

■ Marius MOȘOARCĂ ■ Iasmina ONESCU ■ Alexandra KELLER¹

Simplified Vulnerability Assessment Methodologies for Historic Structures in the Banat Seismic Area

■ **Abstract:** *Heritage buildings represent a valuable part of the historic city and need to be protected through comprehensive preservation strategies in order to ensure the authenticity and spirit of the place. The base of any preservation policy is the knowledge that can be improved following vulnerability assessment methodologies.*

The paper continues the research carried out in the field in many international research projects focused on the protection of heritage buildings. The research proposals are in accordance with the concerns of ICOMOS, which encourage a multidisciplinary assessment of historic buildings, aim to reduce seismic risk, and by doing this to protect the cultural heritage and local communities. The originality of the proposals is also dictated by intertwining the field of civil engineering with that of architecture, urban planning, and socio-economic studies, focusing also on cultural and artistic features. Considering that many historical urban centres are located in areas with very high levels of exposure, for communities in seismic areas, earthquakes are a real danger and difficult to predict.

■ **Keywords:** heritage, vulnerability, assessment, masonry, wood

Introduction

■ Within this paper, two simplified methodologies are presented. The first one was developed for historical urban centres located in seismic areas. It takes into account the cultural value and can be easily applied at urban level, defines seismic scenarios and vulnerability curves, assesses possible losses, defines the capacity and fragility curves specific to masonry buildings, and proposes vulnerability maps for the safety of heritage buildings in the Timișoara historical districts.

The second one is focused on the value and vulnerability of historic wooden roof structures. It is a multi-, inter-, and transdisciplinary assessment procedure, which highlights that besides understanding their structural behaviour, there are a series of factors that have influenced the shape of the roof and the used structural typology, and that the aesthetic features and the relation with the surrounding urban area also have to be taken into consideration. It is noteworthy that the procedure also considers environmental factors that can affect the buildings' state of conservation and

Metodologii simplificate de evaluare a vulnerabilității structurilor istorice din zona seismică Banat

■ **Rezumat:** *Clădirile de patrimoniu reprezintă o parte importantă a orașului istoric și trebuie protejate prin strategii complexe de preservare, pentru a asigura autenticitatea și spiritul locului. Baza oricărei politici de restaurare este formată din cunoștințele care pot fi îmbunătățite în urma aplicării metodologiilor de evaluare a vulnerabilității.*

Această lucrare continuă cercetarea desfășurată în domeniu în cadrul a numeroase proiecte internaționale de cercetare privind protecția clădirilor de patrimoniu. Propunerile cercetării sunt în concordanță cu preocupările ICOMOS, care încurajează o evaluare multidisciplinară a clădirilor istorice, vizează reducerea riscului seismic și prin aceasta protejarea moștenirii culturale și a comunităților locale. Originalitatea propunerilor este dictată și de împletirea domeniului ingineriei civile cu cel al arhitecturii, urbanismului și studiilor socio-economice, concentrându-se și pe caracteristici culturale și artistice. Având în vedere că numeroase centre urbane istorice sunt situate în zone cu un nivel foarte ridicat de expunere, pentru comunitățile din zone seismice cutremurele sunt un pericol real și greu de prezis.

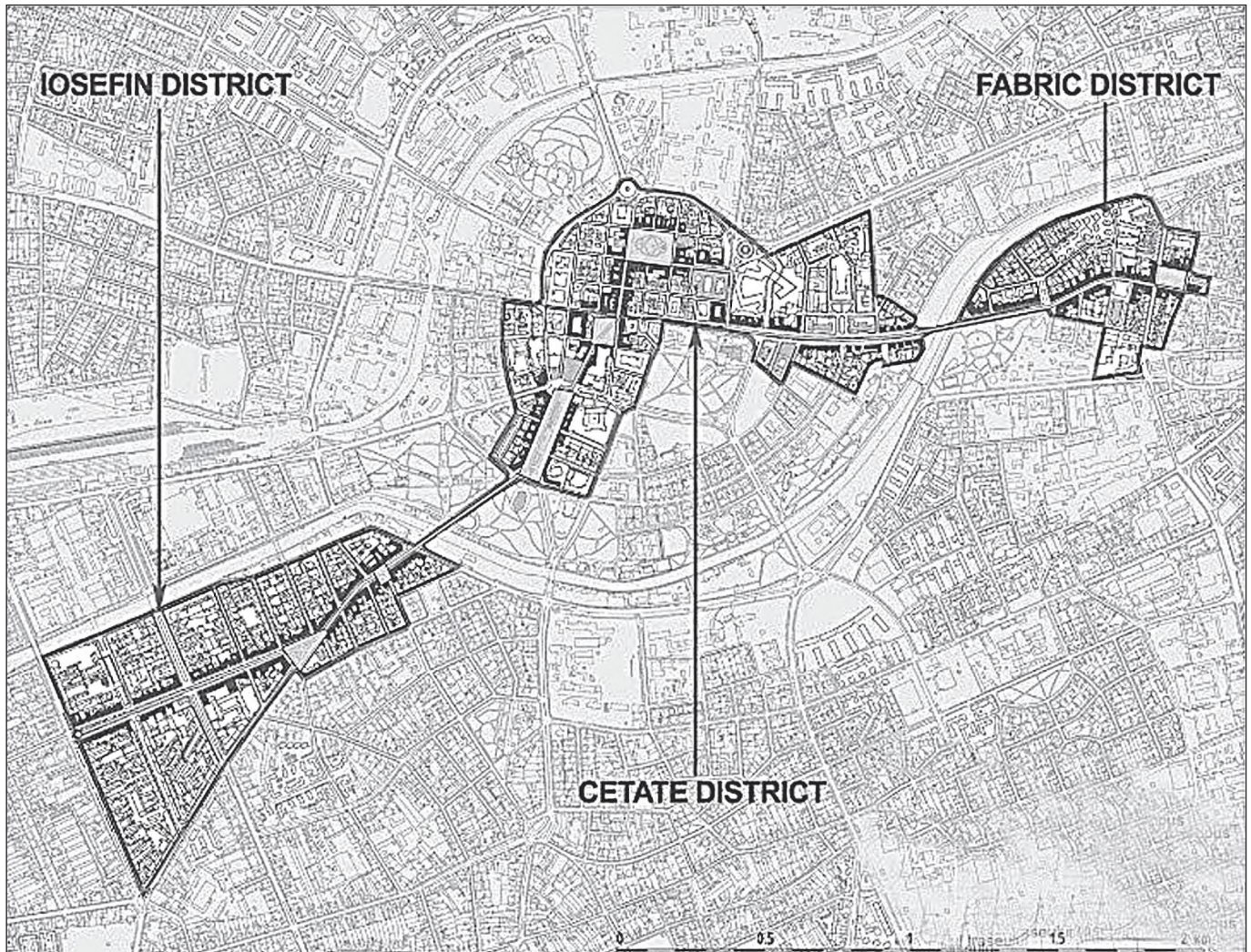
■ **Cuvinte cheie:** patrimoniu, vulnerabilitate, evaluare, zidărie, lemn

Introducere

■ În cadrul acestei lucrări sunt prezentate două metodologii simplificate. Prima a fost dezvoltată pentru centrele urbane istorice situate în zone seismice, ia în considerare valoarea culturală și poate fi aplicată cu ușurință la nivel urban. Ea definește scenariul seismic și curbe de vulnerabilitate, evaluează posibilele pierderi, definește curbele de capacitate și fragilitate specifice clădirilor din zidărie și propune hărți de vulnerabilitate pentru siguranța clădirilor de patrimoniu din cartierele istorice ale Timișoarei.

1 Politehnica University Timișoara, Faculty of Architecture and Urban Planning, Timișoara, Romania.

1 Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Arhitectură și Urbanism, Timișoara, România.



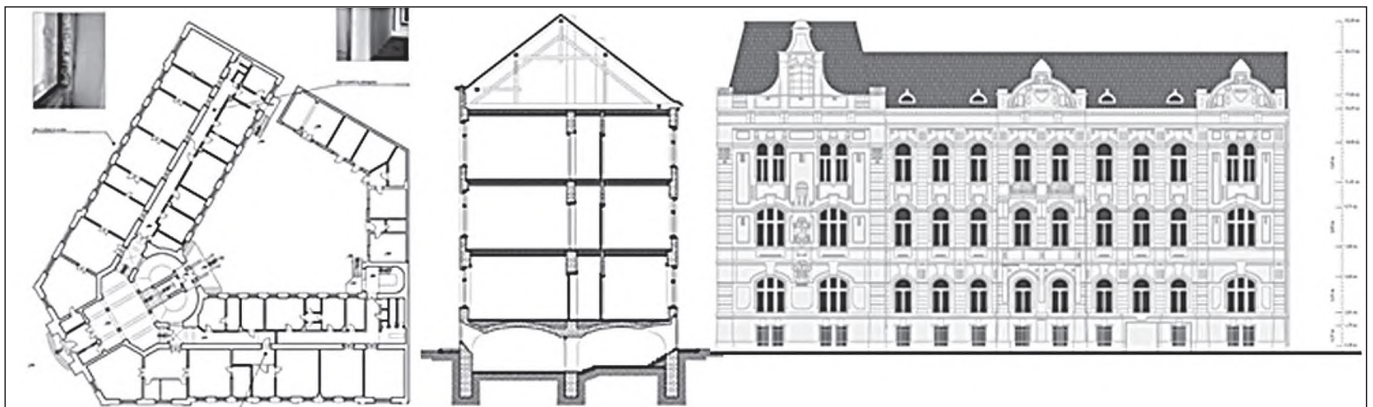
■ **Figure 1.** Proposed historical-cultural promenade for Timișoara European Capital of Culture 2023

■ **Fig. 1.** Propunere de promenadă istorico-culturală pentru Timișoara Capitală Europeană a Culturii 2023

A doua metodologie se axează pe valoarea și vulnerabilitatea șarpantelor istorice din lemn. Este o procedură de evaluare multi-, inter- și transdisciplinară care subliniază faptul că, pe lângă înțelegerea comportamentului lor structural, există o serie de factori care au influențat forma acoperișului și tipologia structurală utilizată și că trăsăturile estetice și relația cu zona urbană

the link to the building, by acknowledging how these structures can influence the behaviour of the buildings during seismic events.

The need to propose a quick methodology for assessing the seismic and cultural vulnerability of historic masonry buildings and the value and vulnerability of historic wooden roof structures is underlined by the large number of buildings with heritage value in Timișoara, but also by the limited financial possibility of the owners to perform detailed technical reports. So, the issue of heritage protection is the responsibility of local authorities, who could easily use the proposed methodologies for all his-



■ **Figure 2.** Example of complete survey performed on an investigated building

■ **Fig. 2.** Exemplu de relevu complet al unei clădiri investigate

toric buildings in the city, quickly and easily obtaining a list of priorities for rehabilitation works.

The amount of data collected and processed during the study, over 100 heritage buildings and 20 roof structures, highlights the potential impact of the results and the significant contribution to knowledge in the field.

The main advantages of the proposed methodologies are their capability of being adapted to any European site, their capacity to be applied at a territorial scale, and their quality of being easy-to-apply even by the owners of the buildings. The proposed research project is expected to create, in a simplified way, European maps of the cultural value and vulnerability of heritage buildings.

1. The necessity of developing quick and simplified vulnerability assessment procedures

■ Heritage buildings represent a valuable part of the historic city and need to be protected through comprehensive preservation strategies, in order to ensure the authenticity and spirit of the place. The base of any preservation policy is the knowledge that can be improved following vulnerability assessment methodologies (LAGOMARSINO, CATTARI & CALDERINI 2012).

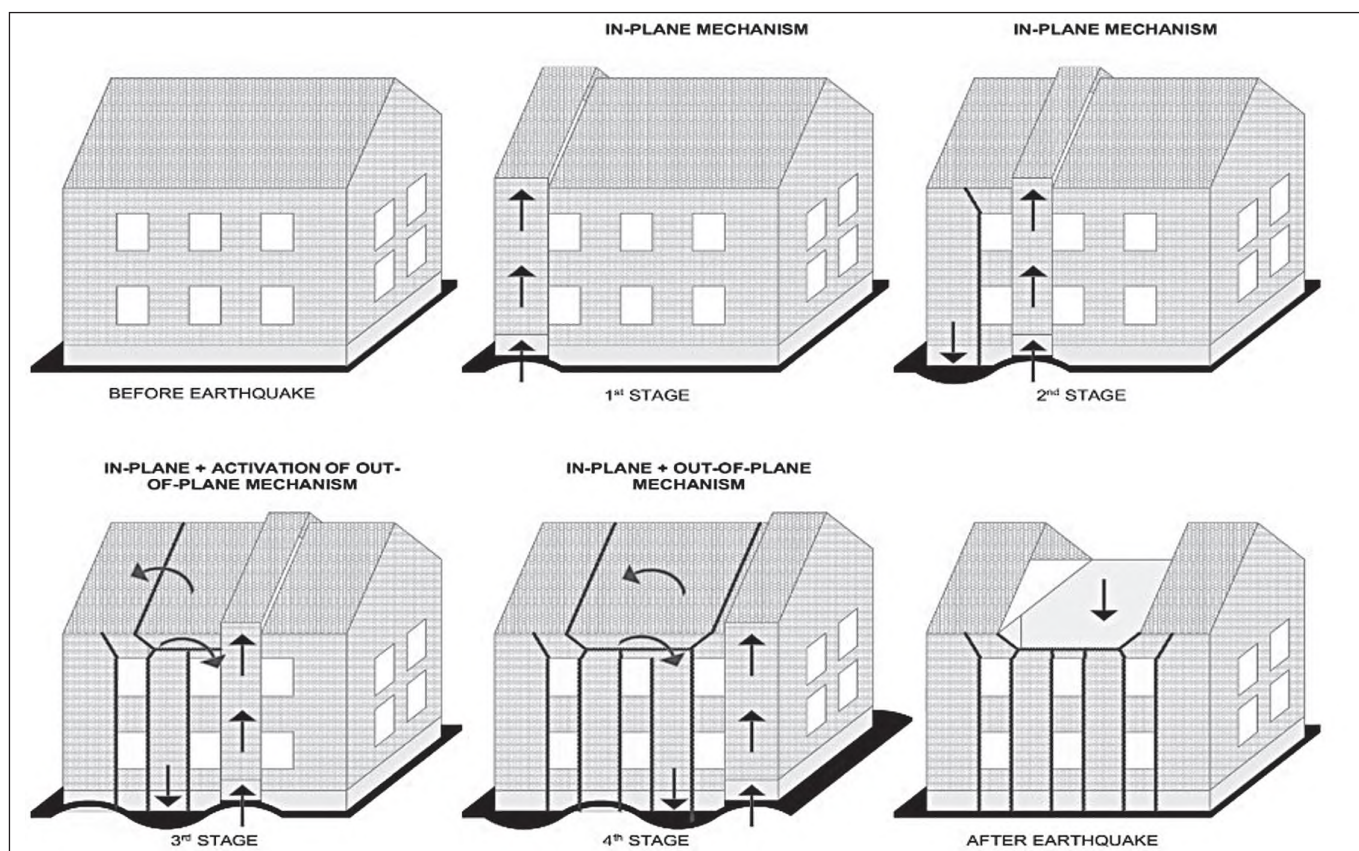
Cultural heritage, as a factor in the development of sustainable policies, suggests the establishment of a methodology for a lasting management of cultural heritage in a European framework. A common cultural heritage of the whole continent with the benefits offered by its diversity is one of the prime factors in the framework of building and strengthening a culturally rich Europe, whose intellectual, emotional, moral, and spiritual needs are better satisfied.

înconjurătoare ar trebui luate, de asemenea, în considerare. De remarcat este faptul că procedura are în vedere și factorii de mediu, care pot afecta starea de conservare a clădirilor, precum și legătura cu clădirea prin recunoașterea modului în care aceste structuri pot influența comportamentul clădirilor în timpul evenimentelor seismice.

Nevoia de a propune o metodologie rapidă pentru evaluarea vulnerabilității seismice și culturale a clădirilor istorice din zidărie și a valorii și vulnerabilității șarpantelor istorice este subliniată de numărul mare de clădiri de patrimoniu din Timișoara, dar și de posibilitatea financiară limitată a proprietarilor de a realiza rapoarte tehnice detaliate. Deci, problema protecției patrimoniului este responsabilitatea autorităților locale, care ar putea utiliza cu ușurință metodologiile propuse pentru toate clădirile istorice din oraș, obținând rapid și ușor o listă de priorități pentru lucrările de reabilitare/ intervenții.

Cantitatea de date colectate și prelucrate în timpul studiului, provenite de la peste 100 de clădiri de patrimoniu și 20 de șarpante, evidențiază impactul potențial al rezultatelor și contribuția semnificativă la cunoașterea în domeniu.

Avantajele principale ale metodologiilor propuse sunt capacitatea de a fi adaptate la orice sit european, capacitatea de aplicare la scară teritorială și faptul că sunt ușor de aplicat chiar de către proprietarii clădirilor. Este de așteptat ca proiectul de cercetare propus să creeze, într-un mod simplificat, hărți europene ale valorii culturale și vulnerabilității clădirilor de patrimoniu.



■ **Figure 3.** Particular combination of in-plane and out-of-plane failure mechanism for masonry buildings in the epicentre of shallow earthquakes
■ **Fig. 3.** Combinație particulară de mecanisme de degradare în plan și în afara planului la clădiri în epicentrul cutremurelor superficiale



■ **Photo 1.** Architectural-artistic details of the investigated buildings
■ **Foto 1.** Detalii arhitectural-artistice ale clădirilor investigate

1. Necesitatea dezvoltării unor proceduri rapide și simplificate de evaluare a vulnerabilității

■ Clădirile de patrimoniu reprezintă o parte importantă a orașului istoric și trebuie protejate prin strategii complexe de conservare, pentru a asigura autenticitatea și spiritul locului. Orice politică de conservare are la bază cunoștințele care pot fi îmbunătățite în urma aplicării metodelor de evaluare a vulnerabilității (LAGOMARSINO, CATTARI & CALDERINI 2012).

Patrimoniul cultural, ca factor în dezvoltarea politicilor sustenabile, sugerează implementarea unei metodologii pentru un management de durată a patrimoniului cultural într-un context european. Un patrimoniu cultural comun al întregului continent și beneficiile oferite de diversitatea sa reprezintă unul din factorii principali în cadrul construirii și consolidării unei Europe bogate din punct de vedere cultural, ale cărei nevoi intelectuale, emoționale, morale și spirituale sunt mai bine satisfăcute.

Accesul la informații, ca factor vital în împlinirea individului și a comunității, este deci absolut necesar, fiind posibil printr-o abordare multidisciplinară, evidențiată printr-un set concentrat de politici, strategii și proceduri cu un puternic caracter social, care va putea oferi garanții că beneficiile urbanizării din prezent vor fi sustenabile în viitor.

Studiul pornește de la principiile și recomandările ICOMOS, ISCARSAH și ale Cartei de la Veneția, care încurajează o evaluare multidisciplinară a structurilor de patrimoniu (ICOMOS 2003). Aceasta înseamnă că ele nu pot fi analizate doar prin simpla evaluare a caracteristicilor lor structurale și a stării de conservare, ci trebuie luate în considerare caracteristici mai complexe, legate de contextul și valoarea lor cultural-istorică. Fără pilonul cultural-istoric nu se poate înțelege caracterul ce definește patrimoniul cultural și ce îi oferă originalitate și individualitate. Legătura bi-univocă dintre arhitectura istorică a unei zone și istoria și viața comunității locale are o deosebită importanță. Există o permanentă nevoie și implicit o oportunitate de cercetare în domeniul resta-

Access to information, as a vital factor for the fulfilment of the individual and of the community, is therefore absolutely necessary, possibly through a multidisciplinary approach, as evidenced by a concentrated set of policies, strategies, and processes with a strong social character, which will be able to give a guarantee that the benefits of today's urbanisation will be sustainable in the future.

The research starts from the principles and recommendations of ICOMOS, ISCARSAH, and the Venice Charter, which are encouraging a multidisciplinary assessment of heritage structures (ICOMOS 2003). This means that they cannot be analysed by simply assessing their structural features and state of conservation but additional, more complex characteristics have to be taken into consideration, related to their context and their historic/cultural value. Without the historic/cultural pillar it is not possible to understand what defines built heritage and what gives its originality and individuality. The bi-univocal connection between the historic architecture of an area and the history and life of the local community is of particular importance. There is a permanent need, and implicitly an opportunity, for research in the field of heritage conservation and preservation, whose contemporary background reveals many challenges (MODENA et al. 2013).

Despite this, the assessment of heritage buildings is mainly related to their structural features, leaving all other, similarly relevant characteristics out of sight. At the same time, it was also observed that the knowledge regarding the vulnerability of historical architecture and its cultural component is insufficiently developed, which highlights the need, and implicitly the opportunity, of performing an extensive research in the field of the assessment of heritage buildings in order to ensure suitable heritage conservation and preservation interventions (LAGOMARSINO, CATTARI & CALDERINI 2012).

The effect of globalisation on the traditional society is manifested by the erosion of values, identity, and diversity of cultural and historical importance, threatening the entire value system of local communities. Heritage buildings, cultural landscapes, archaeological sites, historic urban areas, bridges, traditions, and handicrafts have been subject, in the past few years, to more weaknesses that are more complex and more dangerous. The phenomenon of ultra-fast development, without having a clear, integrated strategy, can lead to the degradation or even destruction of cultural and traditional values. This makes the preservation of this fragile and irretrievable resource, both tangible and intangible, a necessity but also a challenge, in the interest of current and future generations (ONESCU et al. 2019).

2. Existing vulnerability assessment methodologies

■ At the moment, many multidisciplinary teams in the entire world are investigating the vulnerability of heritage buildings, representing the Italian school through LAGOMARSINO et al. (2011), MAZZOLANI et al. (2010), MODENA et al. (2013), D'AYALA & LAGOMARSINO (2015), the Portuguese school through LOURENÇO & KARANIKOLOUDIS (2019) and others. At the same time, regarding the assessment of historic wooden roof structures, multidisciplinary task groups of different COST actions (COST action IE0601, COST action E55, and COST Action FP1101) have been focusing on developing assessment guidelines and procedures that could offer information about the structure, its materials, and state of conservation (FORMISANO et al. 2010).

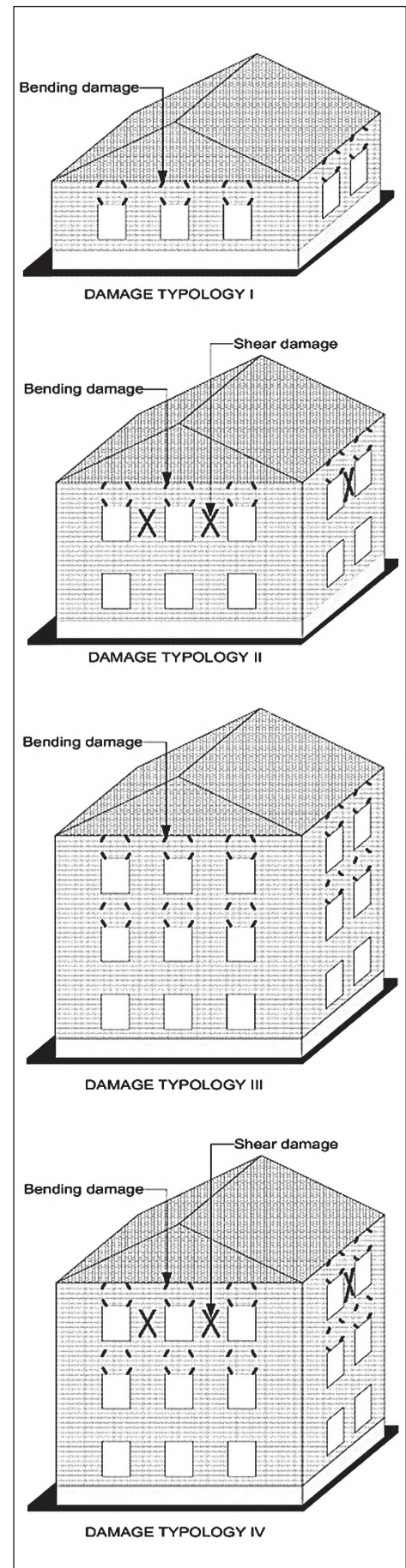
The subject of the project is widely debated in important international peer-reviewed journals with impact factor and several internationally renowned conferences, such as SAHC, PROHITECH, IB2MAC, ICSA, ICEFA, and others, illustrating the importance and actuality of the theme. The results are related with many research contracts and multidisciplinary projects in the field, such as PERPETUATE (LAGOMARSINO et al. 2010), NIKER (University of Padua 2012), RISK-UE (MOROUX & LE BRUN 2006), and various COST actions. Despite the very large number of studies conducted in the field, all of them focus on the structural component and very little on the cultural one, highlighting the opportunity of the topic of the proposed research project. Existing methodologies need to be adapted to the particularities of each site. The adaptation is possible based on numerical analysis and comparison with past earthquakes' effects.

3. Proposed methodology for the historic masonry buildings in the Banat seismic area

■ In this research project, the proposal of a new seismic vulnerability assessment methodology is presented, with the primary purpose of its implementation in the seismic risk analysis, damage and loss estimation, and risk reduction policies. The proposed methodology has the main advantage of being a quick and easy-to-apply procedure for assessing the seismic vulnerability of historical masonry buildings at a territorial scale, in the near-field areas. The investigated area is represented by the historical districts of Timișoara city, as illustrated in Figure 1. The most common architectural-artistic values are presented in Photo 1 and Figure 2 (ONESCU 2020).

The proposed seismic vulnerability assessment methodology represents a calibration between the numerical nonlinear analysis results and the real response of buildings to past earthquakes (Photo 2 and Figure 3), which represent the tremendous natural laboratory of the Banat seismic area. Moreover, it offers the possibility of assessing the possible cultural losses and to determine in a simplified way the seismic vulnerability influenced by the cultural value (GIONCU & MAZZOLANI 2011).

It represents a hybrid methodology that aims to assess the seismic vulnerability of the entire building, also considering its cultural value. The base of this research was composed of the existing vulnerability assessment methodologies that were proposed by recognised universities such as the "Federico II" University in Naples, the University of Padua, and the University of Genoa for the area of Italy, a country with a vast number of historical buildings and many earthquakes, a lot of them quite similar to the Banat earthquakes. The empirical procedure was first proposed by



■ **Figure 4.** Damage typologies identified for the investigated building types

■ **Fig. 4.** Categoriile de degradări identificate la tipurile de clădiri investigate

Bld. No.: 1		DISTRICT / CARTIER: IOSEFIN							
%	CRITERIA / CRITERII	No.	ELEMENT / ELEMENT	CLASS / CLASĂ				WEIGHT / PONDERE	VALUE / VALOARE
				A	B	C	D		
70%	STRUCTURAL / STRUCTURAL	1	Organisation of vertical structures / Organizarea structurilor verticale	0	5	20	45	1	5
		2	Nature of vertical structures / Natura structurilor verticale	0	5	25	45	0.25	6.25
		3	Location of the building and type of foundation / Locația clădirii și tipul de fundație	0	5	25	45	0.75	18.75
		4	Distribution of plan resisting elements / Distribuția în plan a elementelor de rezistență	0	5	25	45	1.5	7.5
		5	Regularity in plan / Regularitatea în plan	0	5	25	45	0.5	0
		6	Regularity in elevation / Regularitatea în elevație	0	5	25	45	1	5
		7	Type of floors / Tip de planșee	0	5	15	45	1	0
		8	Roofing / Învelitoare	0	15	25	45	0.75	33.75
		9	Details / Detalii	0	0	25	45	0.25	0
		10	Physical conditions / Starea fizică a elementelor structurale	0	5	25	45	1	0
		11	Presence of adjacent buildings with different height / Prezența unor clădiri adiacente cu înălțimi diferite	-20	0	15	45	1	45
		12	Position of the buildings in the aggregate / Poziția clădirii în cadrul agregatului	-45	-25	-15	0	1.5	-22.5
		13	Presence and number of staggered floors / Prezența și numărul planșeelor decalate	0	15	25	45	0.5	12.5
		14	Effect of either structural or typological heterogeneity among adjacent structural unit / Efectul eterogenității structurale sau tipologice a unităților structurale adiacente	-15	-10	0	45	1.2	0
		15	Percentage difference of opening area among adjacent façade / Diferență procentuală a raportului plin-gol dintre două fațade alăturate	-20	0	25	45	1	0
							IV STRUCT 10	76.25	
							IV STRUCT 15	111.25	

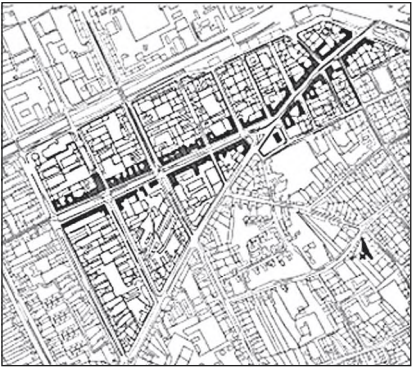

Figure 5. Example of the proposed vulnerability form – part 1

Fig. 5. Exemplu de formular de vulnerabilitate propus – partea 1

15%	ARCHITECTURAL ARTISTIC / ARHITECTURAL-ARTISTIC	16	Representative architectural style for the area / Stilul arhitectural reprezentativ pentru zonă	0	10	15	25	1.5	37.5
		17	Age, importance of the built époque and architectural style / Vârsta, importanța perioadei arhitecturale	0	10	15	25	1.2	12
		18	Original woodwork/joinery / Tâmplării originale	0	10	15	25	1	10
		19	Original stucco, brick floors or ceilings / Pardoseli sau tavane originale, din cărămidă, cu stucatură	0	10	15	25	1	10
		20	Original statues or bass-reliefs / Statui sau reliefuri originale	0	10	15	25	1	0
		21	Original gable/fronton / Frontoane originale	0	10	15	25	1	10
		22	Original balconies and railings / Balcoane și balustrade originale	0	10	15	25	1	10
		23	Original mosaics or stone work / Mozaicuri sau elemente din piatră originale	0	10	15	25	1	0
		24	Original paintings or frescoes / Picturi sau fresce originale	0	10	15	25	1	0
		25	Conservation state of artistic assets / Starea de conservare a componentelor artistice	-5	10	15	25	1	10
		26	Authenticity/originality (global, elements) / Autenticitate/originalitate (a întregului și a elementelor)	0	10	15	25	1	10
		27	Official monument (national, regional, local, protected area) status / Statut oficial de monument istoric (național, regional, local, zonă protejată)	0	10	15	25	1.5	15
		28	Particular construction techniques/materials / Tehnici/materiale de construcții specifice	0	10	15	25	0.5	0
		29	Conservation state of original materials / Starea de conservare a materialelor originale	-5	10	15	25	0.5	5
		30	Representative historical events / Evenimente istorice reprezentative	0	10	15	25	0.5	0
		31	Archaeological site / Sit arheologic	0	10	15	25	1.5	0
		32	Representative/original wooden framework / Existența și reprezentativitatea șarpantei originale	0	10	15	25	1	0
33	Past restoration work / Lucrări de restaurare din trecut	-5	10	15	25	1	10		
						IV ARCH- ART.	139.5		

■ **Figure 5.** Example of the proposed vulnerability form – part 2

■ **Fig. 5.** Exemplu de formular de vulnerabilitate propus – partea 2

10%	URBAN PLANNING / URBANISTIC	34	Importance in contouring the street profile / Importanța în conturarea profilului stradal	-5	10	15	25	1.5	15
		35	Importance in contouring the urban silhouette / Importanța în conturarea siluetei urbane	-5	10	15	25	1.5	15
		36	Annexes, relation with the urban pattern / Anexe, relația cu modelul urban	0	10	15	25	1	0
		37	Location (central area, touristic area) / Locație (centru, zonă turistică)	0	10	15	25	1.5	37.5
		38	Representative/particular shape of the roof / Formă reprezentativă/specifică a acoperișului	0	10	15	25	1	0
						IV URBAN.		67.5	
5%	SOCIAL ECONOMIC / SOCIO- ECONOMIC	39	Public/social functions / Funcțiuni publice/sociale	0	10	15	25	1.5	0
		40	Importance for the local community memory / Importanța pentru memoria colectivă locală	-5	10	15	25	1	-5
		41	Economic value / Valoare economică	0	10	15	25	1.5	15
		42	Cultural functions / Funcțiuni culturale	0	10	15	25	1.5	0
						IV SOC- ECON.		10	
						IV CULT		106.05	
Photo / Foto									

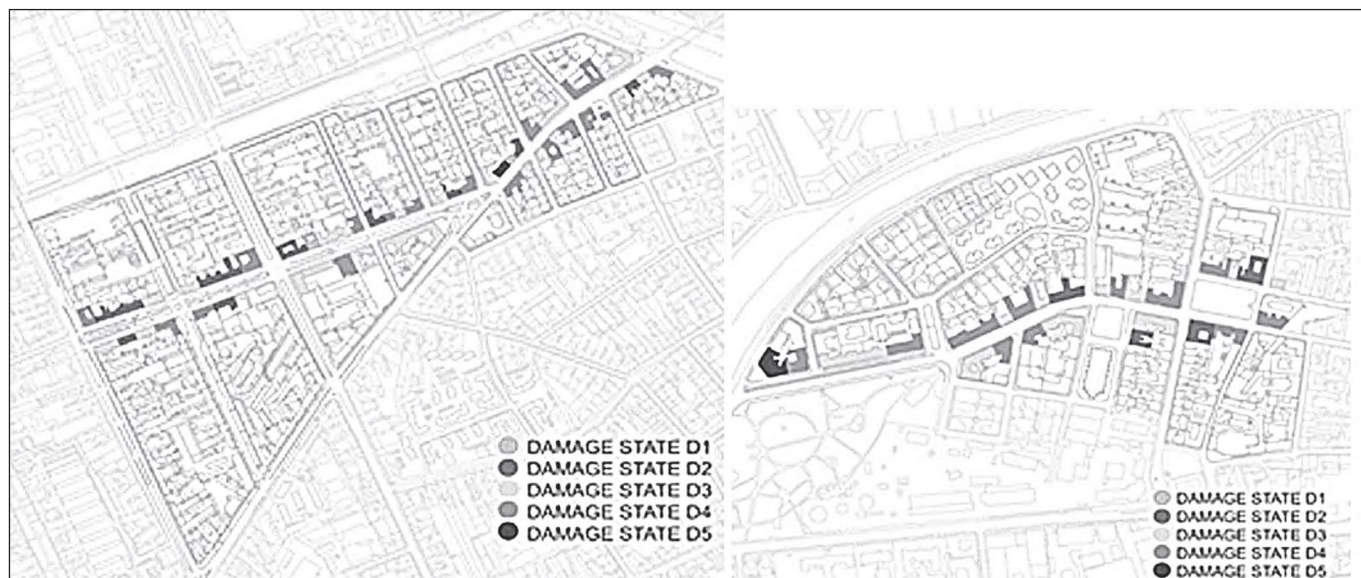
■ **Figure 5.** Example of the proposed vulnerability form
■ **Fig. 5.** Exemplu de formular de vulnerabilitate propus

urării și conservării patrimoniului, a cărui cadru conemporan prezintă multe provocări (MODENA et al. 2013).

În ciuda acestui fapt, evaluarea clădirilor de patrimoniu este legată în principal de caracteristicile lor structurale, lăsând la o parte orice alte caracteristici relevante. În același timp, s-a observat de asemenea că nivelul cunoștințelor referitoare la vulnerabilitatea arhitecturii istorice și a componentei sale culturale e insuficient dezvoltat, ceea ce subliniază nevoia, și implicit oportunitatea, de a efectua o cercetare amplă în domeniul evaluării clădirilor de patrimoniu pentru a asigura intervenții adecvate de restaurare și conservare a patrimoniului (LAGOMARSINO, CATTARI & CALDERINI 2012).

Efectul globalizării asupra societății tradiționale se manifestă prin uzura valorilor, identității și diversității culturale și istorice, amenințând întregul sistem de valori al comunităților locale. Clădirile de patrimoniu,

BENEDETTI & PETRINI (1984) and later developed by MAZZOLANI and FORMISANO (FORMISANO et al. 2010). Based on this original procedure, a vulnerability form was filled for more than 100 historical buildings in Timișoara. Moreover, a complete survey and site inspection were obtained for 25 representative buildings and numerical pushover analysis was performed, illustrating the expected typical failure mechanism for masonry buildings in the Banat seismic area (Figure 4). The results of the empirical and numerical methodologies were compared with the real damages observed after past earthquakes in the area. Based on the comparison, a new original empirical vulnerability assessment methodology is proposed, adapted for near-field areas. The results of the new methodology are validated through the procedure of relative displacement between levels. Moreover, a new vulnerability form with a total of 42 parameters is proposed to consider the cultural value of the investigated buildings. The proposed parameters are organised into four categories: structural, architectural-artistic, urban planning, and socio-economic (Figure 5). The new vulnerability curves influenced by the cultural value are proposed for the Timișoara historical districts, together with vulnerability maps. Based on



■ **Figure 6.** Seismic vulnerability maps influenced by cultural value in Timișoara
■ **Fig. 6.** Hărți de vulnerabilitate seismică influențată de valoarea culturală din Timișoara

visual inspection, the investigation form can be filled-in for any building, by estimating a vulnerability class from A to D (A being the ideal situation, D the worst-case scenario) for each parameter. Each parameter has a weight allocated to it, depending on the importance of such an element. In the end, the weighted sum of all parameters is calculated, determining the vulnerability index influenced by the cultural value. The index is later attenuated depending on the importance of the investigated site and following damage estimation formulas. The most probable damage state (from D1 to D5, D1 meaning very slight damage, while D5 meaning collapse) is predicted in case of a particular seismic scenario (ONESCU 2020).

A losses scenario is presented (Figure 6), evaluating the most critical points in case of an earthquake in the historical districts of Timișoara, and solutions to reduce the seismic risk at urban scale are proposed. In the end, the results are organised in a prioritisation list that helps the local authorities give funds for rehabilitation works to the most vulnerable historical buildings, in order to ensure the preservation of the city's heritage (ONESCU et al. 2019).

The vulnerability studies that were developed through the PROHITECH research contract, for historical structures, have highlighted the necessity to establish a quick and simplified seismic vulnerability assessment methodology for the Banat seismic area, which is characterised by shallow earthquakes. The need to develop such a vulnerability assessment methodology for historical buildings is underlined by a large number of such structures in the area and by the low financial possibility of the owners to perform detailed expert's reports, so the local authorities could determine a prioritisation list for the needed rehabilitation works (MOȘOARĂ et al. 2019).

4. Proposed methodology for the historic wooden roof structures

■ Besides the complex study of the seismic vulnerability of historic masonry structures, an equally extensive research was performed on historic wooden structures in Timișoara. This study brought forward a series of challenges caused by the fact that, besides being complex structural systems, influenced by the used material, state of conservation, and used details, they are also highly influencing the general appearance of the building.

peisajele culturale, siturile arheologice, zonele istorice urbane, podurile, tradițiile și meșteșugurile sunt supuse, în ultimii ani, mai multor deficiențe care sunt mai complexe și mai periculoase. Fenomenul dezvoltării ultra-rapide, fără a avea integrată o strategie clară, poate duce la degradarea sau chiar distrugerea valorilor culturale și tradiționale. Din această cauză, conservarea acestei resurse fragile și irecuperabile, atât tangibile cât și intangibile, este o necesitate, dar și o provocare, în interesul generațiilor actuale și viitoare (ONESCU et al. 2019).

2. Metodologii actuale de evaluare a vulnerabilităților

■ În acest moment, numeroase echipe multidisciplinare din întreaga lume investighează vulnerabilitatea clădirilor de patrimoniu, reprezentând școala italiană prin LAGOMARSINO et al. (2011), MAZZOLANI et al. (2010), MODENA et al. (2013), D'AYALA & LAGOMARSINO (2015), școala portugheză prin LOURENÇO & KARANIKOLOUDIS (2019) și alții. În același timp, în ceea ce privește evaluarea șarpantelor istorice din lemn, echipele multidisciplinare ale diferitelor acțiuni COST (acțiunea COST IE0601, acțiunea COST E55 și acțiunea COST FP1101) s-au concentrat asupra dezvoltării ghidurilor și a procedurilor de evaluare care ar putea oferi informații despre structură, materialele sale și starea de conservare (FORMISANO et al. 2010).

Tema proiectului este dezbătută pe larg în importante reviste cu evaluare colegială și factor de impact și în diverse conferințe internaționale de renume, precum SAHC, PROHITECH, IB2MAC, ICSA, ICEFA și altele, ilustrând importanța și actualitatea subiectului. Rezultatele sunt legate de numeroase contracte de cercetare și proiecte multidisciplinare în domeniu, cum ar fi PERPETUATE (LAGOMARSINO et al. 2010), NIKER (University of Padua 2012), RISK-UE (MOROUX & LE BRUN 2006) și diverse acțiuni COST. În

ciuda numărului foarte mare de studii efectuate în domeniu, toate se concentrează pe componenta structurală și foarte puțin pe cea culturală, subliniind oportunitatea subiectului proiectului de cercetare propus. Metodologiile existente trebuie adaptate particularităților fiecărui amplasament. Adaptarea este posibilă pe baza analizei numerice și a comparației cu efectele cutremurelor din trecut.

3. Metodologia propusă pentru clădirile istorice din zidărie din zona seismică Banat

Acest proiect de cercetare prezintă propunerea unei noi metodologii de evaluare a vulnerabilității seismice, cu scopul principal de a fi implementată în cadrul analizei de risc seismic, a estimării daunelor și pierderilor și a politicilor de reducere a riscului. Metodologia propusă are avantajul principal de a fi rapidă și ușor de aplicat în evaluarea vulnerabilității clădirilor din zidărie la scară teritorială, în zonele de câmp apropiat. Zona studiată e reprezentată de cartierele istorice ale orașului Timișoara, ilustrat în fig. 1. Cele mai întâlnite valori arhitectural-artistice sunt prezentate în foto 1 și fig. 2 (ONESCU 2020).

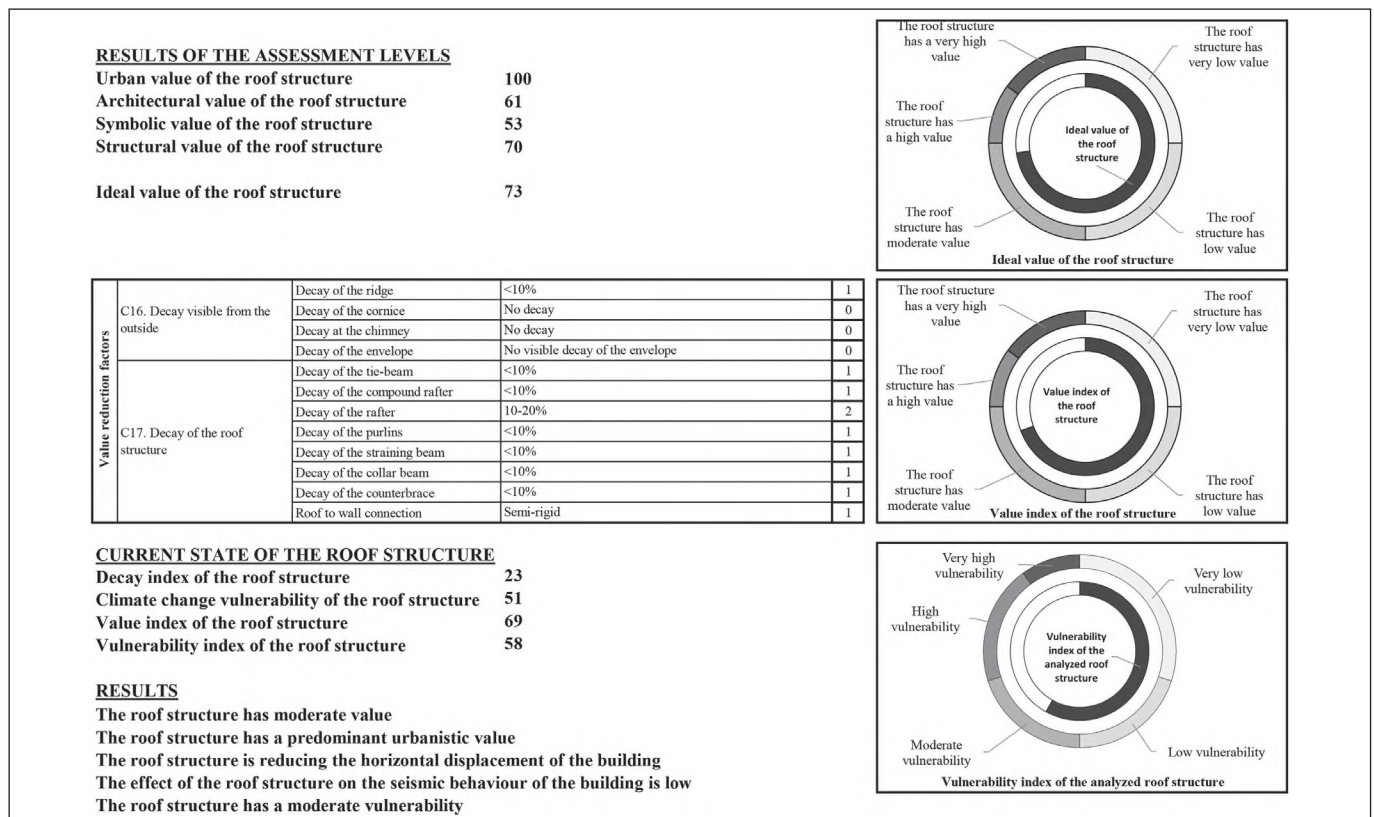
Metodologia de evaluare a vulnerabilității seismice propusă reprezintă o calibrare între rezultatele analizei numerice neliniare și răspunsul real al clădirilor la cutremurele din trecut (foto 2, fig. 3), care reprezintă laboratorul natural extraordinar din zona seismică a Banatului. Mai mult, oferă posibilitatea de a evalua posibilele pierderi culturale și de a determina într-un mod simplificat vulnerabi-

The need to develop a new, improved assessment methodology suitable for historic wooden roof structures emerged from the fact that most of the analysed assessment norms, standards, and principles are rather focusing on a monocriterial assessment. Despite this, ICOMOS recommendations (1964, 1999, 2003) highlight that a multidisciplinary and multicriterial assessment is necessary in order to understand the value and vulnerability of historic structures and be able to define comprehensive intervention strategies.

Therefore, the main conclusions of various assessment methodologies developed by different research groups or various COST actions, like IE0601 (UZZELLI & GRIL 2012; CRUZ et al. 2015), E55 (DIETSCH, KÖHLER & BRÜNINGHOFF 2010; DIETSCH & KREUZINGER 2011) and FP1101 (TANNERT et al. 2012; KASAL 2013; D'AYALA et al. 2014), were taken into consideration. All these studies focus on offering guidelines for professionals interested in the evaluation of historic wooden structures. Despite this, they mainly focus on the partial assessment of these structures, highlighting principles which have to be taken into consideration during on-site assessment (CRUZ et al. 2015; RIGGIO et al. 2018), defining the way the analysis of the mechanical properties of wooden elements should be performed (SOUSA et al. 2015; SOUSA, BRANCO & LOURENÇO 2016), and analysing their structural behaviour (GOCÁL et al. 2014; KRUŠINSKÝ et al. 2015; KRUŠINSKÝ, GOCÁL & CAPKOVÁ 2016). Moreover, it was observed that these guidelines are not looking at roof structures as part of a building and do not try to understand their value as part of a whole, but rather focus on the roof structure as an independent structural system.

Starting from these observations, a comprehensive study of roof structures in Timișoara was performed, with the main purpose of identifying features which could ultimately help better understand roofs and roof structures and propose a new assessment methodology which could be used to determine the value and vulnerability of historic wooden roof structures.

The study was performed in the three main protected historic urban areas of the city, namely the former fortress area of Timișoara, the Fabric and



■ **Figure 7.** Fragment of the assessment sheet, visual representation of the results and result analysis
 ■ **Fig. 7.** Fragment al fișei de evaluare, reprezentarea vizuală a rezultatelor și analiza rezultatelor



■ **Photo 2.** Vertical cracking in-plane failure mechanism observed at masonry buildings in the epicentre, Banat area
■ **Foto 2.** Mecanism de degradare cu fisuri verticale în plan, observat la clădiri din zidărie situate în epicentru, zona Banat

the Old Iosefin districts, areas which present a wide array of roof structure types that emerged in different time periods and in different contexts.

Their analysis offered a comprehensive insight concerning how context-related principles have influenced the appearance of roofs and ultimately the roof structure types used (Photo 3). It brought forward that besides being systems with a significant structural aesthetics, their shape and general layout was highly influenced by the architectural style of each period, the urban context in which the building was erected (KELLER & MOȘOARCĂ 2017), and the general beliefs of the traditional craftsmen, which used different types of ratios to define the positions of structural elements (ANDREESCU & KELLER 2017, 2019).

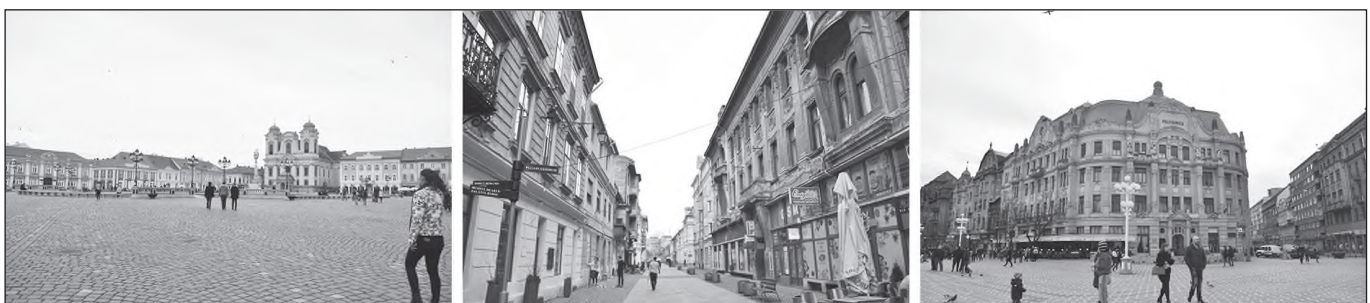
Besides these features which influence the general value of a roof structure, it was also observed that there are a series of threats which can affect their state of conservation. These threats are mainly related to changing meteorological factors like increased precipitation quantities, growing hail-stone size, or high wind velocities (MOȘOARCĂ et al. 2017; MOȘOARCĂ, KELLER & BOCAN 2019). All these threats have to be taken into consideration since they ultimately influence the vulnerability of the structure.

Starting from these observations, a multidisciplinary assessment methodology was proposed, taking into consideration all the features that were discovered to be relevant in defining the value and vulnerability of historic wooden roof structures (MOȘOARCĂ & KELLER 2018). Therefore, the procedure was organised into five categories, the first four determining the value of the roof structure from an urban, architectural, symbolic, and structural point of view, and the fifth one being relevant in determining the state of conservation of the structure and, ultimately, its vulnerability.

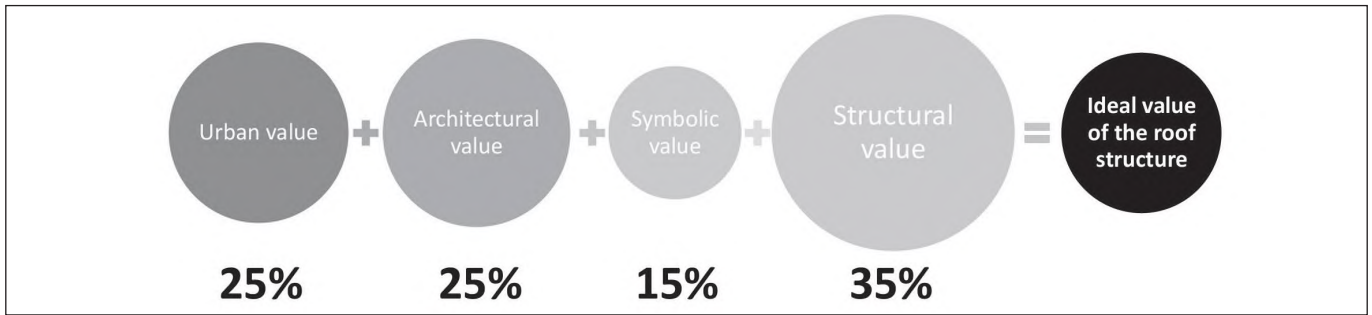
More than this, an extensive study was performed with the main purpose of identifying how characteristic roof structure types are influencing the seismic behaviour of historic masonry buildings. The main conclusions of the study have later on been included in the proposed assessment procedure, which, based on the roof structure type, its state of conservation, and roof to wall connection, offers preliminary information concerning the seismic vulnerability reduction capacity of the roof structure (KELLER et al. 2019).

litatea seismică influențată de valoarea culturală (GIONCU & MAZZOLANI 2011).

Ea reprezintă o metodologie hibridă care își propune să evalueze vulnerabilitatea seismică a întregii clădiri, luând în considerare și valoarea sa culturală. Baza acestei cercetări a fost reprezentată de metodologiile existente de evaluare a vulnerabilității, propuse de universități de prestigiu, precum Universitatea "Federico II" din Neapole, Universitatea din Padova și Universitatea din Genova pentru zona Italiei, o țară cu un număr mare de clădiri istorice și multe cutremure, multe dintre ele asemănătoare cutremurelor din Banat. Procedura empirică a fost propusă pentru prima dată de BENEDETTI & PETRINI (1984) și apoi dezvoltată de MAZZOLANI și FORMISANO (FORMISANO et al. 2010). Pe baza acestei proceduri originale, un formular de vulnerabilitate a fost întocmit pentru mai mult de 100 de clădiri istorice din Timișoara. Mai mult de atât, un relevu complet și o inspecție a amplasamentului au fost obținute pentru 25 de clădiri reprezentative, efectuându-se și o analiză numerică neliniară (de tip pushover), ilustrând mecanismul tipic de deteriorare așteptat pentru clădiri din zidărie aflate în zona seismică Banat (fig. 4). Rezultatele metodelor empirice și numerice au fost comparate cu daunele reale observate după cutremurele din trecut. Pe baza acestei comparații se propune o nouă metodă empirică originală pentru evaluarea vulnerabilității, adaptată zonelor de câmp apropiat. Rezultatele acestei metodologii sunt validate prin procedura deplasării relative de nivel. În plus, se propune un nou formular de vulnerabilitate cu un total de 42 de parametri pentru luarea în calcul a valorii culturale a clădirilor investigate. Parametrii propuși sunt încadrați

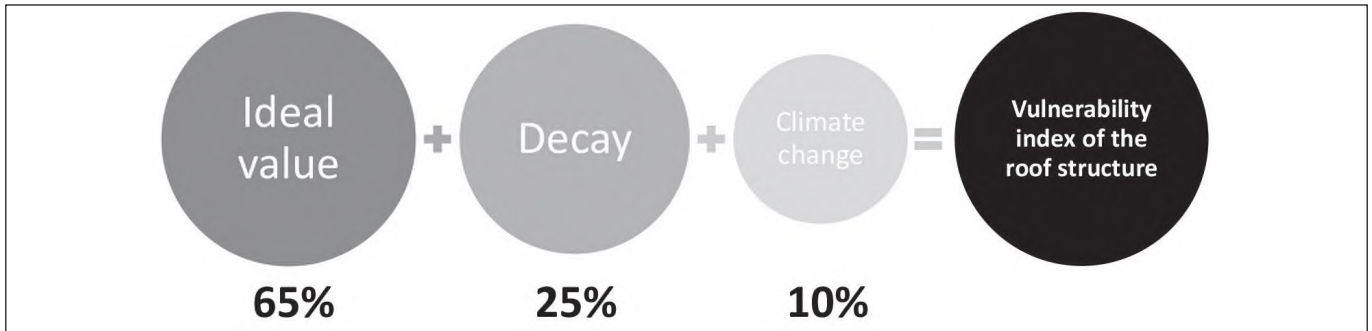


■ **Photo 3.** The role of the roof in defining urban space and the aesthetics of a building
■ **Foto 3.** Rolul acoperișului în definirea spațiului urban și a esteticii unei clădiri



■ **Figure 8.** The importance of each factor in determining the ideal value of a roof structure (criteria and weight)

■ **Fig. 8.** Importanța fiecărui factor în determinarea valorii ideale a unei șarpante (criterii și pondere)



■ **Figure 9.** Complexity of calculating the vulnerability of a roof structure

■ **Fig. 9.** Complexitatea calculului vulnerabilității unei șarpante

în patru categorii: structurale, arhitectural-artistic, urbanistice și socio-economice (fig. 5). Noile curbe de vulnerabilitate influențate de valoarea culturală sunt propuse pentru cartierele istorice ale Timișoarei, împreună cu hărți ale vulnerabilității. Pe baza unei inspecții vizuale, fișele de investigație pot fi completate pentru orice clădire, estimând o clasă de vulnerabilitate între A și D (A fiind situația ideală, D situația cea mai nefavorabilă) pentru fiecare parametru. Fiecare parametru are alocată o pondere, în funcție de importanța celui element. La final, se calculează suma ponderată a tuturor parametrilor, determinând indicele de vulnerabilitate influențat de valoarea culturală. Indicele este apoi atenuat în funcție de importanța amplasamentului investigat și în urma formulelor de estimare a deteriorărilor. Cea mai probabilă stare de degradare (de la D1 la D5, D1 constând în deteriorări minime, în timp de D5 înseamnă colaps) este prezisă în cazul unui anumit scenariu seismic (ONESCU 2020).

Este prezentat un scenariu de pierderi (fig. 6), care evaluează punctele critice în caz de seism în cartierele istorice ale Timișoarei, și se propun soluții pentru reducerea riscului seismic la scară urbană. În final, rezultatele sunt organizate într-o listă de priorități care ajută autoritățile locale să acorde fonduri pentru lucrări de reabilitarea celor mai vulnerabile clădiri istorice, pentru a asigura conservarea patrimoniului orașului (ONESCU et al. 2019).

Studiile de vulnerabilitate care au fost dezvoltate prin contractul de cercetare PRO-HITEC, pentru structuri istorice, au evidențiat nevoia de a dezvolta o metodologie rapidă și simplificată de evaluare a vulnerabilității seismice pentru zona Banatului, care este caracterizată de cutremure superficiale. Nevoia de a dezvolta asemenea metodologii de evaluare a vulnerabilității pentru clădiri istorice este sub-

In order to simplify the process and to make the procedure easy to use by both professionals and private owners of historic roof structures, for each considered category a series of relevant criteria was proposed and a list of possible answers to choose from offered, based on the observations made on site during the study. Subsequently, for each answer a certain score was assigned, based on the main conclusions of the research (Figure 7).

The procedure was organised so each criterion can obtain up to 100 points if the roof structure is highly valuable, or less, if it is severely decayed. Based on the answers chosen by the assessor, the procedure automatically offers basic information regarding the urban, architectural, symbolic, and structural value score of the roof structure, its decay index, and identifies the feature that predominantly defines its value. Subsequently, a series of equations were developed, which were used to calculate the ideal (without decay) and real (with decay) value of the structure and the vulnerability of the roof structure. Since the procedure was developed based on the need to perform a multidisciplinary assessment of the roof structure in order to calculate its general/ideal value, all four assessment criteria were taken into consideration, while the weight of each criterion was determined considering the involvement of each profession in the general analysis of a historic structure (Figure 8). Subsequently, in order to determine the vulnerability of a roof structure, its decay, its meteorological and climate change vulnerability, and its effect on the seismic behaviour of the building it belongs to were also taken into consideration.

In order to simplify the assessment process, an easy-to-use Excel form and a mobile app were developed, which include all the relevant data necessary for the assessment of historic wooden roof structures and offer, based on the selected answers, clear information concerning their value and vulnerability (KELLER 2020).

5. Conclusion

■ The project represents a first tool in the process of seismic vulnerability assessment and general assessment of historic roof structures and can be

applied by several categories of professionals, as well as by the owners of the buildings. The procedure can be easily understood and applied, so anyone can learn it in a short time. In the absence of financial funds and due to limitations of time to conduct detailed technical expert's reports for each individual building, the proposed methodologies represent a simple way to perform a preliminary, yet fast and cost-efficient assessment of a wider array of buildings, raise the awareness of the risk to which European centres are exposed, and prioritise future interventions and extensive structural analysis.

One of the main advantages of the proposed methodologies is that they can be applied in any European urban area by adapting the assessed criteria and corresponding answers. In the case of the seismic vulnerability assessment methodology, it can be easily applied in other areas with similar seismicity as the Banat region. Also, in case of a different type of seismicity, the procedure can be adapted and calibrated by investigating real damages after past earthquakes in the nearby area or by performing nonlinear analysis on some representative buildings in the investigated site. In the case of the assessment methodology for historic wooden roof structures, it can easily be adapted for roof structures of central European influence by altering some of the answers related to the context and architectural features. In the case of roof structures of Mediterranean influence, the procedure has to be adapted from multiple points of view. Still, in both cases the framework can be reused.

Bibliography/Bibliografie

- ANDREESCU, Ioan & Alexandra KELLER. 2017. Complex Features in Assessing Historic Roof Structures. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions, PRO-HITECH'17, Lisbon, 12-15 July 2017*, ed. Federico M. MAZZOLANI, António LAMAS, Luís CALADO, Jorge M. PROENÇA & Beatrice FAGGIANO, 365-366. IST Press: Lisbon.
- ANDREESCU, Ioan & Alexandra KELLER. 2019. Architecture as "Gesamtkunstwerk" – The Role of the Roof in Defining Architecture in the 19th and 20th Century in Timișoara. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 471 (7).
- BENEDETTI, D. & V. PETRINI. 1984. Sulla vulnerabilità di edifici in muratura: Proposta di un metodo di valutazione [On the Seismic Vulnerability of Masonry Buildings: an Evaluation Method]. *L'Industria delle Costruzioni* 149: 66-74.
- CRUZ, Helena, David YEOMANS, Eleftheria TSAKANIKI, Nicola MACCHIONI, Andre JORISSEN, Manuel TOUZA, Massimo MANNUCCI & Paulo B. LOURENÇO. 2015. Guidelines for On-site Assessment of Historic Timber Structures. *International Journal of Architectural Heritage* 9 (3): 277-289.
- D'AYALA, Dina, Jorge M. BRANCO, Mariapaola RIGGIO, Annette HARTE, Jochen KURZ & Thierry DESCAMPS. 2014. 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*, ed. Roberto MELI, Fernando PEÑA & Marcos CHÁVEZ. Mexico City, Mexico: Springer.
- D'AYALA, Dina & LAGOMARSINO, Sergio. 2015. Performance-based Assessment of Cultural Heritage Assets: Outcomes of the European FP7 PERPETUATE Project. *Bulletin of Earthquake Engineering* 13 (1): 5-12.
- DIETSCH, Philipp, Jochen KÖHLER & Heinz BRÜNINGHOFF, eds. 2010. *Assessment of Timber Structures: COST Action E55 "Modelling of the performance of timber structures"*. Aachen: Shaker Verlag.

liniată de un număr mare de clădiri istorice din zonă și de posibilitățile financiare reduse ale proprietarilor de a efectua expertize detaliate, astfel încât autoritățile să poată stabili o listă de priorități pentru lucrările de reabilitare necesare (MOȘOARCA et al. 2019).

4. Metodologia propusă pentru șarpantele istorice din lemn

■ În afara studiului complex referitor la vulnerabilitatea seismică a structurilor istorice din zidărie, a fost efectuată o cercetare la fel de aprofundată asupra structurilor istorice din lemn din Timișoara. Acest studiu a adus o serie de provocări cauzate de faptul că, pe lângă faptul că sunt sisteme structurale complexe, influențate de materialul folosit, starea de conservare și detaliile utilizate, acestea influențează foarte mult aspectul general al clădirii.

Nevoia de a dezvolta o metodologie nouă și îmbunătățită de evaluare, adecvată pentru șarpantele istorice din lemn, a apărut din faptul că majoritatea normelor, standardelor și principiilor de evaluare analizate se concentrează mai degrabă pe o evaluare monocriterială. În ciuda acestui fapt, recomandările/ Cartele ICOMOS (1964, 1999, 2003) subliniază că este necesară o evaluare multidisciplinară și multicriterială pentru a înțelege valoarea și vulnerabilitatea structurilor istorice și a putea defini strategii de intervenție cuprinzătoare.

Prin urmare, au fost luate în considerare principalele concluzii ale diferitelor metodologii de evaluare dezvoltate de diferite grupuri de cercetători sau diferite acțiuni COST, cum ar fi IE0601 (UZIELLI & GRIL 2012; CRUZ et al. 2015), E55 (DIETSCH, KÖHLER & BRÜNINGHOFF 2010; DIETSCH & KREUZINGER 2011) și FP1101 (TANNER et al. 2012; KASAL 2013; D'AYALA et al. 2014). Toate aceste studii se concentrează pe oferirea de linii directe pentru profesioniștii interesați de evaluarea structurilor istorice din lemn. În ciuda acestui fapt, ele se concentrează în principal pe evaluarea parțială a acestor structuri, subliniind principiile care trebuie luate în considerare în timpul evaluării la fața locului (CRUZ et al. 2015; RIGGIO et al. 2018), definind modul în care trebuie realizată analiza proprietăților mecanice ale elementelor din lemn (SOUSA et al. 2015; SOUSA, BRANCO & LOURENÇO 2016) și analizând comportamentul lor structural (GOCÁL et al. 2014; KRUŠINSKÝ et al. 2015; KRUŠINSKÝ, GOCÁL & CAPKOVÁ 2016). Mai mult, s-a observat că aceste linii directe nu privesc șarpanta ca parte a unei clădiri și nu încearcă să înțeleagă valoarea sa ca parte a unui întreg, ci mai degrabă se concentrează asupra șarpantei ca sistem structural independent.

Pornind de la aceste observații, a fost realizat un studiu detaliat al șarpantelor din Timișoara, cu scopul principal de a identifica caracteristici care ar putea ajuta în cele din urmă la o înțelegere mai bună a acoperișurilor și șarpantelor și la propunerea unei noi metodologii de evaluare care ar putea fi utilizată în stabilirea valorii și vulnerabilității șarpantelor istorice din lemn.

Studiul a fost realizat în cele mai importante trei zone urbane istorice protejate

ale oraşului, și anume zona fostei cetăți din Timișoara și cartierele Fabric și Vechiul Iosefin, zone care prezintă o gamă largă de tipuri de șarpante apărute în diferite perioade de timp și în contexte diferite.

Analiza lor a oferit o perspectivă detaliată cu privire la modul în care principiile legate de context au influențat aspectul acoperișurilor și, în cele din urmă, tipurile de șarpantă utilizate (foto 3). A dezlăuit că, pe lângă sistemele cu o estetică structurală semnificativă, forma și disponerea lor generală au fost puternic influențate de stilul arhitectural al fiecărei perioade, de contextul urban în care a fost construită clădirea (KELLER & MOȘOARCĂ 2017) și de credințele generale ale meșterului tradițional, care a folosit diferite tipuri de rapoarte pentru a defini poziția elementelor structurale (ANDREESCU & KELLER 2017, 2019).

Pe lângă aceste trăsături care influențează valoarea generală a unei șarpante, s-a observat că există totodată o serie de pericole care pot afecta starea lor de conservare. Aceste pericole sunt legate în principal de modificarea factorilor meteorologici, cum ar fi cantitățile mărite de precipitații, dimensiunea în creștere a grindinei, sau viteza mare a vântului (MOȘOARCĂ et al. 2017; MOȘOARCĂ, KELLER & BOCAN 2019). Toate aceste pericole trebuie luate în considerare, deoarece influențează, în cele din urmă, vulnerabilitatea structurii.

O metodologie de evaluare multidisciplinară a fost propusă pornind de la aceste observații, luând în considerare toate caracteristicile relevante în definirea valorii și vulnerabilității șarpantelor istorice din lemn (MOȘOARCĂ & KELLER 2018). Prin urmare, procedura a fost organizată în cinci categorii, primele patru determinând valoarea șarpantei din punct de vedere urban, arhitectural, simbolic și structural, a cincea fiind relevantă pentru determinarea stării de conservare a structurii și, în final, a vulnerabilității ei.

În plus, a fost efectuat un studiu amplu cu scopul principal de a identifica modul în care tipurile de șarpante influențează comportamentul seismic al clădirilor istorice din zidărie. Principalele concluzii ale studiului au fost incluse ulterior în procedura de evaluare propusă, care, pe baza tipului de șarpantă, a stării sale de conservare și a legăturii dintre acoperiș și perete, oferă informații preliminare privind capacitatea șarpantei de reducere a vulnerabilității seismice (KELLER et al. 2019).

Pentru a simplifica procesul și pentru a face procedura ușor de utilizat atât de către profesioniști, cât și de către proprietarii șarpantelor istorice, pentru fiecare categorie considerată a fost propusă o serie de criterii relevante și oferită o listă de răspunsuri posibile, pe baza observațiilor realizate la fața locului în timpul studiului. Ulterior, pentru fiecare răspuns a fost atribuit un anumit scor, determinat pe baza principalelor concluzii ale cercetării (fig. 7).

Procedura a fost organizată în așa fel încât fiecare criteriu să poată obține până la 100 de puncte dacă șarpanta este extrem de valoroasă sau, în cazul factorilor de reducere a valorii, este grav degradată. Pe baza răspunsurilor alese de evaluator, procedura oferă automat informații de bază privind scorurile valorilor

- DIETSCH, Philipp & Heinrich KREUZINGER. 2011. Guideline on the Assessment of Timber Structures: Summary. *Engineering Structures* 33 (11): 2983-2986.
- FORMISANO, Antonio, Raffaele LANDOLFO, Federico M. MAZZOLANI & Gilda FLORIO. 2010. A Quick Methodology for Seismic Vulnerability Assessment of Historical Masonry Aggregates. COST Action C26: International Conference Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, September 16-18, University of Naples "Federico II", Naples, Italy.
- GIONCU, Victor & Federico M. MAZZOLANI. 2011. *Earthquake Engineering for Structural Design*. London: Spon Press.
- GOCÁL, Jozef, Peter KRUŠINSKÝ, Eva CAPKOVÁ & Miloš KEKELIAK. 2014. Geometric and Static Analysis of the Historical Truss in Village Belá Dulice. *Advanced Materials Research* 969: 199-207.
- ICOMOS. 1964. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (Venice Charter). Venice, Italy. https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf (accessed May 5, 2017).
- ICOMOS. 1999. Principles for the Preservation of Historic Timber Structures. Mexico. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/wood_e.pdf (accessed July 30, 2019).
- ICOMOS. 2003. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Victoria Falls, Zimbabwe.
- KASAL, Bohumil. 2013. Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures – COST FP1101. *Advanced Materials Research* 778: 1037-1040.
- KELLER, Alexandra & Marius MOȘOARCĂ. 2017. A complex assessment of Historic Roof Structures. In *Proceedings of the 4th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, SHATIS'17*, ed. E. Görün ARUN, 157-168. Hasan Kalyoncu University.
- KELLER, Alexandra, Maria A. PARISI, Eleftheria TSAKANIKI & Marius MOȘOARCĂ. 2019. Influence of Historic Roof Structures on the Seismic Behaviour of Masonry Structures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings*, 174 (1): 443-456.
- KELLER, Alexandra. 2020. A Complex Assessment of Historic Roof Structures. Ph.D. thesis, Politehnica University of Timișoara.
- KRUŠINSKÝ, Peter, Eva CAPKOVÁ, Jozef GOCÁL & Michaela HOLEŠOVÁ. 2015. 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* 11 (2): 136-141.
- KRUŠINSKÝ, Peter, Jozef GOCÁL & Eva CAPKOVÁ. 2016. Static Analysis of Historical Trusses. *Wiadomości Konserwatorskie* 47: 120-127.
- LAGOMARSINO, Sergio, Hormoz MODARESSI, Kiriazis PITILAKIS, Vlatko BOSILJKOV, Chiara CALDERINI, Dina D'AYALA, Djillali BENOVAR & Serena CATTARI. 2010. PERPETUATE Project: the Proposal of a Performance-based Approach to Earthquake Protection of Cultural Heritage. *Advanced Materials Research* 133-134: 1119-1124.
- LAGOMARSINO, Sergio, Nivine ABBAS, Chiara CALDERINI, Serena CATTARI, Michela ROSSI, Riccardo G. CORRADINI, Giuseppe MARGHELLA, Fabio MATTOLIN & Valerio PIOVANELLO. 2011. Classification of Cultural Heritage Assets and Seismic Damage Variables for the Identification of Performance Levels. *WIT Transactions on the Built Environment* 118: 697-708.
- LAGOMARSINO, Sergio, Serena CATTARI & Chiara CALDERINI. 2012. DELIVERABLE D41 European Guidelines for the Seismic Preservation of Cultural Heritage Assets, PERPETUATE Project: Performance-Based Approach to Earthquake Protection of Cultural Heritage.
- LOURENÇO, Paulo B. & Giorgos KARANIKOLOUDIS. 2019. Seismic Behavior and Assessment of Masonry Heritage Structures. Needs in Engineering Judgement and Education. *RILEM Technical Letters* 3: 114-120.

- MAZZOLANI, Federico M., Beatrice FAGGIANO, Antonio FORMISANO, Daniela DE GREGORIO, Giulio ZUCCARO, Maurizio INDIRLI & Ruben P. BORG. 2010. Survey Activity for the Volcanic Vulnerability Assessment in the Vesuvian Area: the 'Quick' Methodology and the Survey Form. COST Action C26: International Conference Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events, September 16-18, University of Naples "Federico II", Naples, Italy.
- MODENA, Claudio, Francesca DA PORTO, Maria R. VALUZZI & Marco MUNARI. 2013. Criteria and Technologies for the Structural Repair and Strengthening of Architectural Heritage. International Conference on Rehabilitation and Restoration of Structures, February 13-16, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India.
- MOROUX, Pierre & Benoît LE BRUN. 2006. Presentation of RISK-UE Project. *Bulletin of Earthquake Engineering* 4 (4): 323-339.
- MOȘOARCĂ, Marius, Alexandra KELLER, Cristian PETRUS & Andrei RACOLȚA. 2017. Failure Analysis of Historical Buildings Due to Climate Change. *Engineering Failure Analysis* 82: 666-680.
- MOȘOARCĂ, Marius & Alexandra KELLER. 2018. A Complex Assessment Methodology and Procedure for Historic Roof Structures. *International Journal of Architectural Heritage* 12 (4): 578-598.
- MOȘOARCĂ, Marius, Alexandra KELLER & Cătălina BOCAN. 2019. Failure Analysis of Church Towers and Roof Structures Due to High Wind Velocities. *Engineering Failure Analysis* 100: 76-87.
- MOȘOARCĂ, Marius, Iasmina ONESCU, Eugen ONESCU, Bianca AZAP, Nicola CHIEFFO & Mirela SZITAR-SIRBU. 2019. Seismic Vulnerability Assessment for the Historical Areas of the Timișoara City, Romania. *Engineering Failure Analysis* 101: 86-112.
- ONESCU, Iasmina, Marius MOȘOARCĂ, Bianca AZAP & Eugen ONESCU. 2019. Seismic Losses Scenario for Cultural Promenade in Timișoara Capital of Culture 2021, Romania. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 471.
- ONESCU, Iasmina. 2020. Seismic Vulnerability Assessment of Historical Urban Centers. Ph.D. thesis, Politehnica University of Timișoara.
- RIGGIO, Mariapaola, Dina D'AYALA, Maria A. PARISI & Chiara TARDINI. 2018. Assessment of Heritage Timber Structures: Review of Standards, Guidelines and Procedures. *Journal of Cultural Heritage* 31: 220-235.
- SOUSA, Hélder S., José S. MACHADO, Jorge M. BRANCO & Paulo B. LOURENÇO. 2015. Onsite Assessment of Structural Timber Members by Means of Hierarchical Models and Probabilistic Methods. *Construction and Building Materials* 101: 1188-1196.
- SOUSA, Hélder S., Jorge M. BRANCO & Paulo B. LOURENÇO. 2016. A Holistic Methodology for Probabilistic Safety Assessment of Timber Elements Combining Onsite and Laboratory Data. *International Journal of Architectural Heritage* 10 (5): 526-538.
- TANNERT, Thomas, Philipp DIETSCH, Clara BERTOLINI CESTARI & Bohumil KASAL. 2012. COST Action FP1101 "Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures". In *World Conference on Timber Engineering 2012 (WCTE 2012)*. Auckland, New Zealand, 15-19 July 2012, ed. Pierre QUENNEVILLE, 515-519. Red Hook, NY: Curran Associates, Inc.
- University of Padua. 2012. 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.
- UZIELLI, Luca & Joseph GRIL. 2012. Wood Science and Conservation: Activities and Achievements of COST Action IE0601. *Journal of Cultural Heritage* 13: 1-5.

urbane, arhitecturale, simbolice și structurale ale șarpantei, indicele de degradare și identifică caracteristica definitorie a valorii sale. Ulterior, au fost dezvoltate o serie de ecuații care au fost folosite pentru a calcula valoarea ideală (fără degradare) și reală (cu degradare) a structurii și vulnerabilitatea șarpantei. Deoarece procedura a fost dezvoltată pe baza nevoii de a efectua o evaluare multidisciplinară a șarpantei, pentru a calcula valoarea generală/ideală a acesteia, au fost luate în considerare toate cele patru criterii de evaluare, în timp ce ponderea fiecărui criteriu a fost determinată luând în considerare implicarea fiecărei profesii în analiza generală a unei structuri istorice (fig. 8). Ulterior, pentru a determina vulnerabilitatea unei șarpante, au fost luate în considerare și degradarea acesteia, vulnerabilitatea meteorologică și la schimbările climatice și efectul asupra comportamentului seismic al clădirii din care face parte.

Pentru a simplifica procesul de evaluare, s-a creat un formular Excel ușor de utilizat și o aplicație mobilă, care includ toate datele relevante necesare pentru evaluarea șarpantelor istorice din lemn și oferă, pe baza răspunsurilor selectate, informații clare privind valoarea și vulnerabilitatea acestora (KELLER 2020).

5. Concluzii

■ Acest proiect reprezintă un prim instrument în procesul de evaluare a vulnerabilității seismice și evaluare generală a șarpantelor istorice și poate fi aplicat de mai multe categorii de profesioniști, precum și de către proprietarii clădirilor. Procedura poate fi ușor înțeleasă și aplicată, astfel încât oricine o poate învăța într-un timp scurt. În absența fondurilor financiare și datorită limitărilor de timp pentru efectuarea rapoartelor de expertiză tehnică detaliate pentru fiecare clădire individuală, metodologiile propuse reprezintă o modalitate simplă de a efectua o evaluare preliminară, dar rapidă și rentabilă, a unei game mai largi de clădiri și de a crește gradul de conștientizare a riscului la care sunt expuse centrele europene, prioritizând intervențiile viitoare și analiza structurală extinsă.

Unul dintre principalele avantaje ale metodologiilor propuse este că pot fi aplicate în orice zonă urbană europeană prin adaptarea criteriilor evaluate și a răspunsurilor corespunzătoare. În cazul metodologiei de evaluare a vulnerabilității seismice, aceasta poate fi aplicată cu ușurință în alte zone cu seismicitate similară cu cea din regiunea Banatului. De asemenea, în cazul unui alt tip de seismicitate, procedura poate fi adaptată și calibrată investigând daune reale după cutremure din trecut în zonă sau efectuând analize neliniare pe unele clădiri reprezentative din locul investigat. În cazul metodologiei de evaluare pentru șarpantele istorice din lemn, aceasta poate fi ușor adaptată pentru șarpantele cu influență central-europeană, prin adaptarea unora dintre răspunsurile legate de context și de caracteristicile arhitecturale. În cazul șarpantelor cu influență mediteraneană, procedura trebuie adaptată din mai multe puncte de vedere. Totuși, în ambele cazuri, cadrul poate fi reutilizat.