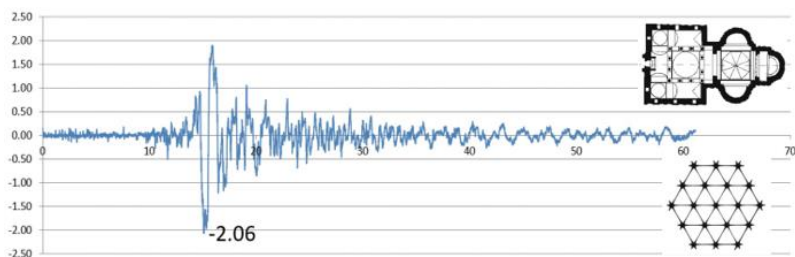


UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI

Irimia Cristian Mihai

PROTECȚIA SEISMICĂ A BISERICILOR DE PLAN TRILOBAT

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Profesor Ramiro Sofronie
Catedra UNESCO #177

București, 2021

Cuprins

Cap.1 Introducere	2
Cap.2 Obiectivele tezei	3
Cap.3 Stadiul cunoașterii configurației trilobate și a zidărilor folosite .4	
Cap.4 Critica stadiului cunoașterii din perspectiva codurilor în vigoare4	
Cap.5 Concepția subiectului din perspectiva configurației.....5	
5.1 Influența configurației trilobate asupra rezilienței seismice a Bisericii Mănăstirii Curtea de Argeș.....5	
5.2 Influența adâncimii de fundare asupra rezilienței seismice.....7	
5.3 Stabilitatea turelor bisericii la smuciturile seismice.....9	
Cap.6 Concepția subiectului din perspectiva zidăriei	10
6.1 Analiza numerică a țeserii zidăriei istorice sub acțiuni gravitaționale.....13	
6.1 Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele fizice.....15	
6.1 Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele numerice.....16	
Cap.7 Analiza numerică a comportării zidărilor istorice sub acțiuni seismice	18
7.1 Încercări pseudo-dinamice 2D, JRC-Ispra, Italia	18
Concluzie	23
Contribuții personale	23
Bibliografie	23
Glosar de termeni.....	23
Listă de abrevieri	23
Cuprinsul tezei.....	24

Cap.1 Introducere

Cele mai vechi clădiri monumentale păstrate în spațiul Carpato-Danubiano-Pontic pe teritoriul României sunt bisericile de plan trilobat, regiunea fiind bine cunoscută pentru creștinismul timpuriu. Secole întregi ele au fost cele mai reprezentative creații ale arhitecturii bisericesti și monumentale. Acestea au reprezentat întotdeauna bisericile tipic ortodoxe, având în vedere că românii sunt singurul popor latin de religie ortodoxă, în timp ce celelalte popoare latine sau cu origini latine sunt catolice.

Primele biserici de plan trilobat sunt: Biserica Sfânta Treime a Siretului din Moldova, construită în anul 1377 și Biserica Mănăstirii Cozia din Valahia, construită în 1388. Ambele biserici sunt păstrate și încă sunt în serviciu permanent.

Teza a fost scrisă într-o perioadă în care mediul este agresat puternic datorită creșterii populației pentru care ONU, în 2004, a făcut o estimare cuprinzând trei scenarii, amplificând sindromul Babel prin care se creează confuzie. Subiectul este abordat atât din perspectivă geometrică - configurație în plan și în elevație, cât și din perspectivă fizică de material – comportarea zidăriei istorice.

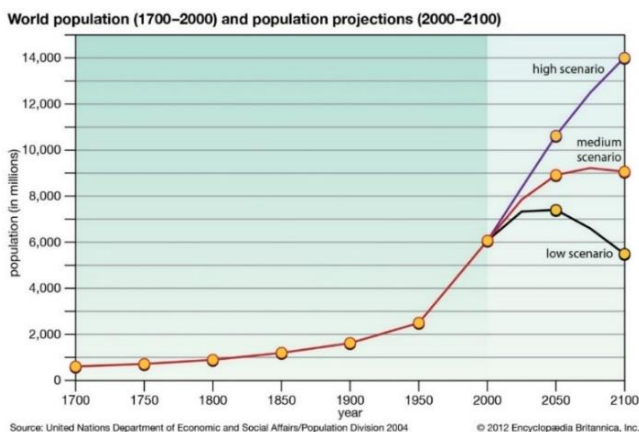


Figura 1.1. Creșterea populației lumii 1700-2000 și atenuarea populației 2000-2100

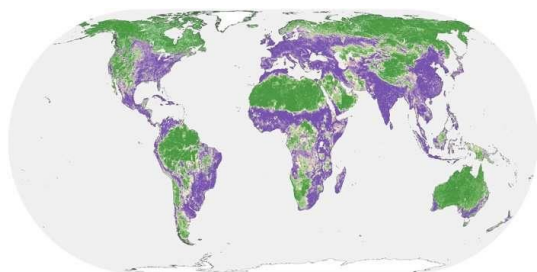


Figura 1.2. Impactul uman asupra mediului

Cap.2 Obiectivele tezei

Teza de doctorat are următoarele obiective:

1. Prezentarea stadiului cunoașterii configurației trilobate și a zidărilor folosite;
2. Critica stadiului cunoașterii din perspectiva codurilor în vigoare;
3. Descrierea concepției subiectului din perspectiva configurației;
4. Stabilirea influenței configurației trilobate asupra rezilienței seismice a bisericii;
5. Stabilirea influenței adâncimii de fundare asupra rezilienței seismice a bisericii;
6. Stabilitatea turelor bisericii la smuciturile seismice;
7. Descrierea concepției subiectului din perspectiva zidărilor;
8. Analiza numerică a țeserii zidăriei istorice sub acțiuni gravitaționale;
9. Determinarea comportării zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele fizice;
10. Determinarea comportării zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele numerice;
11. Analiza numerică a comportării zidărilor istorice sub acțiuni seismice;
12. Determinarea performanțelor zidăriei istorice, armate cu grile polimerice, pe modele numerice.

Cap.3 Stadiul cunoașterii configurației trilobate și a zidăriilor folosite

În cadrul acestui capitol au fost studiate următoarele: Legenda Oedipus, Lecția Aesopus, Legenda Meșterului Manole, zidăria istorică, zidăria modernă, teoria dislocației, încercări efectuate la INCERC-Iași, JRC-ISPRA-Italia, ISMES-Italia, constatările cutremurelor, conceptul de reziliență seismică, fenomenul de smucitură seismică, comparație între zidăria istorică și modernă, culegerea de informații despre cutremurele vrâncene produse între 1320 și 2021.

Învățăturile Meșterului Manole explicate de Mircea Eliade:

1. Amenajarea terenului – îndepărtarea apelor pluviale
2. Orientarea Est-Vest a bisericilor
3. Adâncimea fundațiilor
4. Legarea corpului bisericii, atât la bază, cât și la acoperiș într-un corp tridimensional închis
5. Ancorarea turelor în corpul bisericii și protecția lor contra fulgerelor cu paratrăznet

Cap.4 Critica stadiului cunoașterii din perspectiva codurilor în vigoare

În cadrul capitolului s-au adus critici asupra următoarelor:

- Sistemul de fundare – În general bisericile au o fundație de suprafață. O fundație defectuoasă determină degradarea pereților absidelor și a arcelor transversale;
- Corpul - Absidele naosului și ale altarului au fost de asemenea grav deteriorate de cutremure prin deplanarea pereților curbi;
- Turele – Instabilitate datorită fenomenului de smucitură seismică;
- Concepții și practici de intervenție – Critici aduse metodelor de intervenție asupra zidăriei istorice;
- Cerințele de conservare a patrimoniului conform recomandărilor ISCARSAH și Cartei de la Veneția.

Cap.5 Concepția subiectului din perspectiva configurației

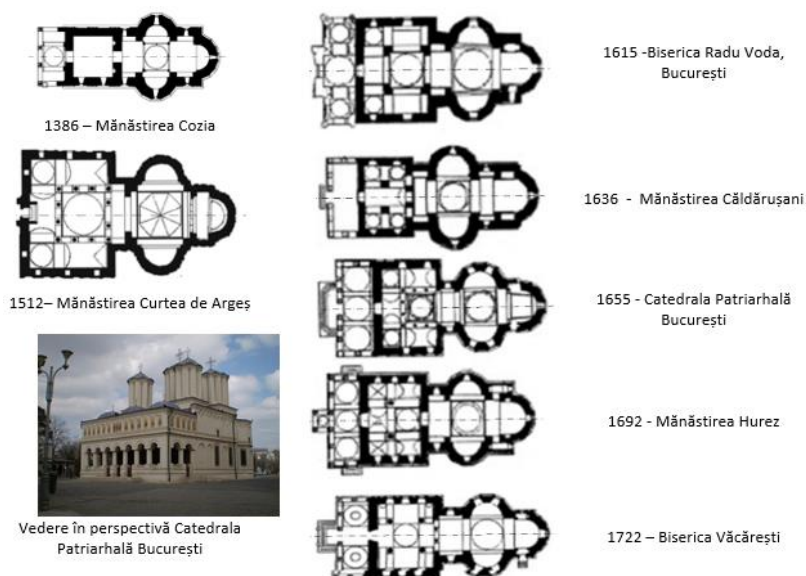


Figura 5.1. Biserici de plan trilobat cu pronaosul supralărgit

5.1 Influența configurației trilobate asupra rezilienței seismice a Bisericii Mănăstirii Curtea de Argeș



Figura 5.2. Vedere în perspectivă - Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș

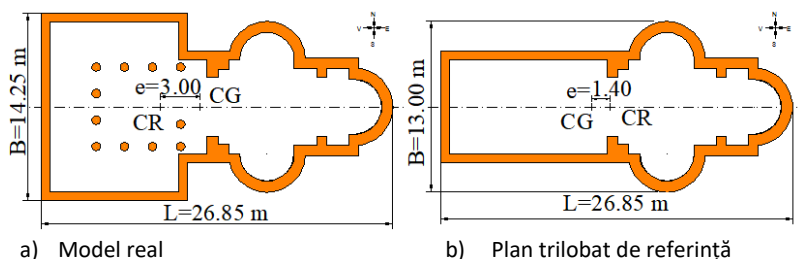


Figura 5.3. Pozițiile centrului de masă și rigiditate – Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș

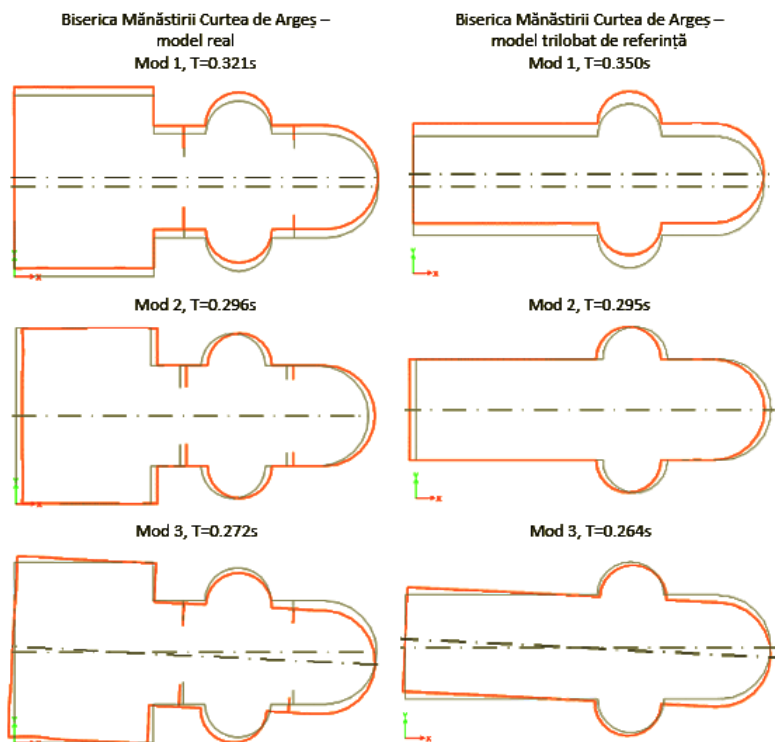


Figura 5.4. Distribuția modurilor de oscilație - Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș

Prin conformarea Bisericii de la Curtea de Argeș față de cea de la Cozia, se schimbă poziția centrului de rotație CR care trece pe axa de simetrie a structurii, de cealaltă parte a centrului de masă CM. În

cazul de față, excentricitatea a crescut în jurul valorii de 10%. În același timp, distanța de la centrul de rigiditate CR până la pereții absidelor a crescut substanțial, astfel că forțele tăietoare sunt diminuate cu aproximativ 20% în cazul Bisericii Mănăstirii Curtea de Argeș față de cea de la Cozia. Forța tăietoare este invers proporțională cu distanța de la centru CR și punctele extreme ale planului.

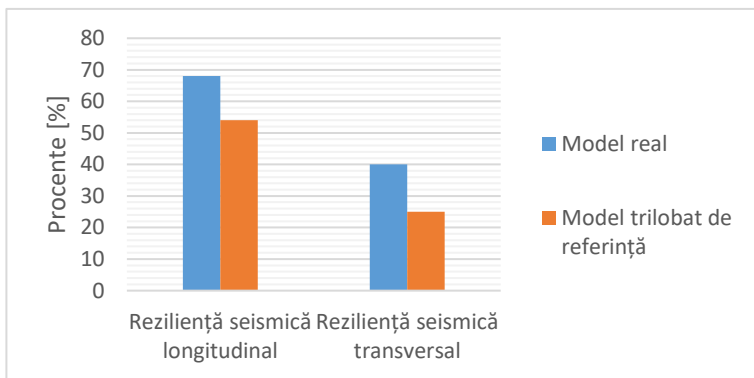


Figura 5.5. Reziliența seismică - Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș

5.2 Influența adâncimii de fundare asupra rezilienței seismice

Model 1 – adâncime mică de fundare, aproximativ 30 cm

Model 2 – adâncime medie de fundare - adâncimea de îngheț

Model 3 – adâncime de fundare mai mare decât adâncimea de îngheț

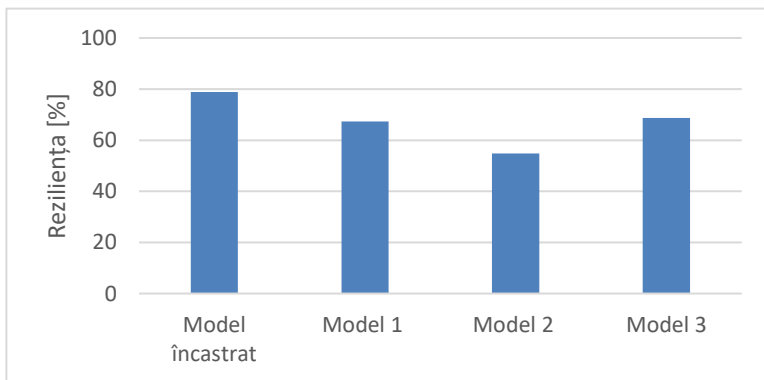


Figura 5.6. Reziliența seismică în funcție de adâncimea de fundare

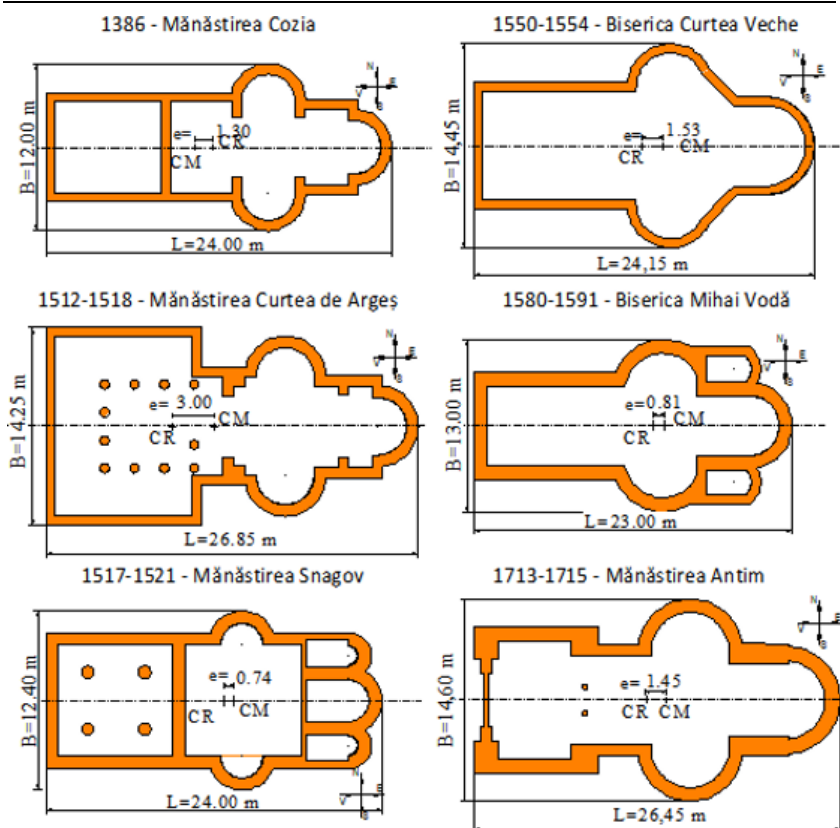


Figura 5.7. Distribuția centrelor CR și CG pentru planurile trilobate studiate

Soluția de protecție seismică descoperită în timpul construcției Bisericii Mănăstirii Curtea de Argeș, între 1512 și 1518, inspirată de mitul imolării, a constatat în supralărgirea pronaosului. Prin această remodelare, centrul de rotație și-a schimbat poziția relativă cu centrul de greutate și s-a mutat de la naos la pronaos. De atunci, toate bisericile în formă similară au fost protejate împotriva cutremurelor. Fiecare biserică a atins nivelul de rezistență seismică în conformitate cu forma sa. Cu toate acestea, cea mai mare capacitate a avut-o Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș.

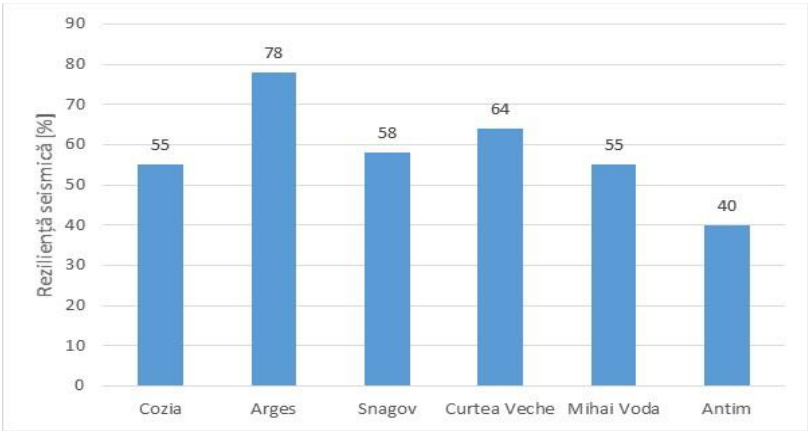


Figura 5.8. Reziliența seismică a planurilor trilobate studiate

5.3 Stabilitatea turelor bisericii la smuciturile seismice



Figura 5.9. Vedere în perspectivă - Catedrala Mântuirii Neamului

Tabel 5.1. Caracteristici geometrice

L	B	H	H _c	H _f	D _t	H _t
125.40	54.60	112.50	49.90	23.5	25.0	62.6.00

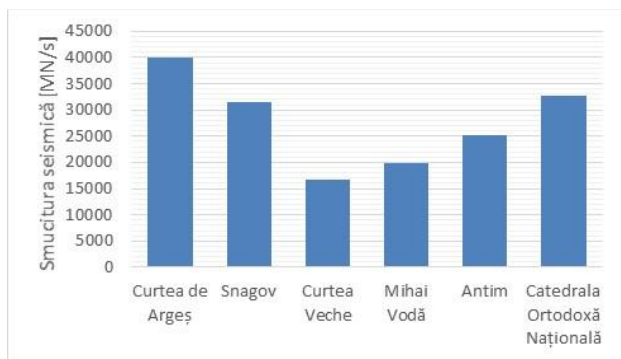


Figura 5.10. Smucitura seismică pentru planurile trilobate studiate

Dimensiunile turelor trebuie atent alese pentru a avea suficientă capacitate pentru a prelua forța corespunzătoare impulsului seismic.

Cap.6 Concepția subiectului din perspectiva zidăriei

Construcțiile din piatră au început să fie create chiar din perioada culturii megalitice. Bucăți individuale de rocă au fost colectate și suprapuse manual, una câte una. Au fost menținute în echilibru gravitațional numai prin frecare uscată. Piramidele egiptene, de exemplu, au fost ridicate prin această procedură.



Figura 6.1. Marea Piramidă din Giza, Egipt

După un timp, în regiunile bogate în soluri argiloase, a fost inventată zidăria. Zidăria originală constă în cărămizi solide, fie uscate, fie coapte, cu mortare de var pur. Este realizată manual cu ajutorul forței gravitaționale, utilizând principiul “plin pe rost”. Orizontalitatea

îmbinărilor este controlată cu nivela cu apă. Datorită ductilității mortarelor de var, zidăria istorică are calitatea *adaptării*. Acest fenomen spontan constă în formarea de mici deformății plastice la volum constant. Ca o consecință a efectului “plin pe rost”, apare efectul de boltă, ce constă în descompunerea unei forțe verticale după direcțiile orizontale.

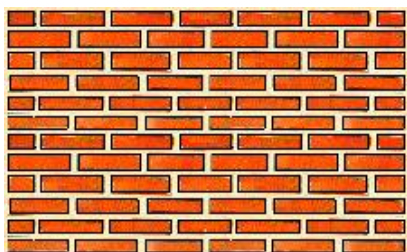


Figura 6.2. Zidărie istorică

Zidăria originală nu poate fi armată cu bare de oțel, deoarece oțelul ruginește în contact cu mortarul de var. Mortarul de var nu este poluant. Primele clădiri din zidărie din istorie au fost construite în Mesopotamia sub formă de zigurate. Turnul Babel a fost unul dintre cele mai reprezentative construcții.



Figura 6.3. Planul Shinarului și reconstrucția modelului Turnului Babel.

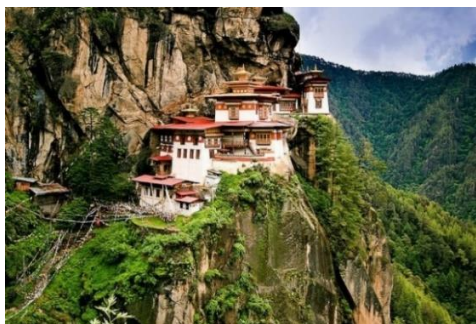
Marele incendiu din Chicago, care a avut loc în 8 octombrie 1871 a reprezentat momentul de apariție a zidăriei moderne. Pentru reconstruirea orașului, situat pe un teritoriu în care nu au loc cutremure, au început să fie construite clădiri înalte, care necesitau zidărie mai puternică. Noul concept de structură din zidărie a devenit rapid popular în toate statele americane.



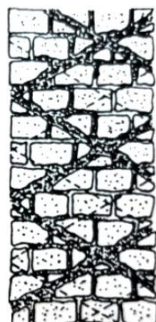
Figura 6.4. Catherine O'Leary – Marele incendiu din Chicago - 8 oct. 1871

Zidăria modernă denumită și Mascrete. Cuvântul mascrete este un acronim al cuvintelor de origine engleză **masonry** și **concrete**. Este formată din cărămizi ceramice cu goluri și mortare de ciment. Această zidărie este fragilă, foarte sensibilă la cutremure și la tasări diferențiate. Datorită SiO_2 din compoziția cimentului, zidăria modernă este poluantă.

În secolul XXI, Patrimoniul Cultural Mondial UNESCO a înregistrat unele pierderi irecuperabile, deoarece diferența dintre zidăria istorică și zidăria modernă nu a fost luată în considerare, sau a fost ignorată. Mănăstirea Cuibul Tigrului a fost consolidată prin utilizarea de mortare pe bază de ciment, ignorând astfel recomandările ICOMOS. O altă tehnică de consolidare, pe care profesorul Leonhardt Fritz a numit-o ca fiind una “monstruoasă”, a constat în consolidarea monumentelor prin inserții metalice în zidărie.



a) Mănăstirea Cuibul Tigrului în Regatul Bhutan



b) Inserții metalice

Figura 6.5. Soluția de consolidare controversate

6.1 Analiza numerică a țeserii zidăriei istorice sub acțiuni gravitaționale

Pentru determinarea influenței modului de țesere a zidăriei asupra unui panou de zidărie din cărămidă plină 6x12x24 cm s-au considerat comparativ 3 cazuri, după cum urmează:

- Cazul 1 de țesere: rost vertical predefinit;
- Cazul 2 de țesere: rost vertical situat la un sfert, respectiv trei sferturi față de capătul cărămizii;
- Cazul 3 de țesere: rost vertical situat la jumătatea unei cărămizi.

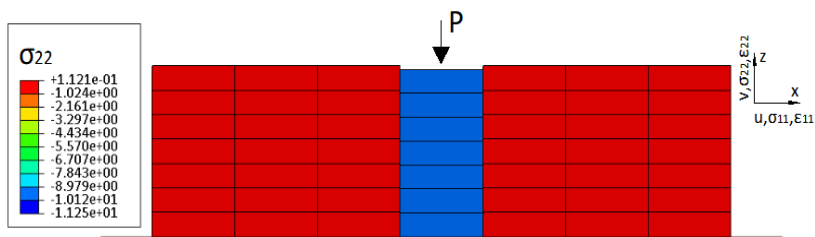


Figura 6.6. Eforturi unitare normale de compresiune σ_{22} [MPa] - caz 1 de țesere

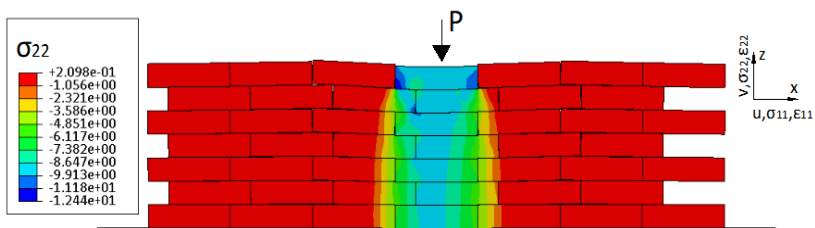


Figura 6.7. Eforturi unitare normale de compresiune σ_{22} [MPa] - caz 2 de țesere

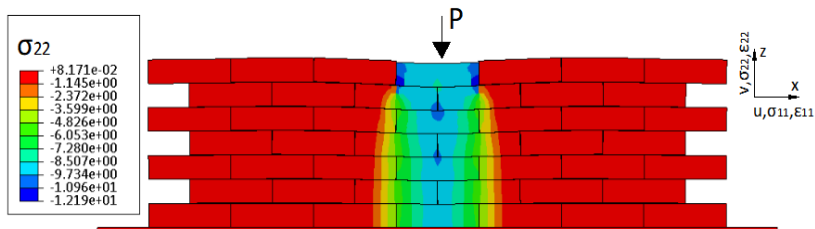


Figura 6.8. Eforturi unitare normale de compresiune σ_{22} [MPa] - caz 3 de țesere

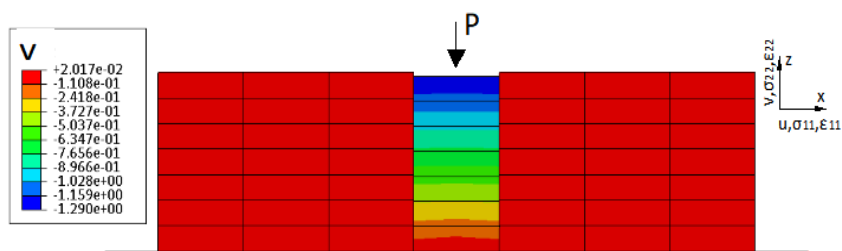


Figura 6.9. Distribuția de deplasări v [mm] – caz 1 de țesere

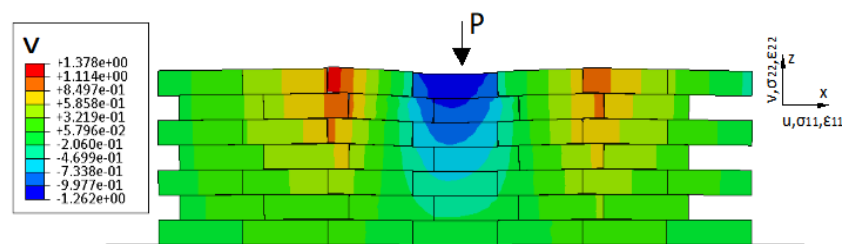


Figura 6.10. Distribuția de deplasări v [mm] – caz 2 de țesere

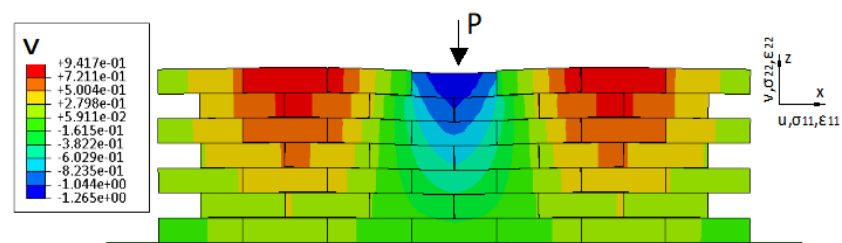


Figura 6.11. Distribuția de deplasări v [mm] – caz 3 de țesere

În cazul zidăriei, spațiile verticale dintre cărămizi sunt interpretate ca fiind defecte de structură. Acesta este motivul pentru care alternează de la un strat la altul în sistemul de țesere al rosturilor. Prin decalarea rosturilor verticale are loc o distribuție aproape uniformă a tensiunilor. Când în zidărie cărămizile pline sunt așezate decalat, nivelurile de tensiuni maxime atinse rămân sub anumite valori acceptabile.

În concluzie, utilizarea principiului plin pe rost conduce la o uniformizare a eforturilor în jurul rosturilor verticale.

6.1 Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele fizice

În cadrul acestui studiu au fost realizate două modele fizice la scară redusă, fabricate din piese de domino, după cum urmează:

1. Panou rigid și indeformabil – zidărie modernă
2. Panou flexibil – zidărie istorică

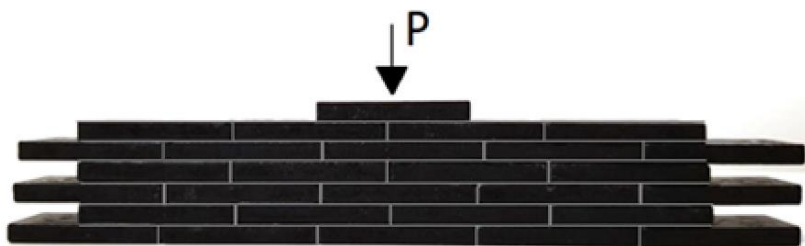


Figura 6.12. Formă deformată a panoului rigid și indeformabil la scară redusă

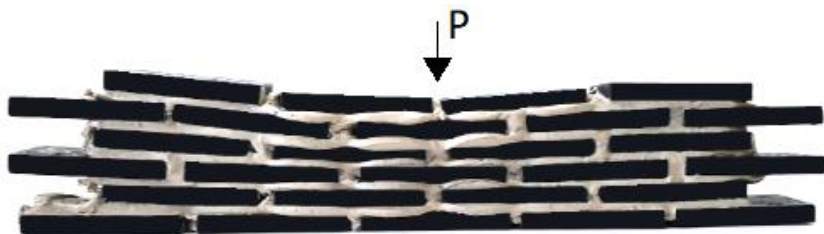


Figura 6.13. Formă deformată a panoului flexibil

În concluzie, prin utilizarea mortarului de var sunt permise mici deplasări, ceea ce conduce la protejarea cărămidilor, pe când la utilizarea mortarului de ciment deplasările nu sunt permise, iar eforturile sunt concentrate la nivelul cărămidilor, care vor suferi degradări.

6.1 Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele numerice

Pentru determinarea influenței caracteristicilor geometrice asupra comportării zidăriei, au fost create, în programul Abaqus, panouri de zidărie cu diferite dimensiuni de cărămizi: 6x12x24 cm, 4x8x16 cm, 7x14x28 cm.

Pentru fiecare cărămidă au fost alese 4 tipuri de mortar, după cum urmează: Mortar de ciment – grosime de 1 cm, Mortar de var – grosime de 1 cm, Mortar de var – grosime de 2 cm, Mortar de var – grosime de 3 cm;

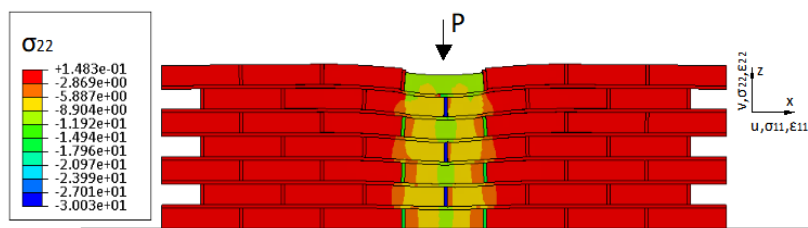


Figura 6.14. Eforturi unitare normale σ_{22} [MPa] – zidărie modernă

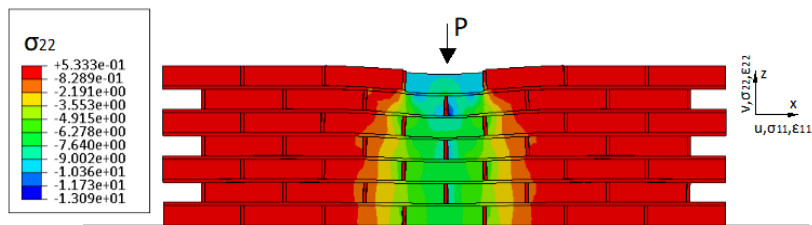


Figura 6.15. Eforturi unitare normale σ_{22} [MPa] – zidărie istorică rost 1 cm

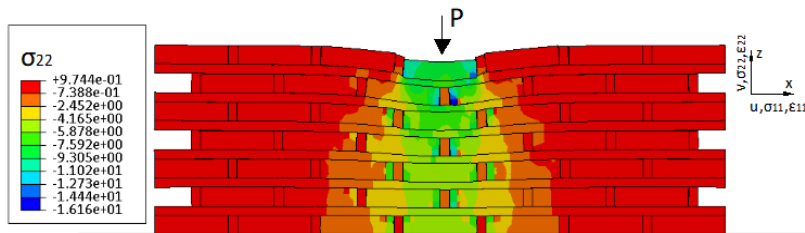


Figura 6.16. Eforturi unitare normale σ_{22} [MPa] – zidărie istorică rost 3 cm

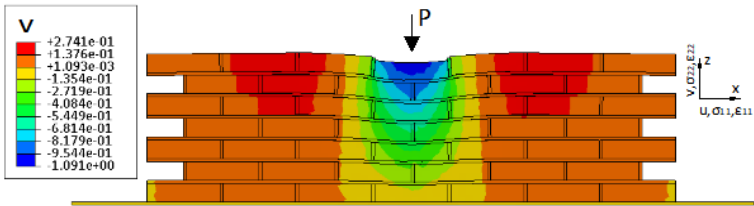


Figura 6.17. Distribuția de deplasări v [mm] – zidărie modernă

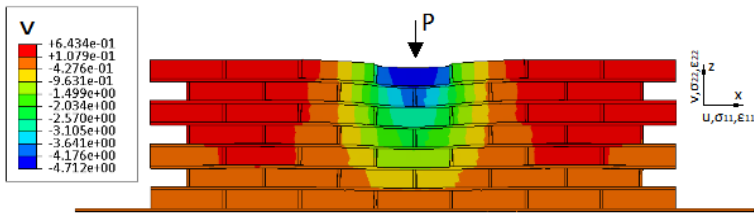


Figura 6.18 Distribuția de deplasări v [mm] – zidărie istorică rost 1 cm

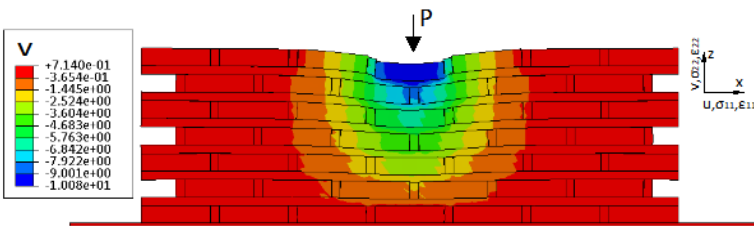


Figura 6.19 Distribuția de deplasări v [mm] – zidărie istorică rost 3 cm

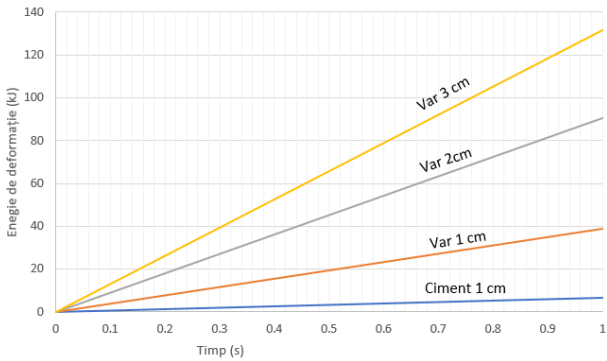


Figura 6.20.Energie de deformație - panou cu cărămidă 6x12x24

Cap.7 Analiza numerică a comportării zidărilor istorice sub acțiuni seismice

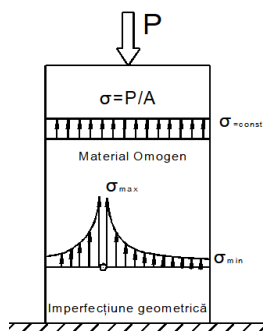


Figura 7.1. Eforturi unitare normale

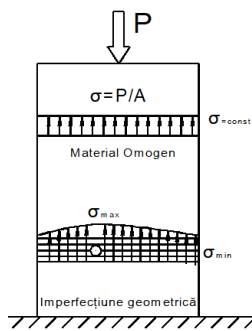


Figura 7.2. Grilă peste imperfecțiune



Figura 7.3. Brevet de invenție

În 1995, prin brevetul OSIM nr. 112373 B1, s-a propus folosirea grilelor polimerice cu noduri integrate în lucrările de zidărie. Ideea a pornit de la observația că toate rosturile verticale reprezintă imperfecțiuni geometrice, conform teoriei dislocației emisă de prof. Landau în 1967. Datorită geometriei regulate și rezistenței la întindere, grilele pot prelua eforturile din zidărie și apoi le vor redistribui uniform secțiunilor transversale vecine, înlăturând astfel pericolul de dislocații.

7.1 Încercări pseudo-dinamice 2D, JRC - Ispra, Italia

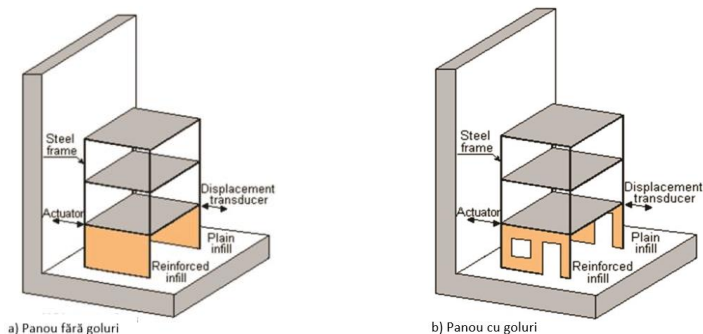


Figura 7.4. Dispunerea panourilor pe peretele de încercare, Ispra, Italia



a) Zidărie simplă



b) Zidărie armată

Figura 7.5. Panou de zidărie fără goluri după încercarea pseudo-dinamică

a) Zidărie simplă



b) Zidărie armată

Figura 7.6. Panou de zidărie cu goluri după încercarea pseudo-dinamică**Figura 7.7.** Degradare cărămizi cu goluri**Figura 7.8.** Degradare grile

Analizând figurile de mai sus, se observă că în cazul utilizării cărămizilor cu goluri, acestea au suferit degradări, ceea ce implică utilizarea cu precauție a acestora în zone seismice.

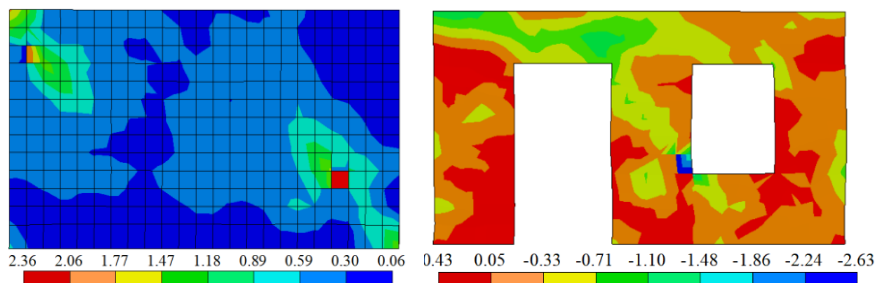


Figura 7.9. Tensiunea maximă pentru panoul din zidărie simplă

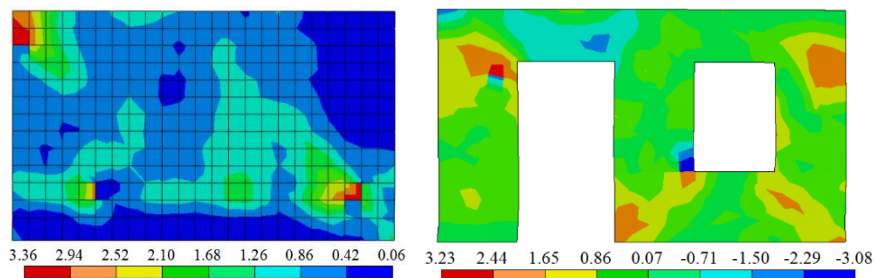


Figura 7.10. Tensiunea maximă pentru panoul din zidărie armată cu grile biaxiale

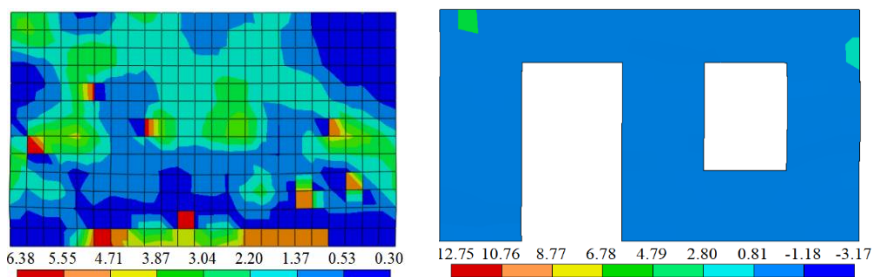


Figura 7.11. Tensiunea maximă pentru panoul din zidărie armată cu grile triaxiale

În ambele cazuri, prin introducerea grilelor biaxiale și triaxiale, starea de eforturi s-a modificat substanțial în comparație cu modelul cu zidărie simplă, producându-se uniformizarea eforturilor, dar și o creștere a capacităților portante ale panoului, datorită rezistenței grilelor și confinării panoului de zidărie.

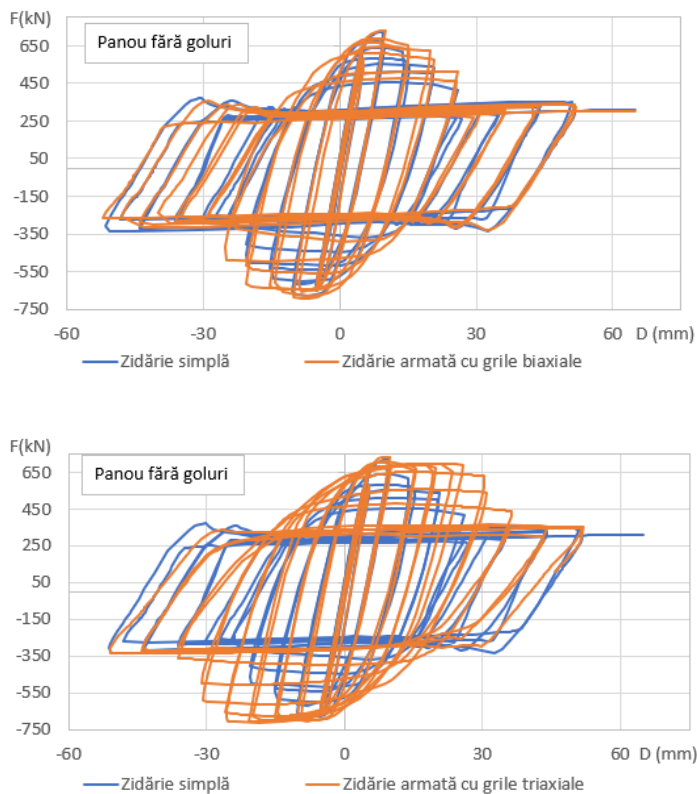


Figura 7.12. Curbele forță-deplasare ale panourilor de zidărie fără goluri

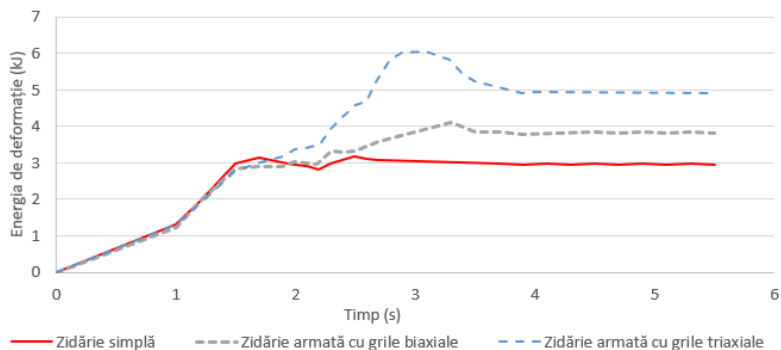


Figura 7.13. Energia de deformație pentru panou fără goluri

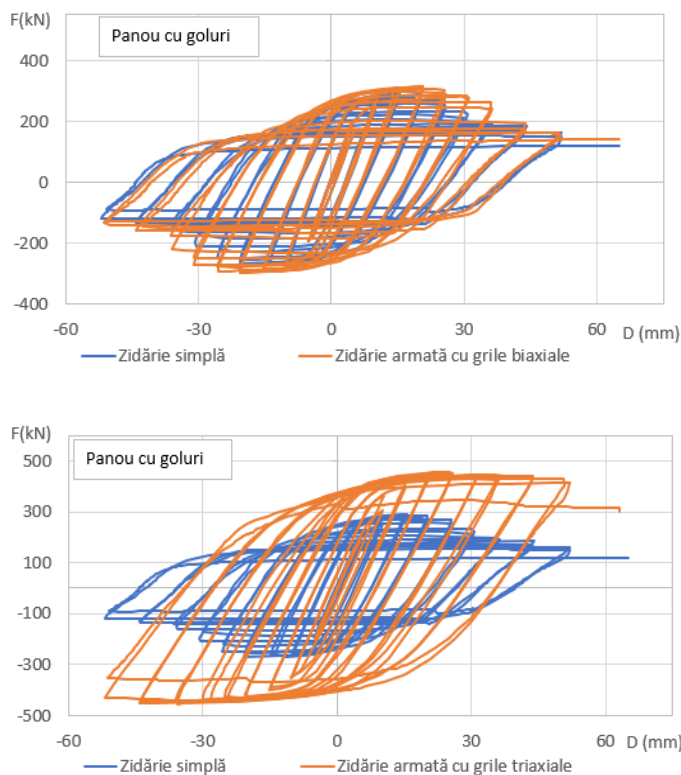


Figura 7.14. Curbele forță-deplasare ale panourilor de zidărie cu goluri

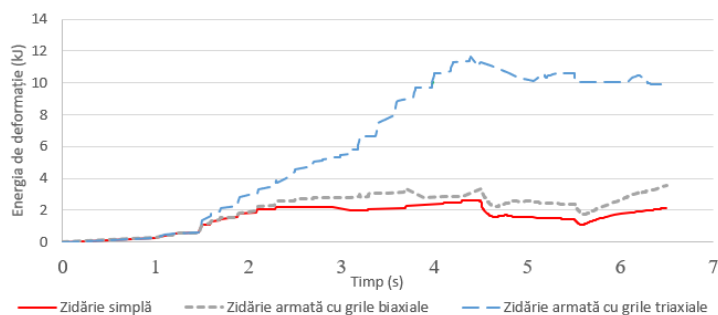


Figura 7.15. Energia de deformare pentru panou cu goluri

Concluzie

Obiectivele tezei de doctorat au fost îndeplinite.

Contribuții personale

Teza de doctorat are 220 de pagini și este structurată astfel:

- 45% - elaborarea stadiului actual al cunoașterii;
- 55% - Studii de caz și analize numerice efectuate.

Bibliografie

Bibliografia cuprinde 109 surse.

Glosar de termeni

Listă de abrevieri

Cuprinsul tezei

Prefață.....	3
Cap.1 Introducere	5
1.1 Explicarea titlului	5
1.2 Importanța subiectului	5
1.3 Actualitatea subiectului	6
Cap.2 Obiectivele tezei	9
Cap.3 Stadiul cunoașterii configurației trilobate și a zidărilor folosite	11
3.1 Legenda OEDIPUS (în română Edip)	11
3.2 Lecția ÆSOPUS (în română Esop)	11
3.3 Legenda Meșterului Manole de Mircea Eliade	12
3.4 Zidăria istorică folosită pentru construcții.....	14
3.4.1 Istoria zidăriei vechi	14
3.4.2 Materiale necesare realizării zidăriei	18
3.4.3 Legăturile istorice	20
3.4.4 Tehnici de construcție a zidăriei istorice.....	21
3.4.5 Comportarea zidăriei istorice la acțiuni seismice.	21
3.4.6 Durabilitatea zidăriei istorice	22
3.4.7 Compatibilitatea materialului	23
3.4.8 Sisteme constructive.....	23
3.5 Zidăria modernă folosită pentru construcții.....	28
3.6 Teoria dislocației.....	28
3.7 Brevetul de invenție OSIM nr. 112373 B1	30
3.8 Încercări pe modele de zidărie armate cu grile polimerice	34
3.8.1 Încercări statice, INCERC Iași, Ro: modele 1D – stalpi și 2D – pereți ...	34
3.8.2 Încercări pseudo-dinamice 2D – Panouri de zidărie, JRC-Ispira, Italia..	35
3.8.3 Încercări seismice 3D pentru construcție scara 1:1, Ismes, Italia	39
3.8.4 Încercări datorate acțiunii exploziilor – Astra Ploiești	78
3.9 Constatările cutremurelor produse în România	80
3.9.1 Constatări - Aurel Beleş	80
3.9.2 Constatări - Ștefan Bălan	80
3.9.3 Constatări - Sebastian Tologea	81
3.9.4 Constatări privind conformarea planului trilobat – Ramiro Sofronie .	81
3.9.5 Influența Lunii asupra Pământului	83
3.9.6 Smucitura seismică	85
3.9.7 Reziliența seismică.....	86
3.10 Valoarea istorică, culturală și patrimonială a bisericilor trilobate.	89
3.11 Tabel comparativ de sinteză între zidăria istorică și cea modernă (mascrete)	92

3.12	Informații despre cutremurele vrâncene	96
3.13	Lecțiile cutremurelor din 1738, 1802, 1940 și 1977.	97
Cap.4	Critica stadiului cunoașterii din perspectiva codurilor în vigoare	99
4.1	Sistemul de fundare	99
4.2	Corpul bisericii	99
4.3	Turlele bisericii	99
4.4	Concepții și practici de intervenție tradiționale și moderne	99
4.5	Cerințe de conservare a patrimoniului cultural UNESCO prin ISCARSAH și Veneția	101
Cap.5	Concepția subiectului din perspectiva configurației	105
5.1	Prezentarea stilului trilobat	105
5.2	Studiu de caz privind conformarea planului trilobat	106
5.2.1	Studiu de caz - Biserica Mănăstirii Curtea de Argeș	106
5.2.2	Studiu de caz – Biserica Mănăstirii Snagov	112
5.2.3	Studiu de caz – Biserica Curtea Veche	118
5.2.4	Studiu de caz – Biserica Mihai Vodă	124
5.2.5	Studiu de caz – Biserica Mănăstirii Antim	130
5.2.6	Studiu de caz – Catedrala Ortodoxă Națională	136
5.3	Conformarea seismică a planului trilobat (exprimată prin CG și CR)....	138
5.4	Caracteristicile geometrice ale planurilor trilobate studiate	140
Cap.6	Concepția subiectului din perspectiva zidăriilor	141
6.1	Analiza numerică a țeserii zidăriei istorice sub acțiuni gravitaționale ..	141
6.2	Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele fizice	151
6.3	Comportarea zidăriei istorice și moderne la acțiuni gravitaționale pe modele numerice	153
Cap.7	Analiza numerică a comportării zidăriilor istorice sub acțiuni seismice	187
7.1	Performanțele zidăriei istorice, armate cu grile polimerice, pe modele numerice	187
7.1.1	Studiu comparativ dintre panouri pline și panouri cu goluri	187
7.1.2	Studiu comparativ între panouri de zidărie istorică cu diferite grosimi de mortar	193
Cap.8	Concluzie	209
Cap.9	Contribuții personale	210
	Bibliografie	213
	Glosar de termeni	217
	Listă de abrevieri	221

Rezumat.....	223
Abstract.....	224