

# EVALUAREA RISCULUI SEISMIC LOCAL. STUDIU DE CAZ: RAIONUL UNGHENI, REPUBLICA MOLDOVA

CZU: 550.34(478)

DOI: <https://doi.org/10.52673/18570461.25.1-76.04>

Doctor habilitat în științe fizice și matematice, conferențiar cercetător **Vasile ALCAZ**

E-mail: [alcazv@gmail.com](mailto:alcazv@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6898-8663>

Doctor în științe geologie și mineralogie, conferențiar cercetător **Igor NICOARA**

E-mail: [igor.nicoara@sti.usm.md](mailto:igor.nicoara@sti.usm.md)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9629-7483>

**Eugen ISICICO**

E-mail: [evgheni.isicico@sti.usm.md](mailto:evgheni.isicico@sti.usm.md)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3610-6233>

Doctorand **Sergiu TROIAN**

E-mail: [troian.sergiu@sti.usm.md](mailto:troian.sergiu@sti.usm.md)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2531-2815>

Institutul de Geologie și Seismologie, USM

## LOCAL-SCALE SEISMIC RISK ASSESSMENT. CASE STUDY: UNGHENI DISTRICT, REPUBLIC OF MOLDOVA

**Summary.** The purpose of this article is to present the methodology for assessing seismic risk at the local level, using the Ungheni district of the Republic of Moldova as a case study. The Vrancea earthquake, with a magnitude of  $M_w=7.9$  and a return period of 475 years, was chosen as the design seismic action. First, a specified earthquake scenario was analyzed using a special macroseismic attenuation equation, which allowed estimating the likely intensity distribution in the study area. Then, based on statistical data and field assessments, the vulnerability of buildings and the seismic risk for the Ungheni city and the neighboring villages were estimated.

**Keywords:** earthquake, hazard, risk, vulnerability, damages.

**Rezumat.** Articolul prezintă metodologia de evaluare a riscului seismic la nivel local, având ca studiu de caz raionul Ungheni din Republica Moldova. Seismul de proiect considerat este cutremurul vrâncean, cu o magnitudine de  $M_w = 7,9$  și o perioadă de revenire de 475 de ani. Utilizând o ecuație specială de atenuare macroseismică, a fost analizat scenariul seismului specificat, ceea ce a permis estimarea distribuției probabile a intensității în zona de studiu. Pe baza datelor statistice și a evaluărilor de teren, au fost determinate vulnerabilitatea clădirilor și riscul seismic pentru orașul Ungheni și localitățile învecinate.

**Cuvinte-cheie:** cutremur, hazard, risc, vulnerabilitate, daune.

## INTRODUCERE

Teritoriul Republicii Moldova este supus impactului cutremurelor generate de zona seismică Vrancea, România. Experiența cutremurelor majore din secolul al XX-lea demonstrează că ele pot provoca daune materiale și pierderi umane semnificative în majoritatea localităților din țară. Din acest motiv, dezvoltarea metodelor de evaluare a riscului seismic la nivel local (raioane, sate) este esențială.

Lucrarea de față descrie metodologia utilizată și prezintă rezultatele evaluării riscului seismic în raionul Ungheni, atât în oraș, cât și în satele învecinate. Este bine cunoscut faptul că victimele unui cutremur nu sunt cauzate direct de mișcarea seismică, indiferent

de intensitatea acesteia, ci de colapsul clădirilor care nu pot rezista impactului. Reducerea pagubelor provocate de cutremure este posibilă doar printr-un studiu complex al impactului seismic probabil și al vulnerabilității clădirilor din zonele populate. Astfel de analize se încadrează în domeniul evaluării riscului seismic.

## DATE ȘI METODE

**1. Particularitățile geotehnice ale teritoriului raionului Ungheni** sunt determinate de geomorfologia acestuia, structura geologică, compoziția litologică și condițiile hidrogeologice.

Lunca râului Prut și a pâraielor din zona de studiu se caracterizează printr-o fragmentare intensă a

reliefului. Pantele abrupte, râpele și orașele constituie terenuri cu un risc sporit de alunecări de teren în cazul unui cutremur puternic.

Partea superioară a secțiunii geologice este alcătuită din roci nisipo-argiloase de vârstă cuaternară. Suprafețele de cumpănă și pantele văii râului Prut, precum și ale afluenților săi, sunt formate din nisipuri argiloase loessoide, argile nisipoase, nisipuri microgranulare și pulberoase, alături de argile cuaternare. Rocile loessoide (nisip argilos, argilă nisipoasă) prezintă proprietăți de tasare (tipurile I și II), ceea ce face ca aceste terenuri să fie considerate doar condiționat favorabile pentru construcții. În urma unor cutremure puternice, pot apărea deformații remanente, precum tasări locale seismice.

În majoritatea teritoriului, nivelul apelor freactice se află la adâncimi mai mari de 10 metri. Totuși, în zonele joase de pe pante și în valea râului Prut și a pâraielor sale, apele subterane pot fi întâlnite la adâncimi mai mici de 5 metri față de suprafață. Prezența unor depozite de soluri nisipoase saturate cu apă în lunca râului Prut favorizează fenomenul de lichefiere în cazul unor solicitări seismice puternice.

**2. Riscul seismic** în cadrul prezentei lucrări este definit ca probabilitatea daunelor socio-economice cauzate de cutremurele posibile, în concordanță cu hazardul seismic al teritoriului ( $H$ ) și vulnerabilitatea mediului construit ( $V$ ):

$$R = H * V \quad (1)$$

Este important de menționat că unul dintre factorii care determină hazardul seismic într-un anumit teritoriu constituie structura sa geotehnică. Mai sus a fost prezentată o sinteză a structurii geotehnice a raionului Ungheni. Influența condițiilor locale de teren ale Republicii Moldova (umiditatea, capacitatea de densificare, relieful etc.) asupra parametrilor oscilațiilor seismice și, implicit, asupra deteriorărilor clădirilor și a riscului seismic, a fost analizată detaliat [1]. Astfel, pentru a calcula hazardul seismic, ținând cont și de condițiile locale (de amplasament), este necesară realizarea unei zonări detaliate a condițiilor geotehnice, urmată de o microzonare seismică a teritoriului respectiv. Asemenea calcule ar putea fi efectuate doar în cadrul unui studiu distinct, care ar necesita timp considerabil și resurse financiare substanțiale. Pornind de la faptul că lucrarea de față reprezintă o primă încercare de evaluare a riscului seismic pentru acest teritoriu, s-a decis ca analiza să se limiteze doar la hazardul seismic, determinat de sursa seismică.

Parametrii care caracterizează hazardul seismic includ impactul seismic maxim, care apare cu o anumită probabilitate într-o zonă specifică, într-un anumit interval de timp. Riscul seismic, fiind o categorie

spațio-temporală [2], este, de obicei, evaluat pentru zone specifice și perioade de recurență bine definite. Primul pas în studiile de hazard seismic pentru orice teritoriu este selectarea formatului pentru valorile prevăzute. Evaluarea hazardului seismic în acest studiu se bazează pe cerințele Eurocodului 8 [3]. Această alegere este determinată, în primul rând, de fiabilitatea sporită a valorilor estimate prin aplicarea Eurocodului 8, care asigură o probabilitate de depășire a intensității prognozate de cel mult 10% într-o perioadă de 50 de ani. În plus, Republica Moldova este, în prezent, candidată la aderarea la Uniunea Europeană, ceea ce face ca adoptarea standardului Eurocod 8 să fie deosebit de relevantă și justificată.

Conform Eurocodului 8, perioada medie de revenire  $T = 475$  de ani asigură că probabilitatea impacturilor de proiectare nu depășește 10% la 50 de ani. Conform pre-normativului Uniunii Europene Eurocod 8, perioadei de recurență de 475 de ani (care asigură probabilitatea de depășire de cel mult 10%, menționată mai sus), îi corespund cutremure de adâncime din zona seismică Vrancea, cu magnitudinea  $M_w = 7,9$ . Distribuția intensității  $I$  a cutremurelor din Vrancea poate fi descrisă în funcție de magnitudinea  $M$  a cutremurului, logaritmul distanței hipocentrale  $R$  și factorul de elipticitate izoseismală  $\gamma$ . Primii doi parametri sunt esențiali în descrierea oricărui câmp macroseismic, iar ultimul reflectă specificitatea cutremurelor din Vrancea, care prezintă o elipticitate izoseismală pronunțată. Parametrul  $\gamma$  stabilește poziția punctului de observație în raport cu poziția medie a axei elipsei.

Modelul matematic al câmpului de intensitate, bazat pe datele macroseismice ale cutremurelor din 10 noiembrie 1940 și 30 august 1986, care, din cauza direcției de rupere nord-estică a faliei focale, au produs cele mai mari efecte macroseismice pe teritoriul Republicii Moldova și în partea de est a României, poate fi exprimat prin următoarea ecuație:

$$I = 1.084 M_w - 6.85 \lg R + 1.54 \cos \gamma + 13.7 \pm 0.35 \quad (2)$$

unde:

$M_w$  – magnitudinea moment;

$R$  – distanța hipocentrală;

$\gamma$  – unghiul dintre azimutul punctului de observație și azimutul axa majoră a elipsei ( $\theta_0 = 54^\circ \pm 2^\circ$  [4]).

Ecuația câmpului macroseismic  $I$  a fost obținută prin aplicarea metodei regresiei multiple. Drept date inițiale pentru definirea ecuației (2) au fost utilizate informațiile de arhivă referitoare la intensitatea real observată a cutremurelor, colectate pentru un anumit număr de localități din Republica Moldova, România și Ucraina, concentrate într-un azimut de  $0-110^\circ$  față de sursa cutremurului. În total, au fost utilizate 279

**de puncte** pentru stabilirea câmpului de corelare: **211 pentru cutremurul din anul 1986 și 68 pentru cel din 1940.**

Spre deosebire de o serie de lucrări anterioare, în care au fost propuse modele generale de atenuare a câmpului de intensitate al cutremurelor din Vrancea [4-7], ecuația (2) a fost derivată pentru a oferi cea mai bună aproximare a câmpului de intensitate al cutremurelor cu o direcție de rupere nord-estică a faliei focale pe teritoriul Republicii Moldova. Acest fapt permite calculul valorii intensității seismice în orice punct din Republica Moldova pentru o magnitudine dată. Calculele demonstrează că în localitățile raionului Ungheni, în cazul unui cutremur-scenariu cu magnitudinea  $M_w = 7,9$ , valorile intensității seismice vor fi cuprinse între **7 și 8 grade** pe scara seismică **MSK-64**, iar intensitatea medie la sol va fi de **7,5 grade**. De asemenea, accelerațiile prognozate pentru zonele populate din regiune vor varia între 0,18 și 0,24 g (unde g reprezintă accelerația căderii libere).

Un alt element fundamental în definirea riscului seismic este **vulnerabilitatea seismică V** a fondului construit. Vulnerabilitatea asigură legătura dintre intensitatea seismică de pe amplasament și efectele corespunzătoare asupra elementelor structurale și nestructurale expuse [8]. În acest context, vulnerabilitatea se definește ca fiind capacitatea unei structuri de a pierde indicii de fiabilitate și siguranță în urma unei solicitări seismice.

Funcțiile de vulnerabilitate pot fi generate utilizând metode analitice, empirice, expertize, teste experimentale sau abordări hibride [9; 10]. Abordarea empirică, folosită și în această lucrare, se bazează pe analiza datelor observate privind daunele colectate din studiile efectuate după cutremure [11]. Pentru a stabili funcțiile de vulnerabilitate într-o anumită regiune, sunt studiate atât consecințele ingineresti ale cu-

tremurelor puternice locale și regionale, cât și datele statistice globale privind daunele produse asupra diferitelor clase de clădiri amplasate în condiții seismo-geologice similare. Funcțiile de vulnerabilitate reflectă, în primul rând, **practicile de construcție** specifice regiunii analizate. Ca exemplu, mai jos sunt prezentate funcțiile de vulnerabilitate pentru clădirile din piatră de tip B care sunt larg răspândite în fondul construit al raionului Ungheni. Aceste funcții au fost obținute pe baza analizei datelor macroseismice pentru un interval de intensitate cuprins între 5 și 8 grade MSK. Pentru intensități mai mari, valorile vulnerabilității au fost determinate prin extrapolare. Funcțiile de vulnerabilitate mediate sunt prezentate în Tabelul 1, fiind indicată și probabilitatea daunelor în raport cu diferite intensități ale cutremurului.

Scala seismică MSK-64 conține următoarele șase gradații ale deteriorărilor posibile:

**0** – absența oricăror deteriorări;

**1** – deteriorări ușoare: fisuri subțiri în tencuială, bucăți mici de tencuială care se desprind;

**2** – deteriorări moderate: mici fisuri în pereți, bucăți relativ mari de tencuială care se desprind, căderea țiglelor de pe acoperiș, crăpături în coșurile de fum, căderea unor părți ale coșurilor;

**3** – deteriorări grave: fisuri mari și adânci în pereți, coșuri de fum căzute;

**4** – distrugeri: prăbușirea pereților interiori și a pereților de umplere ai ramei (carcasa) clădirii, spargerea pereților, prăbușirea unor părți ale clădirii, distrugerea conexiunilor dintre elementele structurale;

**5** – distrugerea completă a clădirii.

Una dintre cele mai importante etape în evaluarea vulnerabilității este clasificarea clădirilor în funcție de gradul de răspuns la un anumit impact seismic, adică determinarea tipului lor de rezistență seismică. Această clasificare se realizează conform scalei de intensitate

Tabelul 1

**Funcții de vulnerabilitate a clădirilor din piatră ( $d_0$ - $d_5$  – grade de avariere conform scalei MSK-64)**

I, grade MSK	Probabilitatea de deteriorare, %					
	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$
4	100	0	0	0	0	0
5	90	10	0	0	0	0
6	40	50	10	0	0	0
7	5	35	50	10	0	0
8	0	5	35	50	10	0
9	0	0	5	35	50	10
10	0	0	0	5	35	60
11	0	0	0	0	5	95
12	0	0	0	0	0	100

Tabelul 2

## Informații privind fondul construit și populația regiunii Ungheni

Aria, km <sup>2</sup>	Număr comune	Număr localități	Număr gospodării	Număr locuitori	Gospodării conform tipului de rezistență seismică, %			Populația conform tipului de clădiri locuite, %		
					A	B	C	A	B	C
1.083	33	73	33.021	101.072	80,9	10,2	8,9	75	9	16

seismică MSK-64, care prevede trei tipuri de rezistență seismică a obiectelor:

**A** – clădiri construite din cărămidă brută, lut cu paie, cilindri de lut, piatră ruptă, panouri de lut;

**B** – clădiri din lemn, moloz și beton de zgură, beton fără armături, cărămidă, calcar fără întărire din beton;

**C** – clădiri realizate în serie standard și proiecte individuale cu armare seismică, din cărămidă, piatră, precum și blocuri și panouri de beton, beton monolit armat.

În cadrul acestei lucrări, a fost realizată clasificarea clădirilor din raionul Ungheni în funcție de tipurile de rezistență seismică. Informațiile referitoare la potențialul infrastructural și uman al raionului Ungheni, conform ultimului recensământ al populației din 2014 [12], sunt prezentate în Tabelul 2.

După cum se observă, în fondul construit al raionului Ungheni predomină clădirile cu un etaj de tip A. Statistica privind rezistența la seism a infrastructurii este îmbunătățită în mare măsură datorită orașului Ungheni, unde procentul clădirilor de tip B și C este considerabil mai mare, iar aproximativ 50% dintre locuitori trăiesc în clădiri rezistente la cutremure, de tip C. Cunoscând intensitatea impactului seismic, infrastructura expusă și vulnerabilitatea acesteia, a

fost estimat riscul de deteriorare în cazul cutremurului-scenariu menționat ( $M_w = 7,9$ ).

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Valoarea probabilistică a riscului seismic, exprimată în forma clasică prin expresia (1), este adesea abstractă și dificil de înțeles pentru majoritatea utilizatorilor. În viața cotidiană este mult mai convenabil să operăm nu cu probabilități matematice abstracte, ci cu indicatori tangibili și vizibili în fața unui anumit impact seismic, cum ar fi: pagubele posibile, volumul distrugerilor posibile, numărul de rezidenți afectați etc. În această lucrare, riscul seismic este determinat sub forma unei prognoze a pagubelor medii și a numărului de clădiri distruse în fiecare dintre localitățile raionului. De asemenea, s-a încercat estimarea prejudiciului social cauzat de impactul menționat mai sus. Astfel, în zonele populate, aplicând matricele de vulnerabilitate elaborate, s-a calculat gradul mediu de deteriorare a construcțiilor în cazul cutremurului-scenariu conform expresiei (3):

$$\bar{d} = \sum_i d_i n_i / \sum_i n_i, \quad (3)$$

unde  $d_i$  este gradul de deteriorare a clădirilor;  $n_i$  – numărul clădirilor de același tip cu gradul de avariere  $d_i$ .

Tabelul 3

## Daune posibile în gospodăriile raionului Ungheni la un cutremur-scenariu

Nr.	Comune	Gradul mediu de avariere	Numărul de clădiri distruse	Numărul de răniți	Numărul de decese
1.	or. Ungheni	2,2	801	275	11
2.	Agronomovca	2,6	37	4	0
3.	Alexeevca	2,7	58	12	0
4.	Boghenii Noi	2,5	52	6	0
5.	Buciumeni	2,6	41	6	0
6.	Bumbăta	2,6	68	10	0
7.	Bușila	2,5	54	8	0
8.	Cetireni	2,7	110	21	1
9.	Chirileni	2,6	55	8	0
10.	Cioropcani	2,5	82	11	0
11.	Condratești	2,5	38	5	0
12.	Cornești	2,4	72	10	0

13.	Cornești	2,5	61	8	0
14.	Cornova	2,5	35	4	0
15.	Costuleni	2,9	244	76	4
16.	Florițoaia Veche	2,8	129	36	2
17.	Hircești	2,5	47	8	0
18.	Măcărești	2,9	301	99	6
19.	Măgurele	2,4	26	3	0
20.	Manoilești	2,8	147	37	1
21.	Morenii Noi	2,9	81	29	1
22.	Năpădeni	2,5	28	4	0
23.	Negurenii Vechi	2,5	63	6	0
24.	Petrești	2,7	165	23	0
25.	Pârlița	2,6	163	27	0
26.	Rădenii Vechi	2,6	85	8	0
27.	Sculeni	2,7	198	26	0
28.	Sinești	2,5	33	4	0
29.	Tescureni	2,5	29	4	0
30.	Todirești	2,6	114	18	0
31.	Untești	2,7	77	18	1
32.	Valea Mare	2,8	235	59	3
33.	Zagarancea	2,7	182	37	2
	<b>Total pe raion</b>	<b>2,6</b>	<b>3.910</b>	<b>910</b>	<b>32</b>

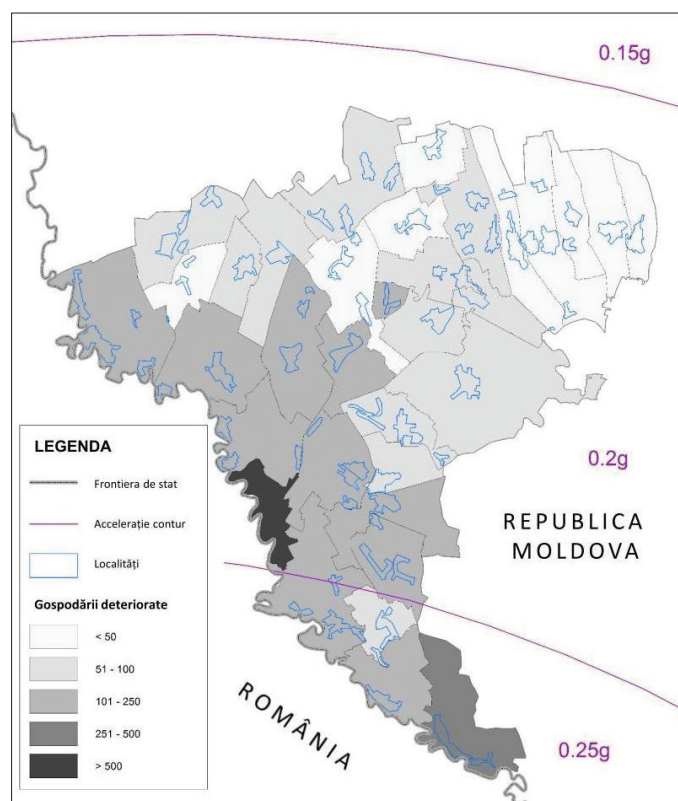


Figura 1. Clădiri deteriorate în comunele raionului Ungheni în cazul cutremurului-scenariu ( $M_w = 7,9$ ).

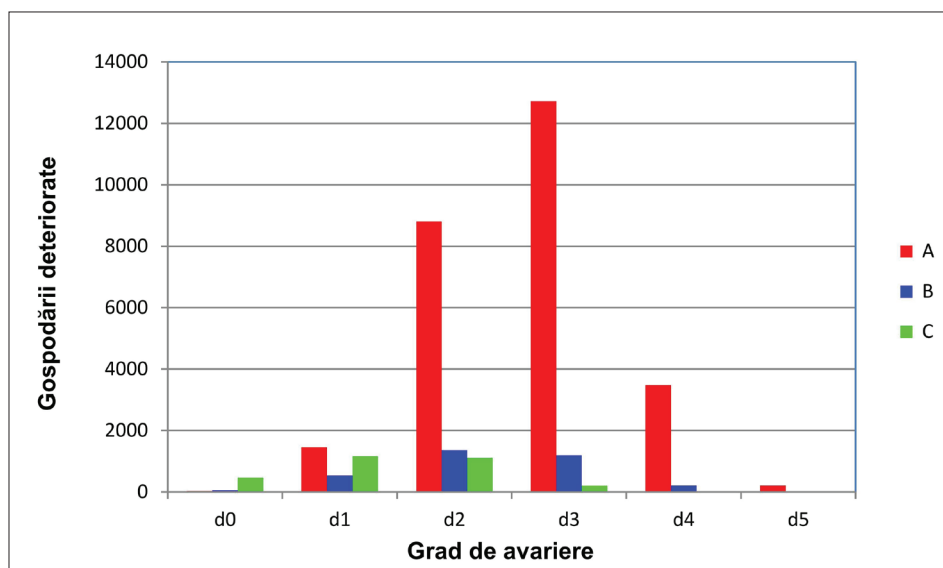


Figura 2. Distribuția gradelor de avariere a diferitor tipuri de clădiri din raionul Ungheni în cazul cutremurului-scenariu ( $M_w = 7,9$ ).

Tabelul 4

#### Distribuția gradelor de avariere a clădirilor în funcție de rezistența seismică

Type	d0	d1	d2	d3	d4	d5
A	39	1.455	8.806	12.728	3.481	218
B	57	533	1.359	1.196	212	0
C	464	1.164	1.106	203	0	0
Total	560	3.152	11.271	14.127	3.693	218

Un alt rezultat al studiului efectuat rezidă în estimarea volumului de distrugere pentru fiecare așezare. Clădirile distruse sunt considerate structuri care, de regulă, nu pot fi restaurate și au suferit deteriorări de gradul al patrulea  $d4$  și al cincilea  $d5$ .

Rezultatele calculului daunelor posibile în cazul cutremurului-scenariu menționat mai sus pentru fiecare localitate din raion sunt prezentate în Tabelul 3, iar distribuția teritorială a daunelor preconizate – în Figura 1.

Distribuția probabilă a gradelor de avariere a diferitor tipuri de clădiri din raionul Ungheni în cazul unui cutremur-scenariu este prezentată în Figura 2 și, numeric, în Tabelul 4.

Este evident că rezultatele prezentate mai sus sunt de natură probabilistică. Astfel, la determinarea impactului seismic inițial (cutremur-scenariu) au fost admise o serie de ipoteze referitoare la severitatea cutremurului, poziția focarului, funcția de atenuare a intensității în raport cu distanța hipocentrală etc. De asemenea, natura probabilistică a vulnerabilității clădirilor la un anumit impact a fost luată în considerare prin intermediul unei matrice de deteriorări. Reieșind din cele menționate, la analiza datelor din

Tabelul 3 pot apărea întrebări de genul: cum ar trebui să tratăm rezultatele obținute și care este credibilitatea acestora? Anume așa și trebuie să le tratăm: pornind de la faptul că, o dată la cinci secole, raionul Ungheni al Republicii Moldova, având infrastructura și vulnerabilitatea structurilor indicate, fiind expus unui cutremur cu magnitudinea  $M_w = 7,9$ , va suferi pagubele indicate în Tabelul 2. În ceea ce privește acuratețea acestei predicții, menționăm încă o dată că ambele componente ale riscului seismic din formula (1), respectiv hazardul seismic  $H$  și vulnerabilitatea clădirilor  $V$ , sunt de natură probabilistică. Din aceste considerente, autorii lucrării consideră că este mai rezonabil a ne concentra nu pe cifrele absolute, ci pe ordinea matematică a daunelor și victimelor posibile. Cu alte cuvinte, la un cutremur similar celui analizat în acest studiu, raionul Ungheni se va confrunta cu următoarele consecințe: zeci de morți, sute de răniți, mii de case distruse.

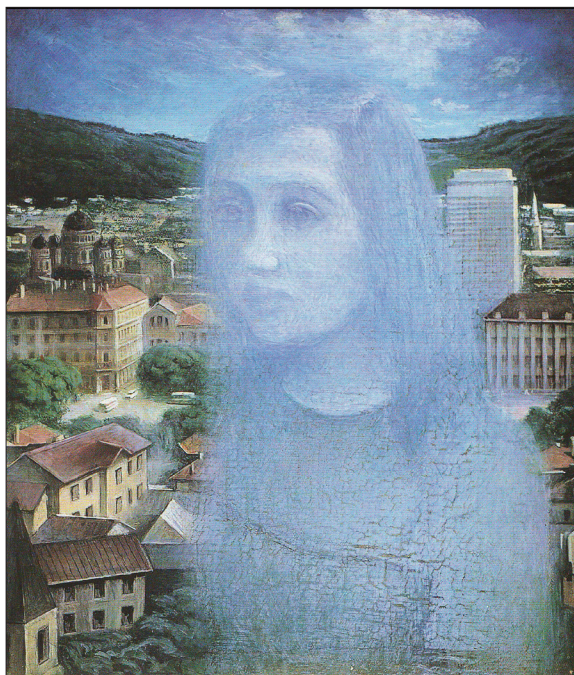
Astfel, pronosticul repartizării teritoriale a eventualelor pagube materiale și umane poate oferi asistență neprețuită în planificarea și implementarea lucrărilor de prevenire a daunelor la cutremurele puternice din zona seismică Vrancea.

## CONCLUZII

Prejudiciile economice semnificative cauzate de hazardul seismic constau în daunele majore care pot apărea în mediul urban și rural.

În lucrare a fost evaluată distribuția probabilă a riscului seismic pe teritoriul raionului Ungheni la un cutremur-scenariu. S-au efectuat estimări privind deteriorările probabile ale clădirilor cu rezistență seismică diferită. În ciuda distanței aparent semnificative a raionului Ungheni față de zona focală Vrancea, impacturile seismice potențiale din această zonă reprezintă un pericol serios pentru locuitorii și infrastructura raionului. În cazul unui eveniment seismic cu magnitudinea  $M_w = 7,9$ , locuitorii se vor confrunta cu riscuri majore atât pentru infrastructură, cât și de natură socială. Având în vedere vulnerabilitatea actuală a structurilor, sute de case din localitățile respective sunt predispușe la distrugere, acest fapt rezultând în sute de rezidenți afectați.

Pentru minimizarea daunelor, este esențial să se acorde o atenție deosebită îmbunătățirii rezistenței seismice a clădirilor rezidențiale și a facilităților sociale. Astfel, semnificația practică a evaluării riscului seismic local constă în identificarea celor mai vulnerabile zone la cutremure, oferind astfel oportunitatea elaborării unor planuri strategice pe termen mediu și lung care să vizeze minimizarea impactului acestora.



Valentina Rusu Ciobanu. *Clepsidra cerului*, 1984, acrilice și tempera pe pânză, 52,5 × 44,5 cm (colecția familiei).

## BIBLIOGRAFIE

1. Alcaz, V.G. Osnovy prognoza seymicheskoj opasnosti i seymicheskogo riska na territorii Respubliki Moldova, Kishinev, Yelena-VISRL. 2007. 229 s.
2. Papadopoulos, G.A., Arvantides, A. Earthquake Risk Assessment in Greece. In: Earthquake Hazard and Risk, Ser. "Advances in Nat. and Technol. Hazards Research", v. 6, Kluwer Acad. Publ., 1996, 221-229.
3. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. European Committee for Standardization, May 2002. 213 p.
4. Shumila V.I. Modeli polya seymicheskoj intensivnosti kratkovremennykh Karpatskikh zemletryasenyi v rayone Vranchi. In: Karpatskoye zemletryaseniye 1986 g., Kishinev, Shtiintsa, 1990, 127-133.
5. Marza, V. & Pantea, A. Probabilistic Estimation of Seismic Intensity Attenuation for Vrancea Subcrustal Sources, Proceedings of the XXIV General Assembly, VIII, Atena, Grecia, 1994, 1752-1761.
6. Constantinescu, L., Enescu, D. Relația Energie-Magnitudine-Intensitate pentru cutremurele carpatiene. Parametrii regimului seismic pentru regiunea Vrancea. Sf. Cercetări Geofizice, 1, 1963, 239-268.
7. Zaicenco, A., Lungu, D., Alcaz, V. și Cornea T. Clasificarea și evaluarea înregistrărilor cutremurelor din Vrancea din Republica Moldova. In: Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/Londra, 1999, 67-76.
8. Rodriguez, D., Perrone, D., Filiatrault, S. Seismic demand on non-structural elements for quantifying seismic performance factors. In: Earthquake Engineering Structures Dynamics, 52, 2023, 1016-1039.
9. Kassem, M.M., Nazri, F.M., Farsangi, E.N. The seismic vulnerability assessment methodologies: a state-of-the-art review. In: Ain Shams Engineering Journal, 11(4), 2020, 849-864.
10. Gusella, F., Bartoli, G., Pintucchi, Barbara. A simplified loss-based procedure for seismic risk mitigation at a territorial scale. In: Bulletin of Earthquake Engineering, Springer, 2025, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-025-02117-w#Bib1> (consultat: 3.XII.2024).
11. Rosti, A., Rota, M., Penna, A. Empirical fragility curves for Italian URM buildings. In: Bulletin of Earthquake Engineering, 19, 2020, 3057-3076.
12. Rezultatele Recensământului Populației și al Locuitorilor 2014. Raport (RPL 2014).

**NOTĂ.** Acest studiu a fost realizat în cadrul subprogramului de finanțare instituțională (cod 01.09.01) și proiectului transfrontalier România – Republica Moldova "HA-ZARM" (cod 2SOFT/4.2.77).