

## Raport activitate/Rezumat PN 23 37 01 04 - faza 2 (partea 2)

Faza 2 a proiectului este orientată către dezvoltarea și implementarea unor soluții tehnice inovative pentru optimizarea proceselor de debitare cu jet de apă abraziv (AWJ), cu accent pe creșterea performanței operaționale și a fiabilității infrastructurii experimentale. În cadrul acestei faze au fost abordate atât aspecte de proiectare și modelare a sistemelor auxiliare, cât și validarea funcțională a acestora în condiții apropiate de exploatarea reală.

Un obiectiv central al fazei îl constituie realizarea unui sistem integrat de agitare, recirculare și evacuare a abrazivului uzat, capabil să asigure funcționarea continuă a echipamentului și să reducă semnificativ timpii auxiliari. Activitățile desfășurate au inclus analize teoretice și experimentale, dezvoltarea modelelor CAD, dimensionarea componentelor hidraulice, precum și fundamentarea soluțiilor prin studii de specialitate. Rezultatele obținute contribuie la modernizarea infrastructurii existente și creează baza tehnică necesară pentru dezvoltările ulterioare, inclusiv integrarea în sisteme hibride de prelucrare.

**Capitolul 1** abordează în mod detaliat fundamentele teoretice ale procesului de debitare cu jet de apă abraziv (AWJ), cu accent pe comportarea amestecului apă-abraziv (în suspensie) în interiorul cuvei de lucru și pe implicațiile directe ale acestuia asupra funcționării sistemelor auxiliare. Analiza are ca scop definirea condițiilor necesare pentru menținerea unui regim stabil de lucru și pentru prevenirea acumulărilor de material solid care afectează performanța echipamentului.

În prima parte a capitolului sunt descrise proprietățile fizice ale componentelor implicate, respectiv apa ca mediu purtător și particulele de abraziv (granat almandinic), caracterizate prin densitate ridicată, dimensiuni granulometrice controlate și comportament inerțial pronunțat în curgere. Se evidențiază faptul că diferența semnificativă de densitate dintre apă și particulele abrazive conduce, în absența unui câmp de curgere adecvat, la separarea gravitațională a acestora și la depunerea progresivă pe fundul cuvei.

Este analizată în detaliu dinamica amestecului apă-abraziv (în suspensie), fiind evidențiate principalele fenomene care guvernează distribuția particulelor solide în volum: sedimentarea, antrenarea în curgere, recircularea și acumularea în zonele cu viteze reduse. Se discută influența directă a vitezei locale a fluidului asupra capacității de transport a particulelor, precum și rolul gradientelor de viteză în formarea zonelor de stagnare. În aceste regiuni, particulele nu mai sunt susținute de curgere și se depun, formând straturi compacte de material abraziv uzat.

Un aspect important tratat în capitol este reprezentat de corelația dintre regimul de curgere și stabilitatea suspensiei. Se evidențiază necesitatea realizării unui regim turbulent sau cvasi-turbulent în volumul cuvei, care să asigure dispersia uniformă a particulelor și să limiteze procesele de sedimentare. Sunt analizate efectele distribuției neuniforme a curgerii, generate de geometria cuvei, de poziționarea punctelor de injecție a fluidului și de prezența obstacolelor structurale, care pot conduce la apariția unor zone inactive din punct de vedere hidrodinamic.

Pentru ilustrarea acestor fenomene, Figura 1.1 prezintă schematic comportarea amestecului apă-abraziv (în suspensie) în cuvă, evidențiind circulațiile principale ale fluidului, zonele de recirculare și regiunile de acumulare a particulelor solide. Sunt puse în evidență atât zonele active, în care viteza fluidului este suficientă pentru antrenarea abrazivului, cât și zonele critice, în care apar depuneri semnificative datorită scăderii energiei cinetice a curgerii.

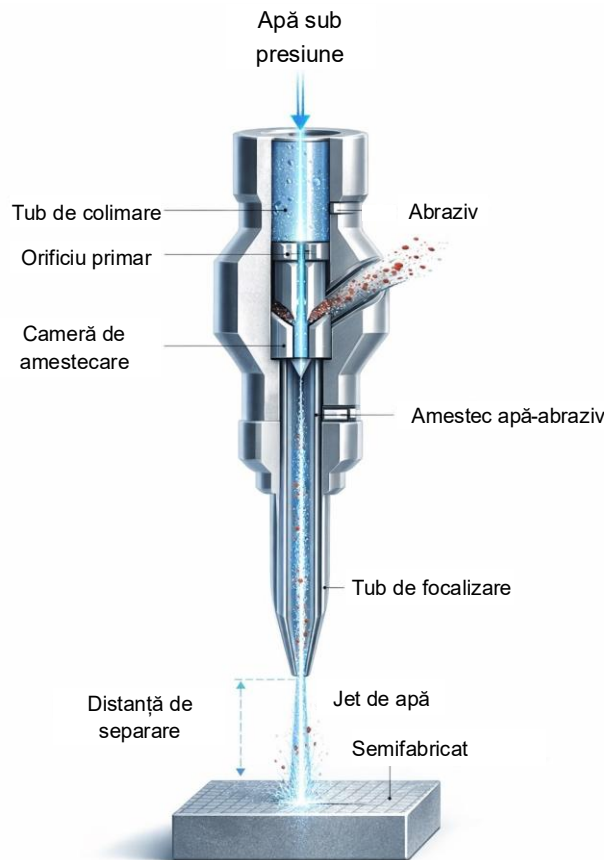


Figura 1.1 – Schema de principiu a procesului AWJ [1.9]

În completare, Tabelul 1.1 – Parametri caracteristici ai suspensiei apă–abraziv sintetizează principalele mărimi fizice și hidrodinamice relevante pentru analiza procesului. Acesta include valori specifice pentru densitatea particulelor abrazive, dimensiunea medie a granulelor, concentrația abrazivului în suspensie, precum și viteza de sedimentare caracteristică. Parametrii prezentați sunt esențiali pentru înțelegerea comportării sistemului și constituie baza pentru dimensionarea ulterioară a sistemelor de agitare și evacuare.

Tabel 1.1 Parametri caracteristici ai suspensiei apă–abraziv

Parametru	Unitate de măsură	Valoare / Interval	Sursă / Observații
Densitate abraziv (Garnet 80 Mesh)	kg/m <sup>3</sup>	3900 - 4100	Material de tip almandin
Dimensiune medie particule ( $d_p$ )	mm	0.18 - 0.25	Granulație standard pentru debitare
Viteza de sedimentare ( $v_s$ )	m/s	0.08 - 0.12	Calculată pentru particule sferice echivalente
Viteza minimă de transport (critică)	m/s	1.8 - 2.1	Limita inferioară pentru evitarea depunerilor
Viteza recomandată în conducte	m/s	2.2 - 2.5	Asigură regimul turbulent necesar antrenării
Densitatea amestecului (suspensiei)	kg/m <sup>3</sup>	1050 - 1180	Variabilă în funcție de debitul de dozare

În continuarea analizei, capitolul dezvoltă o evaluare comparativă a metodelor existente de evacuare a abrazivului, evidențiind limitările soluțiilor clasice, în special ale sistemelor mecanice bazate pe raclete, șnecuri sau transportoare. Se subliniază faptul că aceste soluții sunt supuse uzurii accelerate în prezența particulelor abrazive, prezintă fiabilitate redusă în condiții de funcționare continuă și implică costuri ridicate

de mentenanță. În plus, integrarea lor în cuvele echipamentelor AWJ este adesea dificilă, din cauza spațiului limitat și a interferențelor cu zona activă de lucru.

Un rol esențial în funcționarea corectă a sistemului este atribuit stratului de amortizare, format din acumularea controlată de material (apă și abraziv), care are funcția de a disipa energia jetului rezidual și de a proteja structura cuvei împotriva solicitărilor mecanice și a fenomenelor de eroziune. Capitolul evidențiază caracterul strategic al acestui strat, subliniind necesitatea menținerii lui într-un domeniu optim de grosime: insuficiența acestuia conduce la deteriorarea structurii, iar acumularea excesivă afectează funcționarea sistemului și capacitatea de procesare.

Sunt analizate, de asemenea, limitările legate de materialele prelucrate și de tipul abrazivului utilizat, evidențiindu-se faptul că proprietățile acestora influențează direct comportarea suspensiei, rata de sedimentare și gradul de uzură al componentelor. Materialele dure și extradure generează un consum crescut de abraziv și conduc la acumulări rapide în cuvă, impunând cerințe suplimentare asupra sistemului de evacuare.

Capitolul tratează critic și deficiențele sistemelor de curățare manuală și mecanizată, evidențiind faptul că metodele tradiționale implică oprirea echipamentului, intervenții laborioase și expunerea operatorilor la condiții de lucru dificile. Curățarea manuală este inefficientă și neuniformă, iar soluțiile mecanizate existente nu asigură o evacuare completă și continuă a materialului, conducând la acumulări reziduale.

În ceea ce privește integritatea echipamentului, sunt evidențiate riscurile structurale asociate funcționării fără un control adecvat al stratului de amortizare, inclusiv apariția fenomenelor de eroziune locală, vibrații și solicitări mecanice asupra pereților cuvei. În paralel, este analizată degradarea chimică a fluidului de lucru, determinată de acumularea de particule fine, contaminanți și produse de reacție, care afectează proprietățile fluidului și limitează procesarea materialelor dure sau sensibile.

Un subcapitol distinct este dedicat fenomenului de uzură erozivă, care afectează conductele de transport, pompele și componentele active ale sistemului. Se evidențiază mecanismele prin care particulele abrazive, transportate în suspensie, conduc la degradarea progresivă a suprafețelor, influențând durata de viață a echipamentului și necesarul de mentenanță.

De asemenea, sunt analizate efectele asupra mediului de lucru, incluzând poluarea fonică generată de proces și emisia de aerosoli și particule fine, rezultate din interacțiunea jetului cu materialul prelucrat. Aceste aspecte subliniază necesitatea unor soluții integrate care să contribuie nu doar la eficiența procesului, ci și la îmbunătățirea condițiilor de lucru.

În subcapitolul 1.3 – Obiectivele dezvoltării sistemului de evacuare a abrazivului, sunt definite direcțiile principale de dezvoltare tehnologică, pornind de la limitările identificate. Se pune accent pe:

- creșterea eficienței transportului abrazivului și protecția componentelor prin menținerea unui strat de amortizare controlat;
- automatizarea și sincronizarea fluxurilor de lucru, astfel încât evacuarea să fie integrată în procesul de debitare;
- implementarea conceptului de „Zero Downtime”, prin eliminarea opririlor necesare curățării cuvei;
- optimizarea hidrodinamică a agitării și transportului suspensiei, pentru asigurarea unei distribuții uniforme și a unui transport eficient al particulelor;
- protecția infrastructurii și gestionarea corectă a stratului de amortizare, în vederea reducerii uzurii și a solicitărilor mecanice;
- dezvoltarea unor soluții orientate spre sustenabilitate, inclusiv separarea eficientă a fazei solide și reutilizarea resurselor.

Sunt abordate și concepte avansate precum filtrarea ciclonică, ca metodă de separare a particulelor solide, și sunt analizate soluțiile de pompare pentru medii abrazive, evidențiindu-se avantajele pompelor centrifugale cu pasaje largi în raport cu alte variante constructive.

Capitolul include, de asemenea, considerații privind controlul parametrilor de agitare și dinamica procesului de fluidizare a patului de sedimente, subliniind importanța ajustării condițiilor de curgere pentru prevenirea depunerilor și pentru facilitarea transportului particulelor.

Capitolul tratează, de asemenea, implicațiile practice ale fenomenelor analizate asupra exploatării echipamentului AWJ. Se evidențiază faptul că acumularea necontrolată a abrazivului uzat conduce la reducerea volumului util al cuvei, la perturbarea curgerii fluidului și la apariția unor condiții de funcționare instabile. În timp, aceste efecte determină creșterea frecvenței operațiilor de mentenanță, reducerea productivității și creșterea costurilor de operare.

În acest context, este justificată necesitatea implementării unor soluții tehnice dedicate pentru menținerea amestecului apă-abraziv (în suspensie) într-un regim controlat, prin generarea unui câmp de curgere adecvat și prin evacuarea continuă a materialului sedimentat. Capitolul stabilește astfel cerințele funcționale pentru sistemele auxiliare dezvoltate în cadrul fazei, definind condițiile de bază pentru proiectarea sistemului de agitare și a celui de evacuare a abrazivului.

Prin aceste analize, Capitolul 1 nu doar că fundamentează teoretic necesitatea dezvoltării sistemului de evacuare a abrazivului, ci și definește direcțiile concrete de proiectare și optimizare, care sunt dezvoltate în capitolele următoare.

**Capitolul 2** este dedicat dezvoltării și implementării soluției tehnice pentru evacuarea abrazivului, pornind de la analiza infrastructurii existente și de la limitările identificate în exploatarea echipamentului AWJ. În acest capitol sunt prezentate etapele de reconfigurare a instalației, fundamentarea soluțiilor constructive și integrarea subsistemelor necesare realizării unui sistem funcțional de agitare și evacuare.

Abordarea este una integrată, în care sunt corelate aspectele structurale, hidrodinamice și funcționale, urmărindu-se atât optimizarea condițiilor de lucru în cuvă, cât și valorificarea infrastructurii existente. Capitolul evidențiază modul în care soluțiile propuse răspund cerințelor definite în Capitolul 1 și constituie baza implementării sistemului experimental.

Subcapitolul 2.1 prezintă configurația instalației existente în laborator, evidențiind principalele componente ale echipamentului de debitare cu jet de apă abraziv și modul în care acestea influențează integrarea sistemului de evacuare.

Sunt analizate elementele structurale ale cuvei, geometria acesteia, zonele funcționale și modul de amplasare a subsistemelor auxiliare. Se evidențiază limitările dimensionale inițiale, generate de volumul redus al cuvei, de accesul limitat pentru integrarea unor echipamente suplimentare și de distribuția neuniformă a fluxurilor de fluid.

Analiza structurală scoate în evidență existența unor zone critice din punct de vedere hidrodinamic, în care acumularea de abraziv este favorizată de lipsa circulației eficiente. În acest context, este justificată necesitatea unei intervenții asupra configurației geometrice și funcționale a instalației, în vederea eliminării acestor limitări.

Un rezultat important al acestui subcapitol îl constituie identificarea direcțiilor de modificare a infrastructurii existente, care permit „deblocarea” limitărilor dimensionale și crearea condițiilor necesare pentru integrarea unui sistem eficient de agitare și evacuare.

Reconfigurarea cuvei de debitare și fizica atenuării energiei reziduale a jetului tratează reconfigurarea cuvei de debitare din perspectiva comportării jetului rezidual și a interacțiunii acestuia cu mediul din interiorul cuvei. Se analizează modul în care energia jetului, după procesul de tăiere, este disipată în volumul de apă și în stratul de amortizare.

Sunt prezentate principiile fizice care guvernează atenuarea energiei jetului, evidențiindu-se rolul stratului de apă și al materialului acumulat în reducerea vitezei și a energiei cinetice. Reconfigurarea cuvei are ca obiectiv atât protejarea structurii, cât și optimizarea condițiilor de curgere pentru transportul abrazivului.

În acest context, sunt introduse modelele empirice de atenuare a jetului și relațiile privind forța de rezistență la înaintare, care descriu interacțiunea dintre jet și mediul înconjurător. Figura 2.1 ilustrează aceste

mecanisme, evidențiind variația vitezei jetului și disiparea energiei în funcție de distanță și de caracteristicile mediului.

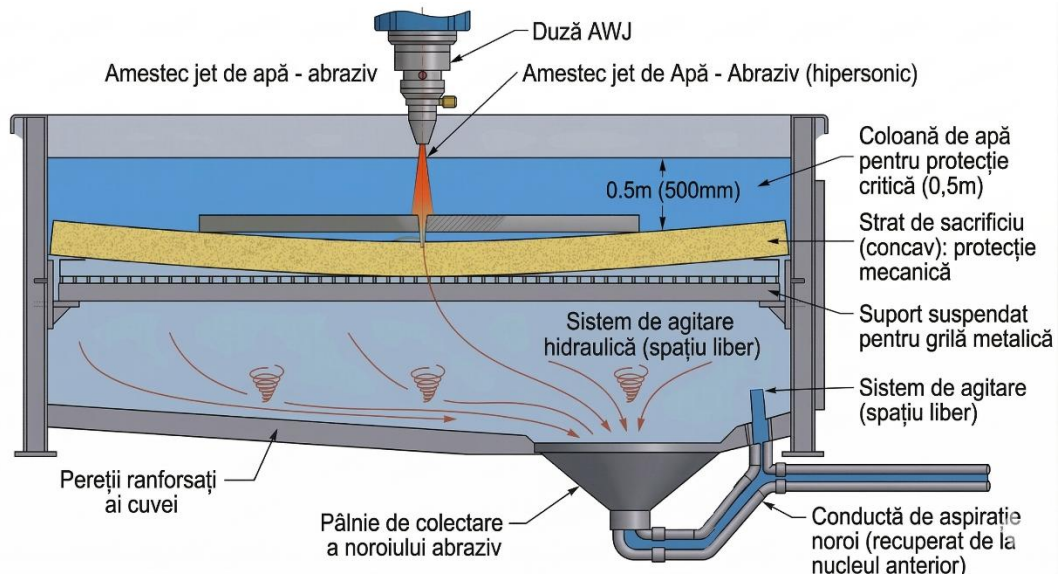


Fig 2.1: Secțiune transversală a sistemului de amortizare hibridă

Analiza arată că gestionarea corectă a energiei reziduale este esențială nu doar pentru protecția echipamentului, ci și pentru controlul comportării amestecului apă-abraziv (în suspensie), influențând direct distribuția particulelor și eficiența procesului de evacuare.

Valorificarea infrastructurii din proiectul NUCLEU anterior: Materiale și Sisteme de Pompare - subcapitolul 2.3 evidențiază modul în care infrastructura dezvoltată în cadrul proiectului NUCLEU anterior a fost valorificată și integrată în soluția actuală, contribuind la reducerea costurilor și la accelerarea implementării. Se analizează materialele utilizate pentru realizarea componentelor sistemului, cu accent pe rezistența acestora la uzură abrazivă și la solicitări hidraulice. Sunt justificate alegerile constructive din perspectiva durabilității și compatibilității cu mediul de lucru.

Un element central al acestui subcapitol îl constituie sistemul de pompare utilizat pentru evacuarea abrazivului, adaptat pentru funcționarea în regim de pompaj greu (heavy-duty), specific mediilor încărcate cu particule solide. Sunt prezentate caracteristicile funcționale ale pompei, modul de integrare în circuit și rolul acesteia în asigurarea transportului continuu al suspensiei.

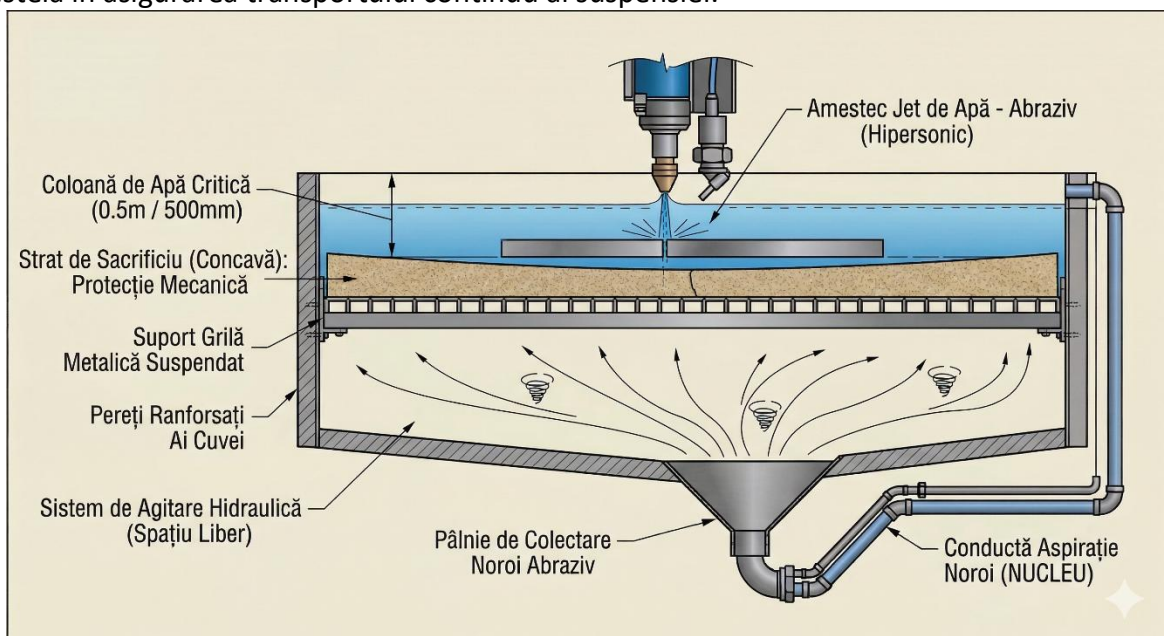


Fig. 2.2: Integritatea structurală a infrastructurii NUCLEU pe fundul cuvei extinse

Figura 2.2 ilustrează configurația sistemului de pompare, evidențiind traseul fluidului, punctele de aspirație și evacuare, precum și integrarea în ansamblul instalației.

Subcapitolul subliniază sinergia dintre programele de cercetare și continuitatea tehnologică, demonstrând modul în care rezultatele anterioare au fost adaptate și dezvoltate pentru a răspunde noilor cerințe.

Fundamentarea și asamblarea sistemului avansat de evacuare: Validările Fazei 1 („Conceptul ales”)

Subcapitolul 2.4 prezintă procesul de fundamentare și implementare a sistemului avansat de evacuare a abrazivului, bazat pe rezultatele obținute în faza anterioară a proiectului.

Sunt descrise principiile care au stat la baza selecției soluției tehnice („conceptul ales”), incluzând criterii precum eficiența transportului, fiabilitatea, compatibilitatea cu infrastructura existentă și capacitatea de funcționare continuă.

Se detaliază etapele de asamblare a sistemului, integrarea subsistemelor (agitare, aspirație, transport și filtrare) și modul în care acestea funcționează ca un ansamblu unitar. Sunt evidențiate aspectele legate de poziționarea componentelor, configurarea circuitelor și adaptarea acestora la condițiile reale de lucru.

De asemenea, sunt prezentate rezultatele validărilor realizate în faza 1, care au confirmat viabilitatea soluției și au stat la baza dezvoltării ulterioare. Aceste validări au permis optimizarea configurației finale și reducerea riscurilor asociate implementării.

Subcapitolul concluzionează că sistemul propus reprezintă o soluție robustă și scalabilă, capabilă să răspundă cerințelor identificate și să asigure funcționarea eficientă a instalației în regim continuu.

**Capitolul 3** este dedicat validării experimentale a sistemului de evacuare a abrazivului și analizei performanțelor acestuia în condiții reale de funcționare. În această etapă, soluțiile tehnice dezvoltate și fundamentate în capitolele anterioare sunt testate și evaluate din punct de vedere funcțional, hidrodinamic și operațional.

Scopul principal al capitolului este de a demonstra eficiența sistemului integrat de agitare și evacuare, precum și capacitatea acestuia de a menține amestecul apă-abraziv (în suspensie) într-un regim stabil, asigurând în același timp evacuarea continuă a materialului uzat. Sunt analizate atât comportarea sistemului în regim staționar, cât și răspunsul acestuia la variații ale condițiilor de lucru.

Rezultatele prezentate constituie baza pentru validarea conceptului propus și pentru justificarea implementării acestuia în aplicații extinse.

Configurația experimentală și metodologia de testare - subcapitolul 3.1 descrie configurația experimentală utilizată pentru testarea sistemului, incluzând modul de integrare a subsistemelor (agitare, pompaj, transport și filtrare) și parametrii de funcționare adoptați.

Sunt prezentate condițiile de lucru, tipul abrazivului utilizat, caracteristicile fluxului și modul de monitorizare a procesului. De asemenea, este descrisă metodologia de testare, incluzând procedurile de pornire, operare și evaluare a performanțelor sistemului.

Se pune accent pe reproducibilitatea experimentelor și pe definirea unor indicatori relevanți pentru evaluarea eficienței evacuării și stabilității suspensiei.

Analiza comportării hidrodinamice a sistemului - subcapitolul 3.2 analizează comportarea hidrodinamică a amestecului apă-abraziv (în suspensie) în condițiile funcționării sistemului de agitare și evacuare.

Sunt evidențiate efectele generate de duzele eductor asupra câmpului de curgere, modul în care acestea contribuie la fluidizarea stratului de sedimente și la antrenarea particulelor către zonele de aspirație. Se analizează distribuția vitezelor și eficiența recirculării, precum și eliminarea zonelor de stagnare identificate anterior.

Rezultatele arată o îmbunătățire semnificativă a uniformității suspensiei și o reducere a depunerilor locale.

Evaluarea performanțelor sistemului de evacuare - subcapitolul 3.3 prezintă evaluarea performanțelor sistemului din punct de vedere operațional, incluzând capacitatea de transport a abrazivului, stabilitatea funcționării și impactul asupra procesului de debitare.

Sunt analizați indicatori precum debitul de evacuare, continuitatea procesului, reducerea timpilor de oprire și comportarea sistemului în condiții variabile de încărcare. Se evidențiază faptul că sistemul permite funcționarea în regim continuu, fără acumulări semnificative de material în cuvă.

#### **Activități de implementare a soluțiilor tehnice**

Subcapitolul 3.4 prezintă în detaliu etapele de implementare a soluțiilor tehnice dezvoltate în cadrul fazei, evidențiind intervențiile realizate asupra infrastructurii existente pentru integrarea sistemului de evacuare a abrazivului. Activitățile au vizat atât modificări structurale ale echipamentului de debitare, cât și adaptări funcționale necesare asigurării compatibilității între subsisteme.

Procesul de implementare a fost realizat etapizat, urmărind asigurarea preciziei geometrice, a stabilității structurale și a funcționării corecte a sistemului hidraulic în condiții de exploatare reală.

Prima etapă a constat în pregătirea portalului de tăiere, prin verificarea și adaptarea structurii existente pentru integrarea noilor componente și pentru asigurarea unei funcționări stabile în condițiile modificărilor aduse sistemului.

Au fost realizate operații de:

- aliniere și calibrare a structurii portalului;
- verificare a rigidității ansamblului și a punctelor de fixare;
- pregătire a zonelor de montaj pentru componentele suplimentare.

Figura 3.1 și Figura 3.2 ilustrează etapele de pregătire ale portalului, evidențiind starea inițială a acestuia și intervențiile realizate pentru adaptarea la noua configurație. Se observă modul în care structura a fost pregătită pentru a susține sarcini suplimentare și pentru a permite integrarea sistemelor auxiliare.



Fig. 3.1 Dezasamblare portal de tăiere CNC



Fig. 3.2 Dezasamblare portal de tăiere CNC

Această etapă a fost esențială pentru asigurarea unei baze stabile asupra căreia au fost realizate ulterior toate celelalte adaptări.

În etapa următoare s-a realizat adaptarea ghidajelor liniare de precizie, având ca obiectiv menținerea exactității mișcărilor portalului în condițiile modificării configurației structurale.

Intervențiile au inclus:

- re poziționarea și recalibrarea ghidajelor existente;
- verificarea paralelismului și a rectilinității acestora;
- ajustarea sistemelor de prindere pentru compensarea noilor solicitări mecanice.

Figura 3.3 prezintă configurația ghidajelor liniare după adaptare, evidențiind modul în care acestea au fost integrate în ansamblu și aliniate pentru a asigura precizia necesară procesului de debitare.



Fig. 3.3 Montare ghidaje de precizie

Această etapă a avut un rol critic în menținerea performanțelor echipamentului, prevenind apariția erorilor de poziționare și a uzurii neuniforme.

Adaptare cuvă mărită de tăiere

Un element central al implementării îl constituie adaptarea cuvei de tăiere, care a fost modificată pentru a permite integrarea sistemului de evacuare și pentru a asigura un volum suficient pentru gestionarea amestecului apă-abraziv (în suspensie).

Modificările realizate au inclus:

- extinderea volumului util al cuvei;
- reconfigurarea zonelor de colectare a abrazivului;
- integrarea punctelor de aspirație și a elementelor de evacuare;
- adaptarea structurii pentru menținerea stratului de amortizare.

Figura 3.4 evidențiază configurația cuvei mărite, precum și modul în care aceasta a fost adaptată pentru a facilita circulația fluidului și transportul particulelor solide.



Fig. 3.4 Adaptare cuvă mărită din inox

Această etapă a permis eliminarea limitărilor dimensionale identificate anterior și a creat condițiile necesare pentru funcționarea eficientă a sistemului de evacuare.

În continuare, a fost realizată montarea portalului transversal superior, componentă esențială pentru asigurarea rigidității structurale și a stabilității sistemului în timpul funcționării.

Operațiile efectuate au inclus:

- poziționarea și fixarea portalului transversal;
- verificarea alinierii cu structura existentă;
- integrarea acestuia în ansamblul cinematic al echipamentului.

Figura 3.5 prezintă portalul transversal montat, evidențiind modul în care acesta contribuie la rigidizarea ansamblului și la stabilizarea mișcărilor în timpul procesului de tăiere.



Fig. 3.5 Montare portal transversal superior

Această intervenție a avut un impact direct asupra preciziei și fiabilității sistemului, în special în condiții de funcționare continuă.

Adaptare pompe pentru extracția suspensiei apă-abraziv

Ultima etapă a implementării a vizat adaptarea sistemului de pompare pentru extracția amestecului apă-abraziv (în suspensie), componentă critică pentru funcționarea sistemului de evacuare.

Au fost realizate următoarele activități:

- integrarea pompei în circuitul hidraulic;
- configurarea traseelor de aspirație și refulare;
- adaptarea componentelor pentru funcționarea în mediu abraziv;
- verificarea etanșeității și a parametrilor de funcționare.

Figura 3.6 ilustrează configurația sistemului de pompare, evidențiind modul de conectare la cuvă și traseul fluidului încărcat cu particule solide.



Fig. 3.6 Activități de amplasare a pompelor alese

Analiza funcționării a demonstrat capacitatea sistemului de a transporta eficient suspensia, fără blocaje și fără degradări semnificative ale componentelor, confirmând adecvarea soluției adoptate pentru regimuri de lucru solicitante.

Per ansamblu, subcapitolul 3.4 evidențiază faptul că implementarea soluției tehnice a fost realizată coerent și etapizat, fiecare intervenție contribuind la integrarea unui sistem funcțional capabil să asigure evacuarea continuă a abrazivului și funcționarea stabilă a echipamentului.

**Capitolul 4** sintetizează rezultatele obținute în cadrul fazei 2, evidențiind gradul de realizare a obiectivelor propuse și impactul implementării sistemului de evacuare a abrazivului asupra performanțelor echipamentului de debitare cu jet de apă abraziv (AWJ). Analiza are rolul de a integra concluziile experimentale și tehnice într-un cadru coerent, orientat spre validarea soluției dezvoltate și fundamentarea etapelor ulterioare ale proiectului.

#### *Analiza integrată a rezultatelor*

În cadrul acestui capitol sunt corelate rezultatele obținute în urma proiectării, implementării și testării sistemului, evidențiindu-se modul în care soluțiile tehnice adoptate au răspuns cerințelor definite în fazele anterioare.

Se confirmă faptul că integrarea sistemului de agitare și evacuare conduce la:

- menținerea amestecului apă–abraziv (în suspensie) într-un regim stabil;
- eliminarea acumulărilor semnificative de material în cuvă;
- îmbunătățirea condițiilor hidrodinamice din zona de lucru;
- creșterea continuității procesului de debitare.

Rezultatele experimentale demonstrează eficiența sistemului în transportul particulelor abrazive și în prevenirea formării depozitelor sedimentare, validând astfel conceptul propus.

#### *Impactul asupra performanțelor echipamentului*

- Implementarea soluției tehnice are un impact direct asupra modului de exploatare a echipamentului AWJ, conducând la:
- reducerea timpilor de oprire pentru curățare;
- diminuarea intervențiilor manuale;
- creșterea fiabilității și stabilității procesului;
- optimizarea consumului de resurse și a costurilor operaționale.

Se evidențiază faptul că sistemul permite apropierea de un regim de funcționare continuu, în concordanță cu obiectivul de tip „Zero Downtime”, prin integrarea procesului de evacuare în fluxul normal de operare.

#### *Limitări și aspecte de optimizat*

Capitolul abordează și limitările identificate în urma testelor, incluzând:

- necesitatea optimizării fine a parametrilor hidraulici în funcție de regimul de lucru;
- influența variabilă a tipului de abraziv și a materialelor prelucrate asupra performanței sistemului;
- uzura în timp a componentelor expuse mediului abraziv.

Aceste aspecte sunt considerate direcții de dezvoltare ulterioară și nu afectează validitatea soluției implementate, ci indică potențialul de optimizare și rafinare.

Capitolul 4 concluzionează că obiectivul fazei a fost atins, prin proiectarea, implementarea și validarea unui sistem funcțional de evacuare a abrazivului, integrat în infrastructura existentă a echipamentului AWJ.

Soluția propusă se dovedește a fi:

- robustă din punct de vedere constructiv;
- eficientă din punct de vedere funcțional;
- adaptabilă pentru dezvoltări ulterioare.

Rezultatele obținute confirmă relevanța abordării adoptate și contribuția acesteia la modernizarea infrastructurii experimentale.

#### *Perspective și direcții pentru faza 3*

Pe baza rezultatelor obținute, sunt conturate direcțiile de dezvoltare pentru etapa următoare a proiectului, incluzând:

- integrarea sistemului de evacuare în configurații hibride de prelucrare (AWJ–plasmă);

- optimizarea controlului procesului și automatizarea avansată;
- extinderea capacităților experimentale pentru prelucrarea materialelor dure și extradure;
- dezvoltarea unor modele experimentale și tehnologice pentru operare multi-proces.

Astfel, Capitolul 4 face legătura între rezultatele fazei 2 și obiectivele fazei 3, asigurând continuitatea dezvoltării și valorificarea rezultatelor obținute.

**Capitolul 5** extinde direcțiile de cercetare dezvoltate în cadrul fazei 2, orientând analiza către posibilitatea realizării unui echipament multifuncțional de prelucrare, capabil să integreze tehnologii complementare de debitare. Pornind de la rezultatele obținute în optimizarea procesului AWJ și modernizarea infrastructurii existente, capitolul explorează oportunitatea combinării debitării cu jet de apă abraziv și a debitării cu plasmă într-un sistem unitar.

Abordarea are în vedere creșterea flexibilității tehnologice, adaptarea procesului la cerințe variate de prelucrare și optimizarea performanțelor globale ale echipamentului, atât din punct de vedere tehnic, cât și economic.

*Necesitatea dezvoltării unui echipament multifuncțional*

Subcapitolul 5.1 fundamentează necesitatea dezvoltării unui echipament multifuncțional, pornind de la cerințele tot mai diverse ale proceselor de prelucrare a materialelor dure și extradure.

Se evidențiază faptul că diferitele tehnologii de debitare prezintă avantaje și limitări specifice, ceea ce impune utilizarea lor complementară. Astfel, sunt analizate cerințele diferite privind calitatea suprafeței și precizia geometrică, subliniindu-se că:

- debitarea cu jet de apă abraziv oferă o calitate superioară a suprafeței și elimină zona afectată termic;
- debitarea cu plasmă asigură viteze ridicate de prelucrare, însă poate introduce deformări termice și abateri dimensionale.

În acest context, este justificată necesitatea unui sistem capabil să selecteze tehnologia optimă în funcție de aplicație, material și cerințele de calitate.

Un alt argument important îl constituie necesitatea reducerii costurilor de operare, prin utilizarea eficientă a resurselor și alegerea procesului optim din punct de vedere economic. Se evidențiază faptul că debitarea cu plasmă implică costuri mai reduse pentru anumite aplicații, în timp ce AWJ devine preferabil în cazul materialelor sensibile la temperatură sau atunci când se impune o calitate ridicată.

De asemenea, este analizată optimizarea timpilor de debitare, prin compararea directă a celor două tehnologii. În acest sens, Tabelul 5.1 – Valori comparative debitare plasmă–jet de apă sintetizează diferențele privind viteza de tăiere, eficiența procesului și domeniul de aplicabilitate, evidențiind avantajele relative ale fiecărei tehnologii.

Tabelul 5.1 Valori comparative debitare plasmă–jet de apă

Grosime Material	Viteză Jet Apă (mm/min)	Viteză Plasmă (mm/min)	Timp tăiere 1m (Apă)	Timp tăiere 1m (Plasmă)
5 mm	320 mm/min	3500 mm/min	187 sec	17 sec
10 mm	160 mm/min	2200 mm/min	375 sec	27 sec
15 mm	90 mm/min	1500 mm/min	666 sec	40 sec
20 mm	55 mm/min	900 mm/min	1090 sec	66 sec

Subcapitolul concluzionează că dezvoltarea unui echipament multifuncțional reprezintă o direcție strategică, capabilă să răspundă cerințelor industriale actuale și să valorifice complementaritatea proceselor de debitare.

*Posibilitatea integrării unui sistem de debitare cu plasmă*

Subcapitolul 5.2 analizează posibilitatea integrării unui sistem de debitare cu plasmă în infrastructura existentă, dezvoltată inițial pentru procesul AWJ.

Sunt prezentate principalele caracteristici și parametri ai procesului de debitare cu plasmă, incluzând curentul electric, tensiunea arcului, debitul gazului plasmagen și viteza de tăiere. Acești parametri sunt corelați cu performanțele procesului și cu tipul materialelor prelucrate.

Un aspect important tratat în acest subcapitol îl reprezintă dinamica debitării cu plasmă sub apă, fiind evidențiate avantajele acestei abordări:

- reducerea zgomotului și a emisiilor de particule;
- limitarea efectelor termice asupra materialului;
- stabilizarea arcului electric în anumite condiții de lucru.

Se realizează o corelare directă între debitarea cu plasmă sub apă și procesul AWJ, subliniindu-se faptul că infrastructura existentă a echipamentului AWJ (cuva, sistemul hidraulic, structura CNC) poate fi valorificată pentru integrarea procesului de plasmă, cu adaptări minime.

În acest context, sunt analizate:

- compatibilitatea structurală a echipamentului cu noile solicitări termice și electrice;
- interacțiunea dintre procesul de plasmă și mediul lichid;
- necesitatea implementării unor sisteme de protecție și control suplimentare.

De asemenea, este evidențiată interacțiunea cu structura CNC existentă, demonstrându-se că sistemul de comandă și poziționare poate fi utilizat pentru ambele procese, facilitând integrarea într-o platformă unitară. Subcapitolul concluzionează că integrarea debitării cu plasmă în cadrul infrastructurii existente este fezabilă din punct de vedere tehnic și oferă oportunități semnificative pentru dezvoltarea unui sistem hibrid, capabil să combine avantajele ambelor tehnologii.

Capitolul 6 – Perspective de dezvoltare și continuarea proiectului în Faza 3 - se prezintă direcțiile de dezvoltare ulterioară ale proiectului, valorificând rezultatele obținute în faza 2 și conturând cadrul tehnic pentru implementarea unui echipament experimental avansat în faza 3. Accentul este pus pe extinderea funcționalităților infrastructurii existente și pe integrarea tehnologiilor complementare într-un sistem mixt de debitare.

Sunt evidențiate conceptele de integrare tehnologică, eficientizare a proceselor și creștere a flexibilității echipamentelor, în vederea realizării unui sistem capabil să răspundă cerințelor complexe ale prelucrării materialelor dure și extradure.



**Fig. 6.1 Debitare cu jet de apă și abraziv**



**Fig. 6.2 debitare cu plasmă**

Figurile 6.1 și 6.2 evidențiază conceptele de integrare a celor două tehnologii și modul în care acestea pot fi configurate într-un sistem unitar.

*Necesitatea dezvoltării unui echipament mixt de debitare*

Subcapitolul 6.1 fundamentează necesitatea dezvoltării unui echipament mixt de debitare, capabil să integreze procesele AWJ și plasmă într-o platformă comună.

Se evidențiază faptul că cerințele actuale de prelucrare impun:

- adaptabilitate la materiale cu proprietăți variate;
- posibilitatea alegerii procesului optim în funcție de grosime, precizie și calitate;
- reducerea timpilor de proces și a operațiilor intermediare.

Analiza arată că utilizarea separată a celor două tehnologii conduce la pierderi de eficiență, generate de re poziționări, manipulări suplimentare și utilizarea unor echipamente distincte. În acest context, dezvoltarea unui sistem mixt permite:

- realizarea operațiilor succesive fără schimbarea echipamentului;
- creșterea preciziei prin utilizarea aceluiași sistem de referință;
- optimizarea fluxului tehnologic.

*Evaluarea și selectarea soluției optime pentru echipamentul experimental*

Subcapitolul 6.2 prezintă analiza comparativă a variantelor constructive posibile pentru realizarea echipamentului mixt, precum și criteriile utilizate pentru selecția soluției optime.

Sunt evaluate mai multe configurații, luând în considerare:

- compatibilitatea structurală cu infrastructura existentă;
- complexitatea implementării;
- costurile de dezvoltare;
- performanțele tehnologice anticipate;
- flexibilitatea în exploatare.

Se analizează diferite variante de poziționare a capetelor de lucru (AWJ și plasmă), soluții de integrare a sistemelor auxiliare și moduri de operare (secvențial sau alternativ).

Figura 6.3 prezintă configurația selectată pentru echipamentul experimental, evidențiind arhitectura generală, poziționarea subsistemelor și modul de integrare în structura CNC existentă.

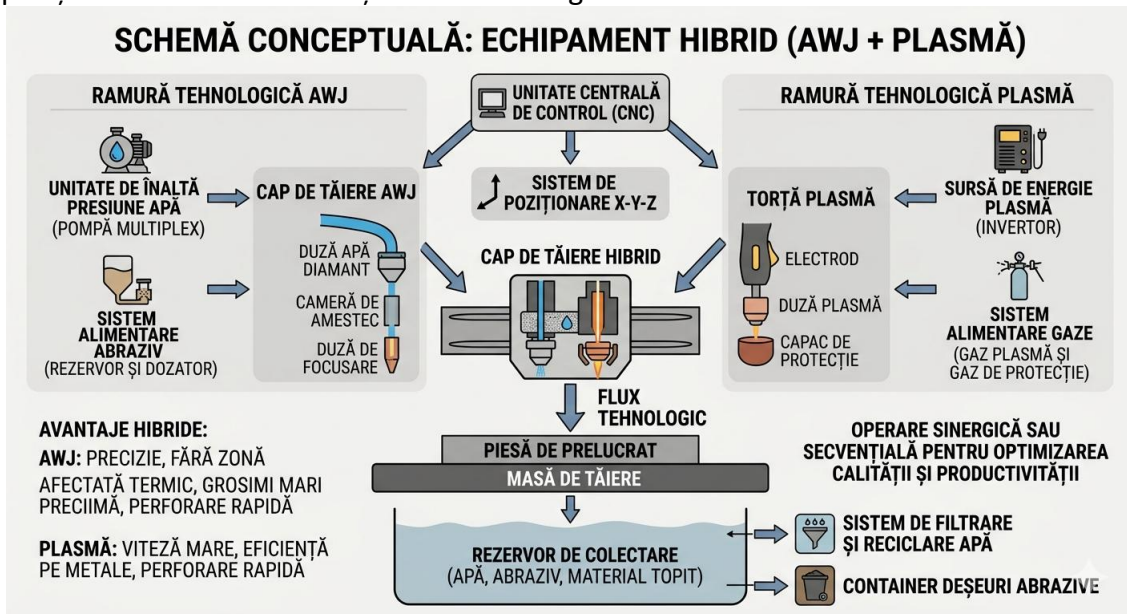


Fig. 6.3 schema conceptuală a unui echipament hibrid (AWJ + plasmă) cu flux tehnologic

În urma evaluării, este selectată o soluție care oferă un compromis optim între performanță, cost și complexitate, asigurând în același timp posibilitatea dezvoltării ulterioare.

*Costurile de dezvoltare și exploatare*

Subcapitolul 6.3 analizează aspectele economice asociate dezvoltării și exploatării echipamentului mixt, evidențiind impactul acestora asupra fezabilității soluției propuse.

Sunt evaluate:

- costurile de investiție pentru dezvoltarea și implementarea sistemului;
- costurile de operare pentru fiecare tehnologie;
- economiile potențiale generate prin integrarea proceselor;
- reducerea costurilor indirecte (timp, manoperă, mentenanță).

Figura 6.4 ilustrează comparativ costurile asociate diferitelor scenarii de utilizare, evidențiind avantajele soluției integrate față de utilizarea separată a tehnologiilor.

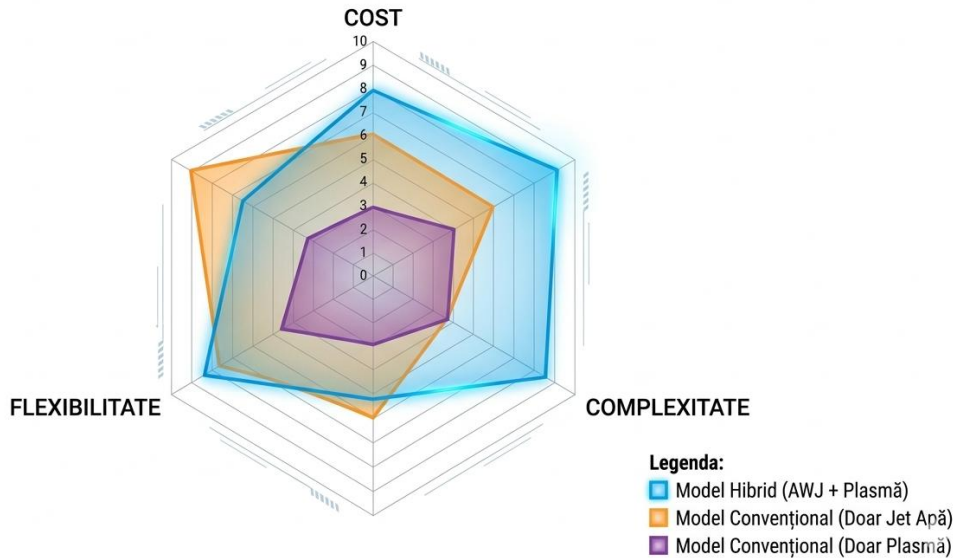


Fig. 6.4 Model de diagramă radar de evaluare comparativă a soluțiilor de debitare  
 Analiza arată că, deși investiția inițială poate fi mai ridicată, sistemul mixt conduce la:

- creșterea productivității;
- reducerea timpilor de proces;
- optimizarea consumurilor;
- amortizarea investiției pe termen mediu și lung.

Capitolul 6 stabilește cadrul strategic pentru continuarea proiectului în faza 3, demonstrând fezabilitatea tehnică și economică a dezvoltării unui echipament mixt de debitare. Direcțiile propuse valorifică rezultatele obținute în faza 2 și creează premisele pentru realizarea unui sistem experimental avansat, capabil să integreze tehnologii complementare într-o platformă unitară.

**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 tinte stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).**

În cadrul fazei 2 a fost realizat obiectivul propus, constând în proiectarea, implementarea și validarea unui sistem integrat de agitare și evacuare a abrazivului din cuva echipamentului de debitare cu jet de apă abraziv. Activitățile desfășurate au acoperit etapele de analiză, proiectare, integrare structurală și validare experimentală, conducând la modernizarea infrastructurii existente și la creșterea performanțelor operaționale.

Rezultatele obținute demonstrează:

- implementarea funcțională a sistemului de evacuare;
- menținerea amestecului apă–abraziv (în suspensie) într-un regim stabil;
- evacuarea continuă a materialului uzat;
- reducerea intervențiilor manuale și a timpilor de oprire;
- îmbunătățirea fiabilității și eficienței procesului de debitare.

Gradul de îndeplinire a obiectivului fazei este complet, fiind atinse țintele stabilite și indicatorii asociați privind re tehnologizarea echipamentului și validarea soluțiilor tehnice.

În cadrul fazei 2-2 a fost elaborată o lucrare științifică intitulată „Comparative Analysis of Abrasive Water Jet and Plasma Cutting Technologies and Perspectives on Hybrid Systems Integration”, prezentată în cadrul

conferinței BID-ISIM 2026. Lucrarea analizează comparativ procesele AWJ și plasmă din punct de vedere tehnologic și economic, evidențiind complementaritatea acestora și fundamentând conceptul de sistem hibrid. De asemenea, în baza rezultatelor obținute în cadrul fazei, este în curs de elaborare o a doua publicație științifică, ceea ce conduce la realizarea a două contribuții științifice în cadrul indicatorului R10 (una finalizată și una în lucru).

Rezultatele obținute în faza 2 sunt corelate cu cele propuse în cadrul proiectului, după cum urmează:

R1 – Studiu tehnico-științific în domeniul tehnologiilor de depunere cu fascicul laser – realizat în cadrul fazei 2-1;

R2 – Documentație tehnică de realizare a soluțiilor de re tehnologizare a echipamentului AWJ – realizată în faza 2-1;

R3 – Echipament de debitare cu jet de apă și abraziv re tehnologizat, prin implementarea sistemului de evacuare și optimizarea infrastructurii;

R9 – Website proiect, prin diseminarea rezultatelor fazei și publicarea informațiilor relevante;

R10 – Publicații științifice: o lucrare publicată (BID-ISIM 2026) și o lucrare în curs de elaborare;

R14 – Raport de cercetare și raport de activitate aferente fazei, care documentează integral rezultatele obținute.

În perspectiva continuării proiectului (faza 3), se propune dezvoltarea și implementarea unui echipament mixt de debitare AWJ–plasmă, valorificând infrastructura modernizată și rezultatele obținute. Direcțiile principale vizează integrarea tehnologică, automatizarea proceselor, optimizarea performanțelor și extinderea capacităților de prelucrare pentru materiale dure și extradure.

Lucrările proiectului vor continua cu faza 3 a proiectului, cu titlul " Creșterea performanțelor echipamentelor de lucru și dezvoltarea infrastructurii de laborator"

Responsabil proiect  
Ing. PERIANU Ion-Aurel