

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 5: *Cercetări finale 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 solicate 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 solicate 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 solicate 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 solicate la uzare și vibrații;
 - simulări componente sever solicate 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 solicate 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 solicate la uzare și vibrații.
- *Activitatea 8*, Dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată, produse inovative și tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicate 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 solicate 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 5 - Cercetări finale privind elaborarea de aliaje cu entropie ridicată și testarea acestora

Faza 5 și-a propus finalizarea și validarea procesului experimental prin optimizarea compozițiilor HEA dezvoltate, extinderea testărilor mecanice și funcționale și demonstrarea capacității materialelor de a funcționa în condiții de utilizare industrială. Rezultatele studiului sugerează că utilizarea în combinație a acestor materiale poate conduce la soluții inovatoare în domeniul ingineriei mecanice.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei 5:

În vederea atingerii obiectivelor *fazei 5* și conform propunerii de proiect, care este în corelare cu cerințele proiectului și ale fazei 5I, rezultatele au constatat în:

- *R1 - Tehnologii de fabricație pentru obținerea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații* – în corelare cu acest rezultat s-au realizat 3 tehnologii, astfel:
 - Tehnologie de printare 3D a pulberilor metalice cu viteză variabilă;

- Tehnologie de printare 3D a pulberilor metalice cu gaz protector;
- Tehnologie de printare 3D a pulberilor metalice cu pulbere variabilă;
- **R4 - Lucrări științifice:** în corelare cu acest rezultat s-au realizat 4 articole științifice;
 - 2 lucrări prezentate la „91 International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", April 7-11, 2025, Kyiv, Ukraine”;
 - 2 lucrări elaborate și în curs de publicare la „Cea de a XXXIV – a ediții a seriei de conferințe anuale INSTALAȚIILE PENTRU CONSTRUCȚII ȘI CONFORTUL AMBIENTAL", 08-09 Mai, 2025 Timișoara, România”.
- **R5 - Componente printate 3D sever solicitate la uzare și vibrații** – în corelare cu acest rezultat s-au realizat 3 produse HEA printate 3D din pulberi metalice, astfel:
 - Produs probă pentru încercarea prin șoc (Charpy);
 - Produs roată dințată;
 - Produs Sigla ISIM;



Produs probă pentru încercarea prin șoc (Charpy)



Produs roată dințată



Produs Sigla ISIM

- **R6: Raport științific de fază** – în corelare cu acest rezultat s-a realizat un Raport de fază.

Conform activităților propuse în proiect pentru atingerea obiectivelor fazei 5, acestea sunt:

- **Activitatea A1**, managementul proiectului, care asigură coordonarea și organizarea activităților fazei 5 și urmărește încadrarea în costuri și timp a tuturor activităților propuse a fi realizate în cadrul acestei faze și s-au 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 sunt 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 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 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 solicate 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 solicate 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 A5**, Dezvoltarea de rețete de aliaje cu entropie ridicată de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicate 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 sunt luate 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 subsansamblurilor pentru sudare folosite pentru testarea componentelor sever solicate la uzare și vibrații.
- **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.
 - Principalele active de achiziționat amintim:
 - Pulberi pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații.
- **Activitatea 7**, Dezvoltarea de tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații.
 - În cadrul acestei faze s-au dezvoltat 3 tehnologii de fabricație pentru obținerea de aliaje cu entropie ridicată printate 3D pentru construcția componentelor sever solicate la uzare și vibrații
- **Activitatea 8**, Dezvoltarea de aliaje cu entropie ridicată, produse inovative și tehnologii de printare 3D pentru construcția componentelor sever solicate 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 solicate 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;
 - În cadrul acestei faze s-au dezvoltat 3 produse/componente printate 3D sever solicate la uzare și vibrații.

- **Activitatea A10** - valorificarea rezultatelor cercetării / acțiuni de transfer tehnologic (SR 13547 / 2012) și de cuantificare a interesului mediului academic/economic privind rezultatele cercetărilor, constă în:
 - 4 lucrări științifice au fost elaborate, prezentate și publicate:
 - *comunicarea și publicarea rezumatului, a 2 lucrări științifice la „91th International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", April 7-11, 2025, Kyiv, Ukraine”.*
 - *Gabriela-Victoria Mnerie, Dobrin Emilia, Sîrbu Lavinia-Ileana: Ultrasonic cleaning of food production equipment. „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv, ISBN 978-966-612-358-2, pp. 14, https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part_2.pdf;*
 - *Gabriela-Victoria Mnerie, Sîrbu Lavinia-Ileana, Dobrin Emilia: Role of ultrasonic welding in aseptic packaging. „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv, ISBN 978-966-612-358-2, pp.60, https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part_2.pdf;*
 - *scrierea și transmiterea pentru publicare a 2 lucrări științifice (în curs de publicare) la „Cea de a XXXIV – a ediții a seriei de conferințe anuale INSTALAȚIILE PENTRU CONSTRUCȚII ȘI CONFORTUL AMBIENTAL ”, 08-09 Mai, 2025, Timișoara, România”.*
 - *Emilia Dobrin, Gabriel-Victoria Mnerie, Dumitru Mnerie, Lavinia-Ileana Sîrbu, Raul Carol Klobucaric: The use of 3D printed High-Entropy Alloys in heating, ventilation, and air conditioning systems: benefits, challenges, and perspectives;*
 - *Mnerie Gabriela-Victoria, Predu Denis-Andrei, Sîrbu Nicusor- Alin, Tanović Petra, Sikolya Laslo: Innovative applications of ultrasonic welding technology in building installations for enhanced efficiency and sustainability.*
 - Diseminare rezultatele cercetării (pliant) la târguri/saloane de invenții:
 - participare la târgul Demo Metal Vest, 03-05 iunie 2025, Arad, România cu pliant al proiectului
 - Îndrumare realizare lucrări de disertație (master), masteranzi din anul 2 din cadrul UPT, Facultatea de Mecanică în colaborare cu ISIM Timișoara, au realizat lucrări de disertație cu titlul:
 - Ciurel Claudia: Lucrare de disertație - Comportamentul mecanic al rășinilor V4 - analiză experimentală și simulare numerică.
 - acțiuni de prezentare, informare și promovare (pliant) în cadrul târgului Demo Metal. Au fost prezentate aspect legate de produsele și serviciile noi/îmbunătățite pe care ISIM Timișoara le poate oferi ca urmare a implementării prezentului proiect.

5. Rezumatul fazei:

Faza 5 a proiectului este structurată pe 5 capitole, care tratează:

Capitolul 1: Fundamente științifică

Faza 5 și-a propus finalizarea și validarea procesului experimental prin optimizarea compozițiilor HEA dezvoltate, extinderea testărilor mecanice și funcționale și demonstrarea capacității materialelor de a funcționa în condiții de utilizare industrială, printarea 3D a componentelor sever solicitate la uzare și vibrații din pulberi metalice.

- *Osprey 718 (PO3-Ni)* – o pulbere pe bază de Ni, tipică pentru superaliaje
- *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

Capitolul 2: Metodologie experimentală detaliată

Pentru fiecare serie de teste, s-au luat în considerare diferiți parametri de printare (viteza de scanare, grosimea stratului, puterea fasciculului laser etc.), precum și compoziții distincte HEA. De asemenea, au fost urmărite și scenariile de post-procesare – tratamente termice și netezire - pentru a investiga influența acestora asupra microstructurii.

2.1 Scopul și structura schemei experimentale

Elaborarea unui plan experimental coerent și cuprinzător reprezintă un pas esențial în validarea caracteristicilor aliajelor cu entropie ridicată (HEA) printate 3D. Prin această schemă, se urmărește testarea completă și corelată a proprietăților mecanice, a comportamentului la uzură și a capacității de rezistență la vibrații a componentelor, în vederea evaluării robuste a performanțelor tehnologice ale materialelor.

2.2 Structura schemei experimentale

Schema experimentală din această fază integrează:

1. Selecția și proiectarea probelor
 - *Probele standard*: pentru determinări mecanice (tracțiune, duritate, impact), astfel încât rezultatele să fie *comparabile internațional*.
2. Fabricarea prin printare 3D și *post-procesările* corespunzătoare
 - Setarea diferitelor *parametri de construcție* (compoziția pulberilor, puterea laserului, viteza de scanare, temperatura din cameră).
 - Apelarea la *netezire superficială* pentru anumite epruvete–martor.
3. Caracterizarea microstructurală inițială
 - Verificarea omogenității structurii și detectarea potențialelor defecte (porozități, microfisuri) prin SEM, EDX.
 - Stabilirea *microdurității și rezistenței mecanice inițiale* înainte de a trece la testele de uzură și vibrație.
4. Testarea avansată: *Testele mecanice*: tracțiune, duritate, impact.
5. Analiza post-test și corelarea rezultatelor

- comparația datelor obținute înainte și după test (microstructură, duritate, compoziție chimică), pentru a determina eventuale schimbări induse de solicitările severe.
 - Evaluarea statistică și vizuală (grafice) a dependenței dintre *parametrii de imprimare* și *proprietățile finale* (mecanice).
6. Strategii de optimizare și concluzii intermediare
- Pe baza rezultatelor, se conturează o *listă de recomandări* privind ajustarea compoziției aliajelor, reglarea regimului de imprimare și a tratamentelor post-procesare.

2.3 Descrierea materialelor și a parametrilor utilizați

2.3.1 Pulberile metalice pentru HEA

- Selecția compozițiilor:
Au fost alese *câteva* combinații reprezentative de elemente (Fe, Al, Ti, Ni, Co, Cr), în diferite rapoarte, pentru a obține aliaje cu structuri variate (fază unică solidă, amestec de faze intermetalice etc.).
- Calitatea și granulometria pulberilor:
Pulberile metalice au fost aprovizionate de la furnizori specializați, fiind caracterizate prin:
 - Dimensiunile granulare între 15 și 45 μm (cu maxime de 63 μm).
 - Conținut redus de oxizi ($<0,1\%$ O).
 - Formă aproximativ sferică, necesară pentru o bună curgere și densificare la imprimare.

2.3.2 Echipamentul de printare 3D

S-a utilizat un echipament industrial cu sursă laser în infraroșu (putere 200–400 W), cameră de lucru în atmosferă controlată (gaz inert – argon), sistem de recoater cu lamă metalică și control fin al parametrilor de scanare.

- Parametrii de bază stabiliți:
 - Grosimea stratului: 20–40 μm .
 - Viteza de scanare: 600–800 mm/s.
 - Puterea laserului: 250–350 W, în funcție de compoziția adoptată.
 - Orientarea de construcție: verticală (Z) și orizontală (XY) pentru evaluarea anizotropiei mecanice.

2.4 Pregătirea probelor și dispozitivelor de test

Pentru a investiga într-un mod riguros *comportamentul mecanic, rezistența la uzură și răspunsul la vibrații* al aliajelor cu entropie ridicată (HEA) printate 3D, este necesară o **planificare riguroasă** a modului în care probele sunt fabricate, post-procesate și ulterior montate pe dispozitivele de testare. Scopul este de a avea repetabilitate și acuratețe în fiecare etapă, astfel încât rezultatele să poată fi comparate și corelate corect cu parametrii de proces.

2.5 Configurarea dispozitivelor pentru test

Dispozitive pentru testele mecanice

- Mașină universală de încercări:

- Cleme, menghine sau adaptori dedicate pentru prinderea probelor de tracțiune.
- Extensometru cu precizie în zona de deformare elastică.
- Durimetre (Rockwell, Vickers, microduritate):
 - Montarea probelor astfel încât suprafața de contact să fie plată, *perfect orizontală*.

Capitolul 3: Materiale și metode

3.1. Materiale utilizate

Pulberile metalice utilizate sunt:

- *Osprey 718 (PO3-Ni)* – o pulbere pe bază de Ni, tipică pentru superaliaje
- *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



Figura 1. Pulbere metalică pentru printarea 3D

3.2. Printarea probelor HEA

Printarea pieselor este făcută cu ajutorul echipamentului de printare 3D InssTech MX-Mini DMT care are în componență și dispozitivul de amestecare și distribuire a pulberilor metalice.



Figura 2. Echipamentul de printare 3D InssTech MX-Mini DMT din dotarea ISIM Timișoara

3.3. Metode de testare

Prin testele mecanice se cuantifică rezistența aliajelor cu entropie ridicată (HEA) printate 3D și capacitatea lor de a suporta diverse tipuri de sollicitări (tragere. În acest capitol se prezintă modul în care sunt efectuate principalele teste de caracterizare mecanică (tracțiune, duritate și impact), care completează imaginea obținută în urma analizelor microstructurale.

- Caracterizare structurală: au fost efectuate analize detaliate prin SEM și EDX pentru a evalua microstructura, orientările cristaline și prezența fazelor secundare.
- Testare mecanică: Teste de tracțiune, duritate (Vickers) și impact.



Figura 3. Microscopie electronică cu scanare și spectroscopie cu raze X cu dispersie de energie: SEM EDX



Figura 4. Mașină universală de testare la tracțiune de 100kN, LabTest 6 series



Figura 5. Echipament pentru teste de impact cu pendul (Charpy) tip Lab Test CHK 450 J-IA



Figura 6. Echipament pentru testarea durității Zwick 3212

Capitolul 3: Rezultate experimentale

În această etapă, sunt prezentate analizele microstructurale și testele mecanice efectuate.

- Microscopie electronică (SEM) și EDX:
 - Topografia suprafeței înainte și după test.
 - Identificarea zonelor de microcrăpături sau de aglomerare de faze intermetalice.
- Duritate:
 - Evoluția durității comparativ cu materialele convenționale.
- Testele de tracțiune:
 - Pentru a observa dacă procesul de imprimare 3D și compoziția chimică influențează semnificativ comportamentul elasto-plastic.



Figura 6. Probă printată 3D

- Microscopie optică



Figura 7. Imagine a suprafeței piesei printată 3D

- Microscopie electronică (SEM) și EDX

Analiza chimică efectuată cu microscopie electronică de scanare și spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (SEM EDX)

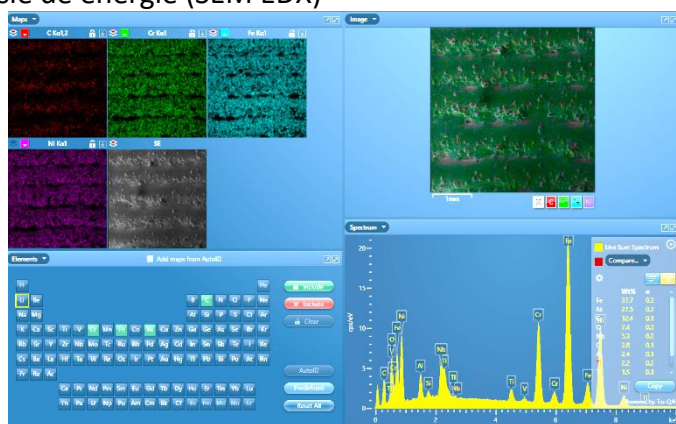


Figura 7. Imagini ale elementelor chimice din proba printată 3D

- Duritate

În urma testelor de duritate, rezultatele probelor printate 3D sunt prezentate în tabelul urător.

HV 10	1	2	3	4
<i>Proba 1</i>	254	236	322	322
<i>Proba 2</i>	252	253	287	312
<i>Proba 3</i>	245	248	311	315

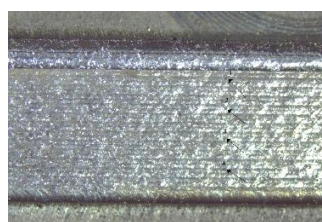


Figura 8. Teste de duritate

- Testele de tracțiune

Ca urmare a testelor de tracțiune, valorile obținute sunt detaliate în figura 9 și în tabelul de mai jos:

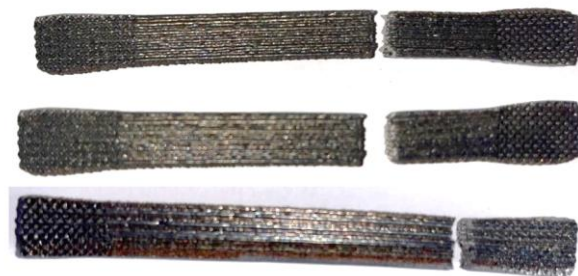


Figura 9. Rezultate teste de tracțiune

Nr. probă	Sarcina [kN]	Forța [N]	Timp [s]	Abaterea standard [kN/mm ²]	Coeficientul de variație [kN/mm ²]
1	100	34728	23.5	7.398	19.3258
2		34189	24.9	7.148	18.974
3		34297	25.8	7.132	18.287

○ Testele de impact

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 10.



Figura 10. Teste de duritate

Test Nr.	Înălțime [mm]	lățime [mm]	Înălțime la creștătură [mm]	Lungime [mm]	Interval maxim [%]	Impact [J]	Interval [%]	Rezistență la impact [J /cm ²]
1	11.187	7.087	8.889	65.840	80.00	55475	17.578	7.579
2	11.199	7.045	8.927	65.428		52.173	17.872	7.678
3	11.201	6.995	8.872	65.384		54.578	17.813	7.279

Capitolul 4: 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, au fost elaborate 4 lucrări științifice au fost elaborate materiale de informare sub formă postare pe rețelele de socializare, discutate și apreciate ca fiind deosebite, în cadrul conferinței „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025.

Capitolul 6: Concluzii

În acest capitol se detaliază principalele concluzii desprinse în urma implementării proiectului până în această etapă, evidențiind elemente cheie ale acesteia din urmă. Studiul a demonstrat eficacitatea metodei de printare 3D pentru producerea de piese metalice complexe, utilizând pulberi din *compoziția 2: 25% Al₇₁₈, 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 5, care sunt în totală concordanță cu obiectivele fazei 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, s-au întreprins o serie de acțiuni de promovare, cum ar fi:
 - Promovare prin realizare de pliante (flyere)



Figura 11. Realizare pliant pentru promovarea proiectului în limba engleză

- Participarea la conferința internațională „Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution”, April, 7–11, 2025.” unde au fost comunicate două lucrări științifice, conferință desfășurată în mod hibrid și obținerea unei Diplome:
 - G.V. Mnerie, E. Dobrin, L.I. Sîrbu. (2025). Ultrasonic cleaning of food production equipment. „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv, ISBN 978-966-612-358-2, pp. 14, [https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part 2.pdf](https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part%202.pdf). (abstract publicat).
 - G.V. Mnerie, L.I. Sîrbu, E. Dobrin. (2025). Role of ultrasonic welding in aseptic packaging. „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv, ISBN 978-966-612-358-2, pp.60, [https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part 2.pdf](https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2025/Part%202.pdf). (abstract publicat).

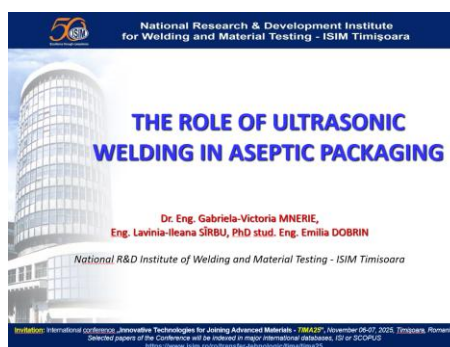
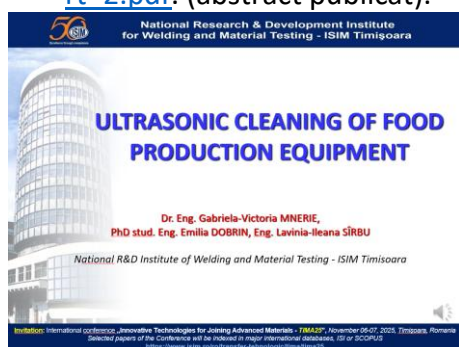


Figura 12. Prezentările Power Point a lucrărilor științifice participante la „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025



Figura 13. Diplomă obținută la „91th International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025

- Scrierea și transmiterea spre publicare a două articole în Volumul conferinței „Instalațiile pentru Construcții și Confortul Ambiental”, Ediția a 34-a, 08-09.06.2025 (în curs de publicare):
- E. Dobrin, G.V. Mnerie, D. Mnerie, L.I. Sîrbu, R.C. Klobucaric. (2025) The use of 3D printed High-Entropy Alloys in heating, ventilation, and air conditioning systems: benefits, challenges, and perspectives. Volumul conferinței „Instalațiile pentru Construcții și Confortul Ambiental”, Ediția a 34-a, 08-09.06.2025.
- G.V. Mnerie, D.A. Predu, N.A. Sîrbu, P. Tanović, L. Sikolya. (2025). Innovative applications of ultrasonic welding technology in building installations for enhanced efficiency and sustainability. Volumul conferinței „Instalațiile pentru Construcții și Confortul Ambiental”, Ediția a 34-a, 08-09.06.2025.



THE XXXIV RD EDITION OF THE ANNUAL CONFERENCE SERIES
INSTALLATIONS BUILDING SERVICES FOR CONSTRUCTION AND
ENVIRONMENTAL COMFORT
08-09 May 2025, Timisoara, Romania

Innovative applications of ultrasonic welding technology in
building installations for enhanced efficiency and
sustainability
Aplicarea tehnologiilor de sudare cu ultrasunete în domeniul instalațiilor
pentru construcții: soluții pentru eficiență energetică și durabilitate

Emilia Dobrin ^{1,2}, Gabriel-Victoria Mnerie ^{1,3}, Dumitru Mnerie ²,
Lavinia-Ileana Sirbu ¹, Raul Carol Klobucaric ^{1,2}

¹ National Research & Development Institute for Welding and Material Testing - ISIM
30, Biv. Mihai Viteazul, Postal Code 300222, Timisoara, Romania
E-mail: edobrin@isim.ro, gmmnerie@isim.ro, lbasaru@isim.ro, rklobucaric@isim.ro

² Politehnica University Timisoara
Victoria Square no 2, Postal Code 300006, Timisoara, Romania
E-mail: emilia.dobrin@student.upt.ro, dumitru.mnerie@upt.ro, raul.klobucaric@student.upt.ro

³ Ioan Slavici University
144, Dr. Aurel Pannescu Podanu street, 144, Postal Code 300587, Timisoara, Romania
E-mail: gabriel.mnerie@iushos.com



THE XXXIV RD EDITION OF THE ANNUAL CONFERENCE SERIES
INSTALLATIONS BUILDING SERVICES FOR CONSTRUCTION AND
ENVIRONMENTAL COMFORT
08-09 May 2025, Timisoara, Romania

The use of 3D printed High-Entropy Alloys in heating, ventilation,
and air conditioning systems: benefits, challenges, and perspectives
Utilizarea aliajelor cu entropie ridicată (HEA) printate 3D în instalațiile de
climatizare și ventilație: beneficii, provocări și perspective

Gabriel-Victoria Mnerie ^{1,2}, Lavinia-Ileana Sirbu ¹, Emilia Dobrin ^{1,4},
Oleksii Gubenia ³, Dumitru Mnerie ⁴

¹ National Research & Development Institute for Welding and Material Testing - ISIM
30, Biv. Mihai Viteazul, Postal Code 300222, Timisoara, Romania
E-mail: gmmnerie@isim.ro, lbasaru@isim.ro, edobrin@isim.ro

² Ioan Slavici University
144, Dr. Aurel Pannescu Podanu street, 144, Postal Code 300587, Timisoara, Romania
E-mail: gabriel.mnerie@iushos.com

³ National University of Food Technologies,
Volodymyrskaya street, 68, Postal code 01033, Kyiv, Ukraine
E-mail: Gubenia@nftu.net

⁴ Politehnica University Timisoara
Victoria Square no 2, Postal Code 300006, Timisoara, Romania
E-mail: emilia.dobrin@student.upt.ro, dumitru.mnerie@upt.ro

Figura 14. Lucrări elaborate pentru publicare în Volumul conferinței „Instalațiile pentru Construcții și Confortul Ambiental”, Ediția a 34-a, 08-09.06.2025

- Promovare prin participarea la Demo Metal Vest, Târg pentru industria din Vestul României, 03–05 Iunie 2025, la Expo Arad, România.



Figura 15. Promovare prin participarea la Demo Metal Vest, Târg pentru industria din Vestul României, 03–05 Iunie 2025, la Expo Arad, România



Figura 16. Realizare postare pe Facebook

- 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>.

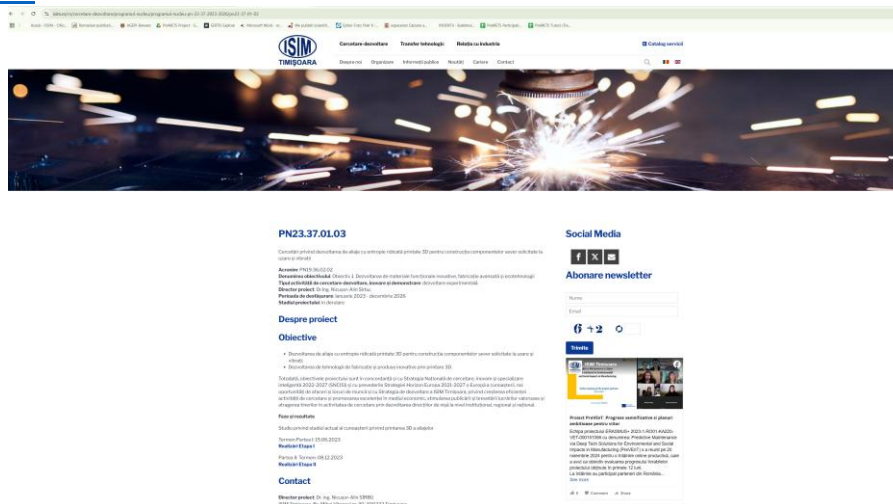


Figura 17. Site ISIM/site proiect – <https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-03>

Au fost atinse obiectivele propuse ale fazei 5 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 6 a proiectului “ Cercetări preliminare privind realizarea prin printare 3D de componente sever solicitate la uzare și vibrații”.

Responsabil proiect

Dr. Ing. Nicușor-Alin SÎRBU

.....

(Semnătura)