

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și
Încercări de Materiale - ISIM Timișoara

Cod fiscal: RO 3041226 (anexă la procesul verbal de avizare internă nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL

Dr. Ing. Nicușor-Alin SÎRBU

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Ing. Horia-Florin DAȘCĂU

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 16N / 2023

Proiectul: *Cercetări privind dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații*

Faza 4, partea II: *Cercetări privind elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora*

Termen de încheiere a fazei: 13.06.2025

1. Obiectivul proiectului: Dezvoltarea de materiale funcționale inovative, fabricație avansată și ecotehnologii

Obiectivele proiectului (OP), care sunt în concordanță cu strategiei naționale de cercetare, inovare și specializare inteligentă 2022-2027 (SNCISI) și cu prevederile Strategiei Horizon Europa 2021-2027 o Europă a cunoașterii, noi oportunități de afaceri și locuri de muncă, sunt:

- OP1 - Dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații;
- OP2 - Dezvoltarea de tehnologii de fabricație și produse inovative prin printare 3D;

Obiectivele proiectului sunt în concordanță și cu Strategia de dezvoltare a ISIM Timișoara, privind creșterea eficienței activității de cercetare și promovarea excelenței în mediul economic, stimularea publicării și brevetării lucrărilor valoroase și atragerea tinerilor în activitatea de cercetare prin dezvoltarea direcțiilor de nișă la nivel instituțional, regional și național.

Proiectul urmărește dezvoltarea unor aliaje inovative cu entropie ridicată, produse prin tehnologia de printare 3D, pentru a fi utilizate la fabricarea componentelor supuse uzurii și vibrațiilor intense. Aceste componente sunt destinate industriilor avansate precum cea alimentară, textilă, a mașinilor sau farmaceutică. În plus, proiectul contribuie la digitalizarea proceselor și la valorificarea rezultatelor prin brevete, publicații și parteneriate.

2. Rezultate preconizate ale proiectului pentru atingerea obiectivului:

- **R1** - Tehnologii de fabricație pentru obținerea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații: 10
- **R2** - aliaje noi sau îmbunătățite cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații: 5
- **R3** - Cereri de brevet de invenție: 3
- **R4** - Lucrări științifice: 20 ISI/SCOPUS/BDI
- **R5** - Componente printate 3D sever solicitate la uzare și vibrații: 15
- **R6** - Rapoarte științifice: 8
- **R7** - Premii: 10
- **R8** - Noi teme de cercetare: 2
- **R9** - Acțiuni de cesionare drepturi de autor și/sau de identificare de parteneriate: 8 participări la târgurile/saloanele naționale/internaționale de proprietate industrială (EUROINVENT, Traian Vuia etc.) și de transfer tehnologic (DemoMetal, TIB etc.), din țară și afară, în vederea promovării rezultatelor inovative ale cercetării și identificarea de potențiali consumatori de inovare, în special IMM-uri, respectiv de cuantificarea interesului mediului academic/economic privind rezultatele cercetărilor.

În vederea atingerii obiectivelor proiectului, se vor derula activități specifice (A) de cercetare-dezvoltare-inovare astfel:

- **A1** - Managementul proiectului: acțiunile pentru realizarea Raportului de fază, Activitatea A1, managementul proiectului, care reprezintă una dintre componentele esențiale în derularea în bune condiții a proiectului. Managerul de proiect va asigura coordonarea și organizarea activităților proiectului și va urmări încadrarea în costuri și timp a tuturor fazelor și activităților propuse a fi realizate în cadrul proiectului și va organiza ședințe periodice de lucru cu echipa de proiect. Redactarea rapoartelor fazelor (intermediare și final) proiectului intră tot în atribuția managerului de proiect.
- **Activitatea A2**, vizibilitate proiect, constă în realizare platformă online (pagină web) a proiectului, are în vedere promovarea și creșterea vizibilității în mediul online a proiectului, în special a rezultatelor proiectului. Optimizarea și actualizarea platformei online are caracter permanent, pe toată durata proiectului. Toate documentele transmise mediului academic și/sau economic vor fi însoțite și de informații referitoare la pagina de internet a proiectului. Promovarea proiectului se va face și prin intermediul facebook, al variantei electronice și letrice a revistei BID, jurnal din categoria B+, prin participarea la webinarii/seminarii/mese rotunde în cadrul unor evenimente de profil, cât mai ales prin intermediul platformei de tranzacționare inovare - innoCENTA, realizată

în cadrul proiectului Diversificarea serviciilor de inovare si transfer tehnologic ale CENTA-ISIM, cod SMIS 140391 etc.

- *Activitatea A3*, realizare studiu documentar și bază de date privind stadiul cunoașterii în domeniul dezvoltării de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații, este activitatea premergătoare celei de dezvoltare de tehnologii de fabricație, dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații și vizează punerea în temă a echipei de proiect cu privire la ultimele cercetări derulate în domeniul proiectului, la nivel internațional. Toate lucrările, brevetele și studiile științifice identificate vor fi înglobate într-o bază de date, realizată în cadrul proiectului. Baza de date, care conține și o traducere sintetică în limba română a fiecărei lucrări, componentă și a raportului de activitate, care va fi actualizată și va constitui un punct de plecare pentru cercetătorii din ISIM Timișoara și nu numai, interesați în cunoașterea și aprofundarea domeniului.
- *Activitatea A4* - Dezvoltare de subansambluri pentru sudare. Vizează realizarea de subansambluri pentru sudare, printate 3D, din materiale polimerice și/sau compozite și/sau metalice, care vor fi sudate cu ajutorul pieselor executate din aliaje cu entropie ridicată printate 3D.
- *Activitatea A5*, Dezvoltarea de rețete de aliaje cu entropie ridicată de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații - Pentru realizarea de soluții tehnice inovative de dispozitive ultrasonice pentru dotarea echipamentelor de tip imprimante 3D pentru procesarea materialelor polimerice și/sau compozite se vor lua în calcul:
 - elementele chimice ale pulberilor care se pretează a fi utilizate;
 - amplitudinea componentelor supuse la vibrații de până la 60μm;
 - gama de frecvențe de lucru ale componentelor supuse la vibrații între 20 și 60 kHz;
 - simulări ale subansamblurilor pentru sudare folosite pentru testarea componentelor sever solicitate la uzare și vibrații;
 - simulări componente sever solicitate la uzare și vibrații, folosind soft-uri de proiectare specializate;
- *Activitatea A6*, Achiziționarea de active corporale și necorporale pentru C-D, vizează derularea etapelor specifice de achiziție publică și achiziționarea de active necorporale pentru implementarea în bune condiții a proiectului. Dintre principalele active de achiziționat amintim:
 - Pulberi pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații;
 - Software dedicat pentru simularea cu element finit a subansamblelor ultrasonice.
- *Activitatea 7*, Dezvoltarea de tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații.
- *Activitatea 8*, Dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată, produse inovative și tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații și demonstrarea conceptului privind funcționalitățile critice sau caracteristicile la nivel analitic sau experimental (TRL 3). Dezvoltarea de tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și

vibrații, constă în totalitatea activităților pentru obținerea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații.

- *Activitatea 9*, Verificarea capacității noului material de a funcționa în condițiile de utilizare definite; teste specifice de validarea componentelor în condiții de laborator a componentelor realizate din aliaje cu entropie ridicată printate 3D - încercare la tracțiune, încercare la uzare, încercare de duritate, încercare la compresiune, teste de sudare etc. (TRL 5).
- *Activitatea A10*, valorificarea rezultatelor cercetării / acțiuni de transfer tehnologic (SR 13547 / 2012) și de cuantificare a interesului mediului academic/economic privind rezultatele cercetărilor, va consta în:
 - elaborarea de cereri de brevet de invenție, lucrări științifice ISI/SCOPUS/BDI, activități specifice de promovare și transfer tehnologic (mediu online - facebook, BID, ASR, participare la târguri/saloane de invenții etc.), lucrări de diplomă/master, precum și în cadrul unor agenți economici. ISIM Timișoara va face acțiuni de prezentare, informare și promovare (roll-up, flyere, etc.) în cadrul a cel puțin șase manifestări tehnico-științifice naționale și internaționale (ex.: TIMA 2023, 2024, 2025, 2026, TIB, EUROINVENT 2023, 2024, 2025, 2026, Salonul Internațional de Invenții/Inovații "Traian Vuia" Timișoara 2023, 2024, 2025, 2026, ExpoArad etc.). Se vor prezenta atât aspecte legate de produsele și serviciile noi/îmbunătățite pe care ISIM Timișoara le poate oferi ca urmare a implementării prezentului proiect.
 - realizarea de acțiuni de tip sondaj adresate firmelor din industrie, în special din industriile textile și pielărie și/sau automotive, fără a ne limita la acestea. Se reușește astfel nu doar promovarea rezultatelor cercetărilor întreprinse în mediul economic, cât mai ales stabilirea interesului acestora de utilizare a inovării în vederea creșterii competitivității economice. Totodată va stabili și interesul mediului economic privind aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații.

3. Obiectivul fazei 4: partea II Cercetări privind elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora

Această fază se concentrează pe dezvoltarea experimentală a noilor aliaje cu entropie ridicată. Se proiectează și se testează compozițiile, iar tehnologiile de printare 3D sunt adaptate pentru fabricarea acestor materiale. Se realizează demonstrații funcționale și se valorifică rezultatele prin lucrări științifice, participări la saloane de invenții și depunerea de brevete.

Rezultatele studiului sugerează că utilizarea în combinație a acestor materiale poate conduce la soluții inovatoare în domeniul ingineriei mecanice.

Rezultatele obținute contribuie la avansarea cunoștințelor în domeniul sudării materialelor hibride și oferă soluții practice pentru aplicații industriale.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei 4, partea II:

În vederea atingerii obiectivelor *fazei 4, partea a II-a* și conform propunerii de proiect, care este în corelare cu cerințele proiectului și ale fazei 4, partea II, rezultatele au constat în:

- *R3: Cerere de brevet de invenție*: 1 în corelare cu acest rezultat este în lucru o propunere de cerere de brevet cu titlul: Sistem de fabricație aditivă asistată cu ultrasunete pentru HEA
- *R6: Raport științific de fază: 1* - în corelare cu acest rezultat s-a realizat un Raport de fază.
- *R7 - Premii*: 3 – în corelare cu acest rezultat, s-au obținut premii la:
 - Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education" - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia
 - International Exhibition "INVENTCOR", 6th edition, Deva, România, 03-05 Aprilie 2025;
 - EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 08-10 Mai 2025
- Completare bază de date realizată în faza I, cu 20 de titluri bibliografice noi din domeniu

Conform activităților propuse în proiect pentru atingerea obiectivelor fazei 4, partea a II-a, acestea sunt:

- **Activitatea A1**, managementul proiectului, care asigură coordonarea și organizarea activităților fazei 4 partea a II-a și urmărește încadrarea în costuri și timp a tuturor activităților propuse a fi realizate în cadrul acestei faze și organizat ședințe periodice de lucru cu echipa de proiect. *S-a redactat un raport de fază.*
- **Activitatea A2**, vizibilitatea proiectului, care constă în această fază în optimizarea și actualizarea , care sunt făcute permanent. Toate documentele transmise mediului academic și/sau economic vor fi însoțite și de informații referitoare la pagina de internet a proiectului. Promovarea proiectului se face și prin intermediul paginii de socializare Facebook, prin participarea la saloanele de invenții internaționale INVENTOR de la Deva și EUROINVENT de la Iași, prin participarea la târgul Demo Metal Vest de la Arad și în cadrul unor evenimente de profil, dar și prin intermediul platformei de tranzacționare inovare - innoCENTA, realizată în cadrul proiectului Diversificarea serviciilor de inovare și transfer tehnologic ale CENTA-ISIM, cod SMIS 140391 etc.
- **Activitatea A10** - valorificarea rezultatelor cercetării / acțiuni de transfer tehnologic (SR 13547 / 2012) și de cuantificare a interesului mediului academic/economic privind rezultatele cercetărilor, va consta în:
 - elaborarea unei cereri de brevet de invenție, care este în curs de elaborare, având titlul: Sistem de fabricație aditivă asistată cu ultrasunete pentru HEA
 - o lucrare științifică BDI prezentată și publicată:
G.V. Mnerie, N.A. Sîrbu, E. Dobrin, L.I. Sîrbu, D.A. Predu, (2025), Research on high-entropy alloys produced from 3D-printed metal powders, Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education" - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia, Book of Proceedings, pp. 392-404, https://acche.rs/ACCHE_2025/radovi/mechanical/71.pdf.
 - Diseminare rezultatele cercetării (pliant) la târguri/saloane de invenții:

- participare la International Exhibition "INVENTCOR", 6th edition, 03-05 Aprilie 2025, Deva, România cu cererea de brevet:

Dispozitiv de activare cu ultrasunete a mediilor lichide în curgere continuă sau în volum limitat

Brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București

Autor: Nicușor-Alin Sîrbu

- participare la EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, 08-10 Mai 2025, Iasi, Romania;

Dispozitiv de activare cu ultrasunete a mediilor lichide în curgere continuă sau în volum limitat

Brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București

Autor: Nicușor-Alin Sîrbu

- Îndrumare realizare proiecte de diplomă: un student din anul 4 din cadrul UPT, Facultatea de Mecanică în colaborare cu ISIM Timișoara, au realizat lucrări de licență cu titlul:
 - Predu Denis: Titlu proiect de diplomă - Studiul diferențelor de comportare și rezistență la eroziunea prin cavitație vibratoare dintre structurile durificată WIG și îmbătrânită artificial;
- acțiuni de prezentare, informare și promovare (flyere) în cadrul saloanelor de invenții INVENTCOR, și EUROINVENT. Au fost prezentate aspecte legate de produsele și serviciile noi/îmbunătățite pe care ISIM Timișoara le poate oferi ca urmare a implementării prezentului proiect.

5. Rezumatul fazei:

Faza 4, partea II a proiectului este structurată pe 6 capitole, care tratează:

Capitolul 1: Fundamente științifică

Conceptul de HEA se bazează pe formarea de aliaje în care cinci sau mai multe elemente majore sunt prezente în proporții aproape egale, conducând la stabilizarea unei structuri cristaline simple și la o combinație unică de proprietăți mecanice și termice [1]. În această fază sunt dezvoltate compoziții inovative prin combinarea în mod rațional a pulberilor:

- *Kosmp – Aly 718* – similară cu Osprey 718, cu compoziții ușor diferite
- *Ti-6Al-4V grade 5, Powder* – un aliaj de titan cu proprietăți excelente la raport rezistență-greutate
- *Kosmp – 316L* – o pulbere de oțel inoxidabil cu compoziție echilibrată
- *Alloy H13* – un aliaj de scule cu proprietăți financiare ridicate la temperaturi ridicate și ridicată duritate
- *Cu-104-5* – o pulbere pe bază de cupru, care poate contribui la ductilitate și conductivitate termică. Având în vedere natura preprocesată a acestor pulberi (care aparțin unor aliaje deja dezvoltate), se va explora conceptul de „HEA hibrid” unde se intenționează obținerea unui sistem cu caracteristici sinergetice:

Având în vedere natura preprocesată a acestor pulberi (care aparțin unor aliaje deja dezvoltate), se va explora conceptul de „HEA hibrid” unde se intenționează obținerea unui sistem cu caracteristici sinergetice:

- Rezistență mecanică și la temperaturi ridicate: datorită prezenței pulberelor din superaliaje Aly 718 și Alloy H13;
- Ductilitate și stabilitate chimică: datorate includerii pulberii Ti-6Al-4V;
- Rezistență la uzură și coroziune: cu aportul de Kosmp 316L și Cu-104-5.

Acestea sunt concepute prin tehnici de amestecare a pulberilor și optimizarea parametrilor de procesare prin topire selectivă cu laser (SLM).

Capitolul 2: Elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora

Acest capitol descrie cuprinzător metodologia experimentală și pașii practici pentru elaborarea aliajelor cu entropie ridicată (HEA) prin tehnologia de fabricație aditivă (printare 3D), precum și procedurile de testare și caracterizare a acestora.

2.1 Fundamentarea conceptului de HEA în contextul additive manufacturing

Aliajele cu entropie ridicată se caracterizează prin prezența a cel puțin cinci elemente majoritare în proporții relativ egale, conducând la formarea de faze simple (FCC, BCC sau HCP) datorită eficienței sale termodinamice. În contextul fabricării aditive, combinarea sistematică a pulberilor metalice deja existente (care provin din aliaje standard) poate conduce la obținerea unor configurații hibrid ce îmbină avantajele fiecărui material – de exemplu, rezistența la temperaturi ridicate și uzură din partea superaliajelor (Aly 718 și Alloy H13) și proprietățile de ductilitate și stabilitate chimică din partea pulberii Ti-6Al-4V și a oțelului inoxidabil 316L. În plus, adăugarea pulberii de cupru (Cu-104-5) poate favoriza o anumită conductivitate termică și contribuie la flexibilitatea compozițională.

2.2 Proiectarea compozițiilor HEA

2.2.1 Selecția și stabilirea proporțiilor

Pornind de la analiza tipică a literaturii de specialitate și a datelor obținute din caracterizarea inițială a fiecărei pulberi, sunt definite mai multe rețete experimentale. De exemplu, se investighează variante precum:

- **Compoziția A:** 20% Aly 718, 20% Ti-6Al-4V, 20% 316L, 20% Alloy H13 și 20% Cu-104-5.
- **Compoziția B:** 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13 și 25% Ti-6Al-4V.

Aceste rețete sunt alese pentru a echilibra factorii de rezistență mecanică, ductilitate, rezistență la uzură și proprietăți termice. Astfel sunt reduse și discordanțele dintre fazele posibile, favorizând stabilitatea structurală a aliajelor obținute.

2.2.2 Amestecarea și pregătirea pulberilor

- **Amestecarea în stare uscată:** Pentru a asigura o distribuție uniformă a componentelor în amestec, se va utiliza un mixer cu bile (ball milling) sub condiții controlate. Se vor stabili durata și intensitatea amestecării astfel încât să se evite oxidarea excesivă sau aglomerarea particulelor.

2.3 Fabricarea componentelor prin tehnologia SLM

2.3.1 Parametrizarea procesului SLM

Procesul de topire selectivă cu laser (SLM) este esențial pentru transformarea compozițiilor de pulberi în componente solide. Parametrii esențiali care au fost optimizați includ:

- Puterea laserului: Pentru asigurarea unei topiri complete și uniforme.
- Viteza de scanare: Care influențează timpul de topire și gradul de solidificare rapidă.
- Grosimea stratului: Un strat subțire contribuie la o rezoluție geometrică mai bună și la o densificare crescută a probelor.
- Atmosfera de proces: Utilizarea unui mediu inert (argon sau heliu) pentru a preveni oxidarea în timpul procesului.

2.3.2 Etapele procesului de fabricație

1. Pregătirea platformei de printare: Încărcarea amestecului de pulberi în camera de fabricație sub atmosferă controlată cu ajutorul feeder-ului din dotare.
2. Executarea procesului SLM: Stratul cu strat, cu monitorizare în timp real a temperaturilor și a progresului de topire.
3. Răcire controlată: După fabricație, probele sunt lăsate să se răcească într-un mediu controlat pentru a preveni formarea tensiunilor reziduale.

2.4 Caracterizarea și testarea aliajelor HEA

2.4.1 Caracterizare microstructurală

- Microscopy (SEM/TEM): Analize detaliate pentru a evalua morfologia, distribuția dimensiunilor particulelor și omogenitatea microstructurală.
- Difrakție de raze X (XRD): Identificarea structurilor cristaline și a fazelor prezente în aliaj, verificând stabilitatea și puritatea structurală [7].
- Analize energetice (EDX): Pentru a confirma compoziția chimică și distribuția elementelor în compoziție.

2.4.2 Testări mecanice și funcționale

- Teste de tracțiune și compresiune: În vederea evaluării valorilor de rezistență (R_m , $R_{0.2}$) și a ductilității materialului.

2.5 Validarea și interpretarea rezultatelor

- Analiza datelor experimentale: Sunt utilizate metode statistice și instrumente de modelare pentru a corela parametrii de procesare SLM cu proprietățile finale ale materialelor. Se va implementa Design of Experiments (DoE) pentru optimizarea parametrilor.
- Compararea cu literatura de specialitate: Rezultatele experimentale vor fi comparate cu datele publicate în studii anterioare pentru a evalua îmbunătățirile aduse de procesul de fabricație aditivă în cazul HEA.
- Feedback pentru optimizare: Comunicarea rezultatelor preliminare către echipa de proiect și ajustarea iterativă a procesului de fabricație și post-procesare, astfel încât să se atingă obiectivele de densitate, omogenitate și performanță mecanică.

Capitolul 3: Metodologia de implementare

3.1. Proiectarea compozițiilor HEA și a pieselor de printat

- Selecția proporțiilor: Pe baza analizelor inițiale și a literaturii de specialitate, au fost stabilite mai multe compoziții experimentale în care se vor combina cele cinci pulberi. Exemplu de abordare:
 - Compoziție 1: 20% Aly 718, 20% Ti-6Al-4V, 20% 316L, 20% Alloy H13, 20% Cu-104-5

- Compoziție 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4V,
- Proiectarea 3D a piesei ce urmează a fi printată

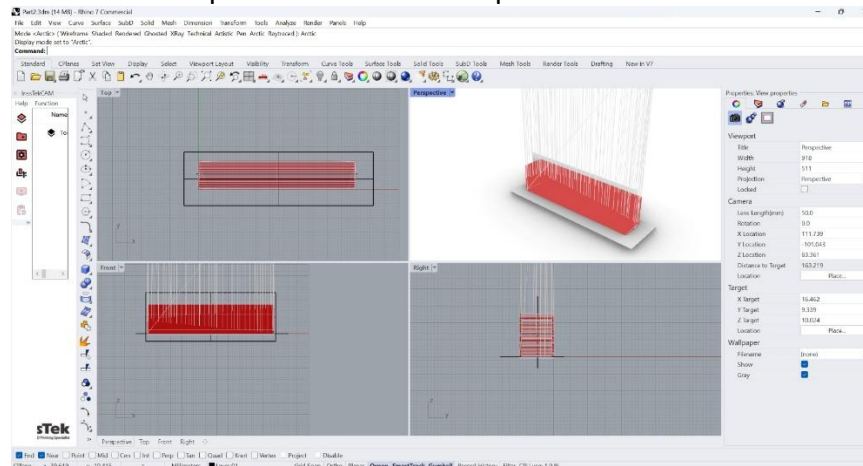


Figura 1. Proiectare piesă printată 3D

3.2. Amestecarea și pregătirea pulberilor

Amestecare în stare uscată: Utilizarea feeder-ului din dotarea laboratorului, în condiții controlate pentru a asigura o distribuție uniformă a compozițiilor.



Figura 2. Echipamentul de amestecare și distribuie a pulberilor metalice din dotarea ISIM Timișoara

3.3. Fabricarea printată 3D

Procesul SLM: Se utilizează tehnologia de topire selectivă cu laser (SLM) pentru a fabrica probele din compozițiile amestecate. Parametrii critici care au fost optimizați includ:

- Puterea laserului
- Viteza de scanare
- Grosimea stratului
- Atmosfera inertă



S-au efectuat studii pilot pentru fiecare compoziție, ajustând acești parametri astfel încât să se obțină o densitate ridicată (ideal peste 98%) și să se minimizeze defectele (porozitate, fisuri).

Figura 3. Echipamentul de printare 3D InssTech MX-Mini DMT din dotarea ISIM Timișoara

3.4. Caracterizarea materialelor rezultate

- Caracterizare structurală: au fost efectuate analize detaliate prin SEM și difracție laser pentru a evalua microstructura, orientările cristaline și prezența fazelor secundare.
- Testare mecanică: Teste de tracțiune și testări impact.



Figura 4. Microscopie electronică cu scanare și spectroscopie cu raze X cu dispersie de energie: SEM EDX

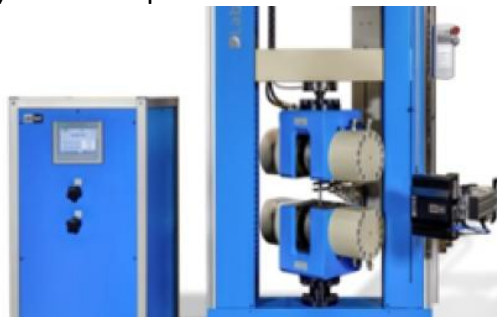


Figura 5. Mașină universală de testare la tracțiune de 100kN, LabTest 6 series

Capitolul 4: Rezultate experimentale

Această etapă a proiectului și-a propune să evidențieze diferențele dintre cele două tipuri de specimene printate 3D, (figura 6 și figura 7).

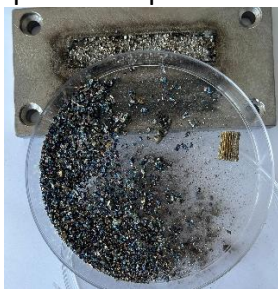


Figura 6. Piesă printată 3D din pulberi metalice, compoziția 1: 20% Aly 718, 20% Ti-6Al-4V, 20% 316L, 20% Alloy H13, 20% Cu-104-5



Figura 7. Piesă printată 3D din pulberi metalice, Compoziție 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4V

Rezultatele obținute după printarea piesei din compoziția 1, se văd în figura, unde piesa s-a sfărâmat, straturile depuse neavând nici o legătură între ele, rezultând un amestec de pulberi care conțin și zgură (figura 8).

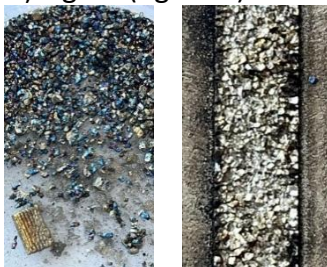


Figura 8. Amestec de pulberi compoziția 1: 20% Aly 718, 20% Ti-6Al-4V, 20% 316L, 20% Alloy H13, 20% Cu-104-5, după printare

Rezultatele obținute utilizând microscopia electronică de baleiaj și spectroscopia de raze X cu dispersie de energie: SEM EDX sunt evidențiate în figura 9 pentru piesele printate din compoziția 2.

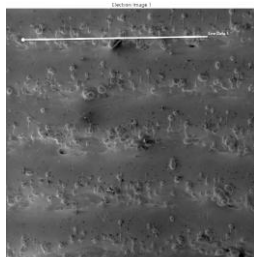


Figura 9. Imagine de microscopie electronică cu scanare, compoziția 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4V

Ca urmare a testelor de tracțiune, valorile obținute sunt detaliate în Tabelul 1 și în figura 10.

Nr. probă	Sarcina [kN]	Forța [N]	Timp [s]	Abaterea standard [kN/mm ²]	Coeficientul de variație [kN/mm ²]
1	100	35873	27.4	8.647	22.482
2		33975	28.3	9.158	21.984
3		35219	28.8	9.083	22.796
4		35006	27.5	8.972	22.897
5		33612	29.9	9.233	23.014



Figura 10. Rezultate teste de tracțiune, compoziția 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4V

Ca urmare a testelor de impact efectuate folosind metoda impactului cu pendul (Charpy), Lab Test CHK 450 J-IA, valorile obținute sunt detaliate în tabelul 2 și în figura 11.

Test Nr.	Înălțime [mm]	lățime [mm]	Înălțime la creștătură [mm]	Lungime [mm]	Interval maxim [%]	Impact [J]	Interval [%]	Rezistență la impact [J /cm ²]
1	11.130	6.870	9.060	66.730	80.00	54.315	18.105	7.759
2	11.201	7.002	8.964	65.058		50.483	17.258	7.487
3	11.289	6.892	8.681	66.489		51.574	17.492	7.721
4	11.176	6.987	9.012	66.410		49.467	16.974	7.513
5	11.230	7.030	8.470	65.360		48.107	16.036	7.384



Figura 11. Rezultate teste a impact, compoziția 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4V

Capitolul 5: Activități de diseminare și promovare a proiectului

Acest capitol prezintă modul de diseminare a rezultatelor proiectului. Acestea au fost diseminate pe pagina web a proiectului, găzduită de site ISIM, a fost elaborată o lucrare științifică, este în curs de elaborare o cerere de brevet de invenție, s-a completat baza de date creată în prima fază cu încă 20 de articole de specialitate din literatura internațională și au fost elaborate 3 materiale de informare sub formă de postere și flyer (pliant) care au fost prezentate, discutate și apreciate ca fiind deosebite, în cadrul conferinței Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education" - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia, a expoziției internaționale de inovare și transfer tehnologic INVENTCOR 2025 și EUROINVENT 2025.

Capitolul 6: Concluzii

În acest capitol se detaliază principalele concluzii desprinse în urma implementării proiectului până în această etapă, evidențiind elemente cheie ale acestora din urmă. Studiul a demonstrat eficacitatea metodei de printare 3D pentru producerea de piese metalice complexe, utilizând pulberi din *compoziția 2: 25% Aly 718, 25% 316L, 25% Alloy H13, 25% Ti-6Al-4*. Această metodă a permis o legătură puternică între straturi, creând structuri dense și durabile.

În urma analizei documentației de specialitate rezultă că lucrarea „Cercetări privind elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora” oferă o analiză detaliată a rezultatelor experimentale pentru aplicații industriale.

Această fază a mai vizat punerea în temă a echipei de proiect cu privire la ultimele cercetări derulate în domeniul proiectului, la nivel național și internațional și realizând cercetări asupra unor subansamble printate 3D pentru realizare de lucrări științifice care au fost comunicate la conferințe științifice internaționale.

Astfel, prin tema propusă, care vizează dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată privind printarea 3D pentru construcția componentelor sever solicitate la uzare și vibrații folosind cele mai inovative tehnologii, aflate în primele 10 la nivel global, respectiv fabricația aditivă - printare 3D, dezvoltând produse inovative, noi aliaje cu entropie ridicată printate 3D și tehnologii de fabricație prin printare 3D pentru componente sever solicitate la uzare și vibrații, supuse la uzare prin contact în zona activă și la vibrații de până la 80μm și frecvențe cuprinse între 20 și 50 kHz, pentru aplicații de sudare, debitare, cavitație, omogenizare etc., destinate industriei textile și pielărie, constructoare de mașini, la industria alimentară, industria de jucării, industria

de ambalaje mergând până la industria farmaceutică și energetică, înlocuindu-se astfel metodele clasice de fabricație a aliajelor cu entropie ridicată. Pe lângă faptul că se vor realiza aliaje care sunt greu sau imposibil de realizat prin metode clasice de fabricație, prin printare 3D se vor obține componente în stare finită, aliajele cu entropie ridicată având o rezistență mecanică ridicată, în special la temperaturi înalte, duritate mare, prezentând rezistență la uzare și coroziune ridicate.

Rezultate obținute sunt în concordanță cu obiectivele stabilite în cadrul proiectului, care au fost prezentate la punctul 1 din prezentul raport, acestea fiind detaliate în raportul de cercetare în extenso.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la țintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Rezultatele fazei 4, partea II, care sunt în totală concordanță cu obiectivele fazei 4 din propunerea de proiect au constatat în:

- Managementul proiectului și realizarea Raportului de fază, conform activității A1 din propunerea de proiect;
- În corelare cu activitatea A2 - Vizibilitate proiect, respectiv de realizare și actualizare platformă online (pagină web), promovarea proiectului și prin intermediul rețelei de socializare Facebook, a variantei electronice și letrice a revistei BID numărul 4/2024, jurnal din categoria B+ etc., s-au întreprins o serie de acțiuni de promovare, cum ar fi:
 - Promovare prin realizare de pliante (flyere)



Figura 12. Realizare pliant pentru promovarea proiectului în limba română

- Participarea la conferința internațională „Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education” - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia” unde a fost comunicată o lucrare științifică
 - G.V. Mnerie, N.A. Sîrbu, E. Dobrin, L.I. Sîrbu, D.A. Predu, (2025), Research on high-entropy alloys produced from 3D-printed metal powders, Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education” - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia, Book of Proceedings, pp. 392-404, https://acche.rs/ACCHE_2025/radovi/mechanical/71.pdf.

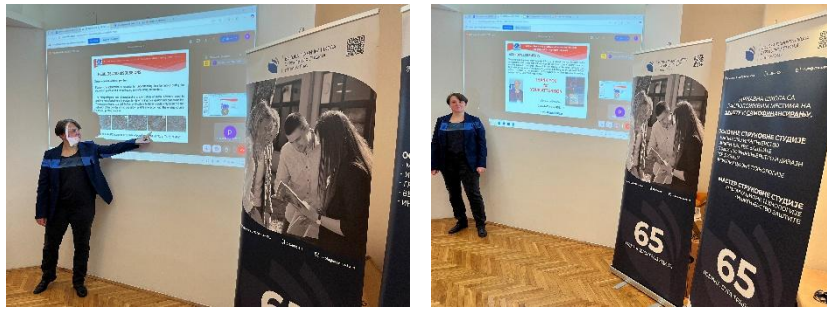


Figura 13. Comunicare lucrări științifice

- Promovare prin participarea la International Exhibition „INVENTCOR” 6th edition, 03-05 Aprilie 2025, Deva, România:
- *Dispozitiv de activare cu ultrasunete a mediilor lichide în curgere continuă sau în volum limitat*
Brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București
Autor: Nicușor-Alin Sîrbu

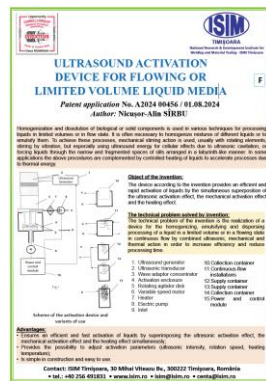


Figura 14. Promovare prin participarea la International Exhibition „INVENTCOR” 6th edition, 03-05 Aprilie 2025, Deva, România

- Promovare prin participarea la EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 08-10 Mai 2025:
- *Dispozitiv de activare cu ultrasunete a mediilor lichide în curgere continuă sau în volum limitat*
Brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București
Autor: Nicușor-Alin Sîrbu



Figura 15. Promovare prin participarea la EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 08-10 Mai 2025

- În corelare cu Rezultatul R7, s-au obținut premii la:
 - Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education" - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia



Figura 16. Diplomă obținută la Annual Conference on Challenges of Contemporary Higher Education" - ACCHE 2025, Kopaonik, February 03-07 2025, Serbia

- International Exhibition "INVENTCOR", 6th edition, Deva, România, 03-05 Aprilie 2025;
 - Diplomă și Medalie de Aur pentru:
- Dispozitiv de activare cu ultrasunete a mediilor lichide în curgere continuă sau în volum limitat

Brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București

Autor: Nicușor-Alin Sîrbu

- Innovation Award și Medalie de Aur din parte Universității din Craiova, pentru:
- Nicușor-Alin Sîrbu
- Awards a Special Prize din parte Universității „Lucian Blaga” din Sibiu, pentru:
- ISIM Timișoara



Figura 17. Diplome obținute la International Exhibition „INVENTCOR” 6th edition, 03-05 Aprilie 2025, Deva, România

- EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 08-10 Mai 2025
 - Diplomă și Medalie de Aur pentru:
- Ultrasound activation device for flowing or limited volume liquid media

Cerere de brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București
Autor: Nicușor-Alin Sîrbu

- Diplomă de participare pentru:
 - *Ultrasound activation device for flowing or limited volume liquid media*
Cerere de brevet de invenție: Nr. A/00456/01.08.2024, OSIM București
Autor: Nicușor-Alin Sîrbu
- Special Award și Medalie din parte CIT Politehnica 2020 și UPT, pentru:
 - Nicușor-Alin Sîrbu
- Diploma Special Award și Medalie din parte Corneliu Group, pentru:
 - Research on the development of 3D printed high entropy alloys and vibration stressed components – Project PN 23 37 01 03, Nicușor-Alin Sîrbu



Figura 18. -Diplome obținute la EUROINVENT, 17th European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 08-10 Mai 2025

- Promovare în mediul online, actualizare pagină web a proiectului, legată la website-ul ISIM, la secțiunea cercetare <https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-03>.

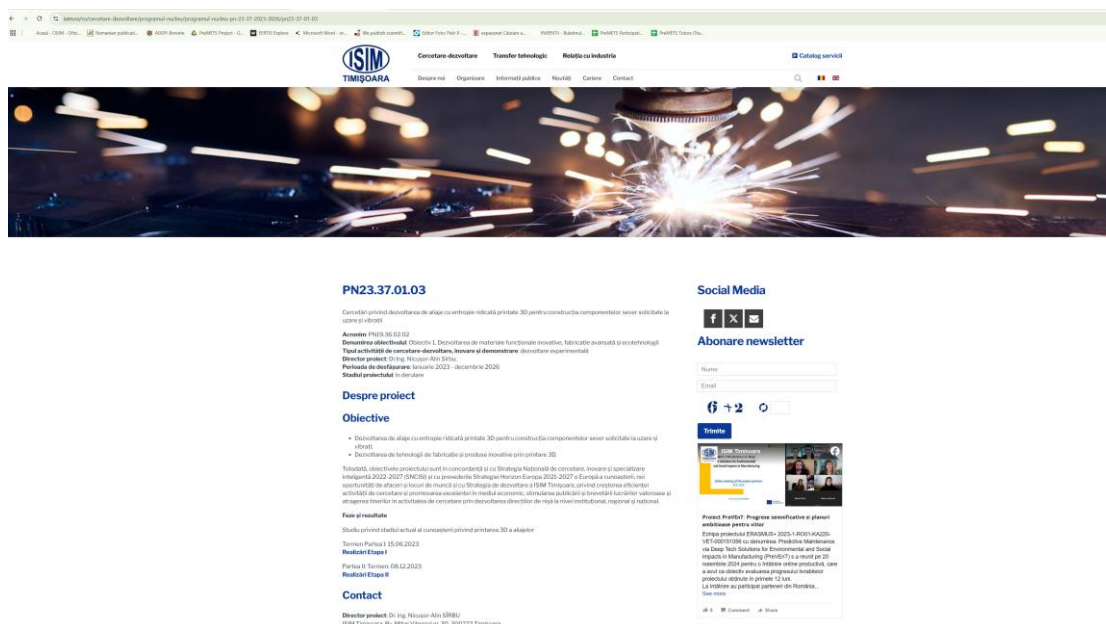


Figura 16. Site ISIM/site proiect – <https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-03>

Au fost atinse obiectivele propuse ale fazei 4 prin cele 2 părți distincte din cadrul proiectului, conform diagramei Gantt din cererea de finanțare, fiind completată baza de date care conține lucrări științifice de specialitate în domeniul proiectului, s-au scris și urmează a fi publicate 2 lucrări științifice în jurnal BDI, s-au întreprins o serie de acțiuni de promovare a proiectului prin intermediul mediului on-line (pagina web a proiectului/participare la târguri/expoziții și comunicare lucrări științifice la o conferință internațională).

Rezultatele obținute în cadrul fiecărei părți/faze a proiectului, vor fi prezentate pe pagina web a proiectului, creată pentru vizibilitatea acestui proiect, accesibilă la adresa <https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-03>, pagină web care va fi actualizată pe întreaga perioadă de derulare a proiectului.

Lucrările proiectului vor continua cu faza 5 a proiectului “Cercetări finale privind elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora”.

Responsabil proiect

Dr. Ing. Nicușor-Alin SÎRBU

.....
(Semnătura)