

Universitatea Tehnică de Construcții București

# Metodă de evaluare seismică pentru case rezidențiale tradiționale românești

Raport științific – Etapa III (2017) - RUTE- PN-II-RU-TE-2014-4-2169 (CTR.  
359/2015)

Andreea Duțu

9/30/2017

# Cuprins

<b>1. Introducere</b> .....	3
<b>2. Investigarea în teren a variației detaliilor constructive a caselor tradiționale cu structură din lemn și diverse umpluturi în România</b> .....	4
2.1 Arhitectura tradițională în România .....	4
2.2 Investigarea în teren .....	6
2.3 Localizare geografică și seismică.....	7
2.4 Tipuri structurale identificate .....	8
2.5 Detalii constructive și caracteristici structurale .....	10
2.5.1 Fundații.....	10
2.5.2 Suprastructura.....	13
2.5.3 Subsisteme nestructurale .....	15
2.6 Degradări structurale/nestructurale specifice .....	16
<b>3. Calibrarea modelului cu resorturi pentru experimentele deja realizate în Japonia</b> 20	
3.1 Încercarea statică ciclică pe peretele de referință.....	20
3.1.1 Specimen cu un panou de zidărie .....	20
3.1.2 Specimen cu patru panouri din zidărie .....	22
3.2 Modelul cu resorturi .....	24
3.2.2 Cadrul din lemn ( $k_{joint}$ ) .....	24
3.2.3 Lemn-mortar ( $k_{m-t}$ ) .....	25
3.2.4 Cărămidă-mortar ( $k_{b-m}$ ) .....	26
3.2.5 Încovoierea stâlpului ( $k_{flexure}$ ) .....	27
3.2.6 Biela comprimată din zidărie ( $k_{strut}$ ) .....	27
3.2.7 Compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn ( $k_{emb}$ ) .....	28
3.3 Testarea modelului cu resorturi.....	29
3.3.1 Calibrarea specimenului cu un panou din zidărie .....	29
<b>4. Experimente pe materiale și sub-ansambluri caracteristici caselor tradiționale românești</b> .....	32
4.1 Prisme de zidărie din cărămizi de pământ și mortar de pământ.....	32
4.1.1 UTCB .....	32
4.1.2 INCERC Bucuresti.....	32
4.2 Compresiune pe cilindri de pământ.....	35
4.3 Compresiune la lemn.....	36
4.3.1 Japonia (compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn).....	36
4.3.2 INCERC București .....	36
4.4 Încovoiere pe grinzi din lemn.....	40
4.5 Determinarea rezistenței la forfecare sub efort slab de precomprimare.....	43

4.5.1	Rezistența la forfecare pe zidărie cu elemente ceramice și mortar de uz general ...	43
4.5.2	Rezistența la forfecare pe zidărie cu elemente de zidărie din pământ stabilizat și mortar pe bază de lut .....	44
4.6	Încercări ciclice la încovoiere pe îmbinări din lemn .....	45
4.6.1	Îmbinări realizate cu prinderea cu cuie .....	46
4.6.2	Îmbinări realizate cu prinderea cu șuruburi.....	47
<b>5.</b>	<b>Verificarea modelului cu resorturi pentru un perete cu alte proprietăți.....</b>	<b>49</b>
6.1	Setup-ul experimental .....	49
6.2	Rezultate experimentale .....	50
6.3	Aplicarea modelului cu resorturi pentru S5 .....	51
<b>6.</b>	<b>Aplicarea modelului cu resorturi pentru case tradiționale românești de tip 1, utilizând datele obținute în experimente pe materiale.....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Validarea modelului cu resorturi prin experimente pe pereți la scară reală pentru case tradiționale românești.....</b>	<b>53</b>
7.1	Construcția specimenelor de încercare.....	53
7.2	Setup-ul încercării .....	58
7.3	Calculul forței axiale la partea superioară a peretelui .....	61
7.4	Rezultate experimentale .....	65
7.5	Validarea/calibrarea modelului cu resorturi .....	66
<b>8.</b>	<b>Posibilități de extindere a modelului cu resorturi la alte tipuri tradiționale românești (cu cadre din lemn) și sugestii pentru proiectare .....</b>	<b>68</b>
8.1	Extindere model cu resorturi pentru S4.....	68
8.2	Extindere model cu resorturi pentru S3.....	68
8.3	Sugestii pentru proiectare și execuție .....	69
<b>9.</b>	<b>Analiza numerică simplificată.....</b>	<b>71</b>
	<b>Bibliografie: .....</b>	<b>72</b>
	<b>Anexa 1: Formular investigare teren – exemplu .....</b>	<b>75</b>

## 1. Introducere

Proiectul propune o metodă de evaluare a capacității la forță tăietoare a structurilor cu cadre din lemn cu diverse umpluturi atunci când sunt supuse la forță laterală (seism sau vânt). În acest scop, este considerat numai peretele structural din componența unei tipologii anume (începând cu cadrele din lemn cu umplutură din zidărie) și pentru acesta va fi adoptat și calibrat un model cu resorturi (shear spring model), pe baza capacității de deformație a fiecărei componente ce contribuie la rezistența la forță tăietoare a peretelui cu schelet din lemn și umplutură din zidărie - SLUZ - (îmbinarea din lemn, rezistența la compresiune perpendiculară pe direcția fibrei a elementelor din lemn, lunecarea în rost a zidăriei, biela comprimată a panoului de zidărie, etc.). Modelul cu resorturi are ca scop simularea capacității la forță tăietoare a peretelui (în termeni de forță – deplasare la vârf) în cadrul unei clădiri, și va fi utilizat la evaluarea întregii clădiri. Acest model poate fi calculat folosind cu ușurință programe comerciale precum Excel. În vederea realizării acestui obiectiv, următorii pași vor fi efectuați:

- Investigarea pe teren a variației și detaliilor structurale ale sistemului cu cadre din lemn și diverse umpluturi din România;
- Realizarea de încercări experimentale pe materiale și componente caracteristice structurilor SLUZ românești (mortar, cărămizi, zidărie, lemn);
- Validarea modelului cu resorturi prin realizarea unui experiment la scară reală pe un perete, având caracteristicile tipologiei celei mai des întâlnite în investigările pe teren (cu/fără diagonale din lemn, dimensiunile panourilor din zidărie, tipurile de îmbinare, etc.) a caselor rezidențiale românești cu structură din lemn și diverse umpluturi.
- Extinderea și modificarea (dacă este cazul) modelului cu resorturi pentru alte tipuri de case rezidențiale românești cu cadre din lemn, precum și dezvoltarea și explicarea metodei de proiectare pentru astfel de structuri nou construite.

Deși aceste clădiri sunt des regăsite în fondul construit, nici pe plan internațional nu există o metodă de evaluare a caselor SLUZ. Stadiul actual al cunoașterii este acum în faza de încercări experimentale (acolo unde este posibil), pentru identificarea cel puțin a caracteristicilor mecanice ale componentelor structurale și a interacțiunii dintre ele. Structura SLUZ are o comportare mecanică de o complexitate ridicată datorită faptului că în ansamblul lui intră două materiale: lemnul, care este un material anizotrop, și zidăria care este neomogenă.

Cercetările anterioare au identificat fenomenele locale ce caracterizează comportarea sistemului SLUZ, zidăria asigurând rezistența și rigiditatea, în timp ce cadrul din lemn e responsabil pentru o capacitate foarte mare de deformație (aprox. 5% drift). Proprietatea lemnului de a se deforma sub compresiune perpendiculară pe direcția fibrei, caracterizată printr-o continuă creștere de rezistență până la momentul ruperii, este elementul cheie al sistemului SLUZ.



## 2. Investigarea în teren a variației detaliilor constructive a caselor tradiționale cu structură din lemn și diverse umpluturi în România

### 2.1 Arhitectura tradițională în România

Arhitectura tradițională românească se bazează în principal pe structura din lemn, având diferite dispuneri în funcție de locație (munte, câmpie, etc.) având ca și consecință directă disponibilitatea materialelor. După cum se prezintă în [35] modelul caselor, deși parte dintr-un anumit tip arhitectural, a evoluat în timp, începând cu strămoșii daci, schimbându-se cu ocupația romană și de-a lungul istoriei adaptându-se la disponibilitatea lemnului. Un exemplu poate fi faptul că absența lemnului în anumite zone a condus la înlocuirea scândurilor din lemn (ce formează panouri compacte între stâlpii din lemn) cu umpluturi din mortar de pământ (Fig. 1). Evoluția a afectat și modul în care sunt dispuse camerele în interiorul casei. Recent, proprietarii își doresc spațiu mai mult, deschidei mai mari, precum și mai multe camere cu diferite funcțiuni

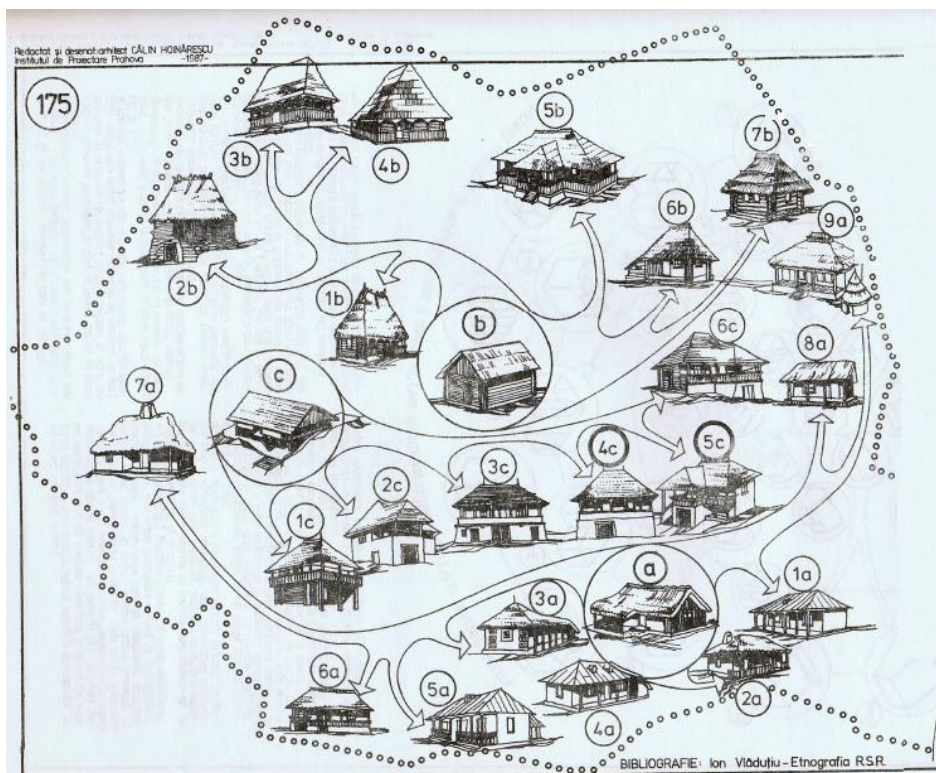


**Fig. 1:** Adaptarea structurii casei, datorită lipsei lemnului: Stânga [36] este tipică din zona montană (unde lemnul este ușor de găsit) și dreapta este într-o zonă de deal (unde lemnul este scump)

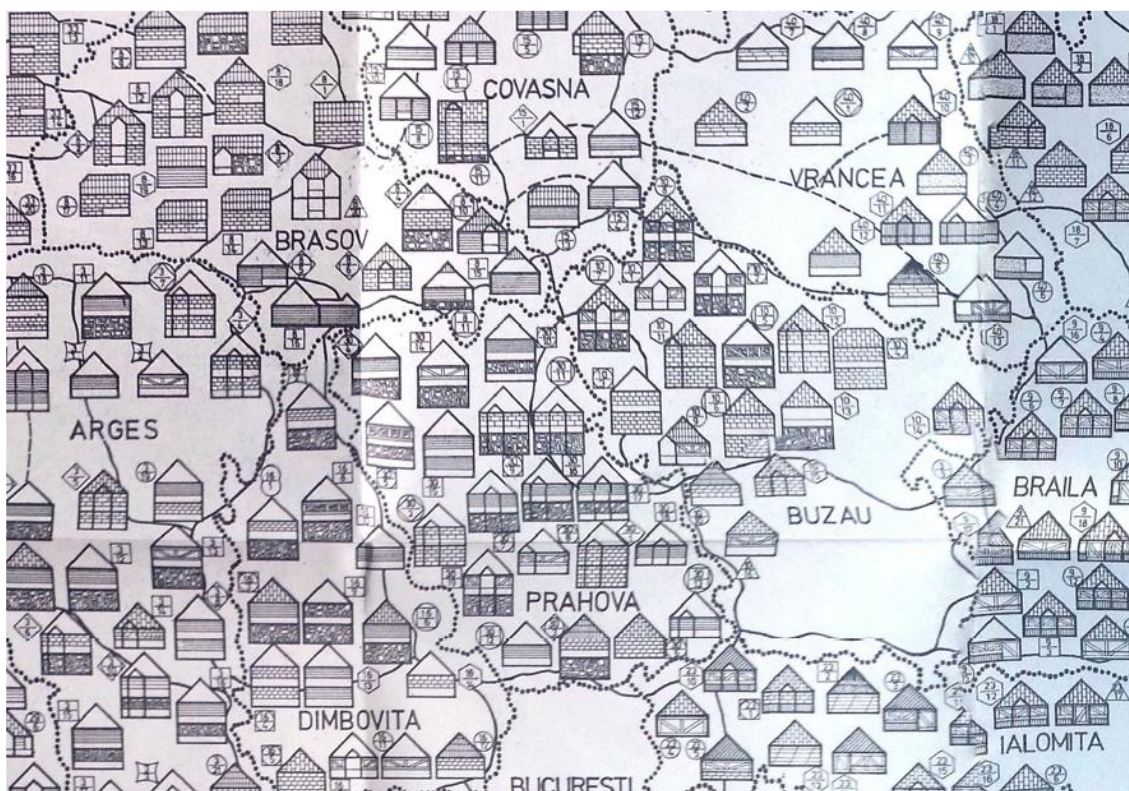
Răspândirea caselor tradiționale românești pe teritoriul României a fost studiat în [35] și au fost întocmite câteva hărți în funcție de tipul de casă (Fig. 2) și de materialul de construcție (Fig. 3). Începând de la casa în paiantă, prezentată în Fig. 5, investigarea în teren a autorilor a găsit câteva tipologii de case tradiționale, cu detalii amestecate, diferite puțin de tipurile recunoscute în [35].

Obiectivul investigației noastre în teren a fost să identificăm casele tradiționale românești influențate de prezența seismicității, de aceea studiile s-au concentrat în zona Vrancea.

Un alt obiectiv inițial a fost să aflăm de ce casele din Sinaia sunt cu structură din lemn și zidărie și dacă au rol în rezistența la cutremur a casei. După câteva discuții cu Muzeul Castelul Peleş și primăria Sinaia, precum și câțiva localnici, s-a ajuns la concluzia că arhitectura zonei Sinaia nu este tradițională românească, fiind influențată doar de arhitectura castelului Peleş, pentru care au fost aduși meșteri din Austria și Germania, care au rămas apoi în zona Sinaia, continuând să răspândească arhitectura "fachwerk" cerută de Regele Carol I pentru castel, fără însă a avea vreo intenție a fi anti-seismică. Din acest motiv, și din cauza dificultății de acces la cele câteva case ce au rămas reprezentative pentru arhitectura "fachwerk", nu s-au continuat cercetările în acea zonă, ele nefiind specifice pentru tradiția românească.



**Fig. 2:** Harta României cu trei tipuri de arhitectură pentru case rezidențiale tradiționale românești:  
 a. Casă dacică specifică zonelor de câmpie; b. Casă dacică specifică zonelor bogate în lemn (Maramures, Bucovina and Transilvania); c. Casă dacică cu turn, specifică zonei sub-carpatică [35]



**Fig. 3:** Bucată din harta României (lângă sursa seismică Vrancea) pe care sunt reprezentate case din diferite materiale locale, funcție de zonă [35] (pentru legendă, vezi Fig. 4)



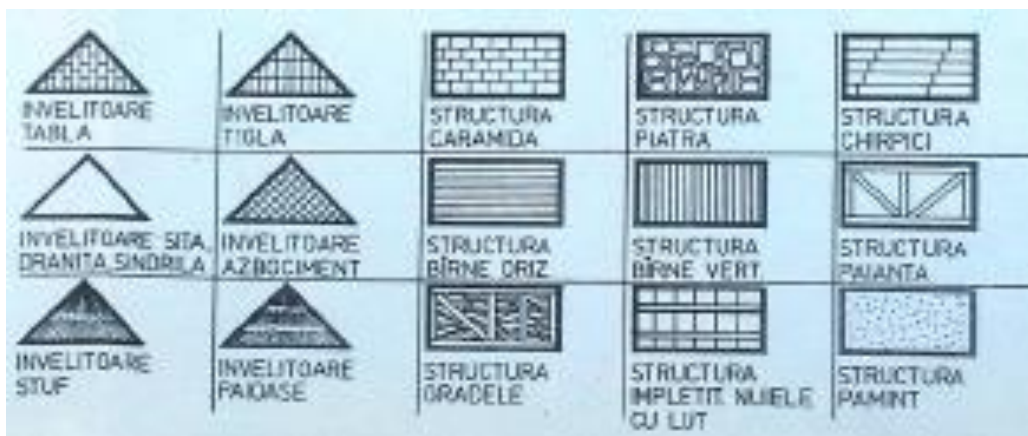


Fig. 4: Legenda hărții din figura anterioară [35]

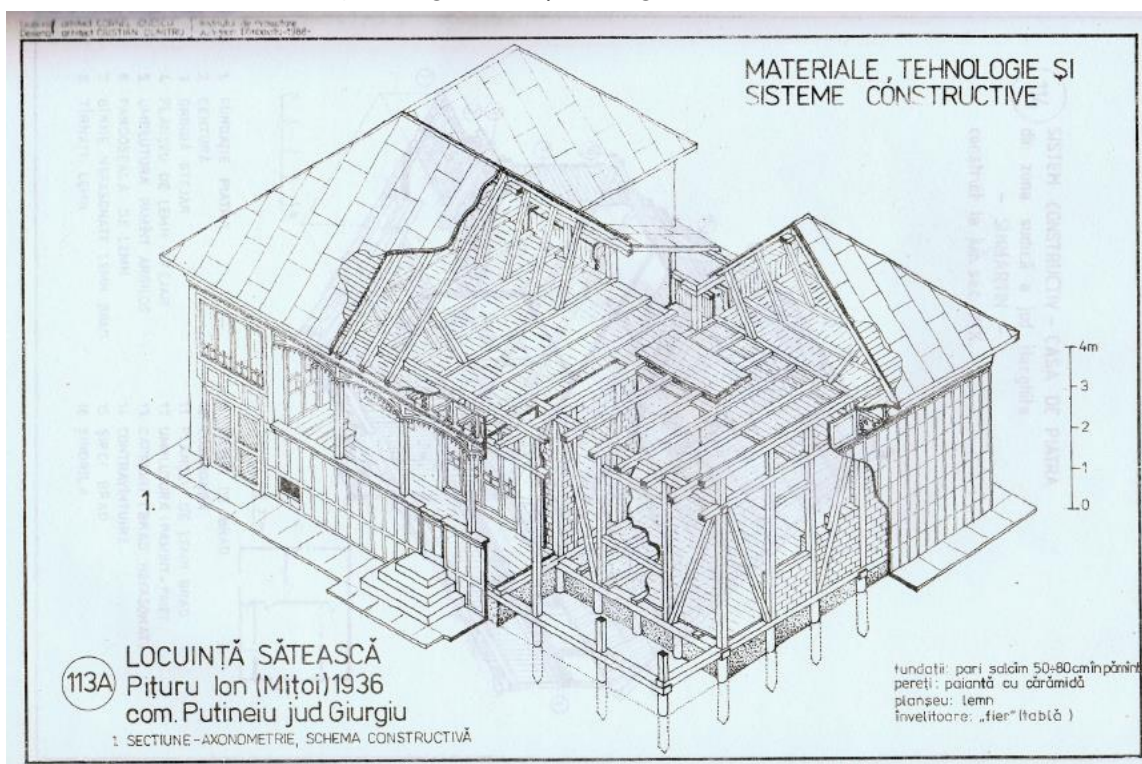


Fig. 5: Casa tradițională în paiantă (stâlpi și grinzi din lemn, cu contravânturi din loc în loc) cu umplură din zidărie [35]

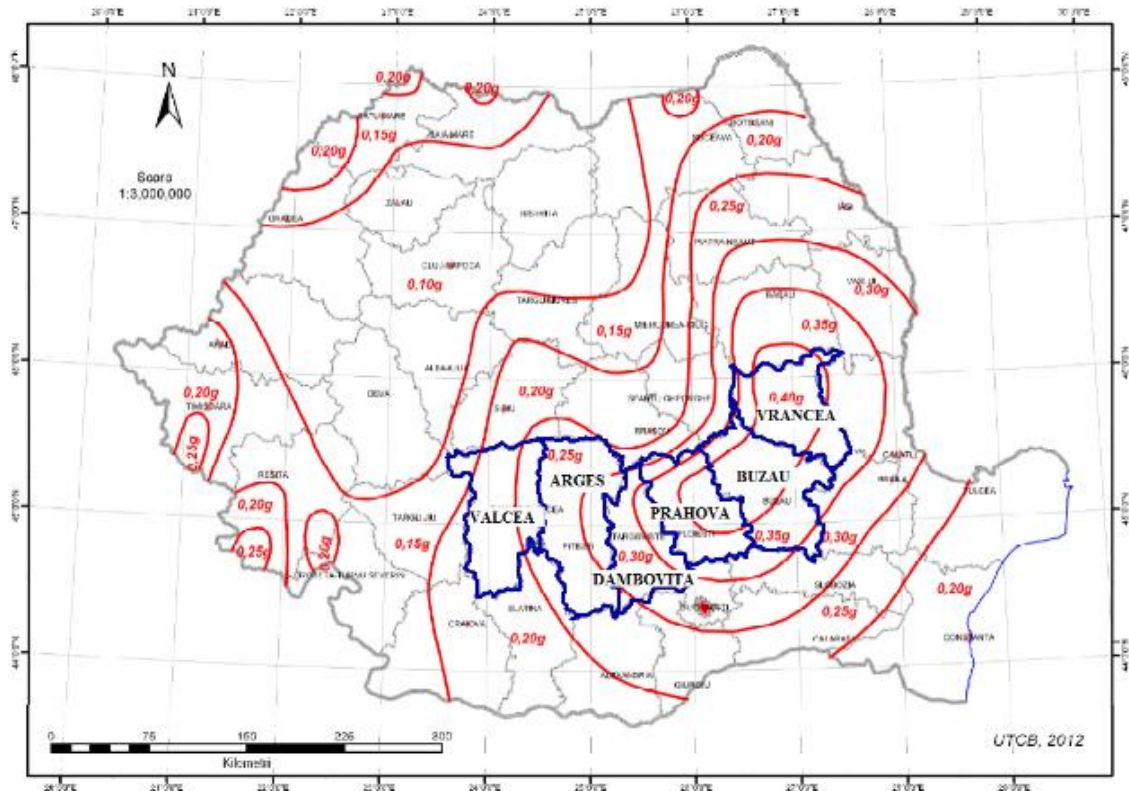
## 2.2 Investigarea în teren

Din punct de vedere al procedurii de lucru, etapa investigării în teren a constat în identificarea și inspectarea vizuală a caselor tradiționale, realizarea de relevee foto, prin care să fie identificate diferite detalii tehnice constructive specifice și documentarea/coletarea de informații direct de la localnici, având în vedere faptul că astfel de case au fost construite de către meșteri locali, în regie proprie, fără a avea la bază o documentație tehnică specifică. Până în prezent nu s-a putut găsi o istorie a apariției și evoluției caselor tradiționale românești și o centralizare relevantă, întrucât tradiția s-a pierdut în mare parte, astăzi fiind din ce în ce mai puțini meșteri. Astfel de case se construiesc tot mai puțin și din cauza dispariției meșterilor, dar și din cauza marketingului pentru utilizarea materialelor precum beton (ciment) și altele. Casele tradiționale românești au fost identificate preponderent în zonele rurale, aproape de sursele de

materiale specifice (lemn, piatră și pământ), zone de deal și munte, și uneori în apropierea unor surse de apă (râuri, lacuri).

### 2.3 Localizare geografică și seismică

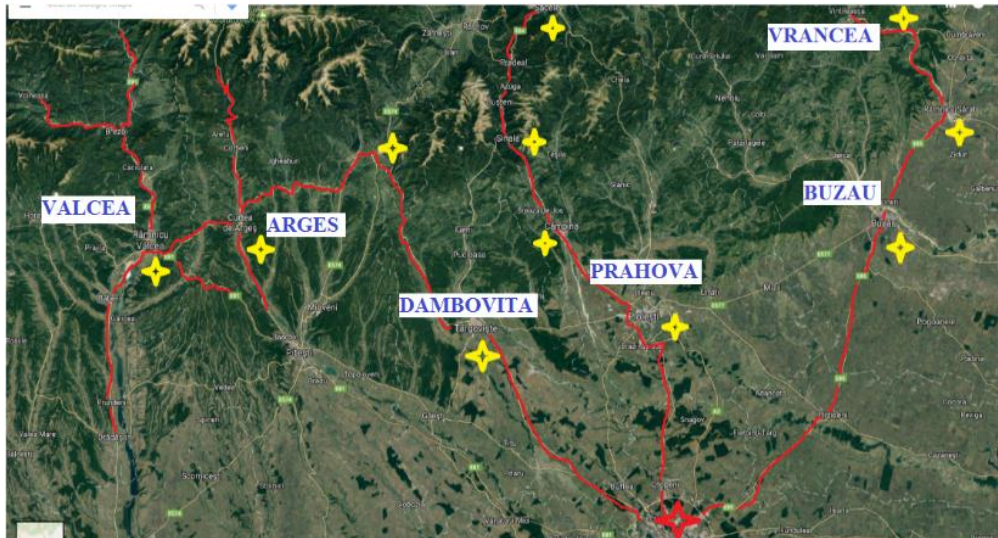
În cadrul proiectului s-au selectat zonele cele mai expuse la acțiunea seismică, în județele: Buzău ( $a_g=0.3g, 0.35g, 0.4g$ ), Vrancea ( $a_g=0.3g, 0.35g, 0.4g$ ), Vâlcea ( $a_g=0.15g, 0.20g, 0.25g$ ), Prahova ( $a_g=0.25g, 0.30g, 0.35g, 0.4g$ ), Argeș ( $a_g=0.25g, 0.30g$ ) și Dâmbovița ( $a_g=0.25g, 0.30g$ ) (**Fig. 6**). La cutremurul de referință din 4 martie 1977, printre regiunile cele mai afectate de acest cutremur au fost județele Buzău, Prahova, Dâmbovița și Argeș [33].



**Fig. 6:** Localizare seismică a regiunilor investigate, pe harta din codul de proiectare P100-1:2013

Așa cum se poate observa (**Fig. 7**), din punct de vedere geografic, toate regiunile investigate dispun de forme de relief variate, în special de deal și munte, aspect care reflectă disponibilitatea resurselor de materiale (lemn, piatră și pământ), specifice caselor tradiționale. Zonele investigate sunt situate la poalele munților Carpații de Curbură și Carpații Meridionali. Din punct de vedere a vegetației, un aspect important îl reprezintă sursele de lemn, utilizate pentru construirea structurii caselor tradiționale. Astfel, în zonele de câmpie și de dealuri joase (până la 600-700 m altitudine) se pot întâlni speciile de lemn: stejarul (predominant), garnița, stejar pedunculat, carpenul, teiul, paltinul de câmpie și frasinul. În regiunile de dealuri înalte și munte (până la 1200-1400 m) se dezvoltă fagul în amestec cu gorunul și alte specii de stejar, iar la altitudini de peste 1500 m, se dezvoltă pădurile de rășinoase (brad, molid, zada și câteodată pinul).





**Fig. 7:** Localizare geografică a regiunilor investigate

## 2.4 Tipuri structurale identificate

În urma investigării, în zonele selectate, s-au identificat patru tipuri principale de structuri: case cu structură în cadre din lemn și umplură din zidărie de cărămidă arsă/nearsă – tipul 1 (**Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11**); case cu structura în cadre de lemn și umplutură din nuiiele împletite și pământ cu paie/câlți – tipul 2 (ex. **Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15**); case cu structura în cadre, șipci orizontale și umplutură din pământ cu paie – tipul 3 (ex. **Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19**); case cu structura în cadre de lemn, șipci înclinate (~45°) și umplutură de pământ cu paie – tipul 4 (ex. **Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23**).



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**





**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**



**Fig. 15**



**Fig. 16**



**Fig. 17**



**Fig. 18**



**Fig. 19**





**Fig. 20**



**Fig. 21**



**Fig. 22**



**Fig. 23**

## **2.5 Detalii constructive și caracteristici structurale**

### **2.5.1 Fundații**

La majoritatea caselor tradiționale investigate, mai vechi de cca. 40 ani, s-au evidențiat fundații alcătuite din piatră/bolovani de râu, în general neprelucrată, și mai rar prelucrată (pe toate fețele sau pe două fețe), cu forme de geoid, sferice sau plate, așezate compact pe toată amprenta construcției, fie gravitațional, sau cu mortar de argilă, fie doar folosind un nisip de râu/cuarțos, pentru a realiza o conlucrare mai bună, care întâmplător are conferă o absorbție de energie seismică eficientă (ex. **Fig. 24, Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27, Fig. 28, Fig. 29, Fig. 30, Fig. 31**). Probabil, după finalizarea acestei platforme, se aștepta un timp, pentru ca aceasta să se așeze gravitațional, prin propria greutate, pe terenul din amplasament, în scopul consumării tasărilor inițiale ale terenului. Peste platforma din piatră, se așezau elementele inferioare ale cadrelor din lemn numite “tălpi” – elemente de rezemare ale suprastructurii casei, care au rolul de transmitere distribuită a încărcărilor suprastructurii. Acestea erau realizate din lemn de esență tare (stejar, salcâm, nuc, carpen, etc.), fiind prelucrate fie pe patru laturi sau două, având dimensiuni variind între 15-20 cm, fie bile (bușteni curățați de coajă) sau jumătăți de bile, având diametre variind între 15-20 cm. Aceste elemente (tălpi) erau îmbinate la intersecții sau suprapuse prin chertare (ex. **Fig. 32, Fig. 33**).





**Fig. 24**



**Fig. 25**



**Fig. 26**



**Fig. 27**



**Fig. 28**



**Fig. 29**

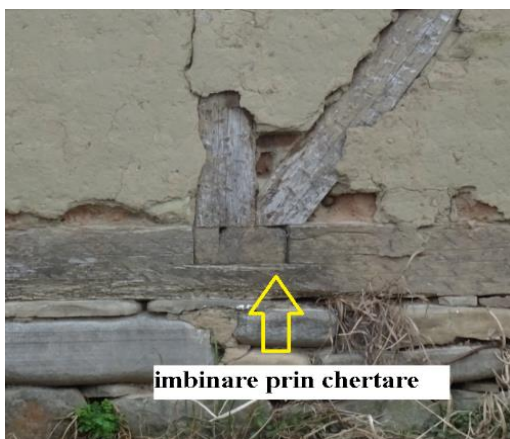


**Fig. 30**



**Fig. 31**





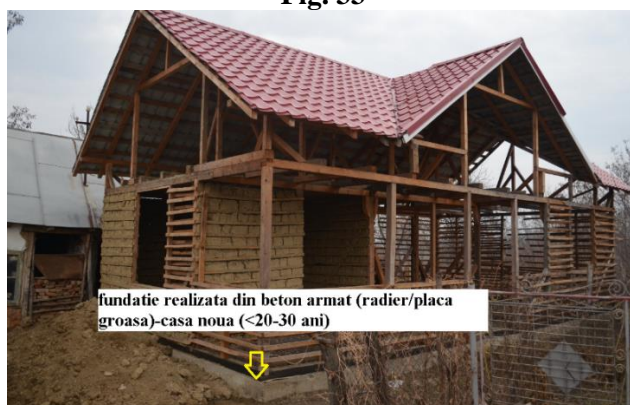
**Fig. 32**



**Fig. 33**



**Fig. 34**



**Fig. 35**



**Fig. 36**



**Fig. 37**

S-au găsit case construite cu pivniță/subsol parțial, cu rol de depozitare alimente sau alte obiecte gospodărești (ex. **Fig. 34**). Pentru casele construite recent (mai noi de cca. 30 ani), platforma din piatră a fost înlocuită cu un radier general (placă groasă) din beton armat (ex. **Fig. 35**).

În general, fundațiile (platforma din piatră) identificate, sunt îngropate în teren, probabil cca. 40-50 cm, fiind foarte puțin vizibile la suprafața terenului (ex. **Fig. 10**, **Fig. 11**, **Fig. 14**), unele fiind îngropate în pământ și ca urmare a unor tasări diferențiate, care s-au consumat în timp (ex. **Fig. 36**, **Fig. 37**), dar existând și situații în care fundațiile sunt vizibile la suprafața terenului (înălțate cca. 50 m) (ex. **Fig. 8**, **Fig. 9**, **Fig. 12**, **Fig. 15**, **Fig. 16**, **Fig. 17**, **Fig. 19**, **Fig. 20**, **Fig. 21**).

## 2.5.2 Suprastructura

Suprastructura tuturor tipurilor de case tradiționale investigate au ca subsistem comun cadrele din lemn, acestea fiind diferite prin varietatea materialelor de umplură: cărămida, nuiele împletite+pământ cu paie, șipci+pământ cu paie. Pentru casele vechi (> 40-50 ani), esențele de lemn par să fie în proporții asemănătoare: lemn de esență moale (rășinoase - brad, molid, pin, etc.) și lemn de esență tare, în special lemn de foioase (stejar, salcâm, garniță), dar și nuc, ulm. În tehnica tradițională, lemnul după tăiere era lăsat să se usuce cca. 2-3 luni, înainte de prelucrarea și utilizarea lui ca element de construcție, în acest fel erau evitate fenomenele de contracții (crăpături, deformații inițiale).

Elemente verticale (stâlpi) erau așezate la intersecția pereților, la limita golurilor de uși și ferestre, cu rolul de bordaj, împreună cu elemente orizontale, care aveau rolul de grinzi, închizând cadrele la partea superioară. Pentru pereții lungi, se prevedeau și elemente verticale (stâlpi) intermediare, la o distanță de cca. 3m. Cadrele erau contravântuite în planul lor prin intermediul unor elemente înclinare la unghiuri variind în general între 45°-60°, amplasate în special la colțurile inferioare ale panourilor de pereți, dar și în zonele golurilor de ferestre și uși (ex. Fig. 38, Fig. 39, Fig. 40, Fig. 41). Dimensiunile elementelor (stâlpi, grinzi, contravântuiri) variază în intervalul 10x10 cm...15x15 cm, rare ori se foloseau elemente cu secțiuni de 20x20 cm, în special pentru stâlpi și grinzi cu deschideri mari, în structura planșeelor. Aceste elemente erau fixate/îmbinate în soluție cu cep, chertare, cuie (ascunse) și/sau scoabe metalice, care aveau rolul în principal de fixare temporară, însă participau și la o creștere semnificativă a rezistenței îmbinării, deja realizate cu cep sau chertare și/sau cuie (ex. Fig. 42, Fig. 43, Fig. 44).



Fig. 38



Fig. 39



Fig. 40

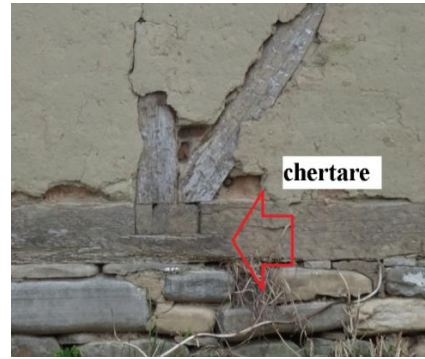


Fig. 41





**Fig. 42**



**Fig. 43**



**Fig. 44**



**Fig. 45**



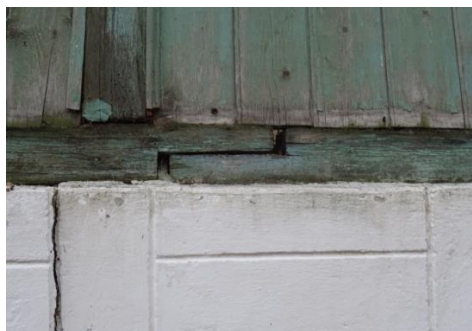
**Fig. 46**



**Fig. 47**



**Fig. 48**



**Fig. 49**



**Fig. 50**

**Observație:** În cadrul investigației s-a putut identifica o casă cu structura mixtă, având regim de înălțime demisol, parter, etaj și mansardă (**Fig. 45, Fig. 46**), având stil arhitectural și constructiv, similare cu cele ale castelului Peleş. Astfel, structura demisolului este din piatră, structura parterului este din zidărie de cărămidă simplă, iar structurile etajului și mansardei sunt de tip structură tradițională în cadre de lemn și zidărie de umplutură din cărămidă. Planșeele sunt din lemn, iar scara este din beton, probabil realizată ulterior unei scări inițiale din lemn.

În **Fig. 47, Fig. 48, Fig. 49** și **Fig. 50** se pot observa toate detaliile de dispunere a elementelor din lemn (montanți, contravântuiri) și detalii de îmbinare specifice celor tradiționale.

### 2.5.3 Sisteme nestructurale

**Acoperișurile** caselor tradiționale sunt de tip șarpante (simple, pe scaune, cu macaz simplu sau dublu), cu structură din lemn, rezemate pe pereții structurali și învelitori de tip șindrilă, șiță, țigla ceramică (învelitori originale/inițiale) și tablă (învelitori aplicate ulterior ca soluție modernă de refacere a acestora) (ex. **Fig. 9, Fig. 16, Fig. 17, Fig. 21**, etc.). Acoperișurile erau construite majoritatea în patru ape, și mai rar în două sau mai multe ape (pentru acoperișurile complexe) (**Fig. 8, Fig. 15, Fig. 29, Fig. 45**). La nivelul acestora erau prevăzute elemente cu rol de ventilare și luminare a podurilor (lucarne, luminatoare) (ex. **Fig. 22, Fig. 23, Fig. 30**, etc.).

**Pridvorul/prispa/cerdacul** reprezintă un spațiu deschis, peste care era extins acoperișul casei (ex. **Fig. 12, Fig. 15, Fig. 17, Fig. 20, Fig. 21**, etc.), având rol de odihnă/recreere pe timpul zilei, diferite activități pe timpul verii, printre care și torsul lânii, practicat de femei.

**Pardoselile** erau realizate fie din pământ și balebă de vaci sau cai (“lipeală”/”lipitură”) sau din lemn (scânduri aplicate pe grinzi de lemn), sub care se realiza o umplutură de pământ și/sau balast, sau chiar se realiza un strat de “lipeală”.

**Planșeele** erau realizate exclusiv din împletitură de stuf, nuiele sau șipci (**Fig. 51**), sau chiar scândură îngustă, aplicate pe grinzi de lemn, peste care se aplica un strat de tencuială de pământ. Planșeele caselor boierești (ex. **Fig. 15, Fig. 22, Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25**) erau făcute din nuiele /șipci sau scânduri înguste peste care se realiza o țesătură din câlți sau sârmă, și apoi se aplica o tencuială din mortar de var și/sau ipsos.





**Fig. 51**

**Tâmplăria** era realizată exclusiv din lemn. De asemenea, multe case tradiționale prezintă și unele elemente decorative (la nivelul elementelor de streășină, pazie și sageac), care accentuau frumusețea estetică a casei (ex. **Fig. 52**, **Fig. 53**, **Fig. 54**, **Fig. 55**, etc.).



**Fig. 52**



**Fig. 53**



**Fig. 54**



**Fig. 55**

## **2.6 Degradări structurale/nestructurale specifice**

Cauzele principale ale degradărilor caselor tradiționale sunt: probleme ale terenului (tasări diferențiate, alunecări produse lent în timp), degradarea fundațiilor din piatră, degradarea învelitorilor și a structurii acoperișurilor, variațiile de umiditate (putrezire lemn) și temperatură /îngheț-dezgheț (crăpare lemn), atacul biologic al lemnului (diferite tipuri de ciuperci, bacterii, insecte, carii, etc.), și nu în ultimul rând și probabil cauza principală este neglijența în timp a omului (lipsa unei mentenanțe corespunzătoare ca urmare și a unei neputințe financiare, etc.), o parte dintre acestea fiind abandonate.

Tipurile de degradări identificate la casele tradiționale sunt:

- tasări diferențiate ale terenului din amplasament și degradări ale fundațiilor (crăpături, dislocări ale pietrelor, (ex. Fig. 56, Fig. 57, Fig. 58));
- degradarea elementelor din lemn și a elementelor de umplură: putrezirea lemnului, erodarea elementelor de zidărie – cărămizi friabile, putrezirea împletiturilor din nuiele, dislocarea elementelor de zidărie, a pământului de umplură, atac biologic – carii, ciuperci, licheni/mușchi, crăparea lemnului, dislocarea tencuielilor (ex. Fig. 59, Fig. 60, Fig. 61, Fig. 62, Fig. 63, Fig. 64, Fig. 65);
- crăpături înclinate/verticale, colaps parțial/total la nivelul pereților structurali (ex. Fig. 66, Fig. 67, Fig. 68, Fig. 69, Fig. 70, Fig. 71, Fig. 72, Fig. 73, Fig. 74, Fig. 75, Fig. 76);
- degradarea structurii și învelitorii acoperișurilor (ex. Fig. 76, Fig. 77).



Fig. 56



Fig. 57



Fig. 58



Fig. 59



Fig. 60

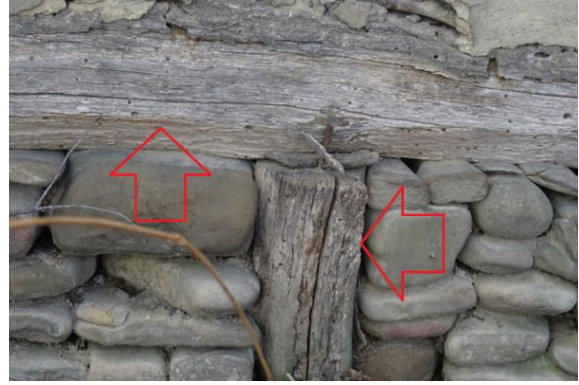


Fig. 61

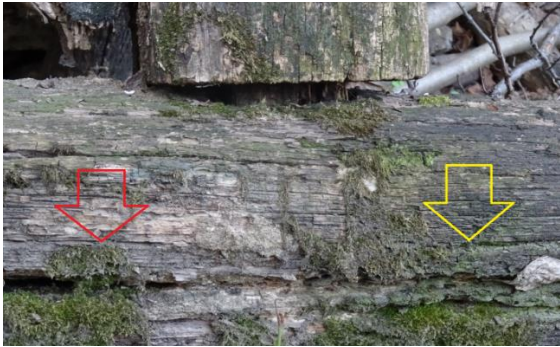




**Fig. 62**



**Fig. 63**



**Fig. 64**



**Fig. 65**



**Fig. 66**



**Fig. 67**



**Fig. 68**



**Fig. 69**





**Fig. 70**



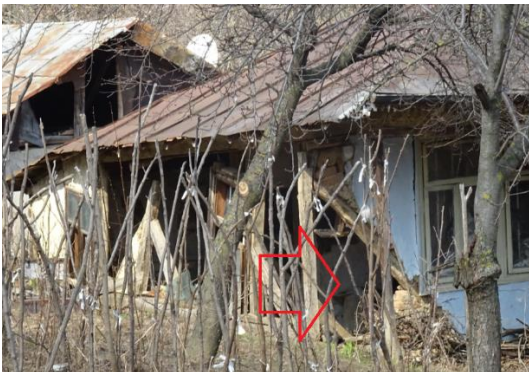
**Fig. 71**



**Fig. 72**



**Fig. 73**



**Fig. 74**



**Fig. 75**



**Fig. 76**



**Fig. 77**



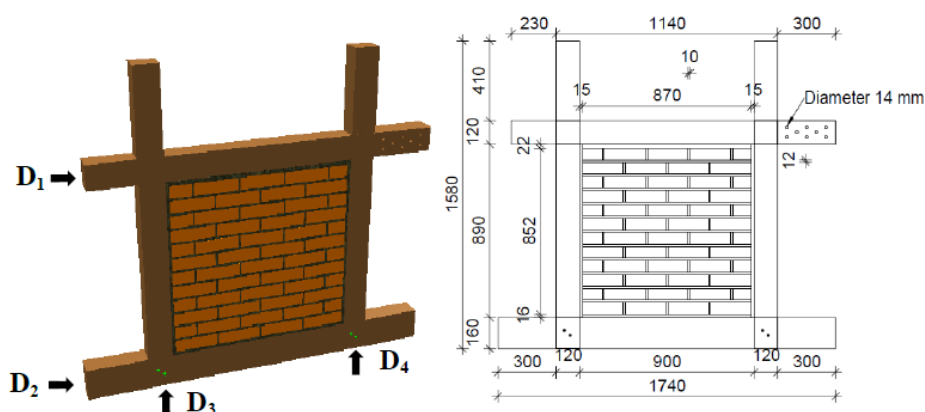
### 3. Calibrarea modelului cu resorturi pentru experimentele deja realizate în Japonia

Modelul cu resorturi propus simulează capacitatea la forță laterală (curba Forță-Deplasare) în regim monotonic pentru un perete cu schelet din lemn și umplutură din zidărie. Fiecare resort din componența modelului este definit empiric sau teoretic, iar aranjarea resorturilor în serie sau în paralel a fost decisă în baza unui experiment pe un perete, descris în detaliu în [16]. În această primă fază a modelului, definirea empirică a resorturilor are ca scop utilizarea unor experimente cât mai simple posibil, astfel încât să poată fi reproduse cu ușurință de cât mai mulți specialiști. Configurația modelului cu resorturi poate fi modificată, astfel ca să corespundă cu detaliile de construcție pentru peretele ce se dorește a fi calculat. Proprietățile materialelor, de asemenea, pot fi schimbate. Această flexibilitate este importantă, datorită variației tipului de îmbinare și a layout-ului umpluturilor, chiar și în cazul aceleiași țări.

#### 3.1 Încercarea statică ciclică pe peretele de referință

##### 3.1.1 Specimen cu un panou de zidărie

Încercări statice alternante au fost realizate pe pereți formați dintr-un singur panou din zidărie cu dimensiunile prezentate în **Fig. 78**, dreapta [37]. Specimenul considerat pentru acest studiu (TFM-CH) a avut îmbinări prin chertare (cross-halving). Lemnul a fost redwood pinus silvestris, gde tip glulam, importat din Finlanda. Alegerea a fost făcută în baza faptului că proprietățile glulam nu variază foarte mult ca cele ale lemnului ecarisat. Pentru a identifica proprietățile acestui tip de lemn, au fost realizate încercări pe materiale la încovoiere și compresiune perpendiculară pe direcția fibrei, iar parametrii obținuți au fost utilizați în modelul cu resorturi. Cărămizile au fost realizate în Japonia cu dimensiunile 210x100x60 mm (~8.3:4:2.4 in.) și cu rețeta de mortar conform clădirilor portugheze (Pombalino), 1:2:6 (ciment:var:nisip). Raportul apa/ciment+var este 1.75/2 [16]. Pentru clădirile vechi din Europa, mortarul este în principal bazat pe var, dar pentru că acesta durează câteva luni pentru a se întări, pentru testele de laborator, o cantitate mică de ciment a fost adăugată, pentru accelerarea atingerii clasei [4]. Această încercare experimentală a avut ca scop determinarea contribuției unui panou de umplutură din zidărie în comportarea la forță laterală a unui perete și de a indica modul în care se face transferul forței verticale între lemn și panoul de zidărie.



**Fig. 78:** Configurația specimenului TFM-CH (stânga) și dimensiunile aferente (dreapta) [37]

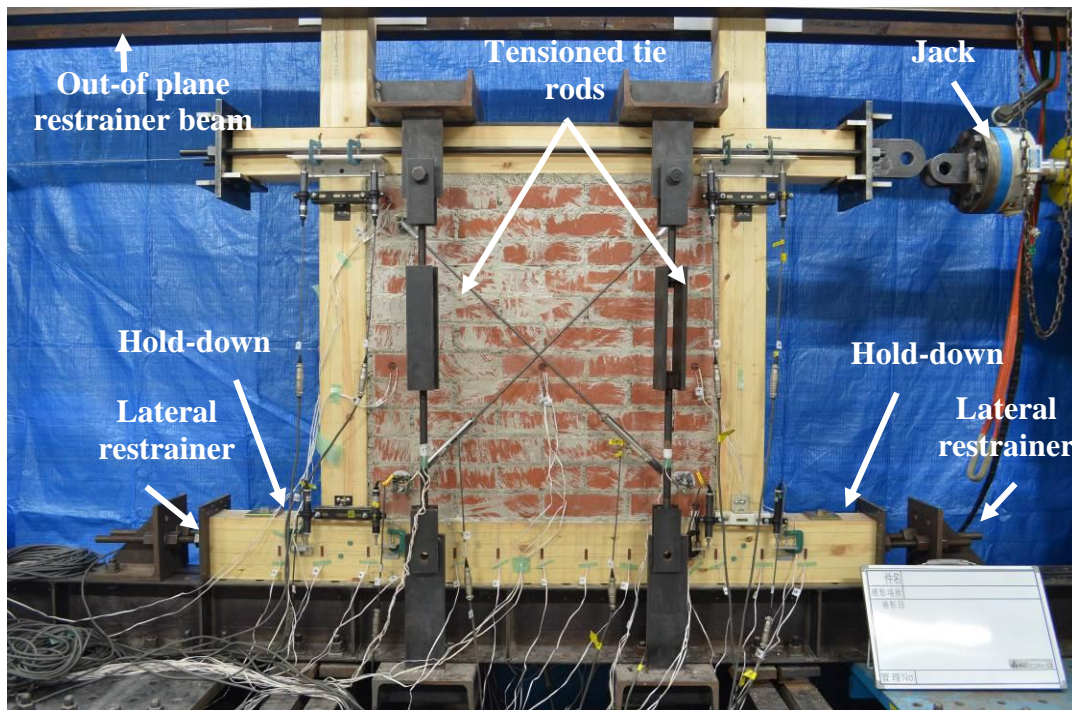
Specimenul a fost supus la încărcare în plan statică alternantă (**Fig. 83**). A fost utilizat protocolul de încărcare standard CUREE – Caltech pentru cadre din lemn [26]. Deplasarea de referință,  $\Delta$ , a fost folosită considerând studiile experimentale anterioare, de 0.033 rad

deplasare la vârf [6]. Ca deformație aplicată, deformația unghiulară  $\delta$ , a fost utilizată pentru a anula fenomenul de basculare, dar și de uplift în îmbinări, și astfel a putea observa comportarea la forță tăietoare pură a peretelui, fiind calculată cu următoarea ecuație:

$$\delta = \frac{D_1 - D_2}{\text{Înălțime}} - \frac{D_3 - D_4}{\text{Lățime}} \quad (1)$$

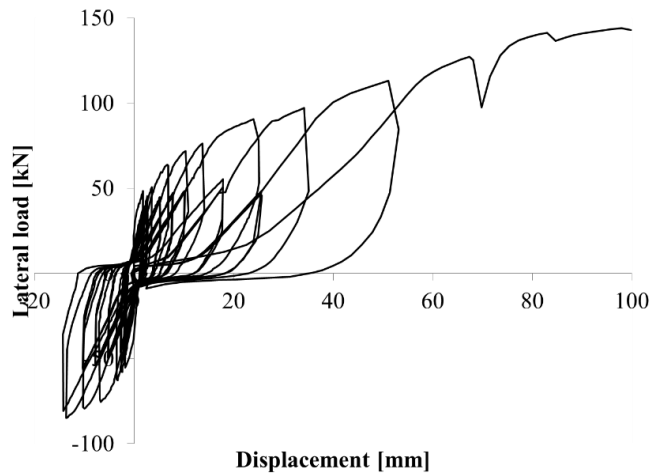
Unde  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  sunt deplasările măsurate și pozițiile traductorilor de deplasare reprezentați în **Fig. 78** (stânga).

Specimenul este rezemat pe o grindă de oțel a cadrului de reacțiune, fixat cu tije metalice pe direcție verticală și cu dispozitive de blocare a mișcării pe direcție orizontală (**Fig. 79**). Forța verticală a fost aplicată prin intermediul unor tiranți metalici tensionați, așa cum se observă în **Fig. 79**. Pe tiranți, 4 mărci tensometrice au fost utilizate pentru măsurarea forței. Forța inițială a fost de 30 kN.



**Fig. 79:** Test setup for wall specimen [37]

Rezultatul încercării în termeni de forță laterală [kN] și deplasare [mm] sunt arătate în **Fig. 80**. În acest capitol doar curba înfășurătoare pe ciclurile pozitive a fost utilizată. Datorită unor probleme de setup, după cel de-al 15-lea ciclu, doar încărcări în sens pozitiv au fost realizate. Comportarea peretelui prezintă creșterea rigidității în continuare, până la momentul opririi încercării, la 100 mm deplasare, moment la care nu a fost observată nicio rupere, deși au apărut degradări locale de compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn și fisuri în panourile de umplură din zidărie.

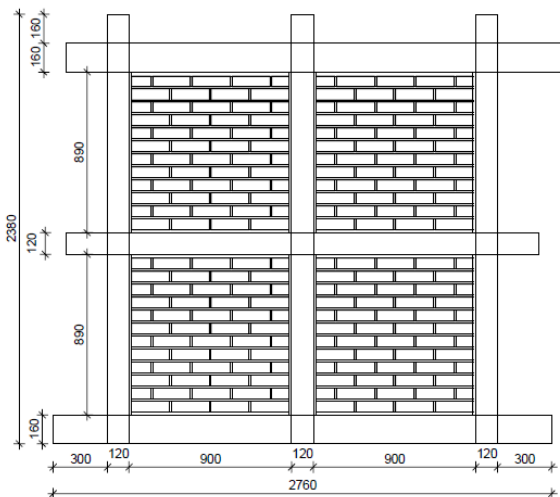


**Fig. 80:** Curba histeretică a TFM-CH

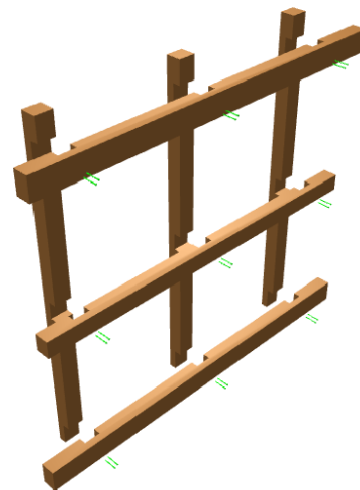
### 3.1.2 Specimen cu patru panouri din zidărie

Dimensiunile cadrului din lemn și umpluturilor sunt prezentate în **Fig. 81**, având patru panouri cu aceleași caracteristici [37]. **Fig. 82** prezintă îmbinările prin chertare ale cadrului din lemn, ranforsate cu holșuruburi de diametru 6 mm (~0.24 in.) and 90 mm (~3.55 in.) lungime, alese în funcție de disponibilitatea materialelor din Japonia și de faptul că în studii anterioare, pentru aceleași cuie, a fost determinată capacitatea la forță tăietoare, de [41].

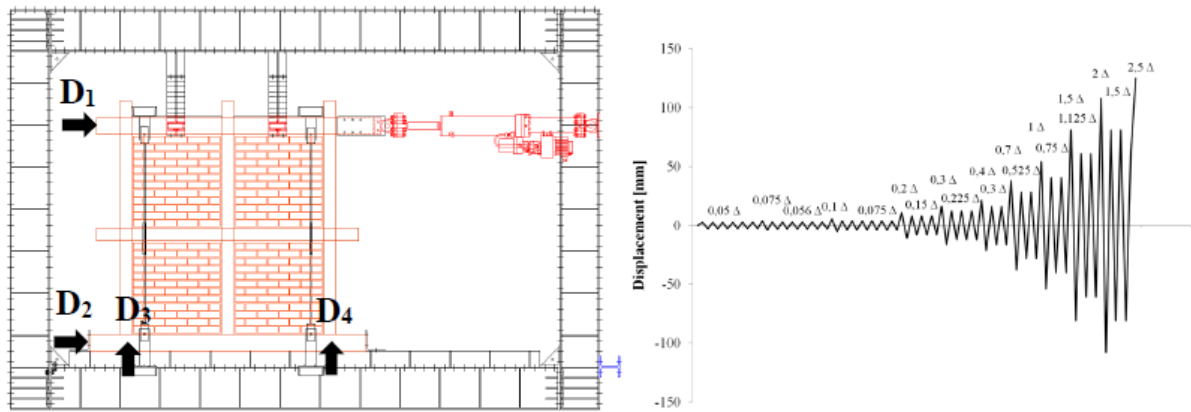
O forță verticală de 60 kN a fost aplicată inițial, prin tiranți metalici pretensionați și uniform distribuită pe partea superioară a specimenului utilizând plăci metalice prinsă pe grinda superioară din lemn cu holșuruburi. Această valoare a fost calculată ca o forță echivalentă ce acționează pe un perete de la parterul unei clădiri de 4 etaje.



**Fig. 81:** Dimensiunile specimenului de perete considerat în calibrarea modelului cu resorturi [16]

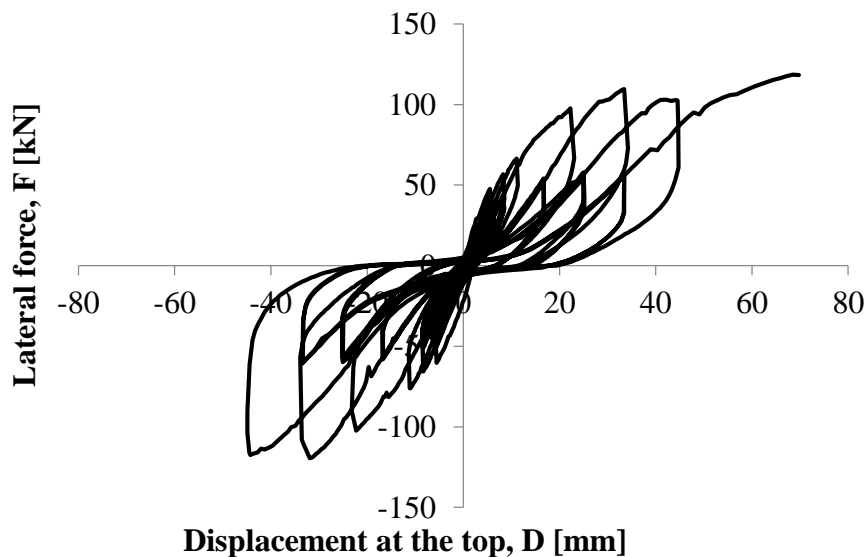


**Fig. 82:** Îmbinările prin chertare și holșuruburi ale cadrului din lemn [16]



**Fig. 83:** Setup-ul încercării (stânga) și protocolul de încărcare (dreapta) [16]

Specimenul a demonstrat o capacitate la forță tăietoare maximă de 118 kN (~26600 lb) și o rigiditate inițială de 9034 kN/rad (~14015 lb/in.), calculată ca secantă la forța tăietoare vs. deplasarea laterală corespunzătoare ce trece prin punctul de curgere. **Fig. 84** prezintă comportarea histeretică a specimenului, în termeni de forță laterală și deformație unghiulară (rad).



**Fig. 84:** Curba histeretică a specimenului S2

Diverse motive au condus la fracturarea timpurie a grinzii de sus din lemn, precum sistemul de aplicare al forței verticale (încărcarea nu a fost perfect uniform distribuită), defectele de material (noduri) sau îmbinările prin chertare ce reduc secțiunea, deci și rezistența elementului.

Degradările au apărut după 0,004 rad (~0.7% drift) datorită fenomenului de compresiune perpendiculară pe direcția fibrei a elementelor din lemn, produs de panoul de zidărie. Panourile din zidărie s-au separat de cadrul din lemn încă de la primul ciclu de încărcare. Zidăria a început să fisureze cu panoul din dreapta de jos, după 0.003 rad (~0.5% drift), iar în panoul din stânga jos după 0.006 rad (~1% drift). În urma încercării s-a putut observa un uplift semnificativ în îmbinările de la bază (maximum a fost 30 mm). Deși zidăria a prezentat disuri care s-au extins vizibil de la un capăt la celălalt al panoului, în jurul deformației de 0.012 rad (~2% drift), corespunzătoare unei forțe laterale de 97 kN (~21800 lb), panourile de umplutură au continuat să confere rigiditate sistemului și să disipe energie, până la ruperea grinzii din lemn. Rezistența mortarului are o importanță majoră deoarece utilizarea unui mortar slab poate direcționa

disiparea energiei în rosturile de mortar prin fisurarea acestora, și în consecință, prin lunecare. Acesta este modul ideal de rupere pentru SLUZ și a fost parțial observat la S2, la deformații mari (mai mari de 0.016 rad/ ~2.6% drift).

Forța verticală aplicată inițial a fost de 60 kN (~13500 lb), dar a crescut direct proporțional cu uplift-ul din îmbinările de la partea de jos și cu deplasarea la vârf. Dar nu este clar ce procent de forță axială este preluat de panourile din zidărie și ce procent e preluat de cadrul din lemn. Este cunoscut faptul că forța axială are o influență semnificativă în capacitatea la forță tăietoare a zidăriei, mai ales la sisteme SLUZ, unde frecarea joacă un rol important datorită modului de rupere caracteristic, de lunecare în rost.

### 3.2 Modelul cu resorturi

Resorturile sunt poziționate în serie și în paralel, în baza observațiilor asupra comportării mecanice din experimentele prezentate sumar în subcapitolele anterioare, dar și din alte studii [4]. Rigiditatea echivalentă,  $K_{TFM\ wall}$ , este rigiditatea sistemului SLUZ și reprezintă suma rigidităților echivalente din toate trei ramurile modelului, datorită așezării în paralel a acestora. Pentru fiecare ramură a modelului, rigiditatea echivalentă este dată de cel mai slab resort.

Pentru fiecare componentă a modelului cu resorturi, a fost obținută relația forță-deplasare, fie prin experimente de mică anvergură (aderența mortar-lemn, aderența mortar-cărămidă, biela comprimată din zidărie și îmbinarea din lemn) sau analitic (încovoierea stâlpului). În consecință, rigiditățile inițială și plastică au fost obținute pentru fiecare resort, rezultând în rigiditatea totală a peretelui SLUZ.

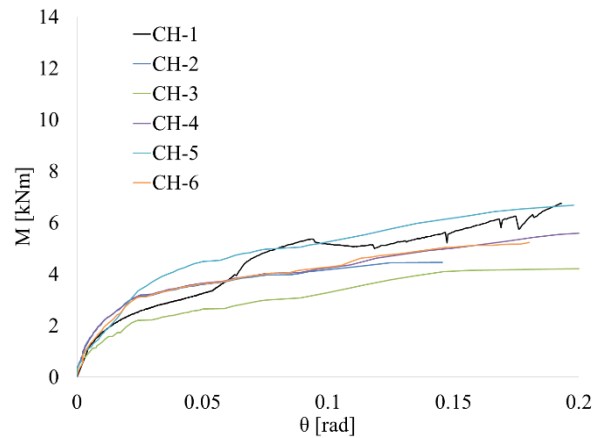
În baza rezultatelor experimentale obținute pentru un specimen cu un panou de zidărie [37] și, respectiv, un specimen cu patru panouri de zidărie [16], elementele modelului cu resorturi au fost identificate și pentru fiecare, a fost definită o relație bi-liniară forță-deplasare, calibrată cu experimente pe materiale sau sub-ansambluri, sau, dacă acestea nu au fost posibile, utilizând teoria mecanicii și a rezistenței materialelor. Elementele împreună cu relațiile forță-deplasare aferente vor fi prezentate în continuare.

#### 3.2.2 Cadrul din lemn ( $k_{joint}$ )

Curba forță-deplasare a cadrului din lemn fără umplutură a fost calculată în baza experimentelor pe îmbinări (**Fig. 85**) din care a rezultat curba moment-rotire pentru îmbinarea prin chertare (**Fig. 86**). Cu valorile momentelor de la îmbinările de jos și de la mijlocul peretelui, care au fost considerate pentru calcul, simplificat, ca cele de jos, forțele tăietoare au fost calculate pentru fiecare stâlp și însumate pentru a obține forța tăietoare totală ( $Q$ ) funcție de rotire ( $\theta$ ).

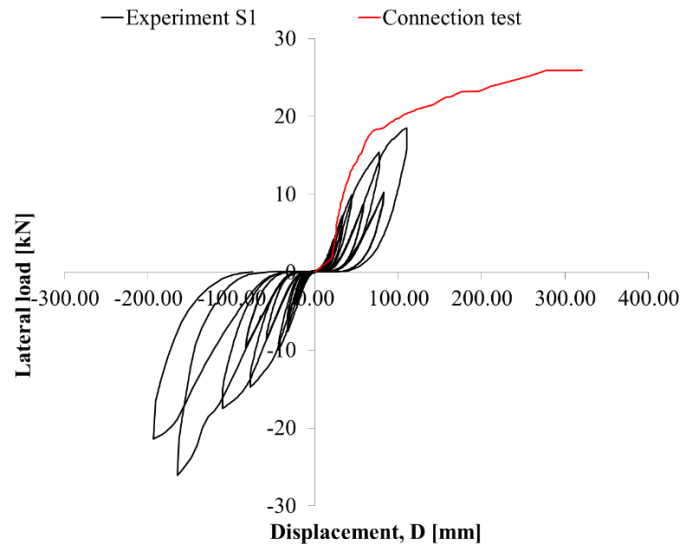


**Fig. 85:** Setup-ul încercării de încovoiere pe îmbinarea prin chertare



**Fig. 86:** Rezultatele experimentului pe îmbinare (M- $\theta$ )

Datorită faptului că rotirea în îmbinare este direct responsabilă pentru deplasarea la vârf, prin multiplicarea cu înălțimea, rezultă deplasarea datorită îmbinărilor (care e considerată la fel pentru cele trei îmbinări de la baza cadrului).

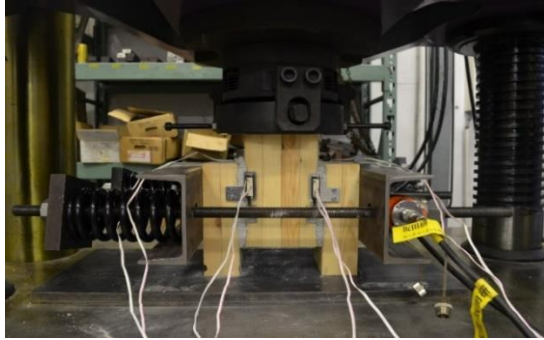


**Fig. 87:** Curba înfășurătoare determinată din experimente pe îmbinări vs. Rezultatele încercării pe cadrul din lemn fără umpluturi

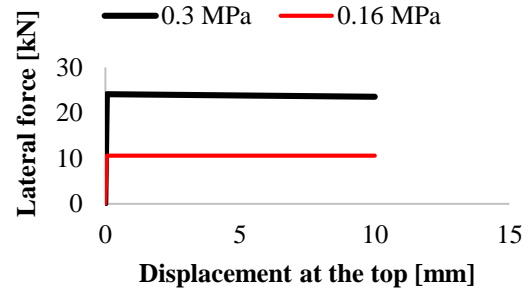
### 3.2.3 Lemn-mortar ( $k_{m-t}$ )

Relația dintre mortar și lemn (aderența) (**Fig. 89**) a fost inclusă în modelul cu resorturi și a fost definită prin intermediul testelor pe material (**Fig. 88**) prezentate în [16]. Având în vedere ipoteza ca panoul din zidărie se rotește ca un corp rigid, deplasarea rezultată din lunecarea dintre lemn și mortar, pe direcție verticală, a fost considerată egală cu deplasarea pe direcție orizontală, și astfel fiind inclusă direct în deplasarea totală la vârf a peretelui.





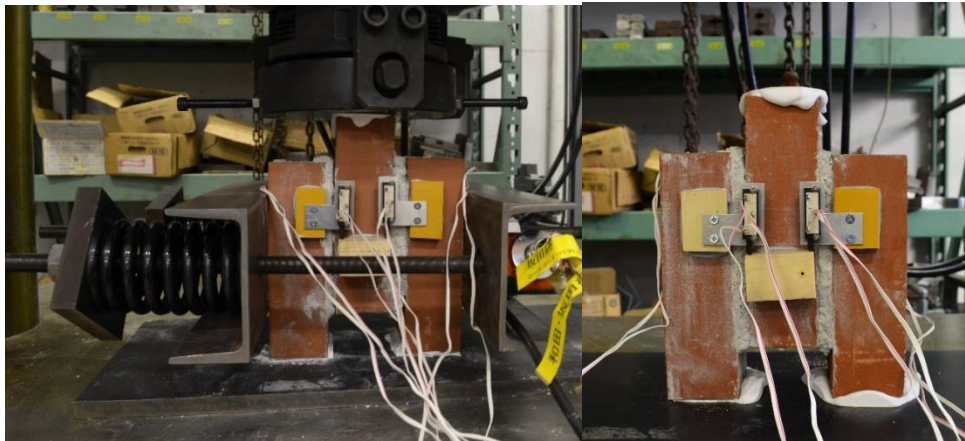
**Fig. 88:** Test de material pentru determinarea aderenței dintre mortar și lemn, sub efort normal constant [16]



**Fig. 89:** Relația elasto-perfect-plastică utilizată în modelul cu resorturi pentru aderența mortar-lemn (pentru două nivele de efort normal, 0.3 și 0.16 MPa)

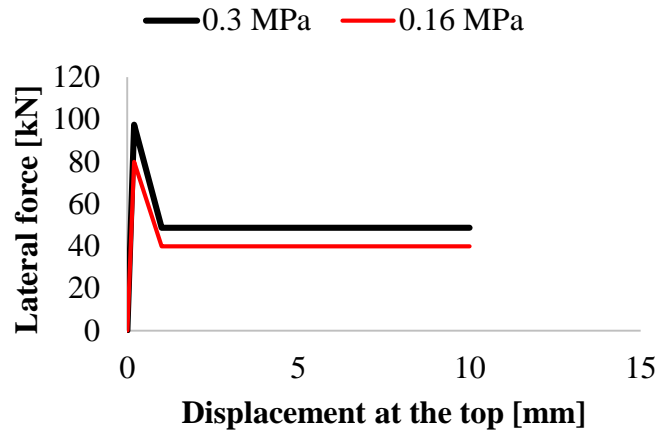
### 3.2.4 Cărămidă-mortar ( $k_{b-m}$ )

Relația mortar-cărămidă a fost inclusă și determinată prin teste de material prezentate în [16] (**Fig. 90**). Deplasarea rezultantă din lunecarea dintre cărămidă și mortar influențează direct deplasarea la vârf a peretelui, și astfel, relație determinată din testul de material a fost utilizată la nivel global, pentru tot peretele.



**Fig. 90:** Testele de material pentru aderența dintre mortar și cărămidă cu (stânga) și fără (dreapta) efort normal constant [16]

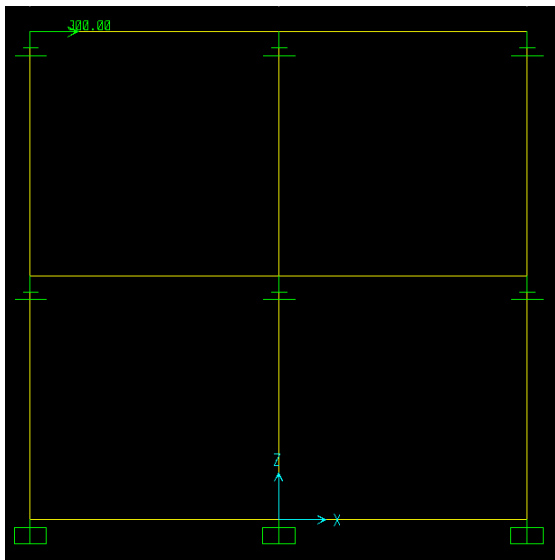
Având în vedere că distribuția forței axiale în perete nu se cunoaște, în model au fost considerate două nivele de efort normal constant, aferente datelor obținute din testele de materiale, de 0.16 MPa și 0.30 MPa (**Fig. 91**). Numărul de rosturi de mortar nu a fost luat în considerare în model, presupunând că un panou e atât de rezistent cât cea mai slabă verigă, care aici e un rost.



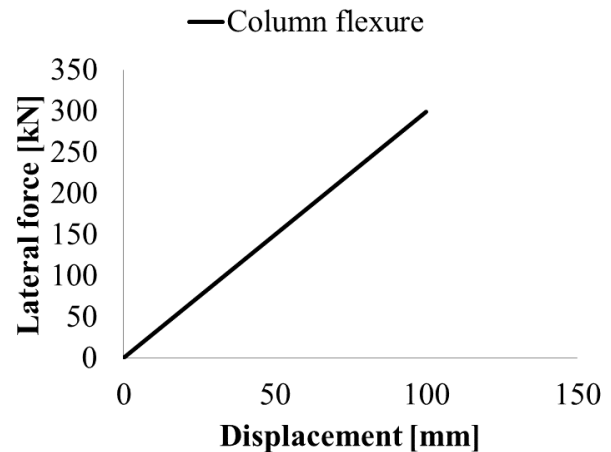
**Fig. 91:** Relația dintre cărămidă și mortar (aderența) utilizată în model pentru 2 nivele de efort normal constant

### 3.2.5 Încovoierea stâlpului ( $k_{flexure}$ )

Deși pentru detaliile constructive ale peretelui încercat în Japonia încovoierea stâlpului a fost neglijabilă, pentru a crește versatilitatea modelului, a fost inclusă în modelul cu resorturi. Pentru simplificarea calculului, un model virtual a fost realizat în programul SAP2000 pentru a identifica rigiditatea cadrului, presupunând că toate îmbinările sunt de tip rigid. Stâlpii au fost considerați încastrați la bază, iar peretele a fost supus la o forță laterală aplicată la vârf (**Fig. 92**). Rezultatul analizei statice elastice este prezentat în **Fig. 93**, iar rigiditatea rezultată a fost utilizată direct în modelul cu resorturi.



**Fig. 92:** Model simplificat cu îmbinări rigide utilizat pentru deretminarea rigidității la încovoiere a cadrului din lemn

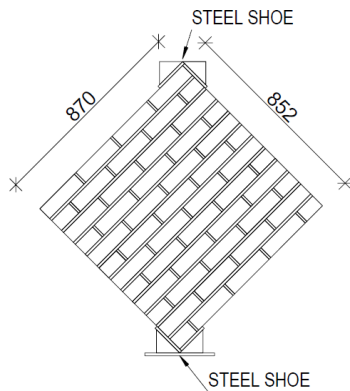


**Fig. 93:** Relația forță-deplasare utilizată în modelul cu resorturi

### 3.2.6 Biela comprimată din zidărie ( $k_{strut}$ )



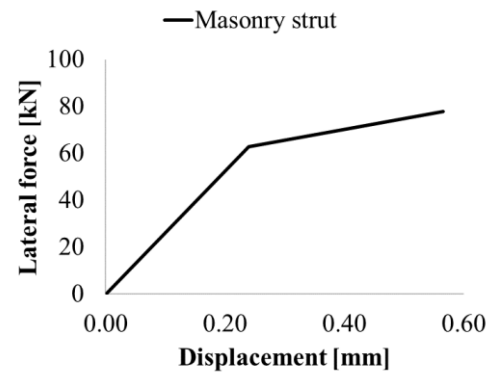
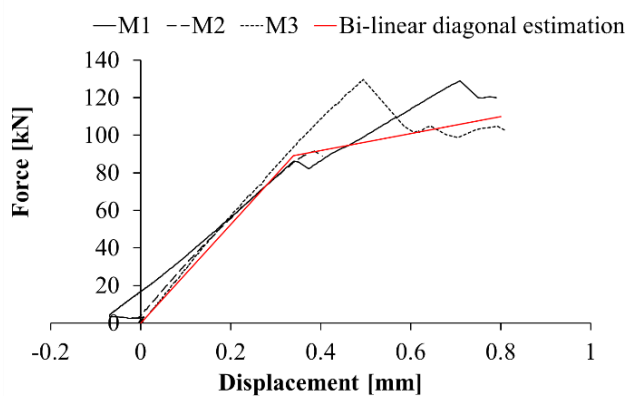
Încercările la compresiune diagonală prezentate în [9] au fost folosite pentru a defini resortul corespunzător evaluării bielei comprimate din zidărie. În baza rezultatelor obținute, o curbă bi-liniară a fost propusă pentru panoul din zidărie pe direcție diagonală (**Fig. 96**, stînga). Transformând aceasta în coordonate globale pentru perete, forța a fost multiplicată cu  $\cos 45^\circ$  și deplasarea a fost împărțită  $\sqrt{2}$ , iar rezultatul este prezentat în **Fig. 96**, dreapta pentru a fi folosit în modelul cu resorturi.



**Fig. 94:** Dimensiunile panourilor din zidărie



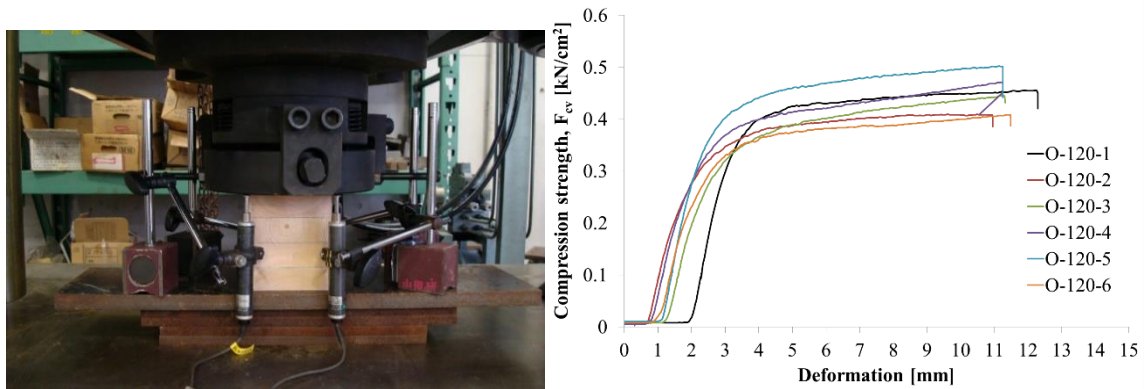
**Fig. 95:** Încercare la compresiune diagonală



**Fig. 96:** Rezultatele încercărilor la compresiune diagonală cu relația bi-liniară propusă pentru diagonală (stînga) și adaptarea la coordonatele globale pentru a putea fi folosită în modelul cu resorturi (dreapta)

### 3.2.7 Compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn ( $k_{emb}$ )

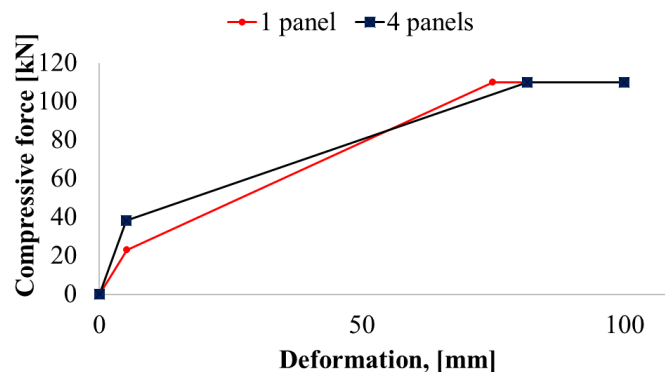
Rezultatele la compresiune totală pe prisme din lemn au fost folosite pentru a defini caracteristicile lemnului perpendicular pe direcția fibrei prezentate în detaliu în [16] (**Fig. 97**). Acest fenomen este observat ca fiind predominant în comportarea peretelui, datorită transferului de forțe dintre biela comprimată a zidăriei și elementele din lemn, comprimându-le perpendicular pe fibră.



**Fig. 97:** Încercări la compresiune perpendiculară pe direcția fibrei pe prisme din lemn,  $f_{cv}$  în  $\text{kN/cm}^2$ : setup (stânga) și rezultatele încercărilor (dreapta) [16]

Pentru situația cu un panou, zona de contact este foarte importantă și a fost considerată  $10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  la fiecare colț al diagonalei panoului din zidărie. Deformația de curgere obținută experimental (**Fig. 97**) a fost folosită, și multiplicată cu un coeficient de 2.4, pentru a considera contribuția elementelor din lemn înconjurătoare (compresiune parțială) în comportarea la compresiune perpendiculară pe direcția fibrei [42]. Rigiditatea după curgere a fost considerată între  $1/6$  și  $1/8$  din rigiditatea inițială [43]. Știind că această proprietate a lemnului este caracterizată printr-o creștere a rigidității lentă, chiar și pentru deplasări mari, după atingerea valorii forței de  $110 \text{ kN}$  (rezistența maximă a bielei comprimate din zidărie), rigiditatea a fost considerată, simplificat, 0. Pentru modelul cu patru panouri, zona de contact a fost considerată similar, dar numai pentru două panouri, ca diagonală pentru întregul perete, deci 4 colțuri cu o arie de  $10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ .

Ținând seama de ipotezele considerate pentru rotirea manoului din zidărie ca un corp rigid, încastrarea în lemn pe direcție verticală a fost însumată cu încastrarea în lemn pe direcție orizontală, iar încastrarea totală a fost inclusă în deplasarea totală de la vârful peretelui.



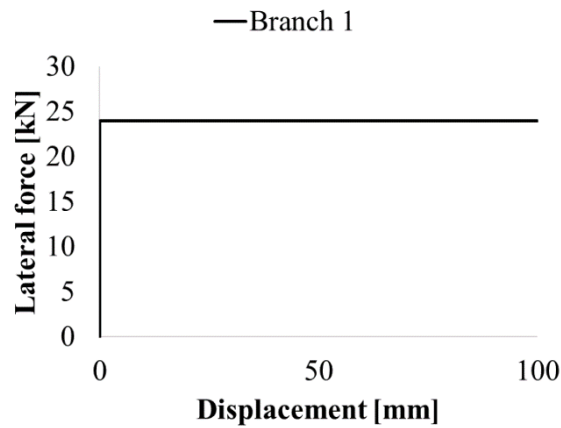
**Fig. 98:** Relații utilizate în modelul cu resorturi pentru compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn

### 3.3 Testarea modelului cu resorturi

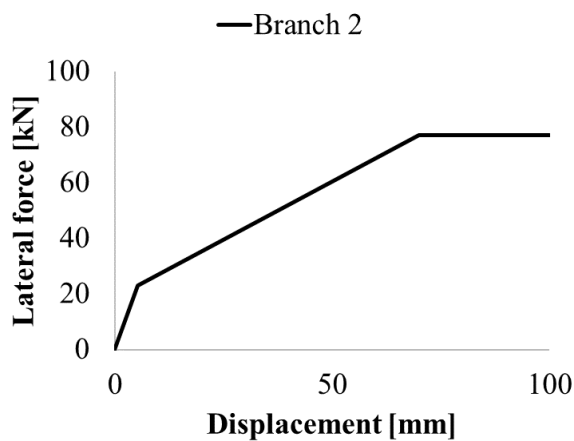
#### 3.3.1 Calibrarea specimenului cu un panou din zidărie

Plecând de la configurația modelului cu resorturi și considerând pentru fiecare resort fiecare curba forță-deplasare aferentă, patru evenimente au fost identificate în comportarea globală a specimenului. Relația pentru fiecare ramură a fost calculată ca fiind combinația celor două

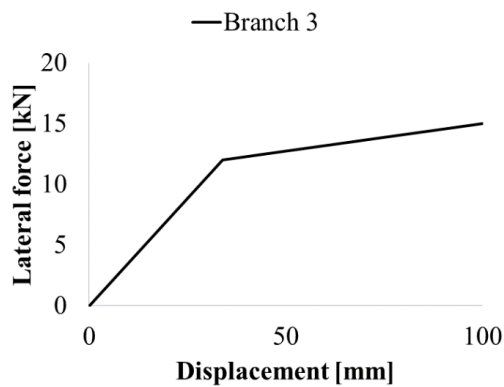
resorturi componente din ramură, acestea fiind în serie, deci cel mai slab resort impune forța maximă. Apoi, cu forța maximă, deplasarea este calculată ca sumă a celor două resorturi, pentru același nivel de forță. Pentru prima ramură, **Fig. 99** prezintă rezultatul final (combinație dintre Error! Reference source not found. și Error! Reference source not found.). Pentru ramura a doua, **Fig. 100** prezintă rezultatul (combinație dintre Error! Reference source not found. și Error! Reference source not found.). Pentru ramura a treia, **Fig. 101** prezintă rezultatul (combinație dintre Error! Reference source not found. și Error! Reference source not found.).



**Fig. 99:** Prima ramură a modelului cu resorturi

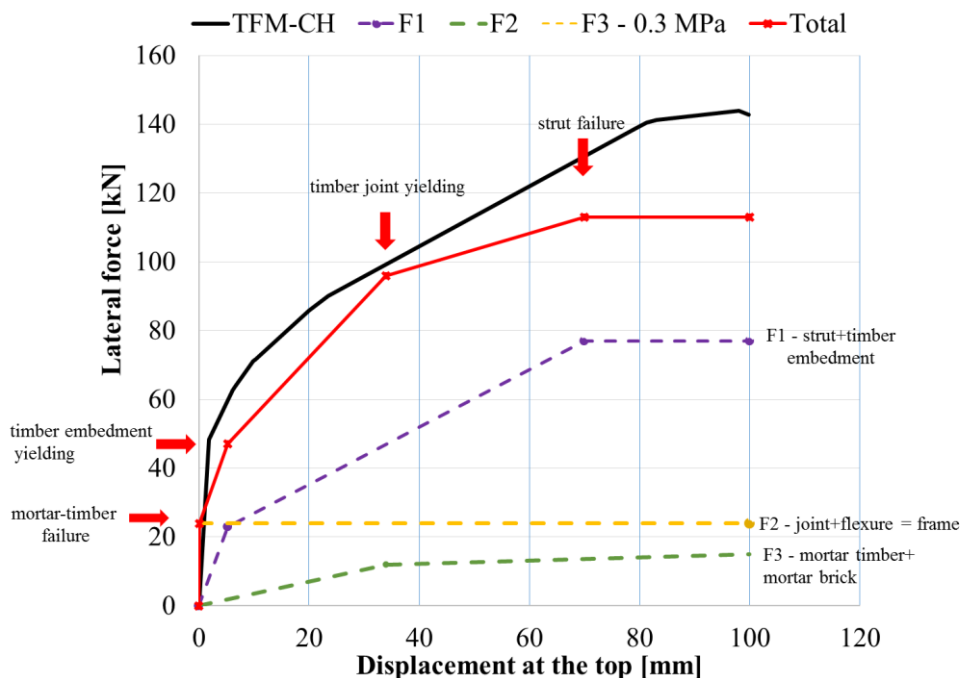


**Fig. 100:** A doua ramură a modelului cu resorturi



**Fig. 101:** A treia ramură a modelului cu resorturi

În final, cele trei ramuri sunt în paralele, deci plecând de la deplasarea primului eveniment (atunci când le suprapunem pe același grafic), forța este însumată, iar curba rezultantă este prezentată în **Fig. 102**.



**Fig. 102:** Modelul analitic pentru specimenul cu un panou din zidărie (modelul cu resorturi)

Modelul arată un rezultat rezonabil în termeni de forță-deplasare pentru specimenul cu un panou de zidărie. Rigiditatea inițială este dată de resortul lemn-mortar, iar după fisurarea timpurie, este activată proprietatea de compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn, împreună cu biela comprimată din zidărie. După ce biela fracturează, în model apare o pierdere de rigiditate, însă în realitate rigiditatea nu e nulă, fiind susținută de lunecarea zidăriei în rost și de re-așezarea bielei în altă poziție. Modelul poate surprinde, însă, doar fenomene separate și nu combinate pentru biela și lunecare în rost, dar în realitate ele sunt combinate [16].

## 4. Experimente pe materiale și sub-ansambluri caracteristici caselor tradiționale românești

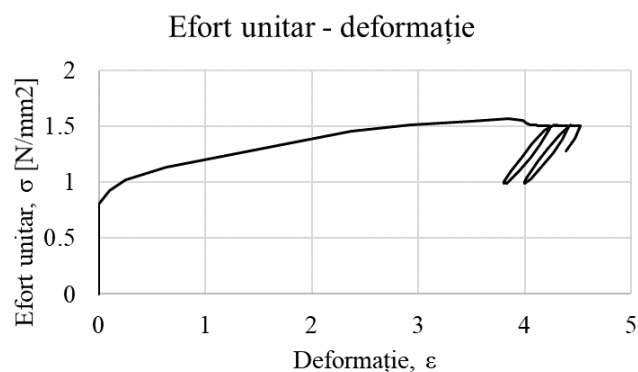
### 4.1 Prisme de zidărie din cărămizi de pământ și mortar de pământ

#### 4.1.1 UTCB

Au fost realizate încercări pe materiale pentru prisme din zidărie realizate din cărămizi de pământ având layout-ul prezentat în **Fig. 103**. Rezistența medie la compresiune a fost de 1.86 MPa, iar modulul de elasticitate, calculat ca secanta la punctul aferent a 1/3 din rezistența maximă, a fost de 0.6 GPa. Viteza de încărcare a fost de MPa/s. Încercările au fost efectuate în laboratorul Departamentului de Construcții din Beton al UTCB.



**Fig. 103:** Încercări la compresiune pe prisme din zidărie de lut



**Fig. 104:** Rezultate compresiune prisme din zidărie, forță-deformație (UTCB)

#### 4.1.2 INCERC Bucuresti

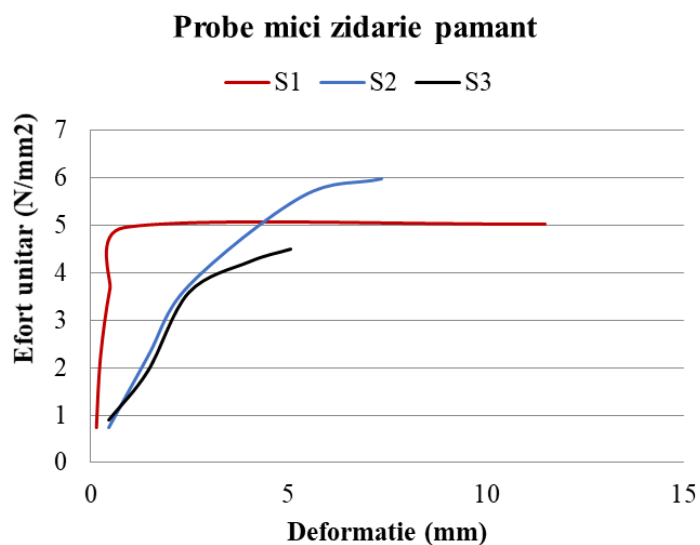
##### 4.1.2.1 Prisme realizate din elemente de zidărie din pământ (lut) și mortar pe bază de liant din lut stabilizat

Testul s-a desfășurat la compresiune sub sarcină monoton crescătoare până la instalarea rupei. Pe parcursul încercării s-a măsurat deformația prisme, la diferite sarcini de încărcare.

Măsurătorile s-au efectuat în cca. 15 puncte, trasarea diagramelor făcându-se la intervale semnificative de 2 KN. Diagramele forță-deformație ce au rezultat sunt prezentate în **Fig. 105** și în **Tabelul 1**.



**Fig. 105:** Specimen de zidărie pentru determinarea la compresiune elemente din pământ stabilizat și mortar din lut



**Fig. 106:** Rezultate compresiune prisme din zidărie, forță-deformație (INCERC)

**Tabelul 1.** Rezultate compresiune prisme din zidărie, forță-deformație

Proba	Efortul unitar maxim [N/mm <sup>2</sup> ]
1	5.027
2	5.972
3	4.502
<b>Media</b>	<b>5.167</b>

#### 4.1.2.2 Prisme realizate din elemente de zidărie ceramice și mortar de uz general pe baza de ciment

Testul s-a desfășurat la compresiune sub sarcină monoton crescătoare până la instalarea rupei. Pe parcursul încercării s-a măsurat deformația prisme, la diferite sarcini de încărcare. Măsurătorile s-au efectuat în cca. 35 puncte trasarea diagramelor făcându-se la intervale semnificative de 50 KN. Rezultatele încercărilor sunt prezentate mai jos.



Fig. 107: Specimen de zidărie pentru determinarea la compresiune

Tabelul 2. Rezultatele încercării la compresiune a prismelor de zidărie elemente ceramice-mortar de uz general

Specimen	Efort unitar maxim (N/mm <sup>2</sup> )	Deformație maximă (mm)
1	13.00	2.70
2	7.37	2.61
3	13.04	4.81
<b>Media</b>	<b>11.14</b>	<b>3.37</b>

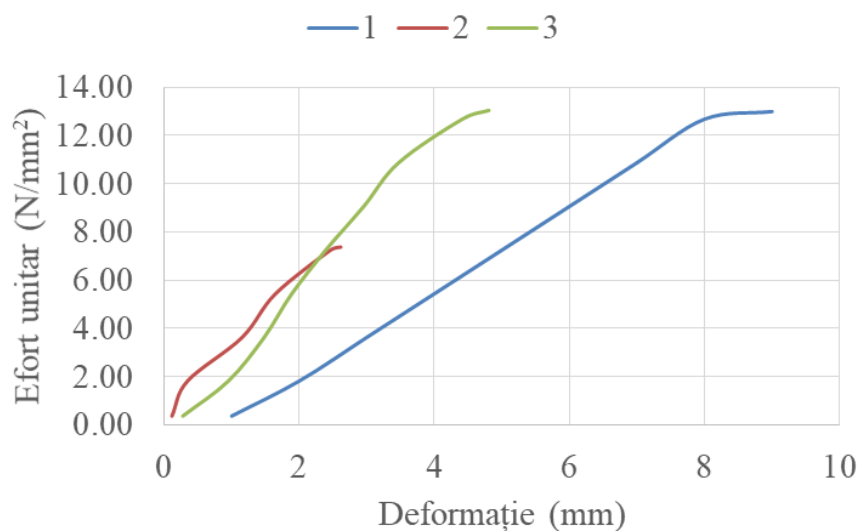


Fig. 108: Curbe efort-deformație pentru speciunile din zidărie ceramică



## 4.2 Compresiune pe cilindri de pământ



Fig. 109: Compresiune pe cilindri de mortar de pământ (UTCB)

Tabelul 3. Rezultate compresiune prisme din zidărie, forță-deformație

Pr.	Perete	Cu/fara paie	Obs.	Length [mm]	Diameter (mm)	Maximum force (kN)	Max strength (MPa)	Max strength average
1	S3+S4	Cu paie	ne-exploziva ruperea	-	92	3.85	0.58	0.56
2				195	92.83	3.4	0.50	
3				195	97	4.4	0.60	
1	S1+S2	Fara paie	exploziva ruperea	178	90	17.4	2.74	2.62
2				175	91	19.8	3.05	
3				178	92.5	14	2.08	
1	S3+S4	Cu paie	ne-exploziva ruperea	-	-	6.1	0.88	0.88
2				188	94.15	6.2	0.89	
3	S1+S2	Fara paie	Fisură inițială	181	92.8	18.9	2.80	2.13
4				183	90.2	9.4	1.47	



## 4.3 Compresiune la lemn

### 4.3.1 Japonia (compresiune perpendiculară pe direcția fibrei la lemn)



Fig. 110: Compresiune perpendiculară pe direcția fibrei pe cuburi din lemn (stânga) și pe probe rectangulare (dreapta) (BL-Insitute)

Tabelul 4. Rezultate compresiune perpendiculară pe direcția fibrei pe cuburi din lemn (1-3) și pe probe rectangulare (4-5) (BL-Insitute)

Proba	Max Strength [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_y$	E1 [N/mm <sup>2</sup> ]	E2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Forța maximă [kN]
1	3.80	3.62	0.035	113	2.28	37.39
2	4.27	4	0.026	207	3.27	41.07
3	5.06	3.63	0.023	206	14.08	49.88
<b>Media</b>	<b>4.38</b>	<b>3.75</b>	<b>0.028</b>	<b>175.24</b>	<b>6.54</b>	<b>42.78</b>
4	5.20	2.92	0.044	105	14.74	69.03
5	4.84	2.98	0.053	101	11.31	64.47
<b>Media</b>	<b>5.02</b>	<b>2.95</b>	<b>0.05</b>	<b>102.67</b>	<b>13.03</b>	<b>66.75</b>

### 4.3.2 INCERC București

Metodele utilizate pentru realizarea testelor, au fost în conformitate cu standardul de produs SR EN 14801:1+A1:2016 „Structuri din lemn. Lemn pentru construcții cu secțiune dreptunghiulară, sortat după rezistență. Partea 1: Cerințe generale”.

Elementele structurale au fost astfel:

- Elemente prismatice pentru încercarea la compresiune, paralel cu fibra;
- Elemente prismatice pentru încercarea la compresiune, perpendicular pe fibră.

Determinările au fost efectuate în baza următoarelor documente: standardele SR EN 14801:1+A1:2016 și SR EN ISO 408, precum și procedura tehnică PTE BSGF -39. Aparatura utilizată a fost verificată și etalonată la începutul fiecărei încercări. Rezultatele obținute pentru fiecare tip de încercare, în parte, sunt prezentate mai jos:

#### 4.3.2.1 Determinarea rezistenței la compresiune, paralel cu fibra

Pentru determinarea rezistenței la compresiune, paralel cu fibra s-au confecționat specimene în conformitate cu cerințele standardului de produs. Epruvetele au avut dimensiunile de cca: 112 x 111 x 105 mm.



**Fig. 111:** Specimen de lemn pentru încercarea la compresiune, paralel cu fibra

Înainte de efectuarea testelor s-a efectuat măsurarea dimensiunilor specimenelor cu precizia de  $1 \times 10^{-1}$  mm. Rezistența la compresiune s-a calculat cu ajutorul relației:

$$f_{t,90} = F_{t,90,max} / b \times l \quad (1)$$

Unde:

- $f_{t,90}$  – rezistența la compresiune, în  $N/mm^2$ ;
- $F_{t,90,max}$  – forța maximă preluată de specimen, în N;
- $b, l$  – dimensiunile orizontale ale specimenului, în mm.

Rezultatele testelor sunt prezentate în **Tabelul 7**.

**Tabelul 7** – Rezultatele încercării la compresiune a lemnului de construcții, solicitat paralel cu fibra

Proba	Dimensiuni (mm)		Forța de rupere (N)	Rezistența la compresiune ( $N/mm^2$ )
	b	h		
1	112	111	362600	118,24
2	111	111	447000	147,08

3	112	111	422600	137,81
4	113	112	493600	156,70
5	114	115	433700	129,45
<b>Media</b>				<b>137.86</b>



**Fig. 112:** Specimene de lemn după încercarea la compresiune paralel cu fibra

#### 4.3.2.2 Determinarea rezistenței la compresiune, perpendicular cu fibra

Pentru determinarea rezistenței la compresiune, perpendicular cu fibra, s-au confecționat specimene în conformitate cu cerințele standardului de produs. Epruvetele au avut dimensiunile de: 110 x 105 x 112 mm.



**Fig. 113:** Specimen de lemn pentru încercarea la compresiune perpendicular cu fibra

Înainte de efectuarea testelor s-a efectuat măsurarea dimensiunilor speciemenelor cu precizia de  $1 \times 10^{-1}$  mm. Rezistența la compresiune s-a calculat cu ajutorul relației:

$$f_{c,90} = F_{c,90,max} / b \times l \quad (2)$$

Unde:



- $f_{c,90}$  – rezistența la compresiune, în N/mm<sup>2</sup>;
- $F_{t,90,max}$  – forța maximă preluată de specimen, în N;
- $b, l$  – dimensiunile orizontale ale specimenului, în mm.

Rezultatele testelor sunt prezentate în **Tabelul 5**.

**Tabelul 5.** Rezultate compresiune perpendiculară pe direcția fibrei pe cuburi din lemn (INCERC București)

Specimenul	Forța [N]	b [mm]	h [mm]	Efortul unitar maxim (MPa)	Rezistența la compresiune (N/mm <sup>2</sup> )
<b>P6</b>	59900	112	107	4.99	21,02
<b>P7</b>	63600	111	105	5.45	23,39
<b>P8</b>	63900	108	104	5.68	24,62
<b>P9</b>	56800	108	111	4.73	19,21
<b>P10</b>	52600	111	107	4.42	18,63
<b>Media</b>	<b>59360</b>	-	-	<b>5.06</b>	<b>21.37</b>



**Fig. 114:** Specimene de lemn după încercarea la compresiune perpendicular cu fibra



**Fig. 115:** Specimen de lemn – tipuri de rupere la compresiune

#### 4.4 Încovoiere pe grinzi din lemn

Pentru determinarea rezistenței la încovoiere s-au confecționat specimene în conformitate cu cerințele standardului de produs. Epruvetele au avut dimensiunile de: 95 x 120 x 2400 mm.



**Fig. 116:** Specimen de lemn pentru încercarea la încovoiere

Înainte de efectuarea testelor s-a efectuat măsurarea dimensiunilor speciemenelor cu precizia de  $1 \times 10^{-1}$  mm. Rezistența la încovoiere s-a calculat cu ajutorul relației:

$$f_m = 3xF_{max} \times l / 2xbxh^3 \quad (3)$$

Unde:

- $f_m$  – rezistența la încovoiere, în  $N/mm^2$ ;
- $l$  – deschiderea reazemelor superioare, de acționare, în mm;

- $F_{max}$  – forța maximă preluată de specimen, în N;
- $b, h$  – dimensiunile secțiunii verticale ale specimenului, în mm.

Rezultatele testelor sunt prezentate în **Tabelul 6**.

**Tabelul 6.** Rezultatele încercării la încovoiere a lemnului de construcții

Proba	Dimensiuni (mm)		Forța de rupere (N)	Rezistența la încovoiere (N/mm <sup>2</sup> )
	b	h		
1	97	118	1810	68,14
2	98	120	1880	66,61
3	94	117	1180	47,03
<b>Media</b>				<b>60.59</b>



**Fig. 117:** Specimene de lemn după încercarea la încovoiere





**Fig. 118:** Specimen de lemn pentru încercarea la încovoiere



**Fig. 119:** Specimen de lemn – tipuri de rupere la încovoiere

#### 4.5 Determinarea rezistenței la forfecare sub efort slab de precomprimare

Determinarea rezistenței la forfecare sub efort slab de precomprimare ( $0.1 \text{ N/mm}^2$ ) s-a efectuat pentru următoarele specimenele: trei realizate cu elemente ceramice și mortar de uz general și trei realizate cu elemente din pământ stabilizat și mortar pe bază de lut stabilizat.



**Fig. 120:** Specimen realizat din elemente ceramice și mortar de uz general



**Fig. 121:** Specimen realizat din elemente pe bază de pământ stabilizat și mortar din lut

##### 4.5.1 Rezistența la forfecare pe zidărie cu elemente ceramice și mortar de uz general

Încercarea la forfecare - aderența s-a determinat în conformitate cu SR EN 1052-3:2003 “Metode de încercare a zidăriei” – Determinarea rezistenței inițiale la forfecare”. La confecționarea probelor s-a utilizat mortarul de uz general pe bază de ciment. Probele pentru încercare au fost ținute în condiții normale de umiditate și temperatură. Rezultatele încercărilor sunt prezentate în **Tabelul 7**.

**Tabelul 7.** Rezultatele încercării la forfecare pentru zidărie din elemente ceramice și mortar de uz general

Proba	Secțiune (mm)		Forța max. (N)	Efort unitar ( $\text{N/mm}^2$ )
	b	h		
<i>ceramice</i>				
P1	132	114	1790	0,119
P2	131	117	3550	0,232
P3	137	117	3250	0,203
<b>Media</b>			<b>2863</b>	<b>0.185</b>



**Fig. 122:** Specimen realizat din elemente ceramice și mortar de uz general – aderența la suport

#### 4.5.2 Rezistența la forfecare pe zidărie cu elemente de zidărie din pământ stabilizat și mortar pe bază de lut

Încercarea la forfecare - aderență s-a determinat în conformitate cu SR EN 1052-3:2003 “Metode de încercare a zidăriei” – Determinarea rezistenței inițiale la forfecare”. La confecționarea probelor s-a utilizat mortarul pe bază de lut. Probele pentru încercare au fost ținute în condiții normale de umiditate și temperatură. Rezultatele încercărilor sunt prezentate în **Tabelul 8**.

**Tabelul 8.** Rezultatele încercării la forfecare pentru zidărie din elemente din pământ stabilizat și mortar pe bază de lut

Proba	Sectiune (mm)		Forța max. (N)	Efort unitar (N/mm <sup>2</sup> )
	b	h		
<i>lut</i>				
P1	150	111	1080	0,065
P2	143	111	1000	0,063
P3	163	113	1480	0,080





**Fig. 123:** Specimen realizat din elemente din pământ stabilizat și mortar pe bază de lut  
– aderența la suport

#### 4.6 Încercări ciclice la încovoiere pe îmbinări din lemn

Încercările ciclice pe îmbinările din lemn s-au efectuat pe speciunile realizate asemănător cu cele pentru pereți. Au fost realizate trei îmbinări chertate fixate cu câte două cuie pe îmbinare și trei îmbinări realizate prin chertare și fixate cu câte două șuruburi autofiletante. Una dintre îmbinările realizate prin fixare cu cuie nu a putut să fie încercată la solicitări ciclice deoarece prezenta rotiri sub efort slab și nu s-a putut realiza încărcarea acesteia.

Pentru realizarea testelor s-a realizat un montaj ce a presupus fixarea tălpilor de bază cu ajutorul unor conexpanduri speciale ce au asigurat încastrarea perfectă a bazei. Schema de lucru a presupus acționarea pe orizontală a prinderii la o înălțime de 100 cm de la centrul de greutate a prinderii. Acționarea s-a făcut prin aplicarea unei forțe până la limita de capacitate a prinderii. După atingerea sarcinii maxime s-a procedat la descărcarea probei, relaxarea lemnului și reîncărcarea până la forța de cedare. După atingerea forțelor maxime capabile s-a procedat până la limita maximă de deplasare (capacitatea maximă a prinderii).

Pentru fiecare test s-a măsurat unghiul de rotire a îmbinării la bază, pe direcția închiderii unghiului, opus punctului de acționare a forței. S-a constatat și o strivire pe orizontală a îmbinării, ce a condus la ciclurile începând cu cel de al doilea și la deplasări pe orizontală. Schema de încercare este prezentată în **Fig. 125**.



Fig. 124: Deplasare laterală în îmbinare



Fig. 125: Schema de testare la solicitări ciclice a îmbinărilor din lemn

#### 4.6.1 Îmbinări realizate cu prinderea cu cuie

##### Imbinari lemn - cuie nefiletate

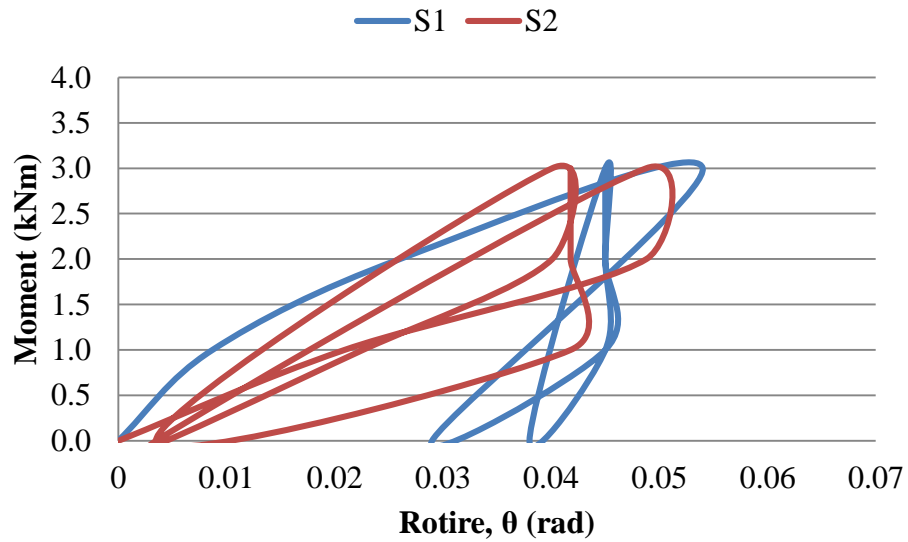


Fig. 126: Variația deformației sub sarcină a îmbinării realizată cu cuie

#### 4.6.2 Îmbinări realizate cu prinderea cu șuruburi

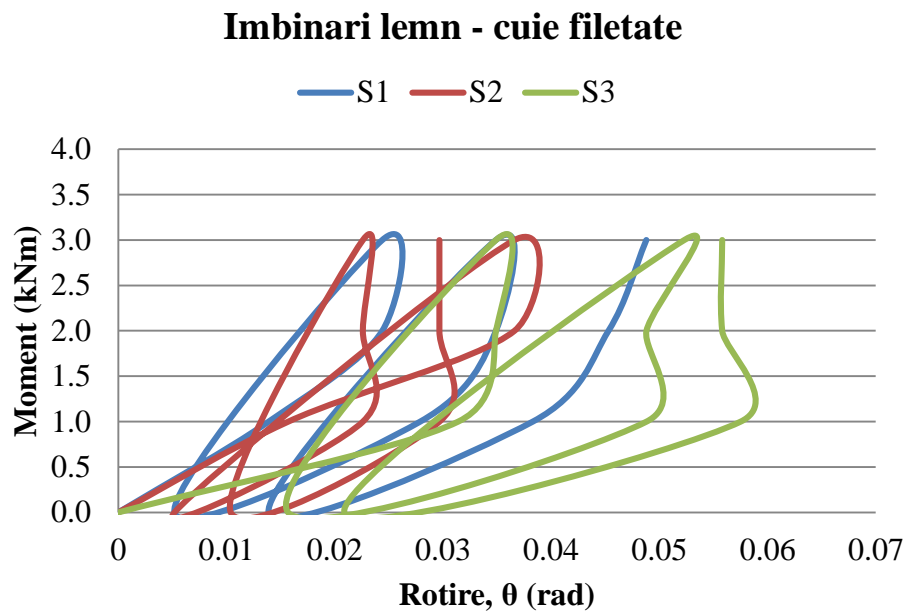


Fig. 127: Variația deformației sub sarcină a îmbinării realizată cu șuruburi



Fig. 128: Element de îmbinare –stadiul ultim





**Fig. 129:** Rotire în îmbinare – prindere în cuie



**Fig. 130:** Rotire în îmbinare – prindere în holşuruburi



**Fig. 131:** Revenire elastică în îmbinare

## 5. Verificarea modelului cu resorturi pentru un perete cu alte proprietăți

### 6.1 Setup-ul experimental

Pentru a verifica coerența modelului cu resorturi calibrat pentru testele din Japonia, un perete cu aceleași dimensiuni ca cel testat în Japonia a fost executat și testat în același mod și cu același protocol de încercare. Astfel, test setup-ul a fost realizat în același fel (**Fig. 83**). **Fig. 134** prezintă layout-ul încercării din laboratorul JICA al UTCB. Îmbinările sunt toate prin chertare, cu cuie filetate. Se observă că cele nefiletate nu sunt ductile. Cărămizile au fost cumpărate dintr-un depozit de materiale, fiind cele mai ușor de găsit pe piața românească. Din încercări la compresiune pe cărămizi au fost obținute rezistențele medii, la fel și de pe prisme din zidărie cu mortar.



**Fig. 132:** Încercări pe cărămizi



**Fig. 133:** Încercări pe prisme din zidărie

Cilindri de mortar au fost încercați la compresiune, iar rezultatele variază între 4,6 și 9,24 MPa.

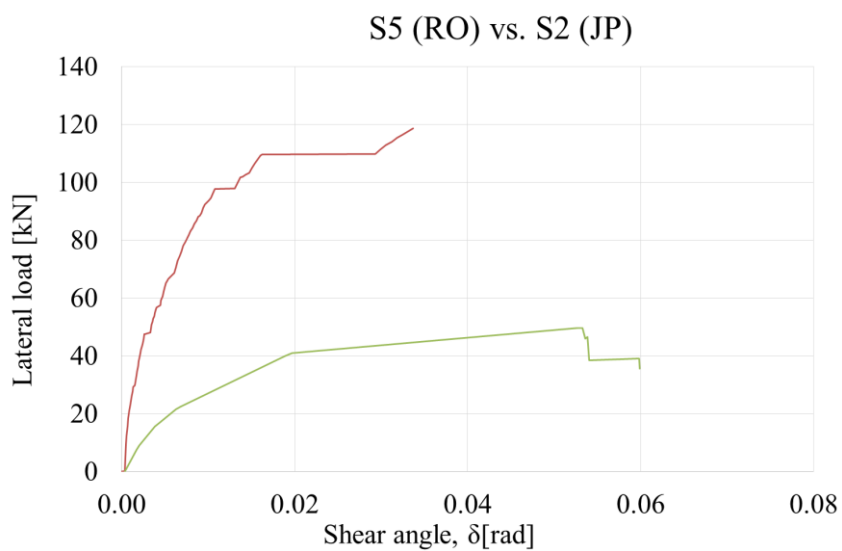
Pentru acest specimen au fost realizate și încercări la forfecare pe prisme de cărămidă, precum și alte încercări la compresiune (**Fig. 120**, **Fig. 122**) pentru a determina proprietățile materialelor și a le utiliza apoi în modelul cu resorturi.



**Fig. 134:** Specimen S5 pregătit pentru încercare

## 6.2 Rezultate experimentale

Curba înfășurătoare este prezentată în **Error! Reference source not found.** în comparație cu înfășurătoarea obținută în urma testului din Japonia.

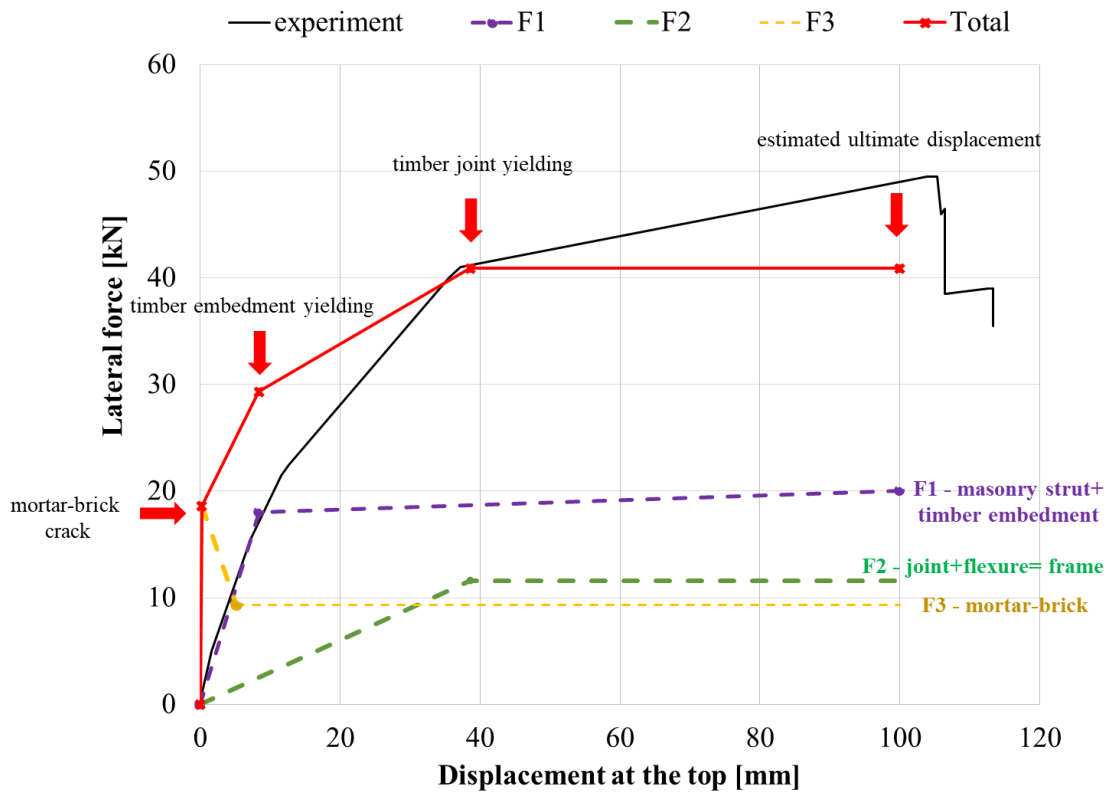


**Fig. 135:** Curba înfășurătoare a specimenului S5 (Ro) vs. cea a specimenului S2 (Jp)



### 6.3 Aplicarea modelului cu resorturi pentru S5

Respectând pașii ce au fost urmați în capitolul anterior, la construcția modelului cu resorturi și aplicarea lui, pentru validarea ipotezelor considerate, a fost aplicat pentru specimenul S5, luând în considerare experimentele pe materiale realizate în cadrul proiectului curent. Rezultatul este prezentat în **Fig. 136**.



**Fig. 136:** Calibrarea modelului cu resorturi pentru S5, respectând pașii generali făcuți și pentru aplicările anterioare

Modelul estimează satisfăcător alura curbei înfășurătoare, însă mai poate fi îmbunătățită rigiditatea inițială.

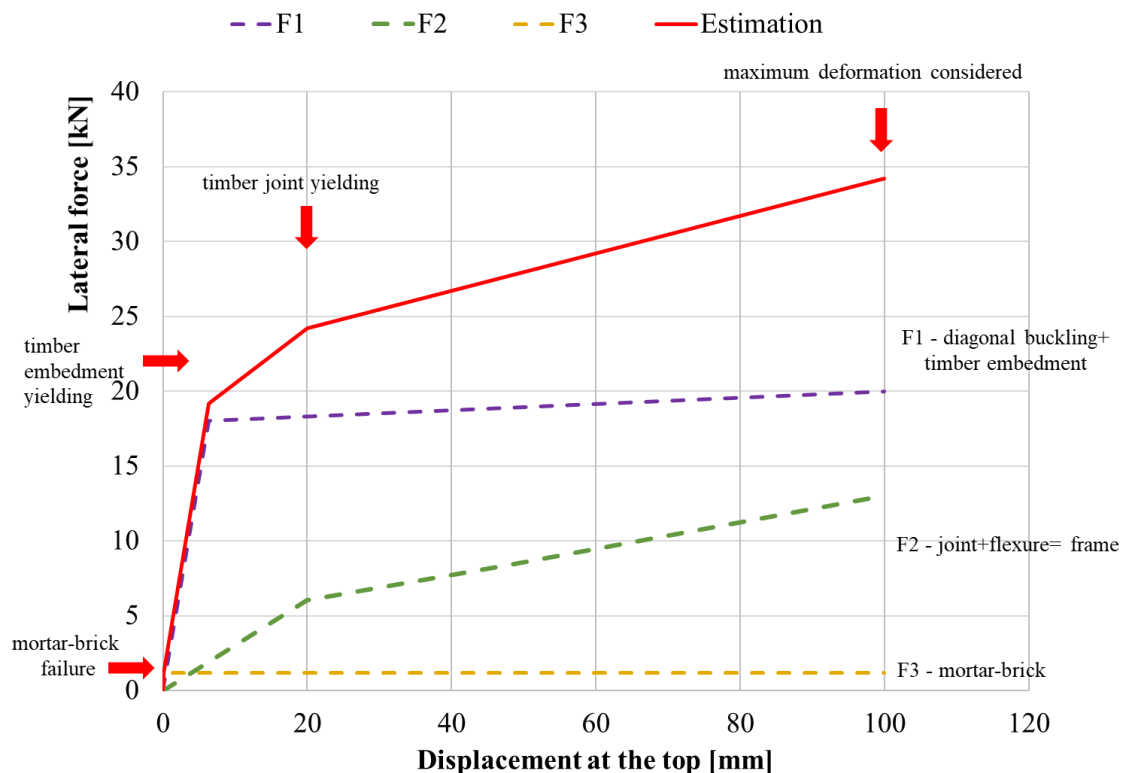
## 6. Aplicarea modelului cu resorturi pentru case tradiționale românești de tip 1, utilizând datele obținute în experimente pe materiale

Am considerat dispunerea resorturilor la fel ca pentru peretele testat în Japonia. Tipul structural ales pentru validarea modelului a fost cel care are cele mai multe similitudini, în ceea ce privește umplutura, deci cel cu umplutură din cărămidă. În loc de biela comprimată, resortul se înlocuiește cu compresiunea pe diagonală din lemn (în direcția fibrelor). Practic solicitarea la care se calculează este flambajul.

Resortul mortar-cărămidă a fost determinat din încercările pe materiale, precum și cele de compresiune pe lemn. Din lipsă de echipamente de testare cu acuratețe mare, resortul lemn-mortar nu a putut fi obținut experimental. Având în vedere rezultatul pentru resortul mortar-cărămidă, acesta a fost considerat suficient în model, mai ales ca din studiile anterioare, resortul mortar-lemn era specific doar pentru coeficientul de frecare dintre lemn și mortar, neexistând aderență între cele două materiale. Încovoierea stâlpului a fost calculată în același fel ca la peretele testat în Japonia (vezi cap. 2.4 Încovoierea stâlpului), prezentat anterior.

Pe lângă diferențele de materiale (mortar de var-ciment în Japonia, mortar de pământ în TFMRO), și îmbinarea de la bază este diferită, anume cu cep (mortise tenon). Prin urmare, în modelul cu resorturi pentru casa tradițională românească a fost folosit rezultatul încercărilor pe îmbinări cu cep și cuie nefiletate.

Rezultatul este prezentat în **Fig. 137**.



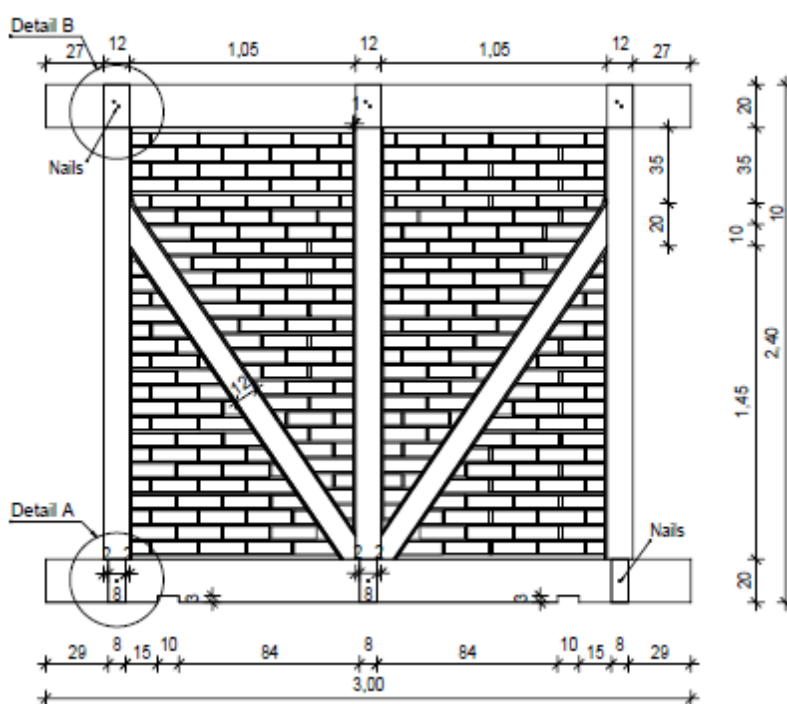
**Fig. 137:** Modelul cu resorturi aplicat pentru S1 (estimat înainte de experiment, în baza testelor din Japonia)

## 7. Validarea modelului cu resorturi prin experimente pe pereți la scară reală pentru case tradiționale românești

### 7.1 Construcția specimenelor de încercare

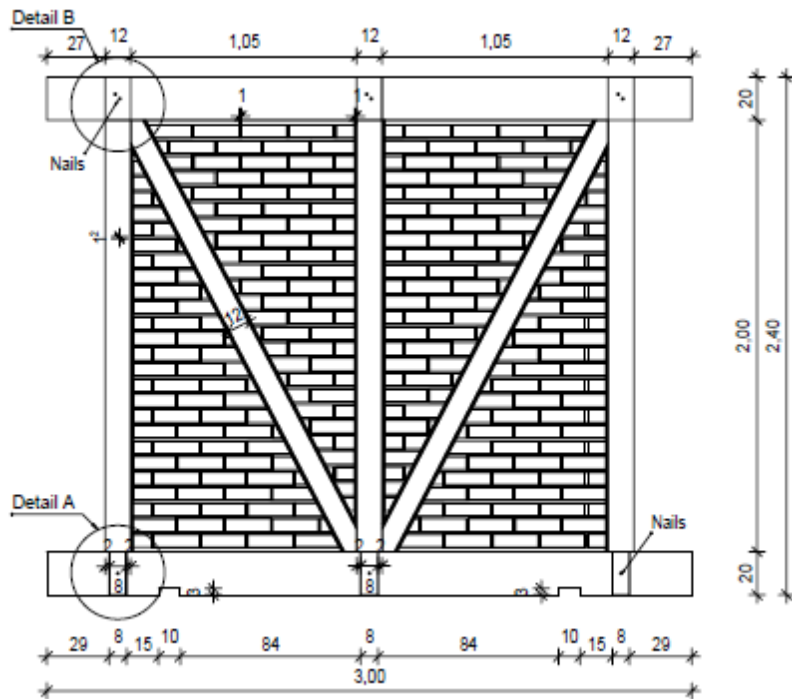
În baza investigațiilor în teren, a fost decisă reproducerea unor pereți, pentru tipurile de case regăsite în teren, pentru a fi supuși la încercări statice alternante în plan. Datorită variației detaliilor constructive, chiar și pentru case din același tip structural, s-a decis să se ia ca referință una dintre casele regăsite în teren și a reproduce detaliile regăsite la aceasta. A fost observat faptul că pentru primul tip (cel predominant), casa are înălțimea de 2,7 m (de la fundație la baza acoperișului). În același timp, înălțimea potrivită pentru experiment a fost de 2,4 m. Dimensiunile în plan maxime ale specimenelor au fost de 300 x 240 cm, deci scara a fost redusă (1:0.88) pentru ca ele să încapă în cadrul de reacțiune. Dimensiunile specimenelor de încercare sunt prezentate în **Fig. 138** și **Fig. 139**.

Cadru din lemn pentru S1 și S2 este compus din elemente verticale (stâlpi), orizontale (grinzi) și contravântuiri din lemn, toate cu secțiune de 12x12 cm. Ambele specimene au umplutură din zidărie de pământ (cărămidă țigănească) ce constă în cărămizi cu dimensiunile aproximative de 24x11.5x6.3 cm și mortar de pământ).

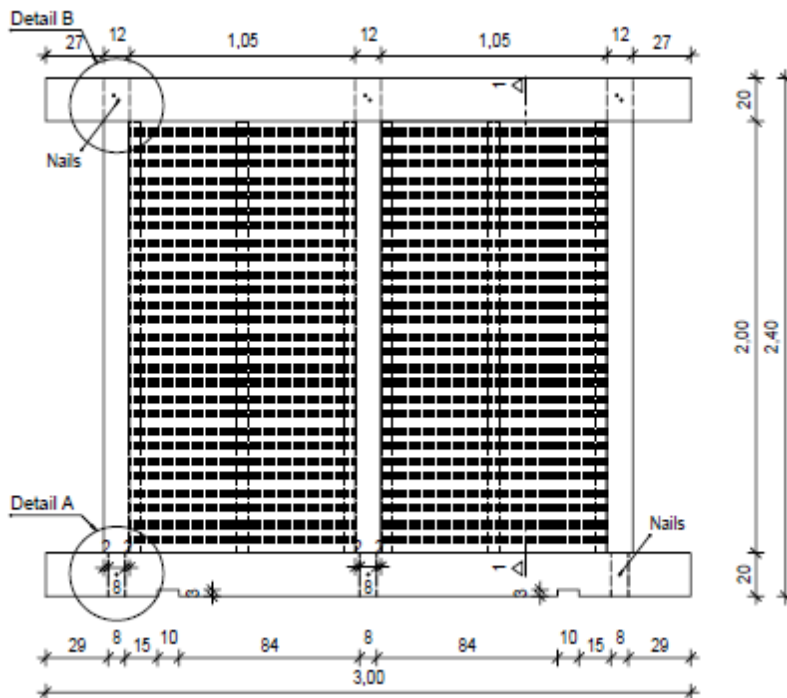


**Fig. 138:** Specimenul S1 (aferent tipului 1 din teren) – cadru din lemn cu umplutură din zidărie de cărămidă de pământ având diagonale (contravântuiri) oprite mai jos decât nodul de sus dintre stâlp și grindă

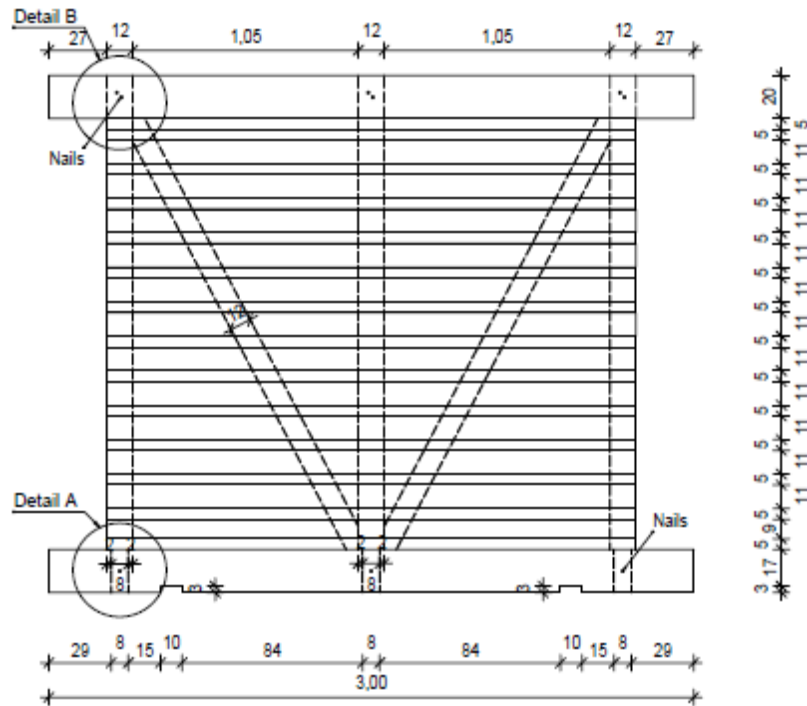




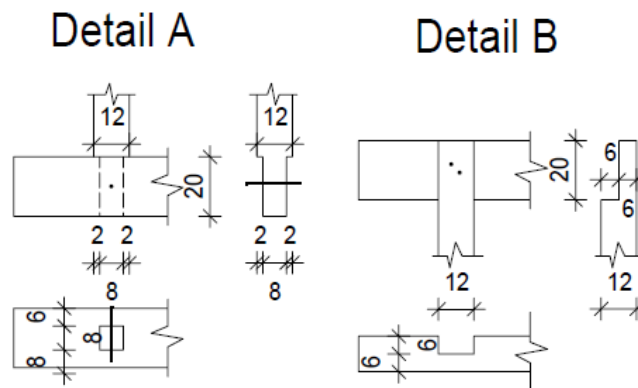
**Fig. 139:** Specimenul S2 (aferent tipului 1 din teren) - cadru din lemn cu unplutură din zidărie de cărămidă de pământ având diagonale (contravântuiri) îmbinate în nodul de sus cu grinda și cu stâlpul



**Fig. 140:** Specimenul S3 (aferent tipului 2 din teren) – cadru din lemn cu împletitură de nuiile și umplutură de pământ cu paie



**Fig. 141:** Specimenul S4 (aferent tipului 3 din teren)- cadru din lemn cu șipci orizontale și umplutură de pământ cu paie



**Fig. 142:** Îmbinări cu cep și prin chertare

Îmbinările de la bază sunt cu cep și cuie, iar cele de la partea de sus sunt prin chertare și cuie (**Fig. 142**). Cărămizile sunt tradiționale, făcute din argilă locală din Viperești (zona în care este casa luată ca referință). Pereții pentru încercări sunt executați de o firmă de construcții care a trebuit să urmeze pe cât posibil situația reală, în baza investigării din teren. Astfel, majoritatea materialelor au fost aduse de la Viperești (pământul, paiele și cărămizile). Construcția s-a realizat întâi prin executarea chertărilor/cepurilor, apoi asamblării cadrului din lemn și montării lui în poziție verticală. Cărămizile au fost apoi introduse, cu un liant de mortar de pământ. Lemnul este de tip românesc, clasa B, cu o greutate specifică de 385 kg/m<sup>3</sup>.

Pentru toate speciemenele execuția a însemnat întâi execuția cadrului din lemn și apoi umplerea cu materialul aferent fiecărui tip, adică zidărie (**Fig. 143**), sau împletitură de nuiel (**Fig. 147, Fig. 148**) sau pământ cu paie (**Fig. 144, Fig. 145, Fig. 146**).



**Fig. 143:** Specimenul de tip 1 (S1) în timpul construcției



**Fig. 144:** Specimenul de tip 2 (S3) în timpul construcției



**Fig. 145:** Specimenul de tip 2 (S3) în timpul construcției – aplicarea pământului amestecat cu paie





**Fig. 146:** Specimenul de tip 2 (S3) în timpul construcției – după aplicarea pământului amestecat cu paie



**Fig. 147:** Specimenul de tip 3 (S4) în timpul construcției – amestecarea pământului cu paie



**Fig. 148:** Specimenul de tip 3 (S4) în timpul construcției – aplicarea pământului cu paie



**Fig. 149:** La terminarea execuției pereților, după ce au fost lăsați să se usuce, a fost aplicat un strat fin de pământ (lut) pentru nivelarea suprafeței și umplerea fisurilor din contracția la uscare

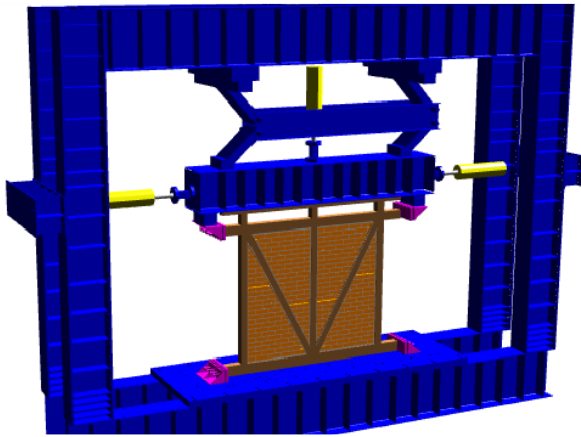
După execuție, pereții au fost lăsați la uscat timp de 2 săptămâni. În această perioadă temperaturile au fost aproximativ între 25 și 33 de grade, iar mortarul s-a uscat și a fisurat prin contracție. Din acest motiv, un strat fin de lut a fost aplicat din același material (pământ) pentru a umple fisurile (**Fig. 149**).

## 7.2 Setup-ul încercării

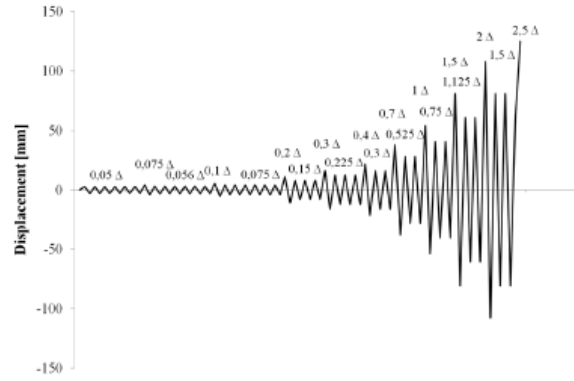
Au fost realizate încercări statice în regim alternant pe un cadru de reacțiune prevăzut cu două prese hidraulice orizontale cu o capacitate maximă de 1000 kN (228 mm deplasare maximă stânga-dreapta) și o presă hidraulică verticală cu capacitate maximă de 2000 kN (100 mm deplasare maximă sus-jos). Setup-ul experimental este prezentat în **Fig. 150**. Protocolul de încărcare standard CUREE Caltech pentru cadre din lemn a fost folosit având o istorie de încărcare formată din cicluri inițiale, cicluri primare și cicluri reduse (**Fig. 151**). Ciclurile de inițiere sunt executate la începutul încărcării, pentru verificarea echipamentului de încercare, de măsurare și răspunsul forță-deformație pentru amplitudini mici [14]. Alegerea protocolului a fost făcută cu referință la experimente realizate anterior de autori, pentru a putea compara rezultatele [10]. Deplasarea de referință,  $\Delta$ , a fost aleasă în baza experimentelor anterioare, a fiind 80-mm deplasare la vârful peretelui [21]. Deformația de input/control a protocolului, deformația unghiulară,  $\delta$ , a fost utilizată pentru anularea fenomenului de rotire ca un corp rigid, prin scăderea ei din drift (deplasarea la vârful peretelui), dar și a deformației peretelui produsă de uplift-ul din îmbinările de la bază. Această soluție permite observarea comportării peretelui la forță tăietoare pură.  $\delta$  a fost calculat cu următoarea formulă:

$$\delta = \frac{D_1 - D_2}{\text{Înălțime}} - \frac{D_3 - D_4}{\text{Lățime}} \quad (\text{Ec. 1})$$

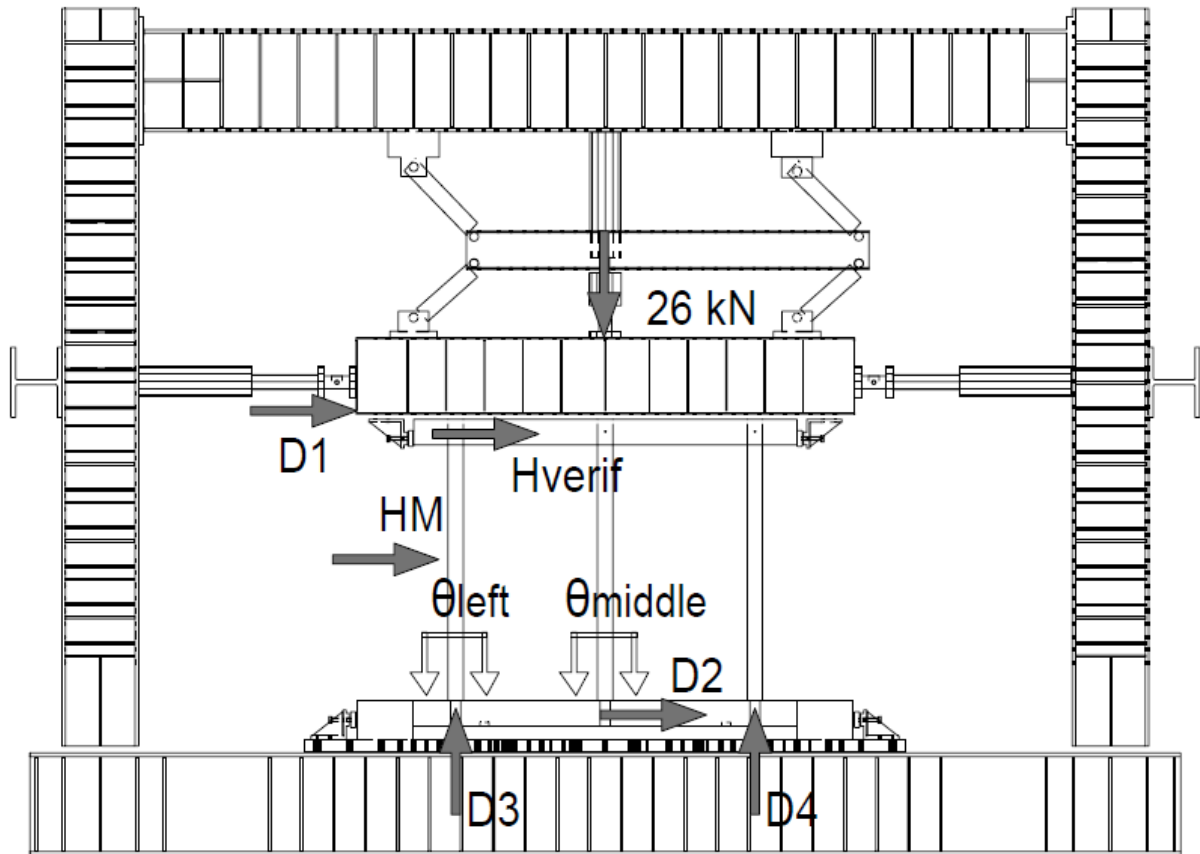
unde  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  = deplasările măsurate. **Fig. 152** prezintă setup-ul experimental pe cadrul de reacțiune.



**Fig. 150:** Setup-ul experimental pentru toate tipurile de pereți



**Fig. 151:** Protocolul de încărcare propus [14]



**Fig. 152:** Setup-ul experimental al peretelui

Sistemul de măsurare a constatat în traductori de deplasare cu fir ce au înregistrat deplasarea laterală la vârful și la mijlocul peretelui, dar și traductori de deplasare cu tijă pentru a măsura deplasarea pe verticală în două puncte, în îmbinările de la baza peretelui (**Fig. 152**). Alți doi traductori cu tijă au fost utilizați pentru măsurarea lunecării orizontale dintre grinda din lemn de la baza peretelui și placa de reacțiune, precum și dintre grinda de la partea superioară a peretelui și grinda de încărcare.

Încărcarea verticală a fost aplicată la partea superioară a peretelui, cu o valoare de 26 kN, ce reprezintă greutatea acoperișului și încărcarea din zăpadă. Deși s-a încercat să se mențină constantă, din cauza capacității mari a presei hidraulice verticale (2000 kN), aceasta a avut o

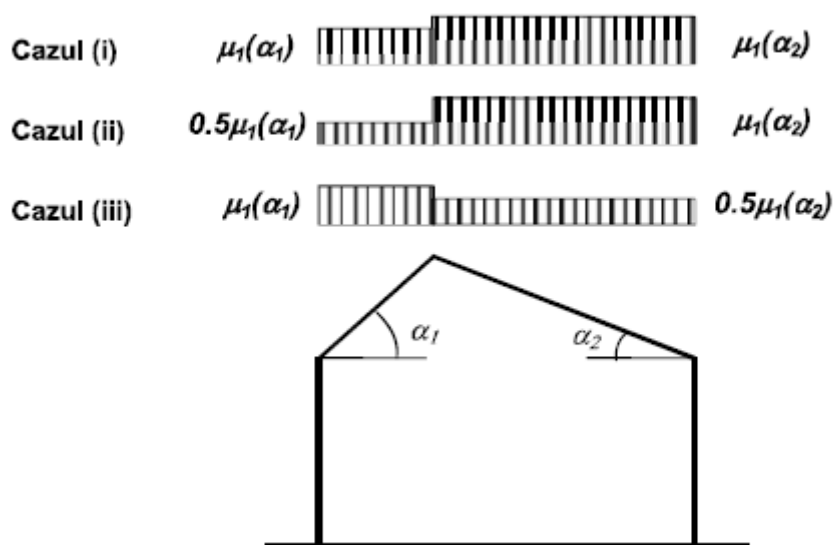


variație de aproximativ 20% în timpul experimentului, și a fost controlată manual. Forța laterală a fost controlată manual și deși capacitatea peretelui a fost foarte mică în comparație cu capacitatea preselor hidraulice orizontale, acuratețea a fost acceptabilă pentru obținerea unor rezultate clare. Sistemul de încercare a fost de tip pantograf, însă a fost permisă destulă rotire prin modul în care a fost aplicată forța axială: între grinda de încărcare și grinda din lemn de la partea superioară a peretelui au fost interpușe plăcuțe metalice de (2-4 cm), prin care a fost aplicată încărcarea axială, direct pe stâlpi, dar au și fost reglate diferențele de înălțime ale stâlpilor. Specimenul a fost fixat la bază de placa de reacțiune prin tije metalice, iar la partea de sus a fost folosit același sistem, de prindere de grinda de încărcare.

### 7.3 Calculul forței axiale la partea superioară a peretelui

Pentru toate casele relevate în cadrul acestui proiect, au fost calculate forțele axiale transmise de încărcarea aferentă acoperișului. A fost urmărită determinarea unei forțe axiale aplicate la partea superioară a peretelui în forma unei solicitări distribuite liniar pe lungimea acestuia.

În acest scop au fost determinate ariile aferente fiecărui perete așa cum se poate observa în imaginile de mai jos (Casă 1 – Casă 6). Au fost luate în considerare atât variantele cu aglomerare de zăpadă cât și fără așa cum sunt descrise în codul de proiectare CR 1- 1-3 – Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor **Fig. 153**.



**Fig. 153:** Distribuția coeficienților de formă pentru încărcarea din zăpadă pentru acoperișuri cu două pante - conform CR1-1-3-2012

- **Calculul încărcării din zăpadă**

Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe acoperiș, pentru situația de proiectare persistentă/transitorie se determină astfel:

$$S = \gamma_{ls} \mu_i c_e c_t s_k \quad (\text{Ec. 2})$$

unde:

$\gamma_{ls}$  = este factorul de importanță-expunere pentru acțiunea zăpezii  
 = **1,0** (tab.4.1 – CR1-1-3-2012 → clasa III de importanță a structurii);  
 $\mu_i$  = coeficientul de formă al încărcării din zăpadă pe acoperiș (Capitolul 5)  
 = **0,80** sau **1.60** (**Tabelul 9**)

$\alpha = 30^\circ$

$s_k$  = valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol [ $\text{kN/m}^2$ ], în amplasament  
 = **2.0 KN/m<sup>2</sup>** (**Fig. 154**);

$c_e$  = coeficientul de expunere al construcției în amplasament;  
 = **1** (**Tabelul 10**);

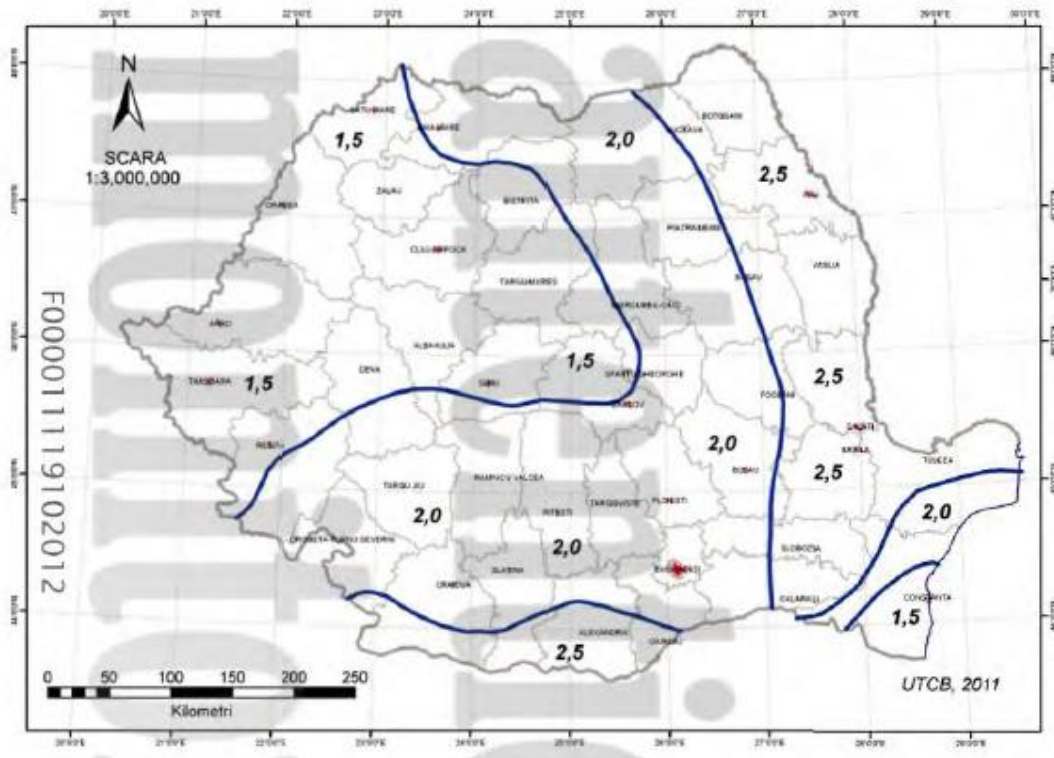
$c_t =$  coeficientul termic = 1;

$$s_1 = 1,0 \cdot 0,80 \cdot 2,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 1,6 \text{ kN/m}^2 - \text{cazul fără aglomerare}$$

$$s_2 = 1,0 \cdot 1,60 \cdot 2,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 3,2 \text{ kN/m}^2 - \text{cazul cu aglomerare}$$

**Tabelul 9.** Valorile coeficienților de formă pentru încărcarea din zăpadă pe acoperișuri cu o singură pantă, cu două pante și pe acoperișuri cu mai multe deschideri - conform CR1-1-3-2012

Unghiul acoperișului, $\alpha^0$	$0^0 \leq \alpha \leq 30^0$	$30^0 < \alpha < 60^0$	$\alpha \geq 60^0$
$\mu_1$	0,8	$0,8 (60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	-



**Fig. 154:** Zonarea valorilor caracteristice ale încărcării din zăpadă pe sol [ $\text{kN/m}^2$ ] - conform CR1-1-3-2012

**Tabelul 10.** Valorile coeficientului de expunere  $C_e$  – conform CR1-1-3-2012

Tipul expunerii	$C_e$
Completă	0,8
Normală	1,0
Redusă	1,2

- **Calculul încărcării din șarpantă**

Șarpanta a fost aproximată cu un strat uniform de lemn dispus pe întreaga suprafață a casei având o grosime de 10 cm.



$$q_{\text{șarpantă}} = \gamma_{\text{lemn}} * d_{\text{lemn}}$$

$$\gamma_{\text{lemn}} = 7 \text{ kN/m}^3$$

$$d_{\text{lemn}} = 0.1 \text{ m}$$

$$q_{\text{șarpantă}} = 7 * 0.1 = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

- **Combinății de încărcări utilizate**

$$GS1 : 0.4 * S1 + q_{\text{șarpantă}}$$

$$GS2 : 0.4 * S2 + q_{\text{șarpantă}}$$

$$GF1 : 1.5 * S1 + 1.35 * q_{\text{șarpantă}}$$

$$GF2 : 1.5 * S1 + 1.35 * q_{\text{șarpantă}}$$

- **Etapele de calcul**

1. Determinarea ariei aferente fiecărui perete exprimată în mp
2. Determinarea lungimii peretelui exprimată m
3. Determinarea încărcării din zăpadă în situația fără aglomerare exprimată în kN/mp
4. Determinarea încărcării din zăpadă în situația cu aglomerare exprimată în kN/mp
5. Determinarea greutății proprii a șarpantei exprimată în kN/mp
6. Calculul combinațiilor GS1, GS2, GF1, GF2 exprimate în kN/mp
7. Calculul forței axiale punctuale rezultate din combinațiile GS1, GS2, GF1, GF2 exprimate în kN (N1 GS1, N2 GS2, N3 GF1, N4 GF2 )
8. Calculul forței axiale liniar rezultate din combinațiile GS1, GS2, GF1, GF2 exprimate în kN/m (N5 GS1, N6 GS2, N7 GF1, N8 GF2)

Forța axială considerată pentru încercări a fost considerată în jurul valorii de 10 kN/ml. Deci pentru fiecare specimen încercat vom avea 20 kN aplicați la partea superioară.

**Tabelul 11.** Calculul forței axiale la partea superioară a peretelui

Arie aferenta [mp]	Lungime [m]	Zapada [kN/mp] 1	Zapada [kN/mp] 2	Greutate proprie [kN/mp]	GS1 [kN/mp]	GS2 [kN/mp]	GF1 [kN/mp]	GF2 [kN/mp]	N1 GS1 [Kn]	N2 GS2 [kN]	N3 GF1 [Kn]	N4 GF2 [kN]	N5 GS1 [Kn/ml]	N6 GS2 [Kn/ml]	N7 GF1 [Kn/ml]	N8 GF2 [kN/ml]
12.53	5.88	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	19.4	28.6	48.4	83.1	3.3	4.9	8.2	14.1
35.97	12.5	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	55.7	82.2	138.9	238.6	4.5	6.6	11.1	19.1
6.76	4	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	10.5	15.5	26.1	44.8	2.6	3.9	6.5	11.2
13.7	6.67	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	21.2	31.3	52.9	90.9	3.2	4.7	7.9	13.6
7.98	4.45	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	12.3	18.2	30.8	52.9	2.8	4.1	6.9	11.9
17.3	7.75	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	26.8	39.6	66.8	114.8	3.5	5.1	8.6	14.8
6.92	4.06	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	10.7	15.8	26.7	45.9	2.6	3.9	6.6	11.3
22.28	9.9	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	34.5	50.9	86.1	147.8	3.5	5.1	8.7	14.9
10.99	5.43	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	17.0	25.1	42.4	72.9	3.1	4.6	7.8	13.4
27.96	10.55	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	43.3	63.9	108.0	185.5	4.1	6.1	10.2	17.6
17.7	8.18	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	27.4	40.5	68.4	117.4	3.3	4.9	8.4	14.4
22.9	9.25	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	35.4	52.4	88.5	151.9	3.8	5.7	9.6	16.4
23.12	9.14	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	35.8	52.9	89.3	153.4	3.9	5.8	9.8	16.8
19.88	10.21	1.6	3.2	0.7	1.34	1.98	3.345	5.745	30.8	45.5	76.8	131.9	3.0	4.5	7.5	12.9
<b>Medie</b>													3.4	5.0	8.4	14.5

## 7.4 Rezultate experimentale



**Fig. 155:** S1 înainte de încercare



**Fig. 156:** S1 în ultimul ciclu de încercare, la 5.1 % deformație unghiulară



**Fig. 157:** S2 înainte de încercare



**Fig. 158:** S2 după încercare, la 4.8 % deformație



**Fig. 159:** S3 înainte de încercare



**Fig. 160:** S3 în ultimul ciclu de încercare, la 6,1 % deformație unghiulară

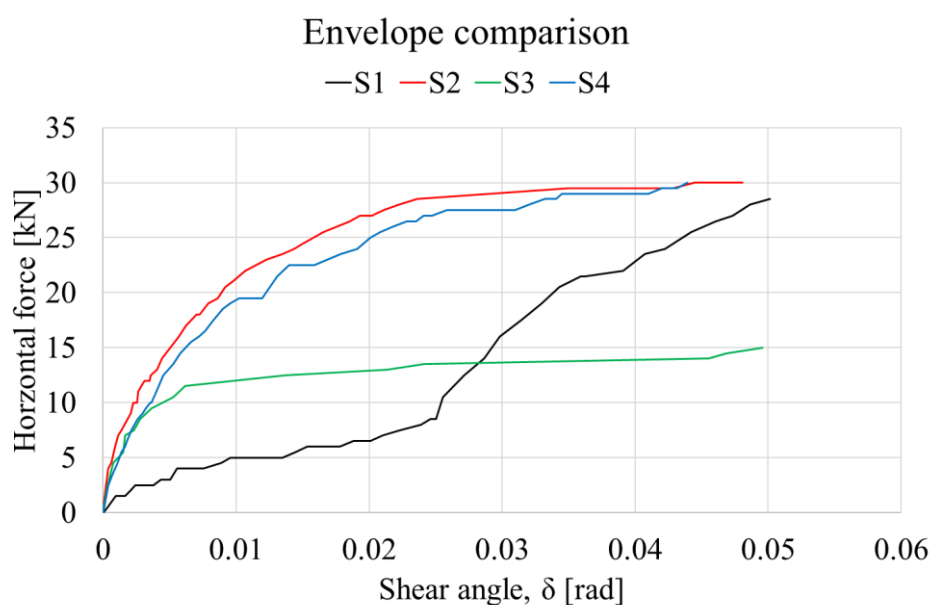




**Fig. 161:** S4 înainte de încercare



**Fig. 162:** S4 în ultimul ciclu de încărcare, la 4.5 % deformație unghiulară



**Fig. 163:** Comparația curbelor înfășurătoare

## 7.5 Validarea/calibrarea modelului cu resorturi

Modelul cu resorturi a fost aplicat pentru S1 și S2 (Fig. 164). Deși rigiditatea inițială (până la evenimentul 2, aferent curgerii îmbinării din lemn) a fost corectă, rigiditatea aferentă celui de-al doilea eveniment a fost supraestimată. Astfel, a fost realizată o calibrare, la resortul cu compresiunea perpendiculară pe direcția fibrei la lemn, unde aria de contact utilizată în calcul a fost redusă. Rezultatul după calibrare, comparat cu ambele experimente (S1 și S2) este prezentat în **Fig. 165**. De notat este faptul că modelul nu surprinde poziția diagonalei (mai jos sau în nod). Se observă că estimarea lui S2 este satisfăcătoare pentru primele două evenimente, iar pentru cel de-al treilea, având o eroare de 12%.

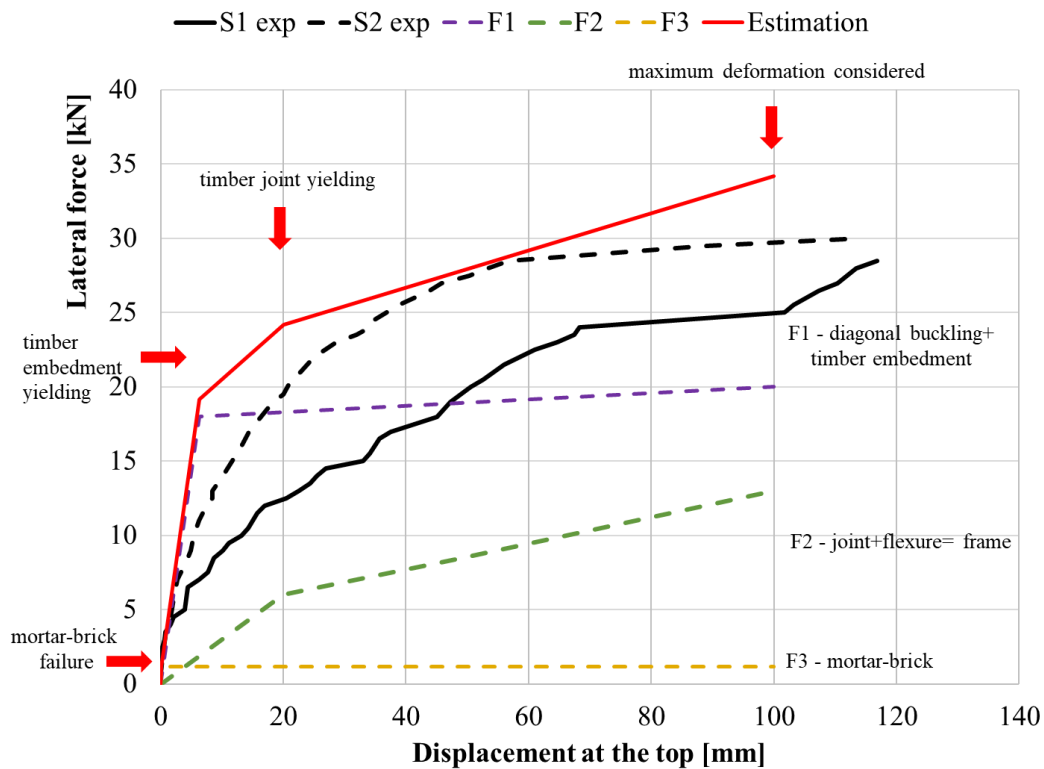


Fig. 164: Modelul cu resorturi aplicat pentru S1 și S2 (înainte de experiment, fără calibrare)

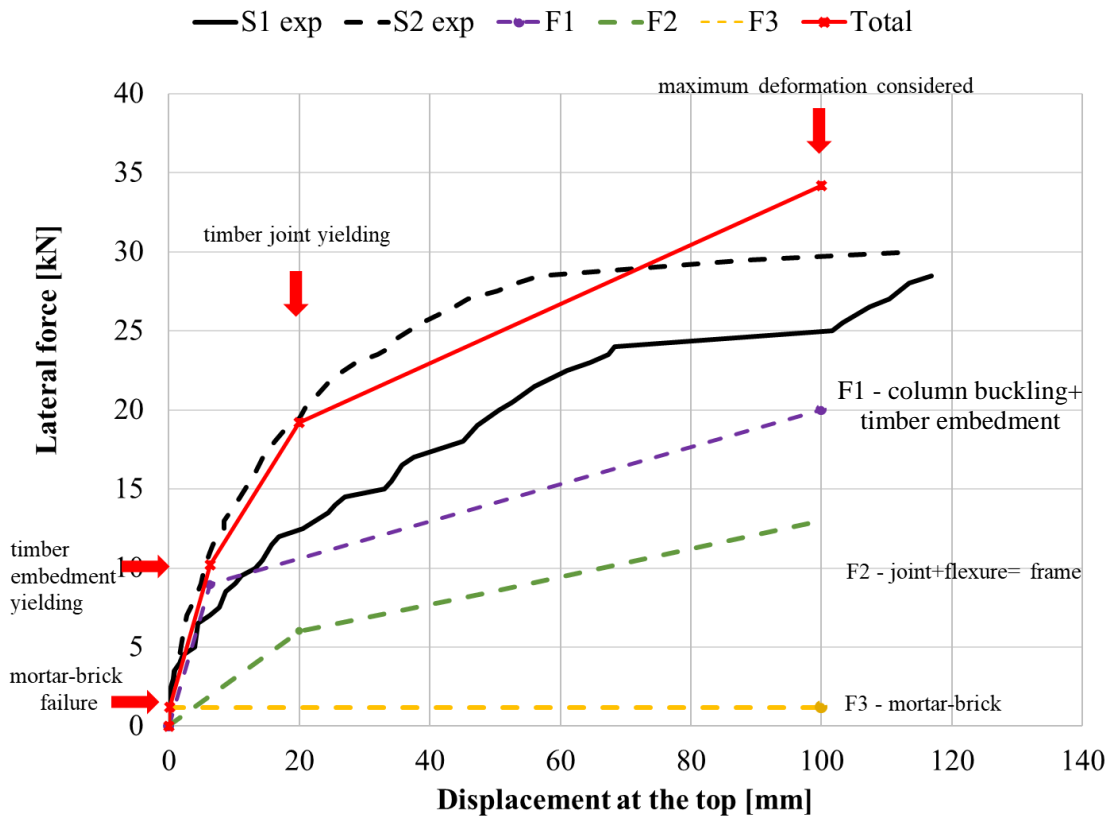


Fig. 165: Modelul cu resorturi aplicat pentru S1 și S2 (după experiment, cu calibrare)

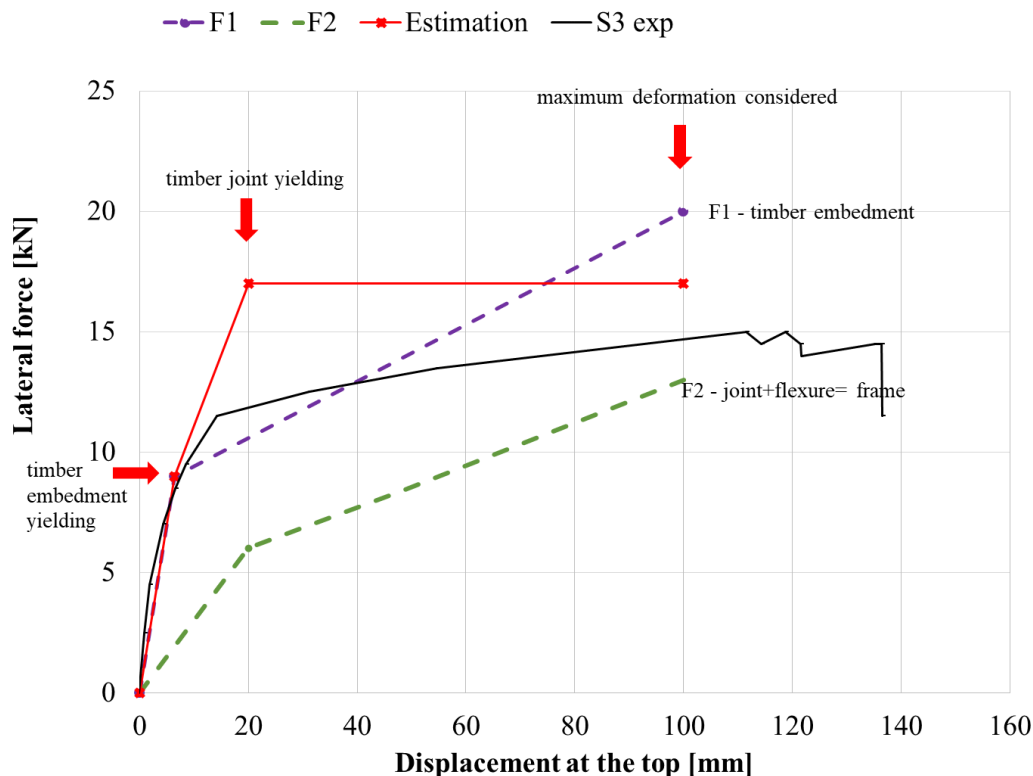
## 8. Posibilități de extindere a modelului cu resorturi la alte tipuri tradiționale românești (cu cadre din lemn) și sugestii pentru proiectare

### 8.1 Extindere model cu resorturi pentru S4

Din rezultatele experimentale obținute pe pereți, se observă că elementul definitoriu în comportarea peretelui la forță laterală este diagonala din lemn. Umplutura, fiind pe bază de pământ, nu aduce o creștere a rigidității semnificativă. Din acest motiv, modelul cu resorturi calibrat pentru S2, poate fi cu ușurință folosit și pentru S4.

### 8.2 Extindere model cu resorturi pentru S3

În ceea ce privește S3, lipsind diagonalele, se observă o reducere a rezistenței maxime cu aproape 50%. Modelul cu resorturi a fost aplicat și pentru această situație, fără însă a adăuga contribuția umpluturii de nuiele împletite, astfel ramura F3 nu a fost considerată. Rezultatul aplicării modelului pentru S3 (înainte de calibrare) este prezentat în **Fig. 166**.



**Fig. 166:** Modelul cu resorturi aplicat pentru S3 (fără calibrare)

Pentru a calibra rezultatul, valorile considerate pentru fenomenul de compresiune perpendiculară pe direcția fibrei au fost reduse cu 50 % (de la 9 kN, la 4.5 kN, forța de curgere). Rezultatul după calibrare este prezentat în **Fig. 167**. Modelul, subestimează de data aceasta rigiditatea inițială a peretelui, motivul fiind neincluderea umpluturii din împletitură din nuiele și pământ, ce nu a putut fi estimată prin încercări pe materiale.



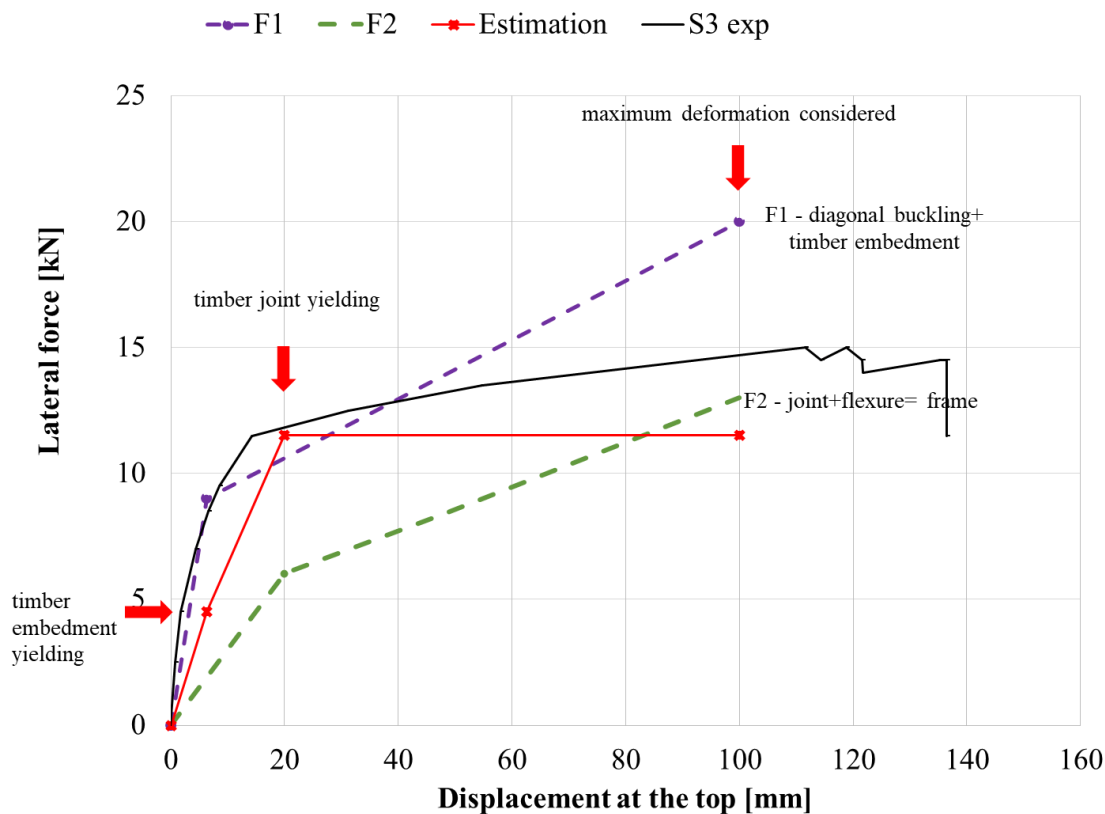


Fig. 167: Modelul cu resorturi aplicat pentru S3 (cu calibrare)

Pentru a putea fi aplicat pentru acest tip de structură, este necesar să se estimeze contribuția umpluturii. Însă pentru că acest specimen a prezentat cea mai mică rezistență, a fost considerat că nu e necesară o investigație mai amănunțită a acestui tip structural.

### 8.3 Sugestii pentru proiectare și execuție

Pentru proiectarea structurilor cu cadre din lemn și umpluturi, partea cea mai importantă o are structura din lemn, reprezentată prin îmbinări și prin elemente de rigidizare (contravântuiri). Din programul experimental realizat în cadrul acestui proiect, a fost observată **contribuția contravântuirilor**. Prezența acestora (în ambele direcții) aduce o **contribuție de 50% în rezistența** peretelui. Pe de altă parte, și degradările sunt mai semnificative.

Din calculul coeficientului de forță tăietoare, a reieșit că peretele cu umplutură de împletitură de nuiele nu are o capacitate suficientă la forță tăietoare, în zona seismică Viperești ( $a_g=0,4 g$ ). Acesta nu a avut contravântuiri, prin urmare, cadrul a fost foarte flexibil.

Din încercarea S1, s-a putut constata, întărind concluziile din [22], că dacă scheletul din lemn rezistă, chiar dacă umplutura din zidărie crapă, ansamblul rezistă și el. Deci proiectarea trebuie să aibă în vedere **flexibilitatea cadrului din lemn, care să confere ductilitate**, dar în același timp **să și confineze umplutura**. Tot la cadrul din lemn, trebuie avută în vedere calitatea execuției: **golurile din îmbinări trebuie să fie minime (ideal 0 mm)**, pentru că dacă acestea există, atunci contribuția umpluturilor din zidărie nu poate începe imediat ce crește deplasarea la vârf, ci doar după ce se închid golurile. De asemenea, dacă golurile sunt inegale, așa cum se întâmplă de obicei, este foarte greu de estimat comportarea peretelui.

Îmbinările **prin chertare sau cu cep**, sunt flexibile însă, ca în cazul oricărei îmbinări din lemn, nu pot fi considerate **nici articulate 100%, dar nici încastrate 100%**. Dovada o face

comportarea cadrului din lemn prezentat în [22], care dacă era considerat articulat, ar fi trebuit să fie mecanism, însă experimentul a demonstrat că are o oarecare rezistență (18 kN, la 9,4 % drift).

**Calitatea lemnului** utilizat precum și execuția (în cazul de față, de slabă calitate) **nu influențează în mod specific comportarea pereților**, însă ocazional a fost observată o nesimetrie în curba histeretică, lucru ce poate fi cauzat de diferențe în execuția îmbinărilor și/sau a umpluturilor.

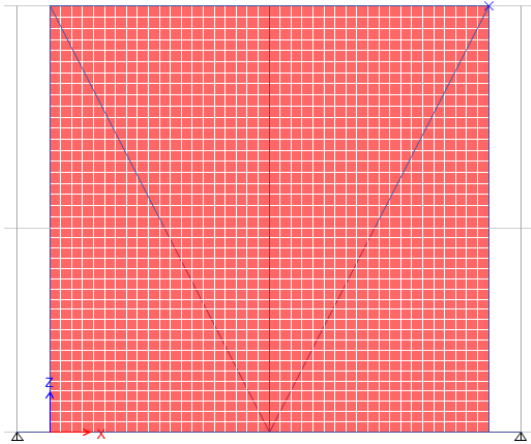
Un parametru esențial este **umiditatea lemnului**. Dacă peretele este executat cu un lemn încă umed (tăiat proaspăt), lucru des întâlnit în România, pe măsură ce acesta se usucă, cresc golurile dintre umplură și cadrul, ceea ce afectează în principal proprietățile termice ale peretelui. **Umiditatea acceptată este între 10 și 15 %**.

În ceea ce privește umplutura, este cunoscut faptul că **nu există aderență între umplură și cadrul din lemn**, lucru care **permite rotirea și/sau deplasare panourilor din zidărie** ca niște corpuri rigide (până în momentul fisurării), **disipând astfel energia seismică**. Pentru a preveni comportarea în afara planului, **panourile trebuie să aibă dimensiuni mici** (spre exemplu 1,00 x 1,00 m) pentru a **limita ruperea lor în afara planului** și în cazul în care aceasta se produce, pentru a nu produce victime prin căderea lor. Pentru a limita comportarea în afara planului la pereți de tip S2-4, se recomandă **o plasă de tencuială bine prinsă pe cadrul din lemn** și suficient de **flexibilă** cât să nu influențeze comportarea ductilă a peretelui. S-a putut observa la S1 că dacă panourile de la partea superioară crapă, nu este implicită și crăparea panourilor de la bază, **propagarea fisurilor fiind împiedicată de grinda intermediară din lemn**. Proprietățile elementelor orizontale din lemn în propagarea fisurilor din zidărie este cunoscută și este promovată în literatura de specialitate, în special după cutremure mari (de ex. Nepal, Haiti, etc.). Acest lucru este realizat și datorită **rezistenței mortarului**, care trebuie să fie **suficient de redusă** astfel încât să permită fisurarea zidăriei preponderent în rost și nu în blocul ceramic.

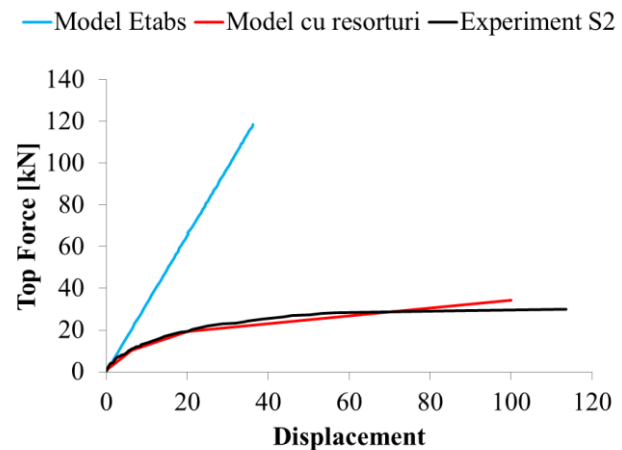
În cazul pereților cu umplură din **mortar de pământ**, acesta de regulă **crapă** atunci când se usucă, datorită contracțiilor mari. Acest fenomen poate fi **controlat prin adăugarea de nisip**, însă cantitatea este în funcție de proprietățile argilei, iar acestea variază de la zonă la zonă. Este necesar un studiu privind rețetele de mortar de pământ și cum își schimbă acestea proprietățile.

## 9. Analiza numerică simplificată

**Fig. 168** prezintă modelul de calcul realizat în programul ETABS a unui perete de tip structural 1, identificat în investigația pe teren în România. Pentru rezultate cât mai apropiate de realitate, panourile de zidărie au fost împărțite în elemente cu suprafață mică, transmiterea și continuitatea eforturilor realizându-se prin intermediul nodurilor comune. Pentru model au fost folosite caracteristicile cărămizilor de pământ, obținute prin încercări la compresiune, iar modulul de elasticitate a fost considerat minim pentru specia de lemn utilizată.



**Fig. 168:** Model ETABS



**Fig. 169:** Comparația rezultatelor: modelare în Etabs, modelul cu resorturi și experiment S2 (Ro)

**Fig. 169** prezintă grafic o suprapunere a înfășurătoarei rezultatelor experimentale cu rezultatele obținute la calculul peretelui utilizând modelul cu resorturi după calibrare (**Fig. 165**) și rezultatele obținute în urma modelării în Etabs. Se poate observa că având ca date de intrare în programul de calcul rigiditatea întregă a lemnului și zidăriei se obțin deplasări mult mai mici decât cele observate experimental.

Modelul în Etabs nu surprinde multitudinea de fenomene ce apar în comportarea peretelui supus la forță tăietoare, de aceea rigiditatea este mult mai mare decât rezultatul experimental. Pentru calibrarea modelului din Etabs, se poate reduce această diferență fără însă a putea explica de ce, deși în literatura de specialitate se acceptă această metodă [4]. Iar pentru a obține o modelare de acuratețe mare și legată de situația reală a comportării, sunt necesare resurse considerabile (timp și software), pentru a reda cu fidelitate toate interacțiunile dintre elemente (lemn-zidărie, compresiune perpendiculară pe direcția fibrei, etc).

În acest sens, se poate observa ușurința realizării modelului cu resorturi (în Excel) și acuratețea acceptabilă a acestuia. A se nota, totuși, că au fost considerate câteva ipoteze pentru simplificarea acestuia, însă putând fi explicate în realitate.



## Bibliografie:

- [1] Duțu, A., Ferreira, J. G., Guerreiro, L., Branco, F., Goncalves, A. (2012) “Timbered masonry for earthquake resistance in Europe”, *Materiales de Construcción*, Vol. 62, 308, 615-628, October-December
- [2] Gülkan, P, Langenbach, R (2004). „The earthquake resistance of traditional timber and masonry dwellings in Turkey”, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2297
- [3] Vintzileou E, Zagkotsis A, Repapis C, Zeris Ch. (2007). „Seismic behaviour of the historical structural system of the island of Lefkada, Greece”, *Construction and Building Materials*, 21(1): 225-236.
- [4] Ferreira, J. G., Teixeira, M. J., Duțu, A., Branco, F., Goncalves, A., (2012) "Experimental Evaluation and Numerical Modelling of Timber Framed Walls", *Experimental techniques* [online], accepted manuscript, DOI: 10.1111/j.1747-1567.2012.00820.
- [5] Dutu A., Ferreira J. G., Goncalves A. M., Covaleov. A., (2012) “Components interaction in timber framed masonry structures subjected to lateral forces”, *Constructii Journal*, No.1, Vol. 13/ 2012
- [6] Dutu A., Ferrerira J. G., Goncalves A. M., (2012) “The behaviour of timber framed masonry panels in quasi-static cyclic testing”, *9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering*, March 6-8, Tokyo Institute of Technology, Japan
- [7] Kobayashi S., Shindo T., Dutu A., Sakata H., Yamazaki Y., (2014) “Structural Assessment of Timber Framed Masonry Structures (Part 3): Analytical Study on Mechanical behavior of Timber Framed Masonry Wall”, *AIJ Annual Conference*, 11-14 September, Kobe, Japan
- [8] Qu Z., Dutu A., Zhong J., and Sun J. (2014) “Seismic Damage of Masonry Infilled Timber Houses in the 2013 M7.0 Lushan Earthquake in China”, *Earthquake Spectra*, In-Press.
- [9] Duțu A., Sakata H., Yamazaki Y., (2014). “Experimental study on timber-framed masonry structures” *Proceedings of the 1st International Symposium on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Region H.Ea.R.T.2013*, November 4-5, 2013, University of Calabria, ITALY, in print by Springer
- [10] Ali Q, Schacher T, Ashraf M, Alam B, Naeem A, Ahmad N, Umar M. (2012) „In-plane behavior of full scale Dhajji Walls (Wooden Braced with Stone Infill) under quasi static loading”. *Earthquake Spectra* 2012; 28(3):835–58
- [11] Ruggieri N., Zinno R. (2013) Behavior of the Borbone constructive system under cyclic loading. *1st International Conference on Historic earthquake-resistant timber frames in the Mediterranean area (HEaRT)*, 4-5 November. University of Calabria, Italy
- [12] Vieux-Champagne F., Sieffert Y., Grange S., Polastri A., Ceccoti A., Daudeville L. (2014) “Experimental analysis of seismic resistance of timber-framed structures with stones and earth infill”. *Engineering Structures* 69, 102–115
- [13] Kouris, L. A. S., & Kappos, A. J. (2014). A practice-oriented model for pushover analysis of a class of timber-framed masonry buildings. *Engineering Structures*, 75, 489-506
- [14] Kasai K., Iwasaki K., “Reduced expression for various passive control systems and conversion to shear spring model”, (in Japanese) *J. Structural Engineering*, AIJ, No. 605, 37-46, Jul. 2006

- [15] Kuzuhara A., “Study on Structural Behavior of Timber Shear Walls with Exposed frame and Narrow Width Panel”, (in Japanese), master thesis, Tokyo Institute of Technology, 2013
- [16] Dutu, A., Sakata, H., Yamazaki, Y., and Shindo, T. (2015). "In-Plane Behavior of Timber Frames with Masonry Infills under Static Cyclic Loading." *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001405, 04015140.
- [17] Langenbach, R. (2011). “Online video—Lecture at the world bank cultural heritage thematic group.” (<http://www.conservationtech.com/>) (Dec.2013).
- [18] Dutu, A., Ferreira, J. G., and Dragomir, C. S. (2013). “Timber framed masonry buildings, an earthquake resistance influenced architecture.” 2nd Int. Conf. on Structures and Architecture, Minho Univ., Guimaraes, Portugal.
- [19] Poletti, E., and Vasconcelos, G. (2014). “Seismic behaviour of traditional timber frame walls: Experimental results on unreinforced walls.” *Bull. Earthquake Eng.*, 13(3), 885–916.
- [20] Ruggieri, N., and Zinno, R. (2013). “Behavior of the Borbone constructive system under cyclic loading.” 1st Int. Conf. on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area (Heart), Univ. of Calabria, Cosenza, Italy.
- [21] Bostenaru Dan M. (2010). Vernacular and Modernist Housing in Germany and Romania an Analysis of Vulnerability to Earthquakes, Reports from the “World Housing Encyclopedia” EERI and IAEE project, Cuvillier, Göttingen
- [22] Dutu, A., Sakata, H., Yamazaki, Y., and Shindo, T. (2015). "In-Plane Behavior of Timber Frames with Masonry Infills under Static Cyclic Loading." *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001405, 04015140.
- [23] Riggio M., Parisi M.A., Tardini C, Tsakanika E., D’Ayala D., Ruggieri N., Tampone G., Augelli F. (2015), “Existing timber structures: proposal for an assessment template”, Structural Health Assessment of Timber Structures – Jerzy Jasienko&Tomasz Nowak (eds), Worclaw, Poland
- [24] Graham Saunders, Romain de Vries, Thierry Joffroy, CRAterre Editions, (2015) Assessing local building cultures for resilience & development - A practical guide for community-based assessment
- [25] [http://www.comunaviperesti.ro/viperesti\\_istoricul-localitatii-109.html](http://www.comunaviperesti.ro/viperesti_istoricul-localitatii-109.html)
- [26] Krawinkler, H. (2009). “Loading histories for cyclic tests in support of performance assessment of structural components.” 3rd Int. Conf. on Advances in Experimental Structural Engineering, PEER, Univ. of Berkeley, Berkeley, CA.
- [27] Matsubara, Y., Du, Z., Sakata, H., Wada, A., Ito, H. and Kataoka, R. (2002): Experimental Study on the Behavior of Rotational Embedment between Douglas Fir Glulams, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, C-1, 27-28.
- [28] Sakaguchi Y., Sakata H., Nakata K., Nakano T., Ito H. and Kataoka R. (2006): Experimental Study on Mechanical Behavior of Timber Semi-Rigid Joint using Hanger with Drift Pins Part2. M-θ Estimation Method, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, C-1, 127-128.
- [29] Gere J.M., Timoshenko S.P. (1997), ”Mechanics of materials”, Fourth Edition, PWS publishing company
- [30] Kasai K. (2013), ”Advanced analysis and design of structures considering material nonlinearity”, master of science course notes in Tokyo Institute of Technology

- [31] Riggio M., Parisi M.A., Tardini C, Tsakanika E., D’Ayala D., Ruggieri N., Tampone G., Augelli F. (2015), “Existing timber structures: proposal for an assessment template”, *Structural Health Assessment of Timber Structures – Jerzy Jasienko&Tomasz Nowak (eds),* Worclaw, Poland
- [32] Graham Saunders, Romain de Vries, Thierry Joffroy, CRAterre Editions, (2015) *Assessing local building cultures for resilience & development - A practical guide for community-based assessment*
- [33]. Gheorghe Marmureanu, “Certitudini/Incertitudini in evaluarea hazardului si a riscului seismic vrancean”, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 2016
- [34]. Mihail Ifrim, “Dinamica Structurilor si Inginerie seismica”, Intreprinderea Poligrafica “13 Decembrie 1918”, Bucuresti, 1984
- [35] Institutul Central de Cercetare, Proiectare si Directivare in Constructii, Studii de arhitectura traditionala in vederea conservarii si valorificarii prin tipizare: Locuinta sateasca din Romania, Edition revised and improved, 1989.
- [36] Dima D.I., Duțu A., (2016),” Traditional buildings with timber frame and various infills in Romania”, *Proceedings of World Conference of Timber Engineering, WCTE 2016, August 22-25, Vienna*
- [37] Duțu A., Sakata H., Yamazaki Y.,(2017). ”Comparison between different types of connections and their influence on timber frames with masonry infill structures’ seismic behavior”, *16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017 (pdf – 951)*
- [38] Duțu A, Dima D.I., Bulimar E.G., (2017). ”Materials and techniques for traditional Romanian residential houses”, *3rd International Conference on Protection of Historical Constructions, 12 – 15 july 2017 . Lisbon | Portugal (pdf – PROHITECH2017\_Full\_Paper\_71)*
- [39] Bulimar E., Dutu A., Dima D.I., Ietan R., (2017). “Seismic analysis of timber frames with infills in Romania”, *4th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, SHatis’17, 19-22 September 2017. Istanbul, Turkey*
- [40] Poletti E., Dutu A., Ruggieri N., Vieux-Champagne F., (2017). “Historic timber frame structures: a comparison of different constructive systems and their resistance to seismic actions”, *th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, SHatis’17, 19-22 September 2017. Istanbul, Turkey*
- [41] Sakata, H., Suyama, T., and Matsuda, K. (2009). “Study on hysteresis model of joints using screws and holddown bolts for conventional post-and-beam wooden house.” *J. Struct. Constr. Eng.*, 74(645), 2061–2067 (in Japanese).
- [42] Blass, H.J., Gortlacher, I.R., 2004. Compression perpendicular to the grain. *Proceedings of the 8th World Conference of Timber Engineering 2: 435–440*
- [43] Architectural Institute of Japan, 2006, "Standard for Structural Design of Timber Structures", Maruzen Publishing Co. Ltd.



## Anexa 1: Formular investigare teren – exemplu

### FISA INVESTIGARE TEREN

#### EVALUAREA CONSTRUCTIILOR CU STRUCTURA DIN LEMN SI DIVERSE UEMPLUTURI

Casa C1



#### 1. INFORMATII GENERALE

<b>Evaluator:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Institutie</li><li>• Companie</li><li>• Altele</li></ul>	Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
<b>Nume si prenume reprezentant/i evaluator:</b>	Dima Daniel-Ioan
<b>Profesie evaluator:</b>	inginer
<b>Data investigarii constructiei (zi/luna/an):</b>	17.03.2017
<b>Proprietar constructie:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Persoana fizica</li><li>• Persoana juridical (institutie / companie)</li></ul>	Necunoscut.
<b>Anul realizarii constructiei:</b>	Nu exista informatii. Se presupune anul ~1930-1940

<b>Regim de inaltime si destinatie constructie:</b>	Parter; locuinta unifamiliala
<b>Localizare geografica / Adresa constructie:</b>	Zona rurala
<b>Nivel de protectie al constructie:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Protejat:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ UNESCO</li> <li>➢ <b>Protectie nationala / regionala (monument istoric)</b></li> <li>➢ Altele</li> </ul> </li> <li>• <b>Neprotejat:</b></li> </ul>	neprotejat - casa de tip curent
<b>Proiectant constructie:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Arhitect/i si/sau inginer/i</b></li> <li>• <b>Mester/i (zidar, templar, etc.)</b></li> </ul>	Cel mai probabil casa a fost proiectata si executata in regie proprie (membrii familie si/sau mesteri locali).
<b>2. INFORMATII TEHNICE – ALACATUIRE STRUCTURALA</b>	
<b>2.1 INFRASTRUCTURA</b>	
<b>Fundatii:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piatra;</li> <li>• Caramida;</li> <li>• Beton ciclopian;</li> <li>• Beton simplu / armat;</li> <li>• Altele.</li> </ul> <b>Niveluri subterane (subsoluri partiale / complete):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zidarie de piatra;</li> <li>• Zidarie de caramida;</li> <li>• Mixte.</li> </ul>	<p>La momentul investigarii, s-au evidentiat fundatii din beton (slab armat), <b>insa se poate presupune faptul ca initial au fost realizate din piatra, dar ulterior au fost consolidate/ refacute.</b></p> <p>Nu exista niveluri subterane.</p>
<b>2.2 SUPRASTRUCTURA</b>	
<b>Tip structura:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structura din barne (elemente din lemn neprelucrare / prelucrate);</li> <li>• Structura din zidarie confinata cu elemente din lemn (distributie in rosturi orizontale);</li> </ul>	<p>Conform marturiilor localnicilor, casa are structura in cadre de lemn si umplutura din zidarie de caramida.</p> <p><i>Nota:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structura tip cadre din lemn si/sau paiante (= contravantuiri) cu umplutura din gradele (= impletitura din nuiele sau sipca);</li> <li>• Structura tip cadre din lemn si / sau paiante (= contravantuiri) cu umplutura din pamant preparat cu / fara paie;</li> <li>• Structura tip cadre din lemn si/sau paiante (= contravantuiri) cu umplutura din zidarie de caramida;</li> <li>• Variatii / combinatii ale tipurilor structurale de mai sus.</li> </ul>	<p><i>Conform marturiilor unor localnici, in general, toate casele care au pridvor cu structura din lemn, au structura in cadre din lemn si umplutura de zidarie/nuiele/sipci orizontale sau inclinate si tencuiala de pamant.</i></p>
<p><b>Localizare cadrelor din lemn in ansamblul panourilor de pereti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadre duble interconectate;</li> <li>• Un singur cadru: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pe mijlocul panoului de perete;</li> <li>○ Pe fata exterioara a peretelui;</li> <li>○ Pe fata interioara a peretelui;</li> </ul> </li> </ul>	<p>Nu s-a putut identifica, insa se poate afirma faptul ca toti peretii sunt realizati in sistem cadre din lemn si umplutura din zidarie de caramida (~20 cm, inclusiv tencuiala).</p>
<p><b>Localizare cadrelor din lemn in ansamblul constructiei pe fiecare nivel:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In peretii perimetrali ai constructiei;</li> <li>• In peretii interiori ai constructiei;</li> <li>• In peretii interiori si perimetrali ai constructiei;</li> </ul>	<p>Idem mai sus.</p>
<p><b>Elemente de rigidizare/contravantuire ale panourilor de pereti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagonale din lemn – crucea Sf. Andrei („X”), care pot fi distribuite: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ In tot ansamblul panoului;</li> <li>○ La capete si intermediar;</li> <li>○ In configuratii particulare.</li> </ul> </li> <li>• Elemente scurte</li> <li>• Scanduri (marginii) / rigle;</li> <li>• Altele.</li> </ul>	<p>Cel mai probabil, avand in vedere specificul acestui tip structural, elementele de rigidizare ale panourilor de pereti constau exclusiv in contravantuiri distribuite in grosimea peretilor, in principal la colturile inferioare ale panourilor de zidarie, la unghiuri variind intre 45°÷60°, si in proximitatea golurilor de ferestre / usi. Cel mai probabil, elemente de cadre sunt din lemn de esenta de conifere (esenta de brad), cu exceptia lonjeroanelor inferioare (talpi), care sunt din esenta de lemn tare (stejar, salcam). Nu s-au putut evidentia.</p>
<p><b>Tipuri de imbinari intre elementele din lemn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chertare;</li> <li>• Scoabe ;</li> <li>• Piroane;</li> <li>• Cuie ;</li> <li>• Bolturi;</li> <li>• Suruburi;</li> <li>• Alte elemente metalice.</li> </ul>	<p>Imbinarile dintre elemente (stalpi de cadru, lonjeroanele inferioare cadru, denumite „talpi”, lonjeroanele superioare cadru, cu rol de centuri si paiante = contravantuiri) s-au realizat, cel mai probabil, prin cuie si/sau chertare.</p>

<b>Plansee:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structura lemn;</li> <li>• Structura din zidarie (boltisoare de caramida si grinzi metalice / lemn);</li> <li>• Altele.</li> </ul>	Cel mai probabil, planseul este realizat din lemn (grinzi lemn si tencuiala pe sipci din lemn).
<b>Elemente de bordare goluri (ancadramente / buiandrugi):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lemn;</li> <li>• Piatra;</li> <li>• Beton.</li> </ul>	Golurile de ferestre si usi au fost realizate din elemente de lemn – bordaj din lemn.
<b>2.3 SUBANSAMBLURI NESTRUCTURALE</b>	
<b>Scari interioare / exterioare:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piatra /alte roci ;</li> <li>• Lemn;</li> <li>• Beton;</li> <li>• Mixte.</li> </ul>	Nu este cazul.
<b>Tencuieli:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tencuieli din pamant;</li> <li>• Tencuieli din mortar de var / ciment;</li> <li>• Altele;</li> </ul>	Partial peretii sunt tencuiti cu pamant driscuit si partial placati cu scanduri.
<b>Pardoseli:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lemn;</li> <li>• Pamant;</li> <li>• Piatra;</li> <li>• Altele.</li> </ul>	Nu s-a putut identifica. Cel mai probabil, pardoseala initiala era din pamant sau dusumea (scandura).
<b>Acoperis:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Structura sarpanta;</b></li> <li>• <b>Mod de rezemare structura sarpanta;</b></li> </ul>	Structura sarpantei este realizata din lemn de brad si reazema pe centuri si grinzile de planseu.
<b>Invelitoare:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Materiale vegetale (stuf);</b></li> <li>• <b>Sindrila;</b></li> <li>• <b>Elemente ceramice (tigla);</b></li> <li>• <b>Foi de tabla.</b></li> </ul>	Invelitoarea este realizata din tabla.
<b>2.4 ALTE OBSERVATII / COMPLETARI</b>	
Casa este in stil traditional cu pridvor. In fatada prezinta elemente ornamentale realizate din elemente din lemn.	



### 3. AVARII SI MODURI DE CEDARE SPECIFICE

#### 3.1 Avarii / moduri de cedare structurale identificate la nivelul peretilor

<p><b>Cadre din lemn:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Avarierea imbinarilor dintre elementele cadrelor din lemn (stalpi, lonjeroane inferioare (talpi), lonjeroane sueprioare (centuri), painate, rilge orizontale;</li><li>• Avarierea individuala a elementelor din lemn (crapaturi, rupturi paralele cu fibra / perpendiculare pe fibra, etc.)</li><li>• Atac biologic (carii, insecte, umiditate, etc).</li><li>• Deformatii remanente, sageti initiale / curburi, cauzate de variatiile de temperatura / umiditate;</li><li>• Alte forme.</li></ul>	Nu s-a putut evidenciat.
<p><b>Umplutura din zidarie de caramida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cedare in rost orizontal / in scara;</li><li>• Fisuri / crapaturi in „X” si / sau la 45° in panourile pline de pereti;</li><li>• Fisuri / crapaturi in zonele aferente golurilor de ferestre / usi;</li><li>• Dislocari elemente de umplutura;</li><li>• Degradarea teserii zidariei;</li><li>• Degradarea elementelor de zidarie si a mortarului (caracter friabil) ca urmare a variatiei de temperatura si umiditate, inghet – dezghet;</li><li>• Alte forme.</li></ul>	Nu s-au evidenciat.
<p><b>Umplutura din pamant si paie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fisuri / crapaturi in „X” si / sau la 45° in panourile pline de pereti;</li><li>• Fisuri / crapaturi in zonele aferente golurilor de ferestre / usi;</li><li>• Dislocari locale ale umpluturii de pamant;</li><li>• Degradarea pamantului ca urmare a variatiei de temperatura si umiditate, inghet – dezghet;</li><li>• Alte forme.</li></ul>	Nu este cazul.

<p><b>Umplutura din impletituri de nuiele / sipci (gradele):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuri / crapaturi in „X” si / sau la 45° in panourile pline de pereti;</li> <li>• Fisuri / crapaturi in zonele aferente golurilor de ferestre / usi;</li> <li>• Dislocari locale ale umpluturii de pamant;</li> <li>• Degradarea nuielelor / sipcilor (putrezire / atac biologic), dislocari;</li> <li>• Alte forme.</li> </ul>	<p>Nu este cazul.</p>
<p><b>3.2 Avarii / moduri de cedare structurale identificate la nivelul planseelor</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuri / crapaturi ansamblu planseu;</li> <li>• Degradare grinzi de planseu;</li> <li>• Sageti;</li> <li>• Degradari reazeme planseu;</li> <li>• Alte forme.</li> </ul>	<p>Nu s-a putut identifica.</p>
<p><b>3.3 Avarii / moduri de cedare structurale identificate la nivelul acoperisului</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradare elemente structurale sarpanta (ruperi, crapaturi, sageti, atac biolog, etc.);</li> <li>• Degradare reazemare acoperis pe pereti;</li> <li>• Degradarea invelitorii;</li> <li>• Altele.</li> </ul>	<p>Nu</p>
<p><b>3.4 ALTE OBSERVATII / COMPLETARI</b></p>	
<p>Constructia este realizata inainte de evenimente seismice importante 1940, 1977 si 1986. Nu s-au evidentiat degradari structurale specifice. Starea de degradare actuala este cauzata de lipsa unei mentenante corespunzatoare.</p>	