

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Fabjan, N., 2016. Spletna aplikacija za oceno potresne ranljivosti zidanih stavb. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Dolšek, M., somentor Dolenc, M.): 68 str.

Datum arhiviranja: 25-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Fabjan, N., 2016. Spletna aplikacija za oceno potresne ranljivosti zidanih stavb. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Dolšek, M., co-supervisor Dolenc, M.): 68 pp.

Archiving Date: 25-08-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GRADBENIŠTVO
SMER GRADBENE
KONSTRUKCIJE**

Kandidat:

NEJC FABIJAN

**SPLETNA APLIKACIJA ZA OCENO POTRESNE
RANLJIVOSTI ZIDANIH STAVB**

Magistrsko delo št.: 27/II.GR

**WEB APPLICATION FOR SEISMIC RULNEVABILITY
ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS**

Graduation – Master Thesis No.: 27/II.GR

Mentor:

prof. dr. Matjaž Dolšek

Somentor:

doc. dr. Matevž Dolenc

Ljubljana, 22. 08. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Spodaj podpisani študent Nejc Fabijan, vpisna številka 26410076, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Spletna aplikacija za oceno potresne ranljivosti zidanih stavb

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 18.8.2016

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 004.7:624.042.7(497.4)(043)
Avtor: Nejc Fabijan
Mentor: prof. dr. Matjaž Dolšek
Somentor: doc. dr. Matevž Dolenc
asist. Žiga Šebenik
Naslov: Spletna aplikacija za oceno potresne ranljivosti zidanih stavb
Tip dokumenta: Magistrsko delo – B
Obseg in oprema: 68 str., 44 sl., 40 en.
Ključne besede: analiza potresne ranljivosti, potresna odpornost, zidane stavbe, spletna aplikacija, Evrokod 8, Evrokod 6, PHP, MySQL, potisna analiza , IDA, HTCondor

Izvleček:

Predstavljena je spletna aplikacija za analizo potresne ranljivosti zidanih stavb, ki je bila razvita v programskem jeziku PHP. V prvem delu naloge so na kratko opisane zidane stavbe ter njihovo obnašanje med potresi. V nadaljevanju so podane teoretične osnove poenostavljene nelinearne analize za določitev potresne odpornosti zidanih stavb. Metoda temelji na poenostavljeni potisni analizi, pri kateri se upošteva etažni strižni mehanizem, in inkrementalni dinamični analizi, ki se izvede na ekvivalentnem sistemu z eno prostostno stopnjo. Rezultati analize so poenostavljene krivulje IDA, s katerimi se opiše odnos med intenziteto potresa in potresnimi zahtevami. Na osnovi teh rezultatov se za različna mejna stanja poškodovanosti določi vzorec mejnih pospeškov, ki predstavlja vhodni podatek za račun krivulj potresne ranljivosti objekta. V nalogi so predstavljeni tudi akcelerogrami, ki smo jih uporabili za inkrementalno dinamično analizo, kot tudi postopek izračuna krivulje potresne ranljivosti stavbe. V petem poglavju so opisani postopki in principi ter programski jeziki, s katerimi smo izdelali spletno aplikacijo. Sledi predstavitev in demonstracija uporabe spletne aplikacije v kateri smo združili različne metode v eno aplikacijo. Za izbrano zidano stavbo smo pokazali, da so mejni pospeški, ki smo jih določili z uporabo spletne aplikacije, podobni rezultatom iz modela ekvivalentnega okvira. Nekoliko večje razlike smo opazili pri razporeditvi poškodovanosti za izbrana mejna stanja. V zaključku so predlagane še možnosti razširitve in uporabe aplikacije.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.7:624.042.7(497.4)(043)
Author: Nejc Fabijan
Supervisor: Prof. Matjaž Dolšek, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Matevž Dolenc
Assist. Žiga Šebenik
Title: Web application for seismic vulnerability assessment of masonry buildings
Document type: Master's Thesis
Notes: 68 p., 44 fig., 40 eq.
Key words: seismic fragility analysis, earthquake resistance, masonry buildings, web application, Eurocode 8, Eurocode 6, PHP, MySQL, pushover analysis, IDA analysis

Abstract:

In this thesis a web application for seismic vulnerability analysis of masonry buildings, which was developed in PHP programming language, is presented. Firstly, masonry buildings and their behaviour during the seismic event are briefly described. Follows a description of the theoretical background of the simplified non-linear analysis for seismic performance assessment of masonry buildings. The method is based on simplified pushover analysis with consideration of story-shear plastic mechanisms and the incremental dynamic analysis, which is performed by equivalent single degree of freedom model. Results of the analysis are simplified IDA curves. They can be used to estimate a sample of maximum acceleration causing different limit states, which represents the input data for the calculation of the structure's seismic fragility curves. Different set of accelerograms, which were selected to be used in the web application, and the procedure for calculation of seismic fragility curves are also presented. In the fifth chapter, the procedure, principles and programming languages used to create the application are described. Follows description and demonstration of the use of web application. For the investigated masonry building it is shown that the limit-state accelerations obtained by the web application are similar to the results based on the equivalent frame model. Some larger difference can be observed in the distribution of damage in structural elements for a designated limit state. In the conclusion, possibilities for future development and use of the application is discussed.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi magistrske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Dolšku ter somentorjema doc. dr. Matevžu Dolencu in asis. Žigi Šebeniku. Hvala za usmerjanje, odzivnost in pomoč pri izdelavi zaključnega dela.

Zahvaljujem se vsem profesorjem ter ostalim zaposlenim na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo za vsa prejeta uporabna znanja tekom študija.

Za spodbudo, motivacijo in podporo tekom študija se zahvaljujem družini in puncu.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ZIDANE STAVBE IN POTRESI	2
3	NELINEARNA ANALIZA ZA DOLOČITEV KAPACITET ZIDANIH STAVB	8
3.1	Določitev odnosa sila-pomik za vertikalni konstrukcijski element stavbe	8
3.1.1	Porušitev zaradi zdrsa.....	9
3.1.2	Porušitev zidu zaradi diagonalnih razpok.....	10
3.1.3	Upogiba porušitev zidu.....	10
3.1.4	Togost zidu.....	11
3.1.5	Meja porušitve	11
3.2	Potisna analiza	11
3.2.1	Potisna krivulja celotne stavbe.....	18
3.2.2	Idealizacija krivulje.....	19
3.3	Definicija mejnih stanj	20
4	ANALIZA POTRESNE RANLJIVOSTI ZIDANIH STAVB	22
4.1	Izbor akceleroگرامov	22
4.2	Določitev poenostavljenega nelinearnega modela stavbe	23
4.3	Inkrementalna dinamična analiza na poenostavljenem nelinearnem modelu stavbe	24
4.4	Krivulje ranljivosti zidane stavbe	25
5	RAZVOJ SPLETNE APLIKACIJE ZA OCENO POTRESNE RANLJIVOSTI ZIDANIH STAVB	28
5.1	Splošno o informacijskih tehnologijah	28
5.1.1	HTML	28
5.1.2	PHP	29
5.1.3	MySQL.....	30
5.1.4	JavaScript in AJAX.....	30
5.1.5	CSS.....	30
5.1.6	Programska arhitektura MVC	31
5.1.7	OpenSees in TCL.....	32
5.1.8	BASH	32
5.1.9	JSON.....	32
5.1.10	HTCondor.....	33
5.2	Priprava vhodne datoteke	33

5.3	Nalaganje in shranjevanje vhodne datoteke.....	37
5.4	Izračun potresne odpornosti zidane stavbe	39
5.5	Izračun potisne krivulje in priprava podatkov za inkrementalno dinamično analizo.....	39
5.6	Inkrementalna dinamična analiza	42
6	PRIMER.....	48
7	ZAKLJUČEK.....	63
VIRI.....		65

KAZALO SLIK

Slika 1: Mehanizmi nihanja pri različnih medetažnih konstrukcija (Tomažević, 2009)	3
Slika 2: Klasifikacija poškodb na zidanih stavbah na podlagi Evropske makroseizmične lestvice (Tomažević, 2009)	4
Slika 3: Karta projektnega pospeška tal (Arso, 2015b)	5
Slika 4: Osnovni elastični spekter pospeškov (SIST EN 1998-1).....	5
Slika 5: Prikaz poškodb na zidani stavbi po potresu v L'Aquili (Italija) leta 2009 (IKPIR, 2009)	8
Slika 6: Potisna krivulja	12
Slika 7: Algoritem za določitev sile in togosti v posamezni steni.....	18
Slika 8: Razdelitev sil 1 (konstantne) levo in razdelitev sil 2 (po višini in masi) desno.....	19
Slika 9: Konstruiranje idealizirane krivulje	20
Slika 10: Mejna stanja konstrukcije	21
Slika 11: Grafi izbranih akceleroگرامov in primerjava z Evrokodovim elastičnim spektrom..	22
Slika 12: Shematični prikaz programske arhitekture	31
Slika 13: Pregled prvega dela predloge za izdelavo vhodne datoteke	35
Slika 14: Pregled tretjega in četrtega dela predloge za izdelavo vhodne datoteke	36
Slika 15: Vhodna datoteka odprta z beležnico	37
Slika 16: Primer grafa potisne krivulje sila - pomik.....	40
Slika 17: Primer grafa ekscentričnost - pomik	40
Slika 18: Gumb »IDA« ob primeru z izračunano potresno odpornostjo	41
Slika 19: Datoteka results.json v katero se zapišejo rezultati izračuna	42
Slika 20: Parametri in podatki v datoteki za HTCondor, za 'queue' nadaljujemo z vpisom argumentov za naslednjo analizo.....	44
Slika 21: Primer IDA krivulj na grafu pomik-spektralni pospešek pri T1	46
Slika 22: Stran za nalaganje novega primera.....	48
Slika 23: Vnos osnovnih podatkov v predlogo.....	49
Slika 24: Vneseni podatki o materialnih karakteristikah	49
Slika 25: Podatki o potresni obtežbi	50
Slika 26: Vpisani podatki o stenah za prvo etažo	50
Slika 27: Shranjevanje datoteke	51
Slika 28: Stran za nalaganje datoteke	51
Slika 29: Sporočilo, da je bilo nalaganje in branje vhodne datoteke uspešno.....	52
Slika 30: Obvestilo, da je bila potresna odpornost uspešno izračunana	52
Slika 31: Rezultati potresne odpornosti izbranega primera	53
Slika 32: Potisna krivulja za x in y smer v prvi etaži	54

Slika 33: Graf ekscentričnosti za x in y smer v prvi etaži	54
Slika 34: Potisna krivulja za celotno stavbo za dve predpostavljene porazdelitvi sil	55
Slika 35: Rezultati računa potresne odpornosti iz doktorske dizertacije (Snoj, 2014).....	56
Slika 37: Pregled primerov, za katere je možno zagnati IDA analizo	57
Slika 38: Status IDA analize takoj po zagonu.....	57
Slika 39: Status IDA analize	58
Slika 40: Status končane analize	58
Slika 41: Rezultati izračuna – strnjeno	59
Slika 42: IDA krivulje za izbran primer, zgoraj krivulje Sa – pomik, spodaj krivulje PGA - pomik	60
Slika 43: Primer krivulje ranljivosti za Y smer in porazdelitev sil odvisno od višine in mase etaže	61
Slika 44: Izračun verjetnosti mejnih stanj	61

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

V Sloveniji se je v 20. stoletju zgodilo 15 potresov, katerih intenziteta je dosegla ali presegla sedmo stopnjo po evropski potresni lestvici. Zadnji večji potres se je v Sloveniji zgodil leta 2004 v Posočju. Najmočnejša potresa na naših tleh sta se zgodila v 16. stoletju v okolici Idrije ter ob koncu 19. stoletja v Ljubljani (ARSO, 2015a). Glede na dosedanje potrese in lokacijo Slovenije se na naših tleh v prihodnosti pričakujejo potresi, ki lahko dosežejo magnitudo 7 po Richterjevi lestvici.

Delež novo grajenih stavb iz opeke v Sloveniji počasi pada, a zidane stavbe še vedno predstavljajo največji delež. Večina zidanih stavb je bila grajena še pred uveljavitvijo sodobnih predpisov za potresno odporno gradnjo zato se večkrat pojavlja vprašanje, koliko so obstoječe stavbe sploh varne in kakšna je njihova potresna ranljivost za različna mejna stanja poškodovanosti. Za odgovor na to vprašanje smo v okviru magistrskega dela razvili spletno aplikacijo, katero lahko uporabimo za analizo potresne ranljivosti zidanih stavb.

Cilj pred izdelavo aplikacije je bil, da izdelamo enostavno aplikacijo, v katero se podatki vnesejo preko vhodne datoteke. Aplikacija mora omogočati prijavo in odjavo uporabnikov, vsak uporabnik pa ima dostop samo do primerov, katere je naložil sam. Aplikacija najprej izračuna potresno odpornost posameznih sten in projektne potresne sile, ki se izračunajo po metodi s horizontalnimi silami. Rezultat je preglednica sten z njihovimi odpornostmi, projektnimi potresnimi zahtevami ter tipom porušitve. V nadaljevanju se izračunajo potisne krivulje za posamezne etaže. Grafi potisnih krivulj za posamezne etaže se združijo v graf potisne krivulje za celotno stavbo, kjer je predpostavljeno, da je obnašanje etaž med seboj neodvisno. Potisna krivulja objekta se pretvori na ekvivalentni model z eno prostostno stopnjo, kateri se uporabi v izračunu inkrementalne dinamične analize na podlagi 30 izbranih akcelerogramov v odvisnosti od izbranega tipa tal. Na podlagi rezultatov se izračuna potresna ranljivost stavbe, ki je predstavljena s krivuljami ranljivosti za različna mejna stanja poškodovanosti.

Spletna aplikacija izdelana v okviru magistrskega dela temelji na predhodno izdelani aplikaciji za poenostavljeno oceno ranljivosti zidanih stavb, ki smo jo naredili v okviru diplomske naloge leta 2013.

2 ZIDANE STAVBE IN POTRESI

Potresno inženirstvo se ukvarja s preprečevanjem in zmanjševanjem posledic potresov, utrjevanjem obstoječih stavb kot tudi z zasnovo, načrtovanjem in konstruiranjem potresno odpornih stavb. Področje projektiranja novih stavb na potresnih območjih obravnava standard za projektiranje potresno odpornih konstrukcij SIST EN 1998 oziroma skrajšano Evrokod 8 (SIST EN 1998-1, 2005). Glavna načela tega standarda so zaščita človeških življenj, preprečevanje gmotne škode ter zagotavljanje uporabnosti konstrukcij, pomembnih za civilno zaščito (npr. bolnišnice in gasilski domovi).

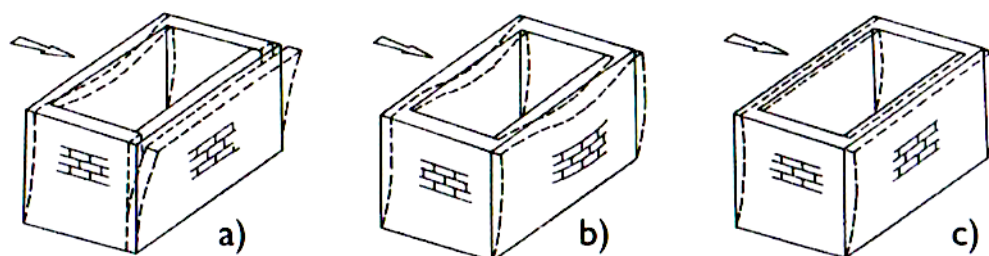
Projektni potres običajno predstavlja obtežbo na konstrukcijo, ki povzroči najmočnejšo obremenitev izmed vplivov, ki so upoštevani pri projektiranju. Ne glede na to, obstaja določena verjetnost, da bodo potresi objekte vseeno poškodovali. Takšna narava problema vodi k temu, da iz ekonomskega stališča pravzaprav ne moremo popolnoma preprečiti poškodb, zato jih do neke stopnje omejimo glede na pomembnost objekta in zmožnosti investitorja. Preprečevanje posledic potresa bi bilo glede na verjetnost pojava in velikost potresne obtežbe ekonomsko nesmiselno, razen pri specifičnih objektih večjega pomena za ljudi in okolje (npr. jedrske elektrarne in vodne pregrade), katerih pa Evrokod 8 ne obravnava (Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009).

Pri projektiranju konstrukcij na potresnih območjih se zahtevata dve bistveni zahtevi in sicer bistvena zahteva po neporušitvi objekta in bistvena zahteva po omejitvi poškodb. Tudi po projektnem potresu mora biti konstrukcija sposobna prevzemati vertikalne obtežbe, če pa je stavba prizadeta s šibkejšim potresom v primerjavi s projektnim potresom, pa stroški popravila poškodb ne smejo biti nesorazmerno veliki. Za zidane stavbe, ki v večini primerov spadajo v II. razred pomembnosti, se za preverjanje mejnega stanja nosilnosti (preprečitev porušitve) upošteva potres s povratno dobo 475 let oziroma potres, za katerega obstaja 10% verjetnost, da se pojavi v 50 letih, kolikor povprečno znaša življenjska doba objekta (Tomažević, 2009).

Zidana konstrukcija praviloma dobro prenaša potresno obtežbo v kolikor so izpolnjeni pogoji pravilnost po tlorisu, pravilnost po višini, simetrija, zadostno število sten v vseh smereh in ustrezna povezanost sten. S pravilnostjo po tlorisu se izognemo torzijskim nihanjem, s pravilnostjo po višini pa efektu mehke etaže.

Starejše zidane stavbe, katerih medetažna konstrukcije predstavlja lesen strop, praviloma nimajo horizontalnih vezi. Zato se zidovi, kateri so pravokotni na obtežbo, trgajo od zidov kateri so vzporedni obtežbi, saj so med sabo povezani samo z zidarsko zvezo. V stikih med zidovi

različnih smeri pa nastajajo razpoke (slika 1a). Če se v medetažni konstrukciji doda horizontalna vez je nihanje usklajeno, zidovi se praviloma na stikih ne trgajo a je vpliv upogiba zidov na pravokotno ravnino, ki zmanjšuje potresno odpornost še vedno močan (slika 1b). V kolikor predstavlja medetažno konstrukcijo armiranobetonska plošča se medetažna konstrukcija obnaša kot toga diafragma, le tako pa dosežemo polno potresno odpornost (slika 1c).





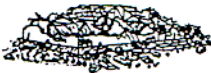


Slika 1: Mehanizmi nihanja pri različnih medetažnih konstrukcijah (Tomažević, 2009)

V novejših stavbah lahko poškodbe po potresu največkrat pripišemo slabi arhitekturni zasnovi, velikim odprtinam, neenakomerno porazdeljenim stenam ter slabi kakovosti malte.

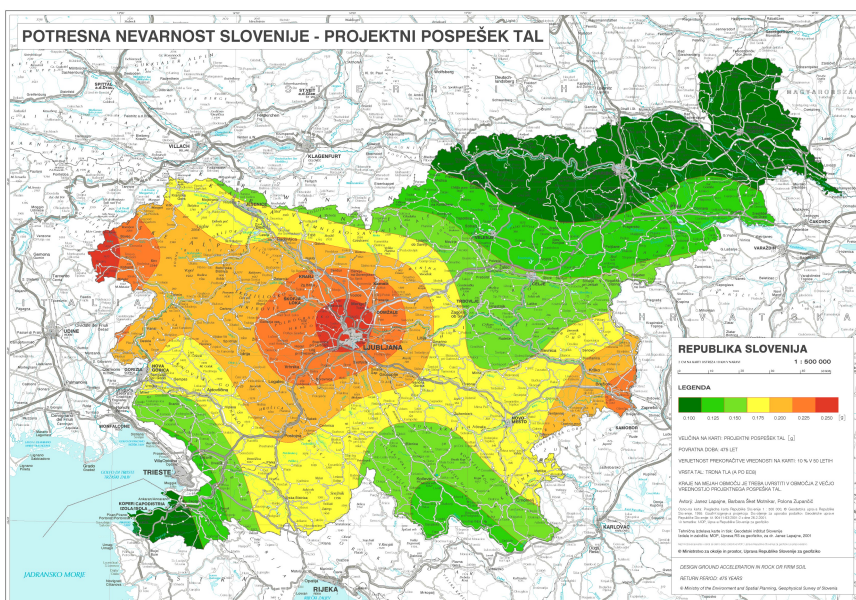
Poškodbe na zidanih objektih podrobno opisane na sliki 2 sicer klasificiramo na (Tomažević, 2009):

- manjše razpoke na stikih zid-strop in zid-zid,
- ločevanje zidov pri nepovezanem stropu,
- navpične razpoke v zidovih zaradi pravokotnega nihanja,
- rušenje nepovezanih zidov zaradi pravokotnega nihanja,
- poškodbe zidov zaradi delovanja sil v ravnino zidu; razslojevanje, diagonalne razpoke,
- porušitev zidu, nadstropja ali stavbe.

Klasifikacija poškodb zidanih konstrukcij	
	1. stopnja: zanemarljive do neznatne poškodbe (ni poškodb konstrukcije). Lasaste razpoke v zelo majhnem številu zidov; odpadanje majhnih kosov ometa, v zelo omejenem obsegu tudi padec nepovezanih zidakov v zgornjem delu stavbe.
	2. stopnja: zmerne poškodbe (lažje poškodbe konstrukcije, zmerne poškodbe nekonstrukcijskih elementov). Veliko zidov je razpokanih, odpadli so razmeroma veliki kosi ometa. Porušeni so deli dimnikov.
	3. stopnja: obsežne do hude poškodbe (zmerne poškodbe konstrukcije, hude poškodbe nekonstrukcijskih elementov). Široke razpoke v večini zidov. Zdrs strešnikov, dimniki v višini strešne konstrukcije so zlomljeni, posamezni nekonstrukcijski elementi so porušeni.
	4. stopnja: zelo hude poškodbe (hude poškodbe konstrukcije, zelo hude poškodbe nekonstrukcijskih elementov). Zelo hude poškodbe, oziroma porušitve zidov. Delna porušitev konstrukcije.
	5. stopnja: porušitev (zelo hude poškodbe konstrukcije). Popolna, oziroma skoraj popolna porušitev.

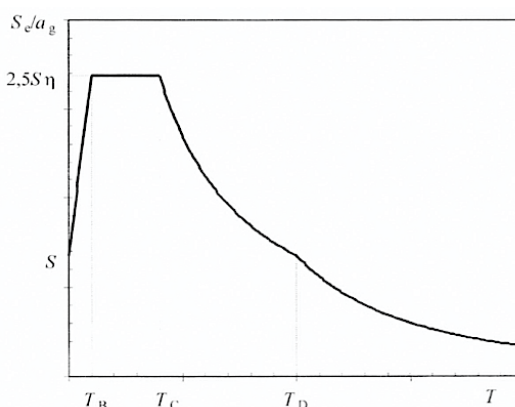
Slika 2: Klasifikacija poškodb na zidanih stavbah na podlagi Evropske makroseizmične lestvice (Tomažević, 2009)

Na objekt med potresom delujejo sile, ki so posledica premikanja tal. Za izračun potresnih sil je glavni podatek projektni pospešek tal, ki je izmerjen na skalnatih tleh in je izražen v deležu gravitacijskega pospeška. Projektni pospešek tal je odvisen od lokacije. Za povratno dobo 475 let in tip tal A znaša maksimalni pospešek tal 0,25 g na območju Posočja in Ljubljane. Na območju Primorske in Prekmurja se maksimalni pospešek tal zmanjša na 0,1 g. Ob pogledu na karto projektnih pospeškov na sliki 3 je vidno, da so največji pospeški na liniji SZ – JV ter da se zmanjšujejo z pravokotno oddaljenostjo od te linije.



Slika 3: Karta projektnega pospeška tal (Arso, 2015b)

Potresna sila je odvisna tudi od teže stavbe, tipa tal na katerih stoji, nihajnega časa stavbe in dušenja. Faktor povečanja potresne obtežbe zaradi neugodnega tipa tal znaša tudi do 1,6 v primerjavi s skalnatimi tlemi, pri katerih je faktor 1,0. Vrednost kritičnega dušenja za zidane stavbe je običajno 5 %. Nihajni čas zidanih stavb je običajno med 0,15 in 0,4 sekunde, kar nam daje glede na spekter pospeškov na sliki 4 maksimalno obtežbo na stavbo (Tomažević, 2009).



Slika 4: Osnovni elastični spekter pospeškov (SIST EN 1998-1)

Potresno silo izračunamo z enačbo:

$$F_{d,b} = S_d(T) m \lambda \quad (1)$$

kjer je:

$S_d(T)$	ordinata spektra pospeškov pri nihajni dobi T
m	celotna masa stavbe
λ	korekcijski faktor zaradi vpliva višjih nihajnih oblik, ki se za zidane stavbe privzame 1.0

Ordinata projektnega spektra pospeškov S_d se izračuna z eno izmed štirih enačb, odvisno od območja, v katerem se nahaja nihajni čas stavbe T . V prvem območju, kjer se nihajni čas T nahaja med 0 in T_B , se faktor S_d izračuna po enačbi:

$$S_d = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]. \quad (2)$$

Za večino zidanih stavb, kjer je $T_B < T < T_C$, oziroma kjer je nihajni čas na platoju projektnega spektra pospeškov, se S_d izračuna po enačbi:

$$S_d = a_g S \frac{2.5}{q}. \quad (3)$$

Pri nihajnem času med T_C in T_D se faktor S_d določi z enačbo:

$$S_d = \min \left\{ a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right], \beta a_g \right\}. \quad (4)$$

Če je nihajni čas obravnavane stavbe večji od $T_D = 2$ s se faktor S_d izračuna po enačbi:

$$S_d = \min \left\{ a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right], \beta a_g \right\} \quad (5)$$

kjer je:

a_g	projektni pospešek tal
S	faktor tal
T	nihajna čas stavbe
T_B, T_C, T_D	karakteristični nihajni časi spektra pospeškov odvisni od tipa tal
q	faktor obnašanja
β	faktor, ki določa spodnjo mejo pri vodoravnem spektru

Zgornje enačbe se v aplikaciji uporabijo pri izračunu potresnih zahtev po metodi s horizontalnimi silami. Potresna sila, ki jo izračunamo po tem postopku, ne vpliva na rezultate inkrementalne dinamične analize (v nadaljevanju IDA analiza).

3 NELINEARNA ANALIZA ZA DOLOČITEV KAPACITET ZIDANIH STAVB

3.1 Določitev odnosa sila-pomik za vertikalni konstrukcijski element stavbe

Predpostavili smo elasto-plastičen odnos med silo in pomikom. Ob začetku obremenjevanja zidu se pomiki povečujejo linearno s povečevanjem sile. Velikost pomika je odvisna od togosti stene opisane v poglavju 3.1.4. Ko je v zidu dosežena nosilnost, ki je določena kot minimalna vrednost izmed treh nosilnosti za različne tipe porušitve (zdrs, diagonalne razpoke in upogibna porušitev), se predpostavi, da je togost zidu nato enaka 0. Predpostavljeno je, da je sila v zidu enaka nosilnosti vse do mejnega pomika, ki je opisan v poglavju 3.1.5. Če je mejni pomik presežen, predpostavimo hipno porušitev zidu.

Med potresom se v stenah pojavijo dodatne strižne in normalne napetosti. Dodatne napetosti v stenah lahko povzročijo več možnih poškodb, kot je, na primer, prikazano na sliki 5. V kolikor napetosti v steni dosežejo trdnost materiala, se pojavijo poškodbe. Če je presežena še deformacijska kapaciteta konstrukcijskih elementov, sledi porušitev elementa ali celotnega objekta.



Slika 5: Prikaz poškodb na zidani stavbi po potresu v L'Aquili (Italija) leta 2009 (IKPIR, 2009)

Pri stenah poznamo tri mehanizme idealizirane porušitve:

- zdrs,
- diagonalne razpoke,
- upogibna porušitev.

Katera izmed porušitev je merodajna je odvisno od geometrijskih karakteristik in mehanskih karakteristik zidu, vpetosti zidu, razmerja med horizontalno ter vertikalno obremenitvijo v zidu. Zid doseže svojo nosilnost takrat, ko je dosežena minimalna odpornost med tremi tipi porušitve. V nadaljevanju so opisani vsi trije tipi porušitve zidu.

3.1.1 Porušitev zaradi zdrsa

Porušitev zaradi zdrsa se običajno pojavi ob pogojih, ko je osna sila v zidu majhna. Tak tip porušitve je običajen za zgornja nadstropja. Strižna trdnost je definirana kot začetna strižna trdnost povečana za del kateri pripada tlačnih napetostim v zidu. Začetno strižna trdnost se lahko določi s preiskavo preizkušancev ali pa z upoštevanje priporočil iz Evrokoda 6, kjer je postavljena omejitev, da strižna trdnost ne sme presežati 6,5 % tlačne trdnosti zidaka. Strižna odpornost zidu je definirana z enačbo (npr. Tomažević, 2009):

$$R_{ds,w} = f_{vd} t L_c \quad (6)$$

kjer je:

- f_{vd} seštevek začetne in dodatne strižne odpornosti
 t debelina zidu
 L_c dolžina tlačnega dela zidu

Pri tem se dolžina tlačnega dela zidu L_c izračuna kot:

$$L_c = 3 \left(\frac{L}{2} - \frac{F_d h}{N_d} \right) \quad (7)$$

kjer je:

- L dolžina zidu
 F_d horizontalna sila na vrhu zidu
 h efektivna višina zidu
 N_d tlačna sila v zidu

3.1.2 Porušitev zidu zaradi diagonalnih razpok

Porušitev zaradi diagonalnih razpok je najpogostejši način porušitve zidov, običajno se pojavi ob neugodnem razmerju med višino in dolžino zidu. V zidu se pojavijo diagonalne razpoke, ko je prekoračena natezna trdnost v osrednjem delu. Odpornost je odvisna od natezne trdnosti zidovja, tlorisne površine zidu, napetosti v zidu in geometrijskih karakteristik zidu. Izračuna se z enačbo (Tomažević, 2009):

$$R_{s,w} = \frac{A_w f_t}{b \sqrt{\frac{\sigma}{f_t} + 1}} \quad (8)$$

kjer je:

A_w tlorisna površina zidu

f_t natezna trdnost zidovja

σ napetost v zidu

b faktor odvisen od razmerja med višino in dolžino zidu izračunan po enačbi:

$$b = \begin{cases} 1,5 & h/l > 1.5 \\ 1.1 & h/l < 0.7 \\ \text{lin. int. ostalo} & \end{cases} \quad (9)$$

3.1.3 Upogiba porušitev zidu

Manj pogosti tip porušitve je upogibna porušitev, kjer se zidaki ob robu zidu zaradi prekoračenih vertikalnih napetosti drobijo. Tlačne napetosti so seštevek napetosti zaradi normalne obtežbe ter napetosti, katere povzroči moment oziroma horizontalna sila zaradi potresne obtežbe. Odpornost se izračuna po enačbi (Tomažević, 2009):

$$R_{f,w} = \frac{\frac{\sigma t l^2}{2} \left(1 - \frac{\sigma}{0.85 f_k}\right)}{c h} \quad (10)$$

kjer je:

σ napetost v zidu

t debelina zidu

l dolžina zidu

f_k tlačna trdnost zidovja

- h efektivna višina zidu
 c faktor od 0,5 do 1 odvisen od vpetosti zidu

3.1.4 Togost zidu

Togost zidov se izračuna po enačbi (Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009):

$$k = \frac{G t l}{1.2 \left(h + \frac{1}{0.3 + c} 0.9 \frac{h^3}{l^2} \frac{G}{E} \right)} \quad (11)$$

kjer je:

- G strižni modul
 E modul elastičnosti
 t debelina stene
 l dolžina stene
 h efektivna višina zidu
 c faktor odvisen od vpetosti zidu

Vrednost c predstavlja delež vpetosti, ki je od 0 do 1. V kolikor je vrednost 0 se zid smatra kot vpet na dnu in členkasto podprt na vrhu. V kolikor je vrednost 1 se zid obravnava kot vpet na dnu in na vrhu. Vrednost c poda uporabnik v vhodni datoteki za vsako steno posebej.

3.1.5 Meja porušitve

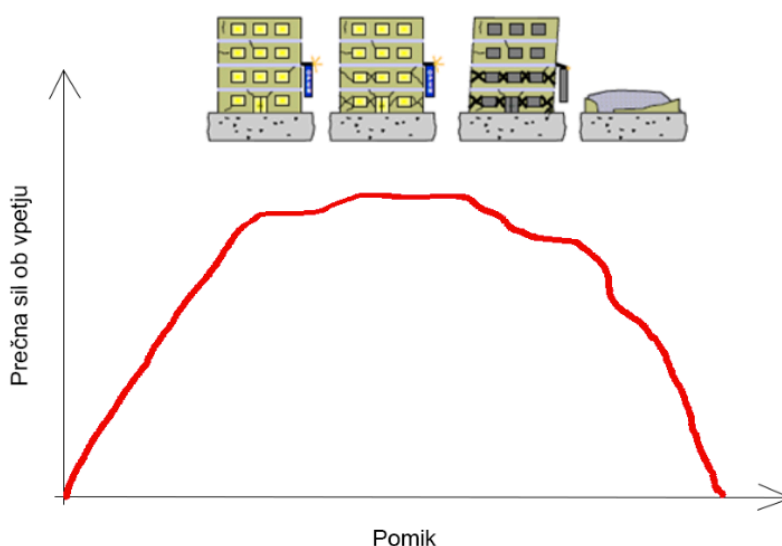
Pomik, pri kateri se zid poruši je odvisen od tipa porušitve oziroma najmanjše izmed treh odpornosti zidov. V kolikor se zid poruši strižno zaradi diagonalnih razpok ali zdrsa se pomik pri porušitvi upošteva kot 0,4 % višine zidu, v kolikor se zid poruši upogibno zaradi prekoračenih tlačnih napetosti se kot mejni pomik privzame 0,8 % višine zidu. Te vrednosti približno ustrezajo vrednostim, ki jih je določil Snoj (2014) na osnovi eksperimentalne baze cikličnih testov za nearmirane opečne zidove (votlaki). Podobne vrednosti navaja tudi SIST EN 1998-3 (2005), vendar za stanje močnih poškodb.

3.2 Potisna analiza

Za ponazoritev odpornosti etaž izdelamo potisno krivuljo, katera prikazuje odvisnost med pomikom na vrhu etaže ter horizontalno silo, katero nanašamo na vrh etaže (slika 6). Potisno

krivuljo lahko izračunamo če poznamo nosilnost, togost in duktilnost posameznih sten. Pri izračunu potisne krivulje upoštevamo (Tomažević, 2009):

- stropovi so togi v svoji ravnini,
- sile se na zidove razdelijo v razmerju togosti,
- v potresnem odzivu prevladuje prva nihajna oblika,
- prispevek posameznega zidu k celotni etažni prečni sili je odvisen od velikosti pomikov in oblike krivulje odpornosti posameznega zidu,
- zid nosi horizontalno obtežbo do pripisane mejne deformacijske kapacitete, po tem se predpostavi da je odpornost na horizontalno obtežbo enaka nič. Prerazporeditev osne sile na ostale elemente konstrukcije se ne upošteva.



Slika 6: Potisna krivulja

Predpostavili smo, da stene pravokotne na smer obremenjevanja ne nudijo odpornosti na horizontalno obtežbo. Predpostavili smo, da stene ne izgubljajo na nosilnosti zaradi rotacij etaž, saj so koti rotacij majhni.

Potisno krivuljo naredimo tako, da model konstrukcije obremenimo s statično obtežbo v vodoravni smeri katero počasi povečujemo pri tem pa beležimo pomike. Elementi v konstrukciji se začnejo plastificirati. S plastifikacijo elementov togost konstrukcije pada. Po doseženi maksimalni sili modelu povečujemo pomike pri tem pa merimo silo (Fajfar, 2002).

Končni rezultat je krivulja odvisnosti med odpornostjo in pomikom etaže, kjer se izbira pomik etaže, odpornost pa se določi kot seštevek odpornosti zidov na določenem pomiku. V potisni analizi je na približen način upoštevan vpliv torzije stavbe, ki se pojavi zaradi neenakomerne

in nesimetrične razporeditve zidov. Postopek izračuna potisne krivulje etaže je povzet po postopku inštituta ZRMK, ki se je uporabil po potresu v Posočju leta 1998 in 2004.

V prvem delu izračuna se izračunata x in y koordinati masnega središča etaže. Masno središče se izračuna glede na osne sile, ki delujejo na stene v x in y smeri. Osne sile so podatek uporabnika v vhodni datoteki. Enačba za izračun koordinate x se izračuna po spodnji enačbi, analogno tudi za y smer:

$$x_m = \frac{\sum G_i x_i}{\sum G_i} \quad (12)$$

kjer je:

x_m x koordinata masnega središča

G_i osna sila i -te stene

x_i x koordinata i -te stene

Sledi izračun strižnega središča, ki se izračuna glede na pozicijo in togost sten. Za račun x koordinate strižnega središča se upoštevajo samo stene, ki so nosilne v y smeri, za določitev y koordinate strižnega središča pa stene, ki so nosilne v x smeri. Koordinata x strižnega središča se tako izračuna po enačbi, analogno se izračuna tudi za y smer:

$$x_s = \frac{\sum K_{y_i} x_i}{\sum K_{y_i}} \quad (13)$$

kjer je:

x_s x koordinata strižnega središča

K_{y_i} togoste i -te stene v y smeri

x_i x koordinata i -te stene v y smeri

Razlika med koordinato masnega in strižnega središča definira ekscentričnost etaže (e_x ali e_y), katero povečamo za slučajno ekscentričnost na neugodni strani z enačbo za x smer:

$$e_{ax} = 0,05 L_x \frac{e_x}{|e_x|} \quad (14)$$

kjer je:

e_{ax} slučajna ekscentričnost

- L_x dolžina stavbe v x smeri
 e_x razdalja med masnim in strižnim težiščem

Enačba za izračun slučajne ekscentričnosti v y smeri se glasi:

$$e_{ay} = 0,05 L_y \frac{e_y}{|e_y|} \quad (15)$$

kjer je:

- e_{ay} slučajna ekscentričnost
 L_y dolžina stavbe v x smeri
 e_y razdalja med masnim in strižnim težiščem

V nadaljevanju se izračuna še torzijska togost tlorisa. Pri izračunu se zanemari torzijska odpornost sten okoli svoje osi. Torzijska togost v x smeri se izračuna po enačbi:

$$I_x = \sum [K_{x_i} y_i^2] - y_s^2 K_{etx} \quad (16)$$

kjer je:

- I_x torzijska togost tlorisa v x smeri
 K_{x_i} togost i -te stene v x smeri
 y_i y koordinata i -te stene v x smeri
 y_s y koordinata strižnega središča
 K_{etx} seštevek togosti vseh sten v posamezni etaži v x-smeri

Torzijska togost tlorisa v y smeri se izračuna po enačbi:

$$I_y = \sum [K_{y_i} x_i^2] - x_s^2 K_{ety} \quad (17)$$

kjer je:

- I_y torzijska togost tlorisa v x smeri
 K_{y_i} togost i -te stene v y smeri
 x_i x koordinata i -te stene v y smeri
 x_s x koordinata strižnega središča

y seštevek togosti vseh sten v posamezni etaži v y -smeri

Torzijska togost tlorisa se izračuna kot seštevek torzijskih togosti v x in y smeri po enačbi:

$$I_t = I_x + I_y \quad (18)$$

kjer je:

- I_t torzijska togost tlorisa
- I_x torzijska togost tlorisa v x smeri
- I_y torzijska togost tlorisa v y smeri

Kot zasuka etaže lahko izračunamo po enačbah (Tomažević, 1987):

$$\omega_x = \frac{F_x e_y}{I_t} \quad (19)$$

$$\omega_y = \frac{F_y e_x}{I_t} \quad (20)$$

kjer je:

- ω_x zasuk tlorisa zaradi sile v x smeri
- ω_y zasuk tlorisa zaradi sile v y smeri
- F_x horizontalna sila v x smeri
- F_y horizontalna sila v y smeri
- e_x ekscentričnost v x smeri
- e_y ekscentričnost v y smeri
- I_t torzijska togost tlorisa

Deformacija zidu je sestavljena iz deformacije zaradi translatornega pomika etaža in deformacije zaradi zasuka etaže okoli strižnega težišča in se izračuna po enačbi (Tomažević, 1987):

$$d_{x,i} = d_{x,e} + d_{x,i}^T \quad (21)$$

$$d_{y,i} = d_{y,e} + d_{y,i}^T \quad (22)$$

kjer je:

- $d_{x,i}$ pomik posameznega zidu v smeri x zaradi translatorne in vztrajnostne sile v smeri x

- $d_{y,i}$ pomik posameznega zidu v smeri y zaradi translatorne in vztrajnostne sile v smeri y
 $d_{x,e}$ pomik etaže v smeri x zaradi horizontalne sile v smeri x
 $d_{y,e}$ pomik etaže v smeri y zaradi horizontalne sile v smeri y
 $d_{x,i}^T$ deformacija zidu v smeri x zaradi zasuka et. pri delovanju vztrajnostne sile v smeri x
 $d_{y,i}^T$ deformacija zidu v smeri y zaradi zasuka et. pri delovanju vztrajnostne sile v smeri y

Pri čemer se deformacije v zidu zaradi zasuka etaže pri delovanju vztrajnostne sile izračunajo kot (Tomažević, 1987):

$$d_{x,i}^T = \omega_x (y_i - y_s) \quad (23)$$

$$d_{y,i}^T = \omega_y (x_i - x_s) \quad (24)$$

kjer je:

- $d_{x,i}^T$ deformacija zidu v smeri x zaradi zasuka et. pri delovanju vztrajnostne sile v smeri x
 $d_{y,i}^T$ deformacija zidu v smeri y zaradi zasuka et. pri delovanju vztrajnostne sile v smeri y
 ω_x zasuk tlorisa zaradi sile v x smeri
 ω_y zasuk tlorisa zaradi sile v y smeri
 y_i y koordinata i-te stene v x smeri
 y_s y koordinata strižnega središča
 x_i x koordinata i-te stene v y smeri
 x_s x koordinata strižnega središča

Če tako združimo enačbe 19, 21 in 23 ter 20, 22 in 24 dobimo izraz za celotno deformacijo zidu v smeri delovanja vztrajnostne sile (Tomažević, 1987):

$$d_{x,i} = d_{x,e} + \frac{F_x e_y}{I_t} (y_i - y_s) \quad (25)$$

$$d_{y,i} = d_{y,e} + \frac{F_y e_x}{I_t} (x_i - x_s) \quad (26)$$

Horizontalno silo lahko zapišemo tudi kot zmnožek med togostjo etaže in pomikom etaže, tako dobimo enačbi:

$$d_{x,i} = d_{x,e} + \frac{K_{etx} d_{x,e} e_y}{I_t} (y_i - y_s) \quad (27)$$

$$d_{y,i} = d_{y,e} + \frac{K_{ety} d_{y,e} e_x}{I_t} (x_i - x_s) \quad (28)$$

Enačbi deljimo s translatorsnim pomikom etaže $d_{x,e}$ za x smer oziroma $d_{y,e}$ za y smer. S tem dobimo enačbo za izračun faktorja povečanja pomikov za posamezno steno. Stene katere so bolj oddaljene od strižnega središča se pomik poveča ali zmanjša za več, kot pri tistih bližje središču. Faktor povečanja pomikov za posamezno steno v x smeri se izračuna po enačbi:

$$\rho_{x_i} = 1 + e_y \frac{K_{etx}}{I_t} (y_i - y_s) \quad (29)$$

kjer je:

- ρ_{x_i} faktor povečanja pomika i-te stene zaradi torzije
- e_y razdalja med masnim in strižnim težiščem povečana za vpliv slučajne ekscentričnosti
- K_{etx} seštevek togosti vseh sten v x-smeri
- I_t torzijska vztrajnost tlorisa
- y_i y koordinata i-te stene
- y_s y koordinata strižnega središča

Za stene v y smeri se faktor povečanja pomikov izračuna po enačbi:

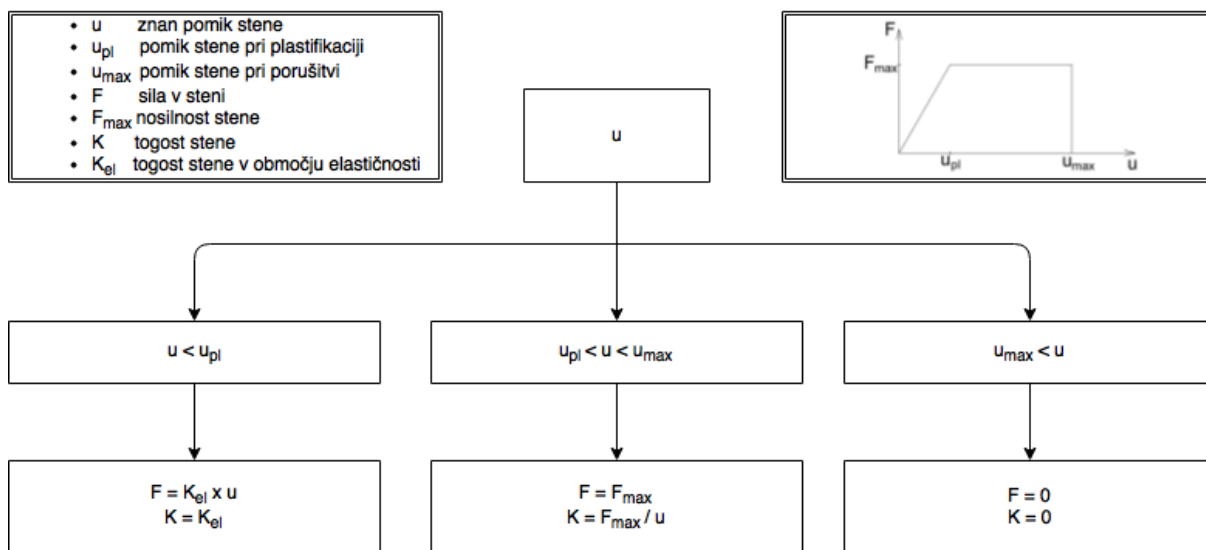
$$\rho_{y_i} = 1 + e_x \frac{K_{ety}}{I_t} (x_i - x_s) \quad (30)$$

kjer je:

- ρ_{y_i} faktor povečanja pomika i-te stene zaradi torzije
- e_x razdalja med masnim in strižnim težiščem povečana za vpliv slučajne ekscentričnosti
- K_{ety} seštevek togosti vseh sten v x-smeri
- I_t torzijska vztrajnost tlorisa
- x_i y koordinata i-te stene
- x_s y koordinata strižnega središča

Poišče se stena, katera prva doseže mejo plastičnosti. Pomik vsake izmed sten deljimo s faktorjem povečanja pomika zaradi torzije. Izračunana najmanjša vrednost pomika izmed vseh sten v posamezni smeri je pomik, pri kateri se plastificira prva stena.

V nadaljevanju se izračunajo pomiki, togosti in sile v posameznih stenah. Izbere se nov pomik etaže, ki se izračuna kot pomik prejšnje etaže povečan za 5 %. Pomik posamezne stene je enak pomiku etaže le da je povečan ali zmanjšan zaradi vpliva torzije. Togost in sila v steni je odvisna od pomika v steni. V kolikor je stena v elastičnem območju je togost enaka začetni togosti, sila pa enaka togosti množeni s pomikom v steni. Če je stena v plastičnem območju je togost enaka nosilnost deljeni s pomikom v steni, sila pa je enaka nosilnosti stene. Ko je stena dosegla mejo porušitve sta togost in sila v steni enaka nič. Algoritem za izračun sile in togosti v steni je prikazan na sliki 7.

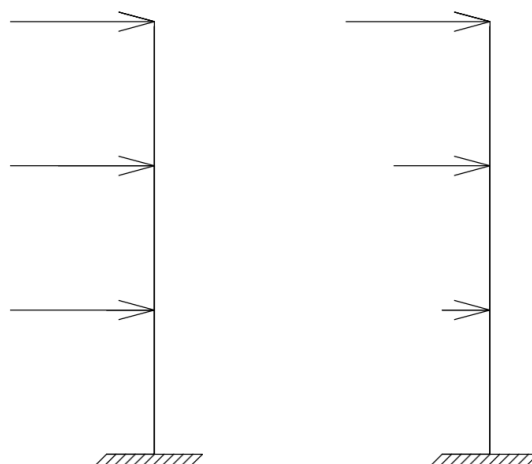


Slika 7: Algoritem za določitev sile in togosti v posamezni steni

Sila na grafu potisne krivulje se izračuna kot seštevek vseh sil posameznih sten, izbrani pomik etaže na začetku iteracije pa se poveča zaradi vpliva torzije po enačbi 31 oz. 32, kjer se za koordinato stene vpiše koordinata masnega središča.

3.2.1 Potisna krivulja celotne stavbe

Potisno krivuljo za celotno stavbo sestavimo iz potisnih krivulj etaž. Za vsako stavbo se sestavita dve krivulji za vsako smer. V prvi predpostavimo, da so sile konstantne po višini, v drugi pa predpostavimo sile odvisne od višinske kote in mase etaže. Sile so normirane tako, da je sila v zgornji etaži vedno enaka ena.



Slika 8: Razdelitev sil 1 (konstantne) levo in razdelitev sil 2 (po višini in masi) desno

Najprej se preveri katera etaža je kritična. Kritična etaža diktira sile, po katerih se računajo pomiki v nekritičnih etažah. Kritična etaža se preveri tako, da deljimo nosilnost etaže s prečno silo, katera vpliva na etažo po porazdelitvi sil na način 1 ali 2. Kritična je tista etaža, katera da najmanjšo razmerje:

$$R_i = \frac{H_{max,i}}{V_i} \quad (31)$$

kjer je:

R_i iskano razmerje; kritična je etaža z najmanjšo vrednostjo

$H_{max,i}$ nosilnost i -te etaže

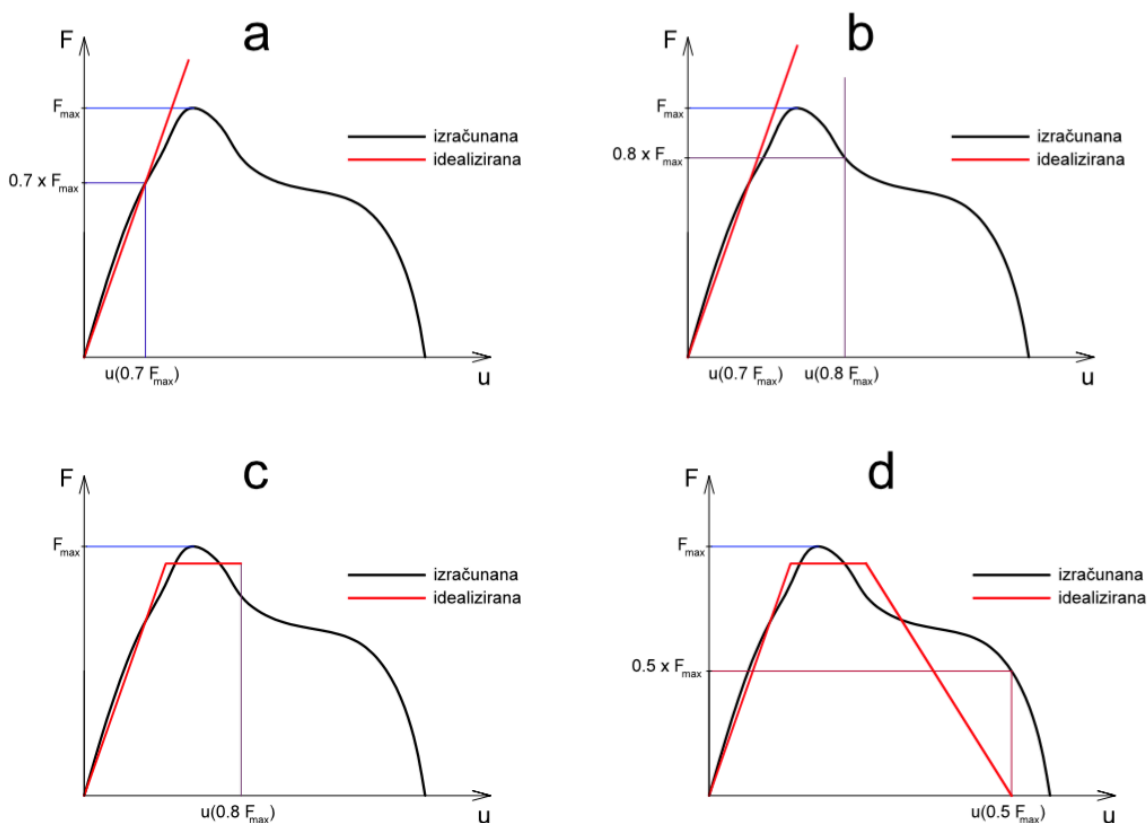
V_i prečna sila v i -ti etaži po porazdelitvi sil 1 ali 2

V vsakem koraku izračuna potisne krivulje se določi sila v kritični etaži. Sila v nekritičnih etažah se nato določi iz razmerja sil med kritično in nekritično etažo. Ko je sila v nekritični etaži določena se izračuna pomik pri izračunani sili v nekritični etaži. Točka na grafu torej predstavlja pomik, ki je seštevek pomikov posameznih etaž oziroma pomik na vrhu stavbe in sile, ki predstavlja prečno silo v prvi etaži.

3.2.2 Idealizacija krivulje

Graf potisne krivulje se idealizira s tri linearnim odnosom. Idealiziran odnos med silo ob vpetju in pomikom na vrhu predstavlja osnovo za določitev ekvivalentnega SDOF modela, ki se uporabi kasneje pri inkrementalni dinamični analizi (IDA). Najprej se izračunata sila in pomik,

ki ustrežata 70 % maksimalne prečne sile ob vpetju F_{max} . Dobljena točka je točka preko katere gre premica iz koordinatnega izhodišča (slika 9a). V nadaljevanju se izračunata sila in pomik, ko nosilnost pade na 80 % F_{max} . Pri tem pomiku se začne mehčanje oziroma upadanje prečne sile v elementu (slika 9b). Sledi določitev nosilnosti idealiziranega odnosa sila-pomik, na podlagi enakosti površin idealizirane in dejanske potisne krivulje do pomika, kjer sila pade na 80 % nosilnosti. Izračuna se površina pod potisno krivuljo, nato se določi maksimalna sila idealizirane krivulje, tako da je površina pod obema krivuljama enaka (slika 9c). Sledi določitev zadnje točke na grafu, točke ko sila pade na nič. Predpostavili smo, da je to večja izmed vrednosti pomika, ko nosilnost pade za 50 % in pomika povečanega za 20 % glede na pomik, pri katerem pade sila na 80 % nosilnosti (slika 9d).



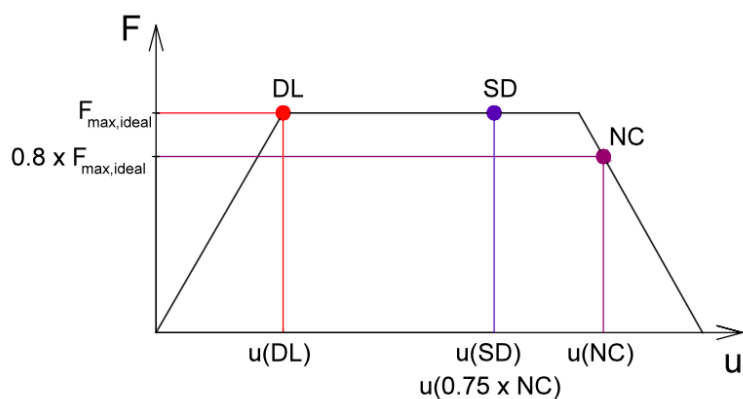
Slika 9: Konstruiranje idealizirane krivulje

3.3 Definicija mejnih stanj

Mejna stanja za poškodbe konstrukcije smo prevzeli iz standard Evrokod 8-3, kateri definira tri mejna stanja:

- mejno stanje omejitve poškodb (ang. Damage Limitation) DL,
- mejno stanje pomembnih poškodb (ang. Significant Damage) SD,
- mejno stanje blizu porušitve (ang. Near Colapse) NC.

Vse tri stanja se določijo na idealizirani potisni krivulji stavbe. Mejno stanje omejitve poškodb je predpostavljeno pri pomiku, kjer se začne plastifikacija. Stanje blizu porušitve je določeno pri pomiku, pri katerem nosilnost idealizirane krivulje pade za 20 %. Stanje pomembnih poškodb je pri pomiku, ki ustreza 75 % pomika pri stanju blizu porušitve.



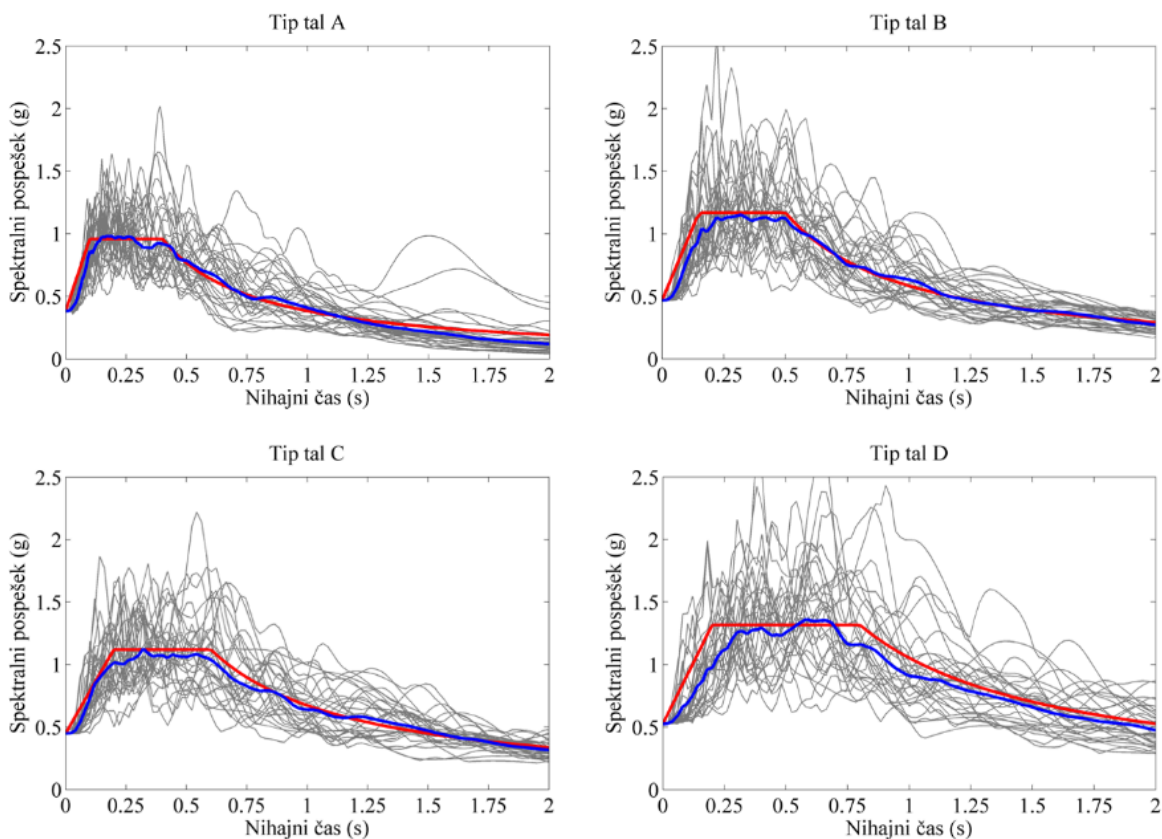
Slika 10: Mejna stanja konstrukcije

Vsa tri stanja se v aplikaciji izračunajo za vsako smer in vsako izmed dveh predpostavljenih porazdelitev sil.

4 ANALIZA POTRESNE RANLJIVOSTI ZIDANIH STAVB

4.1 Izbor akcelerogramov

Akcelerograme smo izbrali z uporabo procedure po Jayaram in sod. (Jayaram, Lin, Baker, 2011). Proceduro smo nekoliko modificirali na način, da smo za ciljni spekter uporabili Evrokodov elastični spekter pospeškov. Za vsak tip tal smo naredili skupine akcelerogramov v katerih je 30 akcelerogramov. Akcelerograme smo izbirali iz združene PEER-ove (PEER, 2012) in RESORCE-ove (Akkar in sod., 2014) baze. Upoštevali smo samo akcelerograme, ki ustrezajo magnitudam med 4.5 in 7.5 in epicentralnim razdaljam med 5 in 50 km. Ker je takih akcelerogramov, ki so zabeleženi na tleh s strižno hitrostjo v zgornjih 30 m večjo od 800 m/s (tip tal A) malo, smo pri izbiri akcelerogramov za tip tal A za spodnjo mejo strižne hitrosti namesto 800 m/s upoštevali 600 m/s. Ujemanje med spektri izbranih akcelerogramov in ciljnim spektrom Evrokoda je prikazano na sliki 11.



Slika 11: Grafi izbranih akcelerogramov in primerjava z Evrokodovim elastičnim spektrom

4.2 Določitev poenostavljenega nelinearnega modela stavbe

Sistem z več prostostnimi stopnjami v nadaljevanju nadomestimo s takim, ki ima samo eno prostostno stopnjo. Pretvorbo naredimo ločeno za x smer in y smer (Snoj, 2009). Najprej določimo maso ekvivalentnega sistema po enačbi:

$$m^* = \sum m_i \theta_i \quad (32)$$

kjer je:

m^* masa SDOF sistema

m_i masa v posamezni etaži

θ_i pomik v posamezni etaži

Pomike v posamezni etaži θ_i izračunamo tako, da na model nanese horizontalne etažne sile v razmerju mas in kot etaž. Višja in težja kot je etaža večjo silo nanese na njo. Sile v posameznih etažah deljimo s togostjo etaž v elastičnem delu. Rezultat so zamiki etaž. Zamikom posamezne etaže dodamo zamike spodnjih etaž. Dobljene pomike normiramo tako, da je pomik v zgornji etaži enak 1. Pomike izračunamo ločeno za x in y smer ter prvo in drugo predpostavljeno obliko sil.

Izračunamo še transformacijski faktor Γ , ki je odvisen od nihajne oblike izračunane v prejšnjem koraku in razporeditve mas ter se izračuna po enačbi:

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \theta_i^2} \quad (33)$$

kjer je:

Γ transformacijski faktor

m^* masa SDOF sistema

m_i masa v posamezni etaži

θ_i pomik v posamezni etaži

Sile in pomike na potisni krivulji deljimo s transformacijskim faktorjem. Oblika odnosa med silo in pomikom, togosti in nihajni časi se ohranijo, spremenjeno je le merilo.

Izračunamo še nihajni čas modela z eno prostostno stopnjo z enačbo:

$$T^* = 2 \pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}} \quad (34)$$

kjer je:

T^* nihajni čas SDOF modela

m^* masa SDOF sistema

d_y^* pomik idealizirane krivulje SDOF sistema na meji tečenja

F_y^* sila idealizirane krivulje SDOF sistema na meji tečenja

Izračuna se še koeficient dušenja po enačbi:

$$c^* = 2 \xi m^* \frac{2 \pi}{T^*} \quad (35)$$

kjer je:

c^* koeficient dušenja SDOF sistema

ξ delež kritičnega dušenja (0,05)

m^* masa SDOF sistema

T^* nihajni čas SDOF modela

4.3 Inkrementalna dinamična analiza na poenostavljenem nelinearnem modelu stavbe

Ker je potresna obtežba dinamična in pri vsakem potresu drugačna je odziv konstrukcije na njo pri vsakem potresu drugačen. Odziv konstrukcije tako ni odvisen samo od konstrukcije temveč tudi od posameznega potresa, katerega opišemo z akceleroگرامom. Zaradi nepredvidljivega obnašanja stavbe med potresem za nepristransko oceno ranljivosti objekta uporabimo več akceleroگرامov. Izdelana aplikacija upošteva za vsak primer 30 akceleroگرامov.

Namen analize IDA je, da določimo odnos med mero za intenziteto potresa (npr. maksimalni pospešek tal) in mero s katerim izrazimo potresne zahteve (npr. pomik na vrhu, etažni pomik) pri čemer ta odnos določimo od elastičnega stanja konstrukcije vse do porušitve. IDA je parametrična analiza v kateri računamo nelinearni odziv konstrukcije v odvisnosti od seizmične intenzitete. Postopek osnovne IDA sta opisala avtorja Dimitrios Vamvatsikos in C. Allin Cornell leta 2001 v članku Incremental dynamic analysis (Vamvatsikos, Cornell, 2001) razširjena verzija IDA, ki upošteva fizikalne in modelne negotovosti pa je bila predstavljena leta 2009

(Dolšek, 2009). Rezultat IDA analize je IDA krivulja. Razvita aplikacija izračuna 30 IDA krivulj na podlagi podanih akcelerogramov, vsaka krivulja pa predstavlja odziv konstrukcije na določen potres. Na konstruiran graf z IDA krivuljami nanašamo na absciso mero za poškodovanost objekta na ordinato pa intenziteto potresne obtežbe. Mera za poškodovanost objekta je lahko pomik na vrhu, zasuk konstrukcije, zamik določene etaže ali etažna prečna sila. V našem primeru smo za mero poškodovanosti izbrali pomik na vrhu konstrukcije. Za mero intenzitete potresne obtežbe smo izbrali spektralni pospešek, ki pripada osnovni nihajni obliki s 5% dušenjem, ter maksimalni pospešek tal.

Pri nelinearni analizi smo uporabili diskreten model z eno prostostno stopnjo oz. eno koncentrirano maso. Nelinearno odvisnost med silo in pomikom določa idealizirana potisna krivulja stavbe izračunana po postopku v poglavju 3.2.2..

IDA se izračuna v programu Opensees s skripto za izračun IDA analize (Šebenik, Dolšek 2015b). Skripta računa posamezno IDA krivuljo v štirih korakih. V prvem koraku se izvedejo analize pri posameznih intenzitetah, dokler se konstrukcija ne poruši. Vsaka intenziteta je glede na prejšnji korak dva krat večja. V drugem koraku se s postopkom bisekcije išče natančnejša intenziteta, pri kateri se konstrukcija poruši. V tretjem koraku se pri dodatnih intenzitetah iščejo novi pomiki konstrukcije dokler ni doseženo maksimalno število intenzitet na posamezni krivulji. V zadnjem koraku se rezultati zapišejo v datoteko.

4.4 Krivulje ranljivosti zidane stavbe

Verjetnost doseženega pomika izračunamo iz intenzitet IDA krivulj na treh mejnih stanjih konstrukcije. Pomiki pri katerih se verjetnost računa so definirani v poglavju 3.3. Predpostavili smo lognormalno porazdelitveno funkcijo intenzitet. Najprej se izračuna povprečje intenzitet potresov na določenem pomiku. Povprečje izračunamo po formuli:

$$m_x = \frac{\sum Pga}{N} \quad (36)$$

kjer je:

- m_x povprečje intenzitet na izbranem pomiku
- Pga intenziteta na izbranem pomiku
- N število intenzitet

Število intenzitet je na pri vsakem koraku 30 oz. toliko kolikor je akceleroogramov. V nadaljevanju se izračuna še varianca vzorca po formuli:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum(Pga - m_x)^2}{N} \quad (37)$$

kjer je:

- σ_x^2 varianca vzorca
- Pga intenziteta na izbranem pomiku
- m_x povprečje intenzitet na izbranem pomiku
- N število intenzitet

V kolikor je na določenem pomiku več intenzitet ene IDA krivulje se v enačbah 36 in 37 vzame manjša izmed intenzitet.

S pomočjo variance in povprečja vzorca z metodo momentov izračunamo mediano in standardno deviacijo lognormalne porazdelitve. Omenjena podatka sta potrebna za izračun verjetnosti porušitve. Mediano izračunamo po enačbi (Turk, 2011):

$$\widetilde{m}_x = \frac{m_x^2}{\sqrt{\sigma_x^2 + m_x^2}} \quad (38)$$

kjer je:

- \widetilde{m}_x mediana lognormalne porazdelitve
- m_x povprečje intenzitet vzorca na izbranem pomiku
- σ_x^2 varianca vzorca

Izračunamo še standardno deviacijo po enačbi (Turk, 2011):

$$\sigma_R = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_x^2}{m_x^2}\right)} \quad (39)$$

kjer je:

- σ_R standardna deviacija lognormalne porazdelitve intenzitet akceleroogramov

m_x povprečje intenzitet vzorca na izbranem pomiku

σ_x^2 varianca vzorca

Izračuna se tudi standardna deviacija, ki približno vključuje modelne in materialne negotovosti kot kvadratni koren vsote kvadratov standardne deviacije lognormalne porazdelitve in standardne deviacije, ki pripada modelnim in materialnim negotovostim. Ta faktor smo predpostavili 0,3 .

$$\sigma = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_U^2} \quad (40)$$

kjer je:

σ standardna deviacija z upoštevanjem modelne in materialne negotovosti

σ_R standardna deviacija lognormalne porazdelitve intenzitet akcelerogramov

σ_U standardna deviacija modelne in materialne negotovosti

Mediana in standardna deviacija lognormalne porazdelitve sta parametra, s katero opišemo lognormalno porazdelitev. S pomočjo teh dveh parametrov lahko izračunamo gostoto verjetnosti in porazdelitveno funkcijo.

5 RAZVOJ SPLETNE APLIKACIJE ZA OCENO POTRESNE RANLJIVOSTI ZIDANIH STAVB

5.1 Splošno o informacijskih tehnologijah

Za izdelavo spletne aplikacije so bili uporabljeni naslednji programi in programski jeziki:

- PHP
- HTML
- JavaScript (v kombinaciji s tehnologijo AJAX in knjižnico jQuery)
- MySQL
- CSS
- OpenSees
- TCL
- BASH
- HTCCondor

V naslednjih poglavjih so na kratko opisani programski jeziki in programi uporabljeni pri izdelavi spletne aplikacije.

5.1.1 HTML

HTML (ang. HyperText Markup Language) je označevalnik jezik, ki se uporablja za izdelavo spletnih strani. Jezik s pomočjo posebnega označevanja v koničastih oklepajih < > omogoča preprosto oblikovanje interaktivnih dokumentov. Oznake v jeziku napišemo med koničaste oklepaje. Oznake HTML jezika določa standard in so splošno dorečene. Zadnji in najnovejši standard, ki predpisuje oznake je HTML5 katerega končna verzija je bila objavljena 28. oktobra 2014. Oznake med koničastimi oklepaji so lahko enojne ali dvojne. Enojne vstavljajo dodatno informacijo za prikaz strani na mesto na katero jih zapišemo. Z dvojnimi definiramo odsek. Primer enojnih oznak je
, ki predstavlja prehod v novo vrstico, primer dvojnih oznak pa npr. To je krepko , ki odseku doda lastnost krepke pisave.

Pravilno zapisan HTML dokument je zapisan med oznakama <html> in </html>. Na začetku so v glavi dokumenta med oznakama <head> in </head> zapisani meta podatki, kot naprimer naslov strani, ki se nam izpiše v naslovu zavihtka v brskalniku. V tem delu se običajno zapišejo tudi poti do oblikovnih datotek CSS, katere se vključujejo za pravilen prikaz strani. Vsebina, ki se prikaže znotraj brskalnika pa se zapiše med oznaki <body> in </body> (Mrvar, 2015).

5.1.2 PHP

PHP (ang. PHP Hypertext Preprocessor) je skriptni programski jezik, ki se najpogosteje uporablja za pisanje strežniških programov. Z njim lahko razvijemo dinamično spletno stran. Za izvajanje PHP skripte potrebujemo program, ki PHP kodo pretvarja v strojni jezik. Taki programi so nameščeni na strežnikih, lahko pa ga namestimo tudi na osebne računalnike. Programska koda napisana v PHP jeziku ni vidna v izvorni kodi, ki jo strežnik pošlje brskalniku. (PHP Login, 2016).

Aplikacija je bila razvita po metodologiji objektno orientiranega programiranja. Glavne lastnosti takega programiranja so (Tutorialspoint, 2016a):

- dedovanje – je princip, ki nam omogoča, da naredimo nov objekt na podlagi že narejenega, le da novemu objektu dodamo dodatne lastnosti,
- večobličnost ali polimorfnost – je lastnost, ki omogoča da se objekti v različnih situacijah obnašajo različno. Metodo tako enolično določijo ime, število in vrsta parametrov,
- ograjevanje – pomeni da lahko stanje objekta spremeni le njegova aktivnost,
- abstrakcija – pomeni, da lahko določene lastnosti v podrazredih opustimo in uporabimo samo tiste, katere nas zanimajo.

Glavna ideja je, da program predstavlja celoto, katera je sestavljena iz večih objektov. Objekti se lahko med sabo sporazumevajo z okoljem, procesirajo podatke ali pa oddajajo sporočila drugim objektom (Gregorič, 2008).

Za izdelavo spletne aplikacije smo na lokalni računalnik namestili program Apache in ga uporabili kot lokalni spletni strežnik, interpreter za programski jezik PHP, ki služi za prevajanje PHP kode v strojno kodo, ter program za upravljanje z relacijskimi bazami podatkov MySQL. Za namestitev vse potrebne programske opreme smo uporabili v naprej pripravljen paket XAMPP (Apachefriends, 2015).

Za risanje grafov smo uporabili knjižnico za izris grafov pChart (pChart, 2012), ki je le ena izmed možnih rešitev za risanje grafov znotraj jezika PHP. Aplikacija je objektno orientirana, omogoča risanje večih krivulj na en graf, senčenje, spreminjanje merila in nekatere ostale možnosti grafičnega prikaza podatkov. Generiranje grafa je razdeljeno v dva dela. V prvem delu se na graf dodajajo točke, v drugem delu se oblikuje in izriše graf kot bitna slika poljubne resolucije.

5.1.3 MySQL

MySQL baza podatkov lahko deluje na samostojnem podatkovnem strežniku ali pa v kombinaciji z drugimi tehnologijami. MySQL je pred 17 leti razvilo švedsko podjetje MySQL AB in ga ponudilo trgu pod pogoji uporabe javne licence. Poizvedbe se vršijo s strukturiranim poizvedovalnim jezikom SQL (MySQL, 2016).

Za potrebe delovanja aplikacije smo ustvarili dve tabeli v bazi. V prvo tabelo se vpisujejo podatki o uporabnikih v drugo pa podatki o računanih primerih.

5.1.4 JavaScript in AJAX

JavaScript je predmetno usmerjen skriptni programski jezik, ki se pogosto skupaj s HTML in CSS uporablja za izdelavo spletnih strani. Zapis JavaScript kode se prenese na odjemalca v svoji izvorni kodi, zato jo lahko vidi vsak, ki pogleda izvorno kodo prikazanega dokumenta. Izvajanje kode je naloga spletnega brskalnika. Koda se tako običajno odzove ob uporabnikovih ukazih preko brskalnika, kot so vpis podatkov v obrazec, klik z miško na določenem odseku in podobno. S tem postane spletna stran dinamična. JavaScript kodo smo v naši aplikaciji dodali v nogo strani. Tako smo zagotovili, da se skripta izvede šele ko se naloži celotna stran. Od ostalega dokumenta jo ločimo z oznakami `<script>` in `</script>`. Na ta način zahtevamo, da se koda izvede šele ko je stran dokončno naložena (Wikipedia, 2015b).

Za komunikacijo med uporabnikom in strežnikom je bila uporabljena tudi tehnologija AJAX (Asynchronous JavaScript and XML). S pomočjo tega pristopa strežniku pošljemo POST ali GET zahtevo. Izmenjava podatkov poteka asinhrono v ozadju. Pri tem strežnik informacije procesira in jih vrne nazaj odjemalcu, ta pa jih prikaže na določenem odseku strani. Največja prednost je v uporabniški izkušnji saj se posodablja le določen del spletne strani. (Tutorialspoint, 2016b) AJAX pristop je bil uporabljen pri delu prikaza statusa IDA analize in pri računu potresne ranljivosti stavbe.

5.1.5 CSS

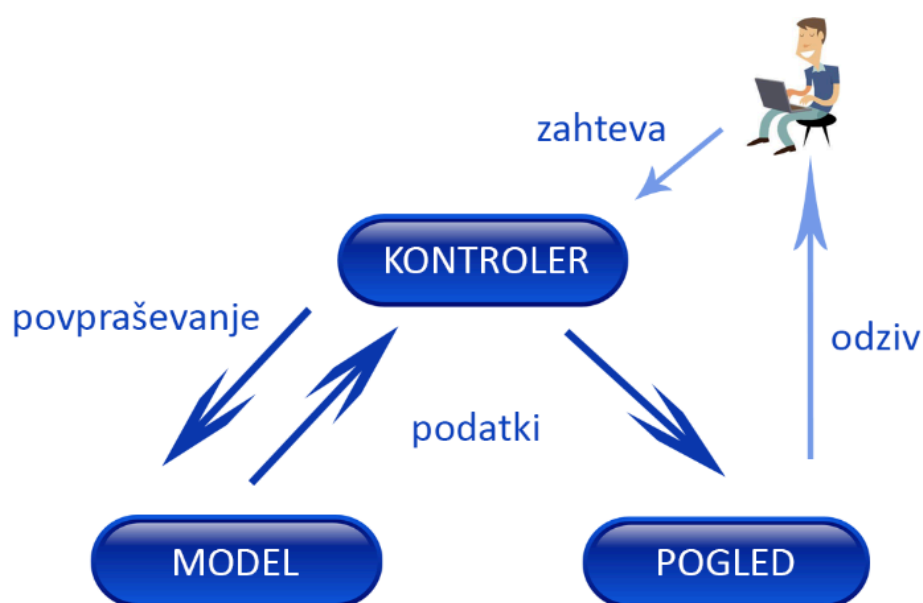
CSS (ang. Cascading Style Sheets) so enostavne oblikovne podloge, ki skrbijo za prezentacijo spletne strani uporabniku. Uporabljajo se v povezavi s HTML oznakami, kjer lahko posamezni oznaki ali skupini oznak določimo barve, pomike, stile ali nekatere druge lastnosti. Bistvo uporabe CSS podlog je, da se loči struktura strani od predstavitve. Pri uporabi CSS podlog je dovolj, da napišemo eno podlogo, katero uporabimo na več ali vseh straneh.

V sami aplikaciji sta izdelani dve podlogi, prva je namenjena prikazu uporabnikov administratorju strani, druga pa je namenjena vsem stranem in podstranem aplikacije v kateri je definiran izgled glave, menija, jedra in noge.

5.1.6 Programska arhitektura MVC

Aplikacija je zasnovana na MVC (ang. Model-View-Controller) arhitekturi. MVC je programska arhitektura oz. arhitekturni vzorec, kateri ločuje domensko oz. poslovno logiko od uporabniškega vmesnika. Taka arhitektura omogoča kvaliteten razvoj aplikacije, lažje testiranje in kasnejše vzdrževanje. Sestavljena je iz naslednjih modulov (Krauthaker, 2014):

- model (ang. Model) je del, ki vsebuje poslovno logiko ter izvaja operacije in upravlja s podatki. V tem delu deluje logika izračuna. Tukaj se izračunava potresna odpornost, rišejo grafi ter zajemajo naloženi podatki,
- pogled (ang. View) predstavlja podatke uporabniku, katere prejme od modela preko kontrolerja. Kateri pogled se uporabniku prikaže določi kontroler. Pogled je pretežno napisan v HTML programskem jeziku,
- kontroler (ang. Controller) skrbi za upravljanje zahtev, ki jih poda uporabnik kot HTTP GET in POST zahtevke preko modula pogled. Krmilnik običajno zahteva ustrezen model in izbere ustrezen pogled.



Slika 12: Shematični prikaz programske arhitekture

5.1.7 OpenSees in TCL

Za nelinearno dinamično analizo SDOF modela smo uporabili odprto kodni program OpenSees (ang. Open System for Earthquake Engineering Simulation). Program je bil razvit na univerzi v Berkley-u ZDA. Omogoča modeliranje in analiziranje nelinearnih odzivov sistemov z veliko paleto različnih materialov, elementov in algoritmov za reševanje. Zasnovan je tako, da omogoča vzporedno računanje simulacij na visoko zmogljivih računskih okoljih (OpenSees, 2006).

Programska koda za OpenSees je zapisana v TCL programskem jeziku. TCL (ang. Tool Command Language) je skriptni jezik, ki ga je razvil John Ousterhout. Običajno se uporablja za izdelavo skriptnih aplikacij, izdelavo prototipov, grafičnih vmesnikov in testiranje (TCL, 2006). V osnovi TCL ni objekto orientirani jezik, obstajajo pa paketi oz. izboljšave, ki mu omogočajo tudi to funkcionalnost. Je zelo fleksibilen jezik, velikokrat se ga uporablja v iteraciji z zunanjimi programi (Wikibooks, 2015).

5.1.8 BASH

BASH je najbolj pogosto uporabljena lupina za Unix operacijske sisteme. Izvirno različico je napisal Stephen Bourne leta 1978 za operacijski system GNU. BASH je privzeta lupina operacijskega Sistema Linux in Mac OS X, na voljo pa je tudi različica za operacijski sistem Windows (Ramey, 2015).

Z ukazom 'sed' se v razviti aplikaciji spreminjajo datoteke naložene na strežniku. Ukaz deluje tako, da poišče zahtevano besedilo v izbrani datoteki, ga spremeni v željeno ter shrani datoteko na izbrano mesto (Barnett, 2015). Opisan postopek smo uporabili za spremembo predloge .tcl datoteke v .tcl datoteko za določen model in akcelrogram.

5.1.9 JSON

JSON (ang. JavaScript Object Notation) je preprost format za izmenjavo podatkov. Enostaven je za branje in pisanje ljudem kot tudi računalnikom. Temelji na dveh strukturah, ki jih poznajo vsi napredni programski jeziki. Na zbirki parov imena in vrednosti, ki je v različnih programskih jezikih definirana kot objekt, zapis ali slovar in na strukturi urejenega seznama, ki je definiran kot polje, vektor ali zaporedje.

JSON datoteke smo uporabili za shranjevanje vhodnih podatkov uporabnika in za shranjevanje rezultatov računa potresne odpornosti stavbe.

5.1.10 HTCondor

V drugem delu aplikacije se izvede analiza IDA, ki je dokaj zahteven in časovno dolg postopek za račun na strežniku, zato smo v ta namen uporabili računsko okolje HTCondor. HTCondor je visoko zmogljivo računsko okolje, kjer je več naprav oz. procesorjev povezano v gručo računalnikov na lokalni ravni. S tem nudi HTCondor veliko računsko moč za iskanje cilja. HTCondor ali druga podobna računska okolja so sposobna opravljati veliko število izračunov v dokaj kratkem času. Drugo računsko okolje skupine računalnikov se imenuje visoko prepustno računsko okolje. Visoko prepustno računsko okolje je bolj statično okolje za enovite problem, medtem ko je visoko prepustno zmogljivo dinamično in namenjeno parametričnim študijam (Dolenc, 2008). Pri visoko zmogljivih računskih okoljih je prioriteta reševanje problemov v najkrajšem možnem času, medtem ko je pri visoko prepustnem omrežju prioriteta kar se da učinkovita izraba dosegljivih virov v daljšem časovnem obdobju (Hren, 2013). Razlog za uporabo HTCondor računskega okolja je ta, da je tako okolje vzpostavljeno tudi na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. HTCondor računsko okolje omogoča optimalen izkoristek virov oziroma procesorjev, ko le ti ne uporabljajo svoje moči. Viri za rešitev problema se lahko upravljajo samodejno, lahko pa jih določimo sami. Za račun analize IDA v razviti aplikaciji se viri upravljajo samodejno.

5.2 Priprava vhodne datoteke

Spletna aplikacija bere .csv datoteke, katere lahko pripravimo v beležnici ali programih za urejanje preglednic (Microsoft Excel, OpenOffice,...). Pripravljena je .xslm datoteka, ki služi kot predloga za vpis podatkov s strani uporabnika. Predloga vsebuje Macro elemente, ki skrbijo za lažje, hitrejše in bolj natančno izpolnjevanje celic s podatki. Nahaja se v spletni aplikaciji v zavihku »Nov primer«, kjer lahko naložimo nov primer ali pa prenesemo predlogo.

Pomembno je, da podatke vpisujemo v pravih enotah, ter da za decimalno mesto uporabimo piko. V kolikor se za decimalno mesto uporabi vejica, bo aplikacija uporabnika na to opozorila.

Enote, ki se uporabljajo v aplikaciji, so:

- cm za dolžinske in površinske mere,
- kN za sile,
- t za mase.

V prvem delu predloge se vnašajo osnovni podatki o stavbi:

- ime objekta,
- število etaž,
- število sten v posamezni etaži in smeri,
- dolžina stavbe v posamezni smeri.

Ko so vsi podatki izpolnjeni lahko pritisnemo na gumb »Pripravi vrstice«, kateri nam vstavi vrstice za vpis podatkov o stenah. S pritiskom na gumb »Zbriši vrstice« se vnesene vrstice zbrišejo.

V drugem delu vnesemo podatke o materialu (slika 13):

- skupina zidaka,
- tip malte,
- tlačna trdnost opeke,
- tlačna trdnost malte,
- tlačna trdnost zidovja,
- strižna trdnost zidovja,
- natezna trdnost zidovja,
- elastični modul,
- varnostni faktor za material,
- faktor stopnje poznavanja konstrukcije.

Podatka o skupini zidaka in tipu malta sta potrebna samo zaradi izpisa, ostali podatki pa so potrebni za izračun nosilnosti zidov.

OSNOVNI PODATKI O OBJEKTU:					
Ime objekta:					
Stavba ob FGG					
St. etaz:					
1					
SMER X	SMER Y				
St. sten v 1. etazi:	St. sten v 1. etazi:				
8	5				
St. sten v 2. etazi:	St. sten v 2. etazi:				
0	0				
St. sten v 3. etazi:	St. sten v 3. etazi:				
0	0				
St. sten v 4. etazi:	St. sten v 4. etazi:				
0	0				
Dolžina stavbe v X:	Dolžina stavbe v Y:				
1070	1010				
				<input type="button" value="Pripravi vrstice"/>	<input type="button" value="Zbriši vrstice"/>
VNOS PODATKOV O MATERIALU					
Skupina zidaka:					
Skupina I					
Tip malte:					
Tip M2					
Tlačna trdnost opeke:					
8					
Tlačna trdnost malte:					
3					
Tlačna trdnost zidovja:					
2.5					
Strižna trdnost zidovja:					
0.2					
Natezna trdnost zidovja:					
0.18					
Elastični modul:					
1000					
Strižni modul:					
250					
Materialni varnostni faktor:					
2.5					
Faktor stopnje poznavanja konstrukcije:					
1.35					

Slika 13: Pregled prvega dela predloge za izdelavo vhodne datoteke

V tretjem delu se vpisujejo podatki o potresni obtežbi (slika 14):

- kategorija objekta,
- kategorija pomembnosti,
- faktor obnašanja,
- nihajni čas,
- projektni pospešek tal,
- tip tal.

V zadnjem delu predloge vpišemo podatke o stenah (slika 14):

- oznaka,
- debelina,
- dolžina,
- efektivna višina,
- osna sila,
- koordinata x,
- koordinata y,
- vpetost,

- duktilnost ob strižni porušitvi,
- duktilnost ob upogibni porušitvi.

Poleg zgoraj naštetih podatkov se vpisuje tudi etažna višina ter masa etaže.

VNOS PODATKOV O POTRESNI OBTEŽBI									
Kategorija objekta:									
B Pisarne									
Kategorija pomembnosti:									
II. kategorija									
Faktor obnašanja:									
1.5									
Nihajni čas									
0.2									
Projektni pospešek tal:									
0.25									
Tip tal:									
B									
VNOS PODATKOV O STENAH									
ETAŽA 1									
Visina etaže:									
0									
Masa etaže:									
0									
Smer X									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
Smer Y									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
ETAŽA 2									
Visina etaže:									
0									
Masa etaže:									
0									
Smer X									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
Smer Y									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
ETAŽA 3									
Visina etaže:									
0									
Masa etaže:									
0									
Smer X									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
Smer Y									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
ETAŽA 4									
Visina etaže:									
0									
Masa etaže:									
0									
Smer X									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib
Smer Y									
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib

Slika 14: Pregled tretjega in četrtega dela predloge za izdelavo vhodne datoteke

Ob vpisu vseh zahtevanih podatkov je potrebno datoteko shraniti tako, da ima končnico .csv. Datoteka .csv odprta v beležnici je prikazana na sliki 15.


```
OSNOVNI PODATKI O OBJEKTU:::;
;Ime objekta:::;
;Stavba ob FGG:::;
;St. etaz:::;
;4:::;
;SMER X;;SMER Y:::;
;St. sten v 1. etazi::;St. sten v 1. etazi:::;
;15;;15:::;
;St. sten v 2. etazi::;St. sten v 2. etazi:::;
;13;;12:::;
;St. sten v 3. etazi::;St. sten v 3. etazi:::;
;8;;6:::;
;St. sten v 4. etazi::;St. sten v 4. etazi:::;
;10;;12:::;
;Dol_ina stavbe v X::;Dol_ina stavbe v Y:::;
;1070;;1010:::;
VNOS PODATKOV O MATERIALU:::;
;Skupina zidaka:::;
;Skupina I:::;
;Tip malte:::;
;Tip M6:::;
;Tla_na trdnost opeke:::;
;15:::;
;Tla_na trdnost malte:::;
;6:::;
;Tla_na trdnost zidovja:::;
;2.5:::;
;0.4:::;
;0.2:::;
;Natezna trdnost zidovja:::;
;0.25:::;
;Elasti_ni modul:::;
;2000:::;
;Stri_ni modul:::;
;500:::;
;Materialni varnostni faktor:::;
;2.5:::;
;Faktor stopnje poznavanja konstrukcije:::;
;1.35:::;
VNOS PODATKOV O POTRESNI OBTE_BI:::;
;Kategorija objekta:::;
;B Pisarne:::;
;Kategorija pomembnosti:::;
;II. kategorija:::;
;Faktor obna_anja:::;
;1.5:::;
;Nihajni _as:::;
;0.2:::;
;Projektni pospe_ek tal:::;
;0.25:::;
;Tip tal:::;
;B:::;
VNOS PODATKOV O STENAH:::;
;ETA_A 1:::;
;Visina etaze:::;
;250:::;
;Masa etaze:::;
;140.3:::;
;Smer. X:::;
;Oznaka;Debelina;Dolzina;Ef. Visina;Oсна sila;Koordinata X;Koordinata Y;Vpetost;Pomik stri;Pomik upogib
;x1_1;20;120;100;50;101;33;1;0.4;0.8
;x1_2;20;200;150;200;373;33;1;0.4;0.8
;x1_3;20;120;120;170;625;33;1;0.4;0.8
;x1_4;20;150;80;120;929;33;1;0.4;0.8
;x1_5;20;150;80;120;1003;216;1;0.4;0.8
;x1_6;20;210;240;180;1003;609;1;0.4;0.8
;x1_7;20;210;150;90;747;679;1;0.4;0.8
;x1_8;20;230;110;50;285;679;1;0.4;0.8
;x1_9;20;140;120;55;33;539;1;0.4;0.8
;x1_10;20;90;150;22;33;330;1;0.4;0.8
```

Slika 15: Vhodna datoteka odprta z beležnico

5.3 Nalaganje in shranjevanje vhodne datoteke

Za nalaganje vhodne datoteke v glavnem meniju aplikacije kliknemo na »Nov primer«, kjer naložimo vhodno datoteko. Vhodna datoteka se preko POST metode prenese na strežnik.

V naslednjem koraku se izvedeta dve funkciji napisani v modelu za nalaganje in shranjevanje datoteke. V prvi funkciji se določi naključna identifikacijska številka sestavljena iz 15 znakov, katera služi kot unikatna številka za sledenje primera. Naslednja funkcija preveri ali vhodna datoteka že obstaja, nato preveri še njeno velikost, ki jo omejena na 500 kB. Zadnja kontrola je kontrola tipa datoteke. Če so vse tri kontrole izpolnjene se datoteka premakne v začasno

mapo z vhodnimi podatki. V kolikor kontrole niso izpolnjene ali pa je prišlo do napake pri premiku datoteke se uporabniku izpiše napaka. Funkcija odpre datoteko in bere vrstico po vrstici in vrednost za vrednostjo, vsako vrednost pa shrani v novo spremenljivko.

Med branjem vrednosti se preverja ustreznost in smiselnost uporabnikovih podatkov. Podatki ki se kontrolirajo so:

- ali je vrednost številka,
- ali je vrednost znotraj določenega območja,
- ali je vrednost točno določena številka,
- dolžina znakov,
- ali je decimalno vrednost pika ali vejica.

Vse najdene napake se zapišejo v spremenljivko in preštejejo. V kolikor so najdene napake se uporabniku izpiše sporočilo o številu napak. Poleg števila napak se izpišejo tudi vrstica in stolpec, kjer se napaka nahaja ter tip napake. V kolikor so najdene napake, se vhodne datoteke izbrišejo.

Če med branjem datoteke ni bilo prepoznanih napak se vhodni podatki zapišejo v .json datoteko. Ustvari se mapa v kateri so shranjeni vsi primeri za določenega uporabnika. V mapi uporabnika se za vsak primer ustvari nova mapa z identifikacijsko številko računanega primera, kamor se shranjujejo vse datoteke vezane na posamezen primer. V to mapo se premakneta tudi vhodna datoteka in .json datoteka. Uporabniku se izpiše sporočilo, da je bilo nalaganje in branje datoteke uspešno.

V bazo podatkov MySQL se zapiše vsak primer, ki je bil uspešno prebran. Zapišejo se podatki:

- zaporedna številka primera,
- zaporedna številka uporabnika,
- naključno besedilo različno za vsak primer,
- ime primera katerega je uporabnik vpisal v vhodno datoteko,
- datum nalaganja primera,
- ura nalaganja primera,
- status 0 ali 1 v odvisnosti ali je potresna odpornost že izračunana,
- status 0, 1 ali 2 v odvisnosti ali je IDA analiza že izračunana ali se računa.

Po nalaganju datoteke s klikom na gumb »Izračun« se začne izračun potresne odpornosti zidane stavbe. S klikom na gumb »Nov primer« pa preidemo na stran za nalaganje novega primera.

5.4 Izračun potresne odpornosti zidane stavbe

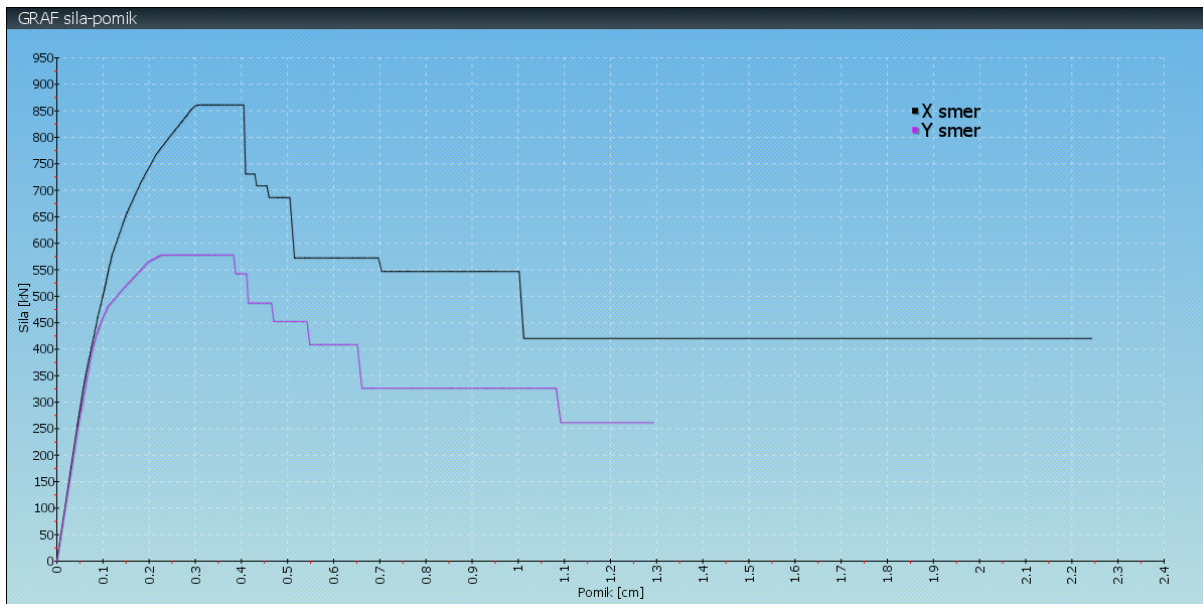
Pri izračunu potresne odpornosti zidane stavbe se najprej odpre datoteka .json z vhodnimi podatki obravnavanega primera, ki jih pripravi uporabnik preko vhodne datoteke in spletnega brskalnika. Vrednosti iz datoteke se zapišejo v spremenljivke potrebne za izračun odpornosti. Najprej se izračuna togost posameznih sten po enačbi 11. Za tem se izračuna projektna potresna sila po enačbah od 1 do 5. Projektna potresna sila se najprej razdeli na etaže, kasneje se izračuna še obremenitev posameznih sten v etaži. Za preverjanje nosilnosti sten se izračuna odpornost na vse tri možne mehanizme porušitve kot opisano v poglavjih 3.1.1, 3.1.2 in 3.1.3. Izračun projektne potresne obremenitve in potresne odpornosti se izvede z namenom, da se uporabnika na konvencionalen način informira o potresni odpornosti stavbe.

5.5 Izračun potisne krivulje in priprava podatkov za inkrementalno dinamično analizo

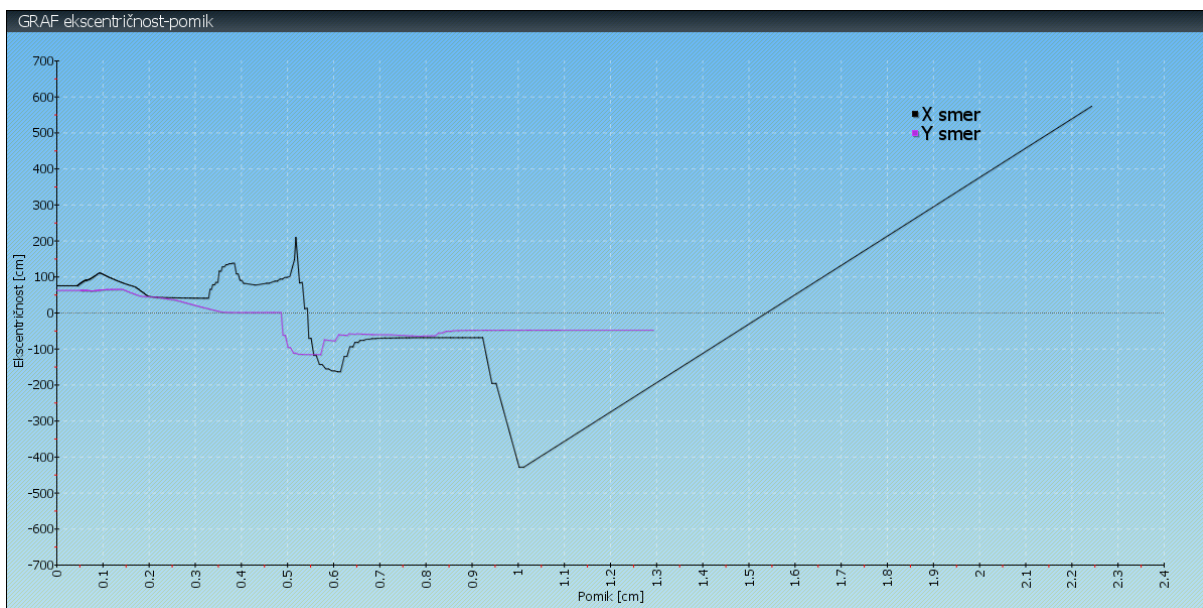
Aplikacija izračuna potisno krivuljo, pri tem se približno upošteva vpliv nesimetričnost tlorisa in pri tem nastalo torzijo. Poleg potisne krivulje se izračuna tudi graf ekscentričnosti tlorisa. Potisna krivulja in ekscentričnost se izračunajo po postopku v poglavju 3.2.

Graf potisne krivulje se izračunava dokler sili v obeh nadstropjih ne padeta pod 50% največje etažne sile oziroma nosilnosti. V zanki se najprej izračuna nova togost nadstropja, nato se izračunata še koordinati strižnega središča, ekscentričnost in torzijska vztrajnost tlorisa. Sledi izračun faktorja povečanja pomikov za posamezen zid zaradi torzije. Etažni pomik, se glede na prejšnjo iteracijo poveča za 5 %. Izračunajo se novi pomiki, togosti in sile v stenah. Seštevek sil in pomik masnega središča nam data novo točko na grafu potisne krivulje.

Rezultat so grafi potisne krivulje (slika 16) in grafi ekscentričnosti (slika 17). Na en graf se izpisujeta obe smeri posameznega nadstropja.



Slika 16: Primer grafa potisne krivulje sila - pomik



Slika 17: Primer grafa ekscentričnost - pomik

Po izračunu točk grafov sila-pomik za posamezna nadstropja sledi približen račun potisne krivulje na nivoju stavbe. Za vsako smer se izračunajo točke za dva grafa. Prvi graf predstavlja potisno krivulje za stavbo, za katero so predpostavljene konstantne sile po vseh etažah. Drugi graf predstavlja potisno krivuljo stavbe, za katero so predpostavljene sile po etažah odvisne od višinske kote in mase etaže.

Za vsako porazdelitev sil v vsaki smeri se najprej izračuna kritična etaža po enačbi 31.

Maksimalna sila oziroma nosilnost kritične etaže se razdeli na 100 korakov. V vsakem koraku se računa sila ob vpetju ter pomik na vrhu stavbe. Sila v kritični etaži je znana, medtem ko se sila v ostalih etažah izračuna iz razmerja sil med kritično etažo in računano etažo, glede na razmerje med silo kritične etaže in silo računane etaže iz razdelitve sil 1 ali 2. Pomik v računani etaži se pridobi s funkcijo, katera na podlagi točk grafa išče prvo točko, pri kateri je sila večja od podane. Pri najdeni točki in pri točki pred njo funkcija preveri pomik, nato pa preko interpolacije izračuna točen pomik pri podani sili. Omenjen algoritem se ponovi 100 krat. Takšen način računa potresne krivulje stavbe izhaja iz predpostavke o etažnem mehanizmu.

V stotih korakih je izračunan graf potresne krivulje za celotno stavbo do maksimalne dosežene sile. Sledi izračun grafa od maksimalne sile dalje. Izračuna se razlika med maksimalnim pomikom v kritični etaži in pomikom pri maksimalni sili. Razlika v pomiku se razdeli na 100 delov, vsak del pa predstavlja korak v izračunu grafa.

Postopek je podoben kot pri izračunu do maksimalne sile z razliko, da je na začetku znan le pomik v kritični etaži. Iz pomika v kritični etaži se izračuna sila v kritični etaži s pomočjo funkcije za izračun sile pri podanem pomiku.

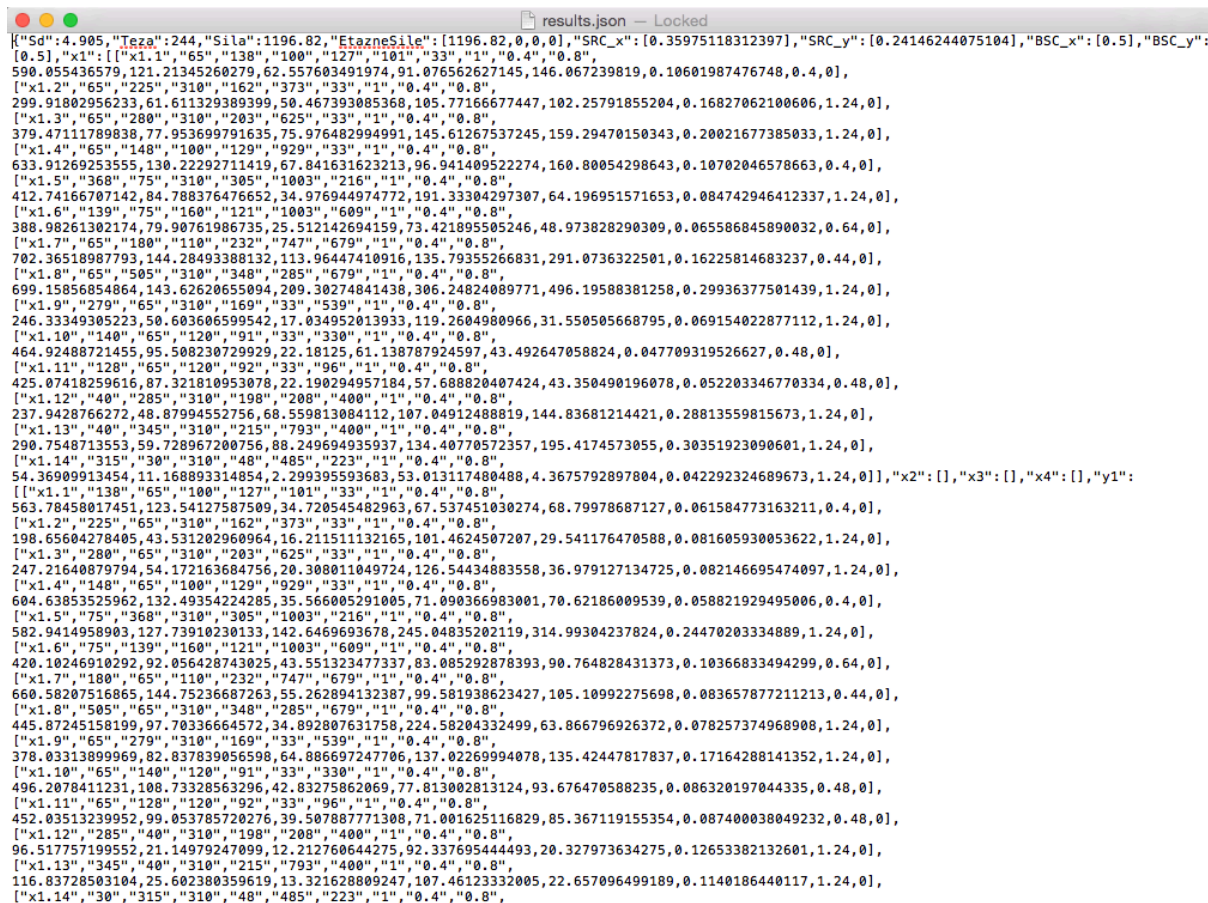
Rezultat so štiri potresne krivulje za celotno stavbo. Dve krivulji za vsako smer za konstantno razdelitev sil po višini ter dve krivulji za vsako smer za razdelitev sil po višini odvisni od mase in višine etaž.

Vsako izmed štirih krivulj idealiziramo po postopku opisanem v poglavju 3.2.2. Sledi pretvorba modela z več prostostnimi stopnjami na ekvivalentni model z eno prostostno stopnjo po postopku iz poglavja 4.2. Izračunane točke se uporabijo pri inkrementalni dinamični analizi v nadaljevanju.

Do te točke je končan račun potresne odpornosti. Rezultati računa potresne odpornosti stavbe se zapišejo v datoteko .json. Grafi se kot .png slike shranijo v mapo z grafi, ki se ustvari v mapi računane primeru. V bazi podatkov se status izračuna potresne odpornosti spremeni iz »ne izračunano« v »izračunano«. V podmeniju »Pregled primerov« se primer prestavi med tiste, ki imajo izračunano potresno odpornost.



Slika 18: Gumb »IDA« ob primeru z izračunano potresno odpornostjo



```

[{"sd":4.905,"Teza":244,"Sila":1196.82,"EtazneSile": [1196.82,0,0,0],"SRC_x": [0.35975118312397],"SRC_y": [0.24146244075104],"BSC_x": [0.5],"BSC_y": [0.5],"x1": [1.1,"65","138","100","127","101","33","1","0.4","0.8"],
590.055436579,121.21345260279,62.557603491974,91.076562627145,146.067239819,0.10601987476748,0.4,0},
["x1.2","65","225","310","162","373","33","1","0.4","0.8"],
299.91802956233,61.611329389399,50.467393085368,105.77166677447,102.25791855204,0.16827062100606,1.24,0},
["x1.3","65","280","310","203","625","33","1","0.4","0.8"],
379.4711789838,77.953699791635,75.976482994991,145.61267537245,159.29470150343,0.20021677385033,1.24,0},
["x1.4","65","148","100","129","929","33","1","0.4","0.8"],
633.91269253555,130.22292711419,67.841631623213,96.941409522274,160.80054298643,0.10702046578663,0.4,0},
["x1.5","368","75","310","305","1003","216","1","0.4","0.8"],
412.74166707142,84.788376476652,34.976944974772,191.33304297307,64.196951571653,0.084742946412337,1.24,0},
["x1.6","139","75","160","121","1003","609","1","0.4","0.8"],
388.98261302174,79.90761986735,25.512142694159,73.421895505246,48.973828290309,0.065586845890032,0.64,0},
["x1.7","65","180","110","232","747","679","1","0.4","0.8"],
702.36518987793,144.284933808132,113.96447410916,135.79355266831,291.0736322501,0.16225814683237,0.44,0},
["x1.8","65","505","310","348","285","679","1","0.4","0.8"],
699.15856854864,143.62620655894,209.30274841438,306.24824089771,496.19588381258,0.29936377501439,1.24,0},
["x1.9","279","65","310","169","33","539","1","0.4","0.8"],
246.33349385223,50.603606599542,17.034952013933,119.26049800966,31.550505668795,0.069154022877112,1.24,0},
["x1.10","140","65","120","91","33","330","1","0.4","0.8"],
464.92488721455,95.508230729929,22.18125,61.138787924597,43.492647058024,0.047709319526627,0.48,0},
["x1.11","128","65","120","92","33","96","1","0.4","0.8"],
425.07418259616,87.321810953878,22.190294957184,57.688820407424,43.350490196078,0.052203346770334,0.48,0},
["x1.12","40","285","310","198","208","400","1","0.4","0.8"],
237.9428766272,48.87994552756,68.559813084112,107.04912488819,144.83681214421,0.28813559815673,1.24,0},
["x1.13","40","345","310","215","793","400","1","0.4","0.8"],
290.7548713553,59.728967200756,88.249694935937,134.40770572357,195.41745738555,0.38351923090601,1.24,0},
["x1.14","315","30","310","48","485","223","1","0.4","0.8"],
54.36909913454,11.168893314854,2.299395593683,53.013117480488,4.3675792897804,0.042292324689673,1.24,0}],
["x2": [], "x3": [], "x4": [], "y1":
563.78458017451,123.54127587509,34.720545482963,67.537451030274,68.79978687127,0.061584773163211,0.4,0},
["x1.2","225","65","310","162","373","33","1","0.4","0.8"],
198.65604278405,43.531202960964,16.21151132165,101.4624507207,29.541176470588,0.081605930053622,1.24,0},
["x1.3","280","65","310","203","625","33","1","0.4","0.8"],
247.21640879794,54.172163684756,20.308011049724,126.54434883558,36.979127134725,0.082146695474097,1.24,0},
["x1.4","148","65","100","129","929","33","1","0.4","0.8"],
604.63853525962,132.49354224285,35.566005291005,71.090366983001,70.62186009539,0.058821929495006,0.4,0},
["x1.5","75","368","310","305","1003","216","1","0.4","0.8"],
582.9414958903,127.73910230133,142.6469693678,245.04835202119,314.99304237824,0.24470203334889,1.24,0},
["x1.6","75","139","160","121","1003","609","1","0.4","0.8"],
420.10246910292,92.056428743025,43.551323477337,83.085292878393,90.764828431373,0.10366833494299,0.64,0},
["x1.7","180","65","110","232","747","679","1","0.4","0.8"],
660.58207516865,144.75236687263,55.262894132387,99.581938623427,105.10992275698,0.083657877211213,0.44,0},
["x1.8","505","65","310","348","285","679","1","0.4","0.8"],
445.87245158199,97.70336664572,34.892807631758,224.58204332499,63.866796926372,0.078257374968908,1.24,0},
["x1.9","65","279","310","169","33","539","1","0.4","0.8"],
378.03313899969,82.837839056598,64.886697247706,137.02269994078,135.42447817837,0.17164288141352,1.24,0},
["x1.10","65","140","120","91","33","330","1","0.4","0.8"],
496.2078411231,108.73328563296,42.83275862069,77.813002813124,93.676470588235,0.086320197044335,0.48,0},
["x1.11","65","128","120","92","33","96","1","0.4","0.8"],
452.03513239952,90.053705720276,39.50780771308,71.001625116829,85.367119155354,0.087400038049232,0.48,0},
["x1.12","285","40","310","198","208","400","1","0.4","0.8"],
96.517757199552,21.14979247099,12.212760644275,92.337695444493,20.327973634275,0.12653382132601,1.24,0},
["x1.13","345","40","310","215","793","400","1","0.4","0.8"],
116.83728503104,25.602380359619,13.321628809247,107.46123332005,22.657096499189,0.1140186440117,1.24,0},
["x1.14","30","315","310","48","485","223","1","0.4","0.8"],

```

Slika 19: Datoteka results.json v katero se zapišejo rezultati izračuna

V tem delu se generira PDF dokument z rezultati ocene potresne odpornosti zidanih stavb. Za generiranje PDF dokumenta smo uporabili knjižnico fPDF (FPDF Library, 2013). fPDF knjižnica je objektno orientirana, zato je njena uporaba enostavna.

Grafi potisne analize in grafi ekscentričnosti se generirajo s pomočjo pChart knjižnice za izris grafov. Generirata se dva grafa za posamezno nadstropje ter dodatno še dva grafa za izris potisne krivulje celotne stavbe za dve predpostavljene obliki sil.

5.6 Inkrementalna dinamična analiza

Ko se za določen primer izračuna potresna odpornost, je primer pripravljen za pričetek IDA analize. Primer najdemo v zavihku »Pregled primerov« pod naslovom »Izračunana potresna odpornost«. V koliko prijavljen uporabnik ne izvaja IDA analize za enega od svojih primerov se ob imenu primera pojavi gumb »IDA« (slika 18). Ob pritisku na omenjeni gumb se zažene IDA analiza.

Najprej se zajamejo vhodni podatki in rezultati izračuna potresne odpornosti za primer, za katerega je bila zagnana analiza. Glede na vhodni podatek uporabnika o tipu tal se izbere skupina tridesetih akcelerogramov, ki bodo uporabljeni v analizi. Za izbrano skupino tal se zajame datoteka s podatki o akcelerogramih.

Za zagon analize se za vsak akcelerogram pripravi .tcl datoteka s parametri odvisnimi od primera za izračun in akcelerograma.

Datoteka .tcl vsebuje naslednje podatke:

- številka akcelerograma,
- smer potresa v akcelerogramu,
- časovni korak meritve v akcelerogramu,
- maksimalno število analiz znotraj ene IDA analize,
- začetna mera intenzitete,
- tolerance za intenziteto v drugem koraku analize,
- akcelerogram,
- transformacijski faktor beta,
- masa objekta,
- dolžina integracijskega koraka,
- potisna krivulja,
- dušenje,
- maksimalni pomik.

Številko, smer akcelerograma in časovni korak se zajame iz podatkov o akcelerogramih za celotno skupino. Maksimalno število analiz znotraj ene analize je nastavljeno na 50, začetna mera intenzitete na 0.05, tolerance v drugem koraku pa na 0.005. Akcelerogram predstavlja pot do akcelerograma, kateri se uporabi v analizi. Faktor transformacijski faktor beta se izračuna s programom BetaTransform (Šebenik, Dolšek 2015a). Transformacijski faktor beta je faktor, ki predstavlja razmerje med vrednosti pospeškov na IDA krivuljah za maksimalni pospešek tal in vrednostmi pospeškov na IDA krivuljah, ki ustrezajo osnovnemu nihajnemu času stavbe. Za izračun transformacijskega faktorja beta je potreben akcelerogram, časovni korak meritve v akcelerogramu, delež kritičnega dušenja in nihajni čas stavbe. Masa objekta je masa ekvivalentnega modela z eno prostostno stopnjo, dolžina integracijskega koraka je nastavljena na 0.002. V podatek potisne krivulje se vnesejo točke idealizirane potisne krivulje za ekvivalentni model z eno prostostno stopnjo. Dušenje predstavlja količnik med koeficientom dušenja in maso.

Našteti podatki se vpišejo v vhodno datoteko preko ukaza 'sed', kateri kopira predlogo v uporabnikovo mapo ter vpiše vhodne podatke. Postopek se ponovi 30x za vsako smer in obliko sil, skupaj 120x.

V tem delu imamo pripravljenih 120 .tcl datotek. V naslednji fazi se pripravi datoteka za HTCondor, katera vsebuje podatke o .tcl datotekah, potrebnih za zagon IDA analize v program OpenSees. IDA analiza se izvede s skripto za izračun IDA analize razvito na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (Šebenik, Dolšek 2015b). Primeri podatkov, ki se vpisujejo v datoteko za HTCondor so prikazani na sliki 20.

```
universe = podamo ime okolja v katerem se bo zahteva izvajala. V našem primeru je izbrana vanilla, kjer moramo za  
dostop do vhodnih in izhodnih datotek uporabiti skupni datotečni sistem ali pa HTCondor mehanizem prenosa  
datotek  
  
executable = skripta oziroma program, ki naj se zažene  
arguments = argumenti za zagnani program  
  
#transfer_input_files = datoteke poleg argumentov, katere program  
  
should_transfer_files = z vrednostjo YES omogočimo mehanizem za prenos vhodnih in izhodnih datotek  
when_to_transfer_output = z vrednostjo ON_EXIT določimo , da se izhodne datoteke prenesejo ob zaključku naloge  
  
queue
```

Slika 20: Parametri in podatki v datoteki za HTCondor, za 'queue' nadaljujemo z vpisom argumentov za naslednjo analizo

Podobno kot pri pripravi .tcl datotek se tudi tukaj s pomočjo ukaza 'sed' zamenjajo podatki v predlogi s podatki za posamezno analizo. Datoteka za HTCondor se kopira v uporabnikovo mapo.

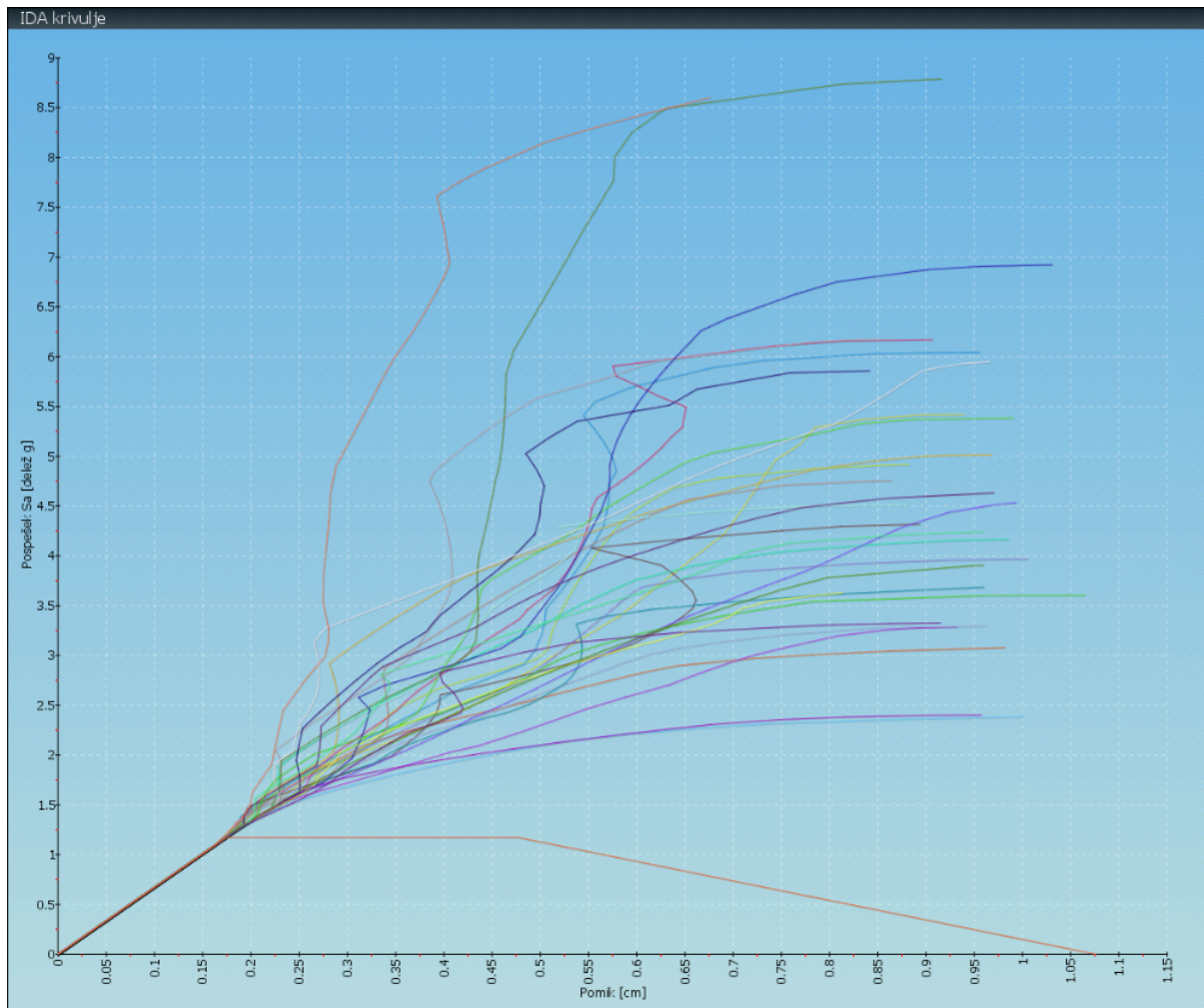
V nadaljevanju se preveri ali so podatki idealizirane potisne krivulje smiselni, pri čemer se preveri če ima vsaka naslednja točka v potisni krivulji večji pomik kot točka pred njo. V kolikor so točke na potisni krivulje pravilno razporejene se s funkcijo 'exec' izvrši sistemski ukaz 'condor_submit', ki zažene IDA analizo. Vsaka IDA analiza se izvaja na svojem procesorju, za razdelitev analiz med procesorje pa skrbi HTCondor.

Ob zagonu analize se za izbran primer v bazi podatkov spremeni status IDA analize v "se računa". S tem je uporabniku, ki je IDA analizo zagnal onemogočen zagon nove analize, dokler trenutna ni končana. S tem smo želeli uporabnikom preprečiti nekontroliran zagon več analiz in s tem preobremenitve sistema. Drugi razlog je sledenje statusu izračuna analize, saj je hkrati lažje slediti zgolj enemu računu.

Ker se analiza izvaja daljši čas, se uporabniku med računom prikazuje status analize. Prvi status je, da so podatki poslani v analizo. Ko se analiza izvaja, se uporabniku sporoča delež opravljene analize. To je rešeno na način, da aplikacija vsakih 10 sekund preveri koliko datotek z rezultati je v uporabnikovi mapi. Ko je v mapi vseh 120 datotek z rezultati je analiza končana. Uporabniku se ob tem prikaže gumb za pregled rezultatov. Zgoraj opisano se uporabniku prikazuje tudi v podmeniju »Pregled primerov«. Tako lahko uporabnik vidi status analize tudi če zapre in ponovno odpre brskalnik.

Ko je analiza končana se v bazi podatkov spremeni status analize iz statusa, da je primer v računu v status, da je primer izračunan. S tem lahko uporabnik zažene novo analizo. Uporabniku se prikaže gumb »Rezultati«. Ob kliku na gumb aplikacija pripravi rezultate analize, izriše grafe IDA krivulj in izračuna krivuljo potresne ranljivosti.

V pregledu rezultatov se izpišejo grafi IDA krivulj v obliki bitne slike. Za vsako smer in vsako porazdelitev sil se izpiše graf maksimalni pospešek tal – pomik in graf spektralni pospešek pri T1 – pomik (slika 21).



Slika 21: Primer IDA krivulj na grafu pomik-spektralni pospešek pri T1

Za tri mejna stanja DL, SD in NC podrobno opisana v poglavju 3.4 se izračuna krivulja ranljivosti. Ranljivost se izračuna tako, da se pridobi vrednosti pomikov za maksimalni pospešek tal PGA. Vrednosti se pridobijo s funkcijo, ki išče prvo točko na posamezni IDA krivulji, katera ima pomik večji od določenega pri mejnem stanju. Funkcija v nadaljevanju interpolira vrednost maksimalnega pospeška tal pri najdeni točki in točki pred njo, s tem pa izračuna točno vrednost pospeška pri določenem pomiku. Pri zajemu spektralnih vrednosti za stanje NC, ki je definiran pri pomiku, ko nosilnost pade za 20% se lahko zgodi, da pri posamezni krivulji ni izračunana intenziteta pri definiranem pomiku oziroma se krivulja konča preden je dosežen pomik. V tem primeru se za spektralni pomik vzame zadnja izračunana vrednost. Eventualna napaka pa je dovolj majhna, saj je krivulja na zadnjem koraku izračunana na 0.005 deleža g natančno. Ko pridobimo vrednosti intenzitet pri izbranem pomiku se izračuna krivulja ranljivosti oz. krivulja, ki prikazuje kakšna je verjetnost da bo prišlo do izbranega pomika v kolikor se pojavi potres z določenim maksimalnim pospeškom tal. Krivulja ranljivosti se izračuna po postopku opisanem v poglavju 4.4 in s pomočjo knjižnice za izračun verjetnosti (Github, 2016).

Za grafi je prikazan formular, preko katerega lahko izračunamo verjetnost dosega mejnega stanja. Formular pošilja zahteveke na strežnik s pomočjo tehnologije AJAX, zato se ob izračunu ne osveži celotna stran.

V formular izpišemo željen pospešek tal, smer potresa in mejno stanje. Ob izpolnjenem formularju in klikom na gumb »Izračun« se izračuna verjetnost, da bo prišlo do mejnega pomika ob pogoju, da pride do izbranega maksimalnega pospeška tal. Uporabniku se izpišejo tudi parametri, ki so bili uporabljeni za izris krivulje ranljivosti.

6 PRIMER

V nadaljevanju je predstavljen primer stavbe, ki se nahaja ob stavbi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Podatke o stavbi smo privzeli iz diplome Ocena potresne odpornosti enodružinske hiše (Jenko, 2012) in doktorske dizertacije Ocena potresnega tveganja zidanih stavb (Snoj, 2014).

Stavba ob Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo je bila narejena okoli leta 1930, ima dve etaži in ni podkletena. Zidovje obravnavane stavbe je sestavljeno iz zidakov starega avstrijskega formata, kot vezni material pa se je uporabljala apnena malta. Nosilne stene so debeline 45 cm. Tlorisna dimenzija stavbe znaša 10,10 m v eni smeri in 10,80 m v drugi smeri. Stropovi v stavbi so narejeni iz lesenih stropnikov, nad njimi je 6 cm debel cementi estih.

Predlogo za vpis podatkov o stavbi lahko prenesemo iz spletne aplikacije, če v glavnem meniju kliknemo na Nov primer in pod naslovom Prenesi predlogo kliknemo na »Download« (slika 22).



Slika 22: Stran za nalaganje novega primera

Prenešeno predlogo odpremo z urejevalnikom razpredelnic npr. Microsoft Excel. Najprej vnesemo osnovne podatke o številu etaž in številu sten v posamezni etaži (slika 23). Za vnos potrebnih vrstic za podatke sten kliknemo na gumb »Pripravi vrstice«. Ob kliku se v dokument vnesejo vrstice za vpis podatkov sten.

OSNOVNI PODATKI O OBJEKTU:	
Ime objekta:	
Stavba ob FGG	
St. etaz:	
2	
SMER X	SMER Y
St. sten v 1. etazi:	St. sten v 1. etazi:
14	13
St. sten v 2. etazi:	St. sten v 2. etazi:
11	13
St. sten v 3. etazi:	St. sten v 3. etazi:
0	0
St. sten v 4. etazi:	St. sten v 4. etazi:
0	0
Dolžina stavbe v X:	Dolžina stavbe v Y:
970	1040

Slika 23: Vnos osnovnih podatkov v predlogo

Nadaljujemo z vnosom podatkov o materialu (slika 24). Tlačna trdnost polne opeke znaša 15 MPa, tlačna trdnost malte pa 2.5 MPa. Tlačna trdnost zidovja je 2.3 MPa, medtem ko je začetna strižna in natezna trdnost zidovja 0.2 MPa. Strižni in elastični modul je Snoj (2014) povečal glede na izmere Tomaževiča (2009) za 25 % in tako znašata 1000 MPa za elastični modul ter 250 MPa za strižni modul.

VNOS PODATKOV O MATERIALU	
Skupina zidaka:	
Skupina I	
Tip malte:	
Tip M2	
Tlačna trdnost opeke:	
15	
Tlačna trdnost malte:	
2.5	
Tlačna trdnost zidovja:	
2.3	
Strižna trdnost zidovja:	
0.2	
Natezna trdnost zidovja:	
0.2	
Elastični modul:	
1000	
Strižni modul:	
250	
Materialni varnostni faktor:	
1	
Faktor stopnje poznavanja konstrukcije:	
1.35	

Slika 24: Vneseni podatki o materialnih karakteristikah

Na podlogo vnesemo še podatke za izračun potresne obtežbe in izbiro akcelorogramov (slika 25). V stavbi se nahajajo pisarne, tako je kategorija objekta B pisarne. Faktor obnašanja in nihajni čas sta bila v diploma Jenko (2012) predpostavljena 1,5 in 0,2 sekunde. Stavba se nahaja v Ljubljani, pospešek tal znaša tako 0,25 g tip tal pa B.

VNOS PODATKOV O POTRESNI OBTEŽBI	
Kategorija objekta:	
B Pisarne	
Kategorija pomembnosti:	
II. kategorija	
Faktor obnašanja:	
1.5	
Nihajni čas	
0.2	
Projektni pospešek tal:	
0.25	
Tip tal:	
B	

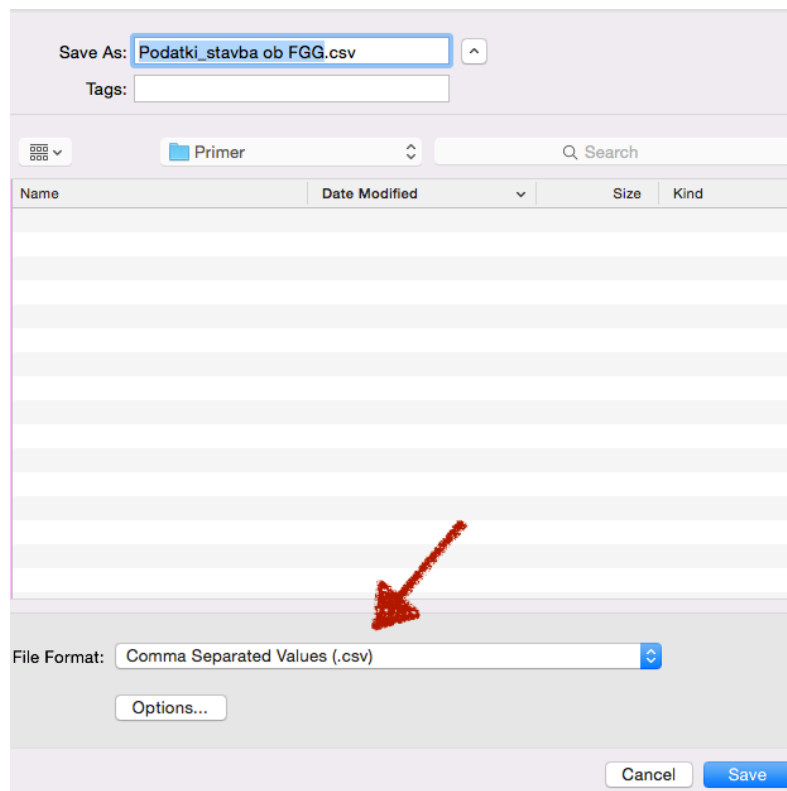
Slika 25: Podatki o potresni obtežbi

Sledi vpis podatkov o stenah (slika 26). Enote v katerih se vpisujejo podatki so cm za dolžinske enote in kN za enote sile. Pomik pri poružitvi zaradi prekoračenih nateznih ali strižnih napetosti smo predpostavili kot 0,4 % višine elementa, v primeru da se element poruši zaradi prekoračenih normalnih napetosti znaša pomik pri poružitvi 0,8 % višine elementa.

VNOS PODATKOV O STENAH										
ETAŽA 1										
Visina etaze:										
340										
Masa etaze:										
140.3										
Smer X										
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib	
x1_1	45	225	255	109	870	0	1	0.4	0.8	
x1_2	45	275	165	156	500	0	1	0.4	0.8	
x1_3	45	225	255	109	120	0	1	0.4	0.8	
x1_4	15	220	280	32	860	390	1	0.4	0.8	
x1_5	15	135	280	17	580	390	1	0.4	0.8	
x1_6	15	200	340	29	870	505	1	0.4	0.8	
x1_7	15	340	100	36	300	525	1	0.4	0.8	
x1_8	45	100	340	37	60	525	1	0.4	0.8	
x1_9	15	50	270	3	950	710	1	0.4	0.8	
x1_10	15	60	270	3	800	710	1	0.4	0.8	
x1_11	15	415	340	17	260	710	1	0.4	0.8	
x1_12	45	310	245	145	850	1020	1	0.4	0.8	
x1_13	45	275	160	152	430	1020	1	0.4	0.8	
x1_14	45	155	255	77	90	1020	1	0.4	0.8	
Smer Y										
Oznaka	Debelina	Dolzina	Ef. Visina	Osna sila	Koordinata X	Koordinata Y	Vpetost	Pomik stri	Pomik upogib	
y1_1	45	420	245	227	0	230	1	0.4	0.8	
y1_2	45	390	280	201	500	230	1	0.4	0.8	
y1_3	45	255	255	147	965	800	1	0.4	0.8	
y1_4	45	65	180	58	0	530	1	0.4	0.8	
y1_5	15	80	210	30	225	550	1	0.4	0.8	
y1_6	45	45	215	53	500	560	1	0.4	0.8	
y1_7	45	200	165	100	965	650	1	0.4	0.8	
y1_8	45	115	180	94	0	760	1	0.4	0.8	
y1_9	45	150	245	78	0	990	1	0.4	0.8	
y1_10	30	330	280	124	235	890	1	0.4	0.8	
y1_11	45	260	215	198	500	730	1	0.4	0.8	
y1_12	45	180	165	114	965	450	1	0.4	0.8	
y1_13	45	140	255	85	965	140	0	0.4	0.8	

Slika 26: Vpisani podatki o stenah za prvo etažo

Ko izpolnimo celotno predlogo shranimo datoteko s končnico .csv tako kot prikazuje slika 27.



Slika 27: Shranjevanje datoteke

Ko imamo vhodno datoteko pripravljeno v glavnem meniju aplikacije kliknemo na zavihek »Nov primer«, kjer izberemo datoteko in kliknemo na gumb »Upload« (slika 28).



Slika 28: Stran za nalaganje datoteke

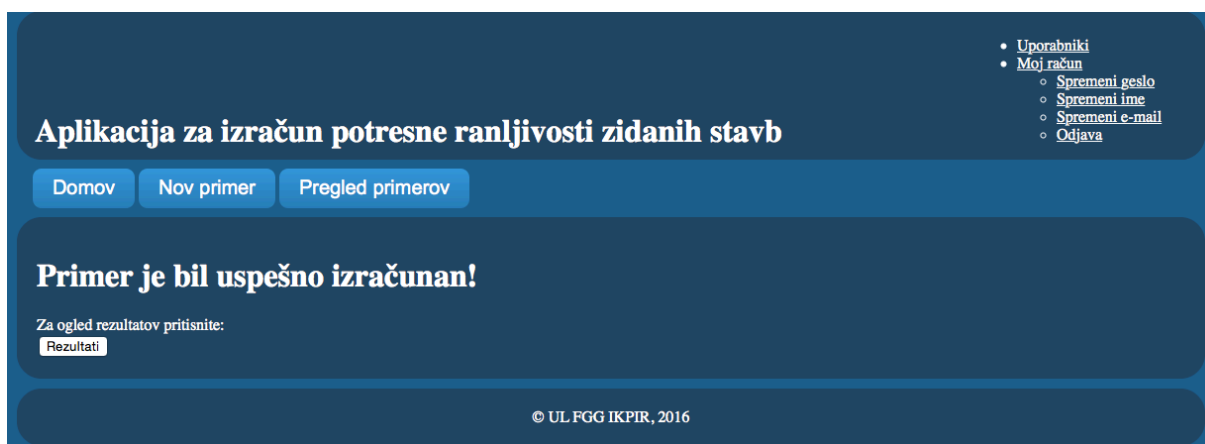
V primeru, da je bila datoteka uspešno naložena in prebrana aplikacija vrne besedilo, da je bilo nalaganje uspešno ter da pri branju podatkov ni bilo najdenih napak (slika 29). V kolikor poskušamo naložiti preveliko datoteko ali pa datoteko, ki ni v obliki .csv nam aplikacija izpiše,

da nalaganje ni uspelo. V kolikor ne izpolnimo vseh potrebnih podatkov v predlogi, namesto pike uporabimo vejico, podatki niso realni ali pa se podatki med sabo ne ujemajo nam aplikacija vrne podatek v katerem stolpcu in kateri vrstici se nahaja napaka.



Slika 29: Sporočilo, da je bilo nalaganje in branje vhodne datoteke uspešno

Ob kliku na gumb izračun se izračuna potresna odpornost zidane stavbe, kjer se preverja nosilnost vsake stene. V tem delu se izračunajo potisne krivulje za posamezne etaže in celotno stavbo. Aplikacija nas o uspešnem izračunu potresne odpornosti stavbe obvesti z besedilom, da je bil primer uspešno izračunan, kot je prikazano na sliki 30. Pripravijo se podatki za inkrementalno dinamično analizo. S klikom na gumb »Rezultati« se izpišejo rezultati.



Slika 30: Obvestilo, da je bila potresna odpornost uspešno izračunana

V prvem delu se izpiše izračunana potresna sila na objekt in velikost sile v posamezni etaži. Sledi preglednica za vsako smer v vsakem nadstropju v kateri so vpisani osnovni podatki o stenah, izračunana togost posamezne stene, vse tri nosilnosti pri različnih tipih porušitve ter tip porušitve (slika 31).

- Uporabniki
- Moj račun
 - Spremeni geslo
 - Spremeni ime
 - Spremeni e-mail
 - Odjava

Aplikacija za izračun potresne ranljivosti zidanih stavb

Domov
Nov primer
Pregled primerov

REZULTATI IZRAČUNA

Potresna obtežba

Faktor S_d : 4.905
 Skupna potresna sila: 343.4 kN
 Potresna sila v 1. etaži: 343.4 kN

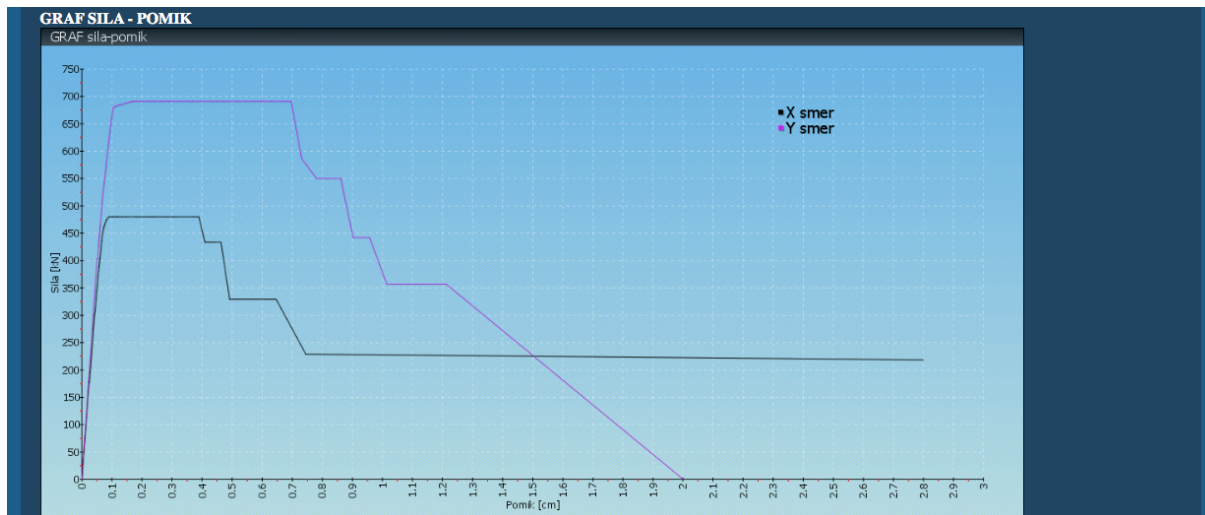
ODPORNOST STEN V 1. ETAŽI

Smer x

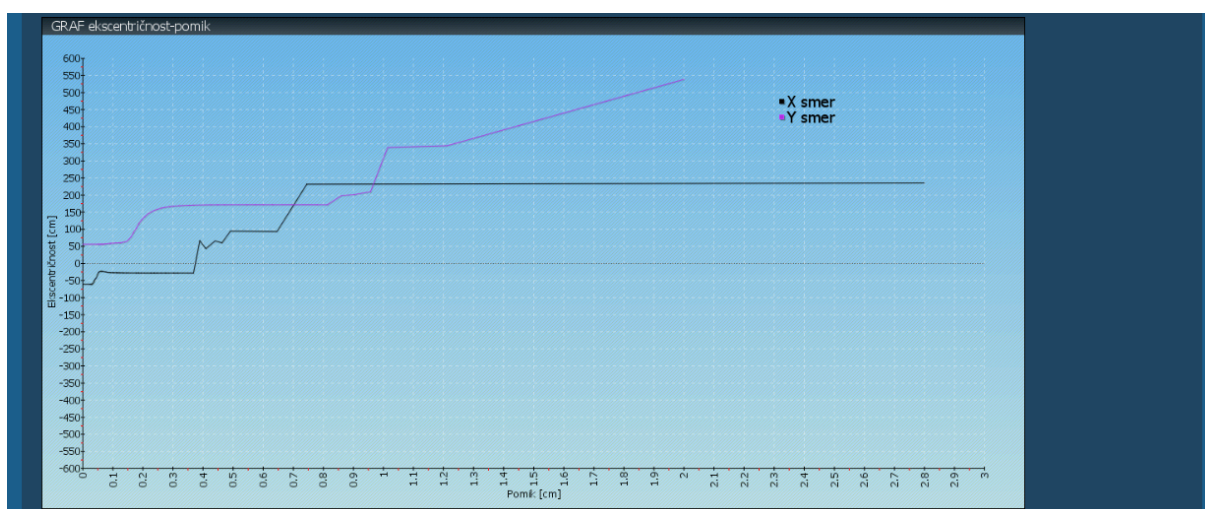
Oznaka	b [cm]	L [cm]	H _{ef} [cm]	N [kN]	k [kN/cm]	H _{ed} [kN]	R _{ds,w} [kN]	R _{s,w} [kN]	R _{t,w} [kN]	Kontrola	Porušitev
x1.1	65	138	100	127	567.4	38.9	62.6	91.1	73	0.62	OK
x1.2	65	225	310	162	263.3	18	50.5	105.8	51.1	0.36	OK
x1.3	65	280	310	203	347.7	23.8	76	145.6	79.6	0.31	OK
x1.4	65	148	100	129	612.6	42	67.8	96.9	80.4	0.62	OK
x1.5	368	75	310	305	215.7	14.8	35	191.3	32.1	0.46	OK
x1.6	139	75	160	121	296.1	20.3	25.5	73.4	24.5	0.83	OK
x1.7	65	180	110	232	682.9	46.8	114	135.8	145.5	0.41	OK
x1.8	65	505	310	348	679.6	46.6	209.3	306.2	248.1	0.22	OK
x1.9	279	65	310	169	117	8	17	119.3	15.8	0.51	OK
x1.10	140	65	120	91	374.6	25.7	22.2	61.1	21.7	1.18	UPOGIB
x1.11	128	65	120	92	342.5	23.5	22.2	57.7	21.7	1.08	UPOGIB
x1.12	40	285	310	198	218.6	15	68.6	107	72.4	0.22	OK
x1.13	40	345	310	215	274.1	18.8	88.2	134.4	97.7	0.21	OK
x1.14	315	30	310	48	17	1.2	2.3	53	2.2	0.53	OK

Slika 31: Rezultati potresne odpornosti izbranega primera

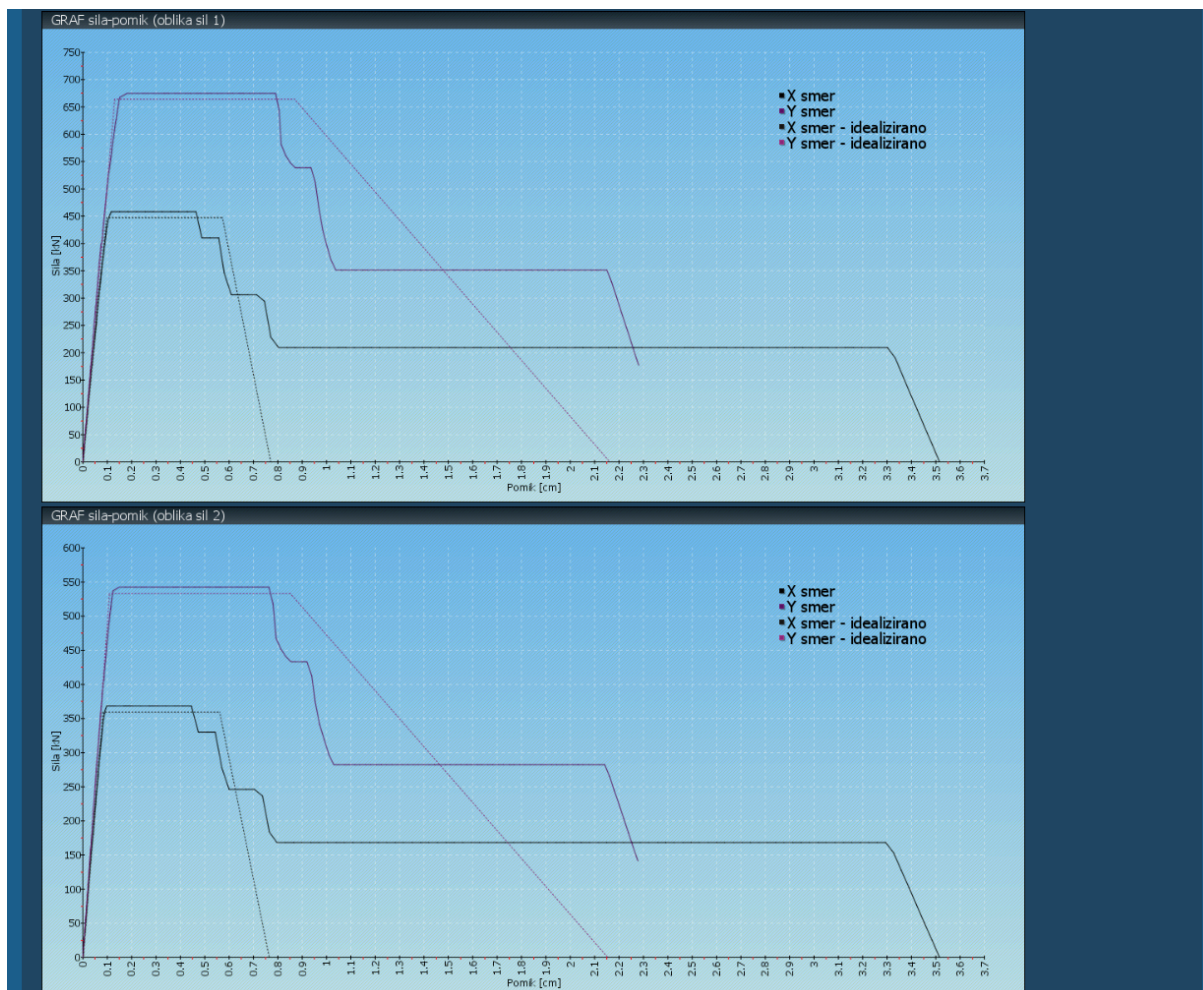
V nadaljevanju se izrišejo grafi potisne krivulje (slika 32) in grafi ekscentričnosti (slika 33) za vsako etažo in vsako smer. Sledi graf potisne krivulje za celotno stavbo, sestavljen iz posameznih krivulj etaž, kot opisano v poglavju 5.5 (slika 34). Izrišeta se dva grafa, prvi za konstantno porazdelitev sil po etažah in drugi s porazdelitvijo sil odvisno od višinskih kot in mas etaž.



Slika 32: Potisna krivulja za x in y smer v prvi etaži

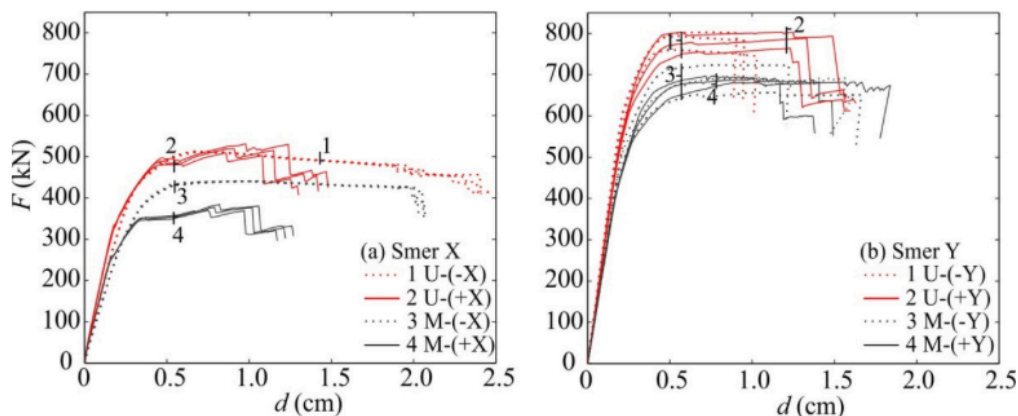


Slika 33: Graf ekscentričnosti za x in y smer v prvi etaži



Slika 34: Potresna krivulja za celotno stavbo za dve predpostavljene porazdelitvi sil

Zgornje rezultate primerjamo z rezultati iz doktorske disertacije (Snoj, 2014). V doktorski disertaciji je bila izračunana nosilnost v x smeri 520 kN in v smeri y 770 kN (slika 35). Z razvito aplikacijo smo izračunali nosilnost v x smeri 470 kN ter v y smeri 680 kN. Večja razlika nastopi pri deformacijah, saj se model izračunan v doktorski dizertaciji v x smeri plastificira pri 0,3 cm, model izračunan s pomočjo razvite aplikacije pa pri 0,15 cm. Pomik ob začetku padanja nosilnosti je v doktorski disertaciji izračuna pri 1,3 cm, v razviti aplikaciji pa pri 0,9 cm. Razlike pripisujemo različnemu modeliranju konstrukcije, saj so se v doktorski disertaciji stene, togi elementi in preklade modelirale z makroelementi. Različna je tudi oblika ovojnice sila-pomik za posamezen element. Izračun v doktorski disertaciji in v razviti aplikaciji je pokazal, da je nosilnost stavbe nižja, ko na stavbo nanese horizontalne sile odvisne od mase in višinskih kot etaž. Zmanjšana nosilnost izračunana v aplikaciji je vidna na sliki 34 spodaj, v doktorski disertaciji pa na sliki 35 – črne krivulje.



Slika 35: Rezultati računa potresne odpornosti iz doktorske dizertacije (Snoj, 2014)

Prvi del del izračuna je s tem končan. Sledi inkrementalna dinamična analiza. Za izbiro primera, za katerega želimo zagnati analizo v glavnem meniju kliknemo na zavihtek »Pregled primerov«. V razdelku »Status IDA« smo s stavkom »V postopku izračuna ni primera!« opozorjeni, da trenutno se trenutno ne računa nobena analiza (slika 36).

Aplikacija za izračun potresne ranljivosti zidanih stavb

- [Uporabniki](#)
- [Moj račun](#)
 - [Spremeni geslo](#)
 - [Spremeni ime](#)
 - [Spremeni e-mail](#)
 - [Odjava](#)

Domov
Nov primer
Pregled primerov

Pregled primerov

Status IDA

V postopku izračuna ni primera!

Naloženi primeri

Izračunana potresna odpornost

Izračunana IDA

© UL FGG IKPIR, 2016

Slika 36: Opozorilo, da v računu ni nobene IDA analize

S klikom na razdelek »Izračunana potresna odpornost« se nam odprejo primeri, za katere je izračunana potresna odpornost, IDA analiza pa ni izračunana (slika 37). V razdelku »Izračunana IDA« se nam odprejo primeri, kateri imajo IDA analizo že izvedeno. Razdelek »Naloženi primeri« vsebuje primere, katere smo naložili ob tem pa nismo zagnali izračuna potresne odpornosti.

Aplikacija za izračun potresne ranljivosti zidanih stavb

- Uporabniki
- Moj račun
 - Spremeni geslo
 - Spremeni ime
 - Spremeni e-mail
 - Odjava

Domov Nov primer Pregled primerov

Pregled primerov

Status IDA

V postopku izračuna ni primera!

Naloženi primeri

Izračunana potresna odpornost

Ime primera	Datum nalaganja	Ura nalaganja	Rezultati	PDF	Zbriši	IDA
TEST_1	07.08.2016	21:05	Rezultati	PDF	Zbriši	IDA
TEST_1	07.08.2016	21:08	Rezultati	PDF	Zbriši	IDA

Izračunana IDA

© UL FGG IKPIR, 2016

Slika 37: Pregled primerov, za katere je možno zagnati IDA analizo

S klikom na gumb »IDA« ob posameznem primeru zažemo IDA analizo za izbran primer. S klikom onemogočimo zagon nove analize, dokler ni zagnana analiza opravljena. Naloži se nam stran na kateri je zapisan status analize. Dokler se analiza na sistemu HTCondor ne začne izvajati in dokler ne dobimo prvih datotek z rezultati je status analize »Priprava na IDA analizo!« kot prikazuje spodnja slika.

Aplikacija za izračun potresne ranljivosti zidanih stavb

- Uporabniki
- Moj račun
 - Spremeni geslo
 - Spremeni ime
 - Spremeni e-mail
 - Odjava

Domov Nov primer Pregled primerov

IDA ANALIZA!

Priprava na IDA analizo!

© UL FGG IKPIR, 2016

Slika 38: Status IDA analize takoj po zagonu

Status lahko spremljamo na dva načina. Prvi način je da ostanemo na strani kateri smo, lahko pa ga spremljamo v podmeniju »Pregled primerov«. Ko se ustvari prva datoteka z rezultati se status analize spremni v podatek koliko % analize je opravljene (slika 39).



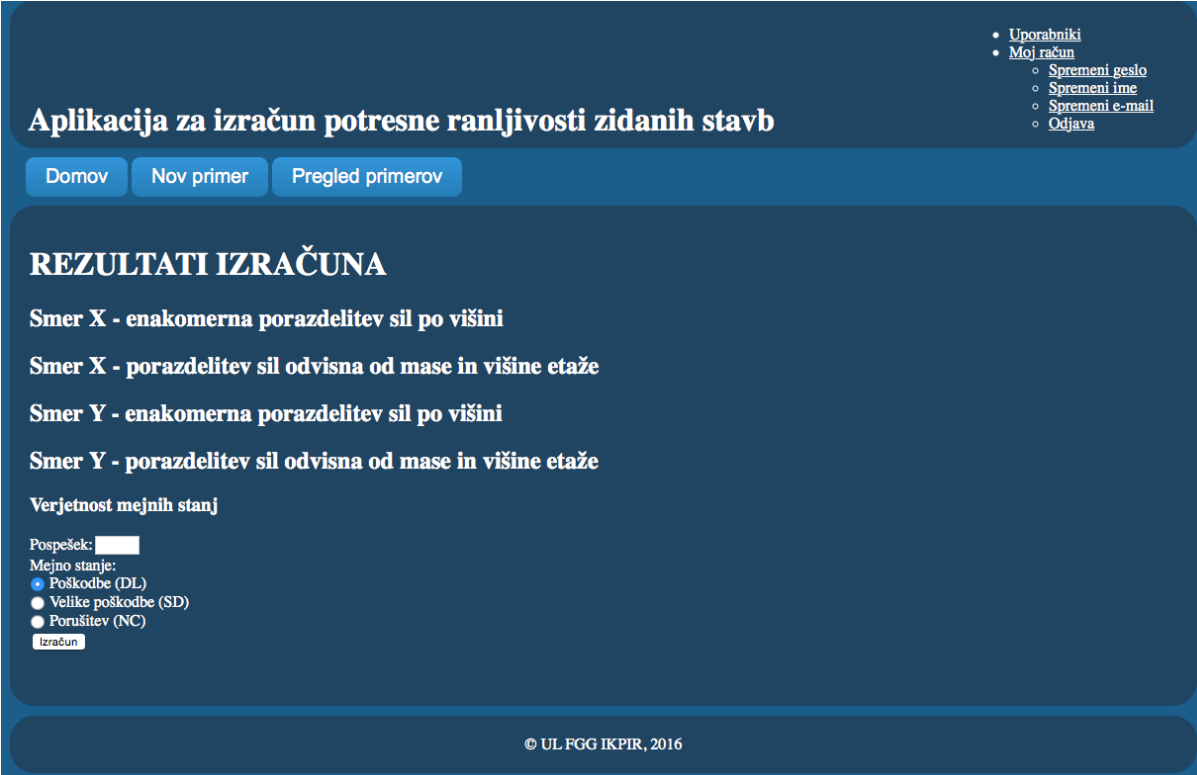
Slika 39: Status IDA analize

Ko je analiza končana se v status analize pojavi gumb za ogled rezultatov, kot prikazuje spodnja slika.



Slika 40: Status končane analize

S pritiskom na gumb »Rezultati« se preberejo rezultati analize, ustvarijo se grafi IDA krivulj in krivulje ranljivosti objekta. Generiranje strani z rezultati traja nekaj sekund. Odpre se stran z strnjenimi rezultati (slika 41).



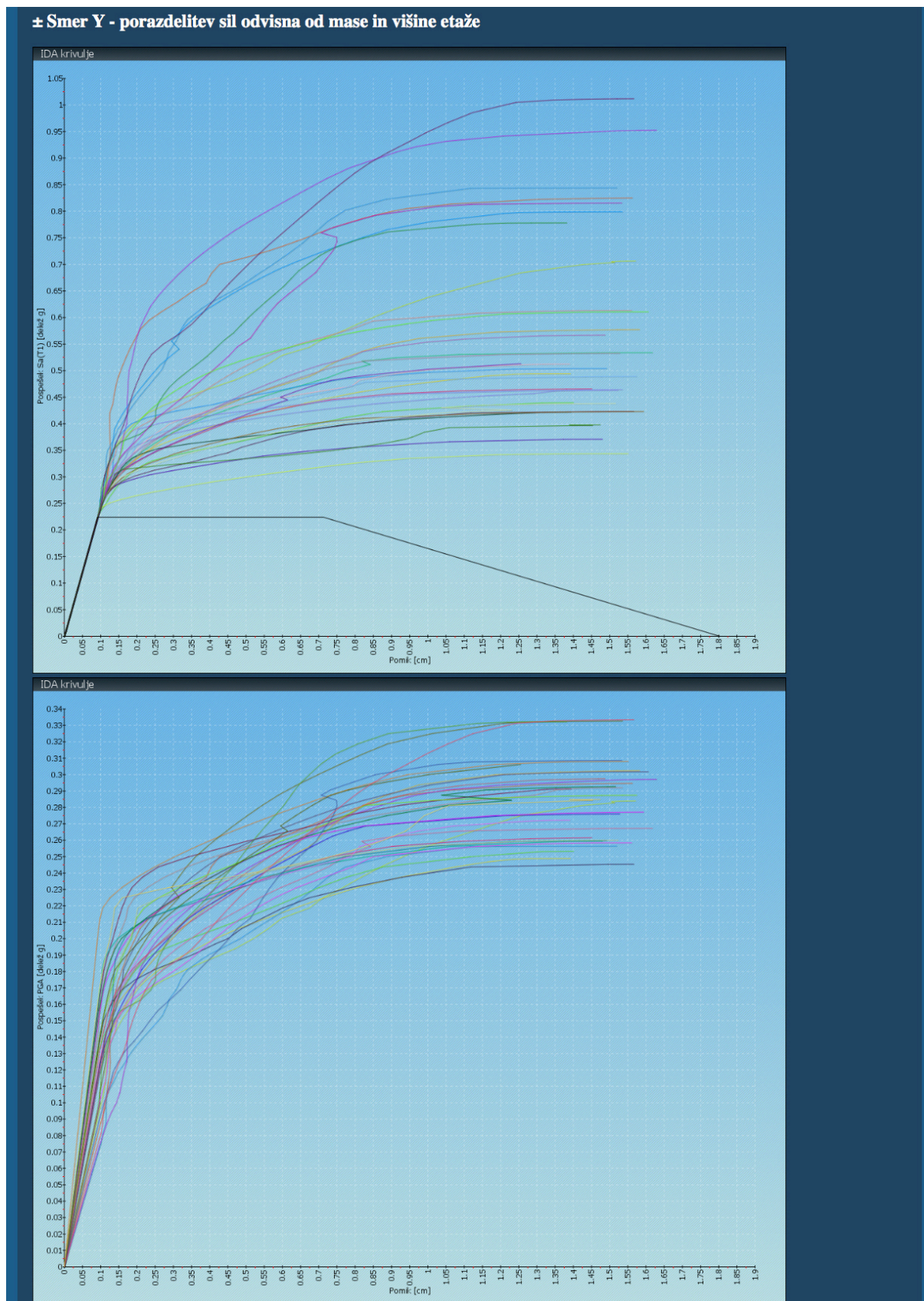
The screenshot shows a web application interface with a dark blue background. At the top right, there is a user menu with the following items: 'Uporabniki', 'Moj račun', 'Spremeni geslo', 'Spremeni ime', 'Spremeni e-mail', and 'Odjava'. Below this, the main title of the application is 'Aplikacija za izračun potresne ranljivosti zidanih stavb'. Underneath the title are three navigation buttons: 'Domov', 'Nov primer', and 'Pregled primerov'. The main content area is titled 'REZULTATI IZRAČUNA' and lists four categories of results: 'Smer X - enakomerna porazdelitev sil po višini', 'Smer X - porazdelitev sil odvisna od mase in višine etaže', 'Smer Y - enakomerna porazdelitev sil po višini', and 'Smer Y - porazdelitev sil odvisna od mase in višine etaže'. Below these is a section for 'Verjetnost mejnih stanj' with a 'Pospešek:' input field and a 'Mejno stanje:' section containing three radio buttons: 'Poškodbe (DL)', 'Velike poškodbe (SD)', and 'Porušitev (NC)'. There is also an 'Izračun' button. At the bottom of the page, the copyright notice '© UL FGG IKPIR, 2016' is visible.

Slika 41: Rezultati izračuna – strnjeno

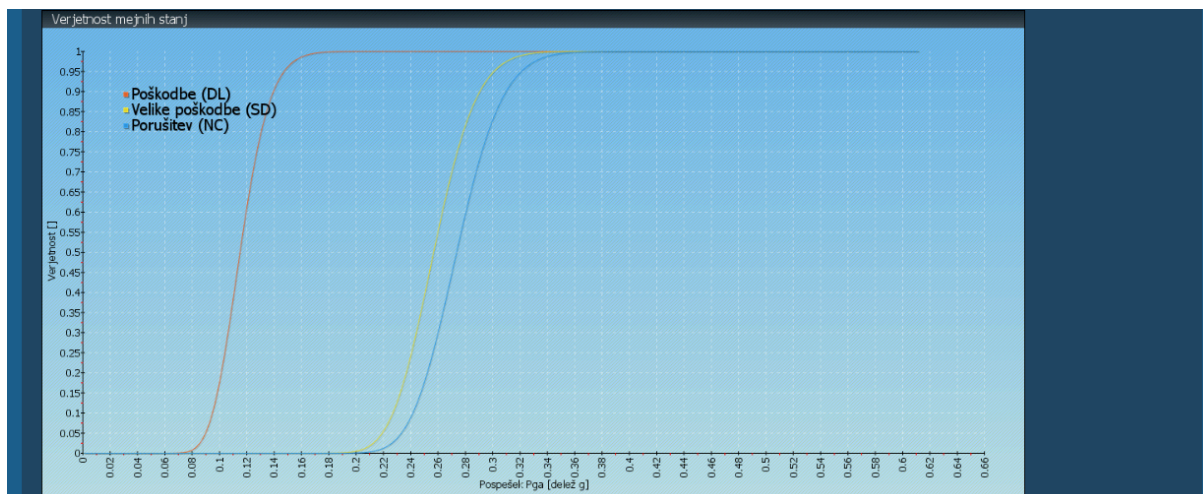
IDA krivulje lahko pogledamo s klikom na enega ali več skupin rezultatov:

- Smer X – enakomerna porazdelitev rezultatov,
- Smer X – porazdelitev sil odvisna od mase in višine etaže,
- Smer Y – enakomerna porazdelitev rezultatov,
- Smer Y – porazdelitev sil odvisna od mase in višine etaže.

Krivulje verjetnosti se izpišejo za vsako smer in vsako porazdelitev sil. Te krivulje že delno upoštevajo modelne in materialne negotovosti. Na enem grafu so izrisane tri krivulje, po ena za vsako mejno stanje (slika 42).

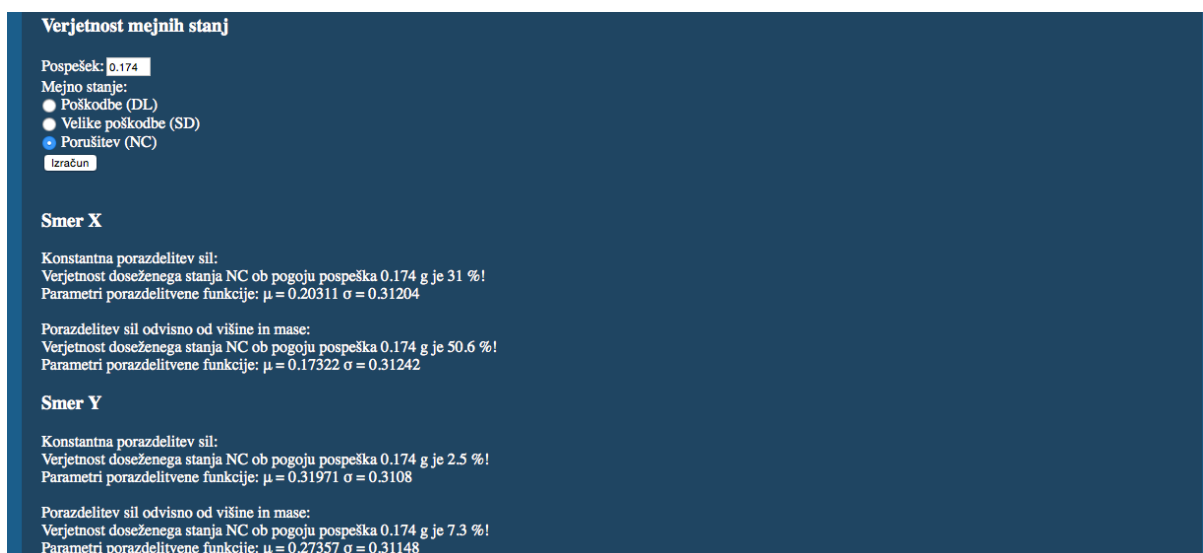


Slika 42: IDA krivulje za izbran primer, zgoraj krivulje Sa – pomik, spodaj krivulje PGA - pomik



Slika 43: Primer krivulje ranljivosti za Y smer in porazdelitev sil odvisno od višine in mase etaže

Aplikacija omogoča izpis verjetnosti za izbran pospešek tal. V formular vpišemo željen maksimalni pospešek tal in izberemo mejno stanje. Izpišejo so verjetnosti dosega mejnega stanja in parametri lognormalne porazdelitve, ki so bili uporabljeni za izris krivulje ranljivosti (slika 44).



Slika 44: Izračun verjetnosti mejnih stanj

V doktorski disertaciji (Snoj, 2014) ni bila izvedena IDA analiza za izbrano stavbo. Izračunan pa je bil pospešek, ki povzroči mejno stanje NC z metodo N2. Za x smer je bil izračunan pospešek 0.17 g, za y smer pa 0.24 g. Z razvito aplikacijo smo izračunali pospešek, ki povzroči mejno stanje NC 0.174 g za x smer ter 0.275 g za y smer. Razlika med rezultati je manjša od 15 %. Ker so za račun potresnega tveganja ključni pospeški, ki povzročijo izbrano mejno stanje, smatramo, da je razlika med rezultati, ki so bili dobljeni na osnovi dveh metod računa,

sorazmerno majhni, čeprav so bile opazne precejšnje razlike v potisnih krivuljah. Zato lahko sklepamo, da je natančnost aplikacije za obravnavan primer zadovoljiva.

7 ZAKLJUČEK

V magistrski nalogi smo razvili spletno aplikacijo za oceno ranljivosti zidane stavbe. Prvi del, kjer se računa potresna odpornost zidane stavbe smo privzeli in nadgradili iz diplomske naloge (Fabijan, 2013). Programsko kodo iz diplomske naloge za račun potisnih krivulj smo dopolnili tako, da je omogočen približen način upoštevanja torzije po približnem postopku (Tomažević, 1987). Ob upoštevanju predpostavke o etažnem mehanizmu poškodovanosti, se izračuna tudi potisna krivulja za celotno stavbo, katera se idealizira s trilinearnim odnosom med silo ob vpetju in pomikom na vrhu. Idealizirana potisna krivulja predstavlja osnovo za določitev modela z eno prostostno stopnjo, kateri se uporabi za določitev zveze med mero za intenziteto potresa in potresnimi zahtevami. Za ta izračun smo uporabili inkrementalno dinamično analizo, ki se izvede za skupino akceleroگرامov katerih povprečni spekter pospeškov približno ustreza spektru pospeškov po Evrokodu 8. Analiza IDA se izvede s pomočjo programske kode (Šebenik, Dolšek 2015b) preko programov OpenSees in HTCCondor, ki omogoča računanje v računalniški gruči.

Rezultat aplikacije so krivulje potresne ranljivosti obravnavane zidane stavbe, ki so določene z lognormalno porazdelitveno funkcijo in sicer za mejno stanje omejenih poškodb, pomembnih poškodb in za mejno stanje blizu porušitve objekta. Krivulje potresne ranljivosti predstavljajo osnovo za računu potresnega tveganja zidanih stavb.

Glavni prispevek magistrske naloge predstavlja povezovanje več različnih postopkov, algoritmov in teorij v eno uporabno aplikacijo. Aplikacija je napisana na MVC arhitekturi, tako omogoča nadaljnje razvijanje in vzdrževanje tudi drugim razvijalcem.

Z razvojem spletne aplikacije smo pokazali uporabnost informacijske tehnologije v potresnem inženirstvu in tako odprli možnosti za nadaljnji razvoj podobnih orodji. Čeprav ima spletna aplikacija določene omejitve, je ocena potresne odpornosti na osnovi spletne aplikacije bolj napredna od tiste, ki bila osnova za utrditev poškodovanih objektov med potresom v Zgornjem Posočju. Smatramo, da spletna aplikacija predstavlja osnovo za razvoj popolnoma novega načina obravnavanja problema potresne varnosti, saj bi lahko podobne spletne aplikacije omogočale analize potresnega tveganja za sisteme objektov in avtomatizirano periodično vrednotenje potresne varnosti z upoštevanjem novih spoznanj in vplivov mehanske degradacije objektov skozi čas. S tem bi pridobili bolj kvalitetne informacije o potresni varnosti stavb, ki bi bile lahko v prihodnosti enostavno dostopne lastnikom in ostali zainteresiranim skupinam. Predvidevamo, da se bo spletna aplikacija razvijala v opisanih smereh. Obstaja pa tudi precej drugih možnosti za nadaljnji razvoj spletne aplikacije, kot na primer, vgradnja

analize potresne nevarnosti, nadgradnja uporabniškega vmesnika, dopuščanje možnosti izbire mehanizma porušitve zidov, posplošitev geometrije sten, prikaza poškodovanosti in računa potresnega tveganja v smislu verjetnosti porušitve in izgub.

VIRI

Akkar, S., Sandikkaya, M. a., Şenyurt, M., Azari Sisi, A., Ay, B.O., Traversa, P., Douglas, J., Cotton, F., Luzi, L., Hernandez, B., Godey, S. 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). *Bulletin Of Earthquake Engineering* 12, 1: 311–339.

Apachefriends. 2015. XAMPP <https://www.apachefriends.org/index.html> (Pridobljeno 10. 01. 2016.)

ARSO 2015a. Močni potresi v preteklosti. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo. http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20aktivnost/Močni_potresi_v_preteklosti.pdf (Pridobljeno 20. 11. 2015.)

ARSO 2015b. Karta potresne nevarnosti. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo. http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektني_pospesek_tal.html (Pridobljeno 5. 12. 2015.)

Barnett, B. 2015. Sed – An Introduction and Tutorial. <http://www.grymoire.com/Unix/Sed.html> (Pridobljeno 8.1.2016.)

Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009. Projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, poglavje 8: 1077 str.

Dolenc, M. 2008. Visoko-prepustna računska okolja v gradbeništvu. <http://media.matevzdolenc.com/ul-fgg/og-rac-2014/htc-predavanje-1.pdf> (Pridobljeno 13.1.2016.)

Dolšek, M. 2009. Incremental Dynamic Analysis with consideration of modeling uncertainties. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38, 6: 805–825.

Fabijan, N. 2013. Spletna aplikacija za poenostavljeno oceno ranljivosti zidanega objekta na potresno obtežbo, Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba N. Fabijan): 58 str.

Fajfar, P. 2002. Poenostavljena nelinearna analiza konstrukcij pri potresni obtežbi. *Gradbeni vestnik*. 51, 302-315.

FPDF Library. 2013. FPDF Library, PDF generator. <http://www.fpdf.org> (Pridobljeno 15. 11. 2013.)

Gregorič, A. 2008. Razvoj objektno zasnovane programske rešitve za obvladanje poslovnih procesov. Magistrsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede. (samozaložba A. Gregorič): 88 str.

Hren, M. 2013. Spletni vmesnik za izvajanje računskih analiz v visoko-prepustnem računskem okolju. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba M. Hren): 48 str.

Jayaram, N., Lin, T., Baker, J.W. 2011. A computationally efficient ground-motion selection algorithm for matching a target response spectrum mean and variance. *Earthquake spectra* 27, 3: 797–815.

Jenko, A. 2012. Ocena odpornosti enodružinske hiše. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba A. Jenko): 35 str.

Lutman, M., Tomaževič, M. 2002. World Housing Encyclopedia Report Slovenia. Earthquake Engineering Research Institute, 28 str.

Github. 2016 Probability Distribution Library. <https://github.com/php-math/PDL> (Pridobljeno 8.2.2016.)

Mrvar, A. 2015. Osnove HTML. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/sola/VIS2/html/htmlslo.htm#Kaj> (Pridobljeno 8.1.2016.)

MySQL. 2016. MySQL. <https://www.mysql.com> (Pridobljeno 11.1.2016.)

OpenSees. 2006. The Open System for Earthquake Engineering Simulation. <http://opensees.berkeley.edu/OpenSees/home/about.php> (Pridobljeno 11.1.2016.)

Krauthaker, B. 2014. Razvoj spletnih aplikacij v programskem jeziku PHP s pomočjo ogrodja CodeIgniter. Diplomsko naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. Računalništvo in informatika. Smer Informatika (samozaložba B. Krauthaker): 96 str.

pChart. 2012. A PHP charting library. <http://www.pchart.net> (Pridobljeno 15 .11.2015.)

PEER. 2012. PEER Ground Motion Database. Pacific Earthquake Engineering Research Center. http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/

PHP Login. 2016. The PHP-Login project. <http://www.php-login.net> (Pridobljeno 30.12.2015.)

Podgorelec, D. 2011. Ocena potresne odpornosti stanovanjske hiše v Ljubljani. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer (samozaložba D. Podgorelec): 72 str.

Rakesh K. Goel. 2003. Information on San Simeon Earthquake. California Polytechnic State University
https://ceenve.calpoly.edu/faculty-pages/goel/san_simeon_eqk/ (Pridobljeno 1. 12. 2015.)

Ramey, C. 2015, The GNU Bourne-Again Shell,
<http://tiswww.case.edu/php/chet/bash/bashtop.html> (Pridobljeno 8.1.2016.)

SIST EN 1998-1: 2005, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo: 229 str.

SIST EN 1998-3: 2005, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 3. del: Ocena in prenova stavb. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo: 89 str.

Snoj, J. 2009. Ocena potresne odpornosti zidane stavbe s programom 3MURI. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer (samozaložba J. Snój): 110 str.

Snoj, J. 2014. Ocena potresnega tveganja zidanih stavb. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Program III. stopnje, Grajeno okolje (samozaložba J. Snój): 242 str.

Šebenik, Ž., Dolšek, M., 2015a. Skripta za izračun transformacijskega faktorja beta. Ljubljana, UL FGG, IKPIR.

Šebenik, Ž., Dolšek, M., 2015b. Skripta za IDA analizo. Ljubljana, UL FGG, IKPIR.

Vamvatsikos, D., Cornell, C.A. 2002. Incremental Dynamic Analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 3: 491–514.

Wikibooks. 2015. Tcl Programming/Introduction.

https://en.wikibooks.org/wiki/Tcl_Programming/Introduction (Pridobljeno 13. 1. 2016.)

Wikipedia. 2015a. Log-normal distribution. https://en.wikipedia.org/wiki/Log-normal_distribution (Pridobljeno 4. 1. 2016.)

Wikipedia. 2015b. JavaScript. <https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (Pridobljeno 6.1.2016)

Tcl. 2015. Tcl Developer Xchange. <https://www.tcl.tk> (Pridobljeno 12.1.2016.)

Tomažević, M. 2009. Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana, Tehnis: 301 str.

Tomažević, M. 1987. Zidane zgradbe na potresnih območjih. Ljubljana, Tehnis: 301 str.

Turk, G. 2011. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 246 str.

Tutorialspoint. 2015a. Object Oriented Programming in PHP.

http://www.tutorialspoint.com/php/php_object_oriented.htm (Pridobljeno 12. 1. 2016.)

Tutorialspoint. 2015b. Javascript Tutorial.

<http://www.tutorialspoint.com/javascript/> (Pridobljeno 12. 1. 2016.)