

O METODOLOGIE COMPLEXA DE EVALUARE A ȘARPANTELOR ISTORICE

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

autor arh. Alexandra-Iasmina KELLER

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Marius MOȘOARCĂ

Septembrie 2020

Structurile de lemn sunt un subiect complex de cercetare, oferind oportunități de studiu în multiple direcții, de la analiza unor structuri și materiale contemporane până la analiza și protejarea patrimoniului istoric de lemn.

Cu toate acestea, șarpantele istorice prezintă o serie de provocări. Complexitatea acestui subiect rezultă din legătura dintre comportamentul lor structural și starea lor de conservare, tipul îmbinărilor tradiționale utilizate cât și de modul în care sunt conectate cu alte structuri din diferite materiale.

Având în vedere acest lucru, a fost efectuată o cercetare amplă asupra șarpantelor din Timișoara. Studiul subliniază că, pe lângă înțelegerea comportamentului lor structural, există o serie de factori, care au influențat forma acoperișului și tipologia structurală utilizată și că trebuie luate în considerare caracteristicile estetice ale acestora cât și relația cu zona urbană înconjurătoare. De asemenea, studiul arată cu ajutorul unor simulări numerice lineare că factorii de mediu și evenimentele extreme cauzate de schimbările climatice pot afecta starea de conservare a șarpantelor istorice, dar și că acestea pot influența comportarea seismică a unei clădiri istorice reducându-i astfel vulnerabilitatea seismică.

Prin urmare, prin respectarea principiilor ICOMOS/ISCARSAH care încurajează o evaluare multidisciplinară a structurilor istorice, a fost dezvoltată o metodologie de evaluare cuprinzătoare, adecvată pentru șarpante istorice din lemn, care poate fi utilizată pentru a determina valoarea și vulnerabilitatea acestora cât și ca instrument în procesul decizional, pentru planificarea și ierarhizarea intervențiilor viitoare.

Pentru a răspunde obiectivului principal al tezei, aceasta a fost organizată în 6 capitole, luând în considerare principalele sale obiective și abordând șarpantele din două puncte de vedere, care sunt ulterior legate între ele la sfârșitul tezei. Prin urmare, studiul poate fi împărțit în trei părți principale:

- Prima parte este legată de o analiză a metodologiilor de evaluare existente adecvate a șarpantelor istorice menite să evidențieze subiectele comune abordate, principalele diferențe dintre ele, dar și toate caracteristicile care nu sunt luate în considerare în primele faze ale evaluării.

- A doua parte se concentrează pe evaluarea structurală a șarpantelor istorice din lemn. În primul rând, acestea sunt abordate ca un sistem independent cu scopul principal de a identifica parametrii care sunt importanți să fie luați în considerare în timpul simulărilor numerice. În al doilea rând, structura acoperișului este considerată ca parte a clădirii și se analizează influența structurii acoperișului asupra comportării structurale a clădirii în timpul evenimentelor seismice.

• În cele din urmă, ultima parte ia în considerare toate observațiile și concluziile primelor două părți și reprezintă o metodologie de evaluare propusă care poate fi utilizată pentru a determina valoarea unei șarpante din mai multe puncte de vedere și vulnerabilitatea acesteia.

Primul capitol prezintă o prezentare generală a tezei și evidențiază subiectele sale principale. Având în vedere complexitatea șarpantelor din lemn și diversitatea factorilor care în cele din urmă le influențează valoarea, obiectivul principal al tezei este de a spori cunoștințele privind șarpantele istorice din lemn. Acest lucru se realizează, nu numai privindu-le ca sisteme structurale, ci ca parte a unui sistem mai complex în care toate elementele sunt interconectate și se influențează reciproc din punct de vedere estetic, simbolic, dar și structural. Prin urmare, obiectivele principale ale tezei sunt:

1. Analiza metodelor și procedurilor de evaluare internaționale actuale, pentru a identifica principalele diferențe dintre acestea
2. Identificarea caracteristicilor suplimentare care trebuie luate în considerare pentru a evalua valoarea și vulnerabilitatea șarpantei istorice pornind de la metodele deja dezvoltate și respectând recomandările și principiile ICOMOS
3. Realizarea unui studiu istoric și a unei inspecții la fața locului a șarpantelor selectate din Timișoara, din diferite perioade și contexte
4. Evidențierea importanței abordării valorii șarpantelor din diferite puncte de vedere
5. Înțelegerea modului în care condițiile meteorologice actuale și schimbările climatice viitoare pot afecta starea de conservare a elementelor structurale din lemn și identificarea caracteristicilor care influențează comportarea structurală a șarpantelor atunci când sunt supuse unor evenimente meteorologice extreme precum viteze mari ale vântului
6. Calibrarea pe baza testelor experimentale analizate din literatura de specialitate a unei șarpante, pentru a identifica parametrii care trebuie luați în considerare în timpul simulărilor numerice lineare
7. Înțelegerea șarpantelor istorice caracteristice din Timișoara asupra comportamentului seismic al structurilor istorice de zidărie, prin compararea modului în care acestea influențează deplasarea orizontală, deplasarea relativă, nivelul de avariere a structurii istorice de zidărie, deformată clădirii și eforturile din zidărie
8. Înțelegerea efectului degradării elementelor din lemn asupra influenței șarpantelor selectate asupra comportării seismice a clădirii istorice de zidărie considerate prin compararea aceluiași parametri
9. Accentuarea importanței unei evaluări multi-, inter- și transdisciplinare atunci când se abordează șarpantele istorice și necesitatea dezvoltării unei proceduri îmbunătățite de evaluare care poate fi utilizată pentru a determina valoarea generală și vulnerabilitatea șarpantelor, având în vedere valoarea acesteia din punct de vedere urbanistic, arhitectural, simbolic, structural cât și vulnerabilitatea cauzată de schimbările climatice și degradarea acesteia, dar care subliniază, de asemenea, și efectul tipului de șarpantă evaluat asupra comportării seismice a clădirii.

Capitolul doi evidențiază faptul că evaluarea șarpantelor din lemn este un subiect complex care trebuie abordat din mai multe unghiuri pentru a putea aduna toate informațiile necesare despre toate caracteristicile care au afectat forma și alegerea tipului de șarpantă. Pe lângă faptul că au o valoare structurală esențială, reprezentând cunoștințele dulgherilor, unele structuri au o valoare estetică, arhitecturală și culturală semnificativă, datorită aspectului și măiestriei lor. Deoarece tehnicile de construcție se bazează pe abilitățile tradiționale ale meșterilor, fiecare șarpantă devine unică și specială. În același timp, acest tip de evaluare

multicriterială are o mare importanță pentru conservarea corespunzătoare a șarpantelor cu toate elementele lor valoroase, atât structurale, cât și estetice și pentru a găsi strategii de intervenție adecvate.

Studiile privind protecția șarpantelor din lemn accentuează că, pentru a putea elabora evaluări cuprinzătoare, este necesară o abordare holistică care poate combina date din diferite domenii și prin urmare, poate ajuta la procesul decizional [1]. În același timp, ei recunosc, de asemenea, că valoarea unei șarpante este legată de mai mulți factori precum istorie, estetică, știință, tehnologie, antropologie sau simbolism [2].

Necesitatea de a utiliza o abordare interdisciplinară atunci când este evaluată o șarpantă istorică din lemn este evidențiată de diverse alte studii [3-5] care arată importanța înțelegerii arhitecturii unei șarpante și a principiilor care au condus la alegerea tipului și a formei [6]. Ei subliniază, de asemenea, că evaluarea acestora este o problemă complexă, deoarece acestea au evoluat diferit în diferite regiuni, influențate de cunoștințele dulgherilor, dar și datorită proprietăților mecanice ale lemnului [7].

Respectând principiile ICOMOS care încurajează o evaluare multidisciplinară a structurilor patrimoniului, în ultimii ani au fost dezvoltate diferite metodologii de evaluare adecvate pentru șarpante istorice din lemn, de către diferite grupuri de lucru ale Acțiunilor COST sau ale diferitelor grupuri de cercetători [8-13], pentru a asigura siguranța patrimoniului construit din lemn. Cu toate acestea, toate aceste metodologii și proceduri se concentrează în principal pe structură, evaluarea ei la fața locului [7,8], analiza proprietăților mecanice ale elementelor din lemn [1,14] și comportamentul lor structural [15-17], fără a privi șarpanta ca parte a clădirii și a înțelege legătura acesteia cu tot ceea ce o definește și o înconjoară. Toate aceste metodologii au fost analizate și s-au evidențiat toate criteriile luate în considerare.

Ulterior au fost analizate diferite proceduri de evaluare. Datorită complexității metodologiilor de evaluare, pentru a simplifica evaluarea șarpantelor, au fost elaborate diferite proceduri și metodologii de evaluare [18-22]. Acestea subliniază că, datorită complexității lor, șarpantele istorice au nevoie de un cadru organizat care să definească în mod clar etapele care trebuie urmate în timpul evaluării. Utilizând formulare cu și fără punctaj sau liste de verificare, se pot evalua obiectiv caracteristicile principale ale structurilor, detaliile și starea lor de conservare.

Cu toate acestea, în ciuda faptului că metodologiile și procedurile sunt multicriteriale, acestea se concentrează asupra structurii ca sistem individual, fără a o privi ca parte a clădirii și fără a recunoaște conexiunea, atât vizual/estetic, cât și structural, între toate elementele componente ale clădirii.

Pornind de la procedurile de evaluare dezvoltate în cadrul acestor acțiuni COST, a devenit clar că există încă loc de îmbunătățire și că este necesară identificarea unor criterii specifice legate de valoarea estetică și arhitecturală a șarpantelor.

Prin urmare, pentru a le putea conserva corect, este necesară o evaluare complexă. Evaluarea ar trebui să ia în considerare toți factorii care au influențat forma acoperișului și tipologia structurală utilizată, luând în considerare, de asemenea, estetica și relația cu zona urbană înconjurătoare. Numai după o astfel de analiză, structura acoperișului poate fi evaluată structural și pot fi luate măsuri de consolidare, dacă este necesar.

Pe baza factorilor care sunt luați în considerare în alte metodologii de evaluare și a ceea ce s-a observat că este relevant în definirea șarpantelor din Timișoara, a fost identificate o serie de caracteristici care ar trebui incluse într-o metodologie și procedură de evaluare viitoare.

1. În cazul principiilor de planificare urbană, s-a observat că există anumite situații în care un acoperiș este evidențiat în contextul său urban sau dimpotrivă, nu joacă niciun rol în definirea spațiului urban. S-a observat că valoarea zonei urbane, poziția, fațada, înălțimea clădirii, aliniamentul, forma și panta acoperișului sunt caracteristici care influențează importanța

acoperișului și determină dacă structura poate ieși în evidență în contextul său sau dacă face parte dintr-un ansamblu urban coerent.

2. Stilurile arhitecturale și principiile estetice se dovedesc a influența și alegerea formei acoperișului și a șarpantei. S-a observat că perioada în care a fost construită clădirea și stilul arhitectural, valoarea istorică a clădirii, înălțimea acesteia, funcțiunea principală, dar și forma acoperișului și materialul folosit pentru învelitoarea acoperișului sunt caracteristici care evidențiază faptul că acoperișul este important, completând aspectul clădirii.

3. Pe lângă legătura cu clădirile și spațiul urban înconjurător, acoperișurile și șarpantele s-au dovedit a avea o valoare simbolică ridicată rezultată dintr-o analiză transdisciplinară complexă bazată pe studii geometrice efectuate în artă și arhitectură [23-26]. Aceste caracteristici sunt legate de raportul dintre acoperiș și clădire, dar și între poziția elementelor structurale importante și a nodurilor care evidențiază influența filosofiei meșteșugarilor în definirea șarpantei și pot ajuta la identificarea elementelor care lipsesc sau a structurilor modificate.

4. În cazul principiilor structurale, pornind de la metodologiile existente de evaluare a șarpantelor, s-a observat că există o serie de caracteristici ce definesc valoarea structurală a unui acoperiș ce sunt legate de aspectul general al structurii, elementele structurale utilizate și detaliile acesteia. Prin urmare, caracteristicile legate de tipul și stilul structural, elementele structurale speciale utilizate și caracteristicile nodurilor au fost considerate relevante pentru o evaluare vizuală preliminară.

5. După cum s-a evidențiat deja în metodologiile de evaluare dezvoltate anterior, este important să se determine starea de conservare a șarpantelor. În cazul unei inspecții vizuale preliminare, este relevant să se identifice degradarea părții exterioare a acoperișului (coamă, cornișă, coș de fum și a materialului folosit pentru învelioare) și degradarea elementelor din lemn care pot fi afectate de umiditate.

6. Analiza evidențiază, de asemenea, că factorii meteorologici precum vântul, grindina și ploaia / umiditatea și mai presus de toate schimbările climatice reprezintă o amenințare reală atât pentru șarpante aflate într-o stare bună de conservare, dar în special pentru cele care prezintă deja semne de degradare. Prin urmare, este necesară înțelegerea riscului climatic și introducerea în viitoare metodologii și proceduri de evaluare și a vulnerabilității climatice a șarpantelor.

Capitolul trei arată că șarpantele istorice sunt doar rar luate în considerare atunci când se efectuează evaluări ale clădirilor istorice, datorită complexității lor, proprietăților neomogene ale materialului și incertitudinilor ridicate cu privire la starea de conservare și proprietățile mecanice ale lemnului.

Astfel, pentru a împiedica înlocuire parțială sau completă a șarpantelor [27], și pentru a le asigura protecție, acestea trebuie analizate în mod corespunzător din diferite puncte de vedere, ținând cont ca comportarea lor structurală lor este legat de proprietățile mecanice ale lemnului [27-30], comportamentul și rigiditatea îmbinărilor din lemn, dar și geometria structurii și compoziția elementelor structurale.

Teza urmărește în continuare analiza unor teste de laborator, distructive și nedistructive, realizate asupra șarpantelor istorice [31-37], precum și teste de laborator realizate asupra unor șarpante din lemn la scară reală și îmbinări din lemn [38- 43], subliniind faptul că, din cauza dimensiunilor acoperișurilor, doar câteva teste au fost efectuate pe ferme complete, în timp ce majoritatea testelor se concentrează pe înțelegerea comportamentelor mai multor tipuri de îmbinări din lemn.

Sunt analizate șapte teste de laborator. Toate aceste teste au fost efectuate pe ferme ale

unor șarpante istorice din lemn care au fost reconstruite în laboratoare folosind aceleași tehnici tradiționale și supuse unor încărcări verticale, simetrice sau asimetrice, pentru a înțelege transferul încărcărilor și comportamentul lor structural. În același timp, întrucât testele nedistructive pot oferi informații vitale privind integritatea structurală și capacitatea portantă a elementelor din lemn [34], toate testele de laborator analizate au fost precedate de o analiză preliminară nedistructivă a lemnului istoric.

Ulterior, accentul s-a îndreptat spre analiza modelării îmbinărilor istorice din lemn, deoarece toate testele de laborator studiate evidențiază importanța abordării adecvate a comportamentului semirigid al acestora și a influenței asupra comportamentului structurii. Tipurile de noduri utilizate sunt complexe și sunt influențate de cunoștințele și experiența dulgherilor și, prin urmare, sunt dificil de analizat folosind metode contemporane. Prin urmare, pentru a înțelege importanța îmbinărilor semi-rigide asupra comportamentului structural al unei șarpante analizate, au fost identificate și analizate trei metode diferite, care sunt utilizate în mod obișnuit și prezentate în literatură: metoda componentelor, o metodă care se bazează pe caracteristicile geometrice ale îmbinărilor structurii acoperișului și proprietățile mecanice ale lemnului [153,154]; metoda Heimeshoff și Köhler care ia în considerare doar proprietățile geometrice ale elementelor structurale [14,126] și metoda prezentată de Hölzer [155,156].

Până astăzi nu s-au efectuat teste de șarpante istorice din lemn din Timișoara din cauza dimensiunilor lor semnificative. Prin urmare, pentru a obține rezultate fiabile în timpul simulărilor numerice, calibrările au fost efectuate ținând cont de testele de laborator efectuate la Universitatea din Trento. A fost aleasă pentru calibrare o șarpantă dintr-o clădire din satul Pergine Valsugana de lângă lacul Caldonazzo din Italia, un tip mediteranean de cu pop central de la începutul secolului al XX-lea, prezentând toate caracteristicile tipice din acea zonă (Fig. 1).

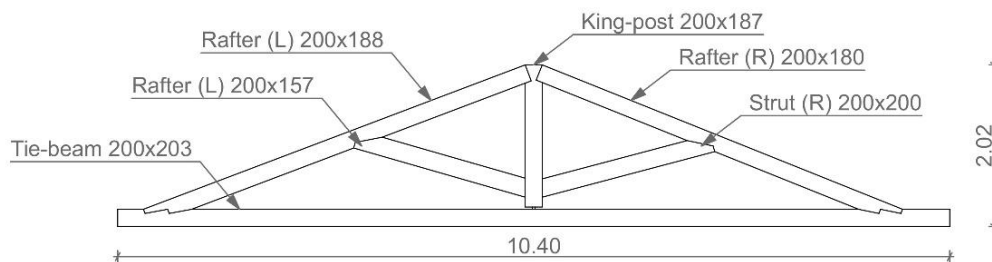


Fig. 1 Structura acoperișului utilizat pentru simulările numerice

Analiza testului de laborator și simulările numerice ulterioare au scos în evidență o serie de abordări, dar și parametri care trebuie luați în considerare în cadrul evaluării comportamentului șarpantelor istorice. Au fost identificați doi parametri importanți.

1. Pe de o parte, materialul și proprietățile legate de secțiunea transversală ale elementelor din lemn influențează semnificativ comportarea structurală șarpantelor. Prin urmare, este esențial să se efectueze o inspecție vizuală preliminară a structurii pentru a identifica degradarea acestora și posibila reducere a secțiunii transversale și, dacă este posibil, teste nedistructive pentru a determina proprietățile mecanice ale lemnului.

2. Îmbinările din lemn, pe de altă parte, se dovedesc a influența în mod semnificativ comportarea structurală al șarpantelor. Analizând simulările numerice prezentate în literatură, s-a observat că acestea ar putea fi modelate ca fiind rigide, articulate sau semi-rigide.

Calibrările ulterioare ale simulărilor numerice lineare au fost efectuate pe baza observațiilor anterioare și arată că:

1. dacă îmbinările sunt modelate ca fiind articulate sau rigide, este necesar să se reducă secțiunea transversală a elementelor din lemn cu 15%, pentru a avea o deformare similară cu cea observată în timpul testului de laborator.

2. dacă îmbinările sunt considerate semirigide și determinate folosind metoda componentelor, este necesar să se reducă secțiunea transversală a elementelor din lemn cu 15% pentru a obține o deformare similară cu cea observată în timpul testului de laborator.

3. dacă îmbinările sunt considerate semirigide și determinate folosind metoda Heimeshoff și Köhler sau metoda Hölzer, este necesar să se mărească rigiditatea axială calculată a îmbinărilor de patru ori, pentru a avea o deformare similară cu cea observată în timpul testului de laborator.

Având în vedere în cazul calibrărilor efectuate, toate deplasările înregistrate se află în intervalul de $\pm 20\%$ față de deplasările obținute în timpul testului de laborator, observațiile pot fi utilizate în continuare pentru alte simulări numerice utilizând programul de simulări numerice SCIA Engineer (Fig. 2).

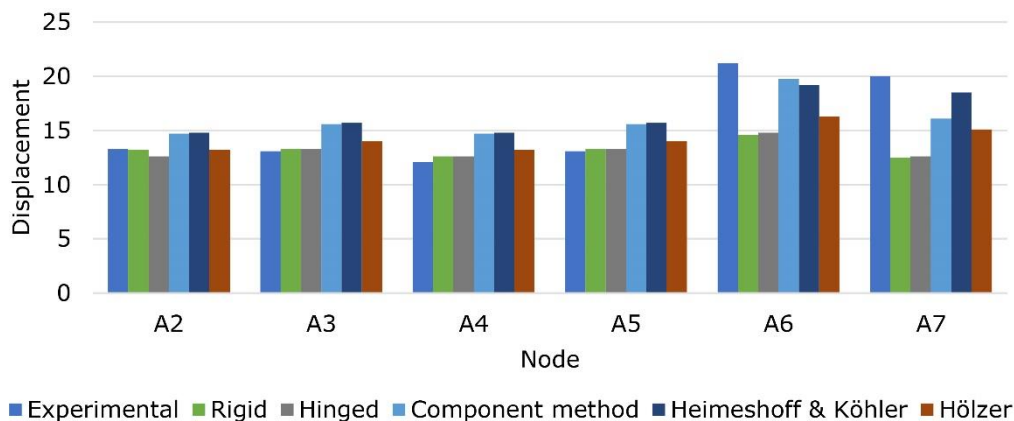


Fig. 2 Analiză comparativă a deplasării obținute a fiecărui nod după calibrare

Capitolul patru se concentrează pe influența șarpantelor asupra comportării seismice al clădirilor istorice, deși în mod curent, atunci când evaluează vulnerabilitatea seismică a clădirilor istorice, se verifică integritatea structurii portante principale fără a privi și a lua în considerare și importanța șarpantei.

Studiile efectuate cu privire la rolul șarpantelor în comportarea structurală al clădirilor istorice evidențiază faptul că prezența lor poate, în funcție de tip, îmbunătăți comportarea structurală al unei clădiri, dar poate duce, de asemenea, la producerea unor avarii semnificative dacă conexiunea dintre șarpantă și perete este degradată [55-59] (Fig. 3). În același timp, este evidențiat în numeroase studii și efectul benefic al utilizării elementelor din lemn inserate în structuri istorice de zidărie [60-62].

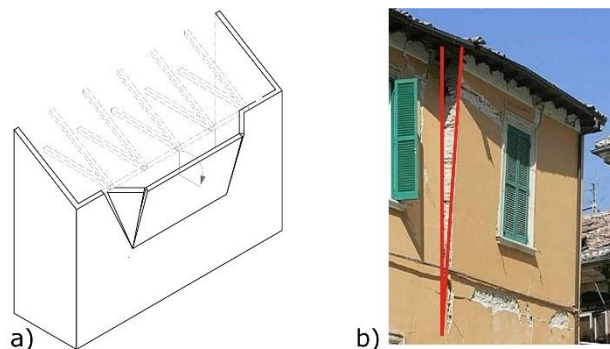


Fig. 3 a) Mecanism de avarie în afara planului; b) Eroare în afara avionului după cutremurul L'Aquila (2009) (după [63])

Prin urmare, pentru a înțelege și legătura dintre șarpantă și clădirea careia îi aparține, a

fost luată în considerare o clădire din secolul al XVIII-lea din centrul orașului Timișoara, pe care au fost amplasate trei tipuri diferite de șarpante, care sunt caracteristice pentru acest oraș. Scopul principal a fost înțelegerea și compararea efectului acestor tipuri de șarpante asupra comportării seismice al clădirii istorice [167,168]. A fost utilizat programul de simulare numerică SCIA Engineer [64]. În ciuda faptului că este mai conservatoare, a fost utilizată metoda forțelor laterale echivalente (ELF) pentru a efectua analiza seismică a clădirii cu și fără șarpante.

Datorită naturii complexe a conexiunii dintre șarpantă și peretele istoric de zidărie, întrucât această conexiune este relevantă în comportamentul seismic al clădirii, au fost luate în considerare trei tipologii diferite de modelare a legăturii dintre șarpanta și zidării pentru simulările numerice: rigid, reprezentând o abordare conservatoare; simplu rezemat, cu o rigiditate axială orizontală de aproximativ 50 kN/m, ce poate fi presupusă în direcția fermelor și 10 kN/m de-a lungul peretelui [65] și articulat pe o parte a clădirii și simplu rezemat pe cealaltă parte. Luând în considerare aceste trei scenarii, a fost posibilă înțelegerea modului în care legătura șarpantă-zidărie poate influența comportarea clădirii istorice în timpul unui eveniment seismic.

Ulterior, îmbinările din lemn realizate în mod tradițional au fost luate în considerare ca fiind rigide, articulate sau semi-rigide ținând cont de cele trei metode descrise anterior (componentă, metodele Heimeshoff și Köhler și Hölzer). În acest fel, au fost luate în considerare atât analize numerice simple, folosind noduri rigide sau articulate, dar și un mod mai complex de determinare a rigidității axiale a nodului de lemn. Scopul principal a fost înțelegerea modului în care fiecare tip de îmbinare influențează relația dintre șarpanta și clădire. Având în vedere acest lucru, au fost create 15 scenarii.

Ulterior, întrucât șarpantele au fost construite în secolul al XVIII-lea, respectiv XIX și XX, deși erau într-o stare bună de conservare, fără a avea degradări majore, s-a considerat că studiul ar fi trebuit să aibă și un al doilea pas în care șarpantele sunt considerate degradate. Potrivit altor studii, atunci când se efectuează simulări numerice privind șarpantele, ar trebui luată în considerare o reducere a secțiunii transversale a elementelor din lemn, datorită marginilor rotunjite și, eventual, a stratului exterior deteriorat al elementelor din lemn. Studiile arată că o reducere de 15 până la 20% este de așteptat [50]. Acest lucru este, de asemenea, în concordanță cu observațiile făcute în timpul procesului de calibrare prezentate în capitolul 3, unde a fost luată în considerare o reducere a secțiunii transversale de aproximativ 20% pentru a obține rezultate similare cu cele din timpul testelor de laborator analizate.

Pentru fiecare model și fiecare scenariu, au fost evaluați cinci parametri și comparați mai întâi cu un caz ipotetic fără șarpantă. Scopul principal al simulărilor a fost de a înțelege dacă cele trei șarpante îmbunătățesc sau nu comportarea seismică a clădirii și modul în care rezultatele sunt influențate de legătura șarpantă-zidărie și felul în care se modelează nodul de lemn. Au fost astfel analizate deplasarea orizontală în afara planului și deplasarea relativă; deformată clădirii din zidărie; nivelul de avariere înregistrat al pereților de zidărie pe baza deplasării relative obținute și a eforturilor (forțe axiale verticale; forțe de forfecare în afara planului și momente de încovoiere în afara planului).

Principalele concluzii ale analizei sunt următoarele:

1. În toate scenariile, comportarea seismică a clădirii este puternic influențată de tipul șarpantei și de starea sa de conservare.

2. S-a observat că într-o bună stare de conservare, prezența șarpantei duce la:

- 2.1. Reducerea deplasării orizontale în partea superioară a clădirii între 10 și 55%.

- 2.2. Reducerea deplasării relative la ultimul nivel între 5 și 85%.

3. În cazul unei șarpante deteriorate, cu până la 20%, efectul șarpantelor asupra

comportării seismice a clădirii istorice de zidărie este ușor diferit:

- 3.1. Reducerea deplasării orizontale în partea superioară a clădirii între 25 și 50%.
- 3.2. Creșterea deplasării orizontale cu 10 până la 20% la etajele inferioare.
- 3.3. Reducerea deplasării relative la ultimul etaj între 25 și 85%.
- 3.4. Creșterea deplasării relative cu 10 până la 25% la etajele inferioare.
4. În ambele cazuri, prezența șarpantei din secolul al XVIII-lea are o influență mai bună asupra reducerii deplasării orizontale în afara planului și a deplasării relative, decât celelalte două tipuri, cea din secolul al XX-lea prezentând cea mai mică reducere .
5. Reducerea semnificativă a nivelului de avarie pe toate etajele clădirii.
6. Schimbarea modului de deformare al clădirii din încovoiere, după cum se înregistrează în cazul structurii fără șarpantă, în tăiere în cazul șarpantelor din secolele XVIII și XIX.
7. În ceea ce privește eforturile înregistrate pe perețele de zidărie, s-a observat că:
 - 7.1. Forțe axiale de întindere pot apărea în partea superioară a clădirii.
 - 7.2. Forțe de forfecare perpendiculare pe perete și momentele de încovoiere în afara planului pot suferi o creștere în partea superioară a clădirii.
 - 7.3. Forțele de forfecare prezintă eforturi cu sens invers în zona bolților din zidărie
 - 7.4. Momentele de încovoiere în afara planului prezintă o creștere în partea de sus a clădirii, și valori mai mici la baza etajului superior.

Al cincilea capitol se bazează pe observațiile conform cărora acoperișurile și șarpantele sunt puternic influențate de contextul lor și de clădirea din care fac parte, având o valoare semnificativă, care nu este întotdeauna legată de caracteristicile lor structurale. Valoarea generală și vulnerabilitatea șarpantelor poate fi crescută sau dimpotrivă scăzută de contextul imediat, principiile urbanistice, caracteristicile arhitecturale sau chiar factorii simbolici. În plus față de aceste caracteristici, studiul a scos în evidență că, pentru a determina cu precizie vulnerabilitatea structurală a șarpantelor istorice, ar trebui să se țină seama și de starea lor de conservare și de efectul condițiilor climatice actuale și viitoare. În cele din urmă, după cum este clar evidențiat în capitolul 4, studiile arată, de asemenea, că, având în vedere tipul șarpantei și starea de conservare a acestuia, ar putea îmbunătăți comportarea seismică a clădirii istorice.

În consecință, pe baza observațiilor, a fost dezvoltată o procedură holistică pentru o evaluare cuprinzătoare a șarpantelor istorice, bazată pe o evaluare multi-, inter- și transdisciplinară, luând în considerare toți factorii ce definesc șarpantele și acoperișurile, respectând în acest mod ICOMOS și Principiile ISCARSAH.

Evaluarea caracteristicilor care influențează aspectul șarpantelor a scos în evidență patru categorii principale de parametri ce trebuie luați în considerare în timpul evaluării lor:

1. Valoarea urbană;
2. Valoarea arhitecturală;
3. Valoarea simbolică;
4. Valoarea structurală.

În același timp, vulnerabilitatea lor este puternic influențată de factorii de mediu, ceea ce duce la degradarea elementelor din lemn, a materialului învelitorii și a aspectului general al acoperișului și al clădirii. Prin urmare, pentru a determina vulnerabilitatea unei șarpante trebuie luați în considerare următorii parametri:

1. Starea de conservare a șarpantei.
2. Avarii provocate de schimbările climatice.

3. Influența tipologiei șarpantei asupra comportării seismice a clădirii, pe baza observațiilor făcute în timpul simulărilor numerice.

Prin urmare, procedura a fost clasificată în cinci niveluri de evaluare, fiecare dintre ele organizată într-o structură arborescentă. Fiecare nivel conține criterii considerate relevante pentru evaluare și o listă de răspunsuri posibile, pentru fiecare criteriu. În cele din urmă, pentru a asigura obiectivitatea evaluării, pentru fiecare răspuns al procedurii, a fost propus un punctaj specific. Punctajul asociat fiecărui răspuns este una dintre contribuțiile personale ale cercetării. Acesta a fost determinat pe baza evaluării preliminare a caracteristicilor care influențează valoarea unei șarpante din toate punctele de vedere, având în vedere coerența contextului, valoarea sa în zona istorică, unicitatea elementelor structurale sau caracteristicile simbolice.

Pe baza acestui punctaj propus, procedura poate determina automat:

1. Punctajul valorii urbane a șarpantei
2. Punctajul valorii arhitecturale a șarpantei
3. Punctajul valorii simbolice șarpantei
4. Punctajul valorii structurale a șarpantei
5. Valoarea predominantă a șarpantei
6. Valoarea ideală a șarpantei
7. Indicele de degradare al șarpantei
8. Valoarea reală a șarpantei
9. Vulnerabilitatea climatică a șarpantei
10. Influența șarpantei asupra comportării seismice a clădirii

După selectarea răspunsului adecvat pentru fiecare dintre criteriile evaluate, procedura analizează automat fiecare răspuns și calculează punctajul corespunzător. Fiecare nivel al evaluării poate obține un punctaj maxim de până la 100 de puncte, care sunt împărțite în mod egal între toate criteriile evaluate ale nivelului considerat. Pentru a putea efectua și a evalua rapid și ușor o șarpantă utilizând metodologia de evaluare propusă, au fost elaborate două formulare diferite, unul care ar putea fi completat folosind un computer sau laptop și al doilea care este o aplicație mobilă și are avantajul că poate fi completat chiar și la fața locului.

Pentru a valida procedura de evaluare a vulnerabilității propusă, au fost alese 18 șarpante din diferite cartiere ale orașului: zona Cetate, cartierul Iosefin și Fabric (Fig.4). Șarpantele au fost alese din diferite perioade și contexte, aparținând unor clădiri cu funcțiuni diferite, pentru a surprinde mai bine schimbările valorii predominante, ideale și reale și a vulnerabilitatea lor. Șarpantele au fost evaluate din toate punctele de vedere relevante și toate datele obținute au fost introduse în formularul de evaluare.

Contextul în care au fost construite șarpantele alese sunt complet diferite și sunt marcate de caracterul fiecărei zone. În timp ce centrul avea de la început un aspect mai urban, celelalte două cartiere erau foste sate, care au suferit schimbări semnificative la sfârșitul secolului al XIX-lea, începutul secolului al XX-lea, când au fost conectate la cetate și au devenit cartiere al noului oraș [66,67]. Acesta este motivul pentru care au fost identificate diferite tipuri de clădiri, acoperișuri și șarpante influențate de principii diferite în aceste trei zone.

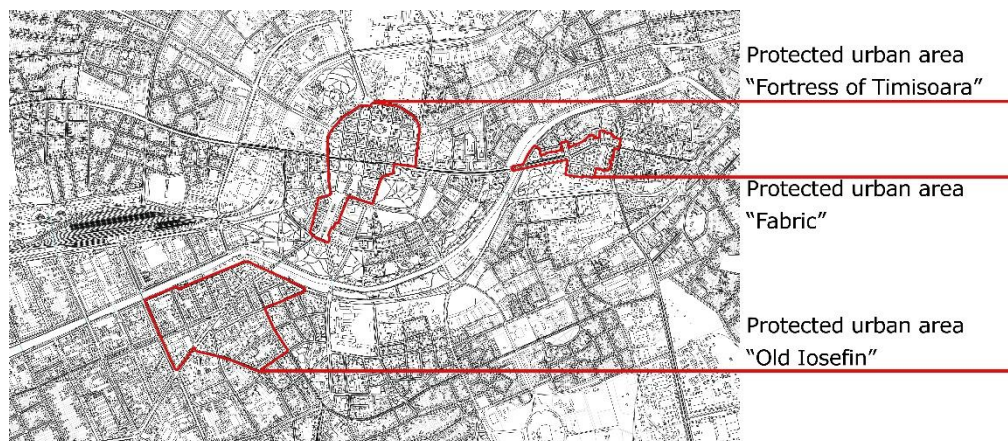


Fig.4 Zonele urbane protejate unde au fost alese structurile de acoperiș evaluate

Din cele trei cartiere ale orașului, după evaluarea fiecărei șarpante din toate punctele de vedere, au fost selectate patru șarpante, reprezentative pentru fiecare dintre cele patru niveluri de evaluare, pentru a identifica dacă formularul de evaluare poate recunoaște aceeași valoare predominantă ca și evaluarea preliminară efectuată.

Ulterior, toate celelalte 14 șarpante evaluate au fost analizate și toate observațiile introduse în formularul de evaluare. Pentru a înțelege mai bine importanța șarpantelor din toate punctele de vedere, clădirile au fost sortate în funcție de anul de construcție și rezultatele obținute comparate pentru fiecare nivel de evaluare pentru a putea înțelege evoluția în timp a principiilor evaluate.

Datorită faptului că procedura abordează șarpantele utilizând o analiză multidisciplinară, transdisciplinară și interdisciplinară aceasta poate fi utilizată ca un instrument de evaluare preliminară, înainte de analiza structurală efectivă a șarpantei. Deoarece oferă informații despre valoarea și vulnerabilitatea șarpantei, acesta poate fi folosit și ca instrument de luare a deciziilor rapid și eficient din punct de vedere al costurilor, ce poate fi utilizat atât de diferiți profesioniști cât și de proprietarii respectivelor șarpante.

Metodologia descrisă în teză este un prim pas în definirea unei evaluări holistice a șarpantelor din lemn. Criteriile și răspunsurile evaluate au fost elaborate și confirmate pe baza analizei șarpantelor istorice din Timișoara și a riscurilor climatice locale, dar și pe baza altor metodologii de evaluare identificate în literatură. Prin urmare, aceasta poate fi dezvoltată în viitor din toate punctele de vedere și se pot adăuga criterii suplimentare. În același timp, aceasta poate fi utilizată și în alte orașe, însă ar putea fi necesară o adaptare a punctațului și înlocuirea unor criterii sau răspunsuri specifice evaluate cu cele locale.

În cele din urmă, **al șaselea capitol** prezintă un rezumat al rezultatelor, concluziile tezei, principalele contribuții personale și o prezentare completă a diseminării cercetării în lucrări incluse în volumele unor conferințe internaționale și jurnale științifice. În același timp, capitolul prezintă, o schiță a posibilelor studii viitoare legate de evaluarea șarpantelor istorice și efectul acestora asupra comportamentului seismic al clădirilor istorice din zidărie.

Capitolul subliniază încă o dată nevoia de a privi șarpantele istorice dintr-un punct de vedere multidisciplinar, respectând astfel principiile și recomandările Cartei de la Veneția și principiile ICOMOS. Prin urmare, se evidențiază faptul că principiile de planificare urbană, stilurile arhitecturale, raporturile simbolice și geometrice și caracteristicile structurale complexe influențează în cele din urmă valoarea unei șarpante. În același timp, vulnerabilitatea acestor structuri la diferite amenințări este, de asemenea, adusă în prim-plan prin recunoașterea efectului condițiilor meteorologice actuale și viitoarelor asupra stării de conservare a elementelor structurale ale șarpantei.

Principalele realizări și contribuții personale sunt:

1. O analiză aprofundată a metodologiilor și procedurilor de evaluare internaționale
2. O analiză amplă a șarpantelor selectate din Timișoara, din diferite perioade și contexte
3. Identificarea caracteristicilor suplimentare care trebuie luate în considerare în cadrul evaluării valorii și vulnerabilității șarpantelor istorice
4. Analiza diferitelor metode de modelare semi-rigidă a nodurilor de lemn realizate în mod tradițional și identificarea diferențelor dintre acestea;
5. Propunerea unui model calibrat al unei șarpante istorice, pornind de la un evaluare experimentală asupra comportării structurale a unei șarpante la scară reală analizat din literatura de specialitate
6. Recunoașterea efectului șarpantelor istorice selectate, asupra comportării seismice a unei clădiri istorice de zidărie din secolul al XVIII-lea și analiza și compararea a 5 parametri diferiți pentru a evidenția efectul lor: deplasarea în afara planului, deplasarea relativă, deformată clădirii, nivelul de avariere înregistrat și eforturile înregistrate în zidărie
7. Dezvoltarea unei proceduri de evaluare preliminară, bazată pe analiza istorică și vizuală a șarpantei și a acoperișului, care determină valoarea șarpantei evaluate și vulnerabilitatea acesteia și care poate fi utilizată ca instrument de luare a deciziilor pentru planificarea și ierarhizarea intervenției viitoare. Procedura include, de asemenea, un punctaj corespunzător pentru fiecare răspuns dezvoltat în funcție de observațiile analizei efectuate
8. Dezvoltarea unui formular Excel și a unei aplicații de mobil, care poate fi utilizat la fața locului pentru evaluarea șarpantelor istorice din lemn.

Studiile privind șarpantele istorice din lemn, evaluarea și înțelegerea comportării lor structurale sunt puține, iar dezvoltarea subiectelor prezentate în această teză este necesară pentru a înțelege în mod corespunzător complexitatea acestor structuri.

1. Trebuie efectuate în continuare studii ample pentru a înțelege toate caracteristicile care influențează valoarea și vulnerabilitatea șarpantelor. Studiile trebuie extinse ținând cont de principii urbanistice, arhitecturale și geometrice și riscuri climatice, actuale și viitoare.

2. Trebuie dezvoltate hărți de valoare și vulnerabilitate prin utilizarea metodologiei de evaluare a șarpantelor propuse;

3. Este necesară realizarea unor teste în laborator la scară reală pentru tipuri locale de șarpante și noduri de lemn tradiționale

4. Trebuie realizate simulări numerice suplimentare, atât lineare cât și neliniare pentru a înțelege efectul altor tipuri de șarpante asupra comportării seismice a clădirilor istorice din zidărie

5. Trebuie analizat comportarea în plan a clădirii din zidărie cu șarpantă

6. Metodologia trebuie, de asemenea, dezvoltată și adaptată pentru alte orașe europene, prin înlocuirea criteriilor sau răspunsurilor specifice evaluate cu cele locale și adaptarea punctajele corespunzătoare.

Rezultatele cercetării prezentate în această teză au fost publicate în jurnale și volumele unor manifestări științifice:

1. 5 lucrări în reviste indexate Web of Science;
2. 6 lucrări în volumele unor manifestări științifice indexate Web of Science;
3. 1 lucrare în reviste de specialitate indexate BDI (SCOPUS);
4. 2 lucrări în volumele unor manifestări științifice indexate BDI (SCOPUS);
5. 11 lucrări în volumele unor manifestări științifice internaționale din străinătate;

6. 1 lucrare în volumele unor manifestări științifice naționale.

BIBLIOGRAFIE

- [1] H. S. Sousa, J. M. Branco, and P. B. Lourenço, "A Holistic Methodology for Probabilistic Safety Assessment of Timber Elements Combining Onsite and Laboratory Data", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 10, no. 5, pp. 526–538, Jul. 2016.
- [2] G. Tampone, "Ancient timber structural systems: an attempt to define the main components of the paradigm", in *Proceedings of the 20th International Symposium of the ICOMOS International Wood Committee, IWC 2016*, 2016, pp. 9–16.
- [3] L. Uzielli and J. Gril, "Wood science and conservation: activities and achievements of COST Action IE0601", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 13, pp. S1–S5, 2012.
- [4] C. Bertolini-Cestari, A. Spanò, S. Invernizzi, and T. Marzi, "Retrofitting Assessment and Numerical Models for the Historical Timber Roof Structures of the Towers of Valentino Castle in Turin", in *Proceedings of the 2nd International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Region, HEaRT 2015*, Springer, Cham, 2016, pp. 321–333.
- [5] L. G. Rodrigues, C. A. Aranha, and H. S. Sousa, "Robustness assessment of an ancient timber roof structure", in *Proceedings of the 2nd International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Region, HEaRT 2015*, vol. 1, H. Cruz, J. S. Machado, A. C. Costa, P. X. Candeias, N. Ruggieri, and J. M. Catarino, Eds. Springer, 2016, pp. 447–457.
- [6] L. Debailleux, "Indexing System for Recognizing Traditional Timber-Framed Structures", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 9, no. 5, pp. 529–541, Jul. 2015.
- [7] M. Riggio, D. D'Ayala, M. A. Parisi, and C. Tardini, "Assessment of heritage timber structures: Review of standards, guidelines and procedures", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 31, pp. 220–235, May 2018.
- [8] H. Cruz, D. Yeomans, E. Tsakanika, N. Macchioni, A. Jorissen, M. Touza, M. Mannucci, and P. B. Lourenço, "Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 9, no. 3, pp. 277–289, Apr. 2015.
- [9] P. Dietsch, J. Köhler, and H. Brüninghoff, *Assessment of timber structures : COST Action E55 "Modelling of the Performance of Timber Structures."* Shaker Verlag, 2010.
- [10] P. Dietsch and H. Kreuzinger, "Guideline on the assessment of timber structures: Summary", *Engineering Structures*, vol. 33, no. 11, pp. 2983–2986, Nov. 2011.
- [11] T. Tannert, P. Dietsch, C. Bertolini-Cestari, and B. Kasal, "COST Action FP1101 - Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures", in *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, 2012, pp. 515–519.
- [12] B. Kasal, "Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures-COST FP1101", *Advanced Materials Research*, vol. 778, pp. 1037–1040, 2013.
- [13] D. D'Ayala, J. M. Branco, M. Riggio, A. Harte, J. Kurz, and T. Descamps, "Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures: FPS Cost Action FP1101", in *Proceedings of the 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2014*, 2014.
- [14] H. S. Sousa, J. S. Machado, J. M. Branco, and P. B. Lourenço, "Onsite assessment of structural timber members by means of hierarchical models and probabilistic methods", *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 1188–1196, Dec. 2015.
- [15] J. Gocál, P. Krušinský, E. Capková, and M. Kekeliak, *Geometric and static analysis of the historical truss in village Belá Dulice*, vol. 969. 2014, pp. 199–207.
- [16] P. Krušinský, E. Capková, J. Gocál, and M. Holešová, "Geometric and static analysis of the historical trusses in roman catholic church of the Holy Kozma and Damian in the

- Abramová village", *Civil and Environmental Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 136–141, 2015.
- [17] P. Krušínský, J. Gocál, and E. Capková, "Static analysis of historical trusses", *Wiadomości Konserwatorskie*, vol. 47, pp. 120–127, 2016.
- [18] M. Riggio, M. A. Parisi, C. Tardini, E. Tsakanika, D. D'Ayala, N. Ruggieri, G. Tampone, and F. Augelli, "Existing timber structures: Proposal for an assessment template", in *Proceedings of the 3th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, SHATIS'15*, 2015, no. September, pp. 100–107.
- [19] A. Serafini, M. Riggio, and C. Gonzalez-Longo, "A database model for the analysis and assessment of historic timber roof structures", *International Wood Products Journal*, vol. 8, no. sup1, pp. 3–8, Aug. 2017.
- [20] M. Abels, "Assessment Matrix for Timber Structures Basis for Standardized Building Checks", 2011.
- [21] M. Abels, "Begutachtung einer Kirchendachkonstruktion mit der Beurteilungsmatrix für Holzkonstruktionen", pp. 23–31, 2012.
- [22] A. Meisel, *Historische Dachwerke Beurteilung, realitätsnahe statische Analyse und Instandsetzung*, Monographi. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 2015.
- [23] M. Ghyka, *The Geometry of art and life*. New York, United States of America: Dover Publications Inc., 1977.
- [24] M. Ghyka, *The Golden ratio. Pythagorean rites and rhythms in the development of Western civilization*. Bucarest: Nemira Publishing House, 2016.
- [25] M. Cohen, "Introduction: Two Kinds of Proportion", *Architectural Histories*, vol. 2(1), no. 21, pp. 1–25, Jun. 2014.
- [26] W. Lethaby, *Architecture Mysticism and Myth*. London, Percival & Co., 1892.
- [27] R. D. Brites, L. Neves, J. Saporiti Machado, P. B. Lourenço, and H. S. Sousa, "Reliability analysis of a timber truss system subjected to decay", *Engineering Structures*, vol. 46, pp. 184–192, 2013.
- [28] B. Faggiano, M. R. Grippa, A. Marzo, and F. M. Mazzolani, "Mechanical identification by NDT of old chestnut structural timber", *Proceedings of the 1st International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09*, pp. 295–300, 2009.
- [29] H. S. Sousa, J. M. Branco, and P. B. Lourenço, "Characterization of cross-sections from old chestnut beams weakened by decay", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 8, no. 3, pp. 436–451, 2014.
- [30] H. S. Sousa, J. D. Sørensen, P. H. Kirkegaard, J. M. Branco, and P. B. Lourenço, "On the use of NDT data for reliability-based assessment of existing timber structures", *Engineering Structures*, vol. 56, pp. 298–311, 2013.
- [31] G. De Matteis, F. Campitiello, B. Calderoni, and C. Giubileo, "Identification of the mechanical properties of ancient soft timber by means of non-destructive tests", in *Proceedings of the 1st International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09*, 2009, pp. 287–293.
- [32] M. R. Migliore and F. Ramundo, "Combined non-destructive tests method for the diagnosis of existing wooden structures", *Proceedings of the 1st International Conference on Protection of Historical Buildings, PROHITECH 09*, pp. 869–874, 2009.
- [33] M. Riggio, R. W. Anthony, F. Augelli, B. Kasal, T. Lechner, W. Muller, and T. Tannert, "In situ assessment of structural timber using non-destructive techniques", *Materials and Structures*, vol. 47, no. 5, pp. 749–766, 2014.
- [34] C. Calderoni, G. De Matteis, C. Giubileo, and F. M. Mazzolani, "Experimental correlations between destructive and non-destructive tests on ancient timber elements", *Engineering Structures*, vol. 32, no. 2, pp. 442–448, 2010.
- [35] J. Sandak, A. Sandak, and M. Riggio, "Multivariate analysis of multi-sensor data for assessment of timber structures: Principles and applications", *Construction and*

- Building Materials*, vol. 101, pp. 1172–1180, Dec. 2015.
- [36] S. Franke and B. Franke, "X-Ray technology for the assessment of existing timber structures", p. 538, 2013.
- [37] A. O. Feio and J. S. Machado, "In-situ assessment of timber structural members: Combining information from visual strength grading and NDT/SDT methods – A review", *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 1157–1165, 2015.
- [38] J. M. Branco, "Influence of the joints stiffness in the monotonic and cyclic behaviour of traditional timber trusses. Assessment of the efficacy of different strengthening techniques", University of Minho and University of Trento, 2008.
- [39] T. U. Graz, "Mechanic behavior of timber-timber joints of historic and modern timber structures", Graz, 2014.
- [40] B. Heimeshoff and N. Kohler, "Assessment of the structural behaviour of timber joints (in german)", Munchen, 1989.
- [41] E. Poletti, G. Vasconcelos, J. M. Branco, and A. M. Koukouviki, "Performance evaluation of traditional timber joints under cyclic loading and their influence on the seismic response of timber frame structures", *Construction and Building Materials*, vol. 127, pp. 321–334, 2016.
- [42] J. M. Branco, P. Cruz, M. Piazza, and H. Varum, "Modelling of timber joints in traditional structures", *International Workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures*, no. May 2015, 2006.
- [43] A. O. Feio, P. B. Lourenço, and J. S. Machado, "Testing and modeling of a traditional timber mortise and tenon joint", *Materials and Structures*, vol. 47, no. 1, pp. 213–225, 2014.
- [44] M. Del Senno and M. Piazza, "Behaviour and rehabilitation of queen post timber trusses: A case study", *Transactions on the Built Environment*, vol. 66, pp. 803–814, 2003.
- [45] J. M. Branco, P. Cruz, M. Piazza, and H. Varum, "Behaviour of traditional portuguese timber roof structures", in *Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering 2006, WCTE 2006*, 2006, vol. 2, pp. 1588–1595.
- [46] J. M. Branco, P. Cruz, and M. Piazza, "Diagnosis and analysis of two king-post trusses", in *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2008*, 2008, vol. 1, pp. 459–467.
- [47] J. M. Branco, M. Piazza, and P. Cruz, "Structural analysis of two King-post timber trusses: Non-destructive evaluation and load-carrying tests", *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 3, pp. 371–383, Mar. 2010.
- [48] J. M. Branco, H. Varum, V. Ramisote, and A. Costa, "Load-carrying capacity test of a long-span timber truss", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, vol. 169, no. 5, pp. 373–387, May 2016.
- [49] J. M. Branco, P. Cruz, M. Piazza, and H. Varum, "Field tests of a timber queen-post truss and numerical analysis", in *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2008*, 2008, pp. 507–514.
- [50] P. B. Lourenço, H. S. Sousa, R. D. Brites, and L. Neves, "In situ measured cross section geometry of old timber structures and its influence on structural safety", *Materials and Structures*, vol. 46, no. 7, pp. 1193–1208, Jul. 2013.
- [51] D. Cibecchini, N. Bjorngrim, H. S. Sousa, M. Jorge, and J. M. Branco, "Repairing of a timber truss through two different techniques using timber elements and screwed metal plates", in *Proceedings of the 2nd International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Region, HEaRT 2015*, 2015, pp. 371–381.
- [52] J. M. Branco, H. S. Sousa, and E. Tsakanika, "Non-destructive assessment, full-scale load-carrying tests and local interventions on two historic timber collar roof trusses", *Engineering Structures*, vol. 140, pp. 209–224, Jun. 2017.
- [53] H. S. Sousa and L. Neves, "Reliability-based design of interventions in deteriorated

- timber structures", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 12, no. 4, pp. 507–515, May 2018.
- [54] P. Munafò, F. Stazi, C. Tassi, and F. Davì, "Experimentation on historic timber trusses to identify repair techniques compliant with the original structural-constructive conception", *Construction and Building Materials*, vol. 87, pp. 54–66, 2015.
- [55] M. A. Parisi, C. Chesi, C. Tardini, and M. Piazza, "Seismic vulnerability and preservation of timber roof structures", in *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2008*, 2008, pp. 1253–1260.
- [56] M. A. Parisi and C. Chesi, "Seismic vulnerability of traditional buildings: the effect of roof-masonry walls interaction", in *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering*, 2014.
- [57] M. A. Parisi, C. Chesi, and C. Tardini, "The role of timber roof structures in the seismic response of traditional buildings", in *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, WCEE 2012*, 2012.
- [58] M. A. Parisi, C. Tardini, and E. Maritato, "Seismic behaviour and vulnerability of church roof structures", in *Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2016*, 2016, pp. 1582–1589.
- [59] L. Giresini, M. Fragiaco, and M. Sassu, "Rocking analysis of masonry walls interacting with roofs", *Engineering Structures*, vol. 116, pp. 107–120, 2016.
- [60] P. Touliatos, "Traditional aseismic techniques in Greece", in *Proceedings of the Interantional Workshop Les systèmes nationaux faces aux seismes majeurs*, 1993, pp. 110–124.
- [61] P. Touliatos, "The box framed entity and function of the structures: the importance of wood's role", in *Conservation of historic wooden structures: proceedings of the international conference*, 2005, pp. 52–64.
- [62] S. Tonna and C. Chesi, "Wood reinforced masonry in poor construction traditions", in *Proceedings of the 3th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, SHATIS'15*, 2015.
- [63] R. Fonti, A. Borri, R. Barthel, M. Candela, and A. Formisano, "Rubble masonry response under cyclic actions: experimental tests and theoretical models", *International Journal of Masonry Research and Innovation*, vol. 2, no. 1, pp. 30–60, 2017.
- [64] Nemetschek, *SCIA Engineer User Manual*. 2013.
- [65] B. Wallner, J. Ortner, S. Gregor, T. Bogensperger, A. Meisel, M. Augustin, and G. Schickhofer, "Timber-Timber joints (in german)", Graz, 2014.
- [66] M. Opris, *Timisoara: small urban monography (in Romanian)*. Bucarest: Editura Tehnica, 1987.
- [67] M. Opris, *Timișoara: Urban monograph, vol. I, recent discoveries which changed the urban history of Timisoara (in Romanian)*. Timisoara, Romania: Brumar, 2007.