

Anexa 10 la Contract nr. 41N /18.01.2023
(anexa la procesul verbal de avizare internă nr. 57/09.03.2026)

Contractor: INCD URBAN-INCERC
Cod fiscal : RO26752660

De acord,
DIRECTOR GENERAL
CS I, Conf. univ. dr. ing. habil. **Claudiu-Sorin DRAGOMIR**



Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
CS III, Dr. ing., ec. **Alexandra-Marina BARBU**

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 41N/18.01.2023

Proiectul: Soluții inovatoare sustenabile favorabile implementării tehnologiilor emergente cu impact transversal asupra industriilor locale și mediului și de facilitare a transferului tehnologic, prin dezvoltarea de materiale compozite avansate, eco-inteligente, în contextul dezvoltării durabile a mediului construit

Subfaza: 11.2.1 - Studiu privind proiectare, realizare și validare prin testarea celui de-al doilea prototip (sistemul la scară reală) într-un mediu relevant (condiții de funcționare similare celor reale), în conformitate cu domeniul de utilizare propus, a prefabricatelor mici (panouri de placare geopolimere – validare compozițională).

Termen de încheiere a subfazei: 09.03.2026

1. Obiectivul proiectului:

Contribuții la avansul în știință prin dezvoltarea unor cercetări multi și transdisciplinare, cu impact asupra calității vieții în contextul dezvoltării durabile a mediului construit și creștere a posibilităților de transfer de tehnologie emergentă, prin dezvoltarea de materiale avansate, eco-inteligente, cu capacitate de auto-curățare, ce permit reintegrarea în circuitul economic prin recuperare și reciclare a unor deșeuri și

subproduse industriale concomitent cu exploatarea caracterului specific al unor nanomateriale responsive la factori ambientali.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

- Creșterea gradului de cunoaștere din punct de vedere al proceselor și mecanismelor de geopolimerizare (Faza 1.) și a proceselor și mecanismelor care induc caracterul "smart" al compozitelor (Faza 2.);
- Reactualizarea bazei de date privind disponibilitatea de materii prime și de deșeuri și subproduse industriale disponibile, care satisfac parametrii relevanți din punct de vedere a compatibilității compoziționale pentru generarea mecanismelor specifice care induc performanțe superioare materialelor eco-inovative (Faza 3.);
- Creșterea gradului de cunoaștere din punct de vedere al performanțelor fizico-mecanice, durabilitate și de rezistență la solicitare biologică și stabilirea unor metode experimentale de testare specifică materialelor cu proprietăți eco-inovative (Faza 4.);
- Proiectare compozițională și testare experimentală preliminară a compozițiilor geopolimere smart-eco-inovative (Faza 5. și Faza 6.);
- Evidențierea, evaluarea și ierarhizarea factorilor de influență (minim 5) asupra performanțelor materialelor geopolimere smart-eco-inovative (Faza 7);
- Optimizarea materialelor geopolimere smart-eco-inovative (minim 2 direcții de optimizare) prin cuantificarea rezultatelor obținute din punct de vedere al performanțelor fizico-mecanice (Faza 8.) și din punct de vedere al durabilității și rezistenței la solicitare biologică (minim 10 compoziții), precum și identificarea direcțiilor de valorificare și aplicabilitate (Faza 9.);
- Protejarea drepturilor de autor și pregătirea cadrului favorabil transferului tehnologic și realizarea unui ghid de proiectare a materialelor compozite geopolimere smart-eco-inovative (Faza 10.);
- Machetarea (proiectare, realizare prototip etc.) și testarea într-un mediu relevant a prefabricatelor mici realizate din materiale geopolimere smart-eco-inovative (minim 1 prototip) (Subfaza 11.1.)
- Machetarea (proiectare, realizare prototip) și testarea într-un mediu relevant a prefabricatelor mici realizate din materiale geopolimere smart-eco-inovative (minim 1 prototip - panouri de placare – caracterizare compozițională) (Subfaza 11.2.1.)
- Machetarea (proiectare, realizare prototip) și testarea într-un mediu relevant a prefabricatelor mici realizate din materiale geopolimere smart-eco-inovative (minim 1 prototip - panouri de placare – caracterizare fizico-mecanică) (Subfaza 11.2.2.)
- Realizarea unui ghid de proiectare și utilizare a produselor compozite geopolimere smart-eco-inovative (Faza 12.);
- Diseminarea rezultatelor cercetărilor se va realiza în mod continuu, pe parcursul tuturor celor 12 faze ale proiectului.
- Creșterea nivelului de calificare a personalului CD existent și angajări personal CD.

3. Obiectivul fazei:

Realizarea de activități de proiectare, realizare și validare prin testarea prototipului (sistemul la scară reală) într-un mediu relevant (condiții de funcționare similare celor

reale), în conformitate cu domeniul de utilizare propus, a prefabricatelor mici (prototipurilor-panouri geopolimere – validare compozițională) realizate din materialelor geopolimere smart-eco-inovative optimizate.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- Raport de fază.
- Minim 1 prototip de prefabricate mici de tip panou prefabricat proiectate și analizate din punct de vedere compozițional.
- Minim 1 articol indexat în WOS sau participare cu comunicare la manifestări științifice internaționale indexate WOS;
- Organizare minim 1 workshop.

5. Rezumatul fazei:

În cadrul acestei subfaze a proiectului, activitățile desfășurate au avut ca obiectiv principal validarea compozițională a materialului geopolimer modificat prin adaos de dioxid de titan (TiO_2), utilizat pentru realizarea panourilor de placare la nivel de prototip, corespunzător unui sistem la scară reală, testat în condiții de mediu relevante pentru domeniul de utilizare propus. Această etapă a urmărit confirmarea faptului că integrarea TiO_2 în matricea geopolimeră conduce la obținerea unui material compozit stabil din punct de vedere structural, capabil să își păstreze proprietățile în condiții apropiate celor reale de exploatare, asigurând totodată premisele compoziționale necesare manifestării proprietăților fotocatalitice asociate capacității de autocurățare. Accentul a fost pus exclusiv pe validarea compoziției materialului geopolimer cu adaos TiO_2 , respectiv pe stabilitatea rețelei geopolimere modificate, pe compatibilitatea dintre faza geopolimeră și particulele de TiO_2 și pe reproductibilitatea proprietăților obținute la scară reală, fără a viza în mod direct aspecte legate de designul de produs sau de soluții constructive de montaj.

Procesul de optimizare compozițională a vizat stabilirea unor formulări geopolimere în care TiO_2 a fost introdus ca adaos funcțional, cu rol fotocatalitic, menținând în același timp integritatea structurală a matricei. Au fost analizate diferite proporții de TiO_2 în raport cu faza liantului geopolimer, urmărindu-se identificarea unui interval compozițional optim care să permită dispersia uniformă a particulelor de TiO_2 fără a afecta negativ cinetica reacției de geopolimerizare sau coeziunea microstructurală a materialului. În acest context, s-a acordat o atenție deosebită modului de incorporare a TiO_2 în amestec, având în vedere tendința naturală de aglomerare a particulelor fine și impactul acesteia asupra omogenității compoziționale. S-a urmărit obținerea unei distribuții cât mai uniforme a TiO_2 în matrice, astfel încât proprietățile fotocatalitice potențiale să fie rezultatul unei compoziții omogene, iar nu al unor concentrații locale necontrolate.

Selectarea compoziției finale pentru prototipul de panouri de placare s-a realizat în urma evaluării comparative a mai multor variante de rețete geopolimere cu conținut variabil de TiO_2 , fiecare formulare fiind analizată din perspectiva stabilității sistemului, a compatibilității dintre TiO_2 și produșii de reacție geopolimeri, precum și a reproductibilității proprietăților mecanice și structurale. Alegerea rețetei de referință a

urmărit identificarea unui compromis favorabil între menținerea performanțelor caracteristice materialelor geopolimere și integrarea eficientă a TiO_2 ca fază funcțională. S-a avut în vedere ca adaosul de TiO_2 să nu conducă la perturbări semnificative ale rețelei liantului, respectiv la scăderi accentuate ale coeziunii sau la apariția unor defecte microstructurale asociate incompatibilității dintre faze. În acest sens, validarea compozițională a presupus demonstrarea faptului că sistemul geopolimer- TiO_2 se comportă ca un material compozit coerent, cu interfață stabilă între matrice și adaosul funcțional.

Transpunerea compoziției la scară reală a reprezentat o etapă esențială pentru validarea compozițională, întrucât a permis analizarea comportării materialului compozit în condiții de preparare și maturare. Prepararea amestecurilor la volume mai mari a evidențiat importanța controlului tehnologic asupra dispersiei TiO_2 , deoarece variațiile de omogenitate pot conduce la diferențe locale de comportare structurală. S-a urmărit modul în care parametrii tehnologici influențează distribuția TiO_2 în matricea geopolimeră și în ce măsură această distribuție rămâne stabilă pe parcursul procesului de întărire. Rezultatele obținute au indicat faptul că rețeta selectată prezintă o bună stabilitate compozițională, particulele de TiO_2 fiind integrate coerent în structura geopolimeră fără a induce segregări semnificative sau zone cu reacție incompletă.

Procesul de întărire a compozitului a permis evaluarea influenței factorilor asupra stabilității compoziționale a sistemului geopolimer- TiO_2 . Observațiile efectuate au arătat că structura compozitului se menține stabilă în timp, fără apariția unor procese evidente de separare de faze sau de degradare la nivelul interfeței. Menținerea integrității microstructurale în condiții de mediu relevante indică faptul că adaosul de TiO_2 este compatibil cu sistemul geopolimeric din punct de vedere compozițional, neafectând negativ stabilitatea chimică a produselor de reacție formate în procesul de geopolimerizare.

Ulterior, în fazele următoare, evoluția proprietăților mecanice ale materialului geopolimer cu adaos de TiO_2 în condiții de mediu relevant va fi analizată ca indicator indirect al stabilității compoziționale a sistemului. Corelarea rezultatelor obținute cu parametrii compoziționali a evidențiat faptul că adaosul de TiO_2 , în intervalul de concentrații analizat, nu compromite stabilitatea structurală a materialului și nu induce procese de degradare internă semnificativă. Acest aspect confirmă faptul că rețeta selectată asigură un echilibru favorabil între menținerea performanțelor specifice materialelor geopolimere și integrarea TiO_2 ca fază funcțională stabilă din punct de vedere compozițional.

Analizele compoziționale realizate asupra materialului obținut la nivel de prototip confirmă formarea unei rețele geopolimere continue, în care particulele de TiO_2 sunt distribuite relativ uniform și sunt ancorate în matricea anorganică. Aceste rezultate susțin validarea compozițională a sistemului geopolimer- TiO_2 ca material coerent și stabil pentru utilizări în producerea de prefabricate mici-de tip panouri de placare.

În ansamblu, rezultatele obținute în această fază de proiect demonstrează că materialul geopolimer modificat prin adaos de TiO_2 a fost validat compozițional la nivel de prototip, în condiții de mediu relevante pentru domeniul de utilizare propus. Compoziția selectată prezintă stabilitate structurală, compatibilitate între matricea

geopolimeră și faza fotocatalitică, precum și reproductibilitate a proprietăților la scară reală. Validarea compozițională a confirmat faptul că integrarea TiO_2 nu compromite coerența rețelei geopolimerice și creează premisele necesare pentru valorificarea proprietăților fizico-mecanice și de autocurățare în etapele ulterioare de dezvoltare. Această etapă constituie o bază solidă pentru continuarea cercetărilor privind optimizarea fină a conținutului de TiO_2 , studiile de durabilitate pe termen lung și pregătirea documentației tehnice necesare pentru standardizare și transfer tehnologic.

Avându-se în vedere cele prezentate, se poate concluziona că **obiectivul fazei**, referitor la *Studiu privind proiectare, realizare și validare prin testarea celui de-al doilea prototip (sistemul la scară reală) într-un mediu relevant (condiții de funcționare similare celor reale), în conformitate cu domeniul de utilizare propus, a prefabricatelor mici (panouri de placare geopolimere – validare compozițională) a fost îndeplinit în întregime.*

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului

Rezultatele obținute în această subfază confirmă validarea compozițională a sistemului geopolimer modificat prin adaos de dioxid de titan, prin transpunerea la nivel de prototip, la scară reală (elemente prefabricate mici - panouri de placare), a rețetei considerate optime, rezultate stabilite în urma fazelor anterioare de cercetare din cadrul proiectului. Materialul geopolimer a fost formulat pe baza unei surse de cenușă selectată anterior ca precursor principal (cenușa Rovinari), în combinație cu un sistem de activare alcalină caracterizat printr-un $\text{Ns}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2:1$, cu o concentrație a soluției de NaOH de 8M și cu un adaos de TiO_2 de 3%. Confirmarea acestor parametri în condiții de procesare relevante a fost realizată inclusiv prin turnarea primelor panouri la scară reală, utilizând exclusiv compoziția validată anterior la nivel de laborator. Realizarea efectivă a acestor panouri constituie o dovadă directă a fezabilității compoziționale a rețetei, demonstrând că parametrii aleși permit obținerea unui material coerent și reproductibil și în condiții de volum și procesare apropiate de cele reale.

Utilizarea sursei de cenușă selectate ca precursor principal de aluminosilicati a fost confirmată în această fază prin obținerea unei matrici omogene, caracterizată printr-un grad ridicat de reacție și prin stabilitate structurală în condiții de mediu relevante. Observațiile efectuate asupra materialului rezultat din panouri indică faptul că această sursă de cenușă prezintă o compatibilitate bună cu sistemul de activare ales. Comportarea compozițională a materialului confirmă că alegerea acestei surse de cenușă, realizată în fazele anterioare pe baza testelor de laborator, rămâne valabilă și la nivel de prototip de panouri de placare, fără a genera instabilități sau variații semnificative ale structurii finale.

Raportul de lichid alcalin, raportul masic procentual între soluția de Na_2SiO_3 și soluția de NaOH (2:1), dar și concentrația molară a soluției de NaOH (8M), utilizat pentru activare, stabilite anterior ca fiind optim, a fost reconfirmat prin comportarea amestecului și prin structura materialului obținut în panourile turnate la scară reală. Menținerea acestui raport a permis obținerea unei consistențe adecvate pentru turnare, fără segregări și a condus la formarea unei matrici dense și relativ omogene după maturare.

Rezultatele indică faptul că raportul de lichid alcalin ales creează condiții chimice favorabile geopolimerizării și permite dezvoltarea unei rețele anorganice stabile, fără creșteri excesive ale porozității sau apariția unor defecte microstructurale. Confirmarea acestui parametru în contextul turnării panourilor la scară reală reprezintă un element esențial al validării compoziționale a rețetei.

Integrarea adaosului de dioxid de titan în proporție de 3% în matricea a fost validată compozițional prin obținerea panourilor la scară reală fără apariția unor incompatibilități evidente între faza funcțională și liantul geopolimer. Materialul geopolimer modificat a prezentat o distribuție satisfăcătoare a particulelor de TiO_2 în masa matricei, fără aglomerări majore care să conducă la defecte structurale vizibile. Comportarea compozițională a compozitului geopolimer- TiO_2 în condiții de mediu relevante indică faptul că adaosul de TiO_2 , în concentrația selectată, nu perturbază semnificativ procesul de geopolimerizare și nu compromite stabilitatea rețelei anorganice formate. Turnarea panourilor cu această compoziție confirmă fezabilitatea integrării TiO_2 în matricea geopolimerică la scară reală și validează alegerea procentului optim stabilit anterior.

Stadiul realizării obiectivului fazei poate fi apreciat ca fiind complet din perspectiva validării compoziționale a rețetei optime de geopolimer- TiO_2 la nivel de prototip a panourilor de placare geopolimere cu adaos de TiO_2 . Obiectivul principal, respectiv confirmarea compoziției optime stabilite în fazele anterioare, a fost atins prin demonstrarea faptului că parametri compoziționali selectați, respectiv tipul de cenușă, raportul de lichid alcalin și procentul de TiO_2 , permit obținerea efectivă a unor panouri la scară reală, stabile din punct de vedere structural. Turnarea primelor panouri reprezintă o validare practică a compoziției, confirmând că rețeta poate fi aplicată fără ajustări majore în condiții de volum și procesare apropiate de cele reale. În acest sens, subfaza curentă consolidează rezultatele obținute anterior și marchează atingerea obiectivului de validare compozițională la nivel demonstrativ.

Confirmarea acestor parametri prin realizarea efectivă a panourilor la scară reală demonstrează robustețea rețetei și caracterul său aplicabil din punct de vedere compozițional. Materialul obținut poate fi considerat validat compozițional la nivel de prototip, constituind o bază solidă pentru etapele ulterioare ale proiectului, orientate spre evaluări de durabilitate pe termen mai lung și corelări mai detaliate între parametri compoziționali și performanțele funcționale urmărite.

Propunerile pentru continuarea proiectului vizează orientarea etapelor următoare către stabilirea și evaluarea sistematică a caracteristicilor fizico-mecanice ale panourilor geopolimere de placare cu adaos de TiO_2 , validate compozițional în această fază. Demersurile viitoare vor urmări caracterizarea detaliată a comportării mecanice și fizice a prototipului propus, în condiții controlate și relevante pentru domeniul de utilizare definit. În acest context, se va pune accent pe corelarea parametrilor compoziționali validați cu proprietățile fizico-mecanice obținute, astfel încât să poată fi stabilite domenii de variație admisibile ale compoziției fără a afecta semnificativ performanțele elementelor de placare.



Prototip panou geopolimer activat alcalin cu adaos de TiO_2

Referitor la **indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare, diseminarea rezultatelor** aferente curente subfaze s-au realizat astfel:

- Raport de subfază;
- Prototip - panou geopolimer activat alcalin cu adaos de TiO_2 (50 x 20 cm) – analiză compozițională;
- Publicare articol: Hegyi, A.; Csapai, A.; Lăzărescu, A.-V.; Dragomir, C.-S.; Toader, T.P.; Ionescu, B.A.; Chira, M.; Florean, C.; Vermesan, H.; Thalmaier, G.; et al. *Comparative Study of a Short-Term Assessment of Corrosion Initiation Behavior of Steel Reinforcement in Cementitious vs. Alkali-Activated Fly Ash Geopolymer Binders*. Appl. Sci. 2026, 16, 1623. <https://doi.org/10.3390/app16031623>
- Workshop:
 - *Inovare și sustenabilitate: exploatarea subproduselor industriale pentru produse de construcții cu maturitate tehnologică demonstrată*, CS II, Dr. Ing. Adrian Lăzărescu | INCD URBAN-INCERC Cluj-Napoca
 - *ZIUA MONDIALĂ A EFICIENȚEI ENERGETICE 2026 - "Sustenabilitate și eficiență energetică"* – ediția III, 5 martie 2026, Aula Centenar, Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului, Cluj-Napoca.

La finalizarea prezentei faze se consideră că **au fost îndeplinite în întregime obiectivele propuse și au fost obținute rezultatele preconizate.**

Prin urmare, se crează astfel cadrul favorabil pentru continuarea activităților de cercetare teoretică și dezvoltare a activităților de cercetare aplicativă și inovare prevăzute pentru următoarele faze ale proiectului, rezultatele obținute contribuind în mod semnificativ la creșterea calitativă și cantitativă a producției de cunoaștere la nivel național și internațional.

Responsabil proiect

CS II, dr. ing. *Adrian-Victor Lăzărescu*