

Anexa 10 la Contract nr. 41N/18.01.2023
(anexa la procesul verbal de avizare internă nr. 55/09.03.2026)

Contractor: INCD URBAN-INCERC
Cod fiscal: RO 26752660

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: Sistem integrat de dezvoltare și cercetare științifică a construcțiilor și a infrastructurilor vitale la acțiuni extreme de mediu, seismice și climatice și valorificarea resurselor sustenabile de materiale și energie

Subfaza: 10.1 - Studiu privind cercetarea integrată a elementelor structurale autoportante la acțiuni seismice

Termen de încheiere a subfazei: 09.03.2026

1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul general al proiectului vizează deschiderea de noi direcții de cercetare și dezvoltare, a studiilor dedicate atingerii unui țel de interes major pentru societate și anume creșterea rezilienței comunitare la acțiuni extreme de mediu, seismic și climatice.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

- conștientizarea impactului schimbărilor de mediu, de natură climatică și seismică, asupra siguranței civile (F.1.) și creșterea gradului de cunoaștere a cerințelor actuale de protecție, față de acestea (F.2.);

- clasificarea surselor sustenabile de materiale pentru construcții din punct de vedere al caracteristicilor și disponibilității acestora pe teritoriul României (F.3. și F.4.);
- prezentarea unor metode și mijloace de cercetare experimentală pentru soluții inovative de asigurare a securității civile, la acțiunile dinamico-seismice (F.5.);
- dezvoltarea tehnologică a capacității de cercetare a Laboratorului INCERC de Cercetare Aplicată și Încercări în Construcții - IHS în domeniul climatic și seismic (F.5.);
- modernizarea și extinderea dotării Laboratorului INCERC de Cercetare Aplicată și Încercări în Construcții - IHS în vederea studierii impactului expunerii la acțiuni extreme de mediu prin achiziția echipamentelor performante specifice domeniului studiat (F.6.);
- conceperea și certificarea a minimum 3 elemente structurale autoportante din materialele sustenabile tradiționale studiate în zone de expunere la acțiuni climatice extreme (F.7.);
- creșterea complexității de evaluare a caracteristicilor de durabilitate prin expunerea la acțiuni extreme de mediu, climatice și seismice (F.8.);
- elaborarea metodelor de cercetare integrată a elementelor structurale la acțiuni extreme de mediu, seismice și climatice (F.9. și F.10.);
- realizarea unui ghid de proiectare și execuție a elementelor structurale autoportante din materialele sustenabile rezistente la acțiuni extreme de mediu (F.10.);
- protejarea drepturilor de autor și pregătirea cadrului favorabil transferului tehnologic (F.11.);
- încurajarea transferului tehnologic prin acordarea suportului necesar mediului privat în aplicarea soluțiilor inovative (F.12.);
- diseminarea rezultatelor obținute va fi efectuată în mod continuu, pe parcursul celor 12 faze ale proiectului.

3. Obiectivul subfazei:

Cercetarea a avut drept obiectiv principal realizarea studiului privind cercetarea integrată a elementelor structurale autoportante la acțiuni seismice

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

În urma desfășurării activităților prevăzute în cadrul prezentei subfaze a proiectului, respectiv studiu privind cercetarea integrată a elementelor structurale autoportante la acțiuni seismice, pentru atingerea obiectivului fazei și livrabilele propuse sunt:

- raport de fază;

5. Rezumatul subfazei:

Obiectivul general al proiectului este stabilit astfel încât să răspundă la două dintre obiectivele generale (O.G.) ale Strategiei Naționale de Cercetare, Inovare și Specializare Inteligentă 2022-2027 (SNCISI 2022-2027), și anume: *O.G.1. Dezvoltarea sistemului de cercetare, dezvoltare și inovare* și *O.G.3. Mobilizarea către inovare*, precum și nevoilor societale actuale de dezvoltare a unor materiale tradiționale sustenabile și a acțiunilor extreme de mediu (climatice, dinamice și seismice), concomitent cu alinierea la cei trei piloni ai dezvoltării durabile, și anume: economic,

social și de mediu, inclusiv valorificarea specificului național tradițional și atragerea resursei umane specializate către domeniul C-D, prin crearea unui cadru de lucru modern și a unei infrastructuri de C-D capabilă să susțină cercetări de importanță și complexitate majoră pentru mediul economic din România.

În această subfază a fost realizat un studiu ce abordează cercetarea integrată a comportării la acțiuni seismice a elementelor structurale autoportante realizate din argilă nearsă cu adaosuri vegetale. În contextul necesității de a dezvolta materiale sustenabile și soluții constructive cu impact redus asupra mediului, utilizarea argilei nearsă în combinație cu fibre naturale precum paie, cânepa și rumegușul reprezintă o alternativă promițătoare la zidăria convențională.

Studiul a vizat analiza experimentală a panourilor realizate din elemente autoportante din argilă nearsă cu diferite tipuri de adaos vegetal, urmărindu-se influența acestora asupra rigidității inițiale, modulului de elasticitate, capacității de disipare a energiei și mecanismelor de cedare sub acțiuni cu caracter seismic, incluzând corelarea rezultatelor experimentale cu modelele teoretice și cu prevederile normative aplicabile.

Rigiditatea inițială - Rigiditatea unui panou de zidărie supus acțiunilor seismice reprezintă capacitatea elementului structural de a se opune deformării. Rigiditatea inițială este caracterizată de panta porțiunii liniare a curbei forță-deplasare ($F-\Delta$) sau efort-deformație ($\sigma-\epsilon$), în domeniul elastic. În cazul solicitărilor seismice, aceasta se determină din primele cicluri de încărcare/descărcare, în faza elastică incipientă a solicitării înainte de apariția microfisurilor sau a degradării materialului.

O rigiditate inițială mai mare a elementului supus la acțiuni seismice contribuie, de regulă, la deplasări laterale reduse, perioadă proprie de vibrație mai mică și o capacitate de preluarea a unei ponderi mai mari din forța laterală. Diminuarea progresivă a rigidității prezintă un indicator al degradării interne care precedă cedarea structurală.

Rezultatele experimentale obținute pe cele trei tipuri de panouri pot fi sintetizate astfel:

- Panoul de zidărie realizat din elemente pe bază de argilă nearsă cu adaos de paie a prezentat cea mai mare rezistență la compresiune marcând totodată și cele mai ridicate valori ale rigidității la deplasări laterale pe întreg intervalul de încărcare. Scăderea rigidității între ciclurile de încărcare/descărcare a fost lentă și controlată, indicând un mecanism stabil de degradare progresivă.
- Panoul de zidărie realizat din elemente cu adaos de cânepă a manifestat rigiditate la deplasare laterală medie, cu reducere progresivă de la ciclu la ciclu, sugerând un comportament semiductil caracterizat prin dezvoltarea graduală a microfisurilor.
- Panoul cu elemente de zidărie ce conțineau rumeguș a prezentat cea mai instabilă evoluție a rigidității la deplasări laterale, cu variații majore între ciclurile de încărcare/descărcare, reflectând neomogenitatea materialului și sensibilitatea ridicată la microfisurare.

Menținerea unei rigidități la deplasări laterale stabile și controlul degradării reprezintă indicatori de bază pentru evaluarea comportării la acțiune seismică, având

drept urmare prevenirea cedării casante ale elementelor structurale. În acest sens, panoul cu paie prezintă comportarea cea mai favorabilă.

Analiza experimentală arată că zidăria pe bază de paie, datorită micro-armării naturale, dezvoltă un mecanism de disipare a energiei prin microfisurare controlată, evitând fisurile dominante care pot conduce la colaps, în timp ce zidăriile din elemente autoportante cu adaos de cânepă sau rumeguș prezintă o sensibilitate crescută la apariția fisurilor critice.

Modulul de elasticitate și stabilitatea structurală – reprezintă un parametru esențial în analiza răspunsului seismic al elementelor de zidărie, reprezintă modulul de elasticitate, care definește relația dintre tensiune și deformație în domeniul elastic. Valorile modulului de elasticitate sunt utilizate pentru a defini rigiditatea inițială și nivelul deplasărilor; influențează mecanismul de fisurare și cedare; evoluția degradării sub încărcări ciclice și estimarea ductilității și a disipării de energie.

Valorile experimentale obținute pe panourile de zidărie prezintă valori semnificativ mai mici față de cele estimate conform normativului CR 6-2013, ceea ce exprimă faptul că zidăria din argilă nearsă este mult mai deformabilă decât zidăria din blocurile de argilă prelucrată termic. Acest fenomen contribuie la creșterea deplasărilor laterale la aceeași valoare a acțiunii seismice; modificarea perioadei proprii de vibrație a structurii și redistribuirea diferită a forțelor interne față de ipotezele normative. Astfel, utilizarea valorilor normative ale lui E ar conduce la supraestimarea rigidității și la subestimarea deplasărilor reale.

Conform prevederilor din CR 6-2013, cedarea controlată a zidăriei din elemente de argilă are loc prin apariția de fisuri verticale continue până la pierdere progresivă a rigidității.

Rezultatele experimentale obținute pe zidăria cu elemente pe bază de argilă nearsă cu adaosuri vegetale pot fi sintetizate astfel:

- Panoul realizat din elemente structurale autoportante cu adaos de paie a marcat o variație mai mică a valorilor modulului de elasticitate, ceea ce a contribuit la un mecanism de fisurare progresivă similar celui stipulat în actul normativ, comportarea acestuia fiind clasificată drept relativ ductilă.
- Panoul realizat din elementele autoportante cu adaos de cânepă, a înregistrat valori mai mici ale modulului de elasticitate decât cele realizate cu paie, fapt confirmat și de deformațiile accentuate în fazele finale ale încărcării, fiind astfel remarcată creșterea ponderii deformabilității matricii de argila asupra mecanismului de cedare
- Panoul realizat cu elementele autoportante cu adaos de rumeguș a prezentat variații mari ale valorilor modulului de elasticitate, consumând deformația transversală astfel încât nu s-au decelat valori stabile ale modulului de elasticitate transversală. A fisurat timpuriu, fiind urmat de cedare bruscă, fără fază post-elastică clară.

Astfel, având în vedere cele expuse anterior, poate fi concluzionat faptul că modulul de elasticitate nu influențează doar răspunsul elastic inițial, ci și modul de degradare structurală sub acțiuni repetate. Valoarea redusă a modului de elasticitate permite deformări mai mari înainte de atingerea rezistenței ultime ceea ce contribuie la

atingerea unor deplasări structurale mari, accelerând totodată inițierea fisurilor și pierderea rigidității. Stabilitatea și constanța lui E favorizează o cedare progresivă, iar fluctuațiile și valorile foarte reduse ale lui E , în cazul elementelor autoportante cu adaos de rumeguș, sunt asociate cu mecanisme de cedare fragilă.

Capacitatea de disipare a energiei (amortizarea echivalentă ζ) - capacitatea de disipare a energiei a fost evaluată prin prisma amortizării echivalente ζ . Amortizarea echivalentă ζ , determinată prin încercări ciclice la acțiuni statice ciclice pe panourile de zidărie, reprezintă un indicator energetic al capacității elementului de a disipa energie prin mecanisme neliniare (fisurare, frecare, plastificare). Într-un test ciclic forță-deplasare, amortizarea echivalentă exprimă raportul dintre energia disipată într-un ciclu (aria buclei histerezic) și energia elastică maximă stocată (aria triunghiului elastic corespunzător deplasării maxime). Cu cât valoarea ζ este mai mare, cu atât elementul disipă mai multă energie și are, în general, un comportament seismic mai favorabil (dacă disiparea este stabilă și controlată).

Panoul realizat din elemente cu adaos de paie a prezentat bucle histerezice largi și stabile, cu disipare energetică superioară comparativ ce panourile realizate din elemente autoportante cu adaos de cânepă și rumeguș și comportare post-elastică controlată. Mecanismul de „bridging” al fibrelor a contribuit la stabilizarea fisurilor.

Coeficientul de amortizare ζ , determinat pe panoul cu elemente autoportante din argilă nearsă și adaos de paie a evidențiat o reducere a valorii de la 4,9% în primul ciclu – la aproximativ 2% pentru ciclurile ulterioare, indicând un nivel moderat de amortizare histerezică, specific materialelor semiductile, în care mecanismele de fisurare controlată, frecarea internă și interacțiunea fibră-matrice contribuie la disiparea energiei fără o pierdere bruscă a capacității portante.

Panoul realizat din elemente cu adaos cu cânepă a manifestat o creștere progresivă a amortizării echivalente, atingând valoarea maximă de 6,32 %. Această evoluție indică o disipare progresivă a energiei prin mecanisme de microfisurare și frecare internă, însoțind scăderea rigidității și acumularea de deformări reziduale.

În cazul panoului realizat din elemente de zidărie cu adaos cu rumeguș, amortizarea echivalentă ζ se menține în intervalul 2.5–2.7%, exceptând ciclul 3, în care bucla nu se închide, iar disiparea de energie este neglijabilă. Acest nivel de amortizare este caracteristic materialelor naturale fără armare longitudinală, la care deformarea se produce treptat, iar acumularea de energie disipată este modestă.

Mecanisme de cedare - studiul experimental a evidențiat o comportare diferențiată a panourilor din elemente de zidărie din argilă nearsă supusă la compresiune axială, funcție de adaosurile vegetale introduse.

Panoul realizat din elemente de zidărie din argilă nearsă și cânepă a prezentat un proces de degradare gradual, caracterizat prin fisuri verticale fine apărute precece în zona mediană și dezvoltate lent odată cu creșterea încărcării. Cedarea s-a produs datorită creșterii deformărilor și dezvoltării fisurilor, ceea ce sugerează o coeziune internă suficientă pentru întârzierea mecanismului final de colaps, însă nu suficientă pentru a preveni pierderea stabilității structurale, în conformitate cu descrierile normative pentru zidăria semiductilă.

Panoul realizat din elemente de zidărie din argilă nearsă și rumeguș a manifestat cel mai fragil răspuns structural, cu inițiere timpurie a fisurării și propagare rapidă a crăpăturilor verticale și orizontale, având deschideri semnificative și caracter instabil. Colapsul s-a produs prin unirea fisurilor și pierderea bruscă a rezistenței, comportare asociată unei rigidități reduse și unei capacități limitate de redistribuire a eforturilor, conform tipologiei zidăriei fragile definite în CR 6-2013.

Panoul realizat din elemente de zidărie din argilă nearsă și paie a evidențiat cea mai stabilă evoluție a degradării, cu inițierea fisurilor la niveluri superioare de încărcare și propagare uniformă, fără formarea prematură a unei fisuri dominante. Modul de cedare a fost progresiv, fără pierdere bruscă a stabilității, indicând o comportare echilibrată și o performanță portantă superioară, caracteristică zidăriei cu mecanism de cedare controlat.

În ansamblu, rezultatele confirmă influența semnificativă a tipului de adaos vegetal asupra rigidității, omogenității și ductilității materialului compozit, cu impact direct asupra modului de fisurare și a mecanismului final de colaps al panourilor de zidărie din argilă nearsă.

Analiza comparativă a modului de degradare pentru cele trei panouri supuse la forfecare evidențiază influența tipului de fibră vegetală asupra mecanismului de cedare și a progresiei fisurării:

- Panoul realizat din elemente de zidărie autoportante cu adaos de cânepă a dezvoltat o fisură principală diagonală clar conturată, care s-a dezvoltat progresiv, cu deschidere lentă, indicând o bună redistribuire a tensiunilor datorită ancorării eficiente a fibrelor lungi de cânepă în matricea de argilă. Această evoluție sugerează un comportament semiductil și un mecanism de cedare controlat.
- Panoul realizat din elemente de zidărie autoportante cu adaos de paie a manifestat o fisură principală similar orientată, însoțită de fisuri secundare fine, ramificate, care au indicat o disipare mai uniformă a tensiunilor. Fibrele de paie, datorită flexibilității lor structurale, au permis dezvoltarea unor deformări mai mari înaintea cedării, ceea ce a condus la un comportament mai deformabil, dar totuși predictibil. Această distribuție a fisurilor este compatibilă cu cerințele Eurocod 6, care prevede apariția unor fisuri multiple în materiale cu rigiditate moderată, înainte de atingerea stării limită ultime.
- Panoul realizat din elemente de zidărie autoportante cu adaos de rumeguș a prezentat un mod de cedare dominat de apariția unor fisuri multiple, fine, distribuite neregulat, fără conturarea unei fisuri principale evidente. Degradarea s-a produs difuz, iar panoul a pierdut treptat rigiditatea, ceea ce caracterizează un mod de cedare cvasi-fragil, cu limitări evidente în capacitatea de redistribuire a tensiunilor.

Având în vedere studiul privind cercetarea integrată a elementelor structurale autoportante la acțiuni seismice analizei, panoul realizat din elemente structurale autoportante cu adaos de paie oferă cea mai favorabilă combinație de parametri structurali și reprezintă soluția optimă pentru dezvoltări ulterioare în domeniul elementelor sustenabile din argilă nearsă.

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

Obiectivul subfazei a vizat realizarea unui studiu ce abordează cercetarea integrată a comportării la acțiuni seismice a elementelor structurale autoportante realizate din elemente de zidărie autoportantă din argilă nearsă cu adaosuri vegetale

Referitor la indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare și, conform graficului GANTT asumat în propunerea de proiect, rezultatele cercetărilor efectuate până în prezent au fost diseminate în cadrul subfazei 10.1, astfel:

- Realizarea raportului de subfaza

La finalizarea subfazei 10.1 a proiectului se consideră că **au fost îndeplinite în întregime obiectivele propuse și au fost obținute rezultatele preconizate**. Prin urmare, se creează astfel cadrul favorabil pentru continuarea activităților de cercetare teoretică și dezvoltarea activităților de cercetare aplicativă și inovare prevăzute pentru următoarele faze ale proiectului, rezultatele obținute contribuind la creșterea calitativă și cantitativă a producției de cunoaștere la nivel național și internațional.

Responsabil proiect,
CS III, dr. ing. Aurelia BRADU


