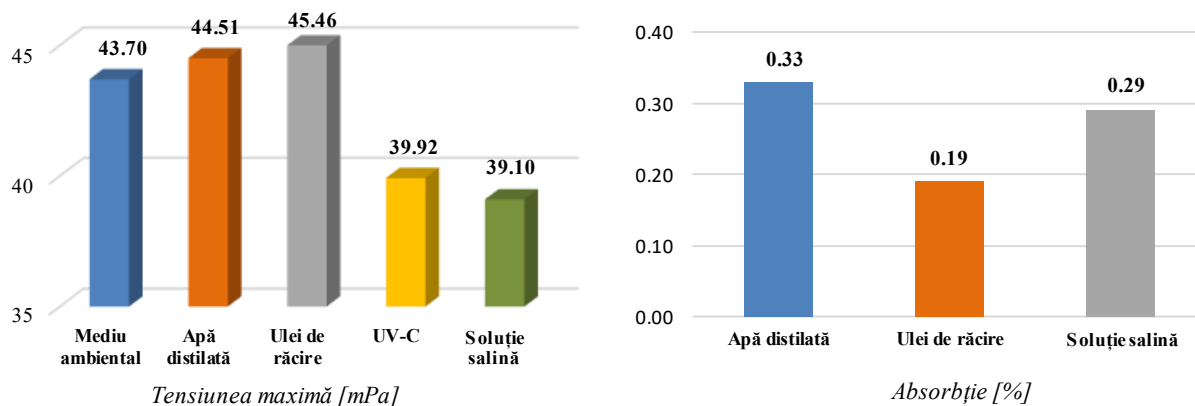


Figura 3.25 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PVC pentru cele cinci medii studiate **Figura 3.26 Gradul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PVC pentru cele trei medii lichide studiate**

Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiantal nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri de medii în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, tensiunea normală maximă crește pentru apă distilată și ulei de răcire, în timp ce pentru UV-C și soluție salină scade. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a acestei tensiuni normale maxime cu 1,82%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire creșterea este de 3,86%, în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, scăderea este de 9,47%, iar în cazul epruvetelor imersate în soluție salină scăderea este și mai mare de 11,78%.

Se poate concluziona, așadar, că toate două dintre cele patru medii exercită o influență negativă, reducând tensiunea normală, și anume radiațiile ultraviolete de tip C și soluția salină.

În ceea ce privește absorbția, se remarcă faptul că în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se înregistrează cel mai mare procent, de 33%, urmat de cazul epruvetelor imersate în soluție salină cu o absorbție de 0,29%, iar cel mai mic procent de absorbție cu o valoare de 0,19% este înregistrat în cazul uleiului de răcire, aspect evidențiat și în graficul prezentat în Figura 3.26.

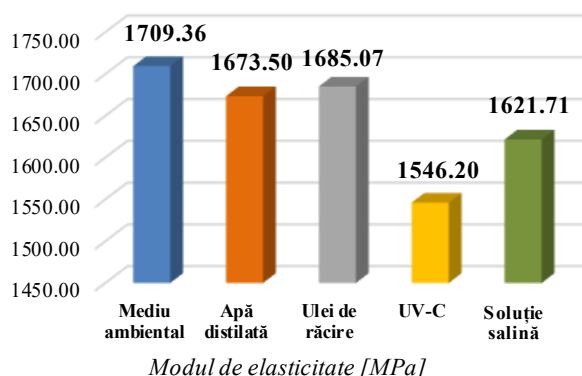
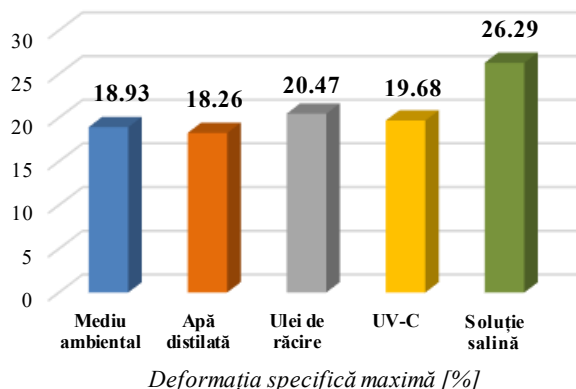


Figura 3.27 Valorile medii ale deformației specifice maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PVC obținute în cazul celor cinci medii studiate

Figura 3.28 Valorile medii ale modului de elasticitate longitudinală la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PVC obținute în cazul celor cinci medii studiate

În Figura 3.27 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor deformației specifice maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

Și în acest caz, se pot observa modificări ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a deformației specifice maxime cu 3,66%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C se observă o creștere (cea mai mică) de 3,82%. În cazul soluției saline avem o creștere semnificativă a deformației specifice maxime, de 38,91%, iar în cazul uleiului de răcire se constată o creștere a valorii maxime pentru deformația specifică de 8,12%. Se poate concluziona deci, că influența negativă asupra deformației specifice maxime a epruvetelor confecționate din PVC, o are apa distilată, alungirea maximă reducându-se cu 3,66% față de cazul epruvetelor testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. Merită însă a fi subliniat și faptul că soluția salină are un efect de creștere a deformației specifice maxime, de peste 38 %.

În Figura 3.28 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz, al modului de elasticitate longitudinal se pot observa scăderi ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină). Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, modulul de elasticitate longitudinal prezintă câteva modificări.

3.6 Comportamentul polipropilenei (PP) la tracțiune uniaxială

Polipropilena (PP) este un polimer termoplastic semicristalin obținut prin polimerizarea propilenei. Datorită caracteristicilor sale chimice, termice și mecanice, PP este unul dintre cele

mai utilizate materiale plastice din industrie, cu aplicații variate în sectoare precum ambalaje, automobile, medicină și construcții.

3.6.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul epruvetelor realizate din PP și testate în diferite medii

În Figura 3.29 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea.

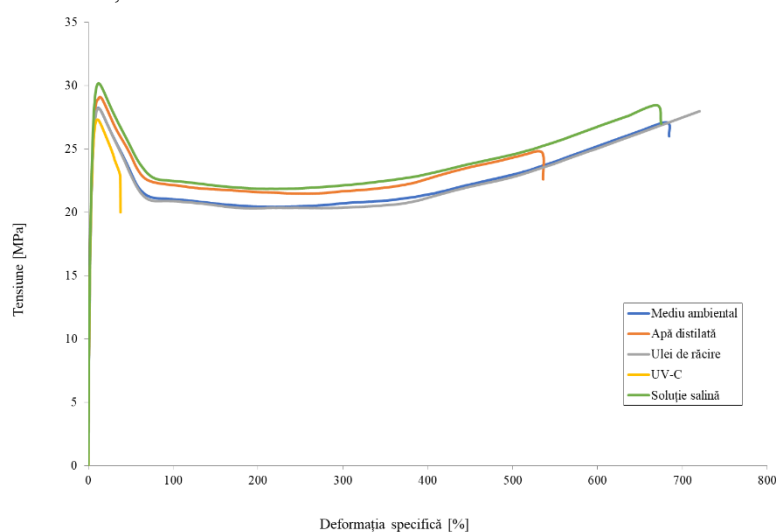


Figura 3.29 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la tracțiune a materialului PP în patru medii diferite

În Figura 3.30 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

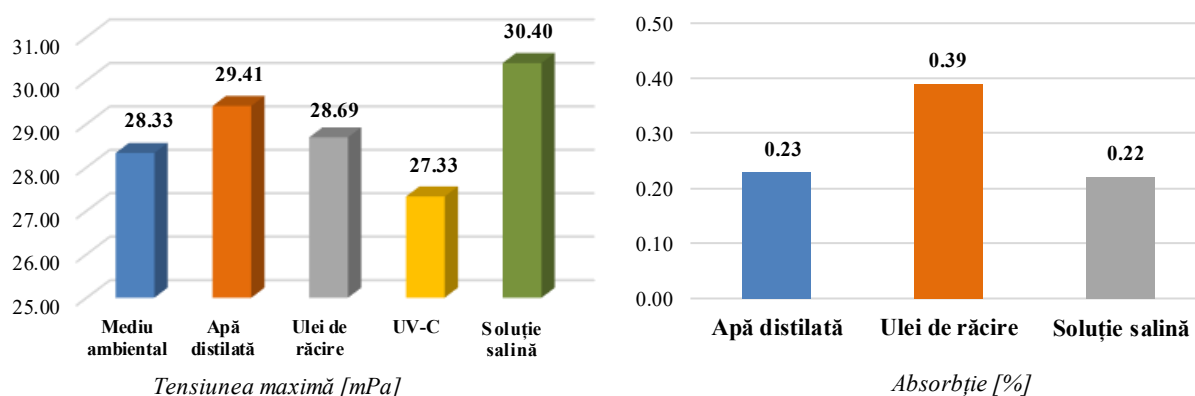


Figura 3.30 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PP pentru cele cinci medii studiate **Figura 3.31 Nivelul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PP pentru cele trei medii lichide studiate**

Se poate observă din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiantal nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri de medii în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, tensiunea normală maximă crește pentru apă distilată, ulei de răcire și soluție salină, în timp ce pentru UV-C scade. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a acestei tensiuni normale maxime cu 3,68%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire creșterea este de 1,24% și în cazul epruvetelor imersate în soluție salină creșterea este de 6,80%. În cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C scăderea este de 3,66%.

Se poate concluziona, așadar, că radiațiile ultraviolete de tip C exercită o influență negativă asupra epruvetelor din PP, evidențiind o degradare semnificativă a proprietăților structurale și mecanice ale materialului.

Analizând comportamentul de absorbție, se constată că epruvetele imersate în apă distilată prezintă un grad de absorbție de 0,23%, similar celui înregistrat pentru epruvetele expuse soluției saline (0,22%). În schimb, epruvetele imersate în ulei de răcire înregistrează cel mai ridicat grad de absorbție, cu o valoare de 0,39%, conform reprezentării grafice din Figura 3.. Absorbția similară observată în apă distilată și soluția salină sugerează că salinitatea nu are un impact major asupra comportamentului materialului. Totuși, absorbția crescută în uleiul de răcire indică o interacțiune semnificativă între ulei și structura polimerului, ceea ce ar putea avea implicații importante asupra utilizării materialului în medii lubrificate.

În Figura 3.32 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor deformației specifice maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz, se pot observa modificări ale valorilor deformației specifice maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a deformației specifice maxime cu 26,93%, în cazul uleiului de răcire se constată o creștere a valorii maxime pentru deformația specifică de 6,93%, în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C se observă o scădere semnificativă de 1735,18%, iar în cazul soluției saline avem o scădere ceva mai mică, de 1,47%.

Se poate concluziona deci, că imersia în apă distilată determină o reducere semnificativă a deformației specifice maxime, indicând o rigidizare a materialului, în timp ce imersia în ulei de răcire produce o ușoară creștere, sugerând o ușoară plasticizare.

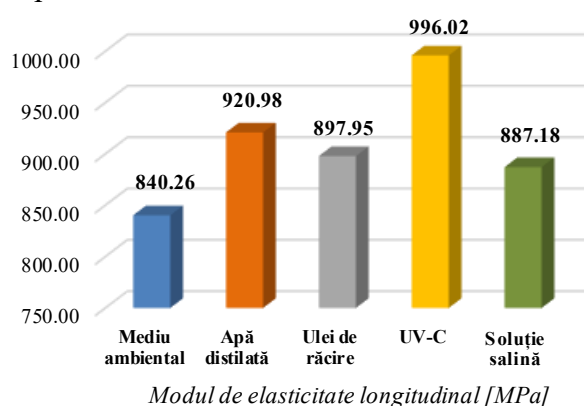
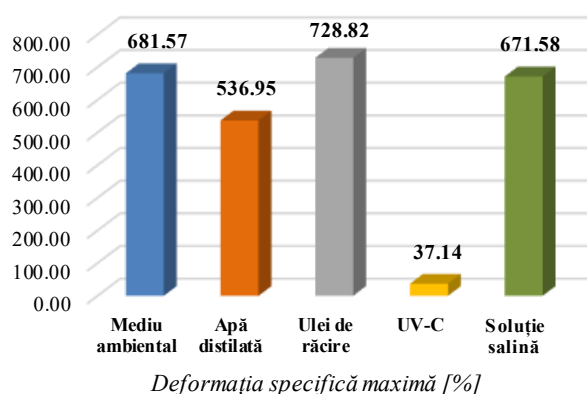


Figura 3.32 Valorile medii ale deformației specifice maxime la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PP obținute în cazul celor cinci medii studiate

Figura 3.33 Valorile medii ale modului de elasticitate longitudinal la tracțiune pentru epruvetele confecționate din PP obținute în cazul celor cinci medii studiate

În schimb, soluția salină determină o scădere mai moderată, sugerând un impact minim asupra proprietăților mecanice ale materialului. Aceste rezultate reflectă sensibilitatea materialului la diferiți factori de mediu, cu implicații importante pentru utilizarea sa în condiții specifice. În cazul expunerii la radiații UV-C, se înregistrează o scădere extrem de pronunțată, ceea ce indică o degradare severă a structurii materialului.

În Figura 3.33 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate.

Și în acest caz, al modului de elasticitate longitudinal se pot observa modificări ale valorilor maxime față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină). Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern, modulul de elasticitate longitudinal prezintă câteva modificări.

4. COMPORTAREA LA ÎNCOVOIERE

Epruvetele necesare acestor teste au fost realizate în conformitate cu standardul ASTM D7264/D 7264M - 2021, acestea având dimensiunile $L_t = 80$ mm, $b = 10$ mm și $h = 4$ mm și au fost debitate din plăci extrudate, prin tehnologia de tăiere cu jet de apă.

În Figura 4.1 ('ASTM D7264/D7264M – 21: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials', 2021) este prezentată schema de încărcare a epruvetelor în timpul testelor, mașina de încercare utilizată în acest caz fiind aceeași ca și în cazul încercării la tracțiune prezentate în capitoul 3 al prezentei teze.

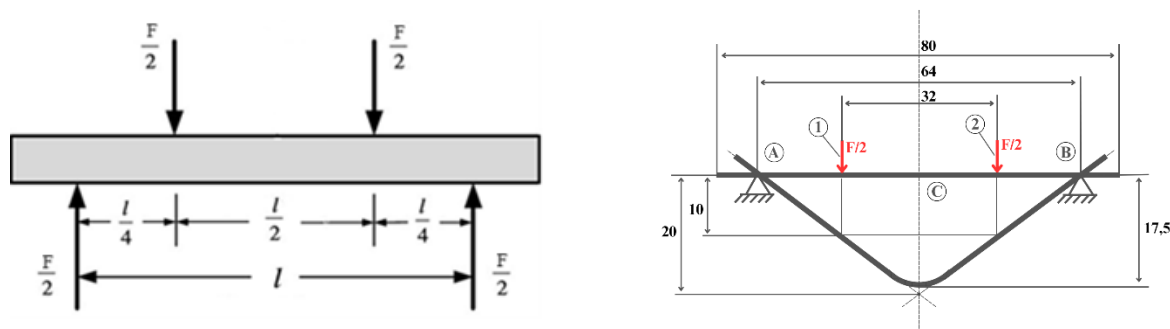
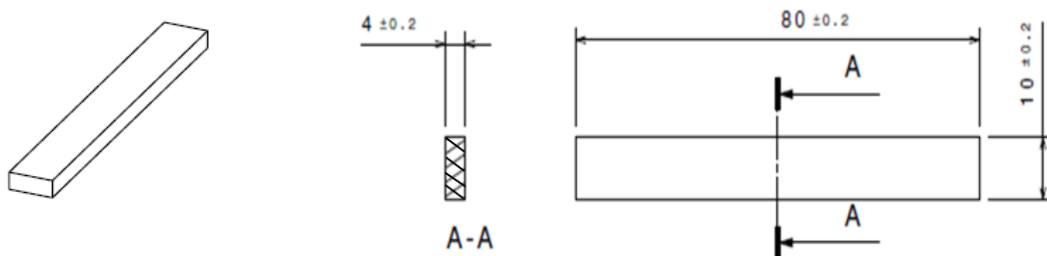


Figura 4.1 Schema de încărcare și modul de deformare a unei epruvete spuse la încovoiere în patru puncte

Forma și dimensiunile epruvetelor folosite sunt prezentate în Figura 4.2, conform standardului care reglementează încercarea de încovoiere a materialelor polimerice ('ASTM D7264/D7264M – 21: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials', 2021).



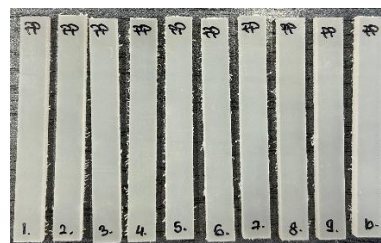
a) Dimensiunile epruvetelor (în mm)



b) POM



c) PA6



d) PA6-GF30

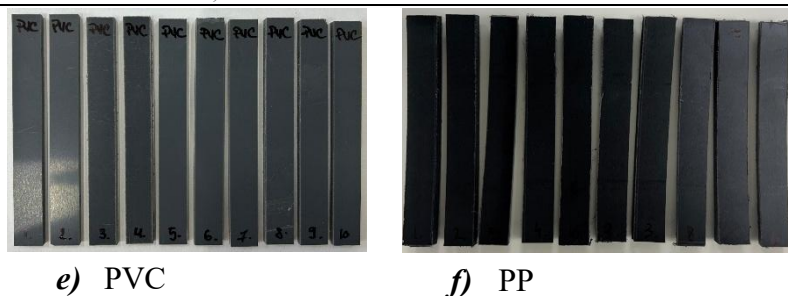


Figura 4.2 Forma și dimensiunile epruvetele de încovoiere înainte de testate

În acest capitol, așa cum am precizat și anterior, vor fi analizate și comparate cu literatura de specialitate efectele a cinci medii diferite (mediu ambiental, apă distilată, ulei de răcire, radiațiile ultraviolete tip C și soluția salină) asupra caracteristicilor la încovoiere pură ale epruvetelor, căutând să identificăm modul în care expunerea materialelor polimerice studiate la aceste medii influențează comportamentul mecanic și elastic al acestor.

Etapele procesului de imersare în cele trei medii lichide, precum și expunerea la radiațiile UV-C, au fost analizate în detaliu în capitolul 3, în Figura 4.3 fiind prezentate pe scurt de data aceasta etapele efectuării testelor de încovoiere în cazul celor patru medii agresive studiate (excepție făcând mediul ambiental) (Pascu and Petrașcu, 2024).

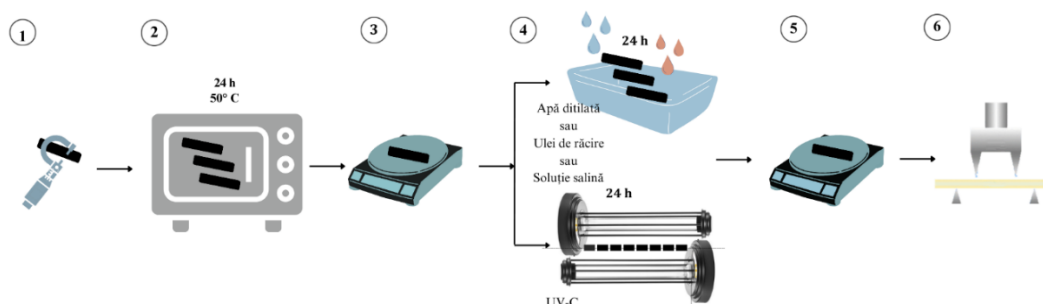


Figura 4.3 Etapele efectuării testelor pentru cele patru medii agresive

- 1 – măsurarea epruvetelor, 2 - uscare în etuvă, 3 - cântărire după uscare,
- 4 – imersia în apă distilată/ulei de răcire/soluție salină/expunere UV-C,
- 5 - cântărire privind absorbția, 6 – încercarea la încovoiere în patru puncte

Pentru a putea efectua aceste teste de încovoiere în patru puncte, am proiectat și realizat un dispozitiv de încercare (Figura 4.4). Dispozitivul a fost realizat astfel încât să permită testarea epruvetelor de diferite dimensiuni. În cazul tuturor testelor de încovoiere efectuate în cadrul acestei teze de doctorat, distanța între punctele de sprijin A și B a fost $L = 64$ mm.



Figura 4.4 Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere în patru puncte

Așa cum am precizat mai sus, s-a optat pentru un test de încovoiere în 4 puncte, viteza de încărcare a fost de 5 mm/min, conform standardului amintit mai sus, iar frecvența de achiziție a

datelor cu ajutorul soft-ului care controlează mașina de testare, a fost setată la fiecare 0,1 [s], fiind înregistrate următoarele date: timpul [s], forța de încovoiere F [N] și deplasarea (săgeata) δ [mm], în mijlocul epruvetei supuse la încovoiere.

4.1 Comportamentul polioximetilenei (POM) la încovoiere

4.1.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din POM și testate în diferite medii

În Figura 4.6 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse, pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea. În Figura 4.7 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru testele la încovoiere realizate în cele cinci medii studiate. Din acest grafic se poate observa faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental, caz în care epruvetele nu au fost supuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern agresiv (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă scade pentru apă distilată, ulei de răcire și soluție salină, în timp ce pentru UV-C, crește. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a tensiunii normale maxime cu 5,08%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină scăderea este de 1,67%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire scăderea este de 2,98%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, creșterea este de 5,28%. Se poate concluziona deci, că cele trei medii (apă distilată, ulei de răcire și soluție salină) au o influență negativă asupra rezistenței la încovoiere a epruvetelor confecționate din POM, cea mai mare influență având-o apa distilată, iar razele ultraviolete de tip C au o influență pozitivă asupra rezistenței la încovoiere.

Din punct de vedere al gradului de absorbției a lichidelor studiate în epruvetele testate, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul soluției saline (0,17%), urmat de apă distilată (0,22%) și apoi de uleiul de răcire (0,28%), așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4.5.

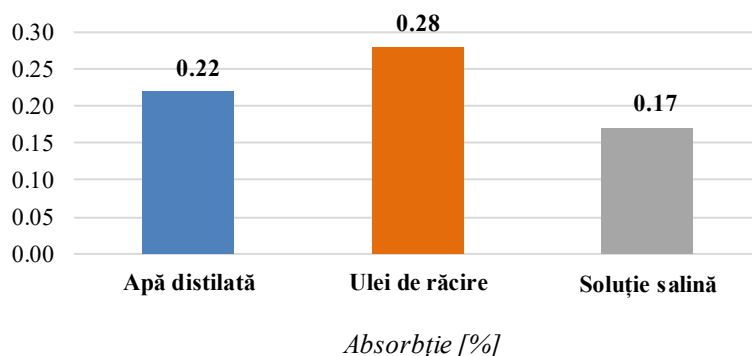


Figura 4.5 Gradul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din POM pentru cele trei medii lichide studiate

În Figura 4.7 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz al modulului de elasticitate longitudinal se pot observa creșteri ale valorilor modulului de elasticitate față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental, modulul de elasticitate longitudinal crește în toate celelalte cazuri. Astfel, în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere de 2,52%, în cazul uleiului de răcire, creșterea este de 2,41%, în cazul soluției saline creșterea este de 2,57%, iar în cazul radiațiilor UV-C creșterea este una substanțială de 6,42%, aproape de 3 ori mai mare față de celelalte medii.

Se poate concluziona deci, că toate cele patru medii (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) au o influență pozitivă asupra modulului de elasticitate longitudinal a epruvetelor confecționate din POM, cea mai mare influență având-o UV-C, așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4..

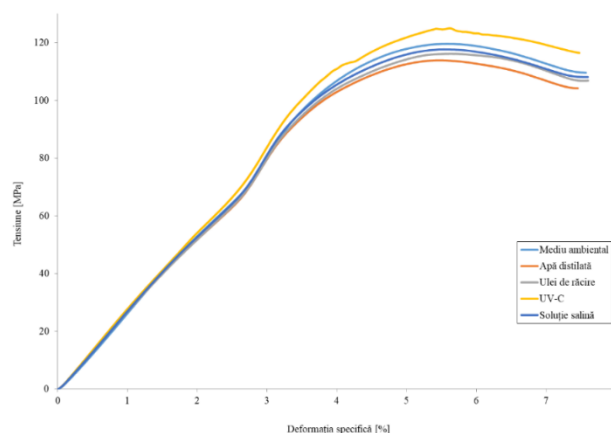


Figura 4.6 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la încovoiere a epruvetelor realizate din POM și supuse acțiunii diferitelor medii agresive

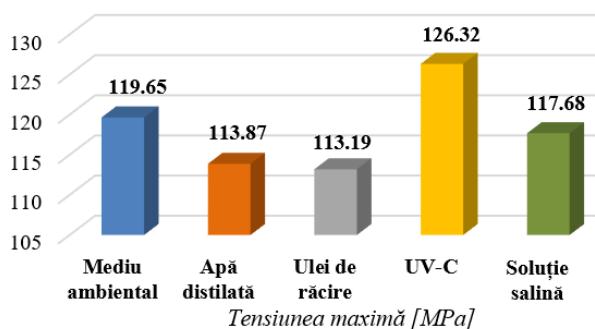


Figura 4.7 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la încovoiere pentru epruvetele confecționate din POM obținute în cazul celor cinci medii studiate

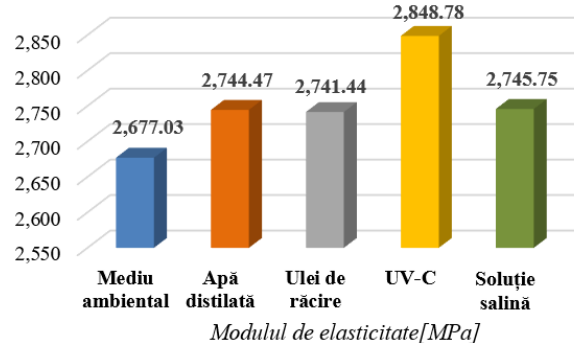


Figura 4.8 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la încovoiere pentru epruvetele realizate din POM obținute în cazul celor cinci medii studiate

4.2 Comportamentul poliamidei (PA6) la încovoiere

4.2.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6 și testate în diferite medii

În Figura 4.10 sunt prezentate toate aceste cinci curbe medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea. În Figura 4.11 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiant nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă crește doar pentru UV-C, în timp ce pentru celelalte medii tensiunea normală maximă scade.

Astfel, în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a tensiunii normale maxime cu 13,59%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină scăderea este de 0,23%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire scăderea este de 3,03%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, se observă o creștere a tensiunii normale maxime de 8,97%. Se poate concluziona deci, că cele trei medii lichide (apă distilată, ulei de răcire și soluție salină) au o influență negativă asupra rezistenței la încovoiere a epruvetelor confecționate din PA6, cea mai mare influență având-

o apă distilată, iar razele ultraviolete de tip C au o influență pozitivă asupra rezistenței la încovoiere.

Din punct de vedere al gradului de absorbției a lichidelor studiate în epruvetele testate, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul uleiului de răcire (0,40%), urmat de soluția salină (0,62%) și apoi apa distilată (1,15%), așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4.9.

Figura 4.12 prezintă graficul comparativ al valorilor medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz al modulului de elasticitate longitudinal se pot observă modificări ale valorilor modulului de elasticitate față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental, modulul de elasticitate longitudinal scade în cazul epruvetelor imersate în apă distilată cu o valoare de 27,45%, iar pentru uleiul de răcire scade cu o valoare de 7,70%. În schimb, în cazul UV-C se observă o creștere de 2,42%, iar pentru soluția salină o creștere de 0,44%.

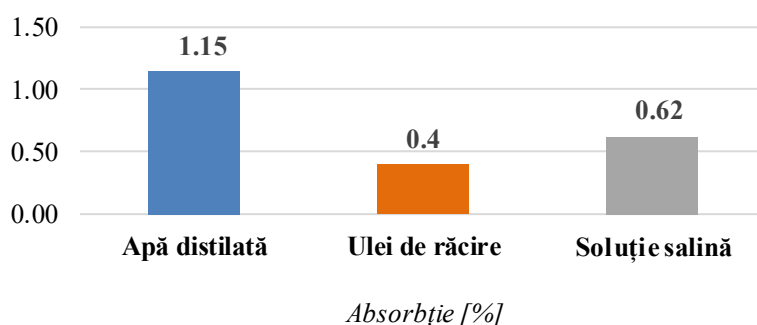


Figura 4.9 Nivelul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PA6 pentru cele trei medii lichide studiate

Se poate concluziona, deci, că două dintre cele patru medii (apă distilată, ulei de răcire) au o influență negativă asupra modulului de elasticitate longitudinal a epruvetelor confecționate din PA6, în timp ce radiațiile UV-C și soluție salină au o influență pozitivă.

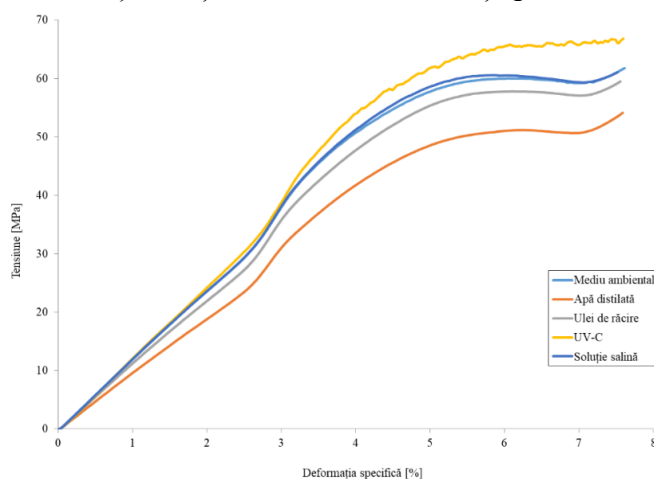


Figura 4.10 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6 și supuse acțiunii diferitelor medii agresive

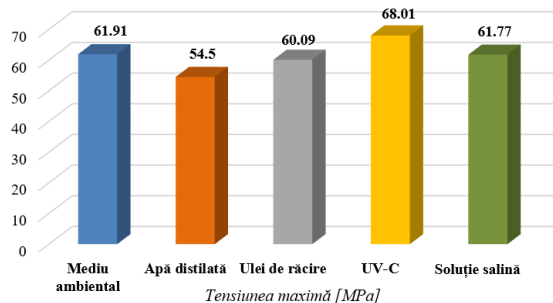


Figura 4.11 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PA6 obținute în cazul celor cinci medii studiate

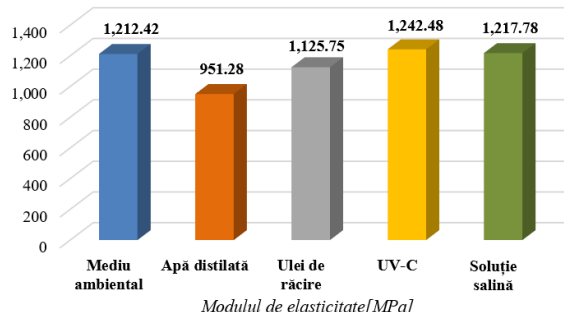


Figura 4.12 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PA6 obținute în cazul celor cinci medii studiate

4.3 Comportamentul poliamidei ranforsată cu 30% fibre de sticlă (PA6-GF30) la încovoiere

4.3.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6-GF30 și testate în diferite medii

În Figura 4.14 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă scade pentru apă distilată și soluție salină, în timp ce pentru ulei de răcire și UV-C, crește. Astfel în cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere a tensiunii normale maxime cu 10,47%, în cazul epruvetelor imersate în soluție salină scăderea este de 3,97%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire creșterea este de 2,37%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, creșterea este de 2,05%.

Pe baza datelor prezentate, se poate concluziona că expunerea epruvetelor la factori externi influențează semnificativ tensiunea normală maximă. În timp ce imersarea în apă distilată și soluție salină determină o scădere a acestei valori, expunerea la ulei de răcire și radiații UV-C conduce la o creștere. Cele mai mari variații sunt observate pentru apă distilată (-10,47%) și ulei de răcire (+2,37%), indicând o sensibilitate diferită a materialului la diverși factori de mediu.

Din punct de vedere al gradului de absorbției a lichidelor studiate în epruvetele testate, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul uleiului de răcire (0,40%), urmat foarte aproape de soluția salină (0,42%) și apoi de apa distilată (1,05%), așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4.13.

În Figura 4.15 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate.

Și în acest caz al modulului de elasticitate longitudinal se pot observa modificări ale valorilor acestuia față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. În cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere de 12,58% și în cazul soluției saline scăderea este de 1,35%, în timp ce pentru epruvetele menținute în ulei de răcire se observă o creștere de 7,88%, iar pentru UV-C creșterea este ceva mai mică de 0,91%.

Se poate concluziona că imersarea în apă distilată a determinat o reducere considerabilă a modulului de elasticitate urmată de soluția salină, care a generat o scădere mai redusă. Pe de altă parte, expunerea la ulei de răcire a condus la o creștere semnificativă a modulului, în timp ce radiațiile UV-C au produs o creștere marginală.

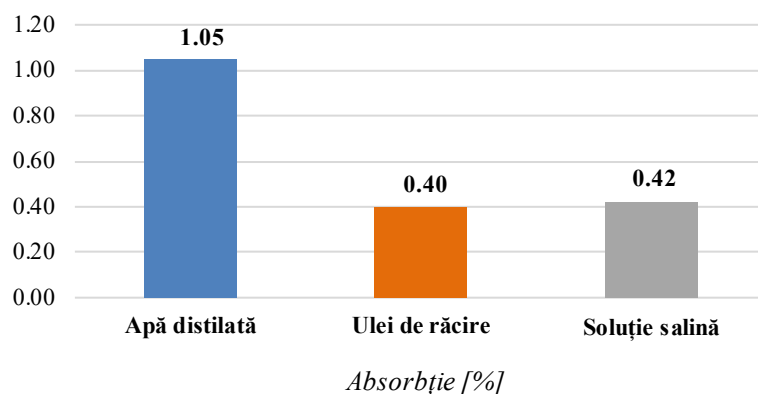


Figura 4.13 Gradul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PA6-GF30 pentru cele trei medii lichide studiate

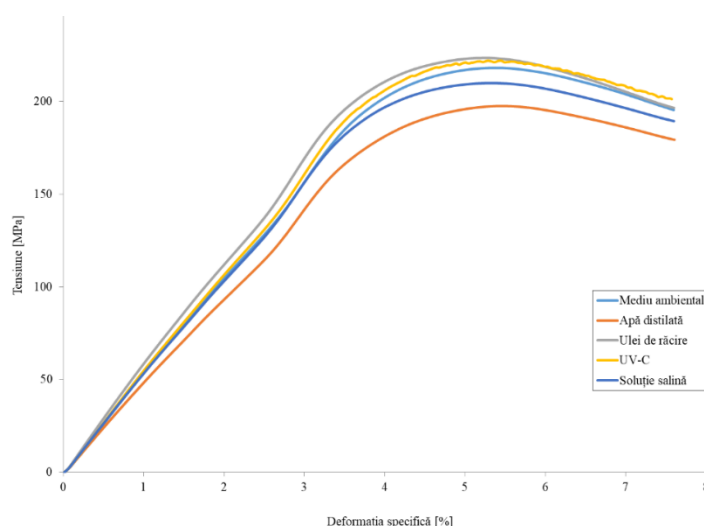


Figura 4.14 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la încovoiere a epruvetelor realizate din PA6-GF30 în cinci medii diferite

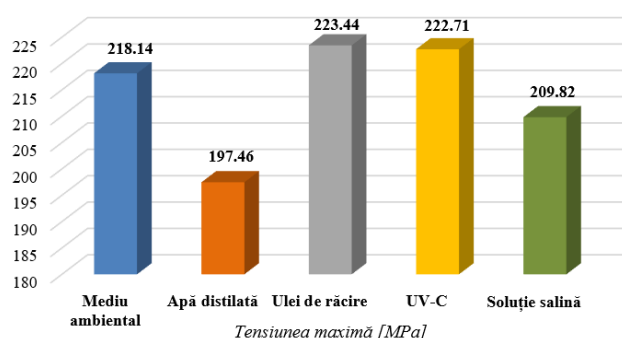


Figura 4.15 Valorile medii ale tensiunii normale maxime la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PA6-GF30 obținute în cazul celor cinci medii studiate

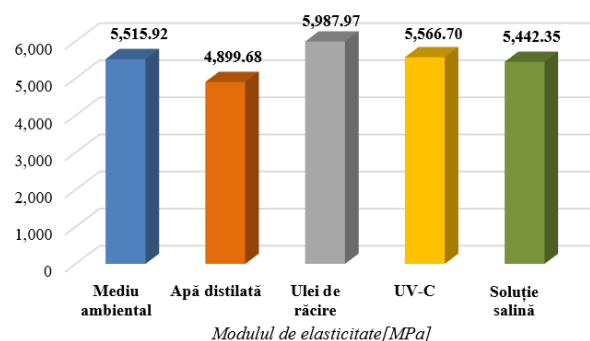


Figura 4.16 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PA6GF30 obținute în cazul celor cinci medii studiate

4.4 Comportamentul policlorurii de vinil (PVC) la încovoiere

4.4.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PVC și testate în diferite medii

În Figura 4.18 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea. În Figura 4.19 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate.

Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă scade doar pentru soluția salină, în timp ce pentru celelalte medii tensiunea normală maximă crește.

În cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a tensiunii normale maxime cu 1,63%, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire creșterea este de 0,28%, iar în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C, creșterea este de 4,14%, în timp ce pentru soluția salină scăderea este una considerabilă de 14,72%. Se poate concluziona că expunerea epruvetelor la diferiți factori externi influențează semnificativ tensiunea normală maximă. În timp ce imersarea în apă distilată, ulei de răcire și expunerea la radiații UV-C determină o ușoară creștere a acestui parametru, contactul cu soluția salină are un efect advers pronunțat, reducând tensiunea normală maximă cu 14,72%. Aceste rezultate sugerează că mediul de expunere joacă un rol esențial în comportamentul mecanic al materialului, iar soluția salină are un impact degradant considerabil asupra rezistenței acestuia.

Din punct de vedere al gradului de absorbției a lichidelor studiate în epruvetele testate, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul uleiului de răcire (0,15%), urmat de soluția salină (0,26%) și apoi, foarte aproape de apa distilată (0,29%), așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4.17.

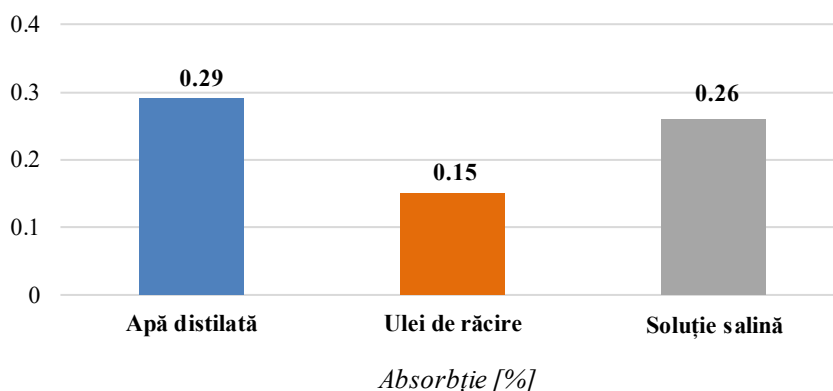


Figura 4.17 Gradul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PVC pentru cele trei medii lichide studiate

În Figura 4.20 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz al modulului de elasticitate longitudinal se pot observa modificări ale valorilor modulului de elasticitate față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiental și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. În cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a acestuia de 0,51%, în cazul epruvetelor menținute în ulei de răcire se observă o creștere de 0,72%, iar pentru epruvetele supuse radiațiilor UV-C creșterea este ceva mare, de 1,47%, în timp ce pentru soluția salină, scăderea este de 6,14%. Se poate concluziona că expunerea epruvetelor la diferiți factori externi influențează și modulul de elasticitate longitudinal. În timp ce imersarea în apă distilată, ulei de răcire și expunerea la radiații UV-C conduc la o ușoară creștere a acestui parametru, soluția salină determină o scădere semnificativă de 6,14%. Aceste variații indică faptul că factorii de mediu pot modifica proprietățile elastice ale materialului, iar soluția salină are un efect negativ pronunțat asupra elasticității acestuia.

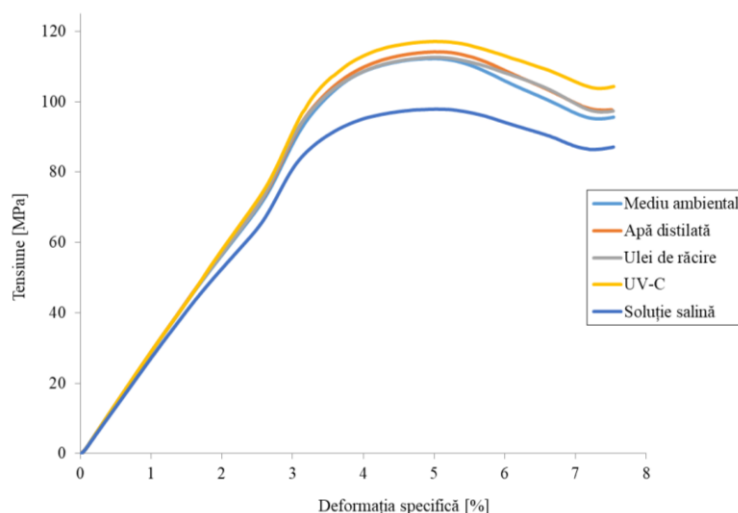


Figura 4.18 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încovoierea materialului PVC în cinci medii diferite

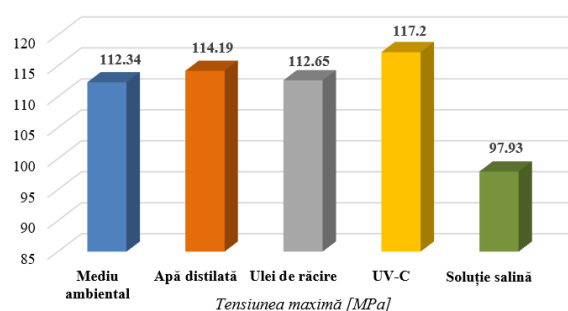


Figura 4.19 Valorile medii ale tensiunii normale maxime [MPa] la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PVC, obținute în cazul celor cinci medii studiate

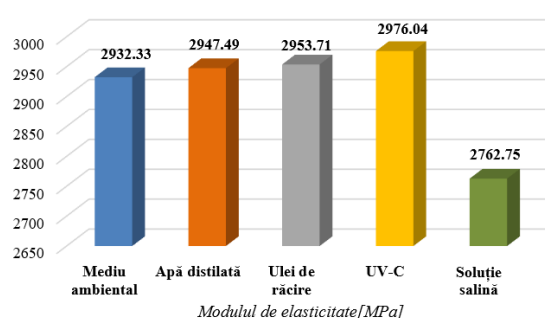


Figura 4.20 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PVC, obținute în cazul celor cinci medii studiate

4.5 Comportamentul popipropilenei (PP) la încovoiere

4.5.1 Studiul comparativ și concluzii privind comportamentul la încovoiere a epruvetelor realizate din PP și testate în diferite medii

În Figura 4.22 sunt prezentate toate cele cinci curbe medii suprapuse pentru a se putea observa mai bine diferențele dintre acestea. În Figura 4.23 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor tensiunii normale maxime obținute pentru cele cinci medii studiate. Se poate observa din acest grafic faptul că, dacă se iau ca bază de referință rezultatele obținute în cazul testării epruvetelor în mediu ambiental nesupuse în prealabil la niciun factor extern, pentru toate celelalte patru cazuri în care epruvetele au fost supuse anterior testării unui factor extern (apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină) tensiunea normală maximă scade doar pentru soluția salină, în timp ce pentru celelalte medii tensiunea normală maximă crește. În cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o creștere a tensiunii normale maxime cu 0,29%, în cazul epruvetelor supuse la radiații UV-C creșterea este de 2,58%. Pentru celelalte două medii se constată scăderi ale tensiunii normale maxime, în cazul epruvetelor imersate în ulei de răcire scăderea este de 1,52%, în timp ce pentru soluția salină scăderea de 0,54%.

Se poate concluziona că expunerea la apă distilată și radiații UV-C determină o ușoară creștere a acestui parametru, cu valori de 0,29% și respectiv 2,58%. În schimb, imersarea în ulei de răcire și soluție salină conduce la scăderi ale tensiunii normale maxime, de 1,52% și 0,54%. Aceste rezultate sugerează că anumite medii pot îmbunătăți comportamentul mecanic al

materialului, în timp ce altele pot avea un efect degradant, influențând astfel performanțele structurale ale acestuia. Din punct de vedere al gradului de absorbției a lichidelor studiate în epruvetele testate, se poate observa că cel mai mic procent este în cazul apei distilate (0,17%), urmată foarte aproape de soluția salină (0,21%) și apoi, de uleiul de răcire (0,31%), așa cum se poate observa și în graficul din Figura 4.. În Figura 4.21 este prezentat un grafic comparativ cu valorile medii ale maximelor modulului de elasticitate longitudinal (E) obținute pentru cele cinci medii studiate. Și în acest caz al modulului de elasticitate longitudinal se pot observa modificări ale valorilor modulului de elasticitate față de valorile înregistrate pentru epruvetele testate în mediu ambiantal și nesupuse în prealabil la niciun factor extern. În cazul epruvetelor imersate în apă distilată se constată o scădere de 5,81%, în cazul epruvetelor menținute în ulei de răcire se observă o scădere de 8,16%, pentru epruvetele menținute la UV-C scădere este de 1,24%, în timp ce pentru soluția salină, scăderea este de 6,71%.

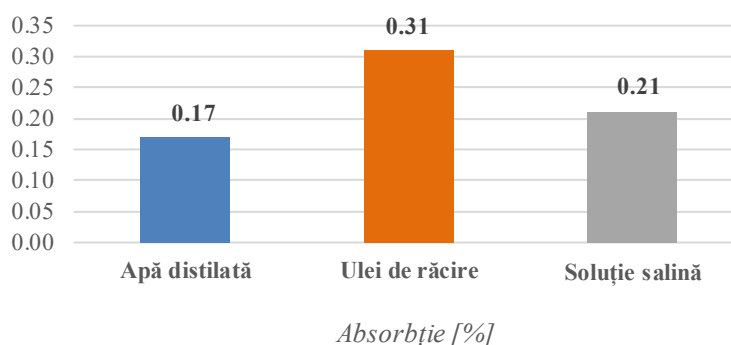


Figura 4.21 Nivelul mediu de absorbție în epruvetele confecționate din PP pentru cele trei medii lichide studiate

Se poate concluziona că expunerea epruvetelor la diferiți factori externi determină o reducere a modulului de elasticitate longitudinal în toate cazurile analizate. Cele mai mari scăderi se înregistrează pentru epruvetele imersate în ulei de răcire (8,16%) și soluție salină (6,71%), urmate de cele expuse la apă distilată (5,81%). Expunerea la radiații UV-C are cel mai redus impact negativ, cu o scădere de doar 1,24%. Aceste rezultate sugerează că interacțiunea materialului cu mediul extern poate duce la modificări ale proprietăților sale elastice, influențând astfel performanțele mecanice pe termen lung.

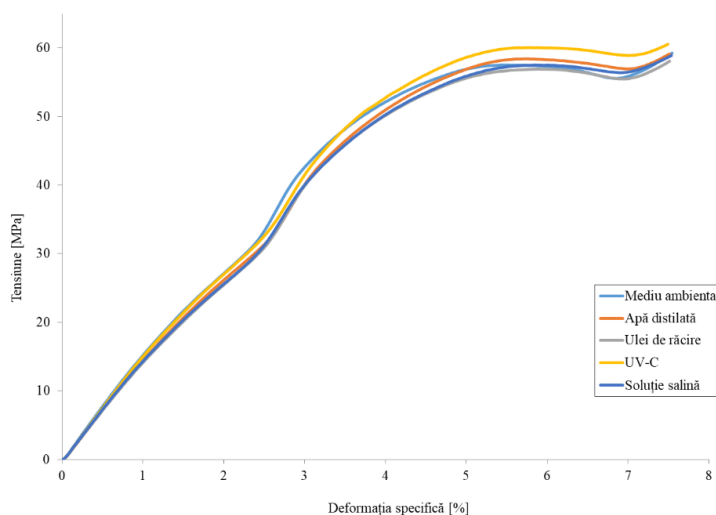


Figura 4.22 Curbele medii tensiune-deformație specifică pentru încercarea la încovoiere a materialului PP în cinci medii diferite

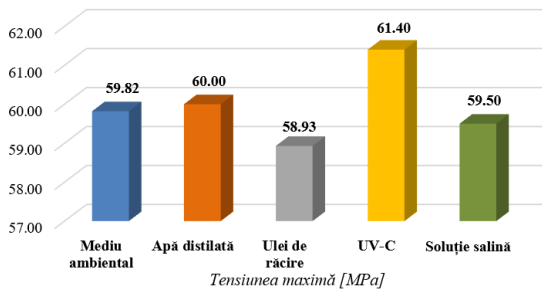


Figura 4.23 Valorile medii ale tensiunii normale maxime [MPa] la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PP obținute în cazul celor cinci medii studiate

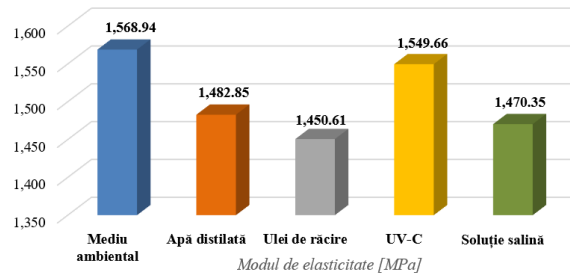


Figura 4.24 Valorile medii ale modulului de elasticitate longitudinal la încovoiere pentru epruvetele confecționate din PP obținute în cazul celor cinci medii studiate

5. SIMULAREA COMPORTAMENTULUI LA SOLICITĂRI STATICE, CU AJUTORUL METODEI ELEMENTELOR FINITE

Modelul numeric realizat în cadrul acestei capitole va putea fi utilizat ulterior pentru simulări complexe, cum ar fi analiza comportamentului diverselor structuri supuse la solicitări cu viteze mici, determinarea distribuției tensiunilor și a deformațiilor specifice sub diverse condiții la limită, precum și identificarea eventualelor zone critice care necesită îmbunătățiri constructive. În realizarea modelului numeric s-a utilizat modulul Explicit din Abaqus, iar elementul finit utilizat pentru toate simulările a fost C3D8R (Figura 5.1). Acest element finit este un element tridimensional hexaedric, definit prin opt noduri (câte unul în fiecare colț al paralelipipedului), fiecare dintre acestea având trei grade de libertate, corespunzătoare translațiilor pe direcțiile Ox, Oy și Oz. Acest tip de element este un element de tip liniar, de uz general, cu integrare redusă (are un singur punct de integrare, în centrul elementului).

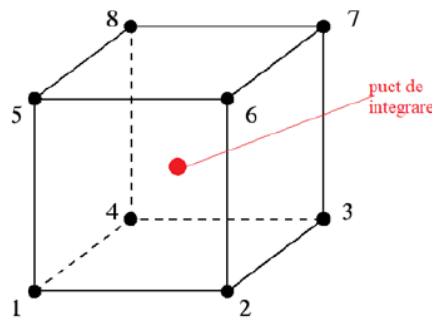


Figura 5.2 Element finit de tip brick, C3D8R

Elementul C3D8R este recomandat în special pentru simulările numerice ale materialelor care prezintă comportament plastic pronunțat, așa cum sunt și polimerii analizați în acest studiu (POM, PA6, PA6-GF30, PP și PVC), deoarece permite obținerea de rezultate precise, chiar și în cazul solicitărilor mecanice complexe și al deformațiilor mari. Astfel, acest tip de element finit contribuie la obținerea unor modele numerice robuste și eficiente, facilitând analiza aprofundată și precisă a distribuției tensiunilor și deformațiilor specifice în structurile supuse la diverse solicitări mecanice.

5.1 Simularea comportamentului la tracțiune uniaxială în regim cvasistatic

În vederea simulării modului în care se comportă la tracțiune uniaxială epruvetele confecționate din materialele polimerice testate în capitolul 3, s-a realizat cu ajutorul pachetului software Catia V5R20, modelul 3D al epruvetei Figura 5.1 utilizate în încercările experimentale din capitolul 3.

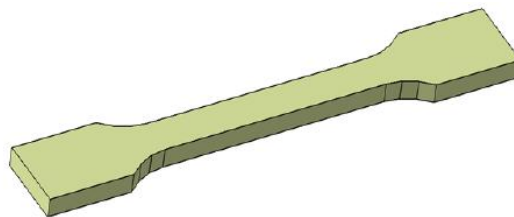


Figura 5.1 Modelul 3D al epruvetei de tracțiune

Acest model a fost importat (*.part) în pachetul software ABAQUS, unde a fost discretizat în elemente finite de tip C3D8R, iau fost aplicate datele de material așa cum s-a prezentat în paragraful anterior, constrângerile și încărcările aferente fiecărui test realizat experimental. Astfel, epruveta este fixată (încăstrată) la unul dintre capete, iar la capătul opus se aplică o deplasare pe direcția axei longitudinale a epruvetei, egală cu deplasarea medie înregistrată experimental la momentul apariției ruperii acesteia, așa cum se observă și în Figura 5.2. Trebuie precizat faptul că pe zona calibrată a epruvetei de tracțiune nu au fost aplicate niciun fel de constrângeri.

În urma discretizării s-au obținut un număr de 16.128 elemente finite cu dimensiunea aproximativă de cu dimensiunea aproximativă cuprinsă între 0,2 mm și 1 mm, distribuția elementelor de dimensiuni reduse fiind concentrată în zona calibrată a epruvetei, întregul model al epruvetei de tracțiune având în final 21.507 noduri. Modelul 3D al epruvetei de tracțiune discretizat în elemente finite de tip C3D8R, este prezentata în Figura 5.3.

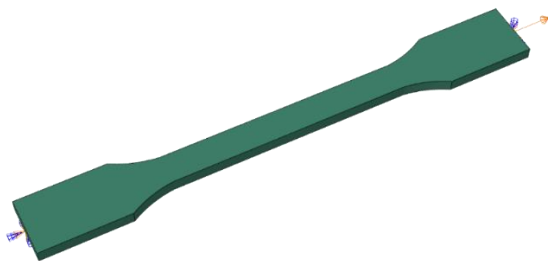


Figura 5.2 Model 3D al epruvetei de tracțiune cu constrângerile și încărcările aplicate



Figura 5.3 Model 3D al epruvetei de tracțiune discretizat în elemente finite

În cadrul unei simulări numerice cu ajutorul MEF, se poate defini un materiale cu ajutorul unui model de material bilinear (*Bilinear Isotropic Hardening Model*) fiind necesari doi parametri importanți, și anume: limita de curgere și modulul de plasticitate (Figura 5.7). În teoria plasticității, modulul de plasticitate reprezintă panta curbei caracteristice în regiunea plastică. Sub limita proporțională (limita regimului liniar elastic) modulul de plasticitate este de fapt modulul de elasticitate. Peste limita de proporționalitate modulul de plasticitate variază în funcție de deformare și reiese cu precizie ridicată din testele experimentale.

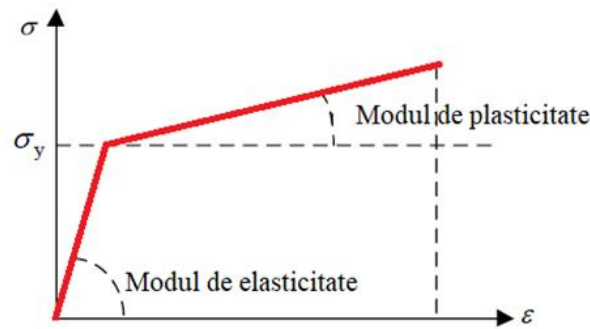


Figura 5.7 Modelul Bilinear Isotropic Hardening

Se poate utiliza și un alt model de material pus la dispoziție de Abaqus și anume modelul *Multilinear Isotropic Hardening* (Figura 5.8), dar în acest caz sunt necesari câțiva parametri, care se determină din testele experimentale.

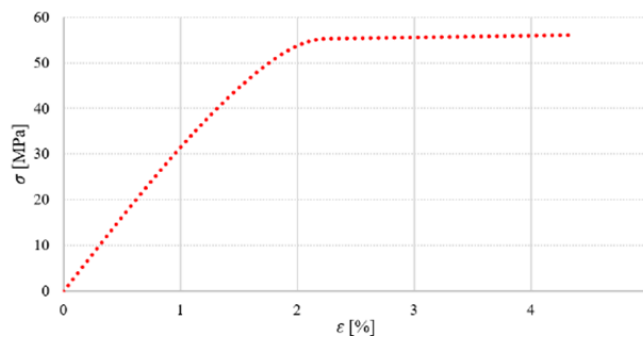


Figura 5.8 Modelul Multilinear Isotropic Hardening

Astfel, pentru fiecare material (POM, PA6, PA6-GF30, PP și PVC) și mediu (ambiental, apă distilată, soluție salină, ulei de răcire și radiații UV-C), studiat, pe baza rezultatelor experimentale prezentate în capitolul 3, au fost realizate curbe caracteristice medii (tensiune – deformație specifică). În vederea utilizării în simulările numerice a modelului de material Multilinear Isotropic Hardening, comportamentul elastic al materialelor a fost definit prin intermediul modulului de elasticitate mediu (E_{med}) calculat pentru curbele medii anterior menționate și coeficientului de contracție transversală (ν), acesta din urmă fiind luat din literatura de specialitate.

5.2 Simularea comportamentului la tracțiune uniaxială în regim cvasistatic

În urma rulării analizelor numerice pentru fiecare caz în parte studiat, au putut fi trasate curbele forță - deplasare, putându-se astfel realiza o comparație între aceste curbe obținute prin simulare numerică utilizând metoda elementelor finite și respectiv curbele medii obținute experimental în capitolul 3.

În Figura 5.9 a-e sunt prezentate comparativ aceste curbe (experimental vs. numeric / MEF) pentru epruvetele realizate din POM și testate la tracțiune uniaxială în cele cinci medii studiate în lucrarea de față.

Din reprezentarea suprapusă a celor două curbe obținute experimental și prin simulare numerică, prezentată mai jos pentru epruvetele realizate din POM, se poate observa că există o corelare foarte bună între cele două curbe, în cazul tuturor celor cinci medii studiate în această lucrare. Atât curbele obținute în urma rulării analizelor numerice, cât și cele experimentale au fost trasate doar până imediat după atingerea valori maxime a forței de tracțiune.

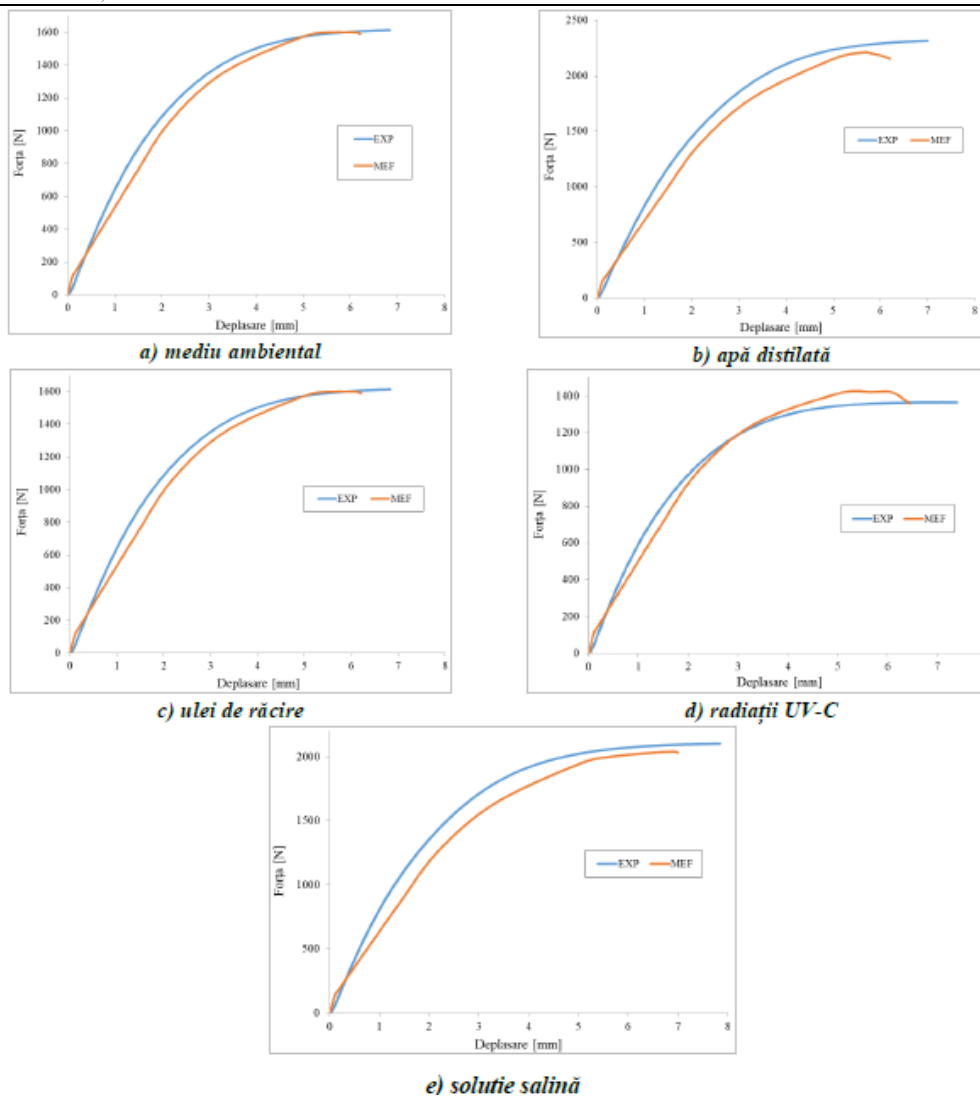


Figura 5.9 Curbele forță - deplasare obținute experimental și numeric pentru epruvetele realizate din POM și testate la tracțiune uniaxială în cele cinci medii studiate

În Figura 5.10 a-e, sunt prezentate distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deplasărilor pe direcția de solicitare (Oz) în cazul analizei numerice realizate cu ajutorul metodei elementelor finite, pentru cazul epruvetelor realizate din POM și testate în cele cinci medii studiate (ambiental, apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină).

Se poate observa că în toate cele cinci cazuri, valorile maxime ale acestei tensiuni echivalente se înregistrează în zona calibrată a epruvetei, marcată cu culoarea roșie. De asemenea, se poate observa că zonele de prindere ale epruvetei nu sunt solicitate la tracțiune. Trebuie precizat faptul că valorile deplasărilor maxime din figurile de mai jos sunt aferente momentului atingerii forței maxime de tracțiune.

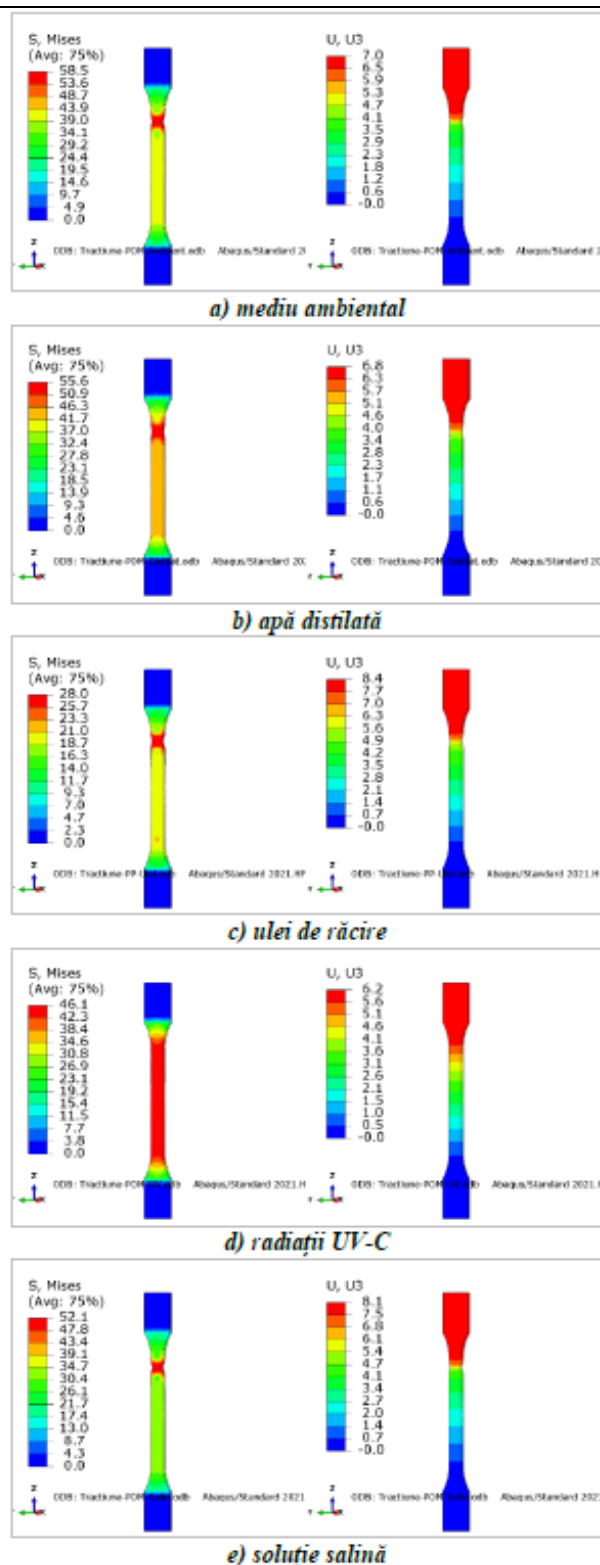


Figura 5.10 Distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deplasărilor pe direcția de solicitare (O_z) în epruvetele realizate din POM testate la tracțiune uniaxială în cele cinci medii studiate

Pentru concizie și coerență, în rezumatul acestui capitol am inclus doar primul material analizat (POM), reprezentativ pentru întreaga serie studiată. Alegerea a fost motivată de dorința de a limita volumul rezumatului, fără a compromite relevanța științifică a demersului. Celelalte materiale investigate, care au condus la rezultate similare și valoroase, sunt prezentate în detaliu în corpul lucrării.

5.3 Simularea numerică a testelor de încovoiere în patru puncte

În vederea simulării modului în care se comportă la încovoiere în patru puncte epruvetele confecționate din materialele polimerice testate în capitolul 4, s-a realizat, direct în Abaqus de această dată, modelul 3D al epruvetei (Figura 5.11) utilizate în încercările experimentale din această teză.

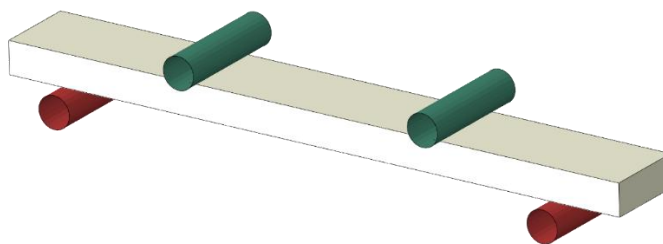


Figura 5.11 Modelul 3D al epruvetei de încovoiere și al rolelor de sprijin și încărcare

Întregul model al epruvetei a fost discretizat în elemente finite de tip C3D8R, iar mai apoi au fost aplicate datele de material așa cum s-a prezentat în paragraful anterior, constrângerile și încărcările aferente fiecărui test realizat experimental. Astfel celor două role inferioare pe care se sprijină epruveta le-au fost anulate toate gradele de libertate, fiind considerate încastrate, iar celor două role superioare prin intermediul cărora s-a realizat de fapt solicitare epruvetei, le-au fost anulate toate deplasările și rotațiile cu excepția deplasării pe axa Oz (verticală), de-a lungul căreia a fost aplicată o deplasare de 10 mm, în mod similar cu testele experimentale prezentate în capitolul 4 al acestei teze. În ceea ce privește epruveta propriu-zisă, acestea nu i-au fost aplicate nici un fel de constrângeri. Toate aceste constrângeri și încărcări sunt prezentate în Figura 5.12.

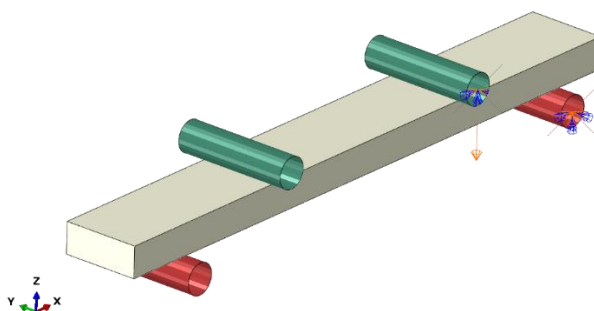


Figura 5.12 Modelul 3D al epruvetei de încovoiere și al rolelor de sprijin și încărcare cu constrângerile aplicate

În ceea ce privește discretizarea acestui model astfel creat, și în acest caz a fost utilizat elemente finite de tip C3D8R, în urma discretizării obținându-se un număr de 9.950 elemente finite cu dimensiunea aproximativă cuprinsă între 0,2 mm și 1 mm, distribuția elementelor de dimensiuni reduse fiind concentrată în zonele de contact a epruvetei cu rolele de sprijin și încărcare, întregul model al epruvetei de încovoiere având în final 12.732 noduri. În ceea ce privește rolele de sprijin și rolele de solicitare acestea au fost discretizate cu ajutorul elementelor finite de tip R3D4 (element finit rigid cu 4 noduri 3D bilinear), având dimensiunile de aproximativ 0,5 mm. Atât modelul 3D al epruvetei de încovoiere discretizat în elemente finite de tip, este prezentată în Figura 5.13.

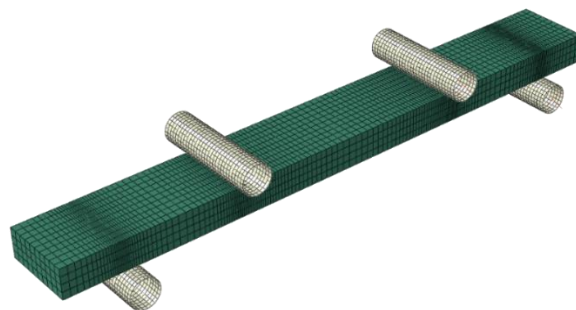


Figura 5.13 Model 3D al epruvetei de încovoiere și rolele de sprijin și încărcare discretizate în elemente finite

5.4 Rezultatele simulării numerice utilizând MEF, a testelor de încovoiere în patru puncte

În urma rulării analizelor numerice pentru fiecare caz în parte studiat, au putut fi trasate curbele forță - deplasare, putându-se astfel realiza o comparație între aceste curbe obținute prin metoda elementelor finite și curbele obținute experimental în capitolul 4 al prezentei lucrări. În Figura 5.14 a-e sunt prezentate comparativ aceste curbe forță – deplasare (experimental vs. numeric / MEF) pentru epruvetele realizate din POM și testate la încovoiere în patru puncte, în cele cinci medii studiate în lucrarea de față.

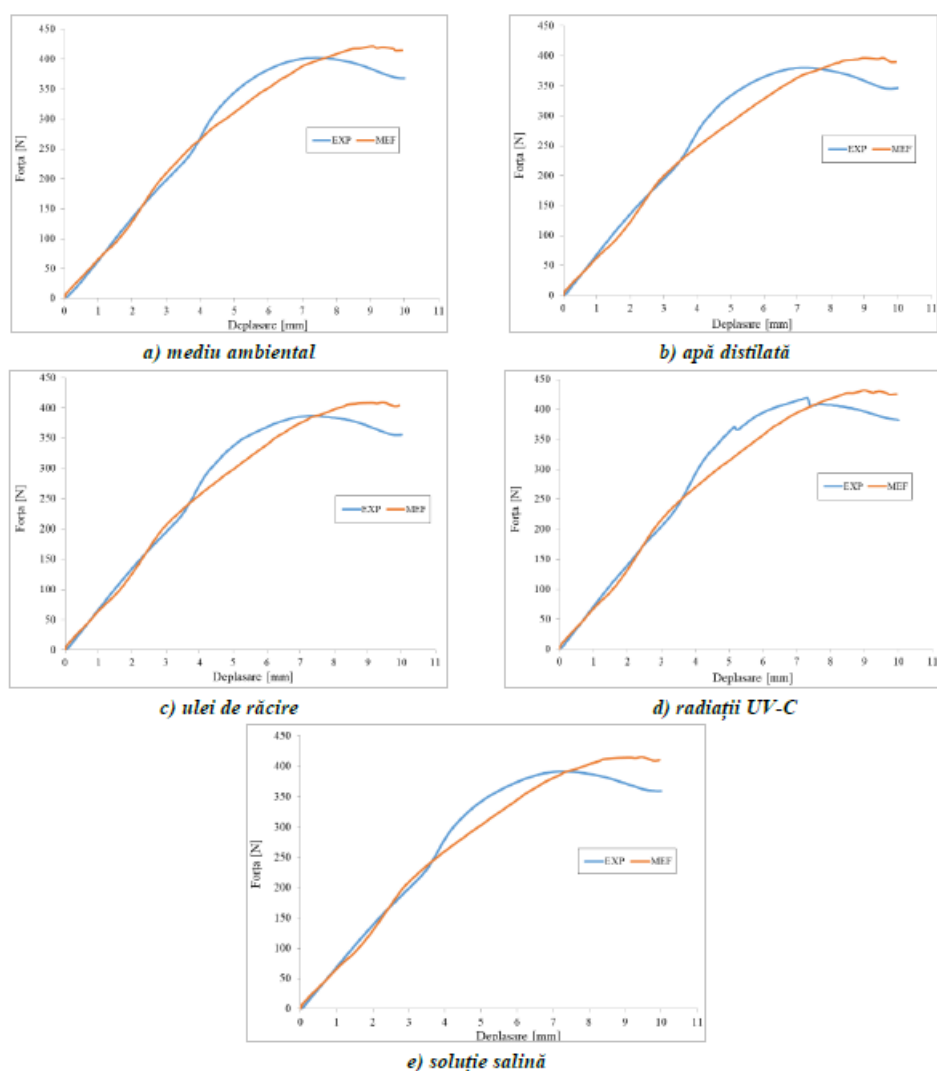


Figura 5.14 Curbele forță - deplasare obținute experimental și numeric pentru epruvetele realizate din POM și testate la încovoiere în cele cinci medii studiate

Și în cazul testelor de încovoiere în patru puncte, din reprezentarea suprapusă a celor două curbe obținute experimental și prin simulare numerică, prezentată mai sus pentru epruvetele realizate din POM, se poate observa și în acest caz există o similitudine foarte bună între cele două curbe, în cazul tuturor celor cinci medii studiate în această lucrare. Atât curbele obținute în urma rulării analizelor numerice, cât și cele experimentale au fost trasate doar până în momentul atingerii deplasării maxime impuse bacului superior al mașinii de încercare (10 mm)

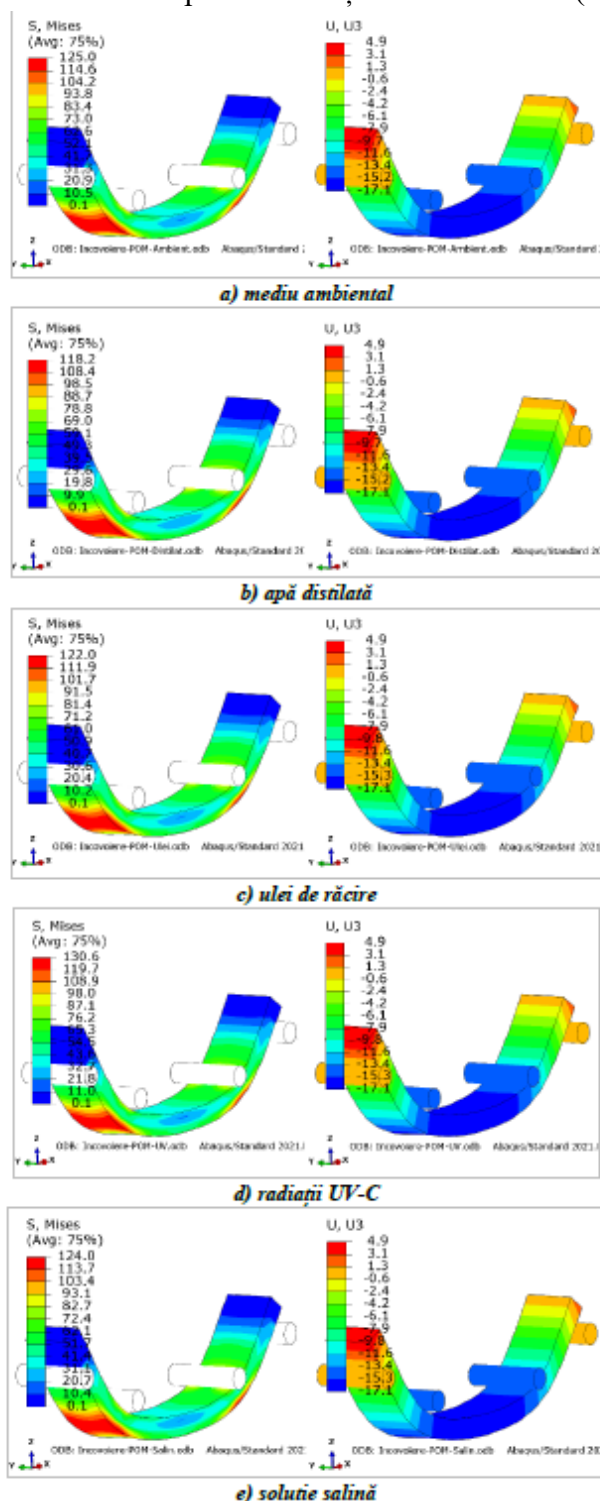


Figura 5.15 Distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deplasărilor pe direcția de solicitare (O_z) în epruvetele realizate din POM testate la încovoiere în cele cinci medii studiate

În Figura 5.15 a-e, sunt prezentate distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deplasărilor pe direcția de solicitare (O_z) în cazul analizei numerice realizate cu ajutorul metodei elementelor finite pentru cazul epruvetelor realizate din PP și testate la încovoiere în patru puncte

în cele cinci medii studiate (ambiental, apă distilată, ulei de răcire, radiații UV-C și soluție salină). Se poate observa că în toate cele cinci cazuri, valorile maxime ale acestei tensiuni echivalente se înregistrează pe fibra inferioară a epruvetei în zona mediană a epruvetei, marcată cu culoarea roșie.

5.5 Concluzii privind simularea numerică a testelor de tracțiune și a testelor de încovoiere în patru puncte

În urma rulării simulărilor numerice cu ajutorul metodei elementelor finite, atât în cazul testelor la tracțiune uniaxială cât și a testelor de încovoiere în patru puncte și comparării rezultatelor astfel obținute cu cele determinate în urma testelor experimentale prezentate în capitolele 3 și respectiv 4, se pot trage câteva concluzii.

Astfel, în ceea ce privește comparația făcută între curbele forță – deplasare obținute experimental și respectiv prin simulare numerică utilizând metoda elementelor finite, atât în cazul tracțiunii uniaxiale cât și în cel al încovoierii în patru puncte, se poate observa că între aceste curbe (experimental vs. numeric) există o corelare foarte bună, în cazul tuturor celor cinci medii studiate în această lucrare (mediu ambiental, apă distilată, ulei de răcire, soluție salină și radiații UV-C). Dacă se face o comparație între valorile maxime ale forțelor care apar în epruvete în urma simulărilor numerice realizate pentru a studia comportamentul la tracțiune a celor cinci materialelor polimerice (POM, PA6, PA6 – GF30, PVC și PP) în cele cinci medii (mediu ambiental, apă distilată, ulei de răcire, soluție salină și radiații UV de tip C) și media valorilor maxime a tensiunilor obținute în urma efectuării testelor experimentale de tracțiune uniaxială pe aceleași materiale, se poate observa o bună similitudine între acestea. Astfel, diferențele dintre aceste tensiuni sunt cuprinse între 0,60% și 4,21% în cazul POM, între 7,16% și 16,5% în cazul PA6 (cele mai mari diferențe), între 0,30% și 2,42% în cazul PA6-GF30, între 0,40% și 4,44% în cazul PVC, respectiv între 1,67% și 6,59% în cazul PP, așa cum se poate observa și în graficele comparative prezentate în Figura 5.34.

Dacă se face aceeași comparație și între valorile maxime ale tensiunilor normale obținute în urma simulărilor numerice realizate pentru a studia comportamentul la încovoiere în patru puncte a celor cinci materialelor polimerice (POM, PA6, PA6 – GF30, PVC și PP) în cele cinci medii (mediu ambiental, apă distilată, ulei de răcire, soluție salină și radiații UV de tip C) și media valorilor maxime a tensiunilor obținute în urma efectuării testelor experimentale de încovoiere în patru puncte pe aceleași materiale, se poate observa și în acest caz o bună similitudine între acestea. Și de această dată diferențele dintre aceste tensiuni sunt mici, fiind cuprinse între 2,97% și 5,82% în cazul POM, între 1,57% și 9,21% în cazul PA6 (la fel ca la tracțiune, cele mai mari diferențe), între 1,78% și 6,13% în cazul PA6-GF30, între 0,51% și 2,75% în cazul PVC, respectiv între 0,27% și 2,11% în cazul PP, așa cum se poate observa și în graficele comparative prezentate în Figura 5.35.

Se poate concluziona, deci, că rezultatele numerice obținute pentru testele de tracțiune (forță maximă) respectiv pentru testele de încovoiere (tensiunea normală maximă) sunt apropiate de cele experimentale, cu erori rezonabile, cauzate de mai mulți factori printre care cei mai importanți sunt: defectele de material (care nu pot fi cuantificate în cazul simulărilor numerice prin MEF) și lipsa unui criteriu de cedare a materialului în definirea modelului de material utilizat. Cu toate aceste limitări, simulările numerice prin MEF realizate în lucrarea de față permit studierea fenomenelor ce apar la tracțiunea uniaxială și încovoierea în patru puncte, observarea unor fenomene și confirmarea concluziilor trase în urma rezultatelor obținute experimental.

Se poate spune, deci, că modele numerice dezvoltate pentru testele de tracțiune, respectiv pentru testele de încovoiere în patru puncte au fost validate prin compararea rezultatelor obținute cu cele experimentale, oferind astfel posibilitatea analizei mult mai detaliată a fenomenelor care apar în cazul materialelor polimerice testate în diferite condiții de mediu la aceste solicitări mai sus menționate, având totodată și un grad de generalizare ridicat, ceea ce face posibilă folosirea lor și în cazul unor materiale polimerice similare cu cele studiate în lucrarea de față.

6. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

6.1 Concluzii finale

Alegerea acestei teme de cercetare este justificată de impactul semnificativ pe care degradarea polimerilor îl are asupra siguranței, eficienței și sustenabilității produselor fabricate din aceste materiale. În acest sens, obiectivele principale ale lucrării includ:

- analiza diverșilor factori de mediu care influențează performanța materialelor polimerice;
- investigarea modului în care procesele de degradare și mecanismele prin care acestea afectează proprietățile mecanice și elastice ale materialelor polimerice studiate (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP);
- determinarea unor metode de protecție a polimerilor în diverse medii agresive, astfel încât să poată fi prelungită durata de viață a diverselor repere / piese realizate din aceste materiale;

Prin această cercetare, se urmărește nu doar înțelegerea fenomenelor de degradare, ci și propunerea unor strategii eficiente pentru îmbunătățirea performanțelor materialelor polimerice în condiții de mediu variate. Studiul influenței factorilor de mediu asupra materialelor polimerice este esențial în contextul utilizării tot mai extinse a acestora în diverse domenii. Durabilitatea și performanța materialelor polimerice sunt puternic influențate de factori externi precum radiațiile UV, umiditatea, temperaturile extreme, agenții chimici și solicitările mecanice.

Astfel, în cadrul acestei teze de doctorat, au fost analizate cinci tipuri de materiale polimerice (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP), proprietățile lor fundamentale și comportamentul acestora în diverse medii de exploatare. S-a evidențiat necesitatea unor studii aprofundate asupra mecanismelor de degradare și a metodelor de îmbunătățire a rezistenței materialelor polimerice, pentru a le optimiza durata de viață și performanțele. Astfel, au fost realizate studii experimentale privind influența unor factori externi (apă distilată, soluție salină, ulei de răcire și radiații UV de tip C) asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale acestor cinci materiale polimerice supuse la tracțiune uniaxială, respectiv la încovoiere în patru puncte (încovoiere pură). Pentru a înțelege mai bine fenomenele care au loc în cazul acestor solicitări, studiul experimental a fost completat și de o analiză numerică detaliată.

Teoretic, pentru un anumit material, rezistența la încovoiere are de regulă aceeași valoare ca rezistența la tracțiune a acelui material, dacă materialul ar fi unul omogen și izotrop. În practică, însă, materialele conțin defecte sau imperfecțiuni, chiar și la scară microscopică, care pot cauza concentratori de tensiuni. În cazul încovoierii, în fibrele exterioare ale secțiunii transversale ale epruvetelor sunt solicitate la încovoiere, apar cele mai mari tensiuni, acestea scăzând liniar spre centrul axa neutră a secțiunii, spre deosebire de cazul solicitării la tracțiune, unde tensiunea este constantă pe întreaga secțiune a epruvetei solicitate la tracțiune. Astfel, în cazul încercării la tracțiune regiunea de material care se apropie de curgere este mult mai mare decât regiunea localizată de pe suprafața epruvetei solicitate la încovoiere, deoarece probabilitatea existenței unor defecte de material este mult mai mare în acest caz, porțiunea de material la care ne raportăm fiind mai mare mai mare. În acest context, inițierea procesului de cedare funcțională în cazul încovoierii are loc într-o regiune mai mică decât în cazul tracțiunii, ceea ce implică o „rezistență” măsurată mai mare în cazul încovoierii, comparativ cu cel al tracțiunii. Fenomenul este foarte bine descris prin intermediul unei distribuții Weibull a defectelor sau imperfecțiunilor.

Dacă în cazul materialelor metalice, fără defecte, sau cu defecte foarte reduse, există doar o mică diferență între rezistențele măsurate prin teste de încovoiere și respectiv de tracțiune, în timp ce în materialele care au foarte multe incluziuni, defecte și efecte de orientare a materialului, diferența între aceste rezistențe poate fi una semnificativă. Astfel, în cazul acestor materiale metalice și oțeluri de foarte bună calitate (elaborate „fără defecte”), raportul dintre rezistența la

încovoiere și rezistența la tracțiune poate fi aproape unitar. Cu toate acestea, pentru foarte multe materiale polimerice, rezistența la încovoiere este de obicei de 1,5...2 ori mai mare decât rezistența la tracțiune, iar pentru unele materiale compozite (de exemplu, beton armat cu fibră de sticlă), acest raport este 1,2...1,4 ori.

6.2 Contribuții originale ale tezei

Principalele contribuții personale aduse de prezenta teză de doctorat în ceea ce privește cercetările experimentale și numerice asupra modului în care sunt influențate proprietățile mecanice și elastice ale materialelor polimerice (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP) de către medii precum apa distilată, uleiul de răcire, soluția salină și radiațiile UV de tip C, sunt următoarele:

a) Elaborarea unui amplu studiu bibliografic privind utilizarea materialelor polimerice, dar și influența factorilor de mediu asupra comportării mecanice și elastice ale acestor materiale. acest studiu propunându-și să ofere o perspectivă amplă asupra progreselor semnificative, din ultima perioadă de timp, din acest domeniu, studiu bazat pe o analiză a literaturii de specialitate disponibilă în bazele de date internaționale;

b) Întocmirea unei sinteze documentare asupra stadiului actual al cercetărilor științifice privind comportarea diverselor materiale polimerice la solicitări în regim static;

c) Realizarea unui număr de peste 300 epruvete de tracțiune din materialele POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP.

d) Pentru testele de tracțiune a fost utilizat un model experimental factorial complet de tipul 52 adică doi factori de intrare (materialul epruvetei și mediul de lucru). Fiecare dintre acești factori au fost variați pe 5 nivele de variație, rezultând un număr de 25 experimente, repetate fiecare de 10 ori.

e) Proiectarea și realizarea unui dispozitiv de ghidare, utilizat pentru alinierea epruvetelor de tracțiune în bacurile mașinii universale de încercare;

f) Conceperea și realizarea unui dispozitiv UV-C destinat desfășurării experimentelor;

g) Trasarea, în urma efectuării testelor de tracțiune uniaxială, a curbelor caracteristice tensiune-deformație specifică;

h) Realizarea unui studiu experimental privind influența factorilor externi (apă distilată, soluție salină, ulei de răcire și radiații UV de tip C) asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale materialelor polimerice (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP) supuse la tracțiune uniaxială;

i) Realizarea unui număr de peste 300 epruvete de încovoiere din materialele POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP;

j) Pentru testele de încovoiere în patru puncte a fost utilizat un model experimental factorial complet de tipul 52 adică doi factori de intrare (materialul epruvetei și mediul de lucru). Fiecare dintre acești factori au fost variați pe 5 nivele de variație, rezultând un număr de 25 experimente, repetate fiecare de 10 ori.

k) Proiectarea și realizarea unui dispozitiv de încovoiere, utilizat pentru testele de încovoiere în patru puncte;

l) Trasarea, în urma efectuării testelor de încovoiere în patru puncte, a curbelor caracteristice tensiune-deformație specifică;

m) Realizarea unui studiu experimental privind influența factorilor externi (apă distilată, soluție salină, ulei de răcire și radiații UV de tip C) asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale materialelor polimerice (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP) supuse la încovoiere pură (încovoiere în patru puncte);

n) Determinarea gradului de absorbție în materialele polimerice studiate (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP) pentru cazul a trei mei lichide: apă distilată, ulei de răcire și soluție salină;

o) Realizarea unui studiu comparativ privind gradul de absorbție de lichid (apă distilată, soluție salină, ulei de răcire) în epruvetele (de tracțiune și de încovoiere) realizate din POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP;

p) Realizarea unor modele numerice utilizând metoda elementelor finite, validate experimental, pentru analiza comportamentului la tracțiune a materialelor polimerice;

q) Realizarea unor modele numerice utilizând metoda elementelor finite, validate experimental, pentru analiza comportamentului la încovoiere pură a materialelor polimerice;

r) Realizarea unui studiu comparativ experimental privind influența factorilor externi (apă distilată, soluție salină, ulei de răcire și radiații UV de tip C) asupra caracteristicilor mecanice și elastic ale materialelor polimerice (POM, PA6, PA6-GF30, PVC și PP) supuse la încovoiere pură (încovoiere în patru puncte).

6.3 Contribuții originale ale tezei

Rezultatele cercetărilor efectuate în vederea elaborării prezentei teze de doctorat au fost valorificate prin publicarea unui număr de 8 lucrări publicate în reviste de specialitate sau prezentate la manifestări naționale și internaționale, după cum urmează:

6.3.1 Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate Web of Science-WoS (ISI)

1. Olivia-Laura Petrașcu, Dan-Mihai Rusu, Adrian Pascu (2025): *The influence of industrial and environmental factors on the polyoxymethylene*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2025, vol. XX, Issue YY, pp. ZZ, ISSN 1429-2955, (Q4, factor de impact 0.7) – *acceptată spre publicare în 30.03.2025*

2. Dan-Mihai Rusu, Olivia-Laura Petrașcu, Alexandru Bârsan, Timotei Morariu, Fineas Morariu, Adrian Pascu (2024): *Analysis on the Impact of Industrial Agents on 3D-printed Polymeric Materials in Soft Robotics*. Materiale Plastice, 2024, vol. 61, Issue 4, pp. 52-62, ISSN 0025-5289, e-ISSN 2668-8220, (Q4, factor de impact 0.6). <https://doi.org/10.37358/MP.24.4.5743>, WOS:001399755900005 - *autor corespondent*

3. Dan Mihai Rusu, Olivia Laura Petrașcu, Adrian Marius Pascu, Silviu Dan Mândru (2023): *The Influence of Industrial Environmental Factors on Soft Robot Materials*. Materials, April 2023, vol. 16, Issue 8, pp. 2948, eISSN 1996-1944, (Q2, factor de impact 3.1) <https://doi.org/10.3390/ma16082948>, WOS:000983142400001

4. Alexandru Ianosi-Andreeva-Dimitrova, Dan-Mihai Rusu, Silviu-Dan Mândru, Cristina-Maria Biriș, Olivia-Laura Petrașcu, Fineas Morariu (2023): *Soft robotics: A systematic review and bibliometric analysis*, Micromachines, January 2023, vol. 14, Issue 2, pp. 359, eISSN 2072-666X, (Q2, factor de impact 3.0) <https://doi.org/10.3390/mi14020359>, WOS:000940554800001

6.3.2 Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings

1. Olivia-Laura Petrașcu, Raluca Manole, Adrian-Marius Pascu (2022): *The behavior of composite materials based on polyurethan resin subjected at uniaxial tensile test*. Materials Today: Proceedings, volume 62, part 5, pp. 2673-2678 (2022), Online available since 31 May 2022, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.308> (ISI Conference Proceedings) WOS:000819228900005

6.3.3 Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI

1. Pascu Adrian-Marius, Petrașcu Olivia-Laura (2024): *Evaluating the Flexural Properties of Polyoxymethylene Under Aggressive Environmental Conditions*. Acta Universitatis Cibiniensis - Technical Series, vol. 76, Issue 1, Decembrie 2024, Sibiu, eISSN 2668-6449, pp. 34-39 DOI: [10.2478/aucts-2024-0005](https://doi.org/10.2478/aucts-2024-0005) (BDI Index Sciendo) – *autor corespondent*

2. Petrașcu Olivia-Laura, Morariu Timotei, Morariu Fineas, Bârsan Alexandru, Rusu Dan-Mihai, Pascu Adrian-Marius (2024): *Influence of 3D-Printing Strategies on the Compressibility of TPU 85A*

Elastomeric Material. Acta Universitatis Cibiniensis - Technical Series, vol. 76, Issue 1, Decembrie 2024, Sibiu, eISSN 2668-6449, pp. 28-33 **DOI:** [10.2478/aucts-2024-0004](https://doi.org/10.2478/aucts-2024-0004) (BDI Index Sciendo)

3. Olivia Petrașcu, Adrian Pascu (2023): *Comparative study of polyamide 6 (PA6) and polyamide 6 reinforced with 30% of glass fiber (PA6GF30)*. Materials Today: Proceedings, volume 93, part 4, pp. 625-629 (2023), Online available since 17 April 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.112> (Scopus Conference Proceedings)