

Anexa 10 la Contract nr. 16N/2023

(anexa la procesul verbal de avizare interna nr. 9 din 09.12.2025)

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

Cod fiscal: RO 3041226

De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. ing. Nicușor-Alin SÎRBU

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr. Ing. Horia DAȘCĂU

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: PN 23 37 01 04

Proiectul: Dezvoltarea de materiale și tehnologii de fabricație avansate pentru ingineria suprafețelor. Realizarea de suprafețe extradure prin procesare cu fascicule concentrate

Faza 1: Studiu privind tehnologiile și materiale utilizate pe plan internațional la realizarea de depuneri dure cu fascicul laser

Termen de încheiere a fazei: 09.12.2025

1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul principal al proiectului este **dezvoltarea de materiale avansate și tehnologii inovative pentru realizarea unor straturi dure și extradure**, obținute prin procedee de depunere cu fascicul laser, cu aplicabilitate în protejarea și îmbunătățirea performanțelor componentelor critice expuse la uzură, solicitări mecanice ridicate și medii termice severe. Proiectul urmărește atât **proiectarea și validarea în laborator a unei noi tehnologii de depunere extradure**, cât și **consolidarea infrastructurii de cercetare** prin retehnologizarea echipamentului de debitare cu jet de apă și abraziv, necesar pregătirii probelor fără influență termică și realizării unui program experimental complet. Prin implementarea acestor direcții, proiectul contribuie la acumularea de know-how în domeniul ingineriei suprafețelor, la creșterea capacității experimentale a ISIM Timișoara și la dezvoltarea unor soluții tehnice cu potențial ridicat de aplicabilitate industrială în sectoare precum energetic, aeronautic și fabricarea de componente metalice de înaltă performanță.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Pentru atingerea obiectivului general al proiectului – dezvoltarea unei tehnologii inovative de realizare a straturilor dure și extradure prin depunere cu fascicul laser – sunt preconizate o serie de rezultate intermediare și finale, necesare fundamentării științifice și tehnologice a procesului. În prima etapă, proiectul va genera **modele conceptuale și experimentale privind comportamentul materialelor dure/extradure în depuneri laser**, pornind de la identificarea materialelor optime, analiza compatibilității lor cu procesul laser și stabilirea condițiilor tehnologice adecvate pentru formarea unor microstructuri stabile și cu proprietăți funcționale superioare. În același timp, proiectul urmărește **dezvoltarea infrastructurii experimentale**, prin realizarea și validarea modelelor CAD necesare re tehnologizării echipamentului de debitare cu jet de apă și abraziv, o condiție esențială pentru pregătirea probelor fără influențe termice și pentru obținerea unor secțiuni de calitate în vederea caracterizării microstructurale.

Pe plan tehnologic, se preconizează obținerea unor **aliaje și compozite avansate** compatibile cu depunerea laser, precum și realizarea unor serii de depuneri preliminare care vor permite evaluarea interacției material–fascicul și identificarea parametrilor critici ai procesului. Aceste rezultate vor constitui baza pentru optimizările ulterioare din fazele experimentale avansate, asigurând premisele pentru dezvoltarea unor **straturi cu duritate ridicată, rezistență la uzură și stabilitate termică**, conforme cerințelor industriale. Totodată, proiectul urmărește generarea unor rezultate științifice concrete – **lucrări științifice, participări la conferințe, rapoarte de cercetare**, precum și pregătirea unei **propuneri de brevet de invenție**, toate acestea contribuind la creșterea vizibilității și a impactului științific al proiectului.

La nivel instituțional, un rezultat preconizat fundamental constă în **creșterea capacității de cercetare a ISIM Timișoara**, prin dezvoltarea infrastructurii CDI și acumularea de know-how în procese avansate de depunere și prelucrare neconvențională. Acest lucru va permite institutului să furnizeze soluții tehnologice avansate către industrie și să se alinieze direcțiilor strategice naționale privind fabricația avansată și materialele funcționale, contribuind la obiectivele OS1 și OS2 ale proiectului.

3. Obiectivul fazei:

Obiectivul Fazei 1 constă în **realizarea unui studiu comprehensiv privind tehnologiile și materialele utilizate la nivel internațional pentru obținerea depunerilor dure și extradure prin fascicul laser**, precum și în fundamentarea științifică și tehnică necesară demarării etapelor experimentale prevăzute în fazele ulterioare ale proiectului. În această fază sunt urmărite identificarea stadiului actual al cercetării în domeniul proceselor de depunere laser, evaluarea materialelor candidate – aliaje, compozite și pulberi metalice destinate realizării straturilor dure – și determinarea compatibilității lor cu echipamentele disponibile în infrastructura ISIM Timișoara. Faza are ca scop și **definirea cadrului conceptual al programului experimental**, prin stabilirea parametrilor critici ai procesului, a condițiilor necesare pentru implementarea depunerilor și a cerințelor impuse asupra infrastructurii experimentale, inclusiv asupra echipamentului de debitare cu jet de apă și abraziv, care va necesita re tehnologizare în fazele următoare.

Prin activitățile desfășurate (A1–A4), faza urmărește crearea unei imagini clare asupra potențialului tehnologiilor de depunere cu laser, asupra limitărilor existente și asupra oportunităților de optimizare, oferind astfel baza științifică necesară pentru realizarea materialelor avansate dure/extradure în Faza 4 și pentru caracterizarea, optimizarea și validarea acestora în fazele 5–7. Această fază pune, astfel, baza metodologică și tehnică a întregului proiect, asigurând o fundamentare solidă pentru realizarea obiectivelor specifice OS1 - validarea în laborator a unei noi tehnologii de obținere a unor straturi dure și extradure utilizate pentru creșterea performanțelor componentelor critice supuse la uzură, pentru industria prelucrătoare sau pentru protecția altor componente exploatate în condiții de solicitări termice și mecanice severe și OS2 - îmbunătățirea capacităților de cercetare aplicată prin dezvoltarea infrastructurii de cercetare, prin dezvoltarea echipamentului de debitare cu jet de apă și abraziv, care stă la baza dezvoltărilor experimentale ca procedeu conex îmbinărilor de materiale și ingineriei suprafețelor, cât și intensificarea cunoștințelor interdisciplinare și a experienței în dezvoltarea de sisteme de procesare cu LASER și jet de apă, cu performanțe calitative și de precizie superioare, rezistență termică și mecanică îmbunătățită ale proiectului.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Pentru realizarea obiectivului Fazei 1 – studiul tehnologiilor și materialelor utilizate internațional în depunerile dure cu fascicul laser și fundamentarea cadrului tehnic pentru implementarea programelor experimentale – sunt preconizate o serie de rezultate științifice și tehnice care vor asigura baza pentru fazele aplicative ale proiectului. Principalele rezultate așteptate includ **elaborarea unui studiu documentar amplu**, care sintetizează stadiul actual al depunerilor laser, tendințele internaționale, limitările tehnologice și direcțiile emergente în domeniul materialelor dure și extradure, reprezentând rezultatul indicator R1 prevăzut în propunerea de proiect. Acest studiu furnizează cadrul teoretic necesar selecției materialelor pentru depunerile viitoare și stabilește criteriile de analiză pentru evaluarea compatibilității materialelor cu sistemele laser de mare putere.

Un alt rezultat important al fazei este **identificarea și selectarea materialelor metalice avansate** – aliaje, compozite și sisteme multicomponente – adecvate pentru depuneri dure, pe baza caracteristicilor lor fizico-chimice, a comportamentului la topire–solidificare și a potențialului de formare a unor microstructuri stabilizate cu carburi sau faze intermetalice. Se preconizează formularea unei liste scurte de materiale candidate și justificarea tehnico-științifică a selecției acestora, în concordanță cu activitatea A2.

Tot în această fază se estimează obținerea **unui set clar de condiții tehnice necesare implementării programelor experimentale**, formulat în urma analizei echipamentelor existente – sistemul laser HWF 80, echipamentul de debitare OMAX Maxiém 1530, imprimanta metalică MX-Mini DMT – precum și în urma evaluării infrastructurii auxiliare. Rezultatul acestei activități (A3) constă în definirea parametrilor critici ai procesului, identificarea constrângerilor tehnologice și stabilirea cerințelor pentru adaptarea infrastructurii de laborator.

Un rezultat esențial anticipat în Faza 1 este **proiectarea preliminară a programului experimental** care va fi implementat în fazele 4–7, incluzând structura etapelor, necesarul tehnic, materialele-țintă, metodologia de depunere și procedurile de caracterizare. Acest program preliminar constituie premisa organizatorică necesară pentru desfășurarea ulterioară a experimentelor, conform planificării multianuale.

În paralel, faza va conduce la **adaptarea inițială a echipamentului laser** pentru depunerile planificate (A4), prin validarea funcționalității, calibrarea parametrilor de lucru și evaluarea compatibilității cu pulberile selectate. Se preconizează, de asemenea, realizarea **unei lucrări științifice (A5)** și **diseminarea rezultatelor (A6)**, inclusiv încărcarea rezumatului fazei pe pagina web a proiectului (rezultat R9), contribuind la vizibilitatea proiectului în comunitatea științifică. În final, faza se va încheia cu **raportul de cercetare și raportul de activitate aferent fazei 1 (A7)**, rezultate obligatorii prevăzute în propunerea de proiect.

Toate aceste rezultate, prevăzute explicit în structura fazei și în corelare cu indicatorii R1, R9, R10 și R14 din proiect, asigură atingerea obiectivului fazei și oferă fundamentul științific și tehnic necesar pentru fazele aplicative din anii următori.

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Faza 1 a proiectului, dedicată studiului tehnologiilor și materialelor utilizate la nivel internațional pentru realizarea depunerilor dure și extradure cu fascicul laser, a reprezentat etapa fundamentală pentru configurarea direcțiilor tehnico-științifice ale întregului proiect și pentru stabilirea cadrului metodologic necesar fazelor experimentale ulterioare. Această fază a avut un caracter preponderent analitic și conceptual, vizând în primul rând identificarea stadiului actual al cercetării în domeniul depunerilor avansate, evaluarea materialelor candidate pentru realizarea straturilor durabile și definirea cerințelor de infrastructură, echipamente și parametri pentru implementarea programelor experimentale de depuneri laser. Activitățile din această etapă au inclus studii bibliografice extinse, analize tehnologice, selectarea materialelor, analiza echipamentelor din infrastructura ISIM și formularea unei concepții preliminare privind programul experimental.

Primul rezultat major al fazei a constat în realizarea **unui studiu comprehensiv privind tehnologiile de depunere cu fascicul laser (A1)**, document care sintetizează tendințele internaționale relevante pentru depunerile dure și extradure, provocările asociate procesării materialelor complexe și soluțiile moderne adoptate în domeniu. În cadrul studiului au fost analizate evoluțiile recente din literatura de specialitate, cu accent asupra depunerilor folosind pulberi metalice avansate, aliaje multicomponente sau compozite cu faze dure dispersate. Au fost comparate procedee precum laser cladding, direct energy deposition (DED), depuneri hibride LASER–ARC și tehnologii emergente de fabricare aditivă aplicată pentru regenerarea suprafețelor (figura 1). Studiul a evidențiat importanța controlului precis al parametrilor laser pentru stabilirea microstructurii straturilor depuse, rolul vitezei de răcire în generarea fazelor dure și limitările impuse de compatibilitatea material–substrat.

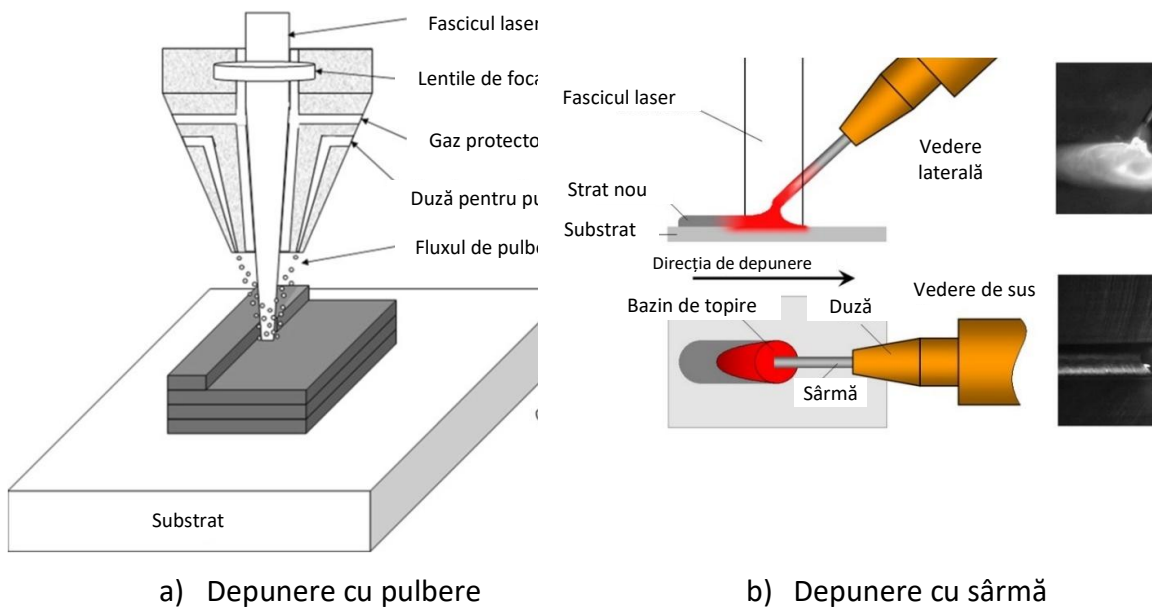


Figura 1 Modurile de depunere cu fascicul laser a materialelor

O componentă esențială a studiului tehnologic a vizat analiza **materialelor dure și extradure** utilizate în practica internațională. Au fost identificate familii de materiale caracterizate prin duritate ridicată, microstructuri complexe și stabilitate la temperaturi înalte, precum aliajele pe bază de cobalt (Stellite și derivate), compozitele WC-Co sau WC-Ni, aliajele Ni-Cr-B-Si, sistemele avansate de scule rapide și aliajele de înaltă entropie (HEA). Analiza comparativă a comportamentului acestor materiale în depuneri laser a permis identificarea avantajelor și limitărilor fiecărei clase în funcție de aplicația vizată. În special, s-a evidențiat potențialul materialelor multicomponente (HEA dopate cu carburi) și al compozitelor metal-carbură în obținerea unor microstructuri cu performanțe superioare în aplicații de uzură severă, temperaturi ridicate și coroziune.

Pe baza acestor analize a fost realizată **selectarea materialelor candidate pentru programul experimental (A2)**. Dintre materialele studiate, cinci variante au fost identificate ca fiind cele mai promițătoare pentru realizarea depunerilor extradure în proiect:

- Co-Cr-W-C derivat din Stellite 6, îmbogățit cu WC;
- un aliaj de înaltă entropie Co-Cr-Fe-Ni-Mo dopat cu carburi;
- un sistem Ni-Cr-B-Si modificat cu carburi dure;
- oțel H13 modificat prin particule VC/TiC;
- compozitul WC-Co/Ni cu proporții controlabile de carburi.

Selectarea acestor materiale s-a fundamentat pe compatibilitatea lor cu depunerea laser, disponibilitatea în formă de pulbere, capacitatea de a genera faze dure stabile și potențialul de optimizare prin mixare în imprimanta metalică MX-Mini DMT.

O altă direcție majoră a fazei 1 a vizat **analiza infrastructurii de cercetare existente** (A3), cu accent asupra echipamentelor relevante pentru depunerile dure. Sistemul multifuncțional robotic HWF 80, echipat cu sursă laser de 8 kW (figura 2), a fost identificat ca principal echipament pentru realizarea depunerilor experimentale, datorită capacității sale de a controla precis aportul termic și de a opera în configurații hibride LASER–ARC.



a) Incintă LASER și echipamentele conexe pentru funcționare



b) Robot cu 6 axe dotat cu cap LASER

Fig. 2 Sistem robotic multifuncțional HWF 80 - hibrid LASER – ARC, putere 8kW și sursă de sudare de 500A – dotare ISIM

În același timp, echipamentul de debitare cu jet de apă și abraziv OMAX Maxiém 1530 (figura 3) a fost analizat ca instrument esențial pentru pregătirea substraturilor și pentru secționarea probelor depuse. S-a constatat că materialele extradure selectate necesită o prelucrare fără afectare termică, condiție pe care doar debitarea cu jet de apă o poate îndeplini.



Fig. 3 Instalație de debitare cu jet de apă și abraziv – dotare ISIM

Analiza infrastructurii a evidențiat, totodată, limitări ale echipamentului OMAX, în special în ceea ce privește gestionarea abrazivului uzat și a volumelor mari de deșeu de tăiere. Studiul brevetului **RO135579A2**, care prezintă un sistem inovativ de evacuare continuă a abrazivului, a fundamentat necesitatea adaptării ulterioare a echipamentului, prin extinderea cuvei, implementarea unui sistem de golire continuă și dezvoltarea unor ghidaje de precizie pentru tăiere. Aceste constatări sunt direct corelate cu activitățile prevăzute în Faza 2 ale proiectului, orientate către retehnologizarea echipamentului. O schemă conceptuală a sistemului brevetat se regăsește în figura 4.

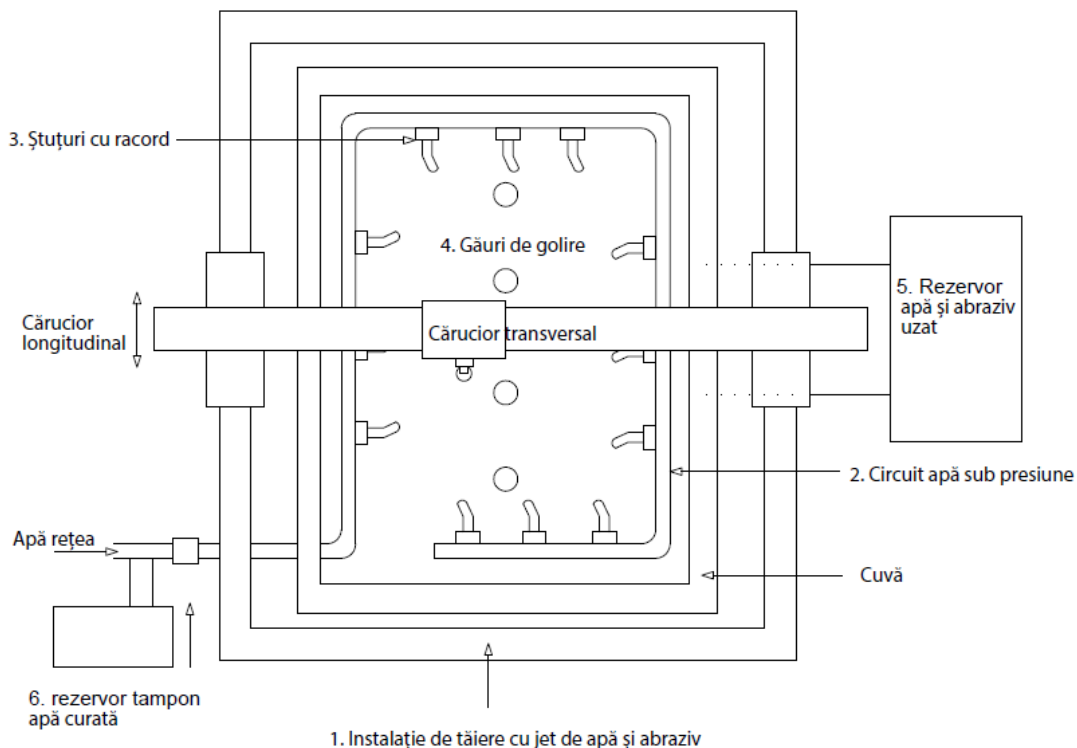


Fig. 4. Sistem de evacuare în timp real a materialului abraziv uzat

Pe baza materialelor și echipamentelor analizate, în cadrul aceleiași activități A3 a fost formulat **programul experimental preliminar al proiectului**, care servește drept ghid pentru fazele experimentale 4–7. Acest program definește modul de pregătire a substraturilor, strategiile de formulare a pulberilor, domeniile de variație a parametrilor laser, metodele de caracterizare microstructurală și funcțională și modul de organizare a fluxului experimental. Deși implementarea efectivă a programului este planificată în fazele ulterioare, Faza 1 a stabilit cadrul conceptual și tehnic necesar, oferind o structură coerentă pentru realizarea depunerilor dure și optimizarea parametrilor de proces.

Activitatea A4 a constat în **adaptarea inițială a echipamentului laser** pentru depunerile planificate, prin calibrarea parametrilor de bază, verificarea funcționalității și evaluarea compatibilității cu pulberile selectate. Această etapă pregătitoare a permis estimarea capacității echipamentului de a susține depuneri cu energie ridicată și materiale complexe, confirmând fezabilitatea tehnică pentru etapele viitoare.

Faza s-a încheiat cu elaborarea **raportului de cercetare și a raportului de activitate al fazei** (A7), documente obligatorii conform cerințelor proiectului, care sintetizează concluziile tehnico-științifice și trasează direcțiile pentru dezvoltările următoare.

Prin rezultatele obținute, Faza 1 asigură fundamentul științific și tehnic necesar pentru realizarea materialelor avansate în Faza 4, caracterizarea lor detaliată în Faza 5, optimizarea parametrilor de proces în Faza 6 și validarea tehnologiei în Faza 7. Această fază a demonstrat importanța integrării cunoașterii teoretice cu analiza infrastructurii tehnologice, contribuind decisiv la maturizarea conceptuală a proiectului și la pregătirea cadrului experimental pentru fazele următoare.

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 tintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Faza 1 a proiectului a fost realizată integral conform activităților prevăzute (A1–A7), obiectivul principal – acela de a fundamenta științific și tehnic direcțiile de cercetare pentru depunerile dure și extradure cu fascicul laser – fiind îndeplinit în totalitate. Studiile realizate în cadrul activităților A1 și A2 au condus la elaborarea unui material documentar complex, care sintetizează tehnologiile utilizate la nivel internațional în depuneri avansate, precum și analiza comparativă a materialelor dure și extradure compatibile cu procesarea laser. Aceste rezultate sunt în deplină concordanță cu indicatorul R1 (studiu tehnico-științific), prevăzut în propunerea de proiect. De asemenea, prin activitatea A2 au fost identificate și selectate materialele candidate cu potențial ridicat pentru experimentare în fazele ulterioare, stabilindu-se bazele conceptuale ale programului experimental.

Un rezultat esențial îl constituie analiza detaliată a infrastructurii existente în ISIM Timișoara, realizată în cadrul activității A3, care a permis evaluarea capacităților sistemului HWF 80 și a echipamentului de debitare OMAX MaxiEM 1530, în raport cu cerințele materialelor extradure selectate. Faza 1 a demonstrat că echipamentul OMAX necesită adaptări tehnice pentru eficientizarea fluxului experimental, în special prin implementarea unui sistem avansat de evacuare a abrazivului și proiectarea unor ghidaje de precizie – activități prevăzute în Faza 2. Totodată, analiza compatibilității echipamentului laser cu pulberile selectate, realizată în A4, indică faptul că sistemul HWF 80 poate susține depuneri de materiale complexe, cu condiția optimizării parametrilor de proces.

Aceste livrabile au fost realizate, demonstrând că partea de diseminare și documentare a avansat corespunzător. De asemenea, activitățile de raportare (A7) au fost îndeplinite, consolidând stadiul de implementare al proiectului și furnizând o evaluare critică a progresului.

În ansamblu, gradul de îndeplinire al obiectivului fazei este **100%**, toate activitățile fiind realizate la nivelul stabilit, iar rezultatele obținute sunt conforme cu indicatorii de monitorizare și evaluare aprobați. Faza 1 a asigurat fundamentul științific necesar fazelor experimentale ulterioare și a clarificat cadrul tehnic pentru realizarea materialelor avansate, pentru caracterizările microstructurale și pentru optimizările ulterioare. Nu au fost identificate întârzieri care să afecteze calendarul proiectului, iar rezultatele obținute confirmă fezabilitatea conceptelor tehnologice propuse.

Concluziile fazei reflectă maturizarea conceptuală a proiectului, prin:

- definirea materialelor țintă pentru depunerile dure/extradure;
- clarificarea condițiilor proceselor laser și a limitărilor tehnologice;
- identificarea nevoilor de adaptare a infrastructurii;
- structurarea fluxului experimental care va fi implementat în fazele 4–7;
- consolidarea bazei științifice prin rezultate publicabile și documente tehnice.

În ceea ce privește **propunerile pentru continuarea proiectului**, acestea vizează implementarea adaptărilor tehnice planificate în Faza 2, întrucât modernizarea echipamentului de debitare cu jet de apă și dezvoltarea accesoriilor (sistem de evacuare) sunt esențiale pentru pregătirea adecvată a probelor și pentru posibilitatea efectuării depunerilor de materiale extradure în condiții controlate. În fazele experimentale viitoare se recomandă extinderea analizei compozițiilor de pulberi, testarea depunerilor preliminare pe o gamă restrânsă de parametri și pregătirea metodologiilor de caracterizare avansată (SEM, EDS, profil de duritate, uzură Taber). Totodată, se propune consolidarea colaborărilor cu laboratoare specializate pentru caracterizări suplimentare, acolo unde este cazul, și continuarea diseminării rezultatelor pentru creșterea vizibilității proiectului.

Rezultatele obținute în Faza 1 confirmă că proiectul este implementat conform planificării, iar baza metodologică stabilită permite demararea adecvată a etapelor experimentale și tehnologice prevăzute în fazele 2–7.

Responsabil proiect
Ing. PERIANU Ion-Aurel

(Nume și prenume)
(Semnătura)