

## SOLUTII DE SUPRA-ETAJARE BAZATE PE OTEL PENTRU CLADIRI PREFABRICATE DIN BETON EXISTENTE

### Teză de doctorat – Rezumat

Pentru a obține titlul științific de doctorat la

Universitatea Politehnică Timișoara

În domeniul construcțiilor civile și instalațiilor de construcții

**autor ing. Andra-Daniela FLORICEL (VIAȘU)**

conducător științific Prof. dr. ing. Daniel Viorel UNGUREANU

mai 2024

### ABSTRACT

Un segment important al populației urbane românești, similar altor țări din Europa de Est, locuiește în blocuri de locuințe colective realizate din panouri mari prefabricate din beton. Majoritatea acestor structuri au fost construite între 1960 și 1989 și prezintă probleme majore privind aspectele estetice, lipsa spațiului interior, probleme legate de confortul termic și, nu în ultimul rând, eficiență energetică slabă. Prezența unui sistem de acoperiș plan, în general cu defecte hidrotermale, reprezintă o problemă suplimentară care duce în multe cazuri la condiții de viață deficitare ale locuitorilor de la ultimul etaj. Pe lângă alte modalități de îmbunătățire a condițiilor unor astfel de locuințe, supra-etajarea este binevenită atât pentru a crește suprafața locuibilă, cât și pentru a asigura un acoperiș adecvat pentru clădire. Această teză prezintă problematica acestor tipuri de clădiri, împreună cu diversele soluții care pot fi folosite pentru a reabilita și optimiza aceste tipuri de blocuri. Un rezumat al diverselor soluții laminate la cald și formate la rece existente în literatură este detaliat în continuare.

Într-o lume neincetată în curs de dezvoltare, în care sustenabilitatea a devenit nu doar o opțiune, ci mai mult o cerere, supra-etajarea clădirilor existente, împreună cu anveloparea formează o soluție completă optimă de modernizare la care sectorul construcțiilor apelează din ce în ce mai mult la fiecare zi, în locul soluției omoloage de a demola vechile structuri și a construi altele noi. Astfel, ușurința, reversibilitatea și caracteristicile consumatoare de timp ale materialelor utilizate la construirea acestor sisteme de acoperiș i-au făcut pe ingineri să apeleze la soluții bazate pe oțel. În acest context, lucrarea expune trei tipuri de soluții structurale pentru acoperișuri pe bază de oțel, adică: a) profile laminate la cald; b) secțiuni goale dreptunghiulare și c) profile formate la rece. Investigația se concentrează în principal pe detalii privind imbinarea la baza a supra-etajării la structura existentă. În continuare, sunt prezentate detalii ale unui studiu numeric asupra acestor imbinări stâlp-bază, atât în soluții semirigide, cât și rigide. Nu în ultimul rând, pentru confortul proprietarilor de apartamente, dar și pentru ușurința în ridicarea supra-etajării, a fost analizată numeric o opțiune de imbinare stâlp-bază pe bază de ancorare chimică.

În plus, utilizarea construcției ușoare din oțel cu componente structurale din oțel formate la rece conduce la avantaje importante precum rezistența, ușurința, durabilitatea, adaptarea ușoară, reciclabilitatea și prefabricarea. Cu toate acestea, legătura dintre vechea structura și structura supra-etajată reprezintă adesea o problemă, care poate limita, în multe cazuri, aplicarea sistemelor de supra-etajare dorite. Studiul de față se concentrează pe analiza și comportamentul imbinărilor stâlp-bază în cazul soluțiilor de supra-etajare cu elemente structurale formate la rece cu pereți subțiri.

Teza prezintă, o soluție integrată de recondiționare, care combină ideea implementării

unor sisteme de supra-etajare extrem de industrializate folosind profile din oțel formate la rece cu un sistem integrat de anvelopa pentru o renovare completă.

## CAPITOLUL 1

Acest capitol oferă un context general pentru motivația și necesitatea construirii și îmbunătățirii acestor soluții structurale pentru acoperișuri.

Necesitatea unei soluții integrate de renovare este detaliată în continuare la scară locală în următoarele subcapitole, în urma unui studiu de caz pentru zona orașului Timișoara, România (vezi fig. 1).



Fig. 1. Probleme cu privire la blocurile din Timisoara.

După cum se precizează în contextul general al problemei, adaptarea clădirilor este o soluție bine-cunoscută pentru întinerirea unei structuri existente și oferirea de noi spații de locuit populației. În acest sens, supra-etajarea este una dintre practicile cele mai populare în

rândul inginerilor structurali, deoarece împreună cu anveloparea oferă o soluție integrată pentru întinerirea unei clădiri existente.

Mai mult decât atât, utilizarea oțelului ca material de bază pentru aceste acoperișuri este des întâlnită, datorită flexibilității, deschiderilor lungi și ridicării ușoare. De asemenea, oțelul este cunoscut pentru calitatea sa de reciclare, făcând structura mai sustenabilă, impactul asupra mediului fiind o preocupare crescândă în zilele noastre. Pe această idee, oțelul format la rece a devenit de preferat celui laminat la cald. Există mai multe beneficii ale utilizării secțiunilor din oțel formate la rece, inclusiv costuri reduse de material, fabricație, transport și construcție și un raport rezistență-greutate mai mare în comparație cu oțelul laminat la cald. Nu în ultimul rând, acesta are un comportament mai bun în zonele seismice.

Cu toate acestea, imbinările formate la rece sunt mai dificil de proiectat, detaliile devenind o provocare pentru majoritatea inginerilor.

Astfel, scopul acestei teze este de a analiza comportamentul acestor imbinari formate la rece și de a oferi cele mai bune soluții pentru aceste structuri de acoperiș. Mai mult, scopul acestui studiu nu este doar de a îmbunătăți tehnicile structurale utilizate pentru construirea acestor adaptări ale clădirii, ci și de a îmbunătăți calitatea vieții ocupanților, oferindu-le o soluție holistică din punct de vedere structural și energetic.

## CAPITOLUL 2

Acest capitol conține o imagine de ansamblu și mai detaliată a problemelor generale referitoare la blocurile mari de panouri prefabricate existente, pornind de la contextul global și general și concentrându-se pe un studiu de caz particular al orașului Timișoara din România. În plus, oferă o schiță generală a soluțiilor propuse aplicate în Europa în prezent pentru supra-etajarea și adaptarea clădirilor, codurile existente pentru proiectare și opțiunile de materiale.

Capitolul prezintă cadrul legislativ creat de UE: Directiva privind performanța energetică a clădirilor 2010/31/UE (EPBD) [1] și Directiva 2012/27/UE privind eficiența energetică [2]. Aceste directive sunt considerate esențiale în realizarea îmbunătățirii performanței energetice a clădirilor. Principalul obiectiv promovat de aceste politici este realizarea până în 2050 a unui fond de clădiri extrem de eficient din punct de vedere energetic și decarbonizat, creând un mediu stabil pentru deciziile de investiții și permițând consumatorilor și întreprinderilor să facă alegeri mai informate pentru a economisi energie și bani.

În acest scop, Landolfo R. în cadrul Proiectului European TABULA [3] încearcă să sintetizeze și să analizeze datele cantitative și calitative culese din diferite țări europene, în efortul de a portretiza o hartă precisă a tehnologiilor de construcție care să prezinte atât structurile rezistente la seism, cât și sisteme de anvelopă, acestea din urmă pentru a evalua și comportamentul de mediu al clădirilor în ceea ce privește evaluarea ciclului de viață (LCA) și consumurile energetice. Această hartă este, ulterior, comparată cu caracteristicile seismice și climatice ale tuturor țărilor europene luate în considerare, oferind astfel o imagine completă a zonelor cu diferite condiții de hazard combinate. Combinațiile acestor zone seismice și climatice au fost cuprinse într-o matrice de hazard, în care pot fi plasate studii de caz particulare, permițându-le să ofere scenarii de soluții de modernizare diferite din punct de vedere seismic și energetic (vezi fig. 2). Rata de succes a aplicării acestor soluții diferite la un anumit nivel, poate permite ulterior construirea unei metode de analiză generală care poate fi utilizată în fiecare țară din Europa.

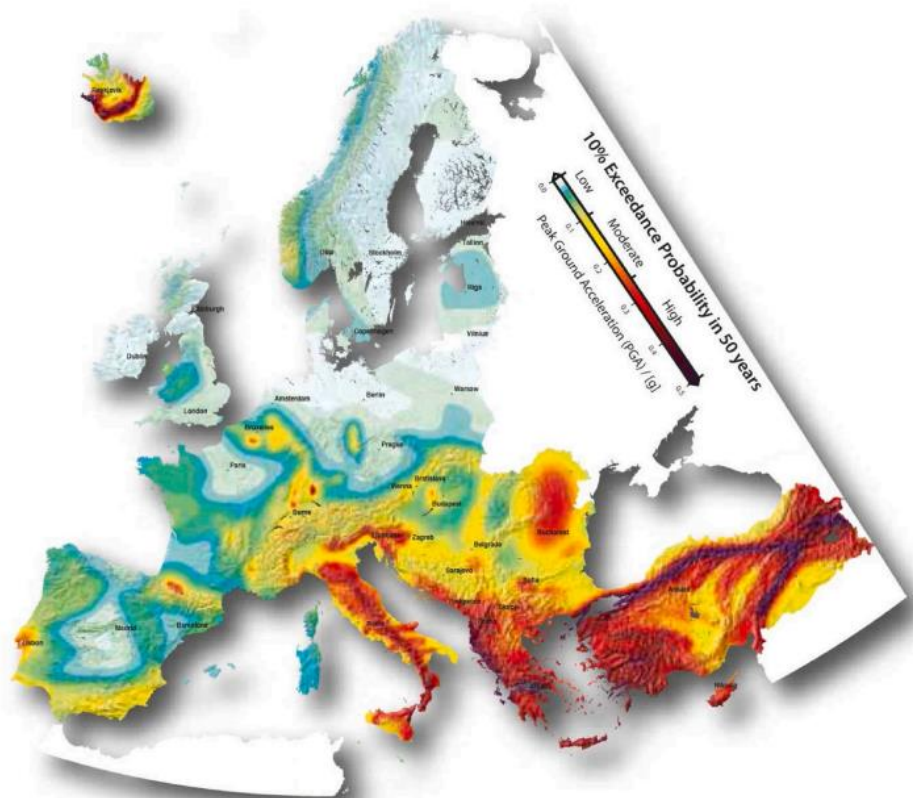


Fig. 2. Harta europeană a hazardelor seismice (Sursa: proiectul european SHARE, 2013) [3].

Problema este apoi analizată la nivel local în România, prezentând fondul de clădiri și perioadele de ridicare, numeroasele deficiențe structurale, energetice și estetice ale acestora și cadrul legislativ neconform existent, dar și noile programe care impun îmbunătățirea energetică a clădirilor noi și existente. precum programul „Casa Verde” [4].

### CHAPTER 3

Acest capitol detaliază cadrul legal existent, normele și liniile directoare tehnice privind structurile de supra-etajare, de la cadrul global la cel local.

La scară europeană, principalul model de finanțare propus în proiectul Orizont 2020 [5] se bazează pe evaluarea factorului de construcție neutilizat în beneficiul creșterii eficienței energetice a întregii clădiri. Această abordare necesită să se ia în considerare o variabilă juridică care face posibil un astfel de model de finanțare. Astfel, a fost introdusă variabila legală „Dreptul aerian”.

Drepturile de aer sunt un tip de drept de dezvoltare în imobiliare, referindu-se la spațiul gol de deasupra unei proprietăți. În general, deținerea sau închirierea unui teren sau o clădire dă dreptul de a folosi și dezvolta drepturile aeriene (vezi fig. 3).

Acest concept legal dă ideea de a construi oportunități de piață, în special în modernizarea clădirilor existente. În planurile urbanistice ale tuturor orașelor există un parametru volumetric legat de fiecare clădire sau proprietate care nu este utilizat pe deplin în multe cazuri. Această disponibilitate de „teren” urban neutilizat, de obicei în zonele centrale ale marilor orașe, va fi folosită ca un catalizator pentru modernizarea acestor clădiri cu decalaje mari de energie, în același timp cu cartierele degradate (de obicei zone periferice și vechi. oraș) sunt revitalizate. Acest lucru îmbunătățește accesibilitatea acestor clădiri, ajută la menținerea clădirilor istorice, elimină orizonturile neuniforme și zidurile despărțitoare din oraș și crește

densitatea urbană fără construirea de noi infrastructuri.



Fig. 3. Sistemul de autorizare de dezvoltare (s.70.2 și O. Reg. 608/06) [5-7].

Ca tipologie de locuințe, Timișoara are spațiul urban împărțit în zece cartiere (zone) locuibile, cu un total de 21.837 de unități locative de diverse feluri. Numărul total de clădiri individuale este de 15.039 unități de clădiri cu o singură locuință și 3.159 unități de două sau mai multe locuințe, cu înălțime variabilă (de la 1 la 3 etaje). Locuințele colective (cu 5 până la 11 etaje) au numărat în total 3.639 de unități. Din acestea 88% au fost realizate din panouri prefabricate. Fondul locuibil cuprinde 122.195 apartamente, cu o suprafață totală de 4.372.696 metri pătrați și 277.944 camere locuibile.

Perioada cuprinsă între anii 1960 și 1990 a generat o densificare majoră a zonelor locative prin construcții de locuințe colective. Această evoluție și densificare a orașului s-a realizat prin construirea de cartiere atât în zonele neamenajate la acea vreme, cât și prin inserții în fondul construit.

Clădirile rezidențiale prefabricate din beton („blocurile de beton”) prezintă diferențe majore între tipologii în funcție de câteva criterii de bază:

- criterii urbanistice: densitate (numar de unitati/ha); dotări exterioare aferente (școli, centre comerciale, spații verzi); numărul de etaje; accesibilitate (tip de drumuri, zone de parcare, distanta de la acestea la locuinta).
- criterii arhitecturale: suprafata (mp construiti, suprafata locuibila si suprafata utila); spatiul construit, fatadele, configuratia spatiului, definirea accesului;
- consumul de energie și emisia de CO<sub>2</sub>: diferențele dintre finisarea panourilor prefabricate și diferența de stratificare a anvelopei (panouri) și placa;
- criterii de finisare: (izolatie termica, impermeabila si fonica);
- inginerie: (diferențe de conformație seismică în funcție de momentul în care au fost executate unitățile locative) [8].

Aceste densificări au apărut în aceste cartiere fără a avea la bază o documentație de urbanism concisă și pe baza L114/96; din HCL 141/2007 s-au realizat mansarde ale clădirilor de locuit, adoptând geometrii diferite chiar și în cadrul aceluiași cartier/secțiune (fig. 4)

Referitor la starea actuală a zonelor rezidențiale la scară locală, se pot evidenția unele disfuncționalități urbane majore [8]: (1) lipsa spațiilor verzi și a parcarilor; (2) lipsa de preocupare pentru întreținerea întregii clădiri-fațade, cornișe, balcoane; (3) intervenții neunitare de reabilitare (mansarda) a ansamblurilor; (4) extinderi abuzive ale clădirilor la nivelul solului; (5) suprafețele interioare reduse ale apartamentelor și compartimentarea slabă a spațiului. Câteva exemple ale acestor disfuncții sunt prezentate în fig. 4.



Fig. 4. Disfunctii urbane majore în cartierele orasului Timisoara.

Deși în România, în ultimul deceniu, au fost elaborate o mulțime de standarde și ghiduri privind eficiența structurală, tehnologică și energetică pentru aceste intervenții, unele aspecte privind urbanismul și estetica exterioară a etajelor nou adăugate, au fost ignorate atunci când sunt aplicate în realitate. Prin urmare, în contextul actual, există o mare varietate de geometrii, volume și estetică pentru supra-etajari și reabilitari ale anvelopei chiar și în limitele aceluiași cartier, degradând imaginea vizuală de ansamblu. De asemenea, principalele erori evidențiate în execuția acestor supra-etajari pot fi împărțite în două categorii: (1) prima se referă la îmbinări și ancorarea sistemului de supra-etajare la structura existentă, în timp ce (2) a doua. este legat de erorile structurale reale și comune.

În România, principalele legi pentru construcția supra-etajarilor și reabilitării anvelopei sunt: NP-064-02, Legea 50/1991 (reeditată în 2018) și Legea 193/2019 [9]. Aceste legi nu sunt însă suficiente pentru a rezolva situațiile vaste prezente în sectorul construcțiilor din România. În plus, este subliniată necesitatea unor legi și ghiduri detaliate pentru aceste tipuri de construcții.

În al doilea rând, sunt prezentate cele mai bune practici structurale pentru supra-etajari, iar soluțiile structurale bazate pe oțel sunt din ce în ce mai utilizate de ingineri datorită numeroaselor avantaje: ușurință, modularitate, montare rapidă și reciclabilitate. Avantajele și dezavantajele diferitelor materiale de construcție, cum ar fi lemnul și betonul, sunt, de asemenea, prezentate pentru a picta o imagine completă cu informațiile necesare pentru a lua o decizie educată atunci când alegeți materialul pentru supra-etajari și reabilitari ale anvelopei viitoare.

Nu în ultimul rând, practica actuală a demonstrat că structurile din oțel formate la rece sunt soluția optimă pentru aceste tipuri de extensii modulare care au fost studiate în continuare în Capitolul 4.

## CAPITOLUL 4

Acest capitol se concentrează pe prezentarea avantajelor utilizării materialului din oțel pentru structurile de supra-etajare.

În aceasta direcție, a fost realizat un studiu pe 3 soluții diferite de oțel: profile laminate la cald, secțiuni tubulare rectangulare și secțiuni formate la rece (CF). Comparația s-a realizat prin implementarea a 3 variante de mansardare din oțel pe un studiu de caz reprezentativ, respectiv blocul E744.R, construit între anii 1962-1975.

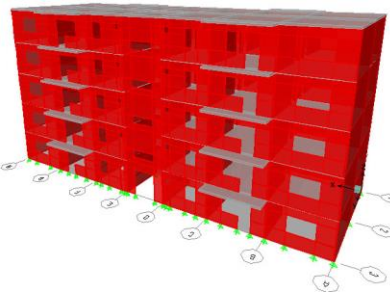
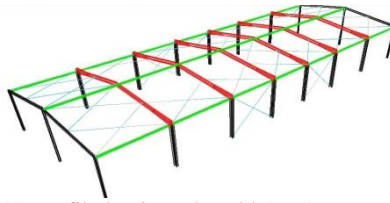
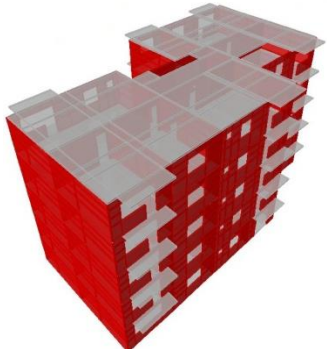
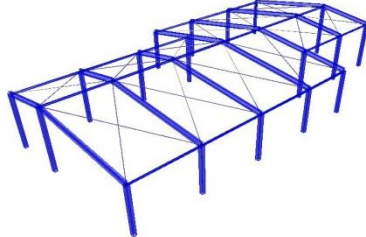
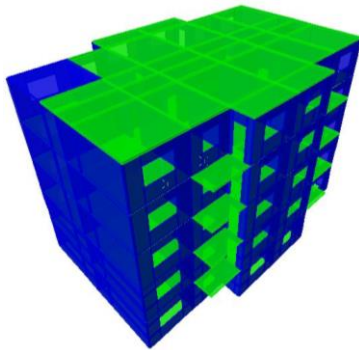

Tip bloc:	Sistem de supra-etajare	Secțiuni structura în cadre
 <p>IPCT T744R</p>	 <p>(a) Profile laminate la cald (HR)</p>	<p>Stalpi: HEB180 Grinzi: IPE220</p>
 <p>IPCT 1340</p>	 <p>(b) Secțiuni rectangulare tubulare (RHS)</p>	<p>Stalpi: RHS220×220×8 Grinzi: IPE220</p>
 <p>IPCT 770</p>	 <p>(c) Secțiuni formate la rece (CF)</p>	<p>Stalpi: 2C300×2 (secțiuni compuse) Grinzi: 2C300×2</p>

Fig. 5. Soluții propuse pentru supra-etajari din oțel pentru principalele tipuri de blocuri: a) T744R, b) 1340, c) 770 [10-13].

Pentru aplicarea în siguranță a acestor soluții de supra-etajare pe acest bloc existent, a trebuit să se evalueze rezistența structurală a acestei tipologii de bloc. Într-o a doua etapă a fost analizat întregul ansamblu, cu supra-etajarea adăugată.

Mai mult, a fost necesară o analiză FEM a imbinarilor stâlp-bază ale celor 3 soluții diferite de oțel pentru a evalua viabilitatea acestei soluții alese (vezi fig. 6). Studiul FE a fost realizat utilizând software-ul ABAQUS 6.7 și a constatat în 6 ansambluri de stâlp-bază (articulate și rigide). Toate imbinările analizate au dovedit un comportament semi-rigid și s-a observat cedarea la nivelul secțiunilor de oțel și nu la nivelul plăcii de beton (vezi fig. 7).

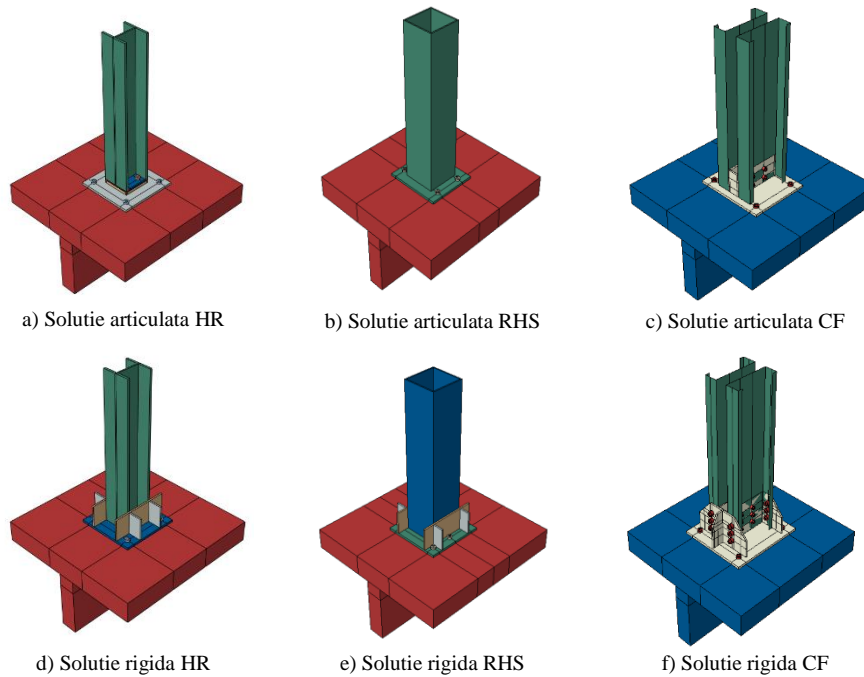


Fig. 6. Soluții pentru imbinarea stâlp-bază.

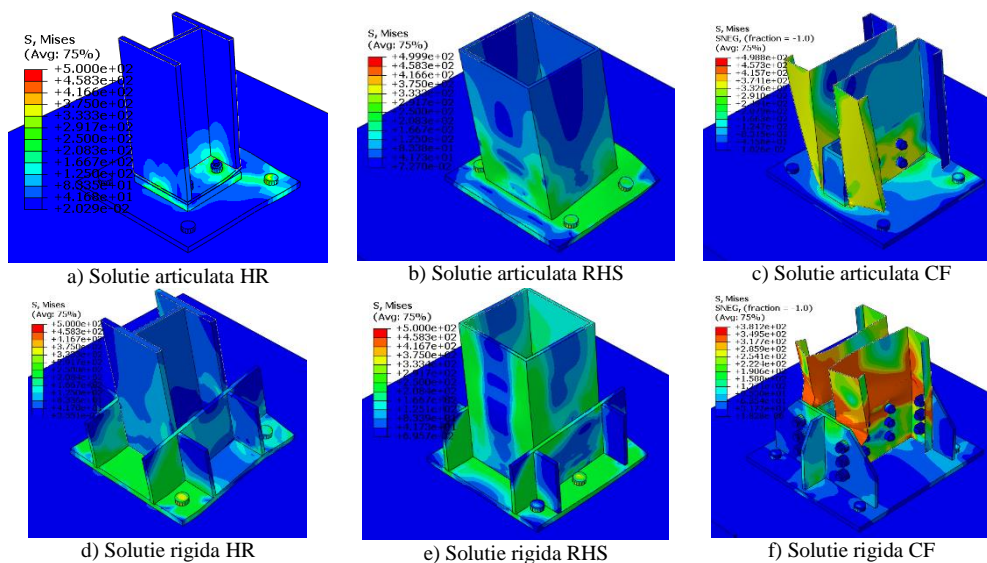


Fig. 7. Starea limită ultimă a imbinărilor stâlp-bază: eforturi și deformații plastice.

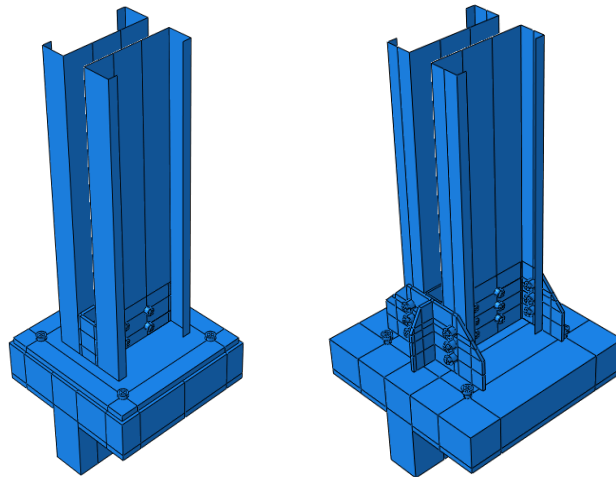
Studiul a condus la următoarele concluzii principale:

- supra-etajarea blocurilor prefabricate din beton este posibilă prin descărcarea structurii existente a straturilor de placa inițială. În acest fel, sunt atinse condiții similare de încărcare pentru structura existentă;
- structurile originale posedă rezerve importante de rezistență pentru a răspunde condițiilor din normativele actuale de încărcare și verificare;
- soluțiile bazate pe oțel reprezintă opțiuni potrivite pentru supra-etajari, cu grijă suplimentară pentru detaliile imbinării stâlp-bază. Toate soluțiile analizate - HR, RHS și CF - sunt fezabile și conduc la diferite avantaje;
- pot fi aplicate imbinări articulate sau rigide. Ambele sisteme dezvoltă valori de rigiditate care nu afectează distribuția forțelor în cadrul structurii.

Studiul FEA a fost apoi dezvoltat pe soluția cu secțiuni CF, încercând să se optimizeze sistemul de ancorare la blocul de beton și, de asemenea, cu o soluție de stâlp distanțat și

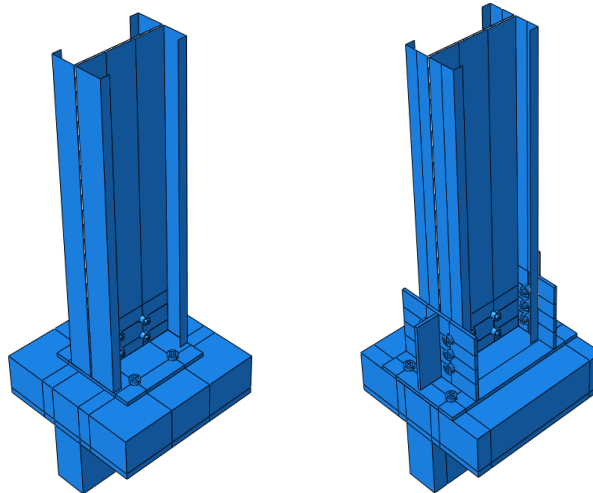


nedistanțat.



(a) Imbinare semi-rigida stalp-baza cu secțiuni distantate

(b) Imbinare rigida stalp-baza cu secțiuni distantate



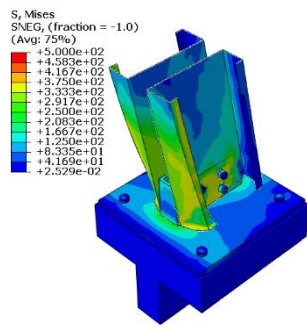
(c) Imbinare semi-rigida stalp-baza cu secțiuni apropiate

(d) Imbinare rigida stalp-baza cu secțiuni apropiate

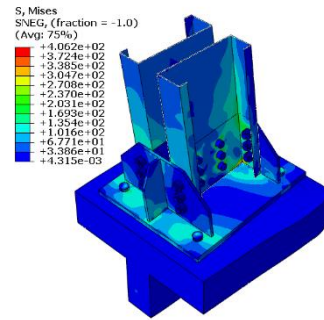
Fig. 8. Cold-formed steel column-base connections.

S-au obtinut urmatoarele rezultate:

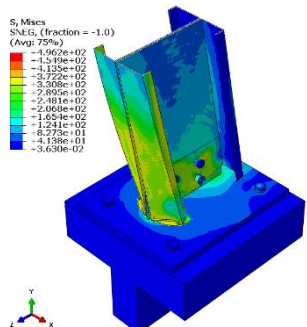
- (1) modelele semirigide prezintă eforturi maxime în jurul gaurilor pentru șuruburi și în talpile în compresiune; în condițiile de încărcare maximă talpile comprimate au dezvoltat un fenomen asemănător cu flamabarea inimii;
- (2) placa de bază a stâlpului prezintă deformații în zona de tensionare (vezi fig. 9a, c);
- (3) la modelul rigid, rigidizările nu permit rotirea secțiunii, astfel talpile sunt zdrobite și apare un fenomen asemănător cu flamabarea inimii (vezi fig. 9 b, d);
- (4) blocul de beton în ambele modele prezintă eforturi considerabile în condiții de încărcare completă și mai ales local pe găurile ancorelor; totuși, secțiunile stâlpului au cedat mult mai devreme înainte ca betonul să atingă limita sa de cedare (vezi fig. 9).



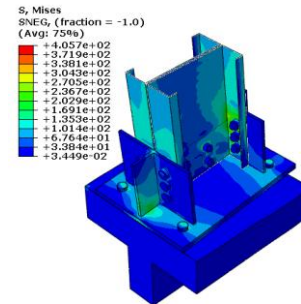
(a) Imbinare semi-rigida stalp-baza cu secțiuni distantate



(b) Imbinare rigida stalp-baza cu secțiuni distantate



(c) Imbinare semi-rigida stalp-baza cu secțiuni apropiate



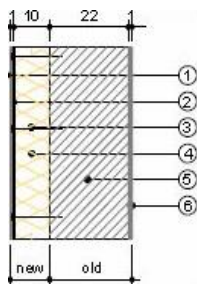
(d) Imbinare rigida stalp-baza cu secțiuni apropiate

Fig. 9. Distribuția tensiunilor la imbinările stâlp-bază din oțel format la rece folosind ancore chimice.

În final, în acest capitol se încearcă analiza a 3 opțiuni de anvelopa pentru aceste sisteme de supra-etajare pentru a îmbunătăți echilibrul termic și energetic al întregului modul și pentru a oferi o soluție holistică în ansamblu. Așadar, pe aceste 3 solutii de panouri termoizolante se efectuează o analiza de ciclu a vietii.

Tabel 1. Solutii de reabilitare a anvelopei.

	Tip element	t [mm]	Greutate/arie [kg/m <sup>2</sup> ]
Solutia 1	1-Mortar adeziv	10	7.5
	2-Plasa din fibra de sticla		0.16
	3-Elemente de legătură (nituri de oțel/discuri de plastic)	-	0.35 0.056
	4-Polistiren extrudat (14 cm)	140	4.5
	5-Beton armat	220	-
	6-Tencuiala interioara	10	-
Solutia 2	1-Caramida decorativa	15	33
	2- Elemente de legătură (nituri de oțel/discuri de plastic)	-	1 0.168
	3-Spatiu pentru ventilare	0	-
	4-Vata bazaltica (16 cm)	160	11.5
	5- Beton armat	220	-



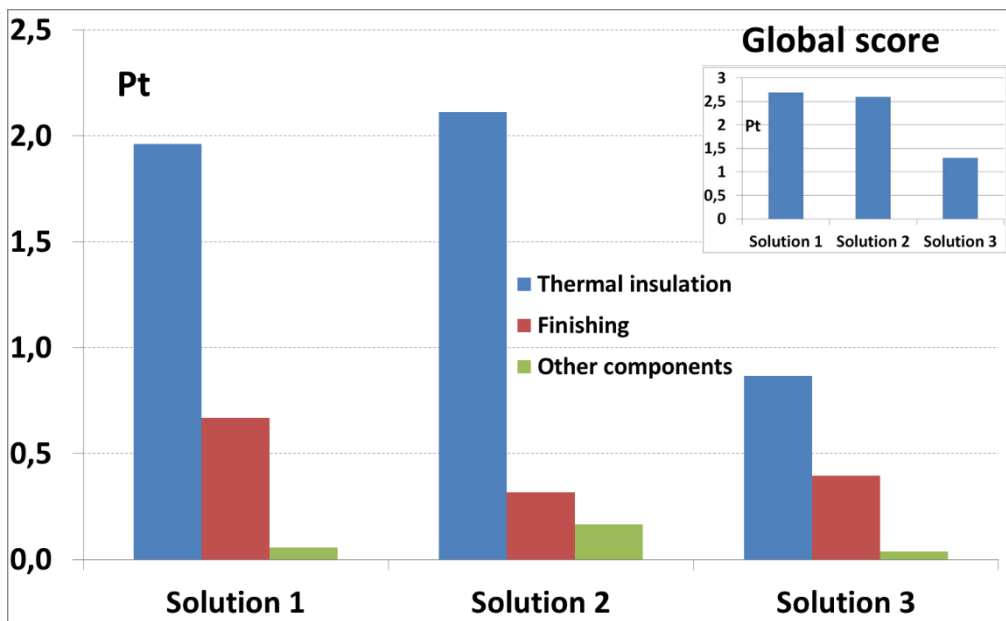
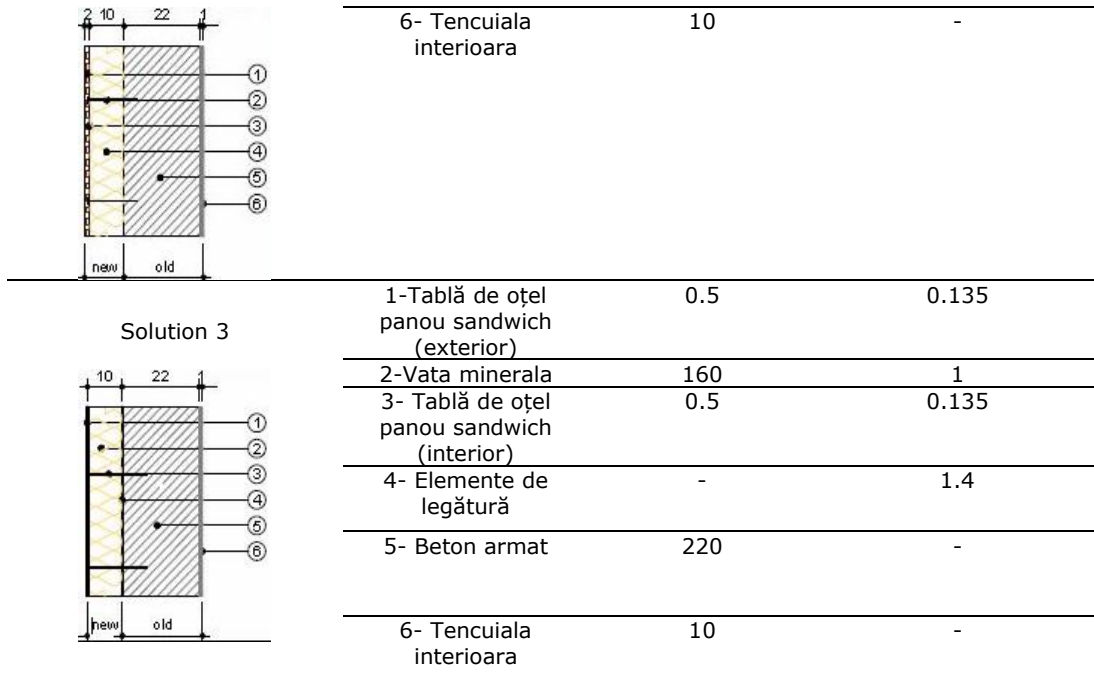


Fig. 10. Analiza de impact asupra mediului pentru sistemele de reabilitare a anvelopei.

## CAPITOLUL 5

Acest capitol conține detalii despre testele experimentale pe îmbinările stalp-baza la scară completă (6 încercări). Acesta include setupul, încărcarea aplicată, instrumentația folosită. De asemenea, conține detalii despre testele componentelor, inclusiv testele pe cupoane pentru a determina proprietățile materialului.

Cele 6 teste experimentale sunt următoarele:

- 1) Imbinare semirigida stalp-baza din beton în încărcare monotonă (2C300x1) (SRCB-M-1);
- 2) Imbinare semirigida stalp-baza din beton în încărcare monotonă (2C300x2) (SRCB-M-2);
- 3) Imbinare semirigida stalp-baza din beton în încărcare ciclică (2C300x1) (SRCB-C-1);
- 4) Imbinare semirigida stalp-baza din beton în încărcare ciclică (2C300x1) (SRCB-C-1-2);
- 5) Imbinare rigida stalp-baza din oțel în încărcare monotonă (2C300x2) (RCB-M-2);
- 6) Imbinare rigida stalp-baza din oțel în încărcare ciclică (2C300x2) (RCB-C-2).

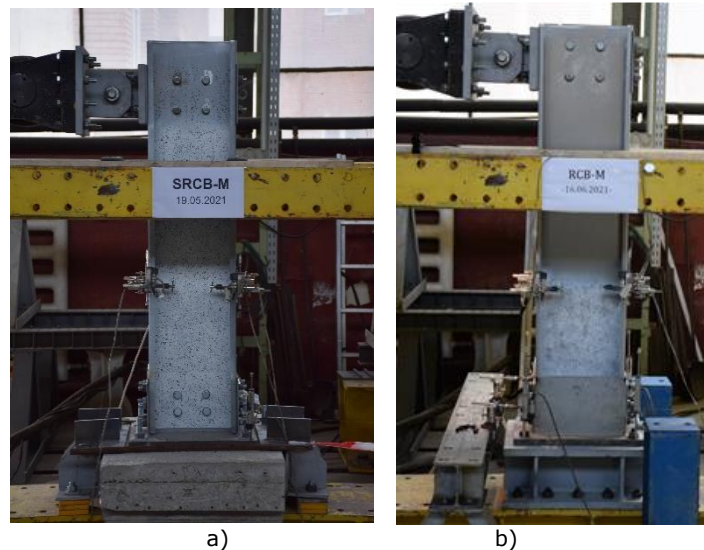


Fig. 11. Imbinari stalp-baza: a) cu baza din beton, b) cu baza din oțel.

Au fost efectuate teste inițiale pe stâlpi 2C300x2 pentru a evalua capacitatea bazei de beton. Modelarea anterioară FEM a acestui ansamblu a demonstrat că înălțimea bazei de beton (14 cm), găsită pe aceste tipuri de blocuri rezidențiale este mai mică decât adâncimea necesară pentru ancorarea chimică. Astfel, s-a turnat un strat de beton de 6 cm pe specișenele de plăci de beton existente cu conectori HILTI. Acest lucru asigură, de asemenea, o întârziere în fisurarea bazei de beton și crește capacitatea materialului de beton. Noile plăci de beton au fost testate inițial în teste experimentale în laboratorul CEMSIG de către prof. Florea Dinu la comanda ASERA CONSULTING S.R.L.



Fig. 12. Ansamblurile stalp-bază de beton utilizate în încercările experimentale.

Au fost efectuate teste pe cupoane pentru a determina proprietățile materiale ale elementelor stâlpilor. S-au tăiat cupoane din zona inimii și talpilor stâlpilor, pentru ambele secțiuni utilizate (C300x1 și C300x2) și din zona de racord talpa-inima (vezi fig. 13). Cupoanele au fost tăiate și testate (încercări de tracțiune și compresiune) conform standardelor (ISO 6892-1, 2019), cu o rată de încărcare de deplasare de 1.5 mm pe minut (vezi fig. 14).



Fig. 13 Coupon test samples for material tests.

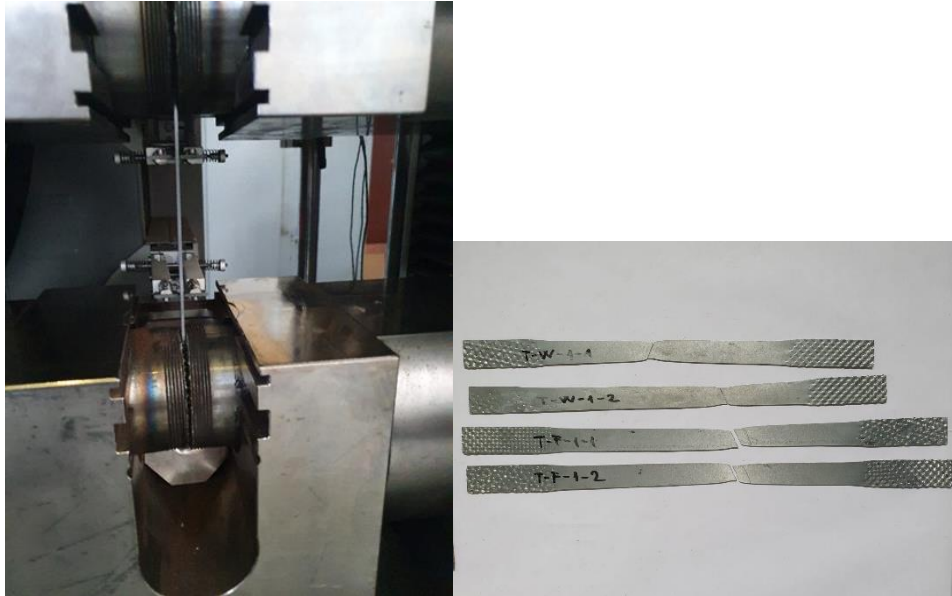


Fig. 14. Testarea probelor de cupoane de material.

Pentru toate epruvetele testate la tracțiune, curba caracteristică a materialului este similară după cum se poate observa în fig. 15 -16.

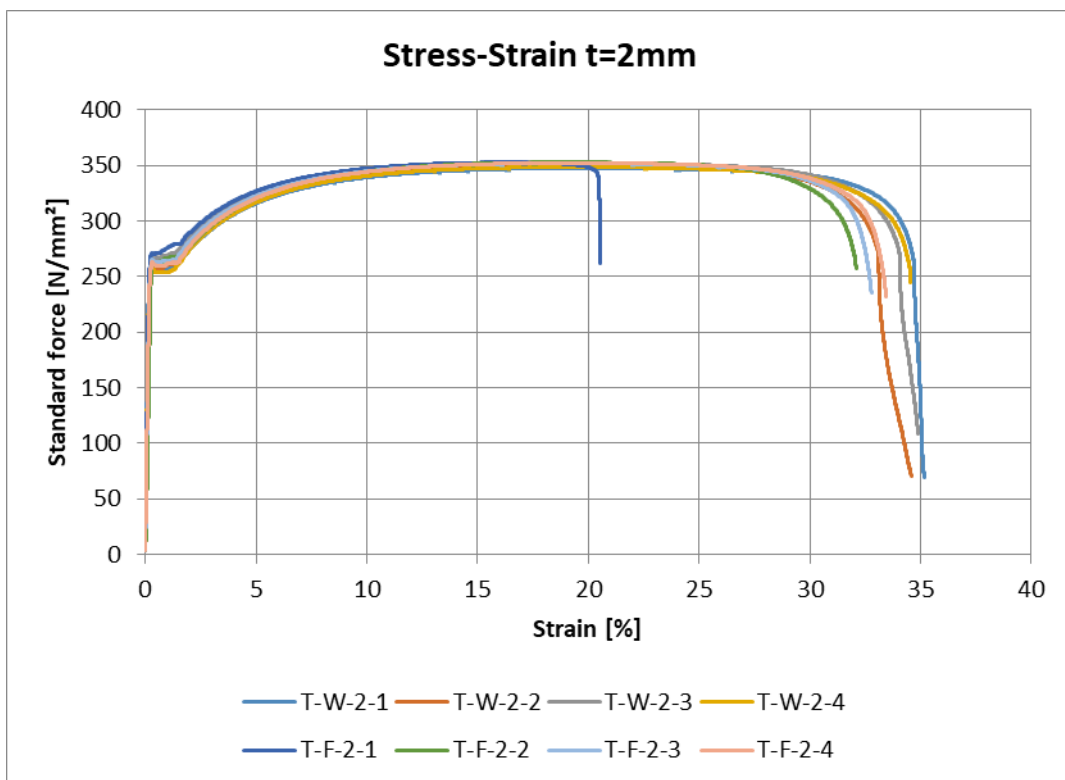


Fig. 15 Curbele caracteristice  $\sigma$ - $\epsilon$  ale materialului de bază pentru secțiunile C300x2.

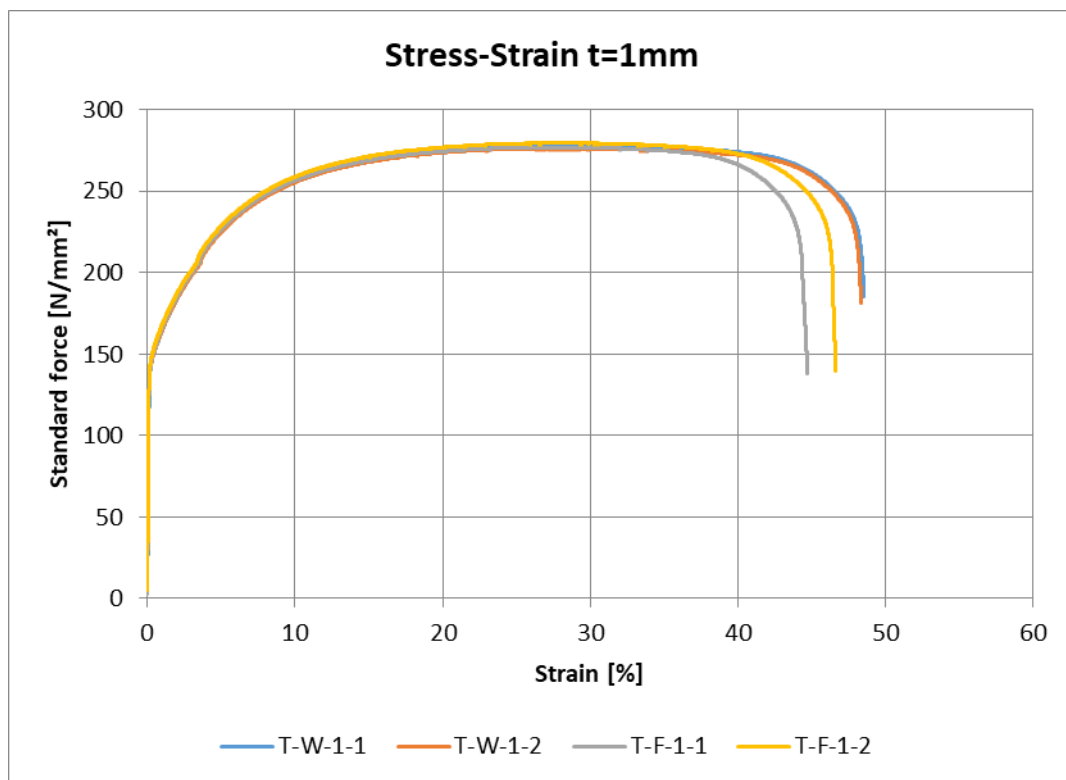


Fig. 16. Curbele caracteristice  $\sigma$ - $\varepsilon$  ale materialului de bază pentru secțiunile C300x1.

De asemenea, a fost analizată grosimea straturilor de material ale secțiunilor C, realizându-se o procedură radiografică.

Procedura radiografică pe talpile și inimile speciemenelor cu pereți subțiri SRCB și RCB a subliniat următoarele concluzii:

1) Grosimea reală a tablelor de oțel în zona inimii și talpilor ale speciemenelor SRCB este mai mică de 1 mm variind de la 0.9831 la 0.9993 mm;

2) Straturile de acoperire pentru probele SRCB în număr de trei se dovedesc a fi consistente în principal cu elementul de zinc;

3) Grosimea reală a tablelor de oțel în zona inimii și talpilor ale speciemenelor RCB este mai mică de 2 mm variind de la 2.021 la 2.023 mm;

4) Straturile de acoperire pentru speciemenele RCB în număr de patru se dovedesc a fi consistente în principal cu elementul de zinc, dar și cu o varietate de aliaje de ex. Ti, C, Mg, Si etc.;

5) Straturile de acoperire sunt foarte discontinue în grosime și omogenitate, ceea ce poate fi atribuit manufacturii defectuoase și erorilor în procedura de fabricație.

6) Imperfecțiunile de mai sus trebuie luate în considerare în calibrarea procedurii experimentale.

După ce ansamblurile de bază din beton-oțel au fost gata, a fost pregătit standul de testare experimentală. Testele experimentale au fost efectuate la laboratorul CEMSIG din Timisoara. Ansamblurile de imbinare la bază au fost poziționate pe grinda de oțel prezentată mai jos și s-au folosit plăci laterale sudate în Z pentru a preveni deplasarea laterală a blocului de beton (vezi fig. 17). Mai mult, au fost folosite grinzi de plastic pentru a preveni deplasarea laterală în afara planului în partea de sus a stâlpului. Actuatorul de încărcare a fost poziționat în partea de sus a stâlpului și stâlpul a fost tras monoton și ciclic.

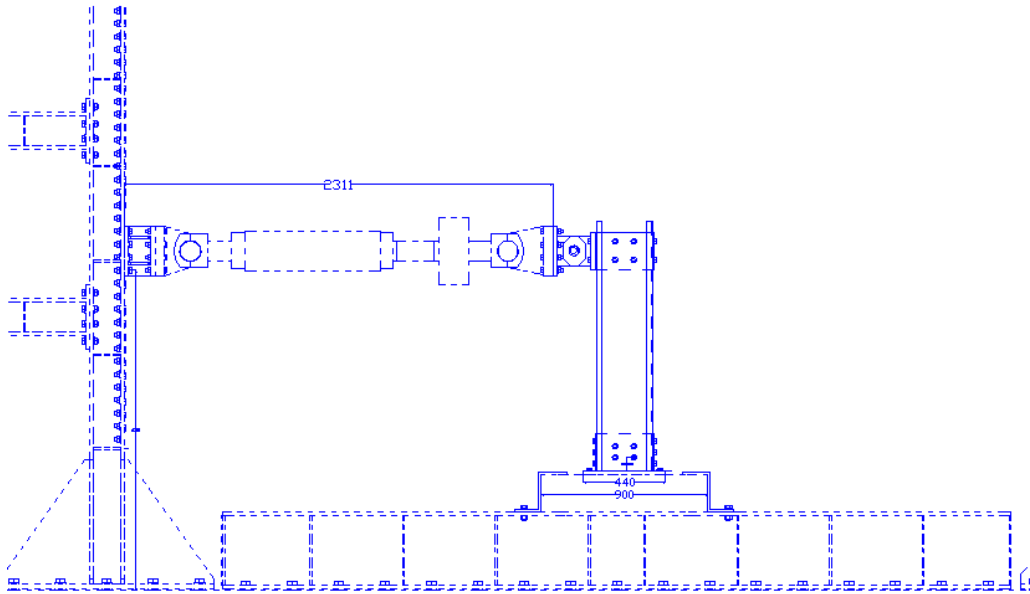


Fig. 17. Designul standului experimental.

Înainte de aplicarea încărcării, imperfecțiunile inițiale ale profilelor C au fost înregistrate cu VIC 3D, pentru înălțimea frontală și pentru talpile de comprimate.

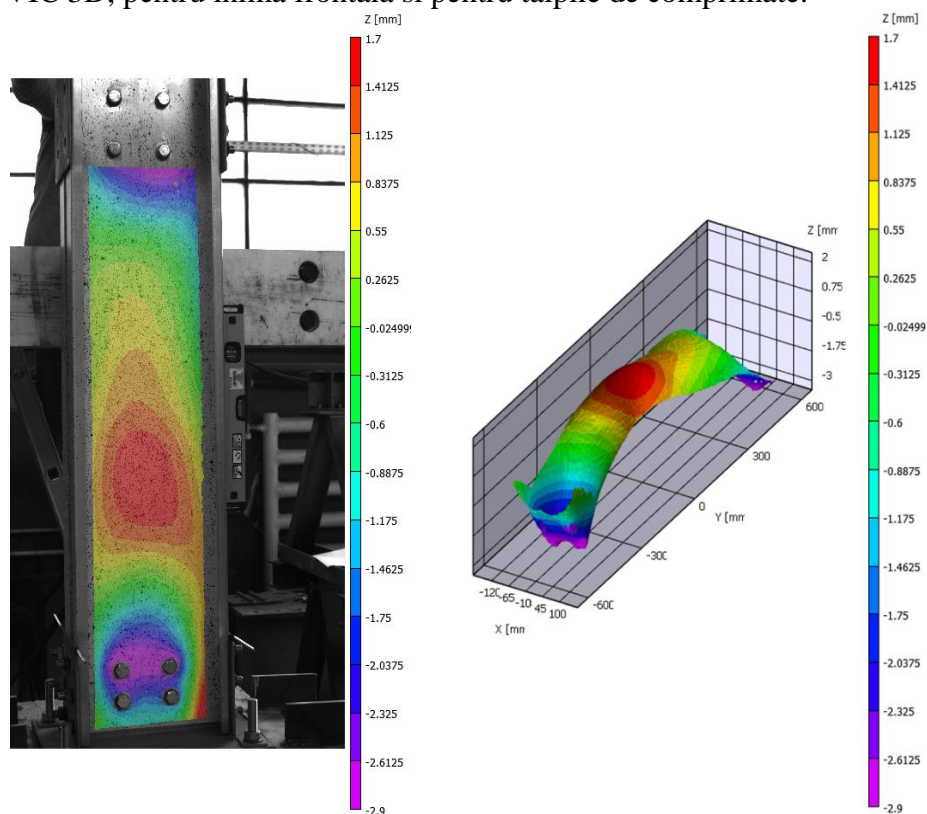


Fig. 18. Zona monitorizată pentru imperfecțiunea de pe înălțime și interpretare 3D.

Sunt prezentate rezultatele experimentale, inclusiv capacitatea de rezistență a stâlpului și modurile de cedare pentru diferite configurații stâlp-bază și condiții de încărcare. Sunt discutate contribuțiile și efectele diferitelor îmbinări la bază și rigidizări.

Programul experimental alcătuit dintr-o serie de 6 sisteme stâlp-bază realizat pentru determinarea comportării îmbinărilor stâlp-bază pentru soluțiile de supra-etajare a oferit următoarele concluzii::



- 1) Toate speci­me­ne­le de stalpi au pre­zen­tat im­per­fec­țiuni do­torate pro­ce­su­lui de fa­bri­ca­ție. Ace­ste im­per­fec­țiuni afec­tează com­por­ta­mentul sis­te­mului.
- 2) Pro­ce­dura mi­cro­gra­fică a ară­tat stra­ture ne­uni­forme și sub­țiri de aco­perire care afec­tează pro­prietă­țile ma­te­ri­alului.
- 3) Pro­filele C de 2 mm grosime pre­zintă ri­giditate su­fi­cien­ta la for­tele ap­licate, de­for­marea lor fi­ind mi­nima; to­tuși, so­licitarea este astfel mai mare în blocul de beton, ceea ce pro­voacă ce­darea prin fi­surare a conu­rilor din zona de an­corare.
- 4) Toate speci­me­ne­le au pre­zen­tat flambarea inimii și talpilor pe direc­ția de încărcare, com­por­ta­ment spec­ific acestor pro­file cu pere­ți sub­țiri.

## CAPITOLUL 6

Se discută despre modelul FEA, inclusiv calibrarea și validarea acestuia la rezultatele experimentale și, de asemenea, la lucrările existente în literatura. Nu în ultimul rând, include studii parametrice pentru imbinările stâlp-bază folosind parametri precum grosimea plăcii, grosimea rigidizării, gradul șuruburilor etc.

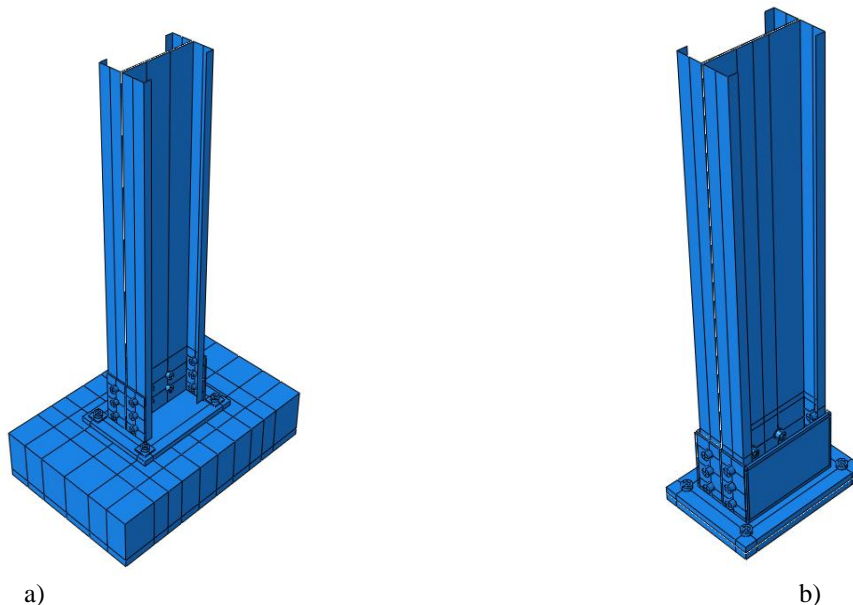


Fig. 19. Vedere 3D a principalelor modele de calibrare de EF.

Pentru modelarea secțiunilor de oțel formate la rece au fost folosite elemente SHELL de tip S4R, cu 4 noduri, integrare redusă, 6 DOF per nod. Acest element de tip shell cu patru noduri are șase grade de libertate per nod. Poate lua în considerare proprietățile neliniare ale materialelor și deformatiile finite ale membranei și oferă control hourglass și integrare redusă a discretizării. În urma unei analize a sensibilității discretizării, a fost selectată o dimensiune a elementelor de EF de  $10 \times 10$  mm pentru a garanta acuratețea numerică adecvată, menținând în același timp timpul de calcul în limite acceptabile.

Pentru toate celelalte secțiuni au fost utilizate elemente BRICK de tip C3D8R, cu 8 noduri, integrare redusă, 6 DOF per nod. Pentru a obține rezultate precise, s-a folosit solverul dinamic explicit.

Au fost utilizate modele de materiale biliniare și multiliniare pentru toate elementele, în afară de secțiunile formate la rece analizate. Comportamentul materialului de oțel utilizat în profilele stalpilor experimentali a fost introdus în analiza FEA, după transformarea acestuia în efort - deformare logaritmic. O atenție deosebită a fost acordată rășinii epoxidice în care sunt încorporate ancorele, deoarece s-au folosit proprietăți elastice documentate de material pentru

a simula efectul exact cu un modul elastic de  $3240 \text{ N/mm}^2$  (Mapefix EP 385).

Betonul a fost luat în considerare în analiza cu comportament elastic-plastic [14]. Opțiunea folosită pentru a simula plasticitatea betonului a fost plasticitatea deteriorată a betonului. Aceasta este aceeași clasă de beton ca cea utilizată în programul experimental (C20/25), care s-a dovedit că are aceleași caracteristici sau mai puternice ca și cele de proiectare prin testele efectuate cu materialul eșantion. Armarea betonului este de asemenea simulată în analiza FE ca tip sârmă și ca proprietate de interacțiune încorporată.

Într-o etapă următoare, deformațiile și tensiunile ingineresti au fost convertite în deformații și tensiuni plastice logaritmice (efort-deformare true), în timp ce regula de linear kinematic hardening disponibilă în ABAQUS a fost adoptată pentru a simula comportamentul de întărire al materialului.

Analiza dinamică explicită (controlul deplasării) a fost utilizată cu o deplasare laterală maximă care a reprezentat mai mult de  $0.025 h$  ( $h$  – înălțimea nivelului) deplasare laterală la starea limită ultimă.

Imperfecțiunile inițiale au fost introduse în analiza FE prin perturbații în geometrie.

În experimente, precum și în modelul FE, modul de flambaj global al stalpului CFS a fost prevenit datorită prezenței sistemului de contravântuire laterală. Prin urmare, în modelele FE a fost inclusă doar o imperfecțiune locală sau de distorsiune (oricare dintre moduri a avut încărcarea critică de flambaj mai mică). Amplitudinile imperfecțiunii de  $0.94t$  și  $0.34t$  (unde  $t$  este grosimea secțiunii) au fost utilizate pentru imperfecțiunile distorsionale și, respectiv, locale [15].

Condițiile limită au fost impuse modelului FE. Toate cele trei grade de libertate de translație ale nodurilor ale bazei de beton a stalpului au fost constrânse ( $UX = UY = UZ = 0$ ), în timp ce deplasările orizontale ale nodurilor superioare au fost, de asemenea, constrânse ( $UX = UY = 0$ ). Caracteristica de contact „Hard” a fost folosită între fețele de legătură ale inimii stalpilor și plăcile de profil I pentru a evita pătrunderea suprafețelor una în cealaltă. Toate gradele de libertate ale secțiunii de capăt a stalpului, unde a fost aplicată încărcarea externă, au fost cuplate la un punct de referință (RP) situat la mijlocul înălțimii inimii profilelor.

Pentru cazurile de încărcare ciclică, protocolul de încărcare aplicat a fost calculat folosind FEMA-461.

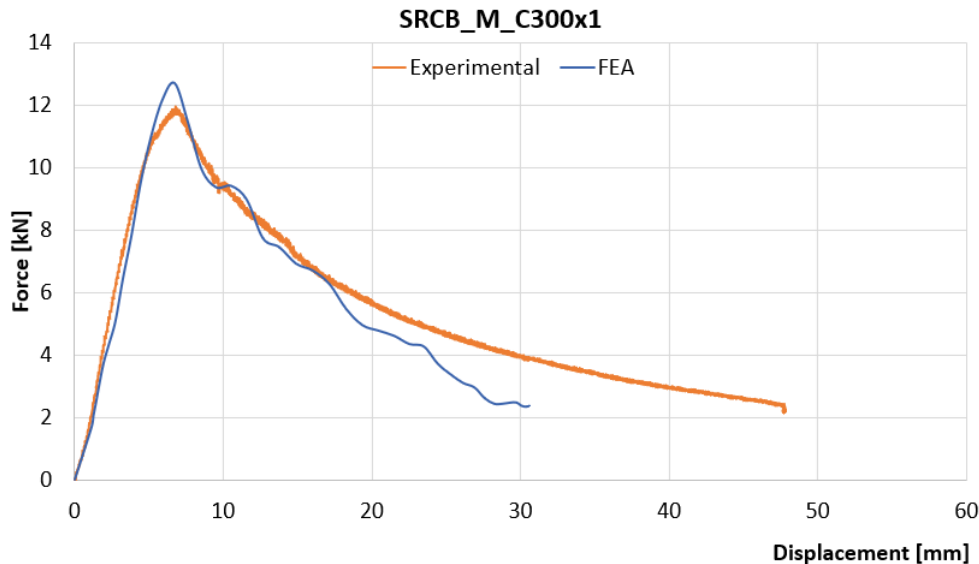


Fig. 20. Comparație curbă forță-deplasare SRCB (model experimental vs. model FE ) în încărcare monotona.

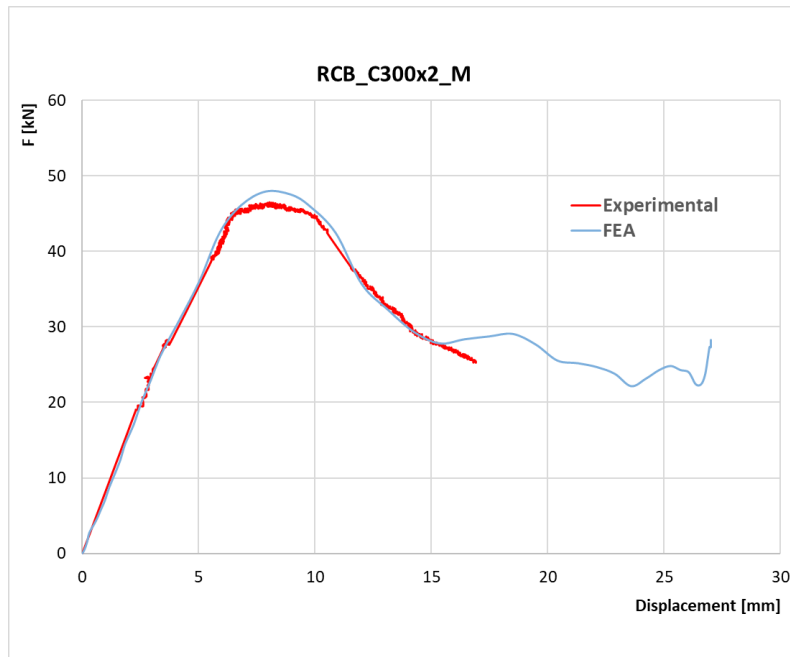


Fig. 21. Comparație curbă forță-deplasare RCB (model experimental vs. model FE ) in incarcare monotona.

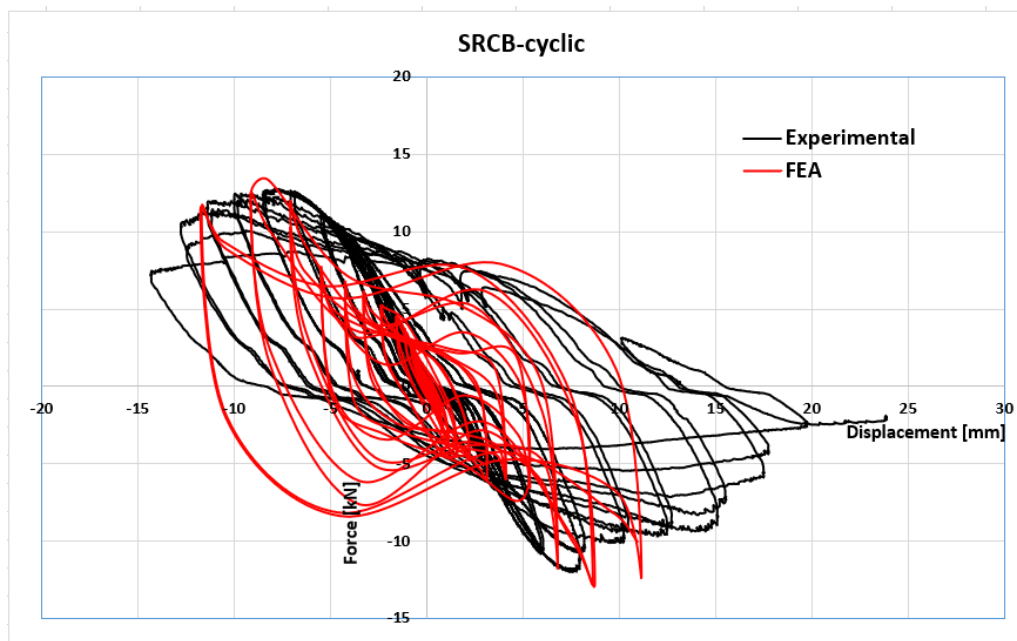


Fig. 22. Comparație curbă forță-deplasare SRCB (model experimental vs. model FE ) in incarcare ciclica.

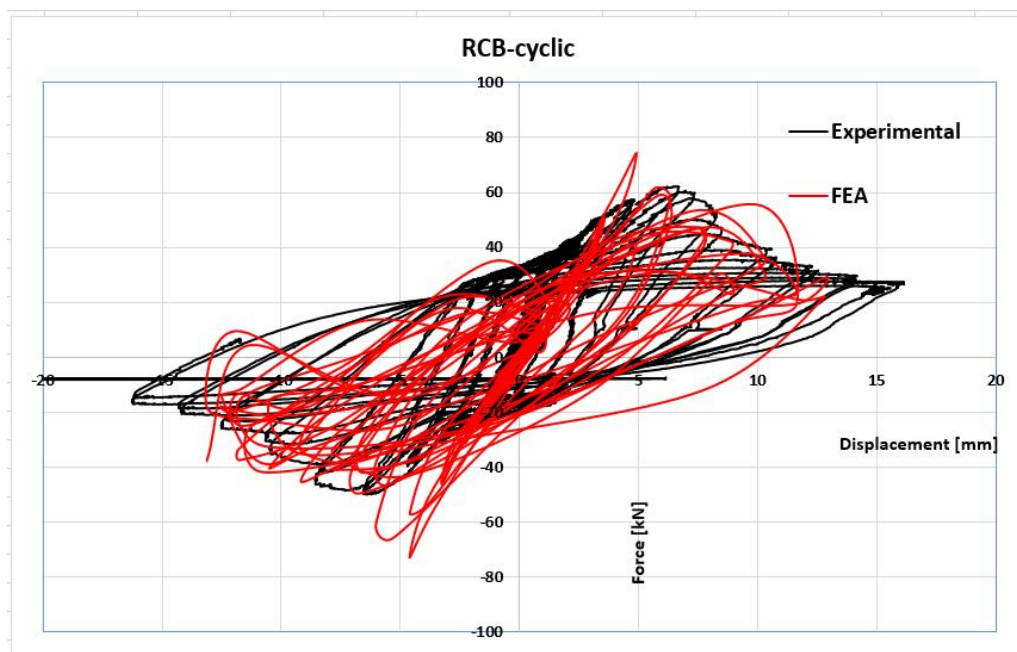


Fig. 22. Comparație curbă forță-deplasare RCB (model experimental vs. model FE) în încărcare ciclică.

Diagramele forță-deplasare arată o corelație bună între programul experimental și modelul FE, discrepanța de deplasare la curgere poate fi pusă pe seama erorii umane și a imperfecțiunilor materialelor care nu au putut fi luate în considerare în totalitate în modelele FE. Cu toate acestea, modelul numeric FE arată o ductilitate mai mare și o capacitate de rezistență mai mică la curgere, care pot fi corelate cu diferențele dintre curbele materialelor.

O analiză numerică parametrică ulterioară a fost efectuată pentru a demonstra eficiența imbinarilor stalp-bază formate la rece alese. Simulările numerice au fost efectuate folosind software-ul FE ABAQUS 6.7. pentru scenariile de caz cu încărcare monotona.

Tabelul 1. Parametrii analizați pentru fiecare studiu de caz.

Studiu de caz	Parametri				
	Grosime placa de baza stalp [mm]	Grosime profil C [mm]	Diamentru ancore mecanice [mm]	Grosime profil I [mm]	Clasa suruburilor
SRCB	10	2	16	8	8.8
	15	3	24	10	10.9
	25	-	-	-	-
RCB	10	2.5	-	-	-
	15	3	-	-	-
	25	-	-	-	-

Studiul a arătat că atât pentru studiile de caz pentru SRCB cât și RCB, grosimea plăcii de bază și grosimea profilului secțiunii C se dovedesc a fi foarte importante în variația rezistenței și ductilității întregului ansamblu.

Astfel, nu se recomandă o scădere a grosimii plăcii de bază mai mică de 15 mm. De asemenea, o scădere a grosimii profilului C este recomandată numai dacă obiectivul este o ductilitate mai mare și cedarea stalpului înaintea bazei. Acesta din urmă este de dorit pentru a evita fisurarea bazei de beton și smulgerea ancorei, rezultat care este important pentru aceste tipuri de soluții de supra-etajare.

## CAPITOLUL 7

Această parte detaliază procedura analitică, care presupune proiectarea structurilor formate la rece cu îmbinări semirigide.

Ansamblul stalp-bază a fost detaliat numeric și experimental în capitolele 5 și 6. Cu toate acestea, pentru o imagine completă a întregului sistem de cadru, îmbinările de streasina și coama ale sistemului de cadru portal peste supra-etajare trebuiau investigate în continuare.

Astfel, software-ul analitic IDEA StatiCa [16] a fost utilizat pentru a determina capacitatea și comportamentul îmbinărilor de streasina și coama ale sistemului de cadru de supra-etajare. Modelele analitice au fost comparate cu rezultatele experimentale din modelele de referință prezentate și detaliate de Zsolt Nagy în lucrarea de doctorat [17].

Pentru a demonstra eficiența software-ului, într-o primă etapă, s-au modelat îmbinările de streasina și coama utilizate în experiment (secțiuni 2C350x3 pentru grinzi și stâlpi) și s-a comparat capacitatea și comportamentul acestora. După confirmare, îmbinările de streasina și coama utilizate în prezenta teză (2C300x1 și 2C300x2) au fost modelate și analizate.

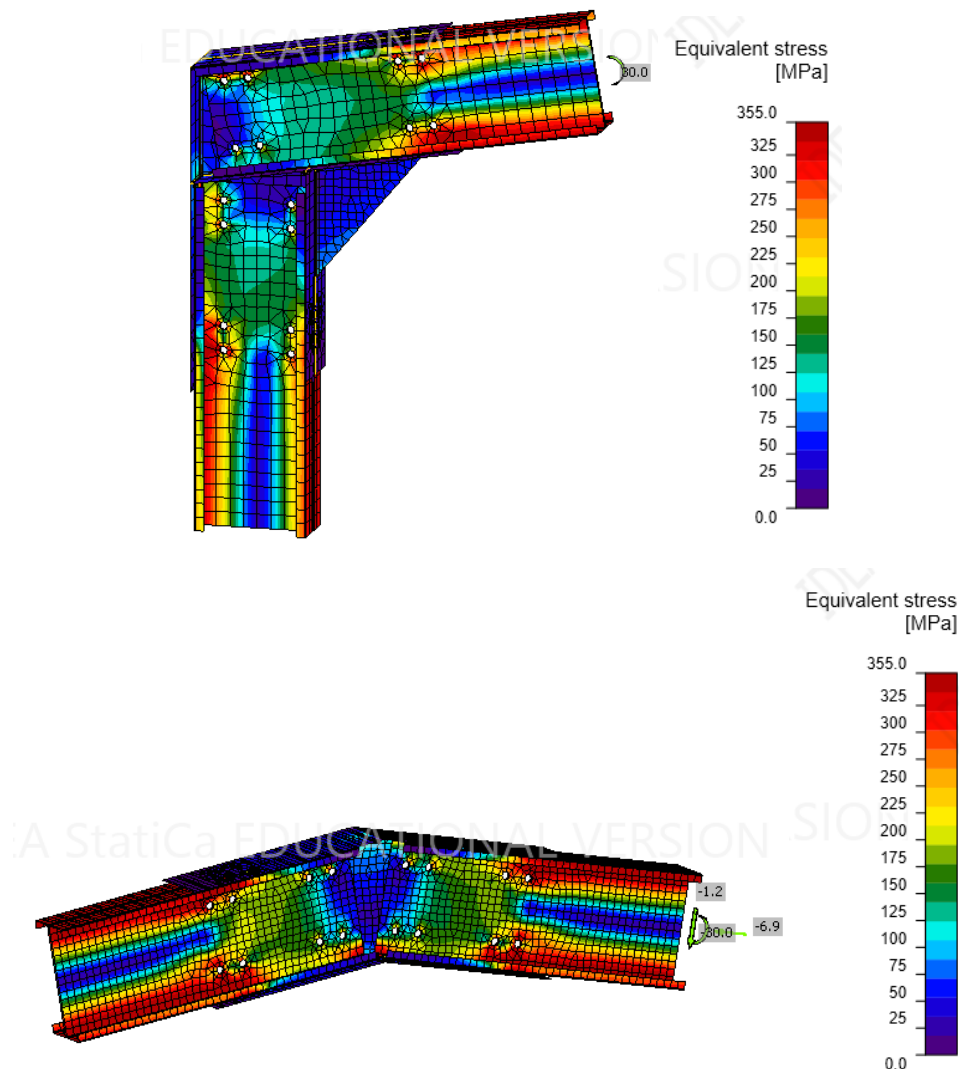


Fig. 23. Eforturi in îmbinările de streasina și coama in IDEA StatiCa la momentul de proiectare.

A fost propus apoi un program parametric pentru acest tip de îmbinări de coama și streasina.

Parametrii analizați au fost:

1. Grosimea profilului C (3, 2.5, 2 pentru C350; 2;1 pentru C300);
2. Marca oțel pentru secțiunea C (S355, S450);
3. Tipul de șurub de imbinare (M16, M20, M24);
4. Clasa șuruburilor (6.8, 8.8);
5. Distribuția șuruburilor (1-2 șuruburi pe talpi; 2-3 șuruburi pe talpi; 3-fără șuruburi pe talpile inferioare);
6. Marca oțel pentru placile de imbinare (S235, S355).

Într-o a doua etapă, în IDEA STATICA sunt analizate diferite propuneri de proiectare stâlp-bază pentru a oferi o mai bună imagine a posibilităților de conectare a acestui tip de soluție de supra-etajare la blocul de beton existent. Mai mult, imbinările stalp-bază utilizate în programul experimental și descrise în capitolul 5 (SRCB-2C300x1 și SRCB 2C300x2) sunt modelate pentru a le determina rigiditatea și rezistența și a le corela cu experimentul.

Situațiile de proiectare propuse sunt:

- 1) **Soluție rigidă/semi-rigidă** alcătuită din 2 profile C spate în spate (2C300x2) cu o placă de legătură intermediară de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. numai pe inima profilelor C și 3 rânduri de șuruburi de ancorare M24 4.6.
- 2) **Soluție semirigidă** (asemanătoare cu cea utilizată în programul experimental) formată din 2 profile C spate în spate (2C300x2) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. pe talpile și inimile profilelor C și 3 rânduri de șuruburi de ancorare M24 4.6.
- 3) **Soluție semirigidă/rigidă** alcătuită din 2 profile C spate în spate (2C300x2) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. numai pe inima profilelor C și 2 rânduri de șuruburi de ancorare M30 8.8; rigidizările sunt sudate perpendicular pe secțiunea I pe direcția încărcării aplicate.
- 4) **Soluție semirigidă/rigidă** alcătuită dintr-o secțiune compusă din 4 profile C (2 C400 + 2 C250) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. numai pe inima profilelor C și 4 rânduri de șuruburi de ancorare M24 6.8; rigidizările sunt sudate perpendicular pe secțiunea I pe direcția încărcării aplicate.
- 5) **Soluție semirigidă** (cea utilizată în programul experimental-model SRCB) alcătuită din 2 profile C spate în spate (2C300x1) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. pe inima și talpile profilelor C și 2 rânduri de șuruburi de ancorare M20 6.6. Baza este un bloc de beton.
- 6) **Soluție semirigidă** (cea utilizată în programul experimental - model SRCB) alcătuită din 2 profile C spate în spate (2C300x2) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime; șuruburi M16 8.8. pe inima și talpile profilelor C și 2 rânduri de șuruburi de ancorare M20 6.6. Baza este un bloc de beton.
- 7) **Soluție semirigidă/rigidă** (cea utilizată în programul experimental - modelul RCB) alcătuită din 2 profile C spate în spate (2C300x2) cu o secțiune intermediară de legătură I sudată de 6 mm grosime și rigidizări laterale de 8 mm grosime; șuruburi M16 8.8. pe inima și talpile profilelor C și 2 rânduri de șuruburi de ancorare M20 6.6. Baza grinda de oțel.

Nu în ultimul rând, rigiditățile calculate pentru imbinările de coamă, streasina și bază sunt implementate pe sistemul de cadre portal 3D prezentat în Capitolul 4 pentru blocul tip E744.R. Sistemul de cadre cu bază semirigid este comparat cu o soluție similară cu o bază rigidă și articulată.

A fost efectuat un calcul analitic în software-ul ETABS pe un sistem de supra-etajare 3D pentru a determina forțele/deplasările după aplicarea rigidităților calculate în software-ul IDEA StatiCa. Rigiditățile au fost aplicate la baza stalpului, apex și streasina. Au fost utilizate cele două tipuri de secțiuni de cadru utilizate în studiul experimental: SRCB(2C300x1) și SRCB

(2C300x2).

Într-o a doua etapă, rezultatele sunt comparate cu scenariile de caz ale sistemelor cu bază rigidă și articulată.

Configurația utilizată a fost detaliată în capitolele anterioare (vezi Capitolul 4) pentru tipul de bloc E744.R. Deschiderea cadrului portal este de 9.6 m, iar înălțimea stălpului este de 3 m. A fost folosită aceeași geometrie și au fost aplicate încărcări similare specifice regiunii Timișoara. Momentul, eforturile de forfecare și axiale au fost preluate din combinația de încărcare permanentă ( $ULS = 1.35P + 1.5S$ ), care s-a dovedit a fi scenariul de încărcare critică.

Verificările deplasării pentru grinzi au fost luate din combinația SLS ( $P + S$ ).

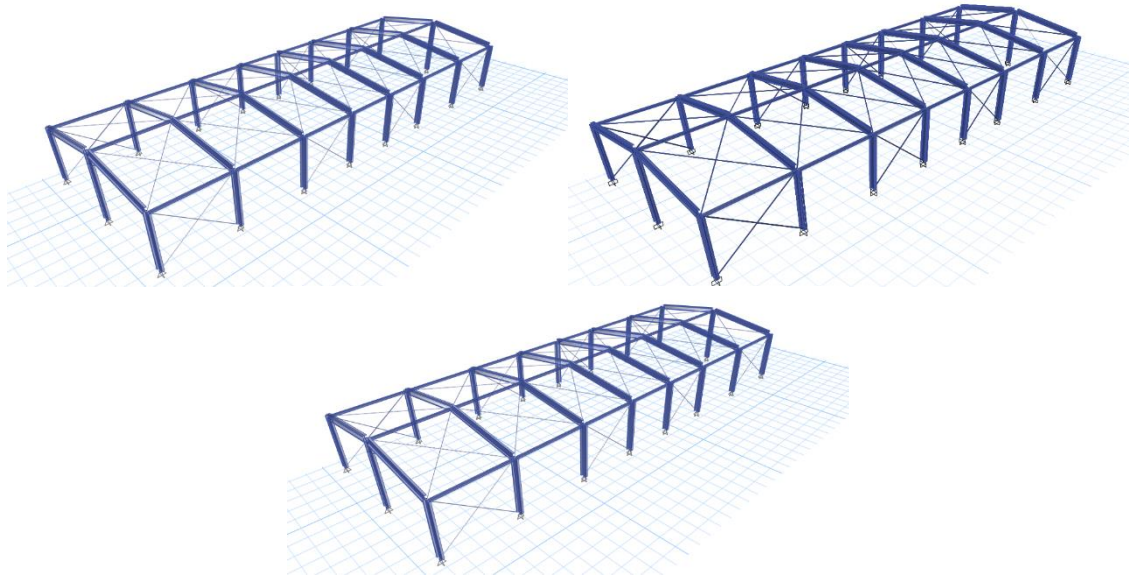


Fig. 24. Modelele 3D ale sistemelor de supra-etajare în cadre cu îmbinare la baza semi-rigidă, rigidă și articulată.

## CAPITOLUL 8

Partea finală rezumă concluziile studiului, contribuțiile personale și direcțiile ulterioare.

Potrivit unui studiu al Comisiei Europene, clădirile sunt responsabile pentru aproximativ 40% din consumul de energie și 36% din emisiile de CO<sub>2</sub>, clasificându-le drept cei mai mari consumatori de energie din Europa. Sectorul construcțiilor este așadar o problemă importantă care necesită o soluție pentru atingerea obiectivelor energetice și de mediu ale Uniunii Europene. În acest efort, UE a creat un cadru legislativ, care include Directiva privind performanța energetică a clădirilor 2010/31/UE (EPBD) și Directiva 2012/27/UE privind eficiența energetică, care sunt esențiale pentru îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor. Aceste directive au promovat politici, care urmăresc să realizeze în 2050 un fond de clădiri extrem de eficient din punct de vedere energetic și să reducă amprenta de carbon, creând un mediu stabil pentru deciziile de investiții și permițând consumatorilor și întreprinderilor să facă alegeri mai informate pentru a economisi energie și bani.

Reglementările și cadrul legal în Europa și în întreaga lume pentru supra-etajări și extensii modulare au fost deja stabilite și sunt foarte comune. Cu toate acestea, în România, politicile și dispozițiile legale încă lipsesc și este încă necesară o îmbunătățire în această direcție.

Restructurarea prin supra-etajare verticală constă în adăugarea unuia sau mai multor etaje deasupra structurii existente, rezultând o creștere a volumului total al clădirii. În funcție de mărimea și înălțimea noilor mase de adaos, este necesară reverificarea capacității portante a

structurii inițiale pentru a decide dacă se iau sau nu măsuri de consolidare. În zonele seismice această problemă poate fi foarte gravă, iar tehnicile tradiționale de construcție nu pot fi întotdeauna folosite pentru acest tip de restructurare. Necesitatea de a minimiza greutatea noii structuri de etaj adăugată, face ca secțiunile din oțel formate la rece să fie cea mai potrivită soluție.

Studiile efectuate asupra fondului de clădiri existent pentru municipiul Timișoara, au confirmat faptul că în perioada 1962-1990 au fost utilizate în principal trei tipuri diferite de proiecte. În prima perioadă a acestei dezvoltări urbane, între 1962 și 1975, cel mai utilizat proiect standard a fost T744R-IPCT. În a doua perioadă, 1975-1982, utilizat frecvent a fost proiectul de tip 770-IPCT, în timp ce în perioada 1982-1989 proiectul de tip 1340-IPCT a avut cea mai mare aplicație [9-12].

Soluțiile propuse pentru supra-etajare luate în considerare pentru cele trei tipologii principale de bloc construite la Timișoara în perioada 1962-1989 au fost: (a) T744R – profile laminate la cald (HR); (b) 1340 – secțiuni dreptunghiulare goale pentru stâlpi și profile laminate la cald pentru grinzi (RHS); (c) 770 – secțiuni de oțel formate la rece (CF).

Proiectul 744 R (Db1) a fost ales pentru analiză ulterioară (vezi Etapa 1962-1975 – tip proiect I.P.C.T.: „CLĂDIRI REZIDENȚIALE P+4 DIN PROIECT PREFABRICAT din BETON ARMAT T 744.R).

Condițiile de proiectare au inclus verificarea atât a structurii vechi de beton, cât și a structurii de acoperiș din oțel. Pentru structura din beton s-au făcut aceleași verificări ca și în cazul structurii originale. Având în vedere condițiile de încărcare exprimate mai sus, a rezultat că structura de beton poate prelua în mare măsură sarcinile induse de structura suplimentară din oțel.

Cea mai importantă concluzie extrasă din proiectarea structurală a componentelor structurale din beton vechi și noi din oțel a relevat faptul că sistemul de supra-etajare s-a dovedit a fi suficient de ușor pentru a nu supraîncărca structura existentă. În acest proces, îndepărtarea straturilor vechi de hidroizolație și termoizolație ușurează structura betonului considerabil. De asemenea, analizele efectuate pentru structurile din oțel conduc la concluzia că nu există nicio diferență semnificativă în proiectarea structurii din oțel pe acoperișul structurii din beton sau pe sol, din cauza comportamentului foarte rigid al structurii din beton. În consecință, proiectarea la sol a structurii de oțel este sigură și poate fi utilizată de proiectanți.

În ceea ce privește imbinarea stalp- bază, a fost efectuată o analiză FEA în ABAQUS 6.7; pentru toate cele trei cazuri, a fost aleasă o soluție articulată și rigidă, așa cum este considerată în proiectarea structurală.

Studiul a condus la următoarele concluzii principale:

- supra-etajarea blocurilor prefabricate din beton este posibilă prin descărcarea structurii existente a straturilor de panta inițiale. În acest fel, sunt atinse condiții similare de încărcare pentru structura existentă;
- structurile originale posedă rezerve importante de rezistență pentru a răspunde condițiilor normative actuale de încărcare și verificare;
- soluțiile din oțel reprezintă opțiuni potrivite pentru supra-etajare, cu grijă suplimentară pentru detaliile imbinărilor stâlp-bază. Toate soluțiile analizate - HR, RHS și CF - sunt fezabile și conduc la diferite avantaje;
- pot fi aplicate imbinări cu secțiuni apropiate sau departate. Ambele sisteme dezvoltă valori de rigiditate care nu afectează distribuția forțelor în cadrul structurii.

Pentru a demonstra în continuare eficiența imbinărilor stalp-bază alese ca fiind cele mai potrivite pentru acest studiu, au fost efectuate simulări numerice folosind software-ul FE ABAQUS 6.7. Imbinările la bază semi-rigide și rigide folosind profile din oțel formate la rece au fost analizate folosind ancore chimice și mecanice.



S-au obtinut urmatoarele rezultate:

- (1) modelele semirigide prezintă tensiuni maxime în jurul gaurilor pentru șuruburi și în talpile în compresiune; în condițiile de încărcare maximă talpile în compresiune au dezvoltat un fenomen similar cu flambarea inimii;
- (2) placa de bază a stâlpului prezintă deformații în zona de tensionare;
- (3) la modelul rigid, rigidizările nu permit rotirea secțiunii, astfel că talpile sunt zdrobite și apare un fenomen asemănător cu flambarea inimii;
- (4) planșea de beton în ambele modele prezintă micro-fisuri în condiții de încărcare completă și mai ales local pe găurile pentru șuruburi; totuși, secțiunile stâlpului au cedat mult mai devreme înainte ca betonul să atingă limita sa de cedare.

Ultimele soluții formate la rece verificate au fost apoi implementate în sistemul de cadre al supra-etajării pentru a observa comportamentul global.

Analiza structurală a condus la următoarele concluzii principale:

- supra-etajarea blocurilor prefabricate din beton este posibilă prin descărcarea structurii existente a straturilor de panta inițiale. În acest fel, sunt atinse condiții similare de încărcare pentru structura existentă;
- structura inițială posedă rezerve importante de rezistență pentru a răspunde condițiilor reale din normative de încărcare și verificare;
- sistemele structurale ușoare sunt opțiuni potrivite pentru supra-etajare, cu grijă suplimentară pentru detaliile imbinării stâlp-bază.

Următorul pas a fost oferirea unei soluții holistice pentru întregul ansamblu prin verificarea unui sistem de soluție de reabilitare a anvelopei din punct de vedere al durabilității, costurilor, siguranței.

Pentru a face o alegere a sistemului de termoizolație au fost analizate trei soluții pentru reabilitarea anvelopei clădirii existente și supra-etajării adăugate: polistiren, vată bazaltică și vată minerală.

Opțiunile de reabilitare a anvelopei prezentate mai sus respectă următoarele criterii, care le clasifică drept soluții integrate de recondiționare:

- aspecte structurale: capacitatea de a atinge obiectivul de performanță structurală stabilit în proiectare, compatibilitatea structurală cu sistemul structural inițial; adaptabilitate la sarcinile reale de proiectare, inclusiv sarcinile seismice;
- aspecte tehnice și de confort precum, reversibilitatea, durabilitatea, confortul termic, acustic și spațial, soluțiile estetice și funcționale, suportul tehnic oferit, materialele disponibile, controlul calității;
- aspecte economice precum costurile integrate;
- aspecte de mediu (minimizarea energiei operaționale, utilizarea materialelor cu impact redus sau reciclabile).

Toate cele trei soluții au fost menite să ofere un confort termic interior tradus într-o rezistență termică de  $2.5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  (valoarea  $U = 0.4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

Din punct de vedere al mediului, rezultă că a treia soluție (panou sandwich cu vată minerală) duce la cel mai mic impact, aproximativ jumătate din celelalte două soluții.

Din punct de vedere al costurilor, rezultă că cele mai economice soluții sunt de obicei cele cu costuri mai mici ale materialului termoizolant (vată minerală – soluția 3) și având un proces prefabricat foarte industrializat.

Programul experimental alcătuit dintr-o serie de 6 sisteme stâlp-bază realizat pentru determinarea comportării legăturilor stâlp-bază pentru soluțiile de mansardare a dat următoarele concluzii:

- 1) Toate specișenele de stalpi au prezentat imperfecțiuni datorate procesului de fabricație. Aceste imperfecțiuni afectează comportamentul sistemului.

- 2) Procedura micrografică a arătat straturi neuniforme și subțiri de acoperire care afectează proprietățile materialului.
- 3) Profilele C de 2 mm grosime prezintă rigiditate suficientă la forțele exterioare, deformarea lor fiind minimă; totuși, solicitarea este astfel mai mare în blocul de beton, ceea ce provoacă cedarea prin fisurare a conurilor din zona de ancorare.
- 4) Toate speci­me­nele au prezentat flambaje ale inimii și talpilor pe direcția de încărcare, comportament specific acestor profile cu pereți subțiri.

Programul de calibrare numerică a arătat un comportament similar în ceea ce privește tensiunile și capacitatea de deformare comparat cu programul experimental. Micile discrepante observate pot fi puse pe seama erorilor umane și a imperfecțiunilor materialelor care nu au putut fi luate în considerare în totalitate în modelele FEA.

Ulterior a fost realizat un studiu parametric pe speci­me­nele SRCB și RCB pentru a evalua elementele pentru care studiile de caz sunt cele mai vulnerabile.

Studiul parametric a fost realizat numai pentru condițiile de încărcare monotonă în software-ul FEA ABAQUS 6.7. Acesta a confirmat că atât pentru scenariile SRCB cât și RCB, grosimea plăcii de bază și grosimea profilului secțiunii C se dovedesc a fi foarte importante în variația rezistenței și ductilității întregului ansamblu. Astfel, nu se recomandă o scădere a grosimii plăcii de bază mai mică de 15 mm. De asemenea, o scădere a grosimii profilului C este recomandată numai dacă se dorește o ductilitate mai mare și o cedare mai timpurie a stalpului. Aceasta din urmă este de dorit pentru a evita fisurarea bazei de beton și smulgerea ancorei, rezultat care este important pentru aceste tipuri de soluții de supra-etajare.

Rigiditatea și capacitatea îmbinării de streasina și coama au fost analizate în continuare utilizând software-ul FEA IDEA StatiCa. Software-ul a fost validat mai întâi prin compararea rezultatelor sale cu cele dintr-un program experimental, care a arătat o mare acuratețe. Într-o a doua etapă, au fost modelate îmbinările utilizate în sistemul nostru actual de cadru. Se pot formula următoarele concluzii:

- 1) La momentul de proiectare, ambele îmbinări sunt aproape de capacitatea maximă.
- 2) Ambele îmbinări sunt semirigide.
- 3) Cele două secțiuni C spate în spate utilizate în proiectare prezintă un comportament similar cu cele ale modelului de referință și sunt semirigide. Totuși, așa cum era de așteptat, capacitatea lor este mai mică decât a modelelor cu secțiuni 2C350x3, scăzând treptat cu 30% pentru fiecare îmbinare (2C300x2 și 2C300x1).
- 4) Grosimea profilului, numărul șuruburilor pe talpi/inimă, calitatea oțelului sunt toți parametrii care afectează rigiditatea și capacitatea îmbinărilor analizate, așa cum este confirmat de programul parametric.

## Referinte

- [1] European Union, Clean Energy for All Europeans, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, <https://doi.org/10.2833/9937>
- [2] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010, Energy performance of buildings, 2010.
- [3] R. Landolfo, A. Formisano, G. Di Lorenzo, A. Di Filippo. Classification of European building stock in technological and typological classes. *Journal of Building Engineering* 45 (2022) 103482.
- [4] The Ministry of Environment and the national Environment Fund manage the instrument. Details are given on: [http://www.mmediu.ro/casa\\_verde.htm](http://www.mmediu.ro/casa_verde.htm) and [http://www.afm.ro/program\\_casa\\_verde-pf.php](http://www.afm.ro/program_casa_verde-pf.php). The instrument was introduced by the Ministry Order no.1339/2008. The

instrument guide, approved by the Order no. 950/17 June 2010, is available at [http://www.afm.ro/main/info\\_stuf/casa\\_verde/ordinul\\_950\\_17.06.2010\\_aprobare\\_ghid\\_casa\\_verde.pdf](http://www.afm.ro/main/info_stuf/casa_verde/ordinul_950_17.06.2010_aprobare_ghid_casa_verde.pdf).

- [5] HORIZON2020, MORE-E project proposal.
- [6] <https://www.planningportal.co.uk/permission/common-projects/additional-storeys-extending-upwards/planning-permission>.
- [7] [Housing, Ministry of Municipal Affairs and housing. Planning act tools to support intensification & sustainability. Ontario, Canada: s.n., 2009.](#)
- [8] Bocan C., 2012. "An Attic as Rehabilitation Solution for Low Rise Prefab Concrete Housing Blocks", In: CEBM 2012 2nd International Conference on Structural Civil Engineering and Building Materials, Hong Kong, ISBN 978-0-415-64342-9, pp. 11-14, 17-18.11.2012.
- [9] NP 064-02, "Romanian standard for design of over cladding residential buildings".
- [10] Floricel, A., Zagari, G. & Ungureanu, V. 2015. Solutions for Column-Base Connections for Steel Over-roofing systems. Numerical investigations. Advances in Steel Structures, Proc. of Eighth International Conference, Lisbon, Portugal, July 22-24, 2015.
- [11] Floricel, A., Benzar, S., Zagari, G. & Ungureanu, V. 2016a. Steel column-base solutions for over-roofing of existing buildings. A numerical study. In Jakub Marcinowski (ed.), Proc. of XIII International Conference on Metal Structures – ICMS2016, Zielona Gora, Poland, 15-17 June 2016, 463- 470. London: CRC Press.
- [12] Floricel, A., Ungureanu, V., & Ciutina A. 2016b. Behaviour of over-roofing structures with semi-rigid column-base connections. In D. Dubina, V. Ungureanu (eds.), Stability and Ductility of Steel Structures - SDSS 2016, Proc. of the International Colloquium, Timisoara, Romania, May 31- June 1 2016, 189-196. ECCS.
- [13] Floricel, A., Zagari, G., Ungureanu, V., & Ciutina A. 2016c. Structural solutions based on intensive use of steel for over-roofing of existing precast concrete panel buildings. Advances in Structural Engineering Journal. DOI: 10.1177/1369433216653507.
- [14] V. Korotkov, D. Poprygin, K. Ilin, S. Ryzhov (2004), Determination of Dynamic Reaction in Concrete Floors of Civil Structures of Nuclear Power Plant in Accidental Drops of Heavy Objects. ABAQUS Users' conference, 2004.
- [15] B. Schafer, T. Peköz, Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses, J. Constr. Steel Res. Journal of Constructional Steel Research, Volume 47, Issue 3, September 1998, Pages 193-210.
- [16] IDEA StatiCa Manual Guide. [https://ideastatica.uk/wp-content/uploads/2017/10/IDEA-Connection-Theoretical-Manual\\_EN\\_ver\\_8\\_2.pdf](https://ideastatica.uk/wp-content/uploads/2017/10/IDEA-Connection-Theoretical-Manual_EN_ver_8_2.pdf).
- [17] Zsolt Nagy (2006). Study of constructive solutions and structural performances of lightweight frames with a structure made of cold formed steel profiles; Phd. thesis; supervisor: D. Dubină, Politehnica University of Timisoara.