

VULNERABILITATEA CENTRELOR ISTORICE LA SEISM
SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF HISTORICAL URBAN CENTERS

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

autor arh. Iasmina APOSTOL

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

luna iulie anul 2020

Teza de doctorat intitulata ”Vulnerabilitatea centrelor istorice la seism” tratează subiectul vulnerabilității fondului construit istoric în fața hazardelor naturale, aducând soluții de evaluare rapidă și propuneri pentru reducerea riscului seismic.

De ce acest subiect? Hazardele reprezintă un factor permanent de risc, în funcție de aria geografică. Pentru comunitățile aflate în zone seismice, cutremurile reprezintă un pericol real și dificil de prezis. Patrimoniul, atât cel tangibil cât și cel intangibil reprezintă baza identității ca și comunitate și de asemenea, reprezintă bagajul cultural pentru generațiile viitoare. Astfel, acesta trebuie protejat pentru a asigura autenticitatea și spiritul locului, reprezentând un subiect de interes la ora actuală, dezbatut pe scară largă în cadrul revistelor de specialitate și congreselor internaționale.

Prin ce se remarcă prezenta teză? Cercetarea a fost desfășurată pe parcursul a 5 cinci ani, realizându-se investigații *in situ* în peste 100 de clădiri cu valoare de patrimoniu, respectiv relevări complete și analize neliniare de tip pushover pentru 25 dintre acestea. Combină metodologii diferite validate la nivel european pentru a propune o metodologie simplificată de evaluare a vulnerabilității seismice în zona seismică Banat, adaptată pentru cutremurile de suprafață. Mai mult decât atât, impletează armonios domeniul ingineriei civile cu cel al arhitecturii, aducând în prim plan pentru prima dată componenta culturală în cadrul politilor de reducere a riscului seismic. Nu îl ultimul rand, teza furnizează informații prețioase privind modul specific de cedare al tipologiilor de clădiri istorice din Timișoara și deschide direcții viitoare de cercetare de mare interes, toate informațiile fiind diseminatе în cadrul multiplelor lucrări științifice și participări la conferințe internaționale.

Teza este structurată în 6 capitole, de la general la particular și vine însotită de 3 anexe. Capitolele se referă la o introducere în subiectul tezei, la o prezentare a metodologii de evaluare seismică existente la momentul actual în literatură de specialitate, la analiza multicriterială propriu-zisă a zonei investigate, precum și la impactul valorii culturale asupra vulnerabilității seismice. În cadrul capitolului cinci, se extrapolează rezultatele obținute pentru a se determina tipul și modul de cedare specific clădirilor din zidarie din zona seismică Banat, urmând ca la finalul tezei să fie prezentate concluziile generale, precum și contribuțiile personale și direcțiile viitoare de cercetare.

In cadrul primului capitol, se realizează o introducere în problematica tezei. Zona aleasă pentru cercetare cuprinde 105 clădiri istorice din cartierele Iosefin și Fabric din Timișoara. Metodologiile utilizate sunt folosite pe scară largă la nivel european, însă nu sunt particularizate pentru cutremurile de suprafață. Astfel, teza adaptează o metodologie existentă la particularitățile zonei seismice Banat prin intermediul analizei neliniare realizată pe 25 de clădiri, respectiv prin compararea cu avariile observate în trecut după cutremurul din Banloc. Mai mult decât atât, metodologia de evaluare tine cont și de valoarea culturală a clădirilor. De

ce acest lucru? Deoarece in cazul in care exista de exemplu fonduri pentru reabilitarea unui numar de 50 de cladiri, metodologia propusa ajuta la crearea unei liste de prioritizare astfel incat sa se asigure integritatea cladirilor cu valoare de patrimoniu in primul rand, in functie de nivelul actual de conservare. De fapt, aceasta metodologie reprezinta unul dintre pilonii necesari pentru o politica integrata de conservare.

Ca si obiective principale, teza isi propune sa vina cu o metodologie simplificata care tine cont si de valoarea culturala si care poate fi aplicata cu usurinta la nivel urban, sa defineasca scenariile seismice si curbele de vulnerabilitate specifice pentru Timisoara, sa evaluateze posibilele pierderi, precum si sa sintetizeze rezultate obtinute prin analiza mecanica definind curbele de capacitate si fragilitate specifice cladirilor din zidarie din Timisoara.

In cadrul celui de al doilea capitol, se realizeaza un state-of-the art, evidentiind faptul ca metodologiile existente pot fi clasificate ca fiind empirice, mecanice sau hibride. Toate metodologiile au ca scop evaluarea nivelului probabil de avariere, conform clasificarii furnizate de catre ilustrata in Fig. 1 [1].

Classification of damage to masonry buildings	
	Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
	Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
	Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the root of line, failure of individual non- structural elements (partitions, gable walls).
	Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls, partial structural failure of roofs and floors.
	Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Total or near total collapse.

Figure 1. Damage distribution for masonry buildings [1]

Cele empirice se bazeaza pe o evaluare vizuala pentru a genera un scor de vulnerabilitate, fara a fi necesare multe date de cunoastere, si se preteaza pentru un studiu preliminar rapid la nivel urban. Dintre metodologiile empirice, cele mai des utilizate sunt "matricea avarierii probabile" [2], "metoda indicelui de vulnerabilitate" [3],[4], respectiv "metoda curbelor continue de vulnerabilitate" [5].

Cele mecanice sunt mai precise, au nevoie de un relevu complet si un software de analiza neliniara, Tremuri in cazul nostru. Ofera informatii detaliate despre modul de cedare, insa se preteaza la grupuri mici de cladiri. Dintre cele mai cunoscute, se remarcă "metoda curbelor de vulnerabilitate derivate analitic" [6] utilizate si in cadrul proiectului de cercetare RISK-UE [7], "metoda bazata pe mecanisme de cedare" [8], respectiv "metoda bazata pe spectrul de capacitate" [9] utilizata la scara larga in cadrul proiectului de cercetare HAZUS sau HAZARD US [10].

Pentru a combina avantajele celor doua metode precedente, se pot utiliza metodele hibride, care fac o analiza preliminara cu o procedura empirica, apoi le calibreaza pe baza unei analize mecanice obtinuta asupra unui grup de cladiri restrans si extrapoleaza rezultate pentru a adapta metodologie empirica initiala [11]. Acestea pot fi utilizate pe scara larga si au avantajul

de a fi particularizate pentru zona investigata.

Indiferent de metodologia aleasa, se recomanda completarea datelor obtinute cu date provenite din expertize tehnice. Metodologiile propuse reprezinta o alternativa rapida, atunci cand nu este timp sau nu sunt fonduri pentru asemenea expertize.

Tot in cadrul acestui capitol se discuta si metodologiile de evaluare a vulnerabilitatii culturale, care exista la nivel mondial, insa care se concentreaza asupra posibilitatii pierderii fizice a unor elemente arhitectural-artistice, in functie de atingerea unor anumite stari limita (Fig. 2) [12]. Dintre proiectele de cercetare care au ca scop evaluarea vulnerabilitatii culturale, se remarcă proiectele europene PERPETUATE [13] sau NIKER [14]. Teza prezenta dezvolta aceste metdologii astfel incat sa fie considerate si aspecte precum valoarea de patrimoniu, urbanistica, cultural sau social-economica, in concordanta cu principiile Icomos si Iscarsh. Acest aspect este important pentru asigurarea unor politici urbane de constientizare, preventie, raspuns si revenire in caz de seism.

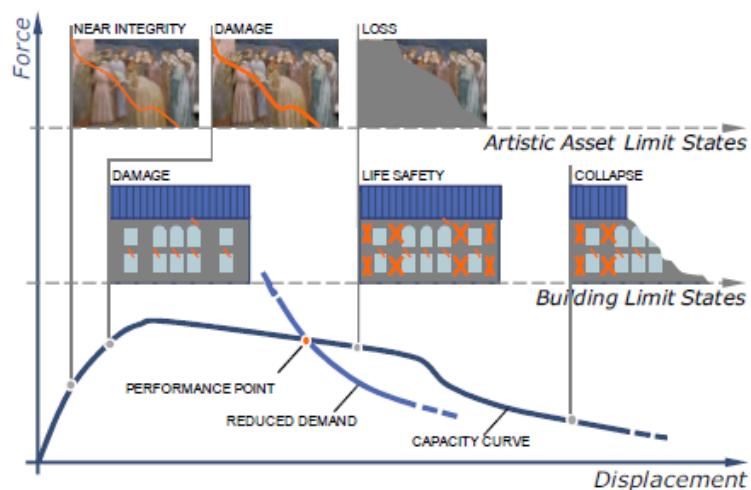


Figure 2. Nivele de performanta si stari limita specifice pentru avarierea elementelor arhitectural artistice conform proiectului de cercetare PERPETUATE [12]

Pentru reducerea riscului seismic, trebuie identificate si tratate aspecte precum nivelul de expunere, vulnerabilitatea, respectiv hazardul. Hazardul este cel mai dificil de prezis sau de influentiat, insa celelalte doua componente pot fi imbunatatite prin actiunea umana [15].

Capitolul trei reprezinta deja analiza propriu zisa a celor 105 cladiri istorice din zidarie de caramida din Iosefin si Fabric si incepe cu o analiza istorica si urbana. Cele doua cartiere alese au fost initial construite la o distanta de 949 metri de cetatea in stil Vauban din motive strategice, unificandu-se ulterior cu centrul orasului prin constructii care dateaza din perioade mai recente [16].

Prin suprapunerea hartilor cu cele mai importante cladiri istorice, punctele principale de atractie, precum si posibilele spatii pentru organizarea unor evenimente culturale in aer liber, conform proiectului Timisoara Capitala Europeana a Culturii 2021 [17], s-a conturat o promenada cultural-istorica, asa cum se observa in Fig. 3 [18]. Teza de doctorat studiaza exact cladirile care se situeaza de-a lungul acestei promenade, in total 105, dintre care 68 sunt situate in Iosefin si 37 in Fabric (Fig. 4). Cartierul Cetate nu a fost ales pentru cercetare deoarece vulnerabilitatea acestui cartier a fost deja investigata in cadrul unei colaborari cu Universitatea din Padova in perioada 2013-2015 [19].

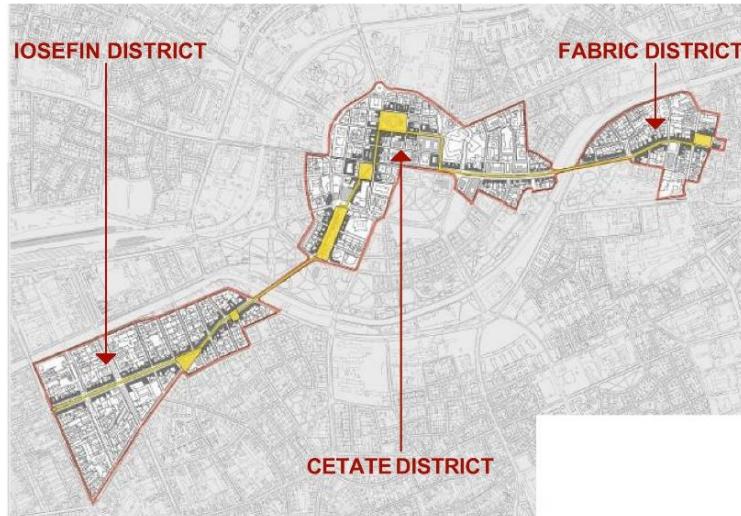


Figure 3. Promenada cultural istorica propusa pentru orasul Timisoara [18]

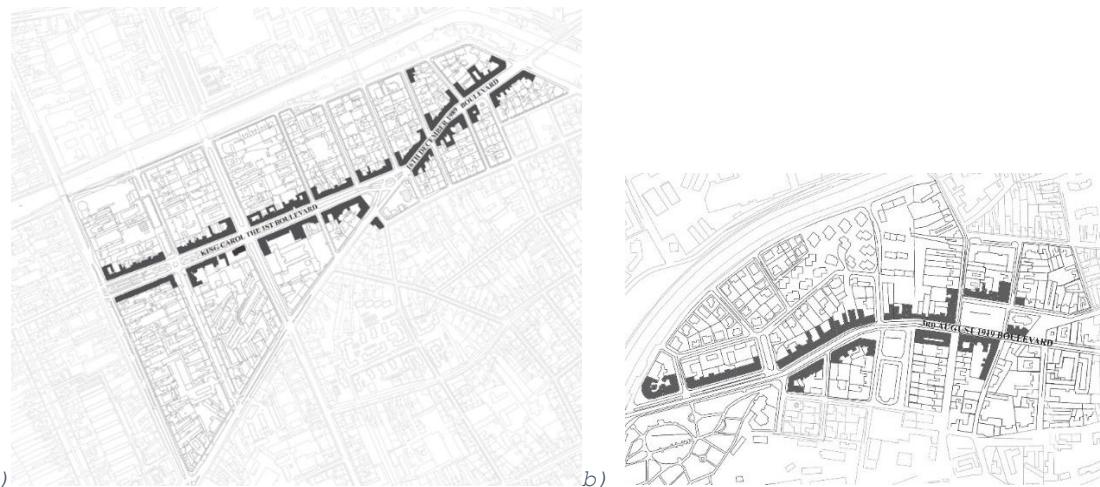


Figure 4. Cladirile investigate: a) Iosefin; b) Fabric

Tipologia de construire se bazeaza pe formarea unor aggregate cu contururi inchise in raport cu strazile si curti interioare [20]. Majoritatea cladirilor din grupul celor investigate in Iosefin au subsol, parter si un etaj, in timp ce in Fabric prezinta subsol, parter si doua etaje. Aproape toate cladirile sunt amplasate in aliniamentul stradal, formand fronturi continue si prezentand spatii comerciale la parter, respectiv spatii rezidentiale sau birouri la etajele superioare [17]. Din pacate, doar 10-15% dintre cladirile investigate au fost restaurate in ultimii ani, marea majoritate prezentand o stare vizila de degradare, aspect ce duce la o crestere a nivelului de vulnerabilitate [21]. In ceea ce priveste analiza socio-economica, s-au identificat 504 de apartamente cu aproximativ 1200 de locuitori in Iosefin si 196 de companii cu 550 de angajati. In Fabric, numarul de apartamente inregistrate a fost de 385 cu 1000 de locuitori, iar numarul de companii de 70 cu aprox 250 de angajati [22]. Aceste date sunt utile si necesare pentru evaluarea posibilelor pierderi in caz de seism.

In cadrul Romaniei, sunt doua zone seismice importante, Vrancea si Banat. Daca in zona Vrancei cutremurile sunt de mai mare adancime, cu magnitudini de pana la 7 grade, in zona Banat acestea sunt de suprafata, cu magnitudini de pana la 5.6 grade, insa cu forte verticale puternice [23]. Pentru Timisoara, acceleratia gravitationala conform codului de proiectare P100 este de 0.20g, iar perioada de colt de 0.7 secunde [24], conturandu-se spectrul seismic pentru zona Banat (Fig. 5) [25]. La nivel local, in partea de vest a orasului se regasesc doua falii seismice active, a caror raza de influenta este de 5-10 km fata de zonele istorice investigate, reprezentand un factor real de risc [18].

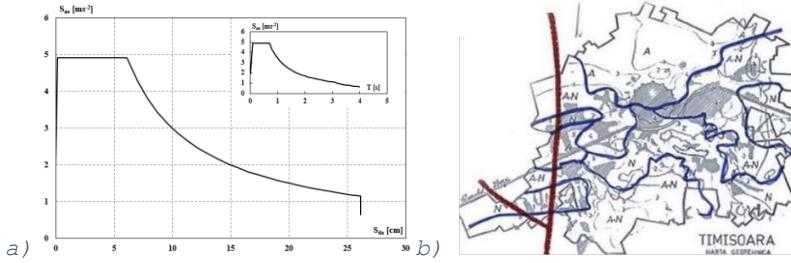


Figure 5. Spectrul seismic pentru zona Banat [25] si cele doua fali seismice prezente in vecinatatea orasului Timisoara [18]

Cel mai puternic cutremur inregistrat in zona Banat a fost cel de la Banloc, din 1991, la aprox 40 km de Timisoara (masurati in linie dreapta). Avariile inregistrate dupa seism s-au datorat in special fortelor taietoare a celor verticale, observandu-se degradari la nivel de arce, buiandruji, atice, cosuri de fum, sarpante [26]. Dat fiind faptul ca a fost un cutremur de suprafata (11 km adancimea focala), fortele verticale au fost comparative cu cele orizontale, la fel ca in cazul cutremurelor din L'aquila [27], Amatrice [28] sau Christchurch [29], ducand la o combinatie de fisuri diagonale si verticale, dupa cum se observa in Fig. 6 [21]. Principalul motiv al aparitie fisurilor verticale este dat de undele de suprafata L si R specifice zonelor din apropierea epicentrelor, care sunt deosebit de periculoase pentru cladirile istorice si nu numai (Fig.6) [30].

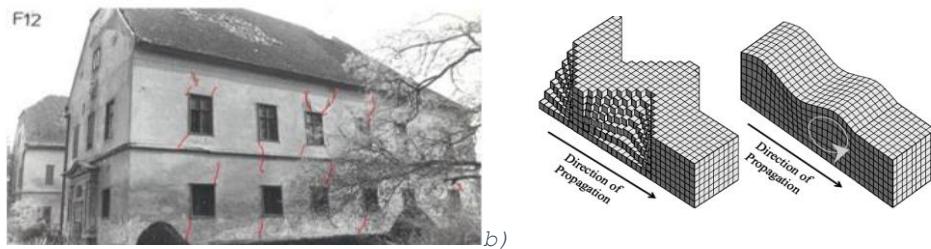


Figure 6. Fisuri identificate in urma cutremurului din Banloc [21], respectiv undele R si L responsabile pentru fisurile verticale [30]

Pe langa fenomenele de cedare in plan descrise anterior, s-au inregistrat si cedari in afara planului in special la partea superioara a fatadelor. In unele cazuri, zone din sarpantele complexe si rigide s-au prabusit in interiorul cladirilor, afectand si plansele si peretii interiori. Pe baza datelor observate in urma cutremurului din Banloc, s-a definit mecanismul de cedare specific cladirilor din zidarie din zona seismică Banat, observandu-se impactul puternic al fortelor verticale si fenomenul de rasturnare la partea superioara a fatadei (Fig. 7) [21]. Comparand avariile inregistrate cu scara de avariere europeana macroseismica, se poate observa ca nivelul de avariere a fost de nivelul D2-D3, simnificand avarii serioase la elemente nestructurale si avarii moderate la cele structurale (Fig. 7).

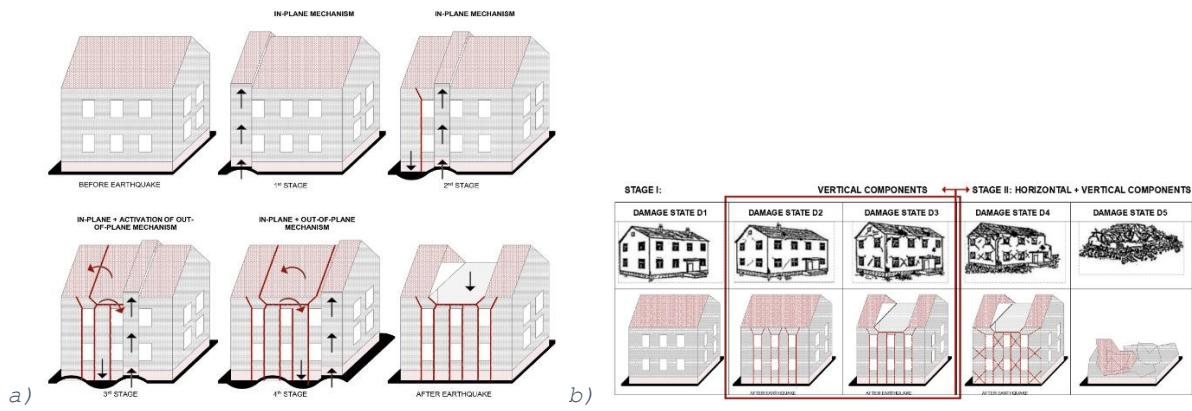


Figure 7. Mecanismul specific de cedare in zona Banloc [21] si comparatie cu scara de avariere

Pentru a putea realiza un scenariu seismic pentru Timisoara, s-a evaluat cea mai probabil intensitate macroseismica, prin intermediul a doua metode. Prima este o metoda simplificata care depinde de acceleratia gravitationala, indicand o posibila intensitate macroseismica 9 [31]. Cea de a doua, este in dependenta de adancimea focala, distanta epicentrala si magnitudine, oferind mai multe posibilitati in functie de locatia epicentrului [32]. Considerand cele doua fali seismice active la 5-10 km de zonele investigate, se contureaza doua scenarii seismice posibile pentru Timisoara, ambele indicand aceeasi intensitate macroseismica cu valoarea 9.

Pentru cele 105 cladiri care fac subiectul analizei empirice, s-au realizat fisce de investigatie (se regasesc in anexele tezei de doctorat) si s-au studiat aspecte precum sistemul constructiv, regularitatea in plan si elevatie, simetria, nivelul de conservare al cladirii, existenta unor valori arhitectural-artistice, pozitia in cadrul ansamblului urban etc. Pentru cele 25 de cladiri considerate reprezentative si investigate in detaliu, s-au realizat relevete complete si o mica incercare experimentală. Toate cladirile sunt realizate din zidarie de caramida si mortar de var, prezinta pereti exteriori masivi cu grosimi de 40 pana la 80 cm la subsol si pereti transversali nestructurali cu grosimi de 10-15 cm. Paralele cu frontul stradal de obicei se mai regaseste un perete median structural. In general peretii transversali nu sunt conectati cu fatada, ducand la un risc ridicat de cedare in afara planului a acesteia din urma. La nivelul subsolului si uneori si al parterului se regasesc bolti din zidarie de caramida cu grosimi de 15-20 cm, in timp ce la restul nivelelor se regasesc plansee din lemn [18]. Sarpanta este de obicei complexa si rigida, realizata dupa influenta germana, avand inaltimei ce pot acomoda inca un nivel. Cu cat cladirea este mai inalta, cu atat sarpanta devine mai importanta [33].

In functie de numarul de nivele, cladirile au fost clasificate in 3 categorii principale: tipul 1 reprezentat de cladiri subsol+parter, tipul 2 cladiri subsol, parter si un etaj si tipul 3 reprezentat de cladiri cu 2 sau mai multe etaje superioare. In Iosefin cel mai intalnit este tipul 2, in timp ce in Fabric cel mai intalnit este tipul 3, intre cladirile investigate [18].

Cu bunavointa proprietarilor, a fost permisa extragerea unor caramizi din interiorul cladirilor investigate, acestea provenind din zona subsolului sau a aticului. Asupra acestora a fost realizata o incercare experimentală cu presa hidraulica si sclerometrul, pentru a li se determina rezistenta la compresiune [34]. Prin compararea rezultatelor obtinute cu Codul romanesc de proiectare si cu alte rezultate ale unor cladirii similare puse la dispozitie de catre prof. Ianca, prof. Stoian, prof. Marin de la Universitatea Politehnica Timisoara, s-au convenit proprietatile mecanice ale zidariei de caramida pentru analiza mecanica, fiind considerata cea mai nefavorabila varianta, asa cum se observa in Tabelul 1 [34].

Table 1. Proprietatile mecanice ale zidariei de caramida

Proprietati mecanice	f_k [N/mm ²]	f_{vk0} [N/mm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	Density [kg/m ³]
Zidarie neconfinata	2.35	0.06	2350	940	1800

Din punct de vedere arhitectural, cladirile in cauza au fost influente de cultura otomana si habsburgica, generand un mix de stiluri precum art nouveau, secesion si baroc. In trecut, cladirile obisnuiau sa reflecte statutul proprietarului, marcandu-se importanta acestora prin inaltime, decoratie, respectiv forma si complexitatea acoperisului [35]. In cadrul tipului 1 de cladiri, decoratia este simpla, de obicei reprezentata de cateva bosaje la coltul cladirii si cornise profilate. Deja in cadrul tipului 2 apare tratarea diferita a regastrelor, respectiv ancadramente si cornise decorate. In cadrul tipului 3, fatadele sunt complexe, prezentand chiar si basoreliefuri, sculpturi, muluri, iar frontoanele decorate reprezinta un element aproape obligatoriu.

In continuare, s-a realizat analiza empirica a celor 105 cladiri, pe baza unei metode simplificate care a fost propusa de catre Benedetti si Petrini [3] si dezvoltata ulterior de catre Mazzolani si Formisano [36]. Acestia din urma au adaugat ultimii 5 parametri, care tin cont si de influenta cladirilor adiacente. Procedura este simplificata, se bazeaza pe alocarea unei clase

de vulnerabilitate pentru fiecare element investigat. Fiecare clasa (de la A la D, A fiind cea mai avantajoasa iar D cea mai vulnerabila) are asociat un punctaj, iar fiecare element are asociat un factor de influenta. La final, se face media ponderata a tuturor elementelor si rezulta indicele de vulnerabilitate al cladirii investigate. Factorii considerati se refera la calitatea materialelor structurale, regularitatea in plan si in elevatie, tipul de fundatie si tipul de sol, complexitatea sarpantei, tipul de plansee, nivelul de conservare, precum si alte detalii care pot influenta vulnerabilitatea, precum balcoane sau frontoane care ar putea ceda in afara planului. In plus, ultimii 5 parametri se refera la diferențele de inaltime fata de cladirile invecinate, pozitia in cadrul agregatului (adica de colt, de capat), prezenta planseelor decalate, omogenitatea structurala fata de cladirile adiacente precum si diferentele de procentajul plin-gol (Eq. 1) [36].

$$I_V = \sum_{i=1}^n s_i \times w_i \quad (1)$$

Pe baza indicelui de vulnerabilitate normalizat (Eq. 2) [21], se poate determina indicele de avariere (Eq. 3) [37], care depinde de intensitatea macroseismica si de un factor distributiv care influenteaza curba de vulnerabilitate, numit factor de ductilitate si considerat in literatura de specialitate ca fiind 2.3 pentru cladiri preponderent rezidentiale. Indicele de avariere indica nivelul probabil de avariere, acesta fiind cuprins intre D1 si D5 in ordinea gravitatii, prima clasa reprezentand avariile minore, ultima clasa reprezentand posibilitatea de colaps (Tabelul 2) [38].

$$V = \frac{I_V - I_{V MIN}}{I_{V MAX} - I_{V MIN}} \quad (2)$$

$$\mu_D = 2.5[1 + \tanh\left(\frac{I+6.25\times V-13.1}{\Phi}\right)] \quad (3)$$

Table 2. Corelarea intre indicele de avariere si nivelul probabil de avariere [38]

μ_D	Damage state	Most probable degradation level
0.0-1.5	D1	Slight (no structural damage, slight non-structural damage)
1.5-2.5	D2	Moderate (slight structural damage, moderate non-structural damage)
2.5-3.5	D3	Substantial to heavy (moderate structural damage, heavy non-structural damage)
3.5-4.5	D4	Very heavy (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)
4.5-5.0	D5	Destruction (very heavy structural damage)

Aceasta metodologie, in forma nealterata, a fost aplicata asupra celor 105 cladiri din Iosefin si Fabric, considerandu-se intensitatea macroseismica 9. S-au realizat 2 investigatii, atat pentru cladiri considerate ca structuri izolate (adica analizandu-se doar primii 10 parametri), cat si pentru structuri considerate in agregat, analizandu-se toti cei 15 parametri. Curbele de vulnerabilitate trasate pentru primii 10 parametri pentru fiecare cladire au indicat un nivel probabil de avariere D1, la fel ca si palierul mediu de avariere. Pentru toti cei 15 parametri situatie ramane neschimbata, pastrandu-se nivelul mediu de avariere D1, adica foarte usor (Fig. 8). Realizandu-se hartile de vulnerabilitate, se poate observa ca o singura cladire prezinta risc de avariere usoara (Fig. 9).

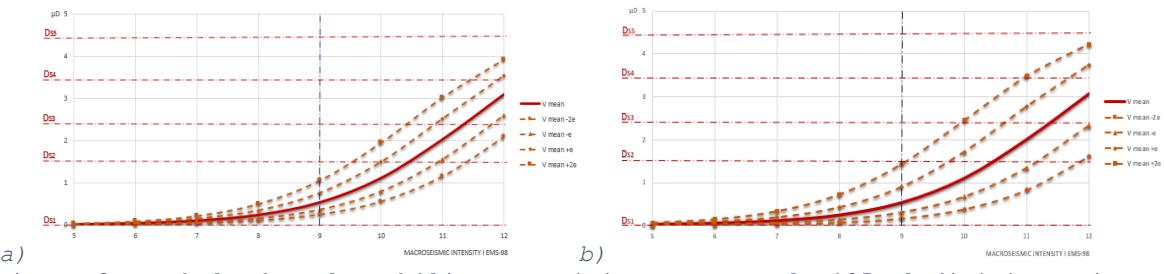


Figure 8. Curbele de vulnerabilitate empirice pentru cele 105 cladiri investigate:
a) pentru primii 10 parametri; b) pentru toti cei 15 parametri



Figure 9. Hartile de vulnerabilitate empirica pentru: a) Iosefin; b) Fabric

Analizand aceste rezultate, s-ar putea concluziona ca o intensitate macroseismica 9 nu este periculoasa pentru Timisoara, aspect in contradictie cu descrierea in sine a acestei intensitati, care prevede ca provoaca avariile semnificative si este resimtita intens. De asemenea, avariile inregistrate la Banloc contrazic rezultatele anterioare, facand necesara investigarea in detaliu si calibrarea metodologiei empirice. In acest sens, se contureaza necesitatea trasarii unor curbe de capacitate, care sa descrie punctul de performanta al cladirii si sa permita compararea capacitatii structurii cu solicitarea la seism.

Analiza mecanica a fost realizata cu programul Tremuri [39], asupra 25 de cladiri considerate ca fiind reprezentative. Tremuri discretizeaza structura in macro elemente (montanti si rgle de cuplare) legate prin noduri rigide. In urma analizei neliniare de tip pushover s-a observat ca aproximativ 40% dintre macro-elemente sufera avariile din forfecare, incovoiere sau intindere. Desi nu se observa posibilitatea pierderii capacitatii portante, totusi se poate estima un nivel general de avariere D2-D3, in unele cazuri izolate chiar D4 (Fig. 10).

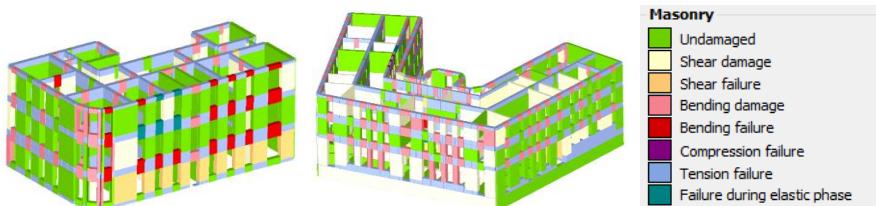


Figure 10. Rezultatele analizei neliniare asupra unora dintre cladiri

Ducand mai departe analiza neliniara, au fost investigate fortele taietoare la baza, respectiv deplasarea limita ultima pentru doua starea limita de serviciu si starea limita ultima. Pe baza acestor valori s-a putut determina indicele de vulnerabilitate mecanica, ca fiind raportul dintre deplasarea laterală ultima (capabila) a structurii si deplasarea laterală impusă structurii de cutremur la varful constructiei (Eq. 4) [40].

$$V_{MEC} = \frac{\Delta_y}{\Delta_u} \quad (4)$$

Aplicand formula, s-a observat ca indicele mediu de vulnerabilitate mecanica este relativ similar pentru cele 3 tipuri de cladiri, fiind cuprins intre 0.32 si 0.34 (valoarea maxima posibila fiind 1). Aplicand aceeasi metodologie de determinare a nivelului probabil de avariere descris anterior, s-au trasat curbele de vulnerabilitate mecanice, indicand si in acest caz un nivel minim de avariere D1-D2, in contradictie cu ceea ce se poate observa studiind direct rezultate analizei neliniare. Pentru a face o verificare privind corectitudinea nivelor de avariere, s-a aplicat inca o metoda, cea a deplasarii relative intre nivele (Eq. 5). Pe baza valorii deplasarii, se poate aprecia nivelul probabil de avariere (Table 3) [41].

$$I_D = \frac{\Delta_{u,n} - \Delta_{u,n-1}}{h} \times 100 \quad (5)$$

Table 3. Nivelul de avariere in functie de deplasarea relativa intre nivele [41]

URM	Damage state D2	Damage state D3	Damage state D4	Damage state D5
	ID < 0.1%	0.1% < ID < 0.3%	0.3% < ID < 0.6%	0.6% < ID

Aplicand aceasta metoda, s-a observat ca tipul I de cladiri are un nivel probabil de avariere mediu D2, tipul 2 D3, in timp ce tipul 3 are un nivel mediu probabil de avariere D3-D4. Aceste nivele sunt in concordanta cu analiza neliniara, scara de intensitate macroseismica, respectiv avariile observate in urma cutremurului din Banloc si sustine faptul ca metoda de evaluare a nivelului probabil de avariere nu este adaptata pentru cutremure de suprafata. Astfel, formula pentru estimarea nivelului de avariere necesita adaptare.

Scopul adaptarii este acela de a creste nivelul probabil de avariere cu cel putin un nivel, astfel incat pentru intensitatea macroseismica 9, acesta sa fie D2-D3 pentru cladirile investigate. Pentru acest lucru s-a modificat un singur parametru din formula de baza, cel care influenteaza distributia curbei, parametru care si in literatura de specialitate se obisnuieste a fi modificat in functie de conditiile locale si particularitatile zonei. Pe baza multiplelor studii, s-a concluzionat ca parametrul trebuie modificat de la valoarea 6.25 la valoarea 12.5 (Eq. 6).

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I+12.50 \times V - 13.1}{\Phi} \right) \right] \quad (6)$$

Considerand acest nou parametru, s-au refacut curbele mecanice de vulnerabilitate, indicand de aceasta data un nivel mediu de avariere D2 pentru tipul 1 de cladiri, respectiv D3 pentru celelalte 2 tipuri (Fig. 11). Aceste noi rezultate fiind in concordanta cu observatiile anterioare, s-a trecut la aplicarea metodologiei adaptate asupra intregului ansamblu de 105 cladiri investigate.

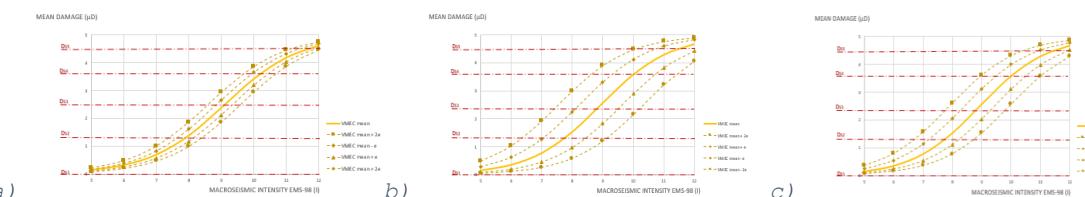


Figure 11. Curbele medii de vulnerabilitate mecanice dupa metodologia adaptata: a) pentru tipul I de cladiri; b) pentru tipul II; c) pentru tipul III

In prima etapa, s-au refacut curbele de vulnerabilitate empirice pentru cladiri considerate ca fiind structuri izolate, indicand nivelul mediu de avariere D2 pentru toate cele 3 tipuri de cladiri. In cea de a doua etapa, s-au refacut curbele de vulnerabilitate empirice pentru cladiri considerate in agregat, nivelul mediu de vulnerabilitate crescand pana la D3 pentru tipul 3 de cladiri. In ceea ce priveste distributia avarierii, se poate observa ca nivelul de avariere este mai ridicat in zona Fabric, insa nici o cladire nu prezinta risc de colaps (Fig. 12).



Figure 12. Hartile de vulnerabilitate dupa metodologia adaptata: a) pentru zona Iosefin; b) pentru zona Fabric

Pentru o analiza detaliata a rezultatelor, s-au comparat curbele de vulnerabilitate empirice cu cele mecanice si s-a observat ca exista o buna corelare in special intre curbele de vulnerabilitate mecanice si cele empirice pentru toti cei 15 parametri (Fig. 13). Noile rezultate sunt in concordanta si cu metoda interstorey driftului, respectiv cu avariile observate in urma cutremurului de la Banloc. Totusi, metoda empirica ce considera doar primii 10 parametri tinde sa subestimeze nivelul de avariere uneori chiar si cu o clasa, indicand necesitatea considerarii influentei cladirilor invecinate.

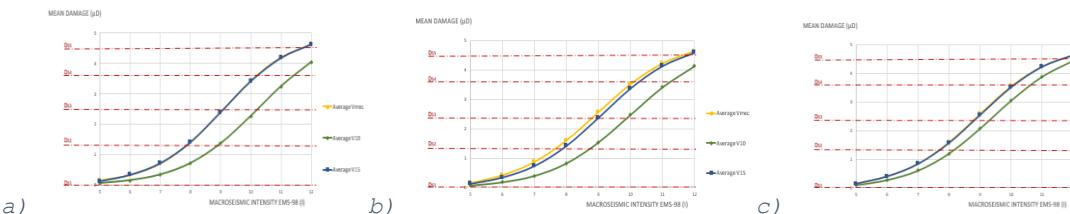


Figure 13. Comparatie intre curbele medii de vulnerabilitate dupa metodologia adaptata: a) pentru tipul I de cladiri; b) pentru tipul II; c) pentru tipul III

Capitolul patru reprezinta corelarea domeniului ingineriei civile cu cel al arhitecturii. Dupa adaptarea metodologiei pentru zona seismica Banat, s-a dorit adaptarea acesteia astfel incat sa fie luata in considerare si componenta culturala. In acest sens, s-a decis considerarea a patru piloni importanti in evaluarea vulnerabilitatii, acestia fiind integritatea structurala, valoarea arhitecturala, valoarea urbanistica sau simbolica, precum si valoarea social-economica. Ca valori arhitectural-artistice, se pot considera toate elementele discutate anterior in cadrul capitolului precedent, precum tamplarii si tencuieli originale, statuete, basoreliefuri, muluri, picturi, pardoseli etc. Ca valori urbanistice, se pot considera relatia cu mediul urban sau natural, importanta locatiei in cadrul orasului, apartenenta un sit omogen, simbolistica, importanta pentru conturarea siluetei urban sau a profilului stradal, precum si alte particularitati [42]. Pentru componenta social-economica, se poate considera asocierea cladirii cu anumite momente istorice sau personalitati marcante, importanta acesteia in cadrul memoriei comunitare, posibila relatie cu patrimoniul intangibil, respectiv tipul de functiuni si valoarea economica prorpiu-zisa a cladirii. In final, urmarind si recomandarile codului metodologic pentru clasificarea monumentelor istorice [43], literatura de specialitate si observatiile personale, s-a ajuns la considerarea unui numar total de 42 de parametri, impartiti in cele 4 categorii principale amintite anterior (Table 4).

Table 4. Metodologia propusa de evaluare a vulnerabilitatii culturale

%	Criteria	No.	Element	Class				Weight
				A	B	C	D	
70%	STRUCTURAL	1	Vertical structure organisation	0	5	20	45	1.00
		2	Vertical structure nature	0	5	25	45	0.25
		3	Type of foundation and location/soil	0	5	25	45	0.75
		4	Distribution of structural elements in plan	0	5	25	45	1.50
		5	Regularity in plan	0	5	25	45	0.50
		6	Regularity in elevation	0	5	25	45	1.00
		7	Floor type	0	5	15	45	0.75
		8	Roofing	0	15	25	45	0.75
		9	Other details	0	0	25	45	0.25
		10	Conservation state	0	5	25	45	1.00
		11	Different height between current and adjacent buildings	-20	0	15	45	1.00
		12	Location of the building into the aggregate	-45	-25	-15	0	1.50
		13	Staggered floors	0	15	25	45	0.50
		14	Structural or typological heterogeneity	-15	-10	0	45	1.20
		15	Opening area percentage difference	-20	0	25	45	1.00
								IV STRUCT
15%	ARCHITECTURAL ARTISTIC	16	Representative architectural style for the area	0	10	15	25	1.50
		17	Age, importance of the build époque	0	10	15	25	1.20

		18	Original woodwork/joinery	0	10	15	25	1.00
		19	Original stucco, brick, floors or ceilings	0	10	15	25	1.00
		20	Original statues or bass-reliefs	0	10	15	25	1.00
		21	Original gable/fronton	0	10	15	25	1.00
		22	Original balconies and railings	0	10	15	25	1.00
		23	Original mosaics or stone work	0	10	15	25	1.00
		24	Original paintings or frescoes	0	10	15	25	1.00
		25	Conservation state of artistic assets	-5	10	15	25	1.00
		26	Authenticity/ originality (global, elements)	0	10	15	25	1.00
		27	Official monument (national, regional, local, protected area) status	0	10	15	25	1.50
		28	Particular construction techniques/materials	0	10	15	25	0.50
		29	Conservation state of original materials	-5	10	15	25	0.50
		30	Representative historical events	0	10	15	25	0.50
		31	Archaeological site	0	10	15	25	1.50
		32	Representative/ original wooden framework	0	10	15	25	1.00
		33	Past restoration work	-5	10	15	25	1.00
								I _{V ARCH-ART}
10%	URBANISTIC	34	Importance in contouring the street profile	-5	10	15	25	1.50
		35	Importance in contouring the urban silhouette	-5	10	15	25	1.50
		36	Annexes, relation with the urban pattern	0	10	15	25	1.00
		37	Location (central area, touristic area)	0	10	15	25	1.50
		38	Representative/particular shape of the roof	0	10	15	25	1.00
								I _{V URB}
5 %	SOCIAL ECONOMIC	39	Public/social functions	0	10	15	25	1.50
		40	Importance for the local community memory	-5	10	15	25	1.00
		41	Economic value	0	10	15	25	1.50
		42	Cultural functions	0	10	15	25	1.50
								I _{V SOC-EC}
								I _{V CULT}

Indicele de vulnerabilitate se determină pe baza aceluiasi principiu al metodologiei empirice, prin media ponderata (Eq. 7). Categoria structurala ramane in continuare cea mai importanta, intr-ucat capacitatea portanta a cladirii este considerata ca fiind prioritara in demersul de prioritizare a interventiilor.

$$I_{V CULT} = 0.70 \times \sum_{i=1}^{15} s_i \times w_i + 0.15 \times \sum_{i=16}^{33} s_i \times w_i + 0.10 \times \sum_{i=34}^{38} s_i \times w_i + 0.05 \times \sum_{i=39}^{42} s_i \times w_i \quad (7)$$

Totusi, dupa obtinerea acestui indice de vulnerabilitate, este necesara o atenuare care sa tina cont de importanta sitului studiat. In acest scop, factorul de atenuare se determina ca o medie aritmetica ce tine cont de varsta sitului investigat, populatie, importanta turistica, recunoasterea la nivel mondial, precum si starea generala de conservare (Table 5).

Table 5. Metodologia de atenuare a indicelui de vulnerabilitate cultural

Parameter	Options	Points (p _i)
1	Ancient period (before year 500)	0.30
	Classical period (500 – 1500)	0.25
	Modern period (1500 - 1945)	0.22
	Contemporary period (1945- present)	0.20
2	Very high populated (> 1 million inhabitants)	0.30
	High populated (< 1 million inhabitants)	0.25
	Moderate populated (< 300000 inhabitants)	0.22
	Low populated (< 100000 inhabitants)	0.20
3	Very touristic city	0.25
	Touristic city	0.23
	Little touristic city	0.22
	Not a touristic city	0.20
4	UNESCO site	0.35
	Continental importance	0.30

		National importance	0.25
		Regional importance	0.20
5	Conservation state	Poor	0.30
		Moderate	0.25
		Good	0.23
		Very good	0.20
		A _F	

Indicele de vulnerabilitate obtinut se normalizeaza la randul sau in intervalul 0-1, astfel incat sa permita o comparatie 1 la 1 cu metodele empirice si mecanica. Asupra acestui indice normalizat se aplica aceeasi formula de evaluare a nivelului de avariere adaptata pentru zona seismica Banat. Astfel, pentru toate tipurile de cladiri nivelul de avariere probabil creste o data cu considerarea valorii culturale, insa mai putin pentru tipul 1 si considerabil pentru tipul 3. Cresterea este direct proportionala cu nivelul de decoratie existenta in cadrul cladirilor, respectiv cu importanta acestora la nivel urban si social. Noile nivele medii de avariere sunt D3-D4, asa cum se observa in Figura 14a. Realizand o comparatie intre curbele de vulnerabilitate empirice si curbele culturale, se observa faptul ca pentru tipul 1 de cladiri cresterea vulnerabilitatii este de doar 6%, in timp ce pentru tipul 3, este de 16% (Fig. 14b).

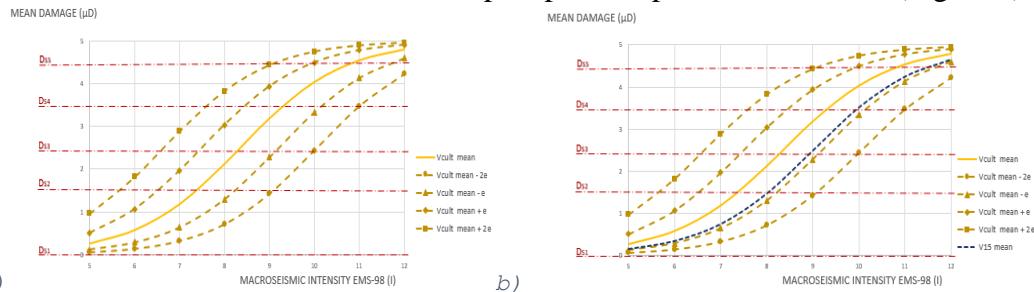


Figure 14. Curba medie de vulnerabilitate culturala pentru toate cele 105 cladiri si comparatia cu curba medie de vulnerabilitate empirica

Daca nivele de avariere au fost definite si adaptate atat zonei seismice Banat, cat si componente culturale, urmatorul pas il reprezinta realizarea scenariilor de pierderi. Rolul acestora este de a putea realiza o analiza cost-beneficiu intre ce ar inseamna masurile de preventie in raport cu cele de recuperare. Astfel, s-a urmarit identificarea posibilelor pierderi in termeni de cladiri sau avari fizice, vieti omenesti, pierderi culturale, respectiv pierderi economice. In acest scop, s-au utilizat formule de evaluare a pierderilor din literatura de specialitate si s-au completat cu formule noi propuse pentru evaluari suplimentare [22]. Pentru pierderile economice, se considera costurile de constructie pe metru patrat asociate fiecarei tari respectiv zone in parte, respectiv produsul intern brut si costurile unei nopti de cazare in regim hotelier pentru situl investigat [44]. Toate aceste formule sunt detaliate in cadrul tezei.

Rezultatele sunt insa foarte importante, deoarece releva o situatie interesanta. In ceea ce priveste numarul de cladiri ce vor necesita lucrari de reparatie, numarul de persoane ce vor necesita relocare pentru o perioada de timp, respectiv numarul de persoane ce isi pot pierde locul de munca sau veniturile, in cadrul cartierului Iosefin acestea sunt mai ridicate. Totusi, in ceea ce priveste pierderile financiare, acestea sunt mai ridicate in cartierul Fabric. De ce se intampla acest fenomen? Deoarece chiar daca sunt mai putine cladiri in Fabric, acestea sunt mult mai degradate si implicit mai vulnerabile, deci vor avea un nivel de avariere mai ridicat. Acest lucru inseamna lucrari de reparatie extinse, perioade mai lungi de relocare pentru locuitori, respectiv perioade mai lungi de inactivitate pentru societatile comerciale (Fig. 15). In consecinta, acest aspect ar trebui considerat de catre autoritatile locale, iar Fabric ar trebui sa aiba prioritate pentru lucrari de reabilitare, in vederea reducerii eventualelor costuri de reconstructie si revenire.

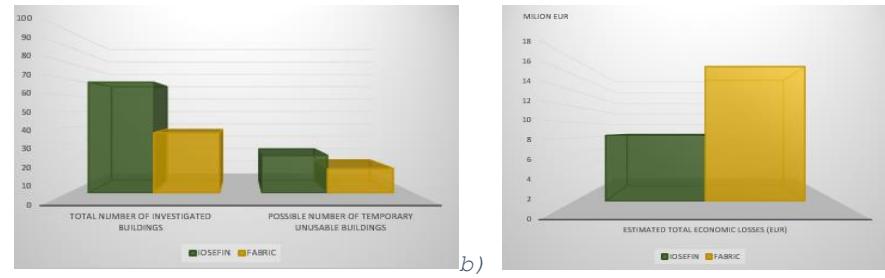


Figure 15. Evaluarea pierderilor pentru scenariul seismic considerat: a) numarul cladirilor ce vor necesita lucrari de reparatii; b) pierderile financiare

Suplimentar, teza propune o metoda de evaluare a pierderilor de ordin arhitectural artistic, deoarece nivelul mediu de avariere este peste D2, acest lucru insemnand avarii extinse la elemente nesturcturale. Se considera ca pot exista trei cazuri: putem avea elementele arh-artistice structurale, precum arce si bolti importante, sarpante valoroase, pereti din zidarie realizati cu o anumita tehnica straveche etc. Sau putem avea elemente artistice nestructurale, insa conectate cu structura, precum o pictura valoroasa pe un perete structural, o pardoseala importanta sau un tavan casetat valoros. Cel de al treilea caz se refera la elementele artistice individuale, precum o balustrada sau o sculptura. Rezultatele (Fig. 16) arata ca in cazul cladirilor din Timisoara, exista un risc de 35 pana la 60% de pierdere irecuperabila a unor componente arh-artistice valoroase.

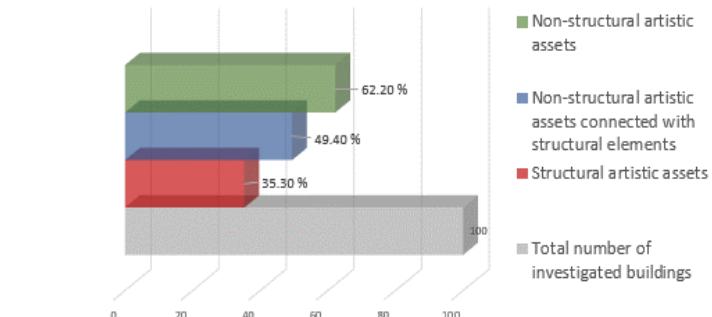


Figure 16. Evaluarea pierderilor arhitectural-artistice

Principalul avantaj al metodologiei extinse este acela de a permite prioritizarea lucrarilor de reabilitare considerand nu doar componenta structurala, ci si pe cea artistica. In cazul cladirilor cu acelasi nivel probabil de avariere, se poate considera si suprafata afectata sau numarul de persoane afectate ca un criteriu suplimentar. Astfel, se asigura conservarea unui numar cat mai mare de cladiri de patrimoniu pentru generatiile viitoare si un numar cat mai mic de persoane afectate in caz de seism.

Extrapoland rezultatele metodologiei propuse, se pot pune bazele unui plan de reducere a riscului seismic pentru orasul Timisoara, care ar trebui sa contine doua etape majore: pre si post eveniment. In etapa de preventie, adica inainte unui cutremur, se recomanda organizarea comisiilor multidisciplinare de evaluare a vulnerabilitatii. Pe baza raportului acestor, se pot realiza liste de prioritizare, planuri de evacuare, expertize tehnice si proiecte de consolidare pentru cladirile considerate ca fiind cele mai vulnerabile, precum si un plan de relocare. In etapa de dupa cutremur, se recomanda evacuarea si relocarea celor afectati, consolidarea si reabilitarea cladirilor afectate, precum si politici economice si sociale pentru revenirea la normalitate [45].

Ca o ultima etapa a analizei la nivel macro, s-au mapat posibilele spatii de evacuare pentru cele doua zone (Fig. 17), acestea fiind reprezentate de spatii libere de constructii unde se pot amplasa tabere de refugiați, respectiv de clădiri publice care pot fi adaptări inchise. Desi la prima vedere pentru ambele cartiere există cel puțin un loc de refugiu la mai puțin de 500 metri de oricare clădire, trebuie considerat faptul că cele mai vulnerabile clădiri s-au

dovedit a fi cele de colt, ceea ce ar putea duce la o blocare a cailor de evacuare. In acest scop, se recomanda studii viitoare detaliate pentru definirea cailor sigure de evacute in cartierele Iosefin si Fabric.

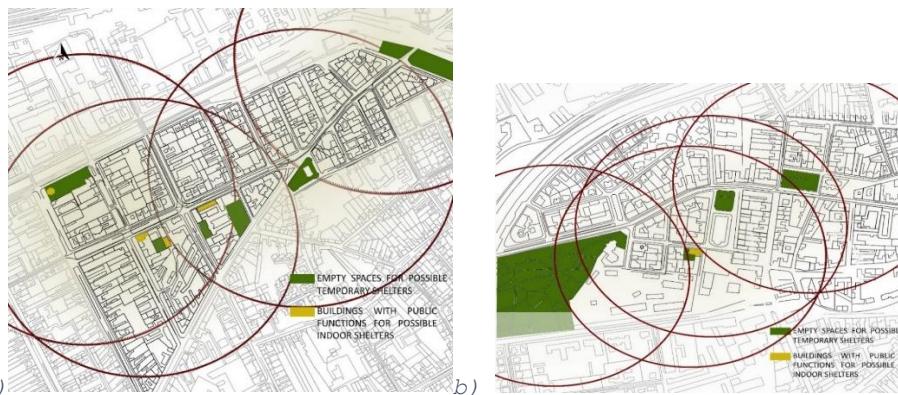


Figure 17. Posibile spatii de evacute in caz de seism: a) Iosefin; b) Fabric

Capitolul cinci fructifica rezultatele analizei neliniare, cu scopul de a identifica tipologii de cedare comune in cadrul celor 25 de cladiri din zidarie. In prima parte a capitolului se reia evaluarea deplasarii relative intre nivele, insa nu pentru a determina nivelul probabil de avariere, ci pentru a vedea la ce valori ale acestuia se poate considera ca apar primele fisuri, respectiv ca se atinge limita capacitatii portante. Se observa astfel ca starea limita de serviciu se atinge la valori de pana la 0.06% ale deplasarii, respectiv starea limita ultima la valori de pana la 0.32%. Pe masura ce inaltimea cladirii creste cu cate un nivel, aceasta permite o deplasare laterală ultima cu pana la 8% mai mare.

Pentru a determina tipologia de cedare in plan pentru cladirile investigate, s-a studiat unde si cum apar primele fisuri in cadrul fiecarui tip de cladiri. Astfel, s-au determinat 4 tipologii de cedare (Fig. 18):

- Aparitia fisurilor din incovoiere la partea superioara a fatadelor
- Aparitia fisurilor din incovoiere si din taiere, tot la partea superioara a fatadelor
- Aparitia fisurilor din incovoiere atat la partea superioara, cat si la cea mediana pentru cladirile inalte
- Respectiv aparitia fisurilor din incovoiere si taiere la partea superioara si mediana, tot pentru cladirile inalte

In principiu, fisurile din incovoiere apar preponderent la riglele de cuplare, in timp ce fisurile din taiere apar in zona montantilor si a spaletilor de zidarie. Pentru primul tip de cladiri, tipologia unu de cedare este cea comună. Pentru al doilea tip de cladiri, comune sunt tipologiile de cedare 2 si 3, cu mici exceptii, in timp ce pentru tipul 3 de cladiri, comune sunt tipologiile de cedare 3 si 4.

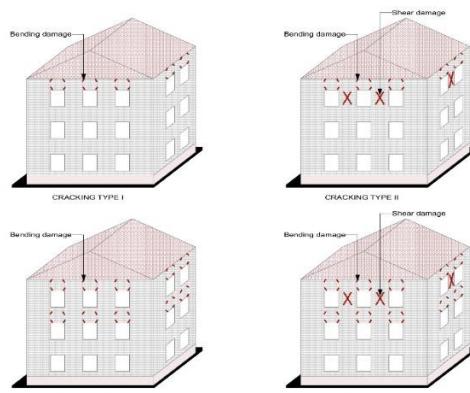


Figure 18. Posibile spatii de evacute in caz de seism: a) Iosefin; b) Fabric

Cand s-au analizat fortele taietoare la baza, s-a observat ca acestea cresc de la un tip de cladiri la altul cu aproximativ 50%, in principiu datorita cresterii maselor. In ceea ce priveste deplasarile laterale permise de catre structuri, se poate observa ca acestea cresc de la un tip de cladiri la altul, in special la tipul 3. Cresterea foarte mare intre tipurile 2 si 3 se datoreaza faptului ca dintre cladirile investigate, cele de tipul 3 sunt mult mai mari, avand lungimea fatadei principale de aproximativ 3 ori mai mare decat la tipul 2. In acelasi timp, inaltimea cladirii creste si cu pana la 50%.

In ceea ce priveste ductilitatea structurilor investigate (Eq. 8) [46], din nou se poate observa o diferență mult mai vizibila intre tipurile 2 și 3 (Fig. 19a). In medie, factorul de ductilitate al cladirilor studiate are o valoare de 2.5, fiind diferențe mici intre cele tipurile de cladiri.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u - \Delta_y}{\Delta_y} \quad (8)$$

Pentru a intelege mai bine raspunsul cladirii la fortele seismice, s-a determinat si factorul de comportare (Eq. 9) pentru fiecare dintre tipurile de cladiri in raport cu ductilitatea determinata anterior [47]. Astfel, s-a observat ca valoarea medie a factorului de comportare este de 1.8-2, cu diferențe mai mari pe directia transversala y (Fig. 19b).

$$q = (2\mu_{\Delta} - 1)^{1/2} \quad (9)$$

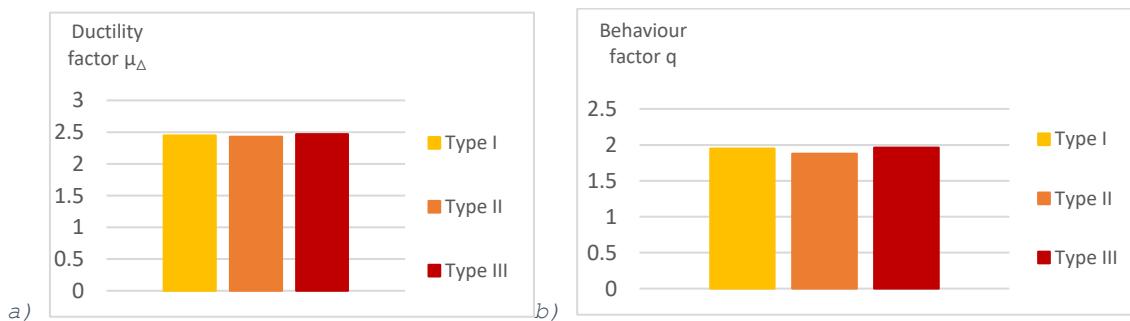


Figure 19. Ductilitatea si factorul de comportare medii

La inceputul tezei s-a formulat ipoteza conform careia toate cladirile din zidarie investigate sunt structuri cu perioada de vibratie mica. Pentru verificarea afirmatiei, s-au suprapus curbele de capacitate ale cladirilor investigate cu spectrul seismic determinat pentru zona Banat (Fig. 20). Se poate observa faptul ca, pentru toate cele trei tipuri de cladiri, perioada proprie de vibratie este mai mica decat perioada de control a spectrului de raspuns, deci se confirma ipoteza de baza.

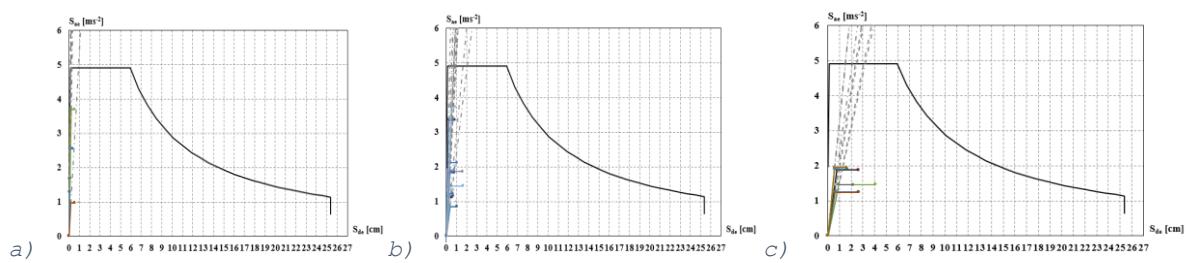


Figure 20. Suprapunerea curbelor de capacitate cu spectrul seismic pentru: a) tipul I de cladiri; b) tipul II; c) tipul III

O ultima etapa in procesul de extrapolare a informatiilor obtinute prin analiza neliniara o constituie trasarea curbelor de fragilitate pentru tipurile de cladirile din Timisoara. Rolul acestor curbe este sa indice, in mod statistic, la ce deplasari ultime sunt sanse sa apara un anumit nivel

de avariere. Metoda de determinare este una matematica, considerand ca un anumit nivel de avariere apare in momentul in care se atinge un anumit procent din deplasarea la curgere sau deplasarea laterală maxima (Eq. 10). Pe baza acestor informatii se genereaza de fapt o matrice distributiva, care prezinta o deviatie standard influentata de ductilitatea structurii (Eq. 11) [48].

$$S_{D1} = 0.7 \times \Delta_y \quad (10)$$

$$S_{D2} = 1.5 \times \Delta_y$$

$$S_{D3} = 0.5 \times (\Delta_y + \Delta_u)$$

$$S_{D4} = \Delta_u$$

$$P[D_k | S_{de}] = \Phi\left[\frac{1}{\beta} \times \left(\ln \frac{S_{de}}{S_{de,PS}}\right)\right] \quad (11)$$

Aplicand metodologia, s-au determinat curbele de fragilitate pentru prima tipologie de cladiri (Fig. 21a). Cunoscand deja din subcapitolele precedente faptul ca deplasarea laterală media pentru aceste cladiri este de 0.30 cm, de poate observa ca sunt sanse de 100% de a atinge nivelul de avariere D2, aproximativ 70% pentru nivelul de avariere D3, respectiv sub 45% pentru nivelele de avariere D4-D5. Situatia este similara si pentru tipul 2 de cladiri (Fig. 21b), unde deplasarea laterală medie este de 0.5 cm, crescand putin doar sansele de a atinge nivelul de avariere D3. Pentru tipul al treilea de cladiri (Fig. 21c), unde deplasarea laterală medie este de 2 cm, avem 100% sanse pentru obtinerea nivelului de avariere D2, aproximativ 75% sanse pentru D3 si sub 50% sanse pentru D4-D5. Aceste observatii ne indica faptul ca pentru toate cele trei tipuri de cladiri, sansele ca nivelele de avariere D4-D5 sunt sub 50%, deci este mai probabil sa avem doar avarii moderate in elementele structurale si este foarte probabil sa avem avarii extinse in cele nestructurale.

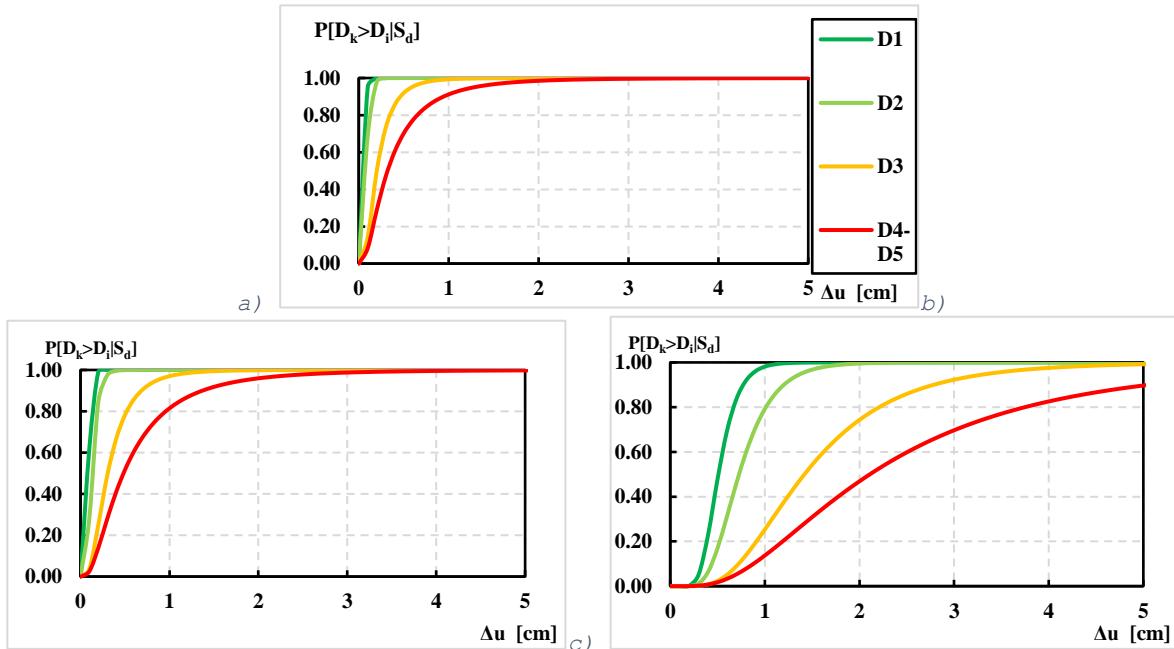


Figure 21. Curbele de fragilitate medii pentru: a) tipul I de cladiri; b) tipul II; c) tipul III

Ca recomandari preliminare pentru imbunatatirea capacitatii portante a structurilor investigate, s-au realizat doua ipoteze care deschid directii viitoare de cercetare.

Prima se refera la considerarea in calcul a sarpantei rigide din lemn. Pe baza similarilor efectuate cu Tremuri, cu si fara sarpanta considerata, s-a observat faptul ca aceasta din urma poate limita deplasările laterale maxime ale peretilor exteriori, ducand la o reducere a indicelui de vulnerabilitate mecanica cu 10 pana la 15 procente. De asemenea, merita investigata observatia conform careia comprimarea peretilor de fatada de catre sarpanta complexa duce la

o redistribuire a modului de aparitie a fisurilor de la nivelul intregii fatade catre colturile cladirilor [49].

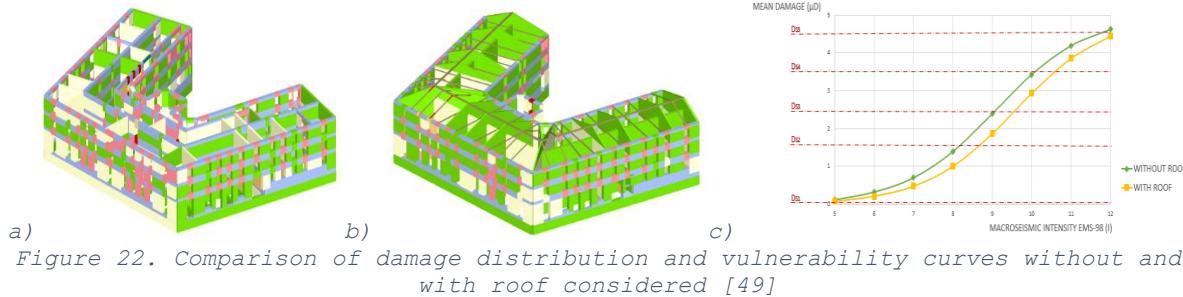


Figure 22. Comparison of damage distribution and vulnerability curves without and with roof considered [49]

Cea de a doua ipoteza se refera la aplicarea unor solutii simple de consolidare cu materiale pe baza de fibre, considerandu-se pentru simulare patru optiuni [50]:

- Fara nici o consolidare
- Consolidare cu fibre din polietilena tip ARV100, aplicate la un pas de 100 cm
- Top cu fibre ARV100, dar la un pas mai mic, de doar 50 cm
- Respectiv cu fibre din otel galvanizat tip Geosteel G600, aplicate la un pas de 100 cm

Toate materialele utilizate sunt de la compania Kerakoll [50] si pot fi aplicate cu usurinta, pe exteriorul cladirilor. Simulari suplimentare se recomanda a fi facute in viitor pentru a vedea cum se pot aplica astfel incat sa fie evitate zonele cu cornise sau console decorative. Se poate observa faptul ca exista o reducere a vulnerabilitatii seismice cu 10-15% pentru consolidarile cu fibre din polietilena, respectiv cu pana la 30% pentru consolidarile cu fibe din otel galvanizat, schimbandu-se nivelul probabil de avariere cu o clasa (Fig. 23).

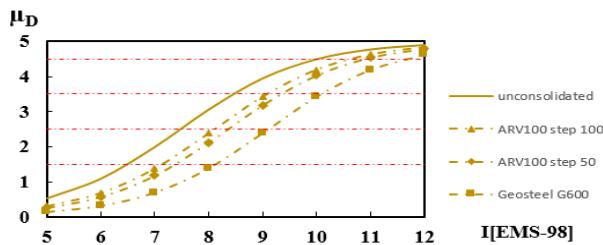


Figure 23. Comparison of vulnerability curves before and after consolidation

Capitolul sase reprezinta incheierea lucrarii, prezintand concluziile si contributiile personale. Intreaga lucrare se bazeaza pe cercetarea pe care regretatul profesor Victor Gioncu a inceput-o in urma cu peste 30 de ani in acest domeniu. Necesitatea propunerii unei metodologii rapide de evaluare a vulnerabilitatii seismice si culturale este subliniata de numarul mare de cladiri cu valoare de patrimoniu din Timisoara, dar si de posibilitatea financiara limitata a proprietarilor pentru a apela la expertize tehnice detaliate. Astfel, problematica protejarii patrimoniului cade in sarcina autoritatilor locale, care ar putea utiliza cu usurinta metodologia propusa pentru toate cladirile istorice din oras, obtinand in mod rapid si facil o lista cu prioritatile pentru lucrari de reabilitare.

La scara larga, propunerile tezei sunt in acord cu preocuparile ICOMOS, avand ca scop reducerea riscului seismic si protejarea patrimoniului, dar si a comunitatilor locale. Volumul mare de date culese si prelucrate este rezultatul unei colaborari multidisciplinare cu colegi din domeniu si studenti, precum si cu alți cercetatori din strainatate. Chiar daca nu au fost posibile incercari experimentale din cauza limitarilor de timp, spatiu si financiare, rezultatele tezei au fost calibrate pe baza raspunsului real al cladirilor in urma cutremurelor trecute, acestea reprezentand impresionantul laborator natural al zonei seismice Banat.

In ceea ce priveste contributiile personale din cadrul tezei, se remarcă:

- Propunerea unei prime metodologii simplificate de evaluare a vulnerabilității seismice pentru cutremure de suprafață
- Combinarea armonioasă pentru întâia oară a criteriilor structurale și a celor arhitectural-artistice, urbanistice, social-culturale și economice
- Realizarea unei prime baze de date și a primelor curbe și harti de vulnerabilitate pentru cartierele istorice ale orașului
- Evaluarea celor mai probabile mecanisme de cedare pentru fiecare tipologie de clădiri istorice prezente în oraș
- Investigarea impactului sarpantei rigide și complexe, respectiv a materialor de consolidare pe baza de fibre asupra capacitatii portante a structurilor istorice din zidarie de caramida
- Întocmirea unui prim scenariu de pierderi în caz de cutremur pentru Timișoara și promovarea unor prime idei pentru definirea unui plan de reducere a riscului urban

Astfel, contributiile personale ilustrate în cadrul tezei reprezintă o abordare inovativă, eficientă în procesul de evaluare și reducere a vulnerabilității seismice a centrelor urbane istorice, urmand să fie continuată pentru viitoare imbunatatiri și dezvoltări.

Teza deschide multiple direcții viitoare de cercetare, în domenii precum:

- Vulnerabilitatea seismica a agregatelor de clădiri din zidarie de caramida
- Mecanismele de cedare în afara planului la cladirile istorice din zidarie
- Definirea curbelor de fragilitate pentru mai multe tipologii de clădiri și agregate
- Investigarea în detaliu a impactului sarpantei și a metodelor simple de consolidare
- Respectiv realizarea de diverse scenarii seismice pentru distante epicentrale și adâncimi focale diferite

Rezultatele cercetării au fost publicate periodic în cadrul mai multor lucrări, dintre care două sunt în revista de specialitate internațională Engineering Failure Analysis cu impact factor 2.8, alte 12 lucrări au fost publicate în volume ale unor manifestări științifice internaționale indexate ISI, 2 lucrări în reviste indexate Scopus, 2 lucrări în volume ale unor conferințe internaționale indexate scopus, respectiv alte 3 lucrări în volume ale altor manifestări științifice.

În total, au fost publicate 21 de lucrări științifice, care până la momentul actual au fost citate în 42 de articole de specialitate, dintre care 13 în articole în reviste cu factor de impact și 6 în volume ale unor manifestări indexate ISI. În cadrul conferinței ICEFA 2018, organizată de către editura Elsevier și revista Engineering Failure Analysis, lucrarea prezentată a primit premiul pentru cel mai bun poster (Fig. 23). Ca și diseminare a informațiilor, rezultatele cercetării au fost prezentate în cadrul a 9 conferințe, dintre care 6 în afara țării și 3 în țara.



Figure 24. Premiul pentru cel mai bun poster, în cadrul conferinței internaționale ICEFA 2018

In concluzie, teza de doctorat prezintă contribuții valoroase în domeniul vulnerabilității seismice a clădirilor istorice din zidarie, deschizând în același timp direcții viitoare de cercetare de mare interes. Prin intermediul unei abordări multidisciplinare, cercetarea în cauză reprezintă o abordare inovativă, de mare calitate și de real interes pentru reducerea riscului seismic în zona Banat.

BIBLIOGRAFIE

- [1] S. Cara, "Seismic risk assessment at Emergency Limit Condition of urban neighbourhoods: application to the Eixample District of Barcelona," Escola Tecnic Superior d'Enginyeria de Camins, 2016.
- [2] R. V. Whitman, J. W. Reed, and S. T. Hong, "Earthquake Damage Probability Matrices," in Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, pp. 2531–2540, 1973.
- [3] D. Benedetti and V. Petrini, "On the seismic vulnerability of masonry buildings: an evaluation method (in Italian)," L'Industria delle Costruzioni, vol. 149, pp. 66–74, 1984.
- [4] V. Petrini, "Rischio Sismico Di Edifici Pubblici, Parte I: Aspetti Metodologici," in Proceedings of CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 1993.
- [5] F. Sabetta, A. Goretti, and A. Lucantoni, "Empirical fragility curves from damage surveys and estimated strong ground motion," in 11th European Conference on Earthquake Engineering, 1998.
- [6] E. Dumova-Jovanoska, "Fragility curves for reinforced concrete structures in Skopje (Macedonia) region," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 19, no. 6, pp. 455–466, Aug. 2000.
- [7] P. Moroux et al., "The European Risk-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios," in 13th World Conference on Earthquake Engineering, no. 423, 2004.
- [8] M. Munari, M. R. Valluzzi, A. Saisi, G. Cardani, C. Modena, and L. Binda, "The limit analysis of macro-elements in masonry aggregate buildings as a methodology for the seismic vulnerability study: an application to umbrian city centers," in 11th Canadian Masonry Symposium, 2009.
- [9] Z. V Milutinovic and G. S. Trendafiloski, "RISK-UE An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns WP4: Vulnerability of current buildings," 2003.
- [10] F. E. M. Agency, FEMA Mitigation Division. HAZUS-MH MR3: Multi-Hazard Loss Estimation Methodology: Technical Manual. Washington DC, 2003.
- [11] A. J. Kappos, K. A. Stylianidis, and G. G. Penelis, "Analytical Prediction of the Response of Structures to Future Earthquakes," European Earthquake Engineering, vol. 5, no. 1, pp. 10–21, 1991.
- [12] S. Lagomarsino et al., "PERPETUATE Project: The proposal of a performance-based approach to earthquake protection of cultural heritage," Advanced Materials Research, vol. 133–134, pp. 1119–1124, 2010.
- [13] S. Lagomarsino, S. Cattari, and C. Calderini, "DELIVERABLE D41 European Guidelines for the seismic preservation of cultural heritage assets," 2012.
- [14] U. of Padua, "WP 10.5: Integrated methodology for effective protection and earthquake improvement of cultural heritage, New integrated knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk," 2012.
- [15] R. K. Pachauri et al., "Climate Change 2014 Synthesis Report, Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Gian-Kasper Plattner, 2014.
- [16] M. Opris, Timisoara - mica monografie urbanistica, In Romania. Bucuresti: Editura Tehnica, 1987.
- [17] A. Bianca, "Management strategies for seismic vulnerability of the cultural-historical promenade of Timisoara city, Bachelor Thesis, Architecture and Urban Planning Faculty," Politehnica University of Timisoara, unpublished, 2018.
- [18] M. Mosoarca, I. Onescu, E. Onescu, B. Azap, N. Chieffo, and M. Szitar-Sirbu, "Seismic vulnerability assessment for the historical areas of the Timisoara city, Romania," Engineering Failure Analysis, vol. 101, pp. 86–112, Jul. 2019.
- [19] S. Taffarel, C. Marson, C. Valotto, M. Roverato, M. Munari, F. da Porto, M. Mosoarca, C. Modena, „Seismic vulnerability maps of Timisoara historical center based on fragility curves", Porceedings of 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Cosntruictions, 2016
- [20] I. Onescu, E. Onescu, and M. Mosoarca, "The impact of the cultural value to the seismic vulnerability of a historical building," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.
- [21] M. Mosoarca, I. Onescu, E. Onescu, and A. Anastasiadis, "Seismic vulnerability assessment methodology for historic masonry buildings in the near-field areas," Engineering Failure Analysis, Vol. 115, 2020.
- [22] C. Vasici, "Loss estimation for urban centers in seismic area, Master Thesis," Politehnica University of Timisoara, unpublished, 2018.
- [23] A. Bala and V. Raileanu, "Crustal seismicity and active fault systems in Romania," International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, vol. 3, no. 1, pp. 799–806, 2015.
- [24] Ministry of regional development public administration and european funds, "Romanian Design Code P100-1/2013, in Romanian," 2013.
- [25] A. I. Keller, "Complex assessment of historical wooden framework, PhD Thesis," Politehnica Univesity of Timisoara, in process, 2020.
- [26] IPROTIM Design Institution, "Project no. 35353/330, Vol. 390, Survey and technical report with consolidation principles for Banloc Mansion complex, in Romanian," unpublished, 1992.

- [27] P. Ricci, F. de Luca, and G. M. Verderame, “6th April 2009 L’Aquila earthquake, Italy: Reinforced concrete building performance,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 285–305, 2011.
- [28] G. Fiorentino et al., “Damage patterns in the town of Amatrice after August 24th 2016 Central Italy earthquakes,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 1399–1423, Mar. 2018.
- [29] A. Kaiser et al., “The Mw 6.2 Christchurch earthquake of February 2011: Preliminary report,” *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 55, no. 1, pp. 67–90, 2012.
- [30] V. Gioncu and F. M. Mazzolani, *Earthquake Engineering for Structural Design*. Spon Press, 2011.
- [31] M. Kostov, “Site specific estimation of cumulative absolute velocity,” in 18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 18), Beijing, China, 2005.
- [32] Esteva, “Geology and probability in the assessment of seismic risk, Not seen. Reported in Ambraseys (1978a),” in 2nd International Conference of the Association of Engineering Geology, 1974.
- [33] A. I. Keller, N. Chieffo, and M. Mosoarca, “Influence of roof structures on seismic behavior of historic buildings,” in 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’17, pp. 12–15, 2017.
- [34] D. Diaconu, V. Stoian, and I. Apostol, “Experimental test report no. 86, Politehnica University of Timisoara”, in Romanian , unpublished, 2018.
- [35] N. Iliesiu, *Historical monografy of Timisoara*. Ed. Planetarium, in Romanian, 2003.
- [36] A. Formisano, R. Landolfo, F. Mazzolani, and G. Florio, “A quick methodology for seismic vulnerability assesment of historical masonry aggregates,” COST Action C26: Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, no. September, 2010.
- [37] R. Vicente, S. Parodi, S. Lagomarsino, H. Varum, J. A. R. Mendes, and D. Silva, “Seismic vulnerability assessment, damage scenarios and loss estimation. Case study of the old city centre of Coimbra, Portugal,” in The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.
- [38] B. Azap, I. Apostol, M. Mosoarca, N. Chieffo, and A. Formisano, “Seismic vulnerability scenarios for historical areas of timisoara,” in Modern Technologies for the 3rd Millennium, pp. 149–154, 2018.
- [39] STADATA, “3muri User Manual: a computer program for analysis of structures in masonry and mixed materials through a non-linear (pushover) and static analysis,” Turin, Italy, 2011.
- [40] A. Formisano, G. Florio, R. Landolfo, and F. M. Mazzolani, “Numerical Calibration of a Simplified Procedure for the Seismic Behaviour Assessment of Masonry Building Aggregates”, Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Crete, Greece, 2011.
- [41] N. Buratti, “Seismic vulnerability curves. Numerical and observational approaches,” 2016.
- [42] G. Szekely, „Central European culture reflected into the evolution of architectural and urbanistic thinking 1700-1945”, in Romanian, ed. Eurostamp, 2011.
- [43] The Ministry of Culture Romania, “Methodological Code no. 2260 regarding the classification of historical monuments,” 2008.
- [44] S. Eddine Cherif, M. Chourak, M. Abed, and L. Pujades, “Seismic risk in the city of Al Hoceima (north of Morocco) using the vulnerability index method, applied in Risk-UE project,” *Natural Hazards*, 2017.
- [45] R. A. Maio, T. M. Ferreira, and R. Vicente, “A critical discussion on the earthquake risk mitigation of urban cultural heritage assets,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018.
- [46] V. Gioncu and F. M. Mazzolani, *Ductility of Seismic Resistant Steel Structures*. Spon Press, 2002.
- [47] M. Tomážević, V. Bosiljkov, and P. Weiss, “Structural behavior factor for masonry structures,” in 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004.
- [48] S. Cattari, E. Curti, S. Giovinazzi, S. Parodi, S. Lagomarsino, and A. Penna, “Un modello meccanico per l’ analisi di vulnerabilità del costruito in muratura a scala urbana,” in XI Congresso Nazionale “L’Ingegneria Sismica in Italia” - ANIDIS, 2004.
- [49] E. Onescu, I. Onescu, and M. Mosoarca, “The impact of timber roof framework over historical masonry structures,” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.
- [50] Kerakoll Company, “RINFORZO ARV100 technical report.”, 2020.