

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,
Smer operativno gradbeništvo

Kandidatka:

Mojca Sevšek

Ocena potresne ranljivosti stavb v Posočju z analizo lokalnih mehanizmov porušitve

Diplomska naloga št.: 431

Mentor:

doc. dr. Vlatko Bosiljkov

Ljubljana, 3. 8. 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Mojca Sevšek izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Ocena potresne ranljivosti kamnitih stavb v Posočju z analizo lokalnih mehanizmov porušitve«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani verziji.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, _____

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 624.131.55+517(497.4Posočje)(043.2)
- Avtor:** Mojca Sevšek
- Mentor:** doc. dr. Vlatko Bosiljkov
- Naslov:** Ocena potresne ranljivosti kamnitih stavb v Posočju z analizo lokalnih mehanizmov porušitve
- Obseg in oprema:** 71 str., 39 sl., 36 pregl., 10 graf., 2 en.
- Ključne besede:** zidane konstrukcije, delni mehanizmi porušitve, potresna ranljivost, kamnite zidane stavbe, potres v Posočju
- Izvleček:**

V diplomskem delu je bila narejena ocena potresne ranljivosti kamnitih stavb v Posočju z analizo lokalnih mehanizmov porušitve. V prvem delu so predstavljene različne metode za ocenjevanje potresne ranljivosti zidanih stavb in kriteriji za izbiro najprimernejše metode za ugotavljanje potresne ranljivosti. Sledi opis poškodb tipičnih zidanih objektov v Posočju, ki so jih prizadeli zadnji potresi. Metoda za ocenjevanje potresne ranljivosti uporabljena v nalogi je FaMIVE metoda, ki je primerna za določanje potresne ranljivosti zidanih stavb v strnjenih središčih mest ob upoštevanju različnih možnih mehanizmov porušitve. Predstavljeni so različni ravninski in izven ravninski delni mehanizmi porušitve zaradi potresne obtežbe, ki so karakteristični za zidane stavbe. V praktičnem delu smo na osnovi posnetkov poškodb analizirali različne lokalne mehanizme porušitve in s pomočjo programske opreme FaMIVE analizirali posamezne poškodovane fasade kamnitih objektov v Posočju. Obravnavane kamnite stavbe so predstavljene z rezultati analize ter primerjanimi kritični pospeški za območje Posočja.

BIBLIOGRAPHY AND DOCUMENTARY PAGE WITH EXTRACT

- UDC:** 624.131.55+517(497.4Posočje)(043.2)
- Author:** Mojca Sevšek
- Supervisor:** Assist. Prof. Vlatko Bosiljkov, Ph. D.
- Title:** Assessment of seismic resistance of buildings in Posočje region through analysis of local failure mechanisms
- Notes:** 71 p., 39 fig., 36 tab., 10 gr., 2 eq.
- Key words:** masonry structures, local failure mechanisms, seismic vulnerability, stone masonry buildings, earthquake in Posočje region

Abstract

Within this diploma work, seismic resistance of buildings from Posočje region was evaluated through analysis of local failure mechanisms. In the first part different methods for the assessment of seismic resistance for masonry structures are presented and criteria for the most optimal solution for the evaluation of their efficiency are presented. Following this, the most common damage patterns and mechanisms of failure characteristic for the stone masonry structures of Posočje region are presented. Method used for the evaluation of seismic resistance through local failure analysis was FaMIVE, appropriate for the estimation of seismic vulnerability of the facades on the large scale of buildings and particularly for old city centres. Different mechanisms of out-of-plane and in-plane mechanisms characteristic for old masonry buildings characteristic for Posočje region are than compared with the outcome of the analysis made by FaMIVE. Following this, the results of analysis and effectiveness of the method are presented and compared with expected ground peak accelerations for Posočje region.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Vlatku Bosiljkovu, in Dini D`Ayali ter Viviani Novelli za nasvete pri uporabi programa FaMIVE. Posebna zahvala gre tudi dr. Blažu Dolinšku iz Gradbenega inštituta ZRMK d.o.o. in vsem na gradbenem inštitutu, ki so kakorkoli pripomogli k nastajanju naloge.

Izredna zahvala gre moji družini za vso podporo, pomoč in razumevanje skozi vsa leta študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	POTRESI V POSOČJU IN POTRESNE LESTVICE.....	3
2.1	Osnovni pojmi in nastanek potresov	3
2.2	Potresi v Sloveniji	3
2.3	Tipologija stavb v Posočju	6
2.3.1	Vrste stavb.....	6
2.3.2	Temelji.....	7
2.3.3	Zidovi	7
2.3.4	Stropovi	7
2.3.5	Ostrešje in kritina	8
2.3.6	Leto izgradnje.....	8
2.4	Tipične poškodbe po potresu.....	8
2.4.1	Vodoravne razpoke.....	9
2.4.2	Navpične razpoke, razpoke v vogalih odprtin in na stikih zidov	10
2.4.3	Porušitev zatrefov	11
2.4.4	Poškodbe zidovine.....	11
3	POSAMEZNE METODE ZA OCENJEVANJE POTRESNE RANLJIVOSTI	12
3.1	Empirične in analitične metode.....	12
3.2	Kriteriji za izbiro primerne metode	14
3.3	Metode za ocenjevanje potresne ranljivosti stavb.....	18
4	FAMIVE METODA IN MEHANIZMI PORUŠITVE	19
4.1	Uvod.....	19
4.2	Opis postopka.....	19
4.3	Upoštevani delni mehanizmi porušitve v analizi FaMIVE	26
4.4	Izven ravninski mehanizmi	26
4.4.1	Mehanizem A – prevrnitev zidu.....	26

4.4.2	Mehanizem B – prevrnitev skupaj s pasnicami	27
4.4.3	Mehanizem C – porušitev vogala	28
4.4.4	Mehanizem D – delna prevrnitev.....	28
4.4.5	Mehanizem E – prevrnitev pasu zidu	29
4.4.6	Mehanizem F – navpični ločni efekt.....	29
4.4.7	Mehanizem G – vodoravni ločni efekt	30
4.5	Ravninski mehanizmi	30
4.5.1	Mehanizem H1 – H2 porušitev v ravnini.....	30
4.5.2	Mehanizem M – mehka etaža	31
4.6	Nadaljnje delne porušitve	32
4.6.1	Mehanizem L - prevrnitev zatrepnega zidu	32
4.6.2	Mehanizem I – nadzidek.....	32
4.6.3	Porušitev strehe ali nadstropja	33
4.6.4	Porušitev zidovine.....	33
5	FaMIVE METODOLOGIJA ZBIRANJA PODATKOV	34
5.1	Zbiranje podatkov	34
5.1.1	Urbani podatki	34
5.1.2	Geometrijske karakteristike fasade	35
5.1.3	Geometrijske karakteristike odprtin.....	35
5.1.4	Geometrijske karakteristike tlorisa	36
5.1.5	Lastnosti konstrukcije	36
5.1.6	Dodatni ranljivi elementi	37
5.1.7	Stopnja poškodb in identifikacija mehanizmov porušitve	37
6	ANALIZA REZULTATOV	39
6.1	Analiza obravnavanih fasad.....	39
6.1.1	Objekt: Čezsoča 100 – Zadržni dom - 23.20.S	40
6.1.2	Objekt: Čezsoča 46 – 22.8.Z.....	40
6.1.3	Objekt: Čezsoča 94 – Mlekarna – 23.16.JV	41
6.1.4	Objekt: Soča 22 – trgovina – 19.13.J.....	41
6.1.5	Objekt: Čezsoča 93a – 23.15.V	42

6.1.6	Objekt: Čezsoča 93a – 23.15.S.....	42
6.1.7	Objekt: Čezsoča 62 – 22.10.S	43
6.1.8	Objekt: Čezsoča 62 – 22.10.Z	43
6.1.9	Objekt: Čezsoča 43 – 22.5.J	44
6.1.10	Objekt: Čezsoča 48 - 22.2.V	44
6.1.11	Objekt: Čezsoča 48 - 22.2.S	45
6.1.12	Objekt: Kašča Čezsoča – 23.19.S.....	45
6.1.13	Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.J	46
6.1.14	Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.Z	46
6.1.15	Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.S	47
6.1.16	Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.V	47
6.1.17	Objekt: Čezsoča 93 – 23.1.J	48
6.1.18	Objekt: Kot 83 – 35.11.Z.....	48
6.1.19	Objekt: Drežniške ravne 8 – 13.1.J	49
6.1.20	Objekt: Drežniške ravne 8 – 13.1.V	49
6.1.21	Objekt: Drežniške ravne 18 – 13.10.S.....	50
6.1.22	Objekt: Drežniške ravne 18 – 13.10.Z	50
6.1.23	Objekt: Drežniške ravne 19 – 13.11.J	51
6.1.24	Objekt: Drežniške ravne 19 – 13.11.S.....	51
6.1.25	Objekt: Drežniške ravne 20 – 13.12.J	52
6.1.26	Objekt: Drežniške ravne 20 – 13.12.V	52
6.1.27	Objekt: Drežniške ravne 22 – 13.14.V	53
6.1.28	Objekt: Drežniške ravne 26 – 13.18.S.....	53
6.1.29	Objekt: Kot 46 – 24.2.V	54
6.1.30	Objekt: Klanc 18 – 25.9.V.....	54
6.1.31	Objekt: Zatoľmin 76 - Sirarna Polog - 3.1.Z	55
6.1.32	Objekt: Zatoľmin 76 - sirarna Polog - 3.1.J.....	55
6.1.33	Objekt: 16.13.S.....	56
7	PREDSTAVITEV REZULTATOV.....	57
7.1	Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij	57
7.2	Stopnja ranljivosti glede na mehanizem porušitve.....	59

7.3	Primerjava opazovanih mehanizmov in izračunanih mehanizmov porušitve po metodi FaMIVE	62
7.4	Primerjava pospeškov povratnih period s pospeški v potresih 1998 in 2004	65
8	ZAKLJUČEK.....	67

KAZALO SLIK

Slika 1: Karta potresne nevarnosti Slovenije: projektni pospeški tal (Vir: ARSO).....	4
Slika 2: Primerjava zapisov potresov 12. aprila 1998 (modri seizmogram) in 12. julija 2004 (rdeči seizmogram) nazorno kaže, da je bil zadnji potres po sproščeni energiji bistveno šibkejši.(Vir: ARSO, 2004).....	5
Slika 3: Nadžarišče glavnega potresa in popotresnih sunkov 12. aprila 1998 (modri krogci) in 12. julija 2004 (rdeči krogci). Velikost krogcev opredeljuje magnitudo potresa.(Vir: ARSO, 2004).....	6
Slika 4: Tipične poškodbe po potresu leta 1998 (Foto: Hrovatin, A 1998).....	7
Slika 5: Elementi ranljivosti kamnitih stavb Posočja (Dolinšek, B. 2004).....	8
Slika 6: Tipična diagonalna medodprtinska razpoka (Foto: Dolinšek, B. 2004).....	9
Slika 7: Vodoravne razpoke kjer je razviden premik plošče (Foto:Dolinšek, B. 2004).....	10
Slika 8: Globoke vertikalne razpoke na starejšem zidanem objektu (Foto: Dolinšek, B. 2004)	10
Slika 9: Primer razslojitve kamnitega zidu (Foto: Dolinšek, B. 2004).....	11
Slika 10: Stopnje poškodb pri zidanih zgradbah po lestvici EMS (Tomaževič, M. 2009).....	13
Slika 11: Elektronska oblika uporabljena za analizo (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	20
Slika 12: Prevrnitev zidu (Modena, C. 2005).....	21
Slika 13: Izračun pospeška prevrnitve zidu – ESC (Modena, C. 2005).....	21
Slika 14: Diagram poteka postopka ocenjevanja ranljivosti od zbiranja podatkov do določanja razreda ranljivosti (D`Ayala, D. 2003).....	25
Slika 15: Prevrnitev v celoti (levo) in delna prevrnitev (desno) (D`Ayala, D. in sod. 2010)....	26
Slika 16: Prevrnitev z eno pasnico (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	27
Slika 17: Prevrnitev z dvema pasnicama (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	27
Slika 18: Prevrnitev vogala, ki vključuje širok del dveh sten (levo) in prevrnitev vogala, ki se nahaja na vrhu (desno) (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	28
Slika 19: Delna prevrnitev (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	28
Slika 20: Prevrnitev pasu zidu (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	29
Slika 21: Mehanizem navpičnega ločnega efekta (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	29
Slika 22: Mehanizem vodoravnega ločnega efekta (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	30
Slika 23: Načini porušitve zidane stene medodprtinskih (angl. <i>piers</i>) (levo) in nadodprtinskih elementov (angl. <i>spandrel</i>) (desno) (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	30

Slika 24: Prikaz psevd – diagonalne razpoke na zidani steni (D´Ayala, D. in sod. 2010).....	31
Slika 25: Mehka etaža (D´Ayala, D. in sod. 2010)	31
Slika 26: Mehanizem porušitve zatrepnega zidu (D´Ayala, D. 2003)	32
Slika 27: Mehanizem nadzidka (D´Ayala, D. 2003)	32
Slika 28: Porušitev strehe (D´Ayala, D. in sod. 2010)	33
Slika 29: Nezdostna kohezija zidovine (D´Ayala, D. in sod. 2010).....	33
Slika 30: Število posameznih blokov (D´Ayala, D. in sod. 2010)	34
Slika 31: Obrazec za urbane podatke (D´Ayala, D. in sod. 2010)	35
Slika 32: Obrazec za geometrijske karakteristike fasade (D´Ayala, D. in sod. 2010)	35
Slika 33: Obrazec za geometrijske karakteristike odprtin (D´Ayala, D. in sod. 2010).....	35
Slika 34: Obrazec za geometrijske karakteristike tlorisa obravnavane fasade (D´Ayala, D. in sod. 2010)	36
Slika 35: Obrazec za lastnosti konstrukcije obravnavane fasade (D´Ayala, D. in sod. 2010)..	37
Slika 36: Obrazec za dodatne ranljive elemente obravnavane fasade (D´Ayala, D. in sod. 2010)	37
Slika 37: Vrste razpok (D´Ayala, D. in sod. 2010)	38
Slika 38: Obrazec za identificiranje poškodb in mehanizmov porušitve (D´Ayala, D. in sod. 2010).....	38
Slika 39: Pregled izračunanih vrednosti ESC-jev z opazovanimi mehanizmi porušitve	63

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Ocenjevanje ranljivosti stavb (D' Ayala, D. in sod. 2010).....	12
Preglednica 2: Opredelitev stopnje poglobljenosti na različne vidike znanja in relativnega delnega faktorja zaupanja (D`Ayala, D. in sod. 2010).....	17
Preglednica 3: Kinematični modeli za izven ravninske mehanizme porušitve (Modena, C. 2004)	23
Preglednica 4: Rezultati analize za objekt Čezsoča 100 za fasado 23.20.S	40
Preglednica 5: Rezultati analize za objekt Čezsoča 46 za fasado 22.8.Z	40
Preglednica 6: Rezultati analize za objekt Čezsoča 94 za fasado 23.16.JV	41
Preglednica 7: Rezultati analize za objekt Soča 22 za fasado 19.13.J.....	41
Preglednica 8: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a za fasado 23.15.V	42
Preglednica 9: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a za fasado 23.15.S.....	42
Preglednica 10: Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 za fasado 22.10.S	43
Preglednica 11: Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 za fasado 22.10.Z	43
Preglednica 12: Rezultati analize za objekt Čezsoča 43 za fasado 22.5.J.....	44
Preglednica 13: Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 za fasado 22.2.V.....	44
Preglednica 14: Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 za fasado 22.2.S	45
Preglednica 15: Rezultati analize za objekt kašče v Čezsoči za fasado 23.19.S	45
Preglednica 16: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.J.....	46
Preglednica 17: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.Z	46
Preglednica 18: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.S	47
Preglednica 19: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.V.....	47
Preglednica 20: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93 za fasado 23.1.J.....	48
Preglednica 21: Rezultati analize za objekt Kot 83 za fasado 35.11.Z	48
Preglednica 22: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 8 za fasado 13.1.J	49
Preglednica 23: Rezultati analize objekta Drežniške ravne 8 za fasado 13.1.V.....	49
Preglednica 24: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 za fasado 13.10.S.....	50
Preglednica 25: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 za fasado 13.10.Z	50
Preglednica 26: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 za fasado 13.11.J	51
Preglednica 27: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 za fasado 13.11.S.....	51

Preglednica 28: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 za fasado 13.12.J.....	52
Preglednica 29: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 za fasado 13.12.V	52
Preglednica 30: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 22 za fasado 13.14.V	53
Preglednica 31: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 26 za fasado 13.18.S	53
Preglednica 32: Rezultati analize za objekt Kot 46 za fasado 24.2.V	54
Preglednica 33: Rezultati analize za objekt Klanc 18 za fasado 25.9.V	54
Preglednica 34: Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 za fasado 3.1.Z	55
Preglednica 35: Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 za fasado 3.1.J	55
Preglednica 36: Rezultati analize za gospodarsko poslopje za fasado 16.13.S	56

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v potresu leta 1998.....	58
Grafikon 2: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v potresu leta 2004.....	58
Grafikon 3: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v obeh potresih	59
Grafikon 4: Stopnja ranljivosti glede na mehanizem porušitve v obeh potresih.....	60
Grafikon 5: Vrednosti ESC-jev za fasade poškodovane v potresu 1998.....	61
Grafikon 6: Vrednosti ESC-jev za fasade poškodovane v potresu 2004.....	62
Grafikon 7: Primerjava vrednosti ESC-ja in indeksov ranljivosti ter poškodovanosti	64
Grafikon 8: Vpliv izvedbe detajlov in tipa stropne konstrukcije na izračun ranljivosti stavbe	65
Grafikon 9: Primerjava pospeškov povratnih period s pospeški v potresih 1998 in 2004	66
Grafikon 10: Kritični mehanizmi z upoštevanjem standardne deviacije.....	66

1 UVOD

Metode za ocenjevanje potresne ranljivosti stavb se razvijajo že več desetletij in upoštevajo različne pristope za zbiranje in interpretacijo podatkov. Vsem metodam je skupno, da poskušajo ovrednotiti pričakovane poškodbe na objektih in njihovo seizmično odpornost.

Ne glede na izbrano metodo bi lahko splošne korake za ocenjevanje potresne ranljivosti strnili v naslednji obliki:

- identifikacija regije za katero se bo ocenjevala potresna ranljivost;
- klasifikacija tipologij stavb in/ali zahtev potresnih standardov za območje za katero se bo izvajala ocena potresne ranljivosti;
- določitev tveganja za obravnavano območje;
- zbiranje podatkov o poškodbah iz preteklih potresov, ki so prizadeli območje, za katero bo ocenjena potresna ranljivost;
- zbiranje podatkov za stavbe v območju za katero bo ocenjevana potresna ranljivost;
- določitev stopnje poškodovanosti za stavbe za katere se bo ocenjevala potresna ranljivost;
- izbira metode, ki je primerna za območje za katero bo ocenjena potresna ranljivost;
- skupek parametrov, ki upoštevajo negotovost zaradi pomanjkljivosti podatkov za bolj natančno ovrednotenje obnašanja konstrukcije v primeru potresa;
- vrednotenje rezultatov;
- napovedovanje različnih scenarijev poškodovanosti v prihodnosti za območje za katero je bila izpeljana ocena potresne ranljivosti.

Metode za ocenjevanje potresne ranljivosti identificirajo ranljivost strukture poškodb s funkcijo potresne ranljivosti. Funkcije ranljivosti so zvezne funkcije, ki izražajo verjetnost dogodka posameznih poškodb pri potresu v odvisnosti od intenzitete potresa. Vzorec, ki je uporabljen za razvijanje funkcije ranljivosti, je mogoče pridobiti z zbiranjem potresnih poškodb iz preteklih opazovanj stavb po potresih ali z uporabo podatkovne baze npr. Hazuz (D'Ayala, D. in sod. 2010). Ocena funkcij ranljivosti z uporabo obstoječih podatkov o poškodbah zaradi potresa bi lahko bil eden boljših načinov za oceno morebitne škode pri

naslednjih potresih. Dejanske prednosti uporabe pridobljenih podatkov za študije ranljivosti obstoječih stavb je možnost uporabe teh podatkov za kalibracijo ali optimizacijo izpeljanih analitičnih krivulj ranljivosti. Če so na voljo ustrezna analitična orodja, zlasti če temeljijo na neposrednih poškodbah stavb iz preteklih potresov, je analitična metoda pravilna in primerna izbira za razvoj funkcije ranljivosti.

2 POTRESI V POSOČJU IN POTRESNE LESTVICE

2.1 Osnovni pojmi in nastanek potresov

Potres imenujemo gibanje tal, ki nastane zaradi nenadnih premikov v globini zemeljske skorje. Potrese povzročajo različni naravni pojavi med katerimi so najpogostejši tektonski procesi, izbruhi vulkanov ali nenadna zrušenja delov zemljine na kraških območjih, lahko pa tudi človekove dejavnosti kot so veliki rudniški izkopi, eksplozije in velika vodna zajetja.

Zaradi relativnih premikov med dvema sosednjima ploščama nastanejo v skalnih materialih v bližini stika visoke napetosti. Ko napetosti presežejo trdnost kamnin, se nakopičena deformacijska, potencialna energija sprosti v obliki potresa. Porušno ravnino, po kateri medsebojno zdrsneta dve sosednji skalni formaciji, imenujemo tektonski prelom. Večina potresov je posledica medsebojnih premikov tektonskih blokov vzdolž aktivnih prelomov. Potresi redko nastanejo zaradi povečanih obremenitev skalnih formacij v samem tektonskem bloku. Skalne formacije lahko vzdolž preloma zdrsnejo v navpični ali vodoravni smeri ali pa v kombinaciji obeh.

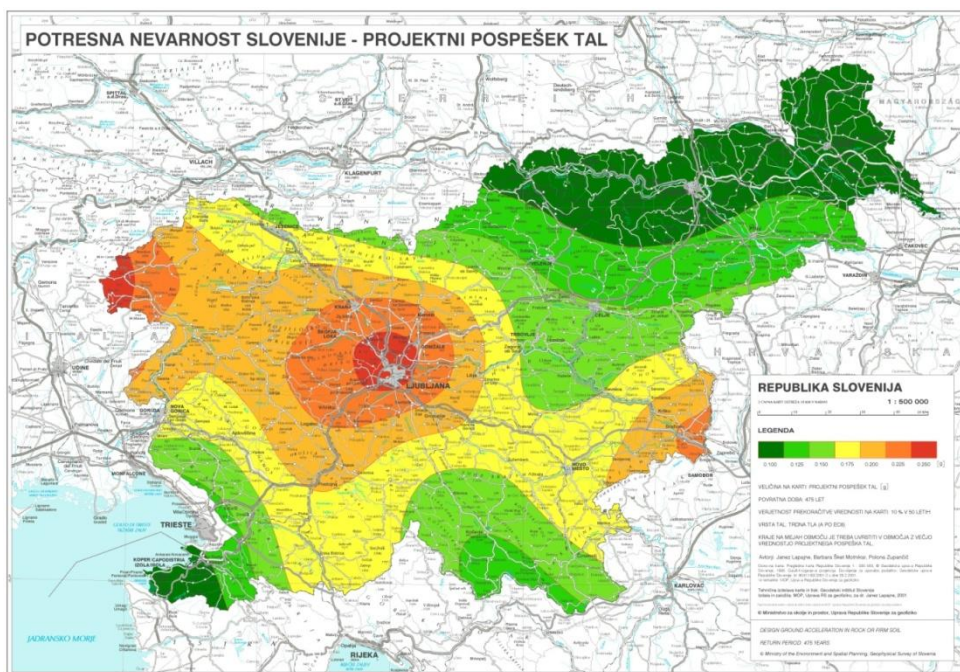
2.2 Potresi v Sloveniji

Slovenija spada po številu in moči potresov med aktivnejša območja, saj leži na potresno dejavnem južnem robu Evrazijske geotektonske plošče, na severozahodnem robu sredozemsko-himalajskega seizmičnega pasu, ki je eden od potresno najaktivnejših na Zemlji. Že v preteklosti so se na našem ozemlju pojavili številni rušilni potresi, ki so poleg gmotne škode zahtevali tudi številna človeška življenja. Potresno najbolj nevarna območja (Slika 1) pri nas so poleg ljubljanskega območja še idrijsko, tolminsko, krško-brežiško in v zadnjem času zgornje Posočje.

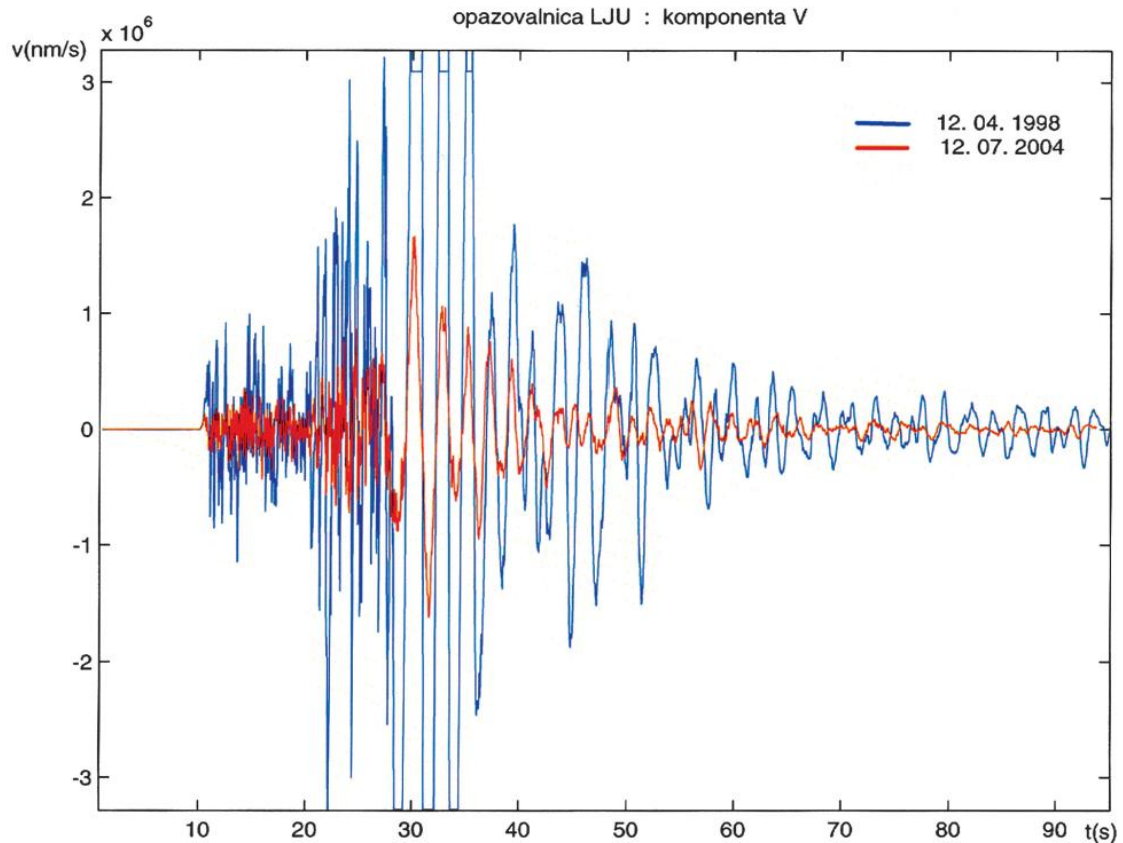
Potres z največjimi posledicami v 20. stoletju z nadžariščem v Sloveniji je nastal 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Magnituda potresa je bila 5,6, največja ocenjena intenziteta pa od VII. – VIII. stopnje po lestvici EMS. Žarišče potresa je bilo pod dolino Lepene in pobočji

Krna, globina potresa pa je bila približno 8 km. V prvih dvajsetih urah je bilo okoli 400 popotresnih sunkov, v naslednjih mesecih pa jih je sledilo še okoli 7000. Najmočnejši popotresni sunek je nastal 6. maja 1998 z magnitudo 4,2.

Šest let kasneje, 12. julija 2004 je Posočje prizadel nov potres. Magnituda, ki je bila izračunana s pomočjo 11-ih opazovalnic je znašala 4,9, največja intenziteta pa je bila od VI. – VII. stopnje po lestvici EMS. Potresni sunek, ki je bil po sproščeni energiji 10-krat šibkejši od potresa leta 1998, je zaradi slabih lokalnih seizmoloških razmer v Čezsoči in nekaterih delih Bovca povzročil gmotno škodo na zgradbah. Izmerjeni pospeški tal v Bovcu so v smeri sever – jug dosegli vrednost $a_{\max}=0,47$ g (kar pomeni 47% vrednosti pospeška prostega pada), medtem, ko so bile vrednosti na območju Kobarida štiri do pet-krat manjše (Klemenc, I. in sod. 2004). V naravi je nastalo več manjših hribinskih podorov in drugih značilnih pojavov kot so padanje skal in razpoke ob robovih teras. Globina žarišča je bila podobna kakor pri potresu 12. aprila 1998.



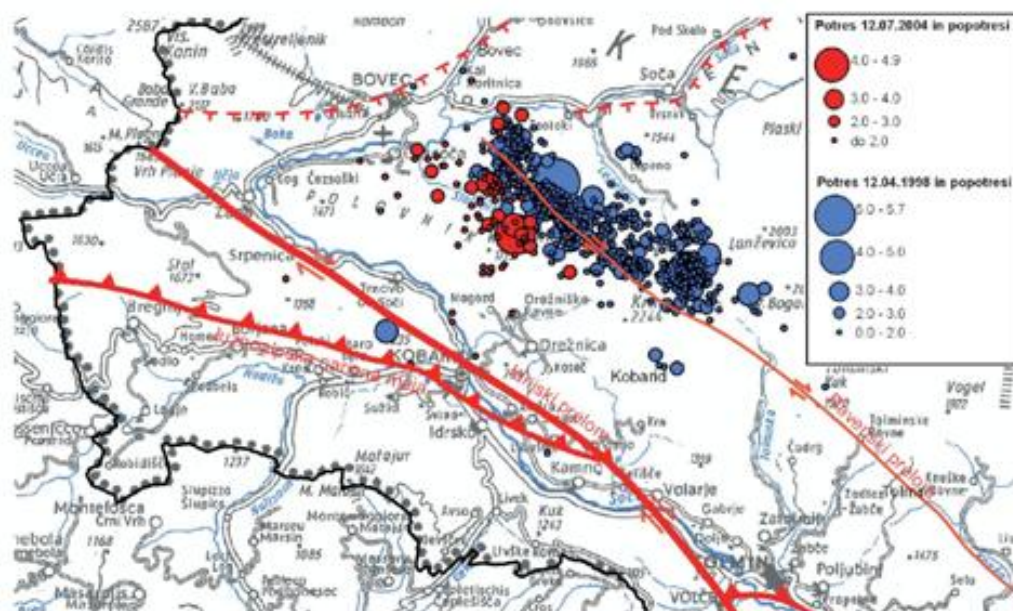
Slika 1: Karta potresne nevarnosti Slovenije: projektni pospeški tal (Vir: ARSO)



Slika 2: Primerjava zapisov potresov 12. aprila 1998 (modri seizmogram) in 12. julija 2004 (rdeči seizmogram) nazorno kaže, da je bil zadnji potres po sproščeni energiji bistveno šibkejši. (Vir: ARSO, 2004)

Oba potresa sta nastala ob istem prelomnem sistemu – to je ob Ravenskem prelomu, ki je del Idrijskega prelomnega sistema. Na sliki 2 je vidna primerjava zapisov seizmogramov pri obeh potresih kjer je nazorno prikazano, da je bil zadnji potres bistveno šibkejši. Razdalja med žariščema obeh potresov znaša manj kot 6 km (Slika 3).

Geološka sestava tal najbolj vpliva na učinke potresa. V slabih tleh se lahko učinki na zgradbe povečajo za celo stopnjo ali več. Širše epicentralno območje potresa v Posočju 12. aprila 1998 je zgrajeno večinoma iz karbonatnih kamnin, kot so apnenci in dolomiti, ki v seizmološkem smislu predstavljajo dobra tla, manj pa je flišnih kamnin. Seizmično najobčutljivejšo podlago gradijo nanosi rek, potokov in ledenikov ter pobočni grušči. Dejstvo pa je, da so večje poškodbe nastale prav na slabih tleh.



Slika 3: Nadžarišče glavnega potresa in popotresnih sunkov 12. aprila 1998 (modri krogci) in 12. julija 2004 (rdeči krogci). Velikost krogcev opredeljuje magnitudo potresa. (Vir: ARSO, 2004)

2.3 Tipologija stavb v Posočju

V nadaljevanju povzemamo osnovne značilnosti karakterističnih stavb za Posočje (Godec, M. in sod. 2004).

2.3.1 Vrste stavb

Prevladujejo enostanovanjske kamnite zidane stavbe starosti cca. 60 – 100 let etažnosti P(K) +1+ Podstrešje (Slika 4). Sledijo večetažne zidane konstrukcije kot npr. zgradbe v centru Boveca, ki so večinoma spomeniško zaščitene, stanovanjski bloki in sakralni objekti. V industrijski coni Bovec so pretežno AB montažni objekti.



Slika 4: Tipične poškodbe po potresu leta 1998 (Foto: Hrovatin, A 1998)

2.3.2 Temelji

Objekti imajo večinoma kamnite temelje, sledijo betonski, nekaj objektov je grajenih brez temeljev ali pa imajo drugačno temeljenje. Temelji so pogosto narejeni iz večjih kosov kamnja ali betona slabe kakovosti in nekateri pa niso dovolj globoki.

2.3.3 Zidovi

Večina hiš je zgrajena iz neobdelanega kamna, sledijo zidovi iz mešanega materiala, opečnega, betonskega ali drugačnega materiala. Za Posočje je značilna gradnja zidov debeline cca. 0,5m in več. Kakovost zidovine je praviloma slaba: tipičen zid je sestavljen iz dveh zunanjih slojev, v katerih so večji kamni, vmes pa je zasutje iz manjših kosov kamna in odpadnega drobirja. Vezni kamni, ki povezujejo oba sloja, so redki. Za zidanje je uporabljena podaljšana ali apnena malta.

2.3.4 Stropovi

Stropi in okenske preklade so tradicionalno leseni, sledijo opečni, betonski ali pa iz drugih kombiniranih materialov t.j. betonski strop z jeklenimi traverzami.

2.3.5 Ostrešje in kritina

Ostrešje je po večini Posočja leseno. Prevladuje kritina iz korcev, opečnih strešnikov, salonitk ali pa kritina iz drugih materialov.

2.3.6 Leto izgradnje

Veliko objektov je bilo zgrajenih pred letom 1914, največ jih je iz obdobja I. in II. svetovne vojne, ter med leti 1964 – 1981. Obdobja gradnje so bila očitno določena glede na pomembne mejnike, kakor so bile povojne obnove ali pa spremenjena zakonodaja na področju potresno odporne gradnje.

2.4 Tipične poškodbe po potresu

V nadaljevanju so predstavljene tipične poškodbe kamnitih hiš po potresu. Slika 5 nam prikazuje nekatere karakteristične porušitve kamnitih zidov in elemente ranljivosti:

- razpadlost zidu v območju preklade – vpliv toge AB stropne konstrukcije,
- poškodbe vogalov – pomanjkanje vezi,
- delna porušitev zatrepnega zidu – pomanjkljivo sidranje strešne konstrukcije.



Slika 5: Elementi ranljivosti kamnitih stavb Posočja (Dolinšek, B. 2004)

Diagonalne razpoke (Slika 6) so ene tipičnih razpok, ki jih povzroči potres. Pojavljajo se predvsem v nosilnih zidovih in med fasadnimi odprtinami zaradi delovanja prečnih sil in upogibnih momentov. Takšne poškodbe so lahko zelo nevarne, saj poškodujejo prekladni del zidu in kaj hitro lahko izgubi podporo tudi stropna konstrukcija.



Slika 6: Tipična diagonalna medodprtinska razpoka (Foto: Dolinšek, B. 2004)

2.4.1 Vodoravne razpoke

Vodoravne razpoke (Slika 7) se pojavljajo vzdolž stikov med zidovi in stropi ter vzdolž zazidanih vratnih in okenskih odprtin. V času pred potresoma namreč še ni bilo predpisano, da morajo imeti stavbe vertikalne betonske vezi in so betonske plošče bile zabetonirane na zidove. Potresna sila lahko ploščo, ki ni vertikalno povezana z zidom, zapelje z zidu za nekaj centimetrov.



Slika 7: Vodoravne razpoke kjer je razviden premik plošče (Foto:Dolinšek, B. 2004)

2.4.2 Navpične razpoke, razpoke v vogalih odprtin in na stikih zidov

Na sliki 8 so vidne posledice premikov strešne konstrukcije na zunanjo fasado brez vezi. Nastale so močne vertikalne razpoke v območju okenske odprtine in vogala objekta.

Kjer se stikata opečni in kamniti zid, lahko nastanejo razpoke po celotni višini zidu zaradi slabega sidranja oziroma neustrezne povezanosti. Ob hujšem potresu bi stik popustil in razpadel. Podobno velja za zidarsko povezane zidove istega tipa.



Slika 8: Globoke vertikalne razpoke na starejšem zidanem objektu (Foto: Dolinšek, B. 2004)

2.4.3 Porušitev zatrefov

Do poškodb zatrefov pride predvsem pri slabo sidranih strehah. Zatrepi so običajno vitke konstrukcije izpostavljene delni ali celotni porušitvi.

2.4.4 Poškodbe zidovine

Zidovina je gradbeni material, ki ga sestavljajo materiali zelo različnih lastnosti (zidaki, malta, beton, armatura). Vendar ni nujno, da so vsi materiali vedno prisotni. Kamnite hiše v Posočju imajo zidovino pretežno slabe kakovosti. Notranji in osrednji deli kamnitega zidu so zidani slabše kot zunanji deli. Kamnito gradivo ima veliko votlih prostorov in je slabše oblitno z malto kot na zunanji strani. Eden od vzrokov je, da zunanja dela nista dovolj dobro povezana med seboj in tako lahko v potresu pride do razslojitve zidu (Slika 9) oziroma medsebojne odlepitve posameznih delov.



Slika 9: Primer razslojitve kamnitega zidu (Foto: Dolinšek, B. 2004)

Neustrezna zasnova konstrukcije, predvsem neenakomerna razporeditev zidov v tlorisu ter tudi po višini stavbe, premajhno razmerje med površino zidov in etažno tlorisno površino lahko povzroči koncentracijo poškodb in delno ali celotno porušitev stavbe.

3 POSAMEZNE METODE ZA OCENJEVANJE POTRESNE RANLJIVOSTI

3.1 Empirične in analitične metode

Dina D' Ayala in sodelavci (2010) so predstavili različne metode za ocenjevanje ranljivosti stavb, ki se razlikujejo v odvisnosti od časa, resursov in natančnosti (Preglednica 1). Izbrani tip metode je odvisen od končne ocene glede razpoložljivih podatkov in tehnologije.

Preglednica 1: Ocenjevanje ranljivosti stavb (D' Ayala, D. in sod. 2010)

Stroški	Zahtevnost postopkov in računskih metod				
	Naselja			Individualni objekti	
Aplikacija					
Metoda	Hitro globalno vrednotenje	Strokovno mnenje	Poenostavljeni analitični modeli	Metodologije za vrednotenje stanja objekta	Računske metode: linearne in nelinearne statične in dinamične analize

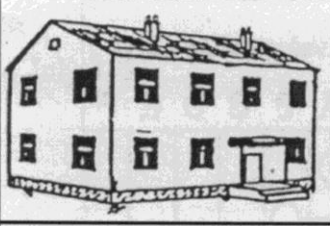




Metode za ocenjevanje potresne ranljivosti delimo na empirične in analitične oz. numerične. Empirične metode temeljijo na neposrednem opazovanju ranljivosti in/ali mnenju strokovnjakov. Analitične metode so razdeljene na enostavne modele in podrobne analitične postopke, ki temeljijo na različnih inženirskih pristopih. Metode, ki izkoriščajo značilnosti obeh skupin, se imenujejo hibridi.

Metode se razlikujejo po številu vzorcev, ki jih posamezen postopek potrebuje. Empirične temeljijo na zbiranju parametrov z opazovanjem na mestu samem z nekaj predpostavkami in so primerne za opredeljevanje potresne ranljivosti večjega števila stavb. Analitične metode pa potrebujejo podrobnejše informacije, ki se uporabljajo za majhno število stavb.

V empiričnih metodah za ocenjevanje potresne ranljivosti so poškodbe tipično razvrščene glede na potresne lestvice:

- MSK lestvica (Medvedev – Sponheuer – Karnik)
- MCS lestvica (Mercalli – Cancani – Sieberg)

- EMS lestvica (evropska potresna lestvica) (Slika 10)

	<p>1. stopnja OBJEKT JE UPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zanemarljiva do neznatna (na sami konstrukciji ni poškodb); nastanek lasastih razpok na nekaterih zidovih, odpadejo le manjši kosi ometa, pri manjšem številu zgradb je opaziti odpadanje majavih kamnov iz zgornjega dela objekta. Pri teh poškodbah je objekt uporaben.</p>
	<p>2. stopnja OBJEKT JE UPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zmerna (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) deli so srednje močno poškodovani), na mnogih zidovih so razpoke, dokaj veliki kosi ometa odpadejo, deli dimnikov se porušijo. Pri teh poškodbah je objekt uporaben.</p>
	<p>3. stopnja OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN</p> <p>Poškodovanost je znatna do velika (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski deli so močno poškodovani); na večini zidov so široke in velike razpoke, zdrs opečnih in skrilastih strešnikov, dimniki se odlomijo v višini strehe. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.</p>
	<p>4. stopnja OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zelo velika (velike poškodbe konstrukcije, zelo velike poškodbe na nekonstrukcijskih delih); resne porušitve zidov, delna porušitev konstrukcije. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.</p>
	<p>5. stopnja OBJEKT JE NEUPORABEN</p> <p>Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije): popolna ali skoraj popolna porušitev. Pri teh poškodbah je objekt neuporaben.</p>

Slika 10: Stopnje poškodb pri zidanih zgradbah po lestvici EMS (Tomažević, M. 2009)

Končni rezultati analitičnih in empiričnih metod so lahko kvalitativni ali kvantitativni. Kvalitativni rezultati empiričnih metod so pridobljeni z majhnim številom parametrov glede na veliko število stavb in se običajno nanašajo na posamezen tip stavbe. Kvantitativni rezultati analitičnih metod, pridobljeni z velikim številom parametrov glede na sorazmerno majhno število stavb, zagotavljajo bolj natančen opis obnašanja teh stavb, vendar v tem primeru ne morejo dovolj dobro opisati posameznega tipa stavbe. To je razlog, da so analize

ranljivosti izvedene kot kategorizirane metode in vključujejo klasifikacijo stavb v tipične razrede, pri čemer se končne vrednosti lahko pripišejo vsakemu pomembnemu delu stavbe. Zaradi izboljšanja izpopolnjevanja v numerično modeliranje konstrukcije je večja zastopanost analitičnih pristopov. Združevanje numeričnih vhodnih/izhodnih podatkov s statističnimi in verjetnostnimi postopki omogoča, da se lahko izkoristi najboljše prednosti empiričnih in analitičnih postopkov. Zanesljivost takih pristopov zagotavlja zmožnost opredelitve nekaterih mehanskih in konstrukcijskih značilnosti obravnavanega objekta v numeričnem smislu.

3.2 Kriteriji za izbiro primerne metode

Metodologije za določanje potresne ranljivosti lahko razvrščamo po merilih, ki se razlikujejo glede na različne tipe zbiranja podatkov, obseg zahtevanih podatkov, vrsto objekta/konstrukcije za katerega postopek se uporablja, vrsto postopka evalvacije rezultatov, tip končnih rezultatov, itd. Mnoge od teh kategorij se nanašajo neposredno na "dosegljivo raven znanja". Področje projektiranja potresno odpornih konstrukcij pri nas obravnava Evrokod 8 (SIST EN 1998-3: 2005). Preprojektiranje po SIST EN 1998-3: 2005 obsega analizo obstoječe konstrukcije, zasnovo posegov v konstrukcijo (izbor tehnoloških rešitev in materialov) in analizo utrjene konstrukcije. Ocenjuje ali obstoječe stanje objektov (morebitno popravilo, sanacija – utrditev ni potrebna) ustreza ali ne ustreza (utrditev). Elemente za opredelitev ustrezne metode za ocenjevanje potresne ranljivosti lahko zbiramo po naslednji metodologiji:

- **ime metode:** ime uporabljene metode,
- **seznam literature:** seznam razpoložljivih virov za opredelitev metode in njene učinkovitosti,
- **arhitektura:** arhitektura/tipologija objektov za katero se opredeljena metoda šteje za primerno,
- **način zbiranja podatkov:**
 - opazovanje stavb zagotavlja informacije o velikem številu stavb. Zbrane informacije se običajno nanašajo le na splošne tipologije stavb in ugotavljanje stopnje poškodovanosti objektov. Zbiranje podatkov z metodo opazovanja

stavb je izvršeno v kratkem času, običajno po potresu in zagotavljajo kakovostne rezultate;

- sistematične raziskave zagotavljajo kvalitativne in kvantitativne informacije za relativno veliko število stavb. Informacije se sistematično zbirajo s pomočjo obrazcev v relativno kratkem času. Postopek zagotavlja dosleden in sledljiv niz podatkov, ki so potrebni za zagon posebnega postopka/metodologije ocenjevanja. Lahko se opravi pred ali po dogodku in običajno zagotavlja kvantitativne rezultate;
 - raziskave oziroma meritve na posameznem objektu zagotavljajo kvantitativne in kvalitativne informacije, ki se nanašajo na posamezno stavbo. Zbrani podatki iz podrobnih raziskav, izvršeni v določenem času, opredelijo geometrijo konstrukcije, materialne lastnosti in druge informacije, ki so potrebne za izvajanje samostojne analize konstrukcije;
 - v laboratoriju pridobljeni kvantitativni podatki o sestavi zidovine in primerjava podatkov iz prejšnjih raziskav.
- **zanesljivost:** posebna pozornost je namenjena vplivu zanesljivosti vhodnih podatkov na zanesljivost rezultatov. Stopnja zaupanja je lahko:
- nizka (*angl. low* - LV1), če so zahtevani podatki pridobljeni na opazovanju stavb,
 - srednja (*angl. medium* – LV2), če se podatki zbirajo v sistematičnih raziskavah in nato preverijo na obstoječi dokumentaciji,
 - visoka (*angl. high* – LV3), če so podatki pridobljeni na opazovanju stavb in nato preverjeni z obstoječo dokumentacijo ter laboratorijskim testiranjem.
- **kategorija ocenjevanja:** ocena posamezne metode je lahko:
- **strokovna presoja:** kadar potrebujemo dodatne informacije, strokovna mnenja strokovnjakov na tem področju;

lahko temelji tudi na:

- empiričnem pristopu: ta metoda definira škodo glede na oceno poškodovanosti objektov in se uporablja za statistično evalvacijo popotresne škode

ali

- analitičnem pristopu: ta metoda definira škodo na stopnji poškodovanosti, ki je povezana z mejnim stanjem stavbe ali njenih konstrukcijskih elementov (mejni zasuki ipd.).
- **podatki:** zbiranje podatkov se lahko opredeli na naslednji način:
 - osnovni podatki: osnovni vhodni parametri so nujno potrebni za delovanje določene metode,
 - kvalitativni podatki: vhodni podatki niso nujno potrebni za delovanje določene metode, vendar izboljšajo natančnost končnih rezultatov,
 - zaželeni podatki: vhodni podatki niso nujni za delovanje določene metode, vendar izboljšajo natančnost in zanesljivost rezultatov.
- **velikost vzorca:** metode za ocenjevanje potresne ranljivosti uporabljajo različne velikosti vzorca (minimalne, srednje, optimalne), da bi dosegli najboljši rezultat natančnosti glede na potresno lestvico.
- **razpoložljivi čas:** čas, ki je potreben za določeno metodo, ima naslednje korake:
 - zbiranje podatkov se nanaša na čas za zbiranje ustreznih podatkov o stavbah,
 - vnos in analiza podatkov se nanaša na čas za vpisovanje in obdelavo vhodnih podatkov,
 - obdelava (post-procesiranje) se nanaša na čas za analiziranje vhodnih podatkov.
- **interakcija konstrukcija - temeljna tla:** upoštevanje sodelovanja med tlemi in konstrukcijo,
- **rezultati:** tip rezultatov opredeljene metode je definiran kot:
 - kvalitativni: v primeru, ko so rezultati izraženi v smislu potresne lestvice ali makrointenzitete,
 - kvantitativni: v primeru, ko so rezultati izraženi v smislu prečne sile in prečnega pomika/zasuka.
- **faktor zaupanja (FC – angl. *confidence factor*)**

V primeru obstoječih konstrukcij se uporablja faktor zaupanja, ki je odvisen od stopnje poznavanja konstrukcije. Faktor zaupanja je vrednosti 1 – 1,35. Določen je z opredelitvijo 4-ih delnih dejavnikov zaupanja, FCK ($k=1-4$) na podlagi številčnih koeficientov, ki so

podani v preglednici 2. Vrednosti so podane v štirih kategorijah podatkov in stopnjah. Faktor zaupanja se izračuna s pomočjo formule (1):

$$F_c = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{ck} \quad (1)$$

Pri vsaki metodi za ocenjevanje potresne ranljivosti je treba opredeliti faktor zaupanja.

Preglednica 2: Opredelitev stopnje poglobljenosti na različne vidike znanja in relativnega delnega faktorja zaupanja (D`Ayala, D. in sod. 2010)

Posnetek geometrije	Materialne in konstrukcijske preiskave	Mehanske lastnosti materialov	Terena in temeljenja
Končan posnetek geometrije F _{c1} = 0.05	Omejene preiskave materialnih in konstrukcijskih elementov F _{c2} = 0.12	Mehanski parametri izpeljani iz razpoložljivih podatkov F _{c3} = 0.12	Omejene preiskave terena in temeljenja s pomanjkanjem geoloških podatkov ali dostopnih informacij o temeljenju F _{c4} = 0.06
Posnetek geometrije je bil končan z grafičnim prikazom razpok in deformacij F _{c1} =0	Obsežne preiskave materialov in konstrukcijskih elementov F _{c2} = 0.06	Omejene raziskave mehanskih parametrov materialov F _{c3} = 0.06	Geološki podatki in informacije temeljnih konstrukcij so na voljo; omejene raziskave terena in temeljenja F _{c4} = 0.03
	Podrobne preiskave materialov in konstrukcijskih elementov F _{c2} = 0	Obsežne raziskave mehanskih parametrov materialov F _{c3} = 0	Obsežne ali podrobne raziskave terena in temeljenja F _{c4} = 0

3.3 Metode za ocenjevanje potresne ranljivosti stavb

Poznamo več metod za ocenjevanje potresne ranljivosti stavb:

- FaMIVE metoda analizira potresno ranljivost stavb in zgodovinskih stavb v središčih mest z uporabo različnih možnih mehanizmov porušitve neposredno povezanih s škodo na opazovanju stavb. Ta metoda je bila razvita za izračun obtežnega faktorja povezanega z različnimi mehanizmi porušitve vertikalnih makroelementov.
- VULNUS metoda je mehanska metoda, ki temelji na identificiranju ranljivosti nearmiranih kamnitih stavb s fuzzy-set teorijo in opredeli dejavnike, ki nadzorujejo seizmični učinek konstrukcij.
- SREMB (angl. *Seismic REsistance of Masonry Buildings*) je računalniški program razvit na ZRMK za izračun potresne odpornosti enostavnih kamnitih stavb. Temelji na nelinearni statični analizi, kjer namesto sil konstrukciji korakoma vsiljujemo pomike. Primeren za objekte z etažnim odzivom.
- TreMuri je računalniški program za analizo zidanih stavb, ki poleg linearne statične in modalne analize omogoča določitev poškodovanosti konstrukcije pri potresni obtežbi. Odpornost konstrukcije ne določa na nivoju etažnega mehanizma, ampak na podlagi ocene celotne stavbe.
- OTSO je (Ocena Tveganja za Sakralne Objekte) je ekspertni sistem za izračun ogroženosti in tveganja za posamezni objekt sakralne dediščine (cerkve) v primeru potresa.
- HAZUS metoda (razvita na FEMA) je metoda za določitev tveganja za določeno območje glede na oceno ranljivosti obravnavanega fonda stavb.
- Hibridne metode: kombinirajo statistiko popotresnih poškodb s simuliranjem analitičnih statistik na podlagi matematičnih modelov stavb.
- DIANA je numerična metoda, ki sloni na metodi končnih elementov ob upoštevanju različnih materialnih modelov za zidovino.

4 FAMIVE METODA IN MEHANIZMI PORUŠITVE

4.1 Uvod

Program FaMIVE (angl. *Failure Mechanisms Identification and Vulnerability Evaluation*) je bil razvit več let nazaj (D'Ayala, D. 2005) in temelji na analizi mejnih stanj fasad kamnitih stavb. Cilj analize je napovedati faktor obremenitve (v % pospeška prostega pada g) bočnih obremenitev, kar sproži nastanek določenega mehanizma porušitve. Na tej podlagi je mogoče napovedati možne načine poškodb, indekse ranljivosti in poškodovanosti ter končne razrede ranljivosti za posamezne objekte ali večjo skupino stavb.

4.2 Opis postopka

Za metodo so potrebni srednje veliki vzorci števila stavb. Podatke zbiramo na osnovi obstoječe dokumentacije ali pa se opravi natančen vizualni pregled objekta. Bistvena značilnost metode FaMIVE je povezana z organiziranim načinom zbiranja podatkov, saj se pri pregledu objektov osredotoča na tiste parametre, ki jih lahko neposredno označimo za karakteristike zidanih stavb povezane z njihovo seizmično odpornostjo in jih lahko večinoma določimo na terenu.

Med pregledom ocenjevalec v okviru študije prepozna ponavljajoče tipične urbanistične umeščenosti zidanih stavb in kakovosti materialov. Ta nabor podatkov se navadno nanaša na lokalne tehnike grajenja in razpoložljive materiale, ki so za obravnavano populacijo stavb na obravnavanem območju značilne (arhitekturne, konstrukcijske in materialne tipologije).

Drugi nabor podatkov se nanaša na geometrijske karakteristike fasade in tloriga posamezne stavbe. V elektronski obrazec (Slika 11) vpisujemo podatke, ki se samodejno shranjujejo v bazo podatkov.

INSPECTION FORM FOR THE SURVEY OF HISTORIC BUILDINGS

Shape and composition of the block

Town form Block # Type of use Date
 Address Building # % of use Surveyor

1 URBAN DATA **RELIABILITY**

1-1 Block access and escape routes 1-4 Position of building within the block
 1-2 Shape and composition of the block 1-5 Connection of the façade to adjacent walls
 1-3 Number of buildings in the block 1-6 Soil foundation

2 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE FAÇADE **RELIABILITY**

2-1 Façade orientation 2-5 Total height of the façade
 2-2 Maximum # of storeys of the building 2-6 Presence of gable
 2-3 Number of storeys of the façade 2-7 Gable wall height (if present)
 2-4 Length of the façade 2-8 Additional corner in the façade

3 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF OPENINGS **RELIABILITY**

3-1 Number of openings per storey
 storey #
 # opening
 3-2 opening width
 opening height
 3-3 Openings layout
 3-4 Edge piers
 3-5 Height of upper horizontal spandrel
 3-6 Lintels

4 PLAN GEOMETRIC CHARACTERISTICS **RELIABILITY**

4-1 Thickness at basis of façade wall 4-4 # int. structural walls // to the façade
 4-2 Thickness at top (% of thick. basis) 4-5 Total length perp. to the façade
 4-3 # int. structural walls perp. to façade 4-6 # int. walls perp. to back façade

5 STRUCTURAL CHARACTERISTICS **RELIABILITY**

5-1 N. storeys with vaulted structures 5-7 Level of maintenance of masonry
 5-2 Horizontal structure typology 5-8 Connection at edges
 5-3 Direction of hor. Structure 5-9 Out of verticality
 5-4 Roof structure typology 5-10 Façade restraining elements
 5-5 Direction of roof storey #
 5-6 Masonry type ties/pegs
 5-6b Mortar type buttresses/quoins
 5-6c average size of units l'h's wall plates
 5-11 retaining wall type and extension riber band/ ring beam

6 FURTHER VULNERABILITY ELEMENTS **RELIABILITY**

6-1 Presence of vertical addition 6-3 Specific weight reduction (%)
 6-2 Dimensions of vertical addition/parapet
 depth # abuts
 6-4 Chimney flue within the façade wall
 6-5 Roof overhanging # storeys
 6,6 Settlement
 6-7 Jetty/ Oriel/ balcony # pillars
 6,8 Porticoes
 6-9 Vaulted structures storey span rise t c type spring heig profile support supp wid supp depth drum height
 top level
 bottom level

7 DAMAGE LEVEL AND MECHANISMS IDENTIFICATIONS **RELIABILITY**

7-1 Mechanisms identification


Class	Type	(max) C
A	no	
B1	no	
B2	no	
C	par bal	5
D	no	
E	no	
F	no	
G	no	
H	par bal	4
I	no	
H2	par bal	4
M	no	
L	no	
Other kind of damage or failure not identified		4

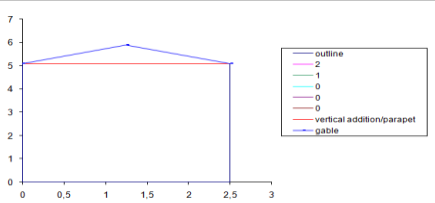
7-2 Crack pattern description per storey

Horizontal cracks
 Vertical cracks
 Corner cracks
 Diagonal cracks
 Masonry failure
 roof collapse
 floor collapse

7-3 Damage extension on the façade (%)

CRACKS AND FISSURE, MATERIAL LOSS



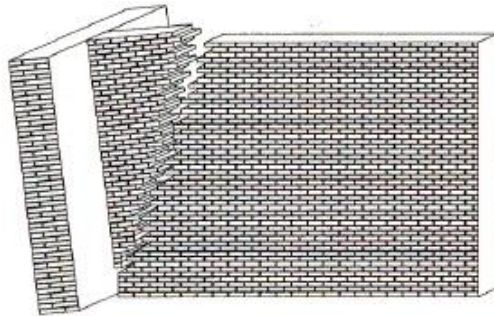


— outline
 — 2
 — 1
 — 0
 — 0
 — 0
 — vertical addition/parapet
 — gable

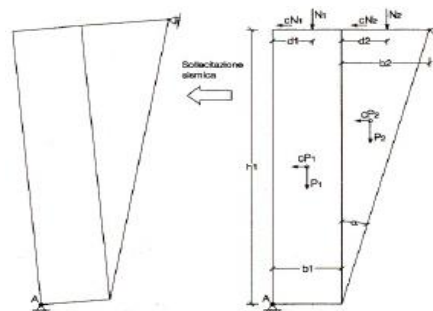
Pictures numbers
 Film number

Slika 11: Elektronska oblika uporabljena za analizo (D`Ayala, D. in sod. 2010)

Na podlagi zbranih podatkov se za vsako posamezno fasado izračuna faktor obremenitve. Ta je izražen s porušnim faktorjem obremenitve ESC (*angl. equivalent shear capacity*), ki je funkcija vitkosti, povezave z drugimi zidovi in stropnimi konstrukcijami, lastnosti zidovine ter koeficienta trenja. ESC se izračuna za vsak mehanizem porušitve za vsa nadstropja. Ni nujno, da je merodajna vrednost ESC-ja najmanjša vrednost med vsemi izračunanimi za obravnavane mehanizme porušitve. Pogoj za ranljivost: učinek posameznega mehanizma porušitve na celovitost stavbe po potresu. Na sliki 12 je nazorno prikazana porušitev zaradi povezave fasade z zidom slabih karakteristik. V konkretnem primeru nas zanima kolikšen pospešek je potreben za prevrnitev fasade (Slika 13). ESC je izračunan na osnovi lege težišča zidu in odcepljenega dela zidu glede na točko A po formuli (2).



Slika 12: Prevrnitev zidu (Modena, C. 2005)



Slika 13: Izračun pospeška prevrnitve zidu – ESC (Modena, C. 2005)

$$C = \frac{P_1 \times \frac{b_1}{2} + N_1 \times d_1 + P_2 \times \left(b_1 + \frac{b_2}{3} \right) + N_2 \times (b_1 + d_2)}{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times h_1 + P_2 \times \frac{2h_1}{3} + N_2 \times h_1} \quad (2)$$

Kjer je:

C = ESC porušni faktor obremenitve,

P_1, P_2 teža odcepljenega dela konstrukcijskega elementa,

N_1, N_2 osna sila,

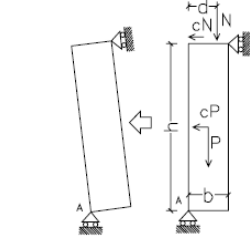
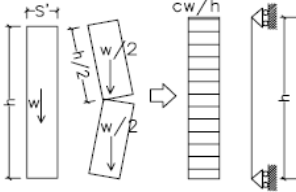
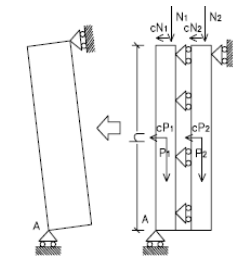
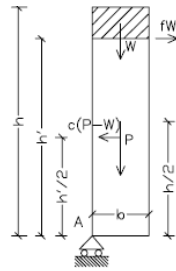
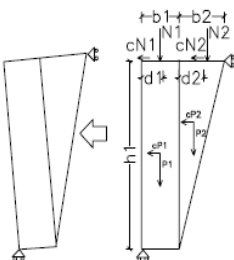
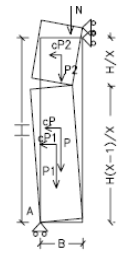
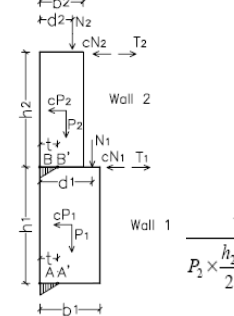
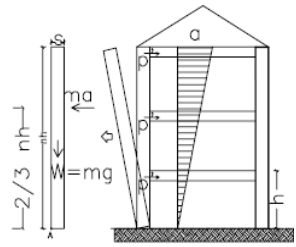
b_1, b_2 širina posameznega konstrukcijskega elementa,

h_1 celotna višina konstrukcijskega elementa,

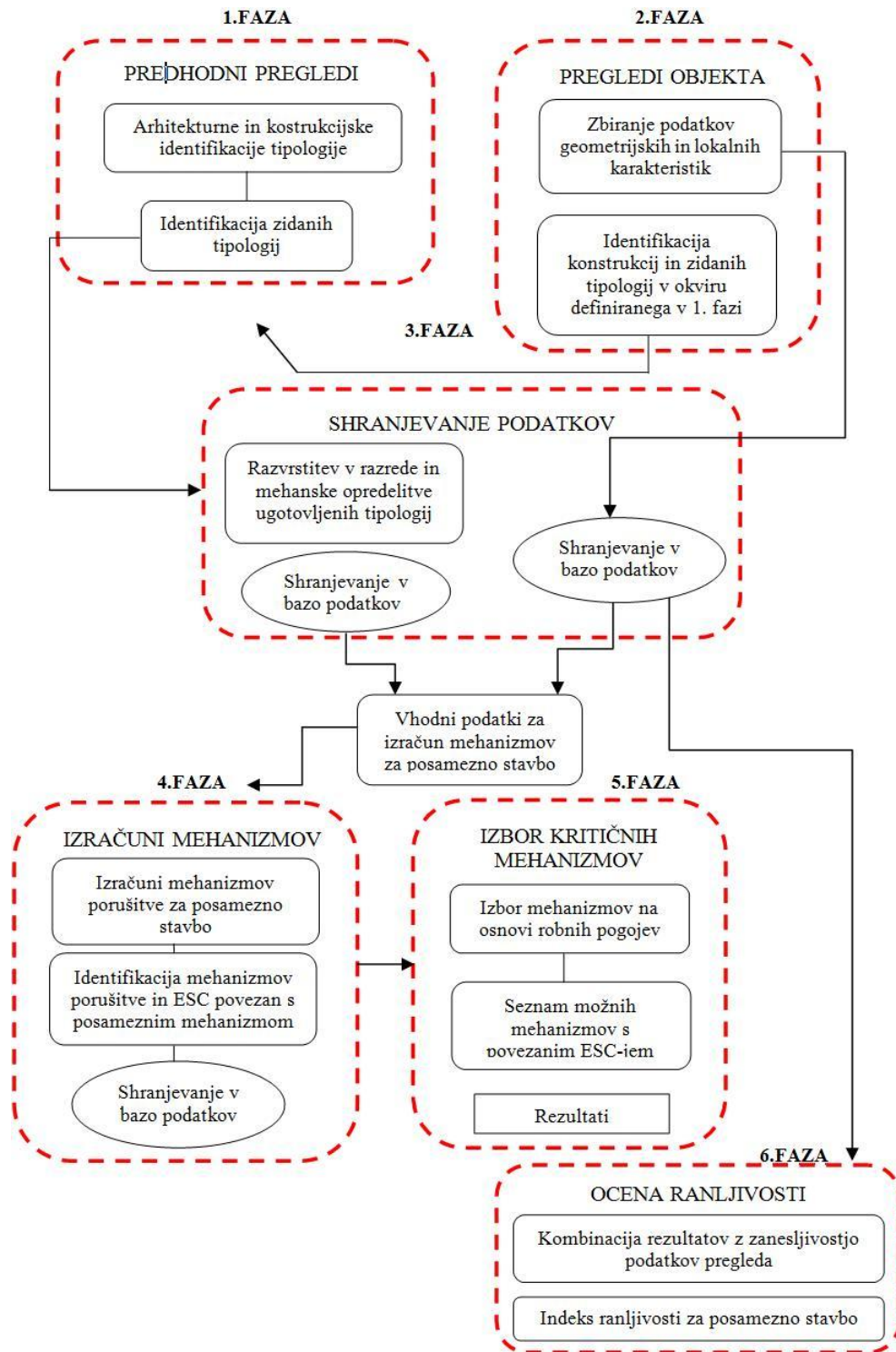
d_1, d_2 dolžina od osne sile do robu konstrukcijskega elementa.

V preglednici 3 so podani različni kinematični modeli za izven ravninske porušitve s prikazi porušitve in izračuni porušnega faktorja obremenitve ESC za posamezen primer kot jih navaja Modena (2004).

Preglednica 3: Kinematični modeli za izven ravninske mehanizme porušitve (Modena, C. 2004)

<p>Prevrnitev monolitne pravokotne fasade</p>  $c = \frac{P \times \frac{b}{2} + N \times d}{P \times \frac{h}{2} + N \times h}$	<p>Izven ravninska ločna porušitev</p>  $c = \min\left(\frac{2s'}{h}; \frac{(\sigma_i + \frac{w}{2}) \frac{4}{3} s'^2}{wh^2}\right)$
<p>Prevrnitev dvoslojnega zidu fasade</p>  $c = \frac{P_1 \times \frac{b_1}{2} + N_1 \times d_1}{(P_1 + P_2) \times \frac{h}{2} + (N_1 + N_2) \times h}$	<p>Prevrnitev fasade na vrhu z zaključno vodoravno vezjo</p>  $c = 2f \frac{h - h'}{h} + \frac{bh}{h'^2}$
<p>Prevrnitev fasade povezane s pravokotnim zidom slabih karakteristik</p>	<p>Prevrnitev fasade na vrhu ojačane z vezmi</p>
 $c = \frac{P_1 \times \frac{b_1}{2} + N_1 \times d_1 + P_2 \times \left(\frac{b_1 + \frac{b_2}{3}}{3}\right) + N_2 \times (b_1 + d_2)}{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times h_1 + P_2 \times \frac{2h_2}{3} + N_2 \times h_2}$	 $c = \frac{B}{H} \cdot \frac{2x + \left(\frac{N}{P}\right)(x+1)x}{x-1}$
<p>Prevrnitev fasade s spremenljivo debelino</p>	<p>Globalna prevrnitev celotne fasade</p>
 $c = \frac{P_2 \times \frac{b_2}{2} + P_3 \times \frac{b_3}{2} + N_2 \times d_2 + N_3 \times d_3}{P_2 \times \frac{h_2}{2} + N_2 \times h_2 + P_3 \times \left(h_2 + \frac{h_3}{2}\right) + N_3 \times (h_2 + h_3)}$	 $c = 0.75 \frac{s}{h} \times \frac{1}{n} + \frac{p'}{W} n$

Sledi diagram poteka postopka ocenjevanja ranljivosti po posameznih fazah (Slika 14). V prvi fazi se osredotočimo na predhodne preglede, ki jih v drugi fazi nadgradimo s pregledi obravnavanega objekta. Zbiramo podatke, ki so ključni za našo preiskavo (geometrijske karakteristike, identifikacija konstrukcij) in jih je potrebno pridobiti čimbolj detajlno. V tretji fazi shranjujemo pridobljene podatke v bazo podatkov in to so naši vhodni podatki za izračun posameznih mehanizmov porušitve. Izračuni mehanizmov so opredeljeni v četrti fazi kjer se definirata mehanizem porušitve za posamezno fasado in ESC povezan s posameznim mehanizmom. Rezultati se shranjujejo v bazo podatkov. Izbor kritičnih mehanizmov je značilen za peto fazo postopka ocenjevanja ranljivosti kjer se na podlagi robnih pogojev določijo možni mehanizmi s pripadajočimi ESC-ji ter rezultati. Šesta faza nam da oceno ranljivosti s kombinacijo rezultatov z zanesljivostjo podatkov pregleda in indeks ranljivosti za posamezno stavbo.



Slika 14: Diagram poteka postopka ocenjevanja ranljivosti od zbiranja podatkov do določanja razreda ranljivosti (D' Ayala, D. 2003)

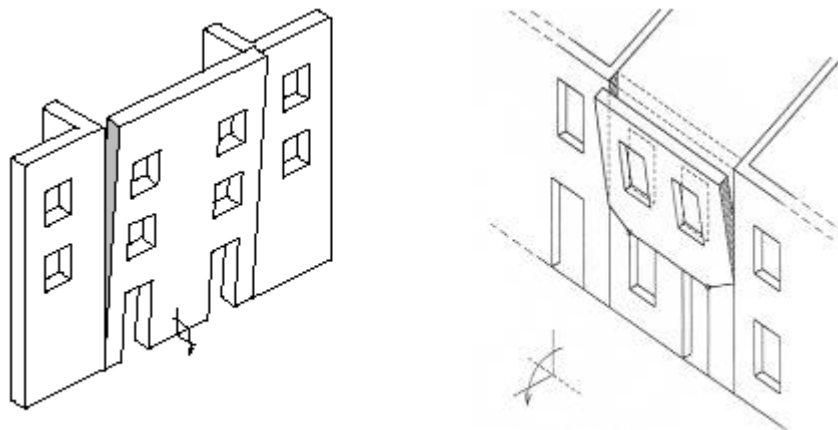
4.3 Upoštevani delni mehanizmi porušitve v analizi FaMIVE

V metodi FaMIVE je upoštevanih osem elementarnih izven ravninskih porušitev zunanjih sten in njihovih ravninskih porušitev. Upošteva se, da se pojavijo tudi lokalne porušitve nadstropij in zatrepnih zidov. Porušitve nadstropij in ostrejša so obravnavane kot izven ravninska porušitev. V analizi je lahko uporabljenih največ pet nadstropij. Pomembna je lega stavb in vrste povezanosti fasade s sosednjim objektom (stavbe v nizu, samostojne stavbe). Model za izračun strižne odpornosti v ravnini zidov sloni na zdrsnem mehanizmu in je odvisen od karakteristik zidovine – trenja med zidaki, izmer zidakov, zidne zveze, dolžine preklopa kot tudi od prostorninske mase zidovine. V nadaljevanju so podrobno predstavljeni vsi mehanizmi porušitve.

4.4 Izven ravninski mehanizmi

4.4.1 Mehanizem A – prevrnitev zidu

Do prevrnitve stene pride v primeru šibke povezanosti stranskih zidov oz. vrtenja okoli vodoravne osi. Do prevrnitve lahko pride delno ali v celoti (Slika 15).

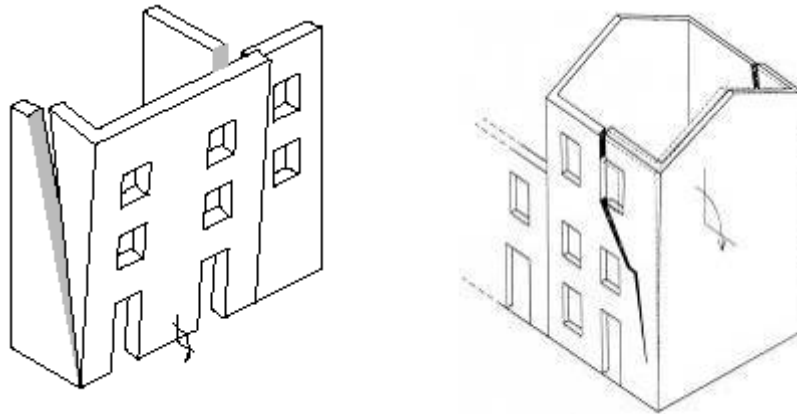


Slika 15: Prevrnitev v celoti (levo) in delna prevrnitev (desno) (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.2 Mehanizem B – prevrnitev skupaj s pasnicami

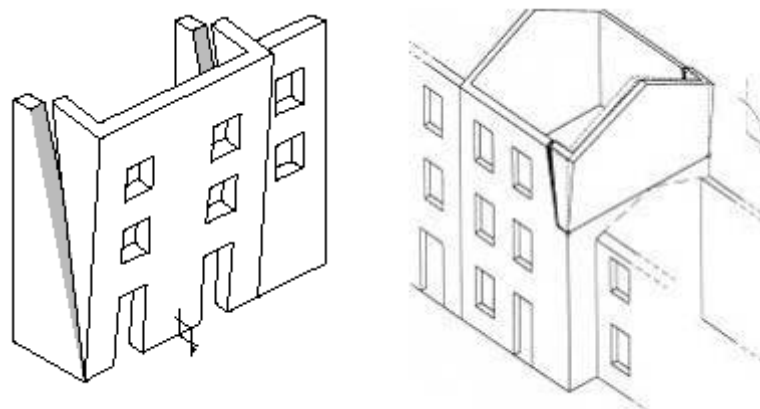
Mehanizem B se deli na dva podrazreda in sicer:

- prevrnitev z eno pasnico (Slika 16),
- prevrnitev z dvema pasnicama (Slika 17).



Slika 16: Prevrnitev z eno pasnico (D' Ayala, D. in sod. 2010)

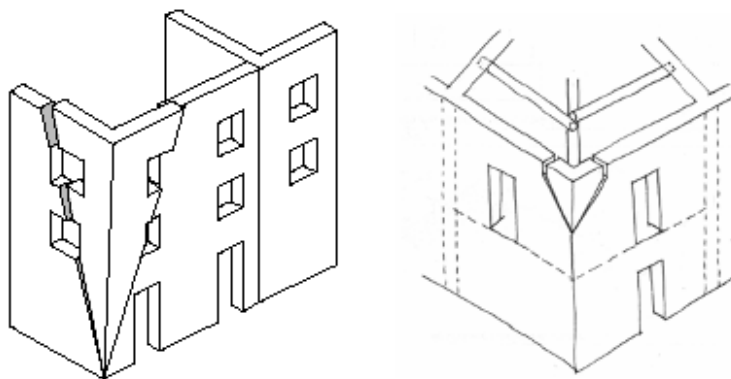
Pri prevrnitvi z eno pasnico gre za dobro povezavo na eni strani zidu in odlomom na drugi strani. Prevrnitev lahko vključuje sodelovanje stranske stene ali neodvisno od povezanosti sodelujočih sten. Pogosto so v primeru šibkih povezav razpoke večinoma vertikalne, medtem ko v primeru dobrih povezav diagonalne razpoke povzročajo prevrnitev dela pravokotno povezane stene. Prevrnitev se lahko pojavi tudi kot vrtenje okoli horizontalne osi.



Slika 17: Prevrnitev z dvema pasnicama (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.3 Mehanizem C – porušitev vogala

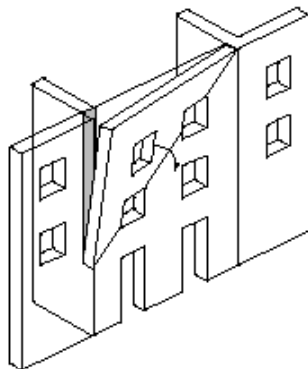
Mehanizem porušitve v vogalu nastane kadar se pojavijo diagonalne razpoke med dvema pravokotnima stenama. Na splošno je preprosto ugotoviti, če je prišlo do mehanizma porušitve po načelu vrtenja okoli vogala ali pa dveh diagonalnih razpok, ki se premikata navznoter. Tudi v tem primeru lahko gibanje vključuje večje ali manjše deleže, ki se nahajajo pod streho. V večini primerov gre za razrivanje špirovcev. Dva načina poškodb sta prikazana na spodnji sliki 18.



Slika 18: Prevrnitev vogala, ki vključuje širok del dveh sten (levo) in prevrnitev vogala, ki se nahaja na vrhu (desno) (D'Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.4 Mehanizem D – delna prevrnitev

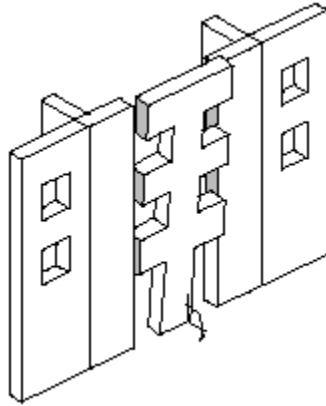
Do delne prevrnitve zidu pride v primeru šibke povezave s stranskim zidom oz. vrtenja okoli nagnjene osi (Slika 19).



Slika 19: Delna prevrnitev (D'Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.5 Mehanizem E – prevrnitev pasu zidu

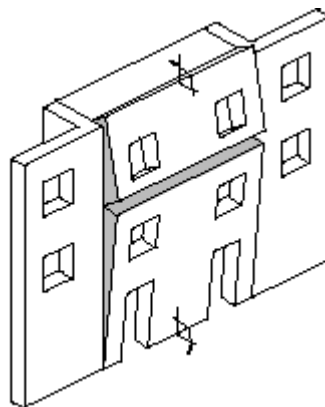
V nekaterih primerih lahko prisotnost navpično poravnanih odprtin v glavni fasadi skupaj s šibko povezavo pravokotnih sten in šibko spojenim stikom med končnim delom okenskih odprtin, spodbudi aktiviranje prevrnitve pasu zidu, kot je prikazano na sliki 20. Do prevrnitve pride zaradi šibke povezave s stranskimi stenami oz. vrtenjem okrog vodoravne osi.



Slika 20: Prevrnitev pasu zidu (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.6 Mehanizem F – navpični ločni efekt

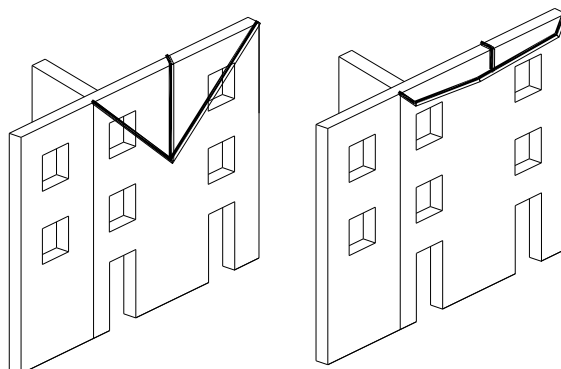
Dejavniki, ki lahko vplivajo na aktivacijo prevrnitve, so predvsem šibka povezava med zidanimi stenami in tlemi, šibka povezava med zidovi, prisotnost narivanja (npr. zaradi strešne konstrukcije ali tal, obokov), nepravilnosti pri projektiranju in odsotnost protipotresnih mehanizmov (vezi, opornikov...) (Slika 21).



Slika 21: Mehanizem navpičnega ločnega efekta (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.4.7 Mehanizem G – vodoravni ločni efekt

Pri mehanizmu vodoravnega ločnega efekta (Slika 22) so dejavniki, ki vplivajo na aktivacijo prevrnitve podobni kot pri navpičnem ločnem efektu.

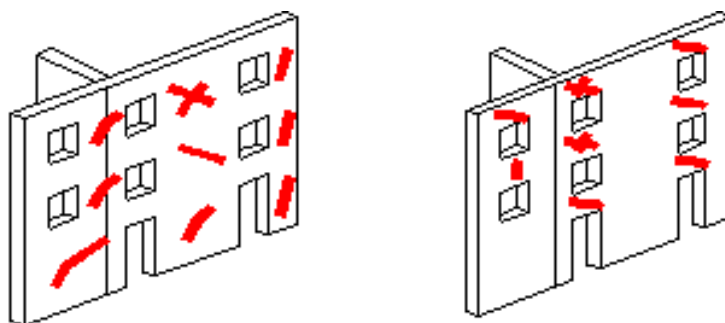


Slika 22: Mehanizem vodoravnega ločnega efekta (D'Ayala, D. in sod. 2010)

4.5 Ravninski mehanizmi

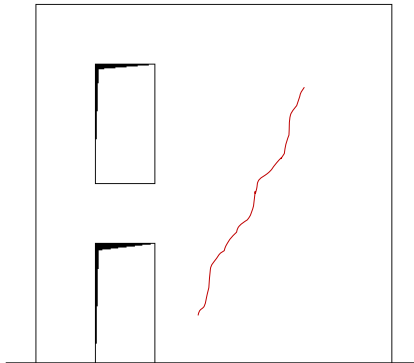
4.5.1 Mehanizem H1 – H2 porušitev v ravnini

V to skupino spadajo poškodbe, ki postopoma vodijo v izgubo nosilnosti obravnavane fasade. Značilne so diagonalne razpoke med odprtinami H1 (angl. *In-plane failure on piers*) in nad odprtinami H2 (angl. *In-plane failure on spandrels*) fasadnih elementov (Slika 23).



Slika 23: Načini porušitve zidane stene medodprtinskih (angl. *piers*) (levo) in nadodprtinskih elementov (angl. *spandrel*) (desno) (D'Ayala, D. in sod. 2010)

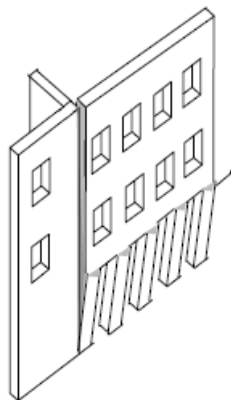
Kadar pa ni uniformne postavitve odprtin po višini, se bodo razpoke pojavljale v delu fasade kjer ni odprtin, kot kaže slika 24.



Slika 24: Prikaz psevdo – diagonalne razpoke na zidani steni (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.5.2 Mehanizem M – mehka etaža

Najbolj kritični so objekti, ki so šibki v spodnji etaži. To se pojavlja velikokrat v pritličju, kjer so trgovine, parkirni prostori, dvorane, izložbe itd. zaradi tega je konstrukcija oslABLJENA. To je t.i. mehka etaža (Slika 25).

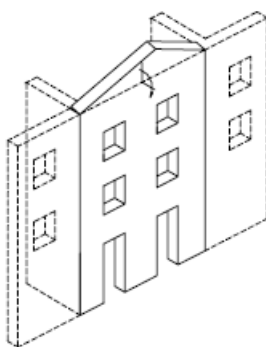


Slika 25: Mehka etaža (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.6 Nadaljnje delne porušitve

4.6.1 Mehanizem L - prevrnitev zatrepnega zidu

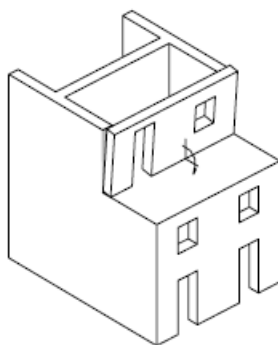
Neustrezna povezanost zidovja je zadosten razlog za ločevanje zidov na navpičnih stikih in ob vogalih ter za porušitev zidov, ki so postavljeni pravokotno na smer delovanja potresa. Zatrejni zidovi so ponavadi zgrajeni iz opeke ali pa so leseni, kar nam pove, da imajo razmeroma majhno debelino in so s tem bolj izpostavljeni prevrnitvi (Slika 26).



Slika 26: Mehanizem porušitve zatrepnega zidu (D' Ayala, D. 2003)

4.6.2 Mehanizem I – nadzidek

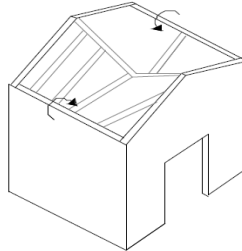
Kadar je objekt nezvezen po višini oz. je prisotna sprememba tlorisne zasnove po etažah so pospeški na fasadi t.i. nadzidka večji zaradi drugačne togosti kot v spodnji etaži (Slika 27).



Slika 27: Mehanizem nadzidka (D' Ayala, D. 2003)

4.6.3 Porušitev strehe ali nadstropja

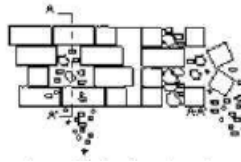
Strešna konstrukcija mora biti primerno sidrana v nosilno konstrukcijo, saj v primeru potresa lahko pride do zdrsa špirovcev in posledično do porušitve strešne konstrukcije (Slika 28).



Slika 28: Porušitev strehe (D' Ayala, D. in sod. 2010)

4.6.4 Porušitev zidovine

Veliko število votlin in nepovezanost posameznih slojev sta osnovna razloga za razslojevanje in razpadanje kamnitega zidovja (Slika 29).



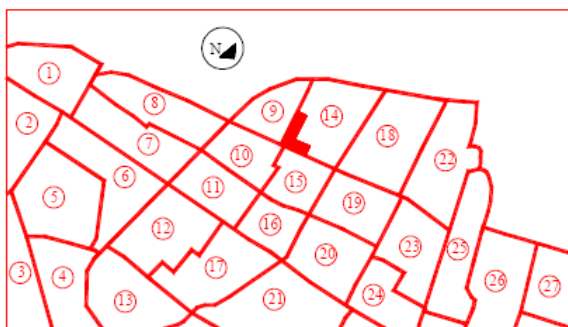
Slika 29: Nezadostna kohezija zidovine (D' Ayala, D. in sod. 2010)

5 FAMIVE METODOLOGIJA ZBIRANJA PODATKOV

5.1 Zbiranje podatkov

Obravnavano območje je območje Posočja, ki sta ga prizadela potresa leta 1998 in 2004. Uporabljeni so razpoložljivi podatki o poškodovanih objektih v obeh potresih, ki smo jih pridobili v Državni tehnični pisarni v Tolminu (v nadaljevanju DTP). Trenutno v DTP-ju poteka popotresna obnova po potresu 12.7.2004.

Območje Posočja smo razdelili na posamezna območja (Slika 30), ki vsebujejo ok. 40 - 50 stavb zaradi lažje orientacije. Obravnavana fasada ima tako oznako območja (1, 2, 3 ...), smer strani neba (sever, jug, vzhod, zahod) in številko stavbe (1, 2, 3 ...) v območju.



Slika 30: Število posameznih blokov (D' Ayala, D. in sod. 2010)

V nadaljevanju so povzeta osnovna navodila za uporabo programske opreme FaMIVE (D' Ayala, D. 2010).

5.1.1 Urbani podatki

V prvem delu definiramo vhodne podatke vezane na topografski opis stavbe in zahteve opisa urbanega konteksta okoli objekta, položaj objekta v bloku, tip povezave fasade s sosednjimi stenami in tip temeljenja (Slika 31). Te značilnosti vplivajo direktno na pojav posameznega mehanizma porušitve.

1 URBAN DATA		RELIABILITY			
1-1	Block access and escape routes	m	1-4	Position of building within the block	E
1-2	Shape and composition of the block	4	1-5	Connection of the façade to adjacent walls	2c
1-3	Number of buildings in the block	27	1-6	Soil foundation	2

Slika 31: Obrazec za urbane podatke (D'Ayala, D. in sod. 2010)

5.1.2 Geometrijske karakteristike fasade

V drugem delu se osredotočimo na geometrijske karakteristike fasade in sicer na orientacijo fasade, maksimalno število nadstropij, dolžino in višino fasade, prisotnost zatrepnega zidu in njegovo višino ter prisotnost dodatnih elementov na fasadi (Slika 32).

2 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE FAÇADE		RELIABILITY			
2-1	Facade orientation	sw	2-5	Total height of the facade	9.50
2-2	Maximum # of storeys of the building	3	2-6	Presence of gable	<input type="checkbox"/>
2-3	Number of storeys of the facade	3	2-7	Gable wall height (if present)	
2-4	Length of the facade	16	2-8	Additional corner in the façade	<input type="checkbox"/>

Slika 32: Obrazec za geometrijske karakteristike fasade (D'Ayala, D. in sod. 2010)

5.1.3 Geometrijske karakteristike odprtín

V tem delu zbiramo podatke o geometrijskih karakteristikah odprtín, ki so osredotočeni na opis odprtín na fasadi in njihove podrobnosti o številu, širini, višini, tipologiji odprtín, položaju, dimenzij zaključnih zidov, višini zgornjega horizontalnega nadodprtinskega elementa in tipa preklad (Slika 33).

3 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF OPENINGS		RELIABILITY	
3-1 Number of openings per storey		3-3 Openings layout	
storey #	3 2 1 0 0	layout	# storeys
# opening	6 6 6	E2	3
3-2 opening width	0.6 0.6 0.65	left	right
opening height	0.9 1.2 1.65	r	r
		3-4 Edge piers	
		3-5 Height of upper horizontal spandrel	1.2
		type length Material	
		3-6 lintels	b 1 s

Slika 33: Obrazec za geometrijske karakteristike odprtín (D'Ayala, D. in sod. 2010)

V primeru, da imamo okna minimalnih dimenzij, jih zanemarimo. Pri večjem številu odprtin upoštevamo povprečne dimenzije višin in širin odprtin.

5.1.4 Geometrijske karakteristike tlorisa

Pri določevanju geometrijskih karakteristik tlorisa potrebujemo podatke o debelini zidu fasade na dnu in na vrhu, število notranjih sten pravokotnih in vzporednih na obravnavano fasado, dolžino pravokotnih zidov in število notranjih sten pravokotnih na zadnjo fasado (Slika 34).

4 PLAN GEOMETRIC CHARACTERISTICS		RELIABILITY		
4-1	Thickness at basis of facade wall	0.8	4-4 # int. structural walls // to the facade	4
4-2	Thickness at top (% of thick. basis)	0.38	4-5 Total length perp. to the facade	14
4-3	# int. structural walls perp. to facade	1	4-6 # int. walls perp. to back facade	5

Slika 34: Obrazec za geometrijske karakteristike tlorisa obravnavane fasade (D' Ayala, D. in sod. 2010)

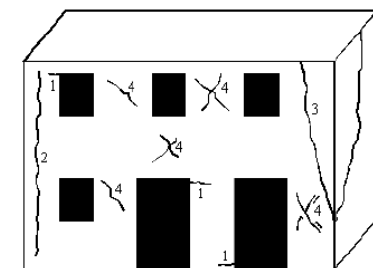
Za to skupino je možno podatke pridobiti iz obstoječih dokumentacij, vendar je zanesljivost v tem primeru nizka.

5.1.5 Lastnosti konstrukcije

V tem delu definiramo lastnosti konstrukcije, tako da določimo število nadstropij z obokanimi stropnimi konstrukcijami, tipologijo stropnih konstrukcij, usmerjenost stropne konstrukcije, tip strešne konstrukcije, smer strehe, tip zidave, tip malte, povprečno dimenzijo zidakov, nivo vzdrževanja, povezavo na robovih fasade ter fasadne elemente (vezi, podporne zidove). Če stena ni ometana ali postavev stavbe ni primerna, lahko ocenjevalec uporabi atribut enakega tipa t.j. druge stavbe s podobnimi značilnostmi. Vendar je v tem primeru dodeljena nizka zanesljivost tega podatka.

Lastnosti konstrukcije so ključni podatki v procesu izračuna ranljivosti, saj bistveno vplivajo na izbor kritičnega mehanizma porušitve (Slika 35).

- stopnjo poškodovanosti (od 1-5 po EMS lestvici, slika 10);
- razpoke za posamezno etažo (Slika 37):
 1. horizontalne razpoke;
 2. vertikalne razpoke;
 3. razpoke na vogalu;
 4. diagonalne razpoke.



Slika 37: Vrste razpok (D' Ayala, D. in sod. 2010)

- poškodovanost fasade izražena v odstotkih.

7 DAMAGE LEVEL AND MECHANISMS IDENTIFICATIONS		RELIABILITY
7-1 Mechanisms identification		CRACKS AND FISSURE, MATERIAL LOSS
Class	Type	D level
A	no	
B1	no	
B2	no	
C	no	
D	no	
E	no	
F	no	
G	no	
H	total	2
I	no	
H2	total	2
M	no	
L	no	
Other kind of damage or failure not identified		<input type="checkbox"/>
7-2 Crack pattern description per storey		
Horizontal cracks	partial	
Vertical cracks	partial	
Corner cracks	no	
Diagonal cracks	partial	
Masonry failure	<input type="checkbox"/>	
roof collapse	no	
floor collapse	no	
7-3 Damage extension on the facade (%)		

Slika 38: Obrazec za identificiranje poškodb in mehanizmov porušitve (D' Ayala, D. in sod. 2010)

Mehanizem lahko identificiramo le ob pogoju, da na osnovi posnetka razpok ugotovimo značilni vzorec. Lahko jih identificiramo več, medtem ko program določi le najbolj kritičnega.


6 ANALIZA REZULTATOV

6.1 Analiza obravnavanih fasad

V analizi je obravnavanih triintrideset primerov fasad poškodovanih kamnitih objektov v Posočju. Objekti so bili izbrani na osnovi raznovrstnosti in stopnji poškodb, ki so jih utrpele zgađbe po potresih leta 1998 in 2004, vendar prevladujejo močno poškodovani objekti. V naslednjih preglednicah 4 - 34 so predstavljeni obravnavani objekti z rezultati analize.


6.1.1 Objekt: Čezsoča 100 – Zadrugi dom - 23.20.S

Preglednica 4: Rezultati analize za objekt Čezsoča 100 za fasado 23.20.S

Oznaka	23.20.S			
Število etaž	K + P + M			
Tip objekta	poslovno – stanovanjski			
Leto potresa	2004			
<p>Objekt Čezsoča 100 je v potresu utrpel predvsem močne diagonalne strižne razpoke zidnih slopov na območju okenskih in vratnih odprtín – izčrpana upogibna nosilnost zidovja in navpične razpoke v večini nadokenskih slopov. V območju vogalov objekta so prisotne poševne razpoke.</p>				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 100 – fasada 23.20.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,27	3,67	1,12	SREDNJA RANLJIVOST

6.1.2 Objekt: Čezsoča 46 – 22.8.Z

Preglednica 5: Rezultati analize za objekt Čezsoča 46 za fasado 22.8.Z

Oznaka	22.8.Z			
Število etaž	P+N+PD			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
<p>Na objektu Čezsoča 46 se vidi tipičen primer neprimerne dozidave prizidka, ki se je v potresu skoraj popolnoma odcepil. Vidne so diagonalne razpoke nosilnih slopov na območju okenskih odprtín, horizontalne razpoke na stikih sten in stropov ter vertikalne razpoke na stikih posameznih zidov, porušena dimniška kapa ter prestrig dimnika.</p>				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 46 – fasada 22.8.Z				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,26	3,89	1,30	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.3 Objekt: Čezsoča 94 – Mlekarna – 23.16.JV

Preglednica 6: Rezultati analize za objekt Čezsoča 94 za fasado 23.16.JV

Oznaka	23.16.JV			
Število etaž	K + P + M			
Tip objekta	poslovno			
Leto potresa	2004			
Nosilno zidovje na objektu Čezsoča 94 je bilo močno poškodovano v pritličju na JV strani, kjer so vgrajene omarice za različne namene. Na JV strani je bil skoraj vsak nosilni zid oslabljen. Vogal na južni strani je v zelo slabem stanju.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 94 – fasada 23.16.JV				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,10	10	0,88	VISOKA RANLJIVOST


6.1.4 Objekt: Soča 22 – trgovina – 19.13.J

Preglednica 7: Rezultati analize za objekt Soča 22 za fasado 19.13.J

Oznaka	19.13.J			
Število etaž	P + N + M			
Tip objekta	poslovno stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Objekt Soča 22 po potresu leta 1998 v pritličju ni bil ustrezno popotresno saniran – ojačan. Po potresu leta 2004 so bili poškodovani nosilni zidovi pritličja, predvsem na južni strani objekta so izrazite karakteristične medokenske strižne razpoke. Močneje je poškodovan vogal na JV strani objekta, kjer so vidne tudi diagonalne in vertikalne razpoke.				
Rezultati analize za objekt Soča 22 – fasada 19.13.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,09	10,94	0,98	ZELO VISOKA RANLJIVOST


6.1.5 Objekt: Čezsoča 93a – 23.15.V

Preglednica 8: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a za fasado 23.15.V

Oznaka	23.15.V			
Število etaž	P + M			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Objekt Čezsoča 93a je v potresu utrpel poškodbe diagonalnih razpok zatrepnega zidu in kolenčnih zidov objekta, izrazite horizontalne razpoke na stiku zidov in stropne konstrukcije ter porušitev dimnika.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a – fasada 23.15.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,08	12,50	0,53	VISOKA RANLJIVOST


6.1.6 Objekt: Čezsoča 93a – 23.15.S

Preglednica 9: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a za fasado 23.15.S

Oznaka	23.15.S			
Število etaž	P + M			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Objekt Čezsoča 93 a je tipičen primer zdrsa AB plošče iz svoje lege. V pritličju je neregularen zaradi primankljaja nosilnih zidov v prečni smeri. V območju mansarde so vgrajene enostranske protipotresne vezi.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 93a – fasada 23.15.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,09	11,11	0,46	VISOKA RANLJIVOST


6.1.7 Objekt: Čezsoča 62 – 22.10.S

Preglednica 10: Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 za fasado 22.10.S

Oznaka	22.10.S			
Število etaž	P + N+p			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Kamnito zidovje objekta Čezsoča 62 je precej razpokalo v pritličju na severni strani objekta. Vidne so karakteristične diagonalne razpoke, ki potekajo od tal do medetažne konstrukcije nad pritličjem, ter vodoravne razpoke. Objekt ima vgrajene obojestranske vezi.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 – fasada 22.10.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,12	8,33	0,46	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.8 Objekt: Čezsoča 62 – 22.10.Z

Preglednica 11: Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 za fasado 22.10.Z

Oznaka	22.10.Z			
Število etaž	P + N+p			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
V večjem nosilnem zidu je vidnih precej karakterističnih diagonalnih strižnih razpok. V nivoju zgornjih robov okna in vrat je vodoravna razpoka, ki kaže na prestrižno porušitev preostalih pritličnih zidov severnega pročelja objekta.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 62 – fasada 22.10.Z				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,07	14,29	0,53	VISOKA RANLJIVOST


6.1.9 Objekt: Čezsoča 43 – 22.5.J

Preglednica 12: Rezultati analize za objekt Čezsoča 43 za fasado 22.5.J

Oznaka	22.5.J			
Število etaž	K+P+N+pd			
Tip objekta	poslovni			
Leto potresa	2004			
Objekt Čezsoča 43 je v potresu leta 2004 bil med najbolj poškodovanimi objekti, saj je dosegel 5. stopnjo po EMS lestvici. Sprožil se je delni porušni mehanizem prevrnitve zidu, ki je identičen mehanizmu po metodi FaMIVE. Objekt je bil kasneje porušen.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 43 – fasada 22.5.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,18	5,52	1,40	VISOKA RANLJIVOST


6.1.10 Objekt: Čezsoča 48 - 22.2.V

Preglednica 13: Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 za fasado 22.2.V

Oznaka	22.2.V			
Število etaž	K+P+M			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Objekt Čezsoča 48 spada med starejše slabo grajene objekte, ki je bil v potresu leta 2004 močno poškodovan. Vidne so globoke razpoke po vsej fasadi in razslojevanje zidu.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 – fasada 22.2.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,21	4,78	1,30	SREDNJA RANLJIVOST

6.1.11 Objekt: Čezsoča 48 - 22.2.S

Preglednica 14: Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 za fasado 22.2.S

Oznaka	22.2.S			
Število etaž	K+P+M			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Severna fasada objekta kaže na šibko povezavo na vogalih in na posedanje le – teh.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 48 – fasada 22.2.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,16	6,10	1,40	VISOKA RANLJIVOST


6.1.12 Objekt: Kašča Čezsoča – 23.19.S

Preglednica 15: Rezultati analize za objekt kašče v Čezsoči za fasado 23.19.S

Oznaka	23.19.S			
Število etaž	P+pd			
Tip objekta	gospodarski			
Leto potresa	2004			
Kašča v Čezsoči je bila močno poškodovana v potresu leta 2004, saj je odpadla več kot polovica čelnega zidu.				
Rezultati analize za objekt kašča Čezsoča – fasada 23.19.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,11	9,30	0,91	VISOKA RANLJIVOST


6.1.13 Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.J

Preglednica 16: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.J

Oznaka	22.13.J			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Južna fasada objekta je utrpela poškodbe ravninskega mehanizma porušitve, ki postopoma vodi v izgubo nosilnosti.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 – fasada 22.13.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,16	6,10	1,12	VISOKA RANLJIVOST

6.1.14 Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.Z

Preglednica 17: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.Z

Oznaka	22.13.Z			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Zahodna stran objekta je utrpela mehanizma vodoravnega ločnega efekta in poškodbe zatrepa.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 – fasada 22.13.Z				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,10	10	0,46	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.15 Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.S

Preglednica 18: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.S

Oznaka	22.13.S			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Severna stran objekta je utrpela poškodbe ravninskega mehanizma porušitve medokenskih in nadokenskih slopov. Vidne so tudi poškodbe vogalov.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 – fasada 22.13.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,10	9,98	0,80	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.16 Objekt: Čezsoča 76 – 22.13.V

Preglednica 19: Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 za fasado 22.13.V

Oznaka	22.13.V			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Vzhodna stran objekta je bila precej poškodovana, saj so vidni različni mehanizmi prevrnitve z obema pasnicama, vodoravnega in navpičnega oboka.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 76 – fasada 22.13.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,09	11,11	0,46	VISOKA RANLJIVOST


6.1.17 Objekt: Čezsoča 93 – 23.1.J

Preglednica 20: Rezultati analize za objekt Čezsoča 93 za fasado 23.1.J

Oznaka	23.1.J			
Število etaž	P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Objekt je v potresu utrpel značilne vodoravne razpoke po celotnem obsegu objekta v nadstropju, ki potekajo delno v nivoju stikovanja strehe z nosilnim zidovjem, delno pa v nivoju zidnih vezi nad nadstropjem. Poškodovanost objekta je nekoliko večja v nadstropju kot v pritličju.				
Rezultati analize za objekt Čezsoča 93 – fasada 23.1.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,18	5,45	0,80	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.18 Objekt: Kot 83 – 35.11.Z

Preglednica 21: Rezultati analize za objekt Kot 83 za fasado 35.11.Z

Oznaka	35.11.Z			
Število etaž	P+N+p			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	2004			
Na zahodni fasadi objekta so izrazite razpoke v ravnini zidovja v nadstropju objekta, kar je posledica etažnega obnašanja objekta in sodelovanja objekta s sosednjim objektom pri prevzemanju potresne obtežbe. Na vpliv sosednjega objekta kažejo tudi navpične razpoke ob stikovanju dveh objektov.				
Rezultati analize za objekt Kot 83 – fasada 35.11.Z				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,25	3,97	0,80	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.19 Objekt: Drežniške ravne 8 – 13.1.J

Preglednica 22: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 8 za fasado 13.1.J

Oznaka	13.1.J			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Objekt Drežniške ravne 8 je bil v potresu leta 1998 precej poškodovan, saj so močno razpokali kletni zidovi in nosilni zidovi v pritličju. Veliko je karakterističnih strižnih diagonalnih razpok ter oslabljenih vogalov. Objekt ni imel vezi ali sidrnih plošč.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 8 – fasada 13.1.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
H2	0,19	5,14	0,80	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.20 Objekt: Drežniške ravne 8 – 13.1.V

Preglednica 23: Rezultati analize objekta Drežniške ravne 8 za fasado 13.1.V

Oznaka	13.1.V			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Vzhodna stran objekta je imela izrazite karakteristične diagonalne strižne razpoke med okenskimi odprtinami in poškodovan vogal, ki kaže na posedanje.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 8 – fasada 13.1.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
B2	0,23	4,37	1	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.21 Objekt: Drežniške ravne 18 – 13.10.S

Preglednica 24: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 za fasado 13.10.S

Oznaka	13.1.S				
Število etaž	K+P+N				
Tip objekta	stanovanjski				
Leto potresa	1998				
		Obravnavana fasada			
Objekt Drežniške ravne 18 je v potresu leta 1998 utrpel hude poškodbe dveh vogalov objekta in močne karakteristične diagonalne strižne razpoke v območju nosilnih slopov okenskih odprtin. Objekt ni imel nobenih protipotresnih vezi oz. povezav. Objekt je bil v celoti primeren za rušenje.					
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 – fasada 13.1.S					
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST	
D	0,08	11,78	0,91	ZELO VISOKA	

6.1.22 Objekt: Drežniške ravne 18 – 13.10.Z

Preglednica 25: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 za fasado 13.10.Z

Oznaka	13.10.Z				
Število etaž	K+P+N				
Tip objekta	stanovanjski				
Leto potresa	1998				
		Obravnavana fasada			
Vogali objekta kažejo na značilno posedanje le – teh saj objekt leži na lokalno nestabilni brežini.					
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 18 – fasada 13.10.Z					
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST	
A	0,18	5,71	1,40	VISOKA RANLJIVOST	


6.1.23 Objekt: Drežniške ravne 19 – 13.11.J

Preglednica 26: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 za fasado 13.11.J

Oznaka	13.11.J			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Južna fasada objekta je utrpela predvsem ravninske poškodbe in precejšnje poškodbe vogala, ki delno kažejo na posedanje.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 – fasada 13.11.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,11	8,95	0,70	SREDNJA RANLJIVOST


6.1.24 Objekt: Drežniške ravne 19 – 13.11.S

Preglednica 27: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 za fasado 13.11.S

Oznaka	13.11.S			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Objekt Drežniške ravne 19 je bil med najbolj poškodovanimi objekti v potresu leta 1998. Poškodovani so bili predvsem vogali, preklade nad okni so se dobesedno usule iz svoje ravnine, pojavljale so se močne karakteristične diagonalne strižne razpoke. Objekt je bil v celoti primeren le še za rušenje.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 19 – fasada 13.11.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,11	9,33	0,98	VISOKA RANLJIVOST


6.1.25 Objekt: Drežniške ravne 20 – 13.12.J

Preglednica 28: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 za fasado 13.12.J

Oznaka	13.12.J			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Kamnita stanovanjska hiša je v potresu leta 1998 bila med najbolj poškodovanimi objekti saj je utrpela močne karakteristične diagonalne razpoke medokenskih slopov in poškodovanost vogalov. Leseni stropovi so bili zamenjani z armiranobetonskimi ploščami, zidovje pa ni bilo injektirano.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 – fasada 13.12.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,13	7,95	0,98	VISOKA RANLJIVOST


6.1.26 Objekt: Drežniške ravne 20 – 13.12.V

Preglednica 29: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 za fasado 13.12.V

Oznaka	13.12.V			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Na vzhodni strani objekta so vidne poškodbe nestrokovno izvedene sanacije brez vezi. Na stiku stropov in nosilnih zidov so vidne globoke horizontalne razpoke zaradi medsebojne nepovezanosti.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 20 – fasada 13.12.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,14	6,96	0,91	VISOKA RANLJIVOST

6.1.27 Objekt: Drežniške ravne 22 – 13.14.V

Preglednica 30: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 22 za fasado 13.14.V

Oznaka	13.14.V			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Stanovanjski objekt ima tipične poškodbe razslojitve zidu, izpadlost slabih zunanjih plasti zidu in navpične razpoke zaradi nihanja pravokotno na ravnino zidu. Poškodovani so vsi nosilni zidovi, vdrti so stropovi, temelji so se posedli.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 22 – fasada 13.14.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,18	5,50	1,40	VISOKA RANLJIVOST


6.1.28 Objekt: Drežniške ravne 26 – 13.18.S

Preglednica 31: Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 26 za fasado 13.18.S

Oznaka	13.18.S			
Število etaž	K+P+N			
Tip objekta	stanovanjski			
Leto potresa	1998			
Objekt je utrpel močno razpokanost nosilnih sten, vogalov, poškodovanost preklad, strižno porušitev medokenskih slopov in močno deformiranost nosilne plošče ter posedanje temeljev.				
Rezultati analize za objekt Drežniške ravne 26 – fasada 13.18.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,14	7,0	0,91	VISOKA RANLJIVOST

6.1.29 Objekt: Kot 46 – 24.2.V

Preglednica 32: Rezultati analize za objekt Kot 46 za fasado 24.2.V

Oznaka	24.2.V			
Število etaž	P+pd			
Tip objekta	gospodarski			
Leto potresa	1998			
Gospodarski objekt je utrpel delno porušitev zatrepnega zidu in izpad večjih kamnitih delov v območju vogala objekta.				
Rezultati analize za objekt Kot 46 – fasada 24.2.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,10	10,00	0,81	VISOKA RANLJIVOST


6.1.30 Objekt: Klanc 18 – 25.9.V

Preglednica 33: Rezultati analize za objekt Klanc 18 za fasado 25.9.V

Oznaka	24.2.V			
Število etaž	P+pd			
Tip objekta	gospodarski			
Leto potresa	1998			
Gospodarski objekt je utrpel delno porušitev zatrepnega zidu.				
Rezultati analize za objekt Klanc 18 – fasada 24.2.V				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
G	0,08	12,50	0,53	VISOKA RANLJIVOST

6.1.31 Objekt: Zatoľmin 76 - Sirarna Polog - 3.1.Z

Preglednica 34: Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 za fasado 3.1.Z

Oznaka	24.2.V			
Število etaž	P+N+M			
Tip objekta	poslovni			
Leto potresa	1998			
Sirarna je bila v potresu leta 1998 med najbolj poškodovanimi objekti, saj so bili zunanji zidovi močno razpokani in v porušnem stanju. Vogali objekta so močno poškodovani in kažejo na zamik ter posedanje. Zaradi posedanja etaže so se porušile vse predelne stene v pritličju sirarne. Viden je tipični porušni strižni mehanizem etaže.				
Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 – fasada 3.1.Z				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,11	9,21	0,98	VISOKA RANLJIVOST

6.1.32 Objekt: Zatoľmin 76 - sirarna Polog - 3.1.J

Preglednica 35: Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 za fasado 3.1.J

Oznaka	3.1.J			
Število etaž	P+N+M			
Tip objekta	poslovni			
Leto potresa	1998			
Na južni fasadi objekta so vidne močne poškodbe, saj so se obodne stene ločile od monta stropne plošče. Objekt je v celoti brez protipotresnih vezi in temeljev.				
Rezultati analize za objekt Zatoľmin 76 – fasada 3.1.J				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
D	0,06	15,45	0,98	ZELO VISOKA RANLJIVOST

6.1.33 Objekt: 16.13.S

Preglednica 36: Rezultati analize za gospodarsko poslopje za fasado 16.13.S

Oznaka	16.13.S			
Število etaž	P+N+pd			
Tip objekta	gospodarski			
Leto potresa	1998			
Gospodarsko poslopje je v potresu leta 1998 utrpelo porušitev zatrepnega zidu in močne karakteristične diagonalne razpoke po celotni severni fasadi objekta ter poškodovanost obeh vogalov fasade.				
Rezultati analize za gospodarski objekt – 16.13.S				
MEHANIZEM PORUŠITVE	ESC	INDEKS RANLJIVOSTI	INDEKS POŠKODOVANOSTI	KONČNA RANLJIVOST
A	0,26	3,84	1,30	SREDNJA RANLJIVOST

7 PREDSTAVITEV REZULTATOV

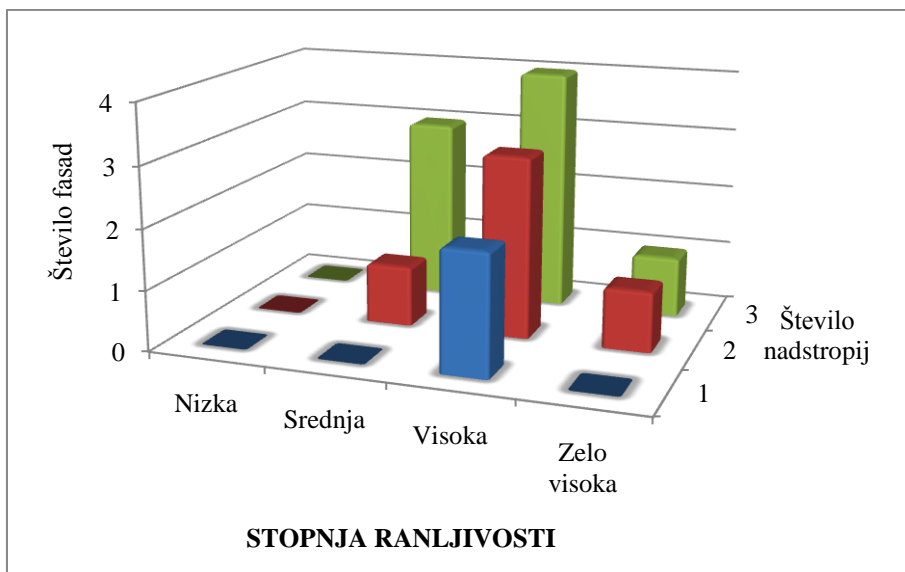
7.1 Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij

Potresna ranljivost stavb, ki je odvisna od minimalnega pospeška za posamezni mehanizem (ESC) in učinka posameznega mehanizma na globalno odpornost stavbe, je razdeljena v naslednje razrede:

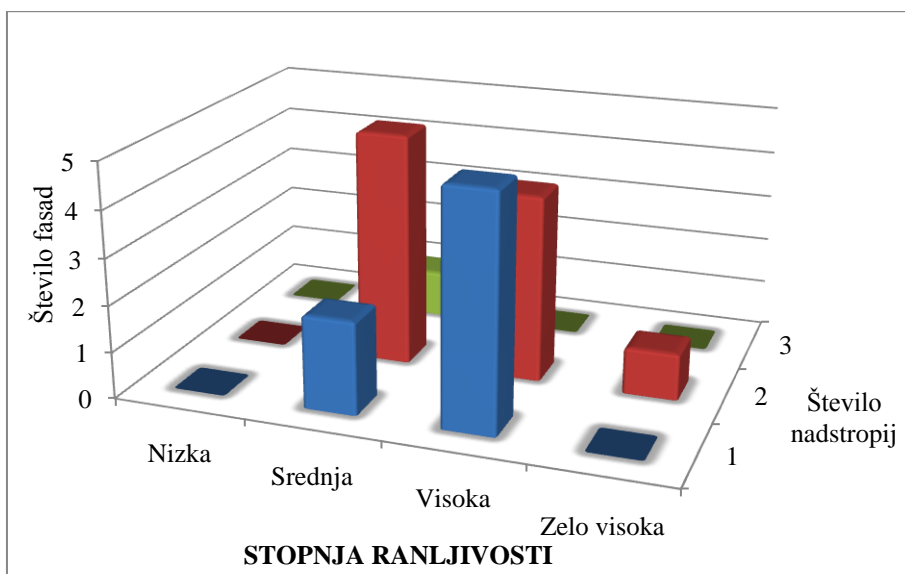
- nizka ranljivost (angl. *low vulnerability*),
- srednja ranljivost (angl. *medium vulnerability*),
- visoka ranljivost (angl. *high vulnerability*),
- zelo visoka ranljivost (angl. *very high vulnerability*).

Za tipične objekte Posoškega območja, poškodovane v potresih 1998 in 2004, so v spodnjih grafikoni (Grafikoni 1, 2 in 3) prikazane izračunane stopnje ranljivosti za poškodovane objekte glede na število nadstropij. Na osnovi analize rezultatov lahko sklepamo da:

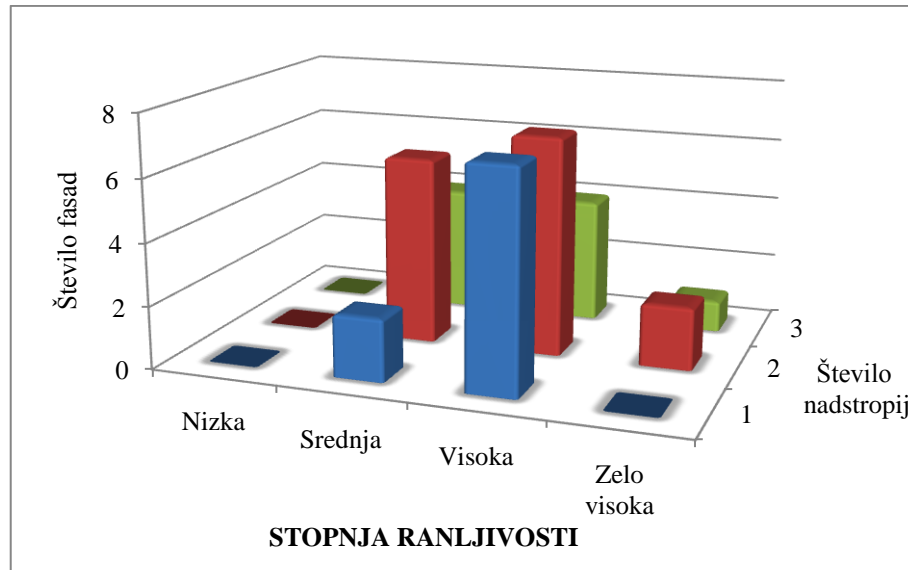
- nizka stopnja ranljivosti v obravnavanih fasadah ni bila prisotna,
- srednja ranljivost je bila prisotna v 36 % obravnavanih fasad. Obravnavane stavbe imajo delno ali v celoti vgrajene protipotresne vezi in dobro povezavo na vogalih objekta. Vrednost povprečnega ESC-ja znaša 0,19 g;
- visoka stopnja ranljivosti je bila prisotna v 55% obravnavanih fasadah s slabimi povezavami med pravokotnimi stenami ali slabo zgradbo zidovine. Rezultati ESC-ja so v povprečju vrednosti 0,12 g;
- zelo visoka stopnja ranljivosti je bila prisotna v 9% obravnavanih fasad. Fasade imajo zelo šibke ali pa sploh nimajo bočnih povezav zidu in vogalov ter vezi, in so izpostavljene prevrnitvi zidu po vsej svoji višini. Povprečna vrednost ESC-ja za zelo visoko ranljive objekte znaša 0,077 g.



Grafikon 1: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v potresu leta 1998



Grafikon 2: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v potresu leta 2004



Grafikon 3: Stopnja ranljivosti glede na število nadstropij objektov poškodovanih v obeh potresih

V potresu leta 1998 so bili predvsem ogroženi objekti s tremi etažami, kjer prevladuje srednje – visoka ranljivost. Medtem ko so v potresu leta 2004 bile bolj ogrožene stavbe z eno ali dvema etažama s srednje – visoko ranljivostjo objektov.

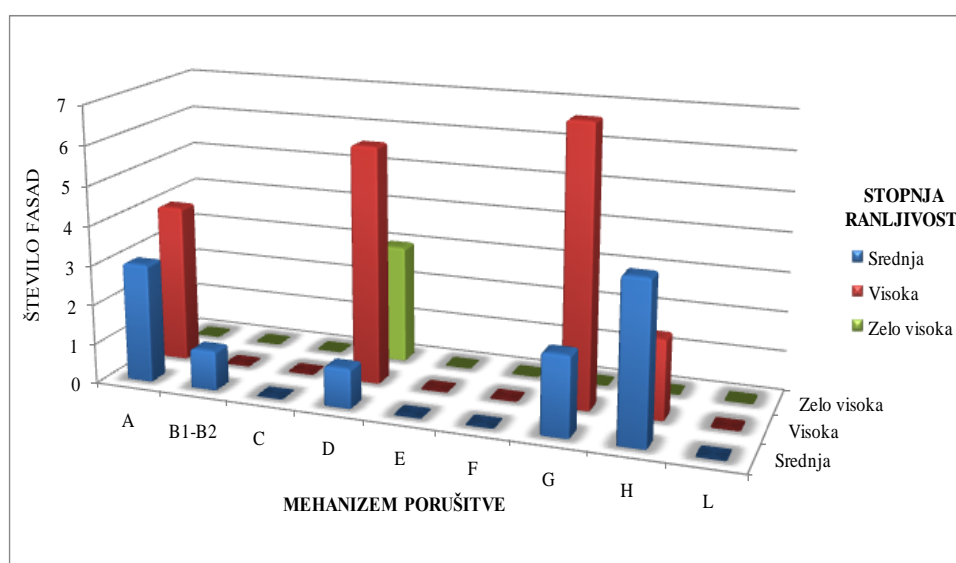
7.2 Stopnja ranljivosti glede na mehanizem porušitve

Na osnovi analize ranljivosti (Grafikon 4) lahko sklepamo naslednje:

- zelo visoka ranljivost je bila dobljena le pri treh objektih in predstavlja 9% vseh obravnavanih fasad in se 100% nanaša na izven ravninski mehanizem porušitve;
- fasade z zelo slabimi bočnimi povezavami in pomanjkanjem zidnih vezi imajo visoko ranljivost in so močno nagnjene k prevrnitvam celotne fasade. Da bi to preprečili, je pomembno, da so bočni zidovi dobro povezani s čelnimi fasadami. S tem bi lahko dosledno reducirali ranljivost na nižjo raven. Visoka stopnja ranljivosti predstavlja 58% vseh obravnavanih fasad;
- fasade z dobrimi konstrukcijskimi detajli, skupaj s povezavo bočne stene in prisotnostjo vezi v strešno konstrukcijo in/ali v horizontalno konstrukcijo ob dobrem vzdrževanju objekta izkazujejo srednjo ranljivost. Srednja stopnja ranljivosti je bila

izračunana v 33-ih % vseh obravnavanih fasad, od tega je 21% poškodb izven ravninskih;

- nizko ranljivost objekta imajo dobro grajeni objekti, kjer so delne porušitve preprečene. Objekti imajo vgrajene protipotresne vezi in zadoščajo minimalnim zahtevam na potresnem območju. Nizka ranljivost je posredno povezana z visokim porušnim faktorjem za mehanizem porušitve in v obravnavanih fasadah ni bila prisotna.



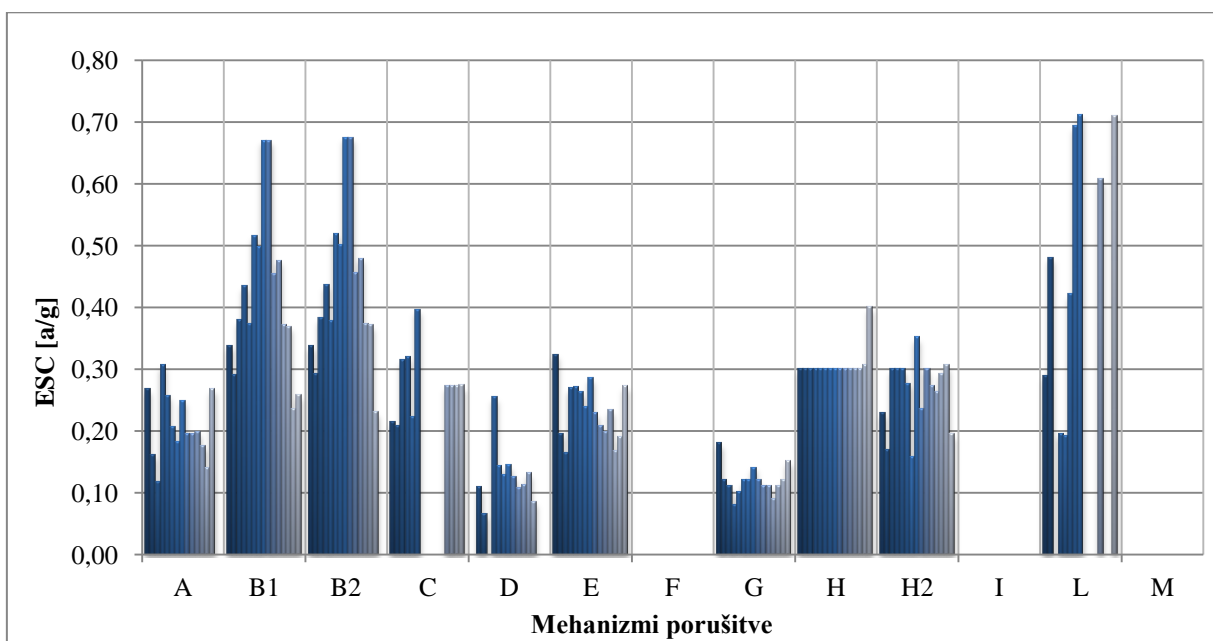
Grafikon 4: Stopnja ranljivosti glede na mehanizem porušitve v obeh potresih

Sistematično povezovanje zidov fasade z bočnimi in pravokotnimi zidovi preprečuje izven ravninsko porušitev. Zatorej je najpogostejši ravninski mehanizem H1 – H2, pri čemer diagonalne razpoke potekajo po celotni višini fasade. Povprečna vrednost ESC-ja znaša 0,19g.

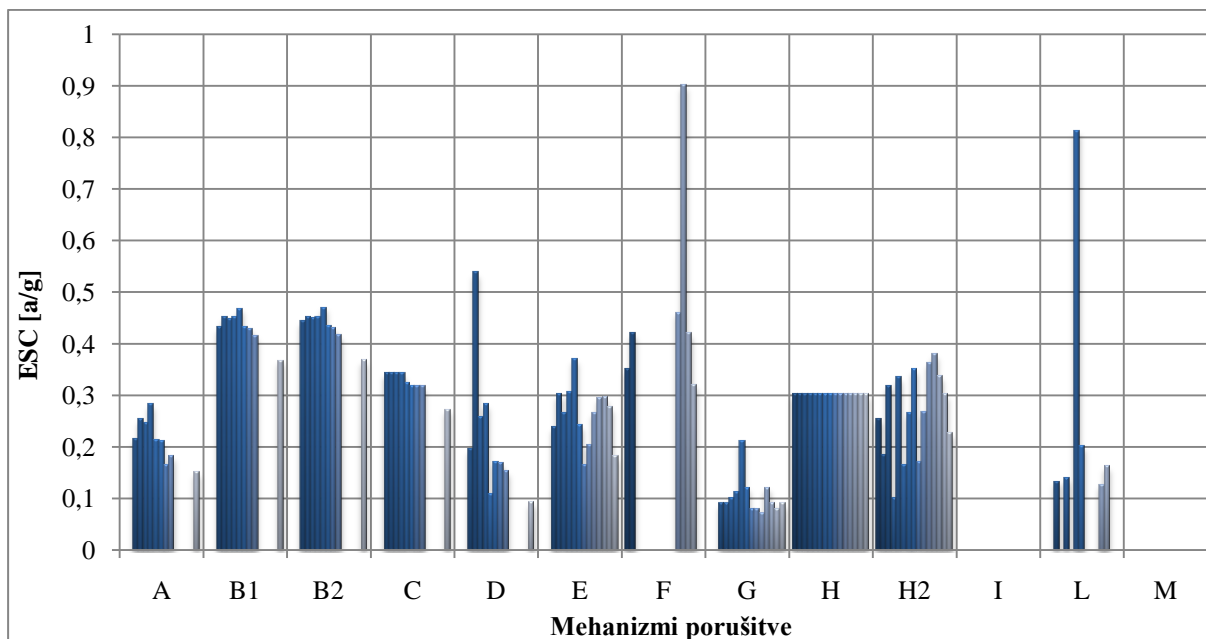
Mehanizmi prevrnitve tipa A, D in E so sorodni in predstavljajo 42% vseh vzorcev srednje – visoke ranljivosti, ki se nanašajo na izven ravninski mehanizem. Porušitev nadodprtinskih elementov je značilna za mehanizem G, ki predstavlja 27% vseh fasad. Fasade z višjo ranljivostjo so povezane z višjo vitkostjo in so značilne za mehanizem tipa A. To so predvsem stavbe z več nadstropji, s tradicionalnimi (lesenimi) horizontalnimi konstrukcijami, brez vezi,

s spremenljivimi stopnjami vzdrževanja in/ali z balkonom. Upoštevajoč da fasade podpirajo tudi streho, se pričakuje, da bodo tovrstne poškodbe najbolj nevarne za globalno odpornost stavbe v primeru potresa. Podobne ugotovitve je mogoče sklepati tudi za objekte s prevladujočim mehanizmom D, ki se medsebojno razlikujejo zaradi neenakomerne povezanosti na vogalih in prisotnosti vezi.

Pri fasadah poškodovanih v potresu leta 1998 (Grafikon 5) so najbolj kritični izračunani mehanizmi delne prevrnitve D, sledita jima mehanizma prevrnitve zidu A ter vodoravnega ločnega efekta G. Medtem ko je največkrat izračunani mehanizem za fasade, ki so bile poškodovane v potresu 2004 (Grafikon 6), mehanizem vodoravnega ločnega efekta G, sledita jima mehanizem prevrnitve zidu D ter ravninski mehanizem H.



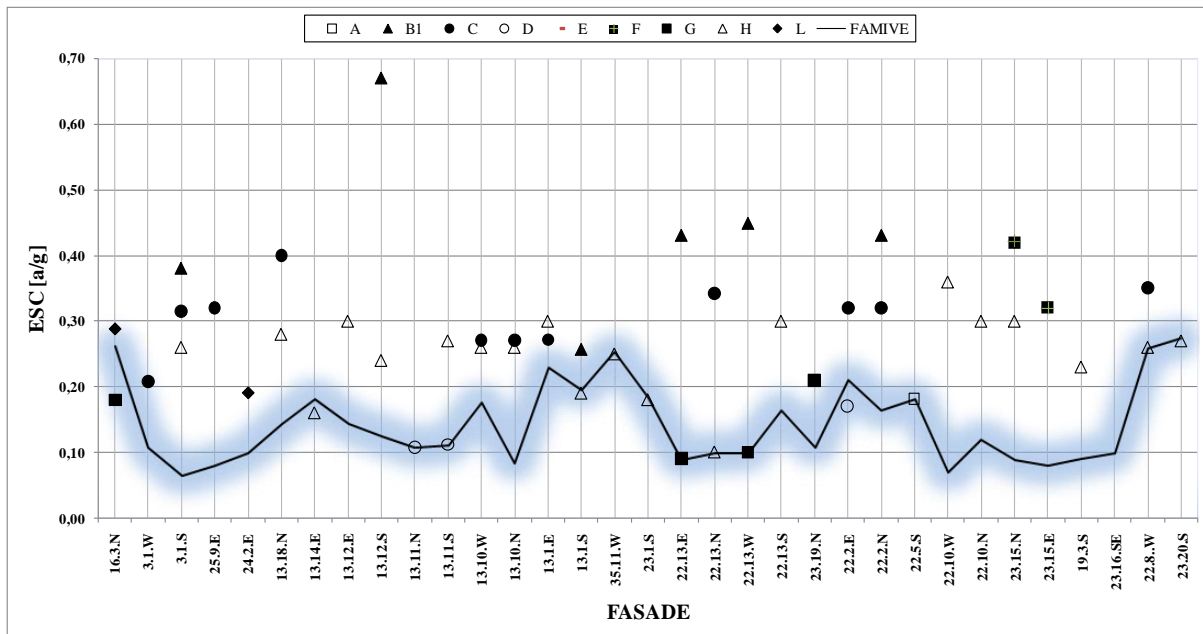
Grafikon 5: Vrednosti ESC-jev za fasade poškodovane v potresu 1998



Grafikon 6: Vrednosti ESC-jev za fasade poškodovane v potresu 2004

7.3 Primerjava opazovanih mehanizmov in izračunanih mehanizmov porušitve po metodi FaMIVE

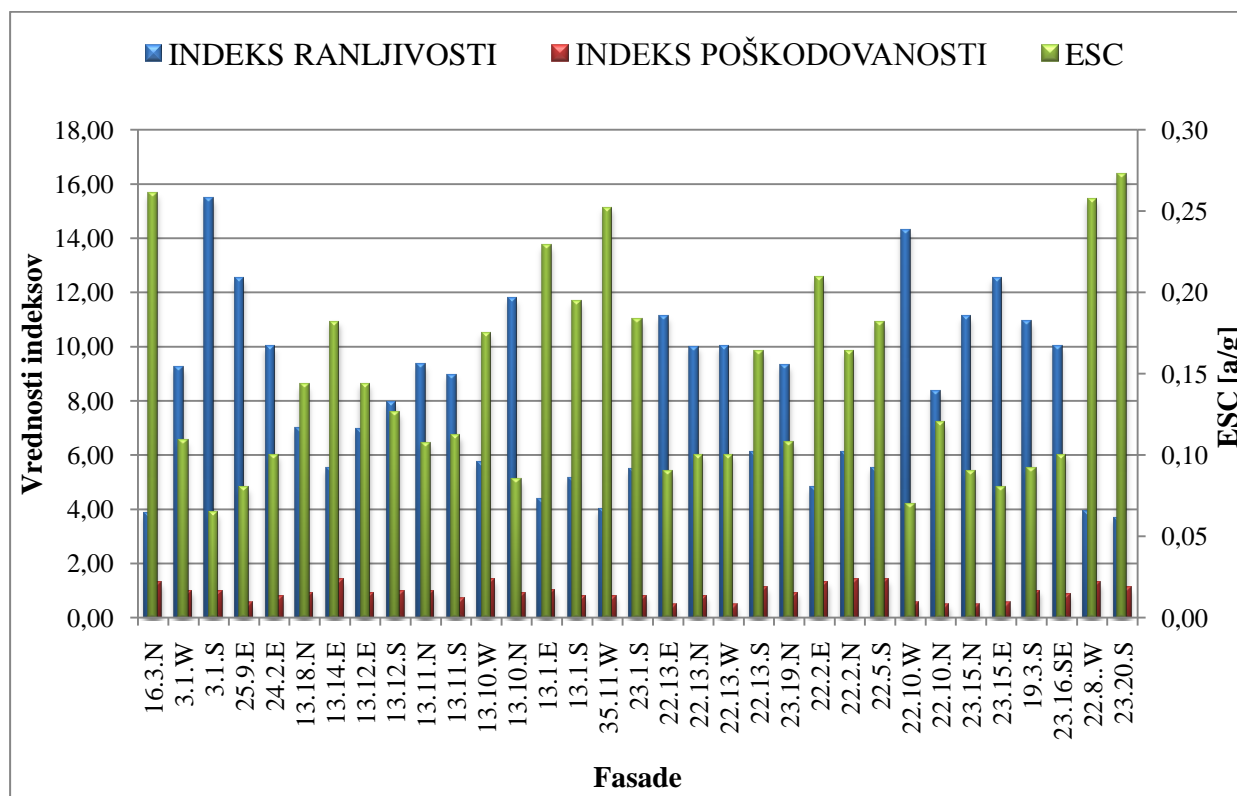
Slika 39 nam nazorno prikazuje opazovane mehanizme porušitve in njihove vrednosti ESC-jev ter vrednosti ESC-jev najbolj kritičnih mehanizmov po metodi FaMIVE. Pri določenih fasadah je opazovanih mehanizmov več, medtem ko program določi le enega in sicer tistega zaradi čigave porušitve bo najbolj ogrožena celotna stabilnost stavbe. Vrednosti izračunanih ESC-jev so povezane z zvezno krivuljo zaradi boljše preglednosti. Izračunani mehanizmi porušitve se v 30-ih % obravnavanih fasad ujemajo z vsaj enim opazovanim mehanizmom. Ob upoštevanju 10% odstopanja izbranega ESC-ja pa se ta delež približa 50%.



Slika 39: Pregled izračunanih vrednosti ESC-jev z opazovanimi mehanizmi porušitve

Poleg mehanizma porušitve (angl. *failure mechanism*) so rezultati metode naslednji:

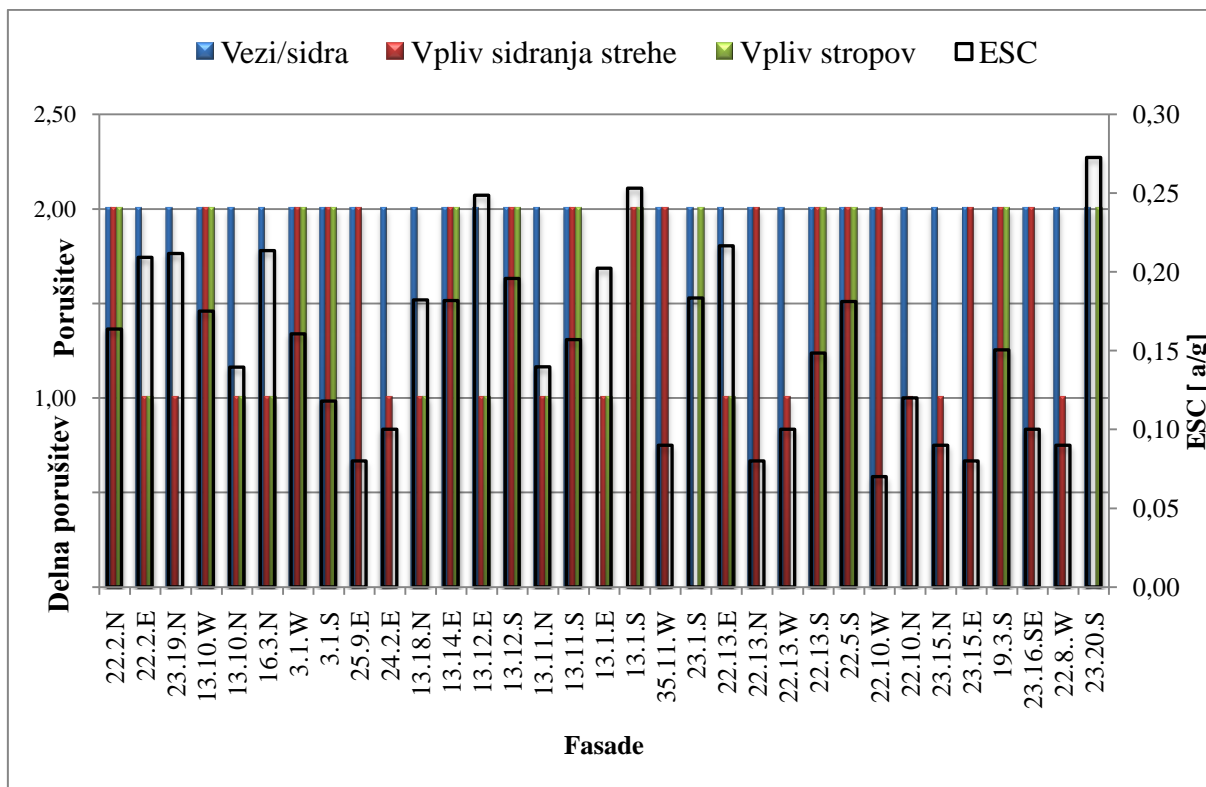
- ESC (angl. *equivalent shear capacity*),
- indeks poškodovanosti (angl. *damage index*),
- indeks ranljivosti (angl. *vulnerability index*),
- končna ranljivost (angl. *final vulnerability*),
- število poškodovanih nadstropij (angl. *number storeys involved in collapse*),
- kot razpok (angl. *crack angle*),
- odpoved zidovja (angl. *masonry collapse*),
- porušitev strehe (angl. *roof failure*),
- porušitev nadstropja (angl. *floors failure*),
- število poškodovanih nadstropij (angl. *number of floors collapsed*).



Grafikon 7: Primerjava vrednosti ESC-ja in indeksov ranljivosti ter poškodovanosti

Kot vidimo na grafikonu 7 indeks ranljivosti spremlja velika variabilnost medtem, ko je indeks poškodovanosti bistveno manjši. Ne indeks ranljivosti ne poškodovanosti nista direktno odvisna od izračunanega ESC-ja.

Na indeks ranljivosti vplivajo predvsem faktorji kot so: prisotnost zidnih vezi, vrsta stropne konstrukcije, sidranje strešne konstrukcije in podobno (Grafikon 8).



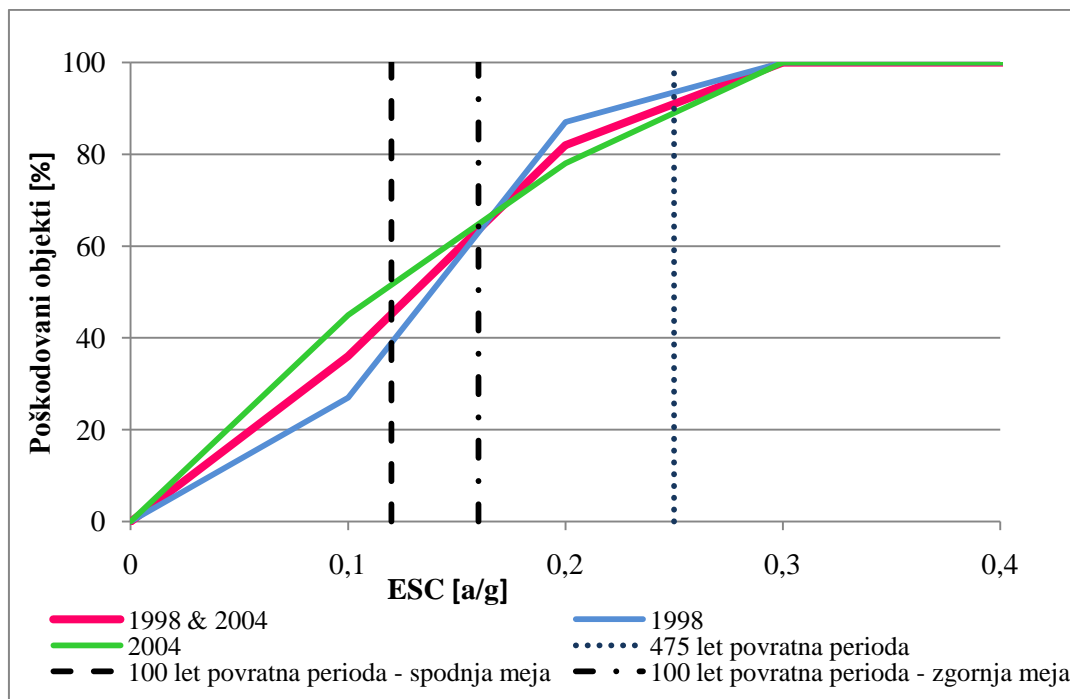
Grafikon 8: Vpliv izvedbe detajlov in tipa stropne konstrukcije na izračun ranljivosti stavbe

V analizi smo se osredotočili predvsem na vrednosti ESC-ja, končne ranljivosti in mehanizme porušitve.

7.4 Primerjava pospeškov povratnih period s pospeški v potresih 1998 in 2004

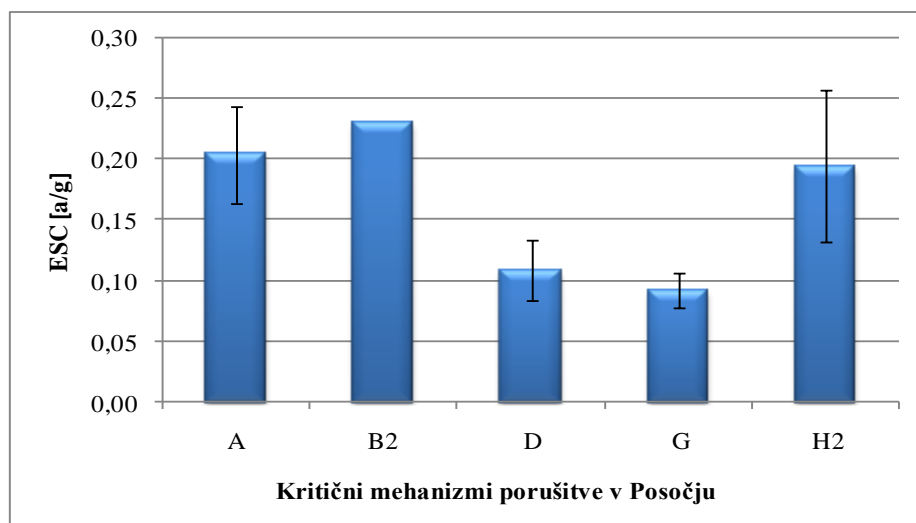
Iz karte projektnega pospeška tal razberemo vrednosti povratne periode za 475 let, ki znaša za dobra tla za obravnavano območje 0,225-0,250 g. Vrednost povratne periode 475 let ustreza 10-odstotni verjetnosti prekoračitve v 50-ih letih. Po seizmični karti sosednje Italije, ki pokriva tudi območje Posočja, smo privzeli vrednosti povratne periode za 100 let kar ustreza 10-odstotni verjetnosti prekoračitve v 10-ih letih. Za obravnavano območje Posočja so vrednosti v mejah 0,12-0,16 g. Iz grafikona 9 razberemo, da bi v primeru povratne periode 100-ih let prišlo do poškodovanosti 45-65% stavb in za 475 let 90%, kar je povsem razumljivo glede na to, da smo naš vzorec zasnovali na analizi že poškodovanih objektov.

Na osnovi analize rezultatov za povratno periodo od 100 let, lahko sklepamo, da izven ravninski mehanizmi porušitve predstavljajo največjo nevarnost za Posoško območje.



Grafikon 9: Primerjava pospeškov povratnih period s pospeški v potresih 1998 in 2004

Najbolj kritični mehanizmi za Posočje so vidni na grafikonu 10 in to so prevrnitev zidu – A, prevrnitev skupaj s pasnicami – B2, delna prevrnitev – D, vodoravni ločni efekt – G in porušitev v ravnini - H. Delna mehanizma porušitve D in G najbolj izstopata. Ob sistematičnem sidranju in povezovanju zidov bi se lahko izognili tem mehanizmom in s tem bistveno zmanjšali pričakovane poškodbe v Posočju ob potresih večje verjetnosti dogodka.



Grafikon 10: Kritični mehanizmi z upoštevanjem standardne deviacije

8 ZAKLJUČEK

Potresa leta 1998 in 2004, ki sta prizadela Posočje, sta povzročila veliko gmotno škodo na zidanih kamnitih konstrukcijah. Iz potresne karte Slovenije (Slika 5) lahko razberemo, da so v tem delu Slovenije mogoči potresi VIII. ali višje stopnje po EMS lestvici in največji pospeški do 25% zemeljskega pospeška. Pri tovrstnih potresih bi bile posledice na stavbah in v naravi mnogo hujše.

Metoda FaMIVE sloni na analizi lokalnih mehanizmov poškodbe. Metoda je učinkovita za oceno potresne ranljivosti starih mestnih jeder. V naši nalogi nas je zanimala učinkovitost metode za objekte v ruralnem območju. Obenem, pa smo poskušali na osnovi primerjalne analize opaženih in predvidenih lokalnih mehanizmov porušitve ugotoviti učinkovitost metode za objekte v območju Posočja.

Pravilna analiza z metodo FaMIVE bi obsegala analizo reprezentativnega vzorca stavb karakterističnega za določeno območje oziroma arhitekturo stavb. Na osnovi opravljene analize bi potem lahko določili funkcijo ranljivosti stavb za določeno območje v odvisnosti od pričakovanega potresa. V naši diplomski nalogi smo se osredotočili le na močnejše poškodovane kamnite (stanovanjske, poslovne, gospodarske) objekte. Podatke oz. katastre stavb smo pridobili iz Državne tehnične pisarne Tolmin – Bovec. Na osnovi ustreznih vhodnih podatkov stavb (urbani podatki, geometrijske karakteristike fasad, odprtín, tlorisa, lastnosti konstrukcije, elementi ranljivosti in stopnje poškodb) smo izračunali vrednosti ESC-ja, indeksa ranljivosti, indeksa poškodovanosti in kritične mehanizme porušitve ter jih na koncu še primerjali z opazovanimi mehanizmi porušitve.

Na analiziranih primerih smo ugotovili, da imajo največji vpliv na končne rezultate analize geometrijske karakteristike stavbe in lastnosti konstrukcije. Napačno ugotovljene oziroma predpostavljene karakteristike (vezi, material) bistveno vplivajo na končni rezultat ter posledično na izračunani mehanizem porušitve.

Z analizo kamnitih stavb je bil naš cilj določiti kritične mehanizme porušitve, vrednosti ESC-ja ter pripadajočo potresno ranljivost za posamezno analizirano stavbo. Izkaže se, da so za

Posočje kritični izven ravninski mehanizmi porušitve in sicer mehanizmi prevrnitve zidu – A, delne prevrnitve – D in vodoravnega oboka – G srednje do visoke ranljivosti. Dejstvo je, da so potresni pospeški za aktiviranje tovrstnih mehanizmov porušitve bistveno manjši v primerjavi z ravninskimi mehanizmi, katere ponavadi obravnavamo v primeru izračuna globalne seizmične odpornosti objekta. Torej, lokalna in globalna analiza objekta bi morali biti komplementarni analizi za določanje ojačitve obstoječih objektov.

Z lokalno analizo porušitve posameznih slopov, z metodo FaMIVE, ki smo jo prvič izpeljali v Sloveniji, smo pokazali naslednje:

- metoda je primerna za kamnite stavbe vendar z omejenim učinkom pravilnega napovedovanja poškodb za stavbe ruralnega območja Posočja (50% učinkovitost ob upoštevanju 10% razstroja),
- ranljivost kamnitih stavb ustreza ugotovljeni ranljivosti po potresih leta 1998 in 2004 (90% poškodovanost). Ranljivost za obravnavane fasade je bila naslednja:
 - zelo visoka ranljivost je bila izračunana le pri treh objektih in predstavlja 9% vseh obravnavanih fasad ter se 100% nanaša na izven ravninski mehanizem porušitve;
 - fasade z zelo slabimi bočnimi povezavami in pomanjkanjem zidnih vezi imajo visoko ranljivost in so močno nagnjene k prevrnitvam celotne fasade. Da bi to preprečili, je pomembno, da so bočni zidovi dobro povezani s čelnimi fasadami. S tem bi lahko dosledno reducirali ranljivost na nižjo raven. Visoka stopnja ranljivosti predstavlja 58% vseh obravnavanih fasad;
 - fasade z dobrimi konstrukcijskimi detajli skupaj s povezavo bočne stene in prisotnostjo vezi v strešno konstrukcijo in/ali v horizontalno konstrukcijo ob dobrem vzdrževanju objekta izkazujejo srednjo ranljivost. Srednja stopnja ranljivosti je bila izračunana v 33 % vseh obravnavanih fasad, od tega je 21% poškodb izven ravninskih;

- nizko ranljivost objekta imajo dobro grajeni objekti, kjer so delne porušitve preprečene. Objekti imajo vgrajene protipotresne vezi in zadoščajo minimalnim zahtevam na potresnem območju. Nizka ranljivost je posredno povezana z visokim porušnim faktorjem za mehanizem porušitve in v obravnavanih fasadah ni bila prisotna.

Za bolj natančno določitev potresne ranljivosti kamnitih stavb v Posočju z metodo FaMIVE bi bilo potrebno izvesti natančne preglede večjega vzorca kamnitih stavb, vendar je tudi opravljena analiza solidna podlaga za načrtovanje ukrepov za zmanjšanje potresnega tveganja. Osnovna pomanjkljivost starejših kamnitih stavb je predvsem to, da niso potresno utrjene, saj je večina stavb brez protipotresnih zidnih vezi. Dejstvo je, da naravna nesreča, kot je potres, razgali vse pomanjkljivosti in nepravilnosti gradnje. Že ob minimalni zagotovitvi ustreznih protipotresnih ukrepov kot je vgraditev jeklenih protipotresnih vezi, bi lahko bistveno izboljšali odpornost kamnitih stavb. S tovrstnimi posegi bi lahko preprečili večjo škodo ob potresih manjše intenzitete in večje verjetnosti dogodka.

VIRI

Agencija RS za okolje. Karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal.

http://www.arso.gov.si/potresi/podatki/projektni_pospesek_tal.html (pridobljeno 12. 2. 2011).

Agencija RS za okolje, 2006. Potresi v letu 2004: str. 50–51, 95–99.

<http://www.arso.gov.si/potresi/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202004.pdf> (pridobljeno 20. 12. 2010).

D'Ayala, D., Kansal, A. 2004. An analysis of the seismic vulnerability of the architectural heritage in Bhuj, Gujarat, India: str. 6–8. Message to: Novelli, V. 23. Marec 2011. Osebna komunikacija.

D'Ayala, D., Speranza, E. An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings: str. 1–17.

<http://people.bath.ac.uk/absdfda/ar561D%27Ayala.PDF> (pridobljeno 4. 1. 2011).

D'Ayala D., Novelli V., Abbas N., Calderini C., Cattari S., Lagomarsino S., Rossi M., Ginanni Corradini R., Marghella G., Piovanello V., Karatzetzou A., Ptilakis D., Ptilakis K. 2010. Deliverable D5, Abacus of the most common seismic damage. PERPETUATE: str. 25–33.

D'Ayala D., Novelli, V., Cattari, S., Bosiljkov, V., Lagomarsino, S., Karatzetzou, A., Ptilakis, K. 2010. Deliverable D8, Review and validation of existing vulnerability displacement – based models. PERPETUATE: 4–25 str.

D'Ayala, D. 2005. Force and Displacement Based Vulnerability Assesment for Traditional Buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol.3, Springer: str. 238–246, 256.

D'Ayala, D., Novelli, V. 2010. Inspection form for the survey of historic buildings: 1–32 str. Message to: Novelli, V. 11. januar 2011. Osebna komunikacija.

<http://people.bath.ac.uk/absdfda/ar561D%27Ayala.PDF> (pridobljeno 14. 2. 2011).

D'Ayala, D. 2003. Seismic vulnerability and strengthening of historic building, in Fener and to Balat Districts, Istanbul: str. 23–39.

http://www.fenerbalat.org/admin/files/250_DDayalaReport.pdf (pridobljeno 1. 2. 2011).

Godec, M, Šket-Motnikar, B., Vidrih, R., Zupančič, P., 2006. Pregled poškodb ob potresih leta 1998 in 2004 v zgornjem Posočjem. Ujma 20: 275–281.

Gostič, S. 2009. Potresno odpornost hiše lahko izboljšamo: dr. Samo Gostič. Delo (Ljubl.) 12. avg. 2009: str. 15–19.

Klemenc, I., Weiss, P., Lutman, M., Tomaževič, M., Bosiljkov, V. 2004. Analiza stanja objektov, poškodovanih po potresu 12. 7. 2004. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: str. B1.1–12, B2.1–15, B3.1–10, B5.1–9, B9.1–8.

Modena, C. 2005. Recent developments of European Seismic Codes for Architectural Heritage and application to case studies: 25 str.

SIST EN 1998-3: 2005/A101, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 3. del: Ocena in prenove stavb – Nacionalni dodatek.

Vidrih, R. 2008. Potresna dejavnost zgornjega Posočja. Ljubljana : Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo: str. 106–108, 375–379.

Tomaževič, M. 2009. Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana, Tehnis: str. 5–13, 17, 272.

Tomaževič, M., Klemenc, I., Lutman M., 1999. Posledice potresa na kamnitih zidanih hišah: Kaj smo se naučili od potresa. Ujma 13: 122–126.