



Academia  
Oamenilor de  
Știință  
din România



Universitatea Națională de  
Știință și Tehnologie  
POLITEHNICA București

Facultatea de Inginerie  
Industrială și Robotică



Str. Ilfov, nr. 3, sector 5, București, ROMANIA, Tel. 00-4031/1070659; Fax. 00-4021/314.75.39, Web-site: www.aosr.ro

Splaiul Independenței, 313, Sector 6, București, RO 060042, Tel. (021) 4029520, (021) 4029302, Fax: 0213107753, Web-site: www.fiir.pub.ro

## Competiția “AOȘR – TEAMS – IV” Ediția 2025 – 2026 “TRANSFORMAREA DIGITALĂ ÎN ȘTIINȚE”

### RAPORT ȘTIINȚIFIC – ETAPA 1

#### 1. Titlul și domeniul științific

**Titlul:** Fabricarea inteligentă a materialelor hibride pentru aplicații de tip soft robotics antropomorfe destinate persoanelor cu dizabilități locomotorii – ADAM

**Domeniu științific:** Educație, Cercetare, Inovare

#### 2. Indicatori și rezultate obținute

Proiectul ADAM propune un proces inovativ de fabricație a materialelor hibride PLA-Silicon pentru soft robotics antropomorf, utilizând inteligența artificială pentru optimizarea parametrilor de fabricație și dezvoltarea dispozitivelor robotizate personalizate. Prin integrarea analizelor CT și testărilor structurale, se va asigura calitatea și durabilitatea componentelor în aplicații reale, demonstrând aplicabilitatea articulațiilor robotizate în reabilitare și robotică asistivă. Totodată, proiectul va contribui la progresul științific prin publicații de impact și brevetare. Se urmărește dezvoltarea unor soluții reale pentru îmbunătățirea calității vieții persoanelor cu dizabilități, oferind accesibilitate la dispozitive inovative.

În cadrul proiectului ADAM au fost asumați indicatorii prezentați în Tabelul 1.

Tabelul 1. Indicatori asumați în cadrul proiectului și gradul de realizare

Indicatori	Asumați	Realizați
Articole științifice în reviste cotate Web of Science	3	2 – prezentate la conferință 1 - în curs de elaborare
Brevet de invenție	1	1 - în curs de elaborare

Până în prezent s-au elaborat **două** lucrări științifice și prezentate la conferința IMANEE 2025, cu tradiție în publicarea lucrărilor calitative în jurnalul *Acta Technica Napocensis Series-Applied Mathematics Mechanics and Engineering*, indexat Web of Science Core Collection, în care directorul de proiect are rezultate publicate anterior și indexate.

Cele două lucrări sunt prezentate după cum urmează:

1. Angela-Miruna NEACȘU-PAVEL, Daniela TUNSOIU, Ileana DUGĂEȘESCU, Vlad-Cristian ENACHE, **Mihaela-Elena ULMEANU**, Cristian-Vasile DOICIN, *Python-based application for graphical representation of the end-effector trajectory in a RRR kinematic assembly*, Innovative Manufacturing Engineering & Energy – IMANE 2025, 15-16 mai, Iași, Romania.
2. Vlad Cristian ENACHE, Marius-Vali LAZĂR, Alexandru-Ionuț NICOLESCU, Angela-Miruna NEACȘU-PAVEL, Cristian-Vasile DOICIN, **Mihaela-Elena ULMEANU**, *Experimental Investigation of Surface Quality in PLA 3D Printed Component using a DOE Approach*, Innovative Manufacturing Engineering & Energy – IMANE 2025, 15-16 mai, Iași, Romania.

Se anexează prezentului raport programul conferinței IMANEE 2025 (Anexa 1).

Pe lângă indicatorii de performanță, în cardul proiectului au fost asumate și o serie de rezultate științifice care vor contribui la îndeplinirea cu succes a obiectivelor propuse.

Rezultatele implementării proiectului asumate prin propunerea de proiect aprobată spre finanțare sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Rezultatele asumate în cadrul proiectului și gradul de realizare

Rezultate asumate	Descriere	Livrare estimată	Activitate	Realizat
R1 - Specificații tehnice și metodologie de fabricație stabilită	Document tehnic cu specificațiile materialului hibrid, metodologie de fabricație și strategia de optimizare	L4	A1.4	DA
R2 - Prototipuri inițiale de materiale hibride PLA-Silicon fabricate și caracterizate	Mostre de material hibrid fabricate aditiv și turnate, analize inițiale privind porozitatea, rugozitatea interfeței PLA-Silicon și testele Ra	L8	A2.4	În curs
R3 - Model AI inițial pentru optimizarea procesului de fabricație	Un model AI antrenat pentru predicția proprietăților structurale ale materialului hibrid, bazat pe date experimentale și analize DOE	L12	A3.4	În curs
R4 - Articulații robotice antropomorfe fabricate și testate în laborator	Prototipuri funcționale de articulații robotizate, testate funcțional, cu ajustări finale în procesul de fabricație și în modelul AI.	L16	A4.4	În curs

R5 - Material hibrid optimizat și validat în aplicații de soft robotics	Optimizarea AI pentru fabricarea în timp real, validarea articulațiilor în teste funcționale și scenarii de utilizare, ajustări finale pentru integrarea în roboți asistivi	L18	A5.2	În curs
R6 – Rezultate publicate și brevetate privind materialul hibrid și metodologia de fabricație a acestuia	Trei articole științifice în reviste cotate Web of Science, o cerere de brevet depusă la OSIM, un raport final de cercetare.	L20	A5.4	În curs

Respectând planificarea inițială, primul rezultat al proiectului este realizat la finalul celei de-a patra luni. Acesta presupune elaborarea unui document tehnic cu specificațiile materialului hibrid, metodologie de fabricație și strategia de optimizare. Atașat acestui raport este documentul tehnic în extenso (Anexa 2) elaborat.

Materialul hibrid propus în acest proiect combină avantajele unui suport rigid din PLA, imprimat 3D prin tehnologia FDM, cu flexibilitatea unui silicon bicomponent ranforsat cu fibre de mătase sau poliester. Scopul este dezvoltarea unui compozit cu proprietăți mecanice optimizate, care poate fi utilizat în aplicații precum robotică soft, proteze personalizate sau sisteme biomecatronice.

Partea rigidă, realizată din PLA, oferă suport structural și este fabricată cu variații ale grosimii stratului și ale gradului de infill. Siliconul bicomponent, cu întărire la temperatura camerei, este amestecat cu fibre de mătase tocate, în procente variabile, pentru a îmbunătăți rezistența la tracțiune și flexibilitatea. Amestecul astfel obținut este turnat în cavitățile special proiectate ale piesei PLA, unde se întărește și formează o interfață aderentă între cele două faze.

Pentru a determina configurația optimă, se aplică un design experimental de tip Taguchi L12, în cadrul căruia se variază trei factori principali: cantitatea de fibre de armare, grosimea stratului PLA și gradul de umplere. Vor fi analizate răspunsuri precum rezistența mecanică, alungirea la rupere și calitatea aderenței interfeței PLA-silicon. Datele obținute vor fi interpretate statistic prin ANOVA și metoda rangurilor Taguchi pentru a identifica cea mai performantă combinație.

Celelalte cinci rezultate asumate în cadrul proiectului (R2 – R6) sunt în curs de realizare și vor fi dezvoltate etapizat, conform activităților corespunzătoare și calendarului de livrare.

*R2 – Prototipuri inițiale de materiale hibride PLA–Silicon fabricate și caracterizate* constă în obținerea primelor epruvete experimentale, fabricate atât prin imprimare aditivă, cât și prin turnarea siliconului ranforsat, urmate de caracterizări fizico-mecanice preliminare. Aceste activități vor fi inițiate la începutul L5 și vor fi finalizate la termenul estimat L8.

*R3 – Model AI inițial pentru optimizarea procesului de fabricație urmărește antrenarea unui model de inteligență artificială pentru predicția proprietăților structurale pe baza datelor colectate din experimentele DOE. Modelul AI va fi validat progresiv până la livrarea sa în etapa L12.*

*R4 – Articulații robotice antropomorfe fabricate și testate în laborator implică realizarea unor prototipuri funcționale de articulații inspirate din morfologia umană, utilizând materialul hibrid optimizat. Acestea vor fi testate mecanic și integrate în configurații experimentale relevante. Activitatea este deja planificată și va fi livrată la termenul prevăzut (L16).*

*R5 – Material hibrid optimizat și validat în aplicații de soft robotics vizează integrarea finală a soluției dezvoltate în aplicații reale de robotică asistivă. Optimizarea în timp real cu ajutorul AI și validarea în scenarii funcționale va asigura un nivel ridicat de relevanță aplicativă. Rezultatul are termen de livrare L18.*

Toate aceste rezultate vor fi elaborate conform planificării stabilite în proiect și vor fi livrate la termenele asumate.

### **3. Activități de cercetare**

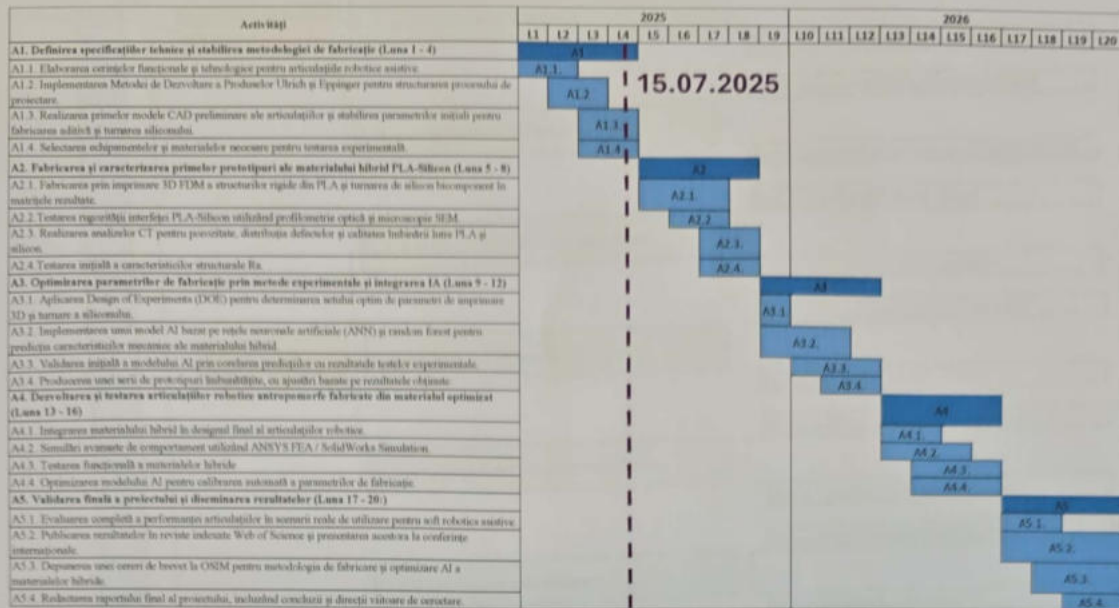
Obiectivul principal al proiectului este dezvoltarea unei metode inteligente de fabricare a materialelor hibride PLA-silicon pentru aplicații de soft robotics, utilizând inteligența artificială (IA) pentru optimizarea parametrilor de proces și caracterizarea mecanică a produselor. Se urmărește dezvoltarea unor dispozitive de tipul articulațiilor artificiale antropomorfe destinate unor structuri robotizate din componența roboților asistivi și optimizate pentru flexibilitate și rezistență. În vederea îndeplinirii acestui obiectiv s-au propus cinci activități principale.

Metodologia de cercetare a început prin aplicarea metodei de dezvoltare a produselor Ulrich și Eppinger, care a ghidat întregul flux de proiectare, de la definirea cerințelor funcționale și specificațiilor tehnice, până la optimizarea designului și validarea experimentală a prototipurilor (intermediare și finale). Această metodologie a fost completată de Analiza Funcțională Tehnică (AFT), utilizată atât pentru identificarea funcțiilor (diagrama FAST), cât și pentru corelarea proprietăților biomecanice ale articulațiilor robotice cu cerințele tehnologice ale fabricației aditive și depunerii controlate de silicon. O astfel de abordare a permis integrarea eficientă a caracteristicilor structurale esențiale pentru obținerea unor articulații flexibile și durabile, optimizate pentru utilizarea în reabilitarea locomotorie.

**Activitățile de cercetare** din cadrul proiectului ADAM s-au desfășurat conform graficului Gantt prezentat în propunerea de proiect aprobată spre finanțare (Tabelul 3).

În prezent, suntem în cea de-a patra lună de implementare a activităților proiectului din cele 20 propuse. La finalul lunii L4, conform graficului Gantt, au fost implementate integral activitățile prevăzute în cadrul Pachetului de Lucru A1 – Definirea specificațiilor tehnice și stabilirea metodologiei de fabricație (L1–L4). Aceste activități au reprezentat fundamentul teoretic și tehnologic al proiectului, fiind esențiale pentru etapele experimentale ulterioare.

Tabelul 3. Graficul Gantt al proiectului – calendar de implementare



### 3.1. Activitatea A1.1

În cadrul activității A1.1, s-au elaborat cerințele funcționale (Figura 1) și tehnologice pentru articulațiile robotice asistive, prin analiza nevoilor aplicațiilor țintă din domeniul roboticii soft. A fost conturat profilul funcțional al materialului hibrid și cerințele legate de comportamentul său mecanic și adaptiv.

Analiza nevoilor aplicațiilor țintă din domeniul roboticii soft asistive a condus la identificarea a șase nevoi principale. Articulațiile robotice utilizate în dispozitive asistive (exoschelete, proteze active, dispozitive de suport funcțional) trebuie să reproducă mișcări naturale, să fie sigure în interacțiunea cu utilizatorul uman și să asigure adaptabilitate în timp real la variațiile de sarcină sau poziție. În acest context, componentele din materiale hibride trebuie să răspundă următoarelor șase nevoi:

1. **Flexibilitate direcționată**, pentru a permite grade de libertate bine controlate, similare biomecanicii umane;
2. **Capacitate de amortizare a șocurilor**, necesară în interacțiuni cu utilizatorii sau în medii dinamice;
3. **Greutate redusă**, pentru a evita suprasolicitarea structurilor de susținere (mai ales la dispozitive portabile);
4. **Compatibilitate cu acționări pneumatice, cablate sau servo**, integrate în sistemele de control adaptiv;
5. **Toleranță la deformări ciclice și la oboseală mecanică**, pentru utilizare repetată și de durată;
6. **Siguranță și confort în contact cu pielea**, în special dacă sunt utilizate în dispozitive portabile sau de reabilitare.

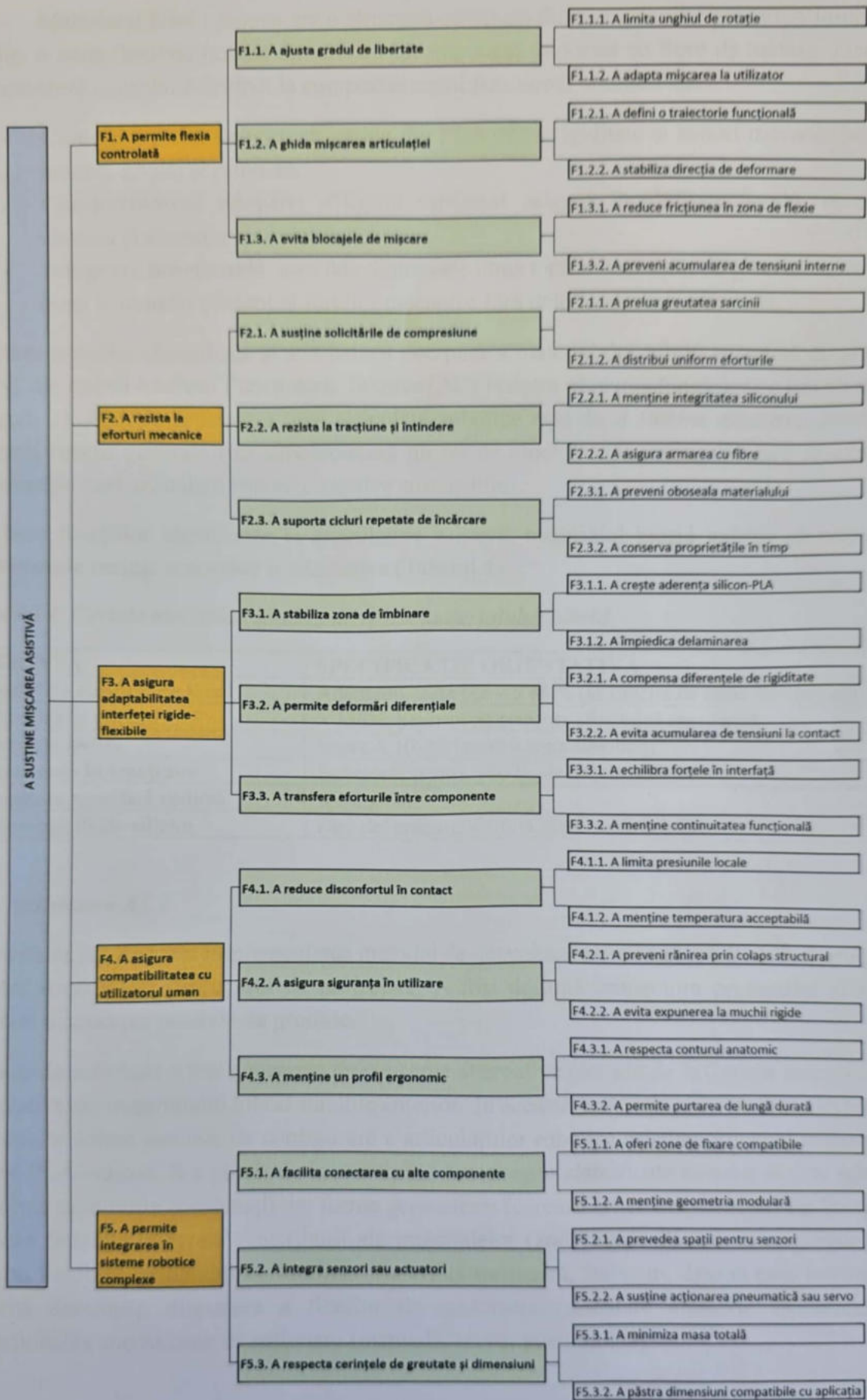


Figura 1. Diagrama FAST pentru identificarea funcțiilor unei articulații robotice

Materialul hibrid propus are o structură compusă dintr-un suport rigid (PLA imprimat 3D) și o zonă flexibilă turnată din silicon bicomponent ranforsat cu fibre de mătase. Fiecare componentă contribuie distinct la comportamentul funcțional al articulației:

- **Comportament structural:** partea din PLA oferă rigiditate și suport mecanic pentru montaj, ghidaj și prindere.
- **Comportament adaptiv:** siliconul ranforsat asigură flexibilitate locală, revenire elastică și atenuare a vibrațiilor.
- **Integrare funcțională:** interfața dintre cele două materiale trebuie să prezinte aderență bună și transfer eficient al forțelor mecanice fără delaminare sau crăpături.

Pe baza nevoilor identificate și a structurii compuse a materialului hibrid se aplică diagrama FAST din cadrul Analizei Funcționale Tehnice (AFT) pentru obținerea funcțiilor pe trei niveluri (Figura 1). Funcția generală a unei articulații robotice este de *A susține mișcarea asistivă*. Acestei funcții generale i se subordonează un set de cinci funcții principale care conduc la construcția unei articulații robotice asistive sustenabile.

Pe baza funcțiilor identificate la articulațiile asistive, materialul hibrid trebuie să respecte următoarele cerințe mecanice și adaptative (Tabelul 4).

Tabelul 4. Cerințe mecanice și adaptative ale materialului hibrid

CERINȚĂ	SPECIFICAȚIE ORIENTATIVĂ
Modul de elasticitate local	Adaptabil, între 0.5 – 5 MPa (în funcție de zona funcțională)
Alungire la rupere	> 150%, pentru componenta siliconică ranforsată
Duritate locală	Shore A 10–50 (pentru zona flexibilă)
Rezistență la tracțiune	Suficientă pentru 1000+ cicluri de îndoire
Greutate specifică redusă	< 1.2 g/cm <sup>3</sup>
Aderență PLA–silicon	Fără delaminare vizibilă după testări ciclice

### 3.2. Activitatea A1.2

Activitatea A1.2 a vizat implementarea metodei de dezvoltare a produselor Ulrich & Eppinger, pentru structurarea procesului de proiectare. A fost definită arhitectura produsului și s-au generat 6 concepte posibile de produse.

Principala activitate a fost generarea de concepte alternative plecând de la Cerințe mecanice și adaptative ale materialului hibrid stabilite anterior. În această fază, echipa de proiect a explorat mai multe soluții posibile de configurare a articulațiilor robotice asistive, folosind materialul hibrid PLA–silicon. S-a pornit de la principiile funcționale identificate anterior și s-au schițat concepte cu diferite combinații de: forme geometrice (carcase articulate, structuri tip "hinge", camere flexibile integrate); distribuții ale materialelor (zone rigide PLA + zone turnate din silicon flexibil); modalități de îmbinare (interfață mecanică, îmbinare directă prin turnare în matriță deschisă); dispunere a fibrelor de ranforsare (orientare aleatorie vs. orientare direcțională); mecanisme de acționare (manuală, servo, pneumatică).

Conceptele au fost documentate prin schițe preliminare. S-a urmărit compatibilitatea cu cerințele aplicațiilor reale (mobilitate, rezistență, integrare în ansamblu robotic).

Tabelul 5. Arhiva soluțiilor conceptuale

GEOMETRIE A ARTICULAȚIEI	DISTRIBUȚIE A MATERIALELOR	MODALITATE DE ÎMBINARE	DISPUNERE A FIBRELOR	MECANISM DE ACȚIONARE	SISTEM DE CONTROL	SURSĂ DE ALIMENTARE	METODĂ DE INTEGRARE ÎN ANSAMBLU
Carcasă rigidă	Rigid + flexibil (stratificat)	Lipire adezivă	Aleatorie	Manuală	Comandă directă	Baterie	Șuruburi + piulițe
Structură tip „hinge”	PLA + Silicon RTV	Îmbinare prin turnare în matriță	Direcțională	Servo	Arduino	Alimentare externă	Cleme mecanice
Volum articulată complex	Zone PLA + goluri flexibile	Matriță deschisă	Hibridă	Actuator pneumatic	Bluetooth + App	USB 5V	Prindere rapidă
Camere flexibile închise	Structură continuă imprimată	Sudură termică	-	-	-	Celulă solară	-

În urma alcătuirii arhivei soluțiilor conceptuale cunoscute și noi pentru funcțiile principale ale dispozitivului, s-a constatat obținerea unui număr foarte mare de concepte. Astfel, s-a hotărât prezentarea celor mai relevante 6 concepte pentru produs. Acestea au rezultat din combinarea soluțiilor conceptuale studiate, ținând cont de posibilitatea realizării și compatibilitatea între ele.

Tabelul 6. Soluții conceptuale propuse

CONCEPT NR.	C1	C2	C3	C4	C5	C6
GEOMETRIE A ARTICULAȚIEI	Structură tip „hinge”	Structură tip „hinge”	Carcasă rigidă	Volum articulată complex	Volum articulată complex	Camere flexibile închise
DISTRIBUȚIE A MATERIALELOR	Rigid + flexibil (stratificat)	PLA + Silicon RTV	Rigid + flexibil (stratificat)	Structură continuă imprimată	Structură continuă imprimată	Structură continuă imprimată
MODALITATE DE ÎMBINARE	Lipire adezivă	Îmbinare prin turnare în matriță	Matriță deschisă	Lipire adezivă	Matriță deschisă	Sudură termică
DISPUNERE A FIBRELOR	Aleatorie	Aleatorie	Aleatorie	Aleatorie	Direcțională	Hibridă
MECANISM DE ACȚIONARE	Servo	Manuală	Servo	Manuală	Actuator pneumatic	Actuator pneumatic
SISTEM DE CONTROL	Arduino	Arduino	Comandă directă	Comandă directă	Bluetooth + App	Bluetooth + App
SURSĂ DE ALIMENTARE	USB 5V	Baterie	Alimentare externă	USB 5V	USB 5V	Alimentare externă
METODĂ DE INTEGRARE ÎN ANSAMBLU	Șuruburi + piulițe	Prindere rapidă	Cleme mecanice	Cleme mecanice	Șuruburi + piulițe	Cleme mecanice

După generarea alternativelor, s-a aplicat o analiză multicriterială (criterii: funcționalitate, fabricabilitate, cost estimat, greutate, adaptabilitate, nivel de inovație etc.).

Pentru alcătuirea matricei de triere a conceptelor a fost stabilit gradul de satisfacere a fiecărui criteriu de către fiecare concept, raportându-se la conceptul de referință selectat

anterior. Pentru un grad mai bun s-a atribuit „+”, pentru un grad mai puțin bun „-” și pentru un grad egal s-a atribuit „0”. Poziția fiecărui concept a fost stabilită în urma însumării rezultatelor. Matricea de triere este prezentată în Tabelul 7.

Tabelul 7. Matricea de triere a soluțiilor conceptuale

Concept	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Funcționalitatea generală a articulației	+	+	0	+	+	+
Nivelul de adaptabilitate la diferite mișcări	+	+	0	+	0	+
Gradul de integrare a materialului hibrid în structură	+	+	0	+	0	-
Ușurința fabricării (inclusiv imprimare + turnare)	+	+	0	0	+	-
Complexitatea designului	0	0	0	0	-	-
Greutatea estimată a soluției	+	+	0	-	-	-
Costul estimat al soluției	+	+	0	+	-	-
Nivelul de inovație (tehnologică și constructivă)	+	+	0	+	+	+
Fiabilitatea în timp și comportamentul la sarcini variabile	-	+	0	-	0	+
Compatibilitatea cu sisteme de acționare existente	0	0	0	0	-	-
<b>Suma + urilor</b>	7	8	0	5	3	4
<b>Suma 0 urilor</b>	1	2	10	3	3	0
<b>Suma - urilor</b>	1	0	0	2	4	6
<b>Scorul net</b>	6	8	0	3	-1	-2
<b>Rangul</b>	2	1	4	3	5	6

Arhitectura selectată pentru dezvoltare este una modulară, ce include o componentă rigidă imprimată FDM din PLA, care formează structura de susținere, o zonă flexibilă turnată din silicon bicomponent ranforsat cu fibre (mătase / poliester), o interfață integrată, proiectată astfel încât siliconul să fie turnat direct în cavități preformate în corpul PLA, fără a necesita adezivi suplimentari.

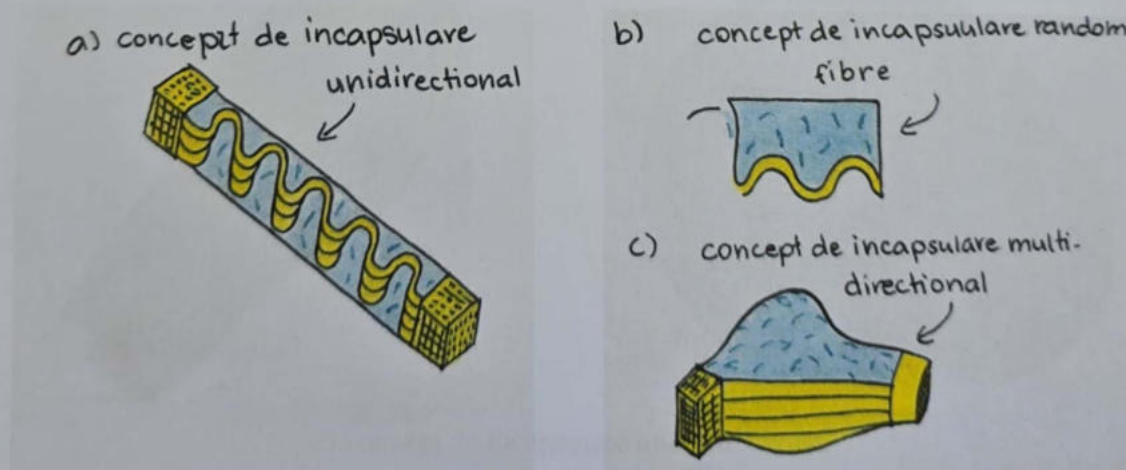


Figura 2. Exemple de soluții conceptuale pentru îmbinarea componentelor structurale (material imprimat 3D, silicon RTV, ranforsare fibre matase)

Această arhitectură a fost considerată optimă deoarece permite adaptarea geometriei la diferite aplicații, reduce pașii de asamblare și riscul de delaminare și este compatibilă cu testarea și optimizarea ulterioară prin metode experimentale (DOE).

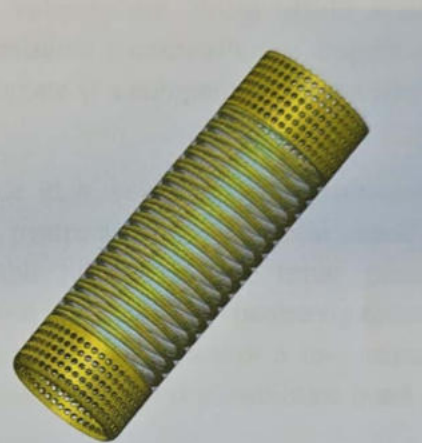
### 3.3. Activitatea A1.3

În cadrul activității A1.3, au fost realizate modelele CAD preliminare ale articulațiilor robotice, iar pe baza acestora s-au identificat parametrii tehnici inițiali pentru fabricarea aditivă (FDM) a suportului rigid din PLA și turnarea ulterioară a siliconului ranforsat.

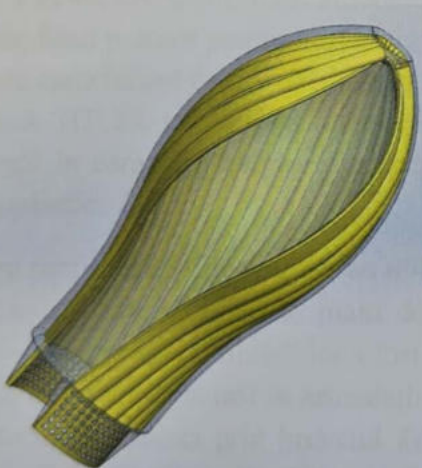
În funcție de tipul articulației anatomice pentru care se dorește proiectarea articulației robotice se poate utiliza încapsulare uni-, bi- sau multi-direcțională (Figura 3) a structurilor imprimate 3D în silicon RTV ranforsat cu fibre de mătase.



a) concept de încapsulare unidirecțional



b) concept de încapsulare bidirecțional



c) concept de încapsulare multidirecțional

Figura 3. Exemple de soluții conceptuale CAD pentru îmbinarea componentelor structurale

### 3.4. Activitatea A1.4

Activitatea A1.4 a presupus selectarea echipamentelor și a materialelor necesare pentru etapele experimentale. Au fost testate și pregătite imprimantele 3D, formele suport pentru turnare, compozițiile de silicon și metodele de ranforsare cu fibre de mătase. În această etapă, accentul a fost pus pe identificarea celor mai potrivite combinații între tehnologii de fabricație aditivă, materiale polimerice rigide și elastomeri ranforșați, astfel încât să se obțină performanțe mecanice și funcționale ridicate în aplicațiile vizate.

Pentru fabricarea componentelor imprimate 3D s-au testat trei imprimante de tip FDM: Ultimaker S5, Zortrax M300 Plus și Prusa MK4S. Ultimaker S5 s-a remarcat prin volumul generos de imprimare ( $330 \times 240 \times 300$  mm), compatibilitatea extinsă cu multiple tipuri de filamente și sistemul automat de nivelare a platformei, fiind utilizată în special pentru realizarea de geometrii complexe și inserții adaptate turnării. Zortrax M300 Plus, cu un volum cubic de imprimare de  $300 \times 300 \times 300$  mm și o platformă stabilă, a fost testată pentru evaluarea calității suprafețelor și a comportamentului stratificării la piese voluminoase. Prusa MK4S a fost utilizată pentru testarea repetabilității printurilor și optimizarea parametrilor de imprimare pentru loturi de probă, având avantajul unei calibrare automate și a compatibilității excelente cu filamentele Prusament.

Materialele utilizate pentru imprimare au fost trei tipuri de PLA, selectate de la producători diferiți, toate în variantă naturală (fără pigment) sau albă, pentru a facilita controlul vizual și compatibilitatea cu siliconul turnat. PLA-ul ColorFabb natural a fost testat pentru comportamentul la temperatură și aderența inter-strat, PLA-ul alb de la eSUN pentru rigiditatea crescută și claritatea marginilor în imprimare, iar PLA-ul natural Prusament a fost utilizat pentru probele în care a fost necesară o precizie dimensională ridicată și o stabilitate bună în timpul printării prelungite.

Pentru componentele elastice s-au testat trei tipuri de silicon de adaos RTV de la Zhermack: ZATT 1240, ZA 22 și HT 33. Siliconul ZATT 1240 are o duritate de 12 Shore A și o vâscozitate medie, fiind potrivit pentru turnare în matrițe cu detalii fine. ZA 22, cu o duritate de 22 Shore A, este caracterizat de o elasticitate superioară și a fost ales pentru testele de flexare și revenire elastică. HT 33, cu duritate intermediară și rezistență termică crescută, a fost testat pentru aplicații în care sunt necesare temperaturi ridicate de lucru sau contact cu piese imprimate termoplastice.

Pentru ranforsarea siliconului s-au utilizat fibre de mătase naturală cu lungime nominală de 5 mm, amestecate omogen în masa de silicon înainte de turnare. Distribuția fibrelor a fost aleatorie, iar scopul utilizării lor a fost creșterea rezistenței la întindere, stabilizarea deformării ciclice și limitarea uzurii în articulații flexibile. Metoda de ranforsare a fost cea brevetată de directorul de proiect prin brevetul *RO 133123 BI* din 28/05/2021 (Autori: Ulmeanu M.E., Doicin C.V., Davițoiu D., Tunsoiu D., Tunsoiu N., Murzac R., Paraschiv A., Doicin T.E., Semenescu A., Costoiu M, Mateș I.M., Titlu: Dispozitiv medical biocompozit pentru reconstrucția extinsă a țesuturilor moi).

Testele aplicate pe materialele și echipamentele selectate au inclus evaluări de aderență între materialul rigid (PLA) și cel flexibil (silicon RTV), teste de compresie și revenire elastică pentru componentele ranforsate și neranforsate, teste de flexibilitate direcțională și de îmbinare structurală, precum și analize vizuale la microscop digital pentru identificarea distribuției fibrelor și a calității suprafeței de contact. Rezultatele acestor teste au permis identificarea configurațiilor optime de lucru și pregătirea etapelor experimentale ulterioare.

Toate cele 4 activități propuse prin graficul Gantt au fost finalizate în termen, iar la finalul L4 a fost livrat rezultatul *R1 – Documentul tehnic cu specificațiile materialului hibrid, metodologia de fabricație și strategia de optimizare*, marcând încheierea cu succes a primei faze a proiectului.

#### 4. Activități viitoare

Activitățile ce urmează a fi desfășurate vor fi implementate conform graficului GANTT prezentat (Tabelul 3). Implementarea acestora va conduce la dezvoltarea și finalizarea cu succes a rezultatelor estimate.

De asemenea, în cadrul proiectului ADAM se urmărește elaborarea și publicarea a trei articole științifice în reviste de prestigiu, precum și depunerea unei cereri de brevet de invenție. Aceste demersuri vor contribui la diseminarea rezultatelor proiectului și la protejarea proprietății intelectuale generate în cadrul cercetării.

#### Propunere de brevet:

- **Titlu:** „Dispozitiv antropomorf din materiale hibride PLA-silicon pentru persoane cu dizabilități locomotorii și metoda de fabricație a acestuia”
- **Inovație:** Integrarea unui sistem de inteligență artificială pentru optimizarea procesului de fabricație, bazat pe analiza tomografiei computerizate și testări structurale, cu scopul de a îmbunătăți performanțele materialelor hibride în aplicații biomedicale.

# ANEXA 1: Program Conferința IMANEE 2025



Home | [Tutorials](#) | [Registration](#) | [Paper submission](#) | [Committees](#) | [Program](#) | [Partners](#) | [Venue](#) | [Contact](#)



\*online access will be granted by a secretary.

\*\*for any inconvenience do not hesitate to contact us.

\*\*\*the detailed program will be available for download in PDF form.

Authors must apply for an Invoice. Required information will be sent at [Imanee@tuiasi.ro](mailto:Imanee@tuiasi.ro). Please check conditions for payment carefully. Before payment all author

## IMANEE2025 Program

Thursday, 15th May 2025

(Google Meet: [meet.google.com/wjw-6cc-hug](https://meet.google.com/wjw-6cc-hug))\*

\*From 8:00 - 12:30 a single Google Meet line is available for participants who wish to attend online

\*\*From 8:00-18:00 activities are carried out onsite at "Cristea Nicolae-Otilia" conference room, TUIASZ Rectorate for physical attending participants

9h-9h Registration

9h-9h Welcome speeches:

- Assoc. Prof. PhD. Eng. Ionut Ovidiu TOMA Vice-Rector for Scientific Research, TUIASZ
- Assoc. Prof. PhD. Eng. Florin NEGUESCU, Dean of Faculty of Machine Manufacturing and Industrial Management, TUIASZ
- Assoc. Prof. PhD. Eng. Vasile MERTICARU Head of Department of Machine Manufacturing Technology, TUIASZ

9h-10h Keynote Speaker

- Prof. PhD. Eng. Alexandru DOVERI: How small can a functional screw be? Challenges of additive manufacturing of micro parts

10h-10h Keynote Speaker

- Prof. PhD. Eng. Gabriel FRUMUSANU: Estimation of the manufacturing activity performance by digital modeling and comparative assessment

10h-11h Doctor Honoris Causa awarding ceremony

- Prof. PhD. Eng. Lorenzana SANTO, Turin Vercata University of Aoste, Italy

12h-14h Coffee break

14h-18h Online sessions\*

\*physically attending participants are invited to sign in online sessions from within the Department of Machine Manufacturing Technology premises. Laptops will be provided upon request

	Section 2a	Section 2b	Section 3	Section 5
	(Google Meet: <a href="https://meet.google.com/jpw-zwq-pde">meet.google.com/jpw-zwq-pde</a> )	(Google Meet: <a href="https://meet.google.com/umf-bqjk-b4d">meet.google.com/umf-bqjk-b4d</a> )	(Google Meet: <a href="https://meet.google.com/umf-bqjk-b4d">meet.google.com/umf-bqjk-b4d</a> )	(Google Meet: <a href="https://meet.google.com/umf-bqjk-b4d">meet.google.com/umf-bqjk-b4d</a> )
Section Title	Machining, Modeling, Monitoring and Automation	Machining, Modeling, Monitoring and Automation	Construbionatics, Integration and Applications	CAD/CAM/CAE/MPACx Techniques, Quality Engineering, Design & Management
Chair	Prof. Angelos MARKOPOULOS Prof. Laurentiu SLATINEANU	Prof. Fehri SUSAC Prof. Mihai BOCA	Prof. Mihail IOTU Prof. Margareta COTEATA	Prof. Pasquale KYRACIS Prof. Petru ONEA
10h-10h	IMANEE2025 Mihai BOCA, Ioan IANAJAS, Laurentiu SLATINEANU  ENVIRONMENTAL STUDIES ON APPLICABLE DRYING COOLING BEHAVIOR HARD TURNING OF Ti6Al4V IN S1000	IMANEE2025 Dimitri VRSILEVA, Tonya AVRAMOVA, Stefan BUSSEY  STUDY THE CUTTING TOOL WEAR WITH A BONDING INSERT IN MACHINING WITH A SIMULATED CUTTING TOOL AND PART ROTATION	IMANEE2025 Nicoleta-Lionelina MANEA and Irena SEVERIN  Analysis of ISO 13485-2016 requirements and their effects on the medical device industry	IMANEE2025 Cyprian Ionut MODARAS, Layla ALGHOUBAN, Viorel GONCIARU and Adriana SAVIN  Accuracy of mechanical properties testing using complementary methods for GFRP
14h-14h	IMANEE2025 Razvan TOCA, Aurel STROGNEA and Tiberiu NITULESCU  Optimizing CNC Machining Technologies via Dimensional Structural Effects	IMANEE2025 Razvan Sebastian CRACIUN, Marius NTEBU, Catalina CHIRU, Florin SUSAC, Gabriel RABU, FRUMUSANU and Vignatelli TESSIER  Study on the Influence of Machining Parameters on Mean Cutting Force during of 2024 T307 Aluminum Alloy	IMANEE2025 Angela Mihaela NALCESU-PANAIU, Simona TUDOSIU, CRISTINA BEANA, IULIANA STANESCU, Catalina ERACIOLE, Mihaela Elena ULMIANU, Gabriela Ioana DUCURU  Optical-based apparatus for graphical representation of the end effector trajectory in a 6R6R kinematic assembly	IMANEE2025 Mihail BOCA, Edgar MORALES, Viorel GONCIARU, Ioana PRIMOZ, Vlad Andrei IONESCU, Ioana NADARAS  Multiscale system for simulating the mechanical behavior of the tandem connection
18h-18h	IMANEE2025 Mihail BOCA, Sergiu MAZURE	IMANEE2025 Florin SUSAC, Gabriel RABU, FRUMUSANU, Catalina CHIRU and	IMANEE2025 Tanya Antanasova and Teodora FLOREVA	IMANEE2025 Viorel GONCIARU, Andrei PETCU, Neelajita PROCA, Ghazal QADHAFI

Depositor			
17 <sup>h</sup> -17 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Tanya AVRAMOVA, Dinka VASILEVA, Sreten RUSEV  OVERVIEW OF SOME NON-TRADITIONAL CUTTING SCHEMES	<b>IMANE2025</b> Cezarina CHIRU, Gabriel-Radu FRILANUSANI, Florin SUSAC and Mircea ARTENI  Energy characterization of milling process by digital modeling and comparative assessment	<b>IMANE2025</b> Riza Georgiana BAZDAGA, Georgea NAGIT, Alexandra Anamaria SPURDON, Dana DODUIN, Andrei Marius MIHALACHE, Laurentiu SLATINIANU  USE OF THE IDEA DIAGRAM METHOD FOR DESIGNING A DEVICE TO HIGHLIGHT THE VARIATION OF THE FORCE MAGNITUDE IN SHEARING PROCESSES
15 <sup>h</sup> -15 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Nicuța Tean PAȘCA, Mihai BANICA, Lucian BUTHAR, Marius COSMA, Vasile NABU  EXPERIMENTAL RESEARCH ON MACHINING 2043 AL-LI ALLOY USED IN AIRCRAFT CONSTRUCTION USING UNCOATED AND DLC COATED MILLING TOOLS	<b>IMANE2025</b> Marius Ionut BIRANU, Andrei Marius MIHALACHE, Vasile MERTICARU, Dinka VASILEVA and Ionut Madalin PISTA  Influence of Stamping Parameters on Dimensional Deviations Between Branching Logs in Metal Cylinders of Double-Roll Spherical Roller Bearings	<b>IMANE2025</b> Viorel PAUNDEL, Mircea ARTENI, Cezarina CHIRU  CIRCULAR ECONOMY APPLIED IN SHEET METAL FORMING PROCESSES
19 <sup>h</sup> -19 <sup>h</sup>		<b>IMANE2025</b> Ramona CIMPOESU, Alexandra Tamara SUTIC, Borenu OHELARIU, Sorin MOGA, Bogdan STRATE, Ana Maria ROMAN and Nicușor CIMPOESU  Surface modification by micro-arc oxidation of ZnMg-2wt alloy	<b>IMANE2025</b> Mihaela NICOLAU, Roxana Gabriela HOBUALA, Nicolae Razvan MITTELU, Cristian BISOI, Dana DODUIN  QUALITY ASSESSMENT CONSIDERATIONS IN PROJECT MANAGEMENT OF NEW PRODUCT DEVELOPMENT - A CASE STUDY
16 <sup>h</sup> -12 <sup>h</sup> Gala Cocktail at Machine Manufacturing Technology department boardroom			
Friday, 16th May 2025			
[Google Meet: meet.google.com/9th-dzwp-oeq]**			
**from 9:00-10:00 a single Google Meet link is available for participants who wish to attend online			
**from 9:00-13:00 activities are carried out onsite at "Cristea Nicolaești-Ciuc" conference room, TUIAD Rectorate for physical attending participants			
9 <sup>h</sup> -9 <sup>h</sup>	Keynote Speaker - Prof. PhD. Eng. Fabrizio QUADRINI Innovative Materials and Sustainable Technologies at the Space Frontier		
9 <sup>h</sup> -12 <sup>h</sup>	Keynote Speaker - Young Researcher - Assit. PhD. Eng. Vasile ERMOLAI Multi-material 3D printed polymers, influencing factors, design considerations and implementation		
10 <sup>h</sup> -12 <sup>h</sup>	Coffee break		
10 <sup>h</sup> -12 <sup>h</sup> Online sessions*			
*physically attending participants are invited to login to online sessions from within the "Cristea Nicolaești-Ciuc" conference room, TUIAD Rectorate premises. Laptops will be provided upon request			
Section 1		Section 4	
[Google Meet: meet.google.com/tq-whp-fpc]		[Google Meet: meet.google.com/4th-ujw-lyg]	
Section Title	Digital Design, 3D Print, Integrated Product Development		Measuring and Control, Production Planning and Control, Production Management, Green Manufacturing & Energy
Chairs	Prof. Alexandru SOVER Prof. Vasile ERMOLAI		Prof. Gabriela STENAD Prof. Dana DODUIN
10 <sup>h</sup> -10 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Florin Stefan JINGA, Irina SEVERIN  From hobby to 3D printing producer: A multi-perspective analysis of entrepreneurial evolution in Romania	<b>IMANE2025</b> Nicoleta LURU, Irina SEVERIN  STUDY ON EVALUATING THE USER SATISFACTION OF INVOICE IMPLEMENTATION	
10 <sup>h</sup> -11 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Martin MICHALAK, Alexandru SOVER, Michael S. J. WALTER  Influence of printing parameters on overhang structures in micro-DLP printing	<b>IMANE2025</b> Andreea Maria MOLDOVEANU, Aurel Mihai TIRU  IMPROVING PROCESS MANAGEMENT IN CONTAINER TERMINALS THROUGH MODELING	
11 <sup>h</sup> -11 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Vlad Cristian ENACHE, Marius Vali LAZAR, Alexandru Ionut NICOLIESCU, Angela Miruna NEACȘU-PAVEL, Cristian Vasile DOICIN, Mihaela Elena ULMIRIANI  Experimental investigation of Surface Quality in PLA 3D printed Component Using a Dual Approach	<b>IMANE2025</b> Roxana Gabriela HOBUALA, Stefana AGOR, Mihaela NICOLAU and Nicușor Razvan MITTELU  Evaluating polymeric materials in the field of car manufacturing quality	
11 <sup>h</sup> -11 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Vasile ERMOLAI, Alexandru Ionut IRMA, Razvan Nicușor MITTELU, Ionut Madalin PISTA, Marius Ionut SPANU and Vasile MERTICARU  Adaptive perimeter generation for fused filament fabrication: Evaluation of Arachne algorithm	<b>IMANE2025</b> Vasile MERTICARU, Vasile ERMOLAI, Bogdan MERTICARU, Razvan NICULESCU, Ionut Madalin PISTA and Bogdan RUSU  DESIGN OF A 5-LEA FRAMEWORK MODEL FOR WOOD PELLETS OF BARQUETTES MICRO-PRODUCTION	
11 <sup>h</sup> -11 <sup>h</sup>	<b>IMANE2025</b> Andrei Marius MIHALACHE, Marius Ionut BIRANU, Angelos MARKOPOULOS, Dinka VASILEVA, Tanya AVRAMOVA, and Alexandru Ionut IRMA	<b>IMANE2025</b> Mihaela BOCA, Margareta COTEASA, Dana DODUIN, Andrei Marius MIHALACHE and Laurentiu SLATINIANU	

## ANEXA 2: R1 - Specificații tehnice și metodologie de fabricație stabilită

Materialul compozit studiat este un hibrid (Tabelul A2.1) rezultat din combinarea a două componente cu roluri complementare:

- **Matriță structurală:** filament PLA (acid polilactic) imprimat prin tehnologie FDM (Fused Deposition Modeling);
- **Componentă elastomerică ranforsată:** silicon bicomponent cu întărire la temperatura camerei, armat cu fibre de **mătase naturală** (și opțional poliester) pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice și flexibilității.

Tabelul A2.1. Specificații tehnice ale componentelor

Componentă	Material	Proprietăți relevante
Matriță rigidă	PLA (1.75 mm filament)	Densitate: 1.24 g/cm <sup>3</sup> , T <sub>g</sub> ≈ 60°C, biodegradabil, printabil la 200–220°C
Fază flexibilă	Silicon RTV2 (bicomponent, 1:1)	Vâscozitate: 3000–6000 cP, timp de întărire: 12–24h, duritate: Shore A 10–50
Fibre de armare	Mătase naturală / poliester (1–10% masic)	Mătase: elasticitate ridicată, rezistență la tracțiune; poliester: rezistență mecanică și chimică

Sistemul compozit propus vizează îmbunătățirea performanțelor mecanice și funcționale prin îmbinarea avantajelor oferite de fiecare componentă în parte: rigiditate și precizie dimensională din partea PLA-ului, respectiv flexibilitate, amortizare și adaptabilitate din partea fazei siliconice ranforsate. Alegerea acestui tip de compozit a fost motivată de potențialul său de a fi utilizat în aplicații inovatoare din domenii precum robotica soft, sistemele biomecatronice, protezele personalizate sau elementele de absorbție a vibrațiilor, acolo unde este necesară o interfață între structuri rigide și medii dinamice, cu comportamente elastice.

Componenta rigidă este realizată din PLA, un polimer biodegradabil imprimat prin tehnologia FDM, care permite obținerea unor forme geometrice complexe, cu costuri reduse și un bun control asupra parametrilor de proces. Proprietățile fizice ale PLA-ului îl recomandă pentru utilizarea în structuri de susținere sau pentru carcase, în special datorită temperaturii de tranziție vitroase favorabile, densității scăzute și ușurinței de prelucrare. Acesta va fi utilizat ca matriță primară și suport structural pentru zona ce urmează a fi umplută cu faza siliconică ranforsată. Geometria acestei părți este proiectată astfel încât să permită turnarea sau injecția precisă a siliconului în cavități dedicate, fără a necesita suporturi externe în timpul procesului de imprimare.

Faza flexibilă este reprezentată de un silicon bicomponent, cu întărire la temperatura camerei, selectat pentru proprietățile sale elastice superioare, rezistența la îmbătrânire și comportamentul mecanic stabil în condiții de sollicitare ciclică. Acesta este combinat cu fibre de mătase naturală sau, alternativ, fibre de poliester, în scopul creșterii rezistenței la tracțiune, a capacității de absorbție a energiei și a comportamentului de întindere controlat. Alegerea

mătășii ca primă opțiune de ranforsare a fost motivată de caracterul său biocompatibil, structura fibroasă complexă și proprietățile sale remarcabile de alungire și elasticitate. Fibra este introdusă sub formă tocată și omogenizată în masa siliconică lichidă, cu procente variabile în funcție de experiment. Metodologia de înglobare a fibrelor de ranforsare este cea brevetată de directorul de proiect prin brevetul *RO 133123 B1* din 28/05/2021 (Autori: Ulmeanu M.E., Doicin C.V., Davițoiu D., Tunsoiu D., Tunsoiu N., Murzac R., Paraschiv A., Doicin T.E., Semenescu A., Costoiu M, Mateș I.M., Titlu: Dispozitiv medical biocompozit pentru reconstrucția extinsă a țesuturilor moi).

**Metodologia de fabricație** este concepută pentru a asigura reproductibilitatea și precizia în realizarea epruvetelor. Procesul de realizare al materialului compozit va fi structurat în următoarele șase etape principale:

1. **Modelare CAD și segmentare:** proiectarea digitală a geometriei suport (PLA), cu definirea zonelor de inserție a siliconului. Se urmărește proiectarea unei epruvete de tracțiune cu grad de infill diferit, fără structură de tip *Top* sau *Bottom*.

2. **Imprimare 3D FDM:**

- Parametrii variați: grosimea stratului (propunere 0.1–0.3 mm), infill (propunere 20–80%);
- Diametru duză: 0.4 mm;
- Imprimare fără suport în zonele ce vor fi ulterior în contact direct cu siliconul bicomponent.

3. **Preparare silicon bicomponent:**

- Amestecare A+B în proporție 1:1;
- Încorporare fibre de mătase mărunțite conform designului experimental (propunere 2–10%);
- Degazare (opțional) pentru eliminarea bulelor de aer.

4. **Impregnare:**

- Turnare în cavitățile prevăzute;
- Utilizarea unei camere de vid pentru asigurarea unei bune infiltrări a fibrelor.

5. **Vulcanizare:** la temperatura camerei, 12–24h.

6. **Postprocesare:** curățare și pregătire pentru testare.

Ulterior etapei de fabricație va urma **evaluarea mecanică**, prin testarea la tracțiune a epruvetelor ranforsate și a unor epruvete etalon. Epruvetele vor fi analizate și cu imagistica CT pentru validarea calității epruvetelor din materialele hibrid fabricate, nu doar pentru detectarea defectelor interne, ci și pentru analiza interfeței dintre structurile rigide fabricate aditiv și stratul flexibil de silicon.

Strategia experimentală propusă, așa cum a fost prezentată și în propunerea de proiect aprobată se bazează pe metoda Design of Experiments (DOE). Pentru optimizarea performanțelor

materialului, se utilizează un plan experimental de tip **Taguchi L12** ( $2^4 \times 3^4$ ), în care se investighează factorii prezentați în Tabelul A2.2.

Tabelul A2.2. Propunere de nivele de variație pentru factorii experimentali studiați

Factor experimental	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
A. Cantitate fibre mătase (% masic)	2%	6%	10%
B. Grosime strat imprimare PLA (mm)	0.1	0.2	0.3

La efectuarea testelor se urmărește înregistrarea unor răspunsuri precum: Rezistență mecanică la tracțiune și compresiune; Elasticitate (alungire la rupere); Aderență interfață PLA-silicon; Timp de întărire și deformabilitate post-încărcare.

Strategie de optimizare presupune ca după colectarea datelor experimentale să se aplice o serie de metode științifice cunoscute, precum: Analiza ANOVA pentru identificarea influenței fiecărui factor asupra răspunsurilor; Rang Taguchi pentru selecția configurației optime; Modelare matematică și validare prin replicare experimentală etc.

Diagrama de flux pentru obținerea materialului hibrid este prezentată în Figura A2.1.

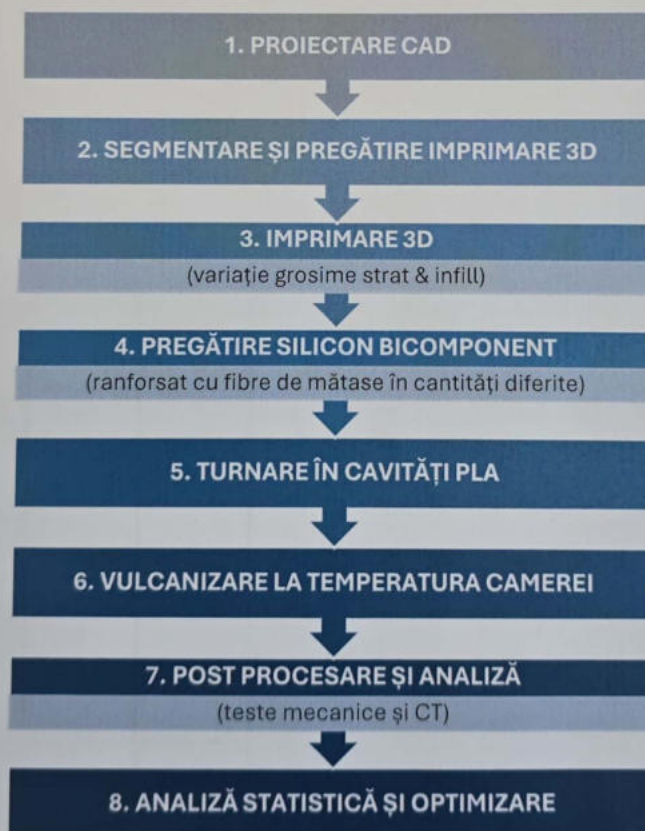


Figura A2.1. Flux de proces pentru fabricarea materialului hibrid