

Seizmički proračun mosta

Češkić, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:903185>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sara Češkić

SEIZMIČKI PRORAČUN MOSTA

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sara Češkić

SEIZMIČKI PRORAČUN MOSTA

ZAVRŠNI ISPIT

doc. dr. sc. Mladen Srbić

prof. dr. sc. Ana Mandić Ivanković

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Sara Češkić

SEISMIC DESIGN OF BRIDGE

FINAL EXAM

doc. dr. sc. Mladen Srbić

prof. dr. sc. Ana Mandić Ivanković

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Sara Češkić

(Ime i prezime)

0082066281

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Seizmički proračun mostova

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Seismic design of bridges

(Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

11.09.2024.

Mentor:

doc.dr.sc. Mladen Srbić

Potpis mentora:

Komentor:

prof.dr.sc. Ana Mandić Ivanković



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

Potpis:

Sara Češkić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

Potpis:

Sara Češkić

SAŽETAK

Potresna djelovanja su dokaz kako seizmologija svoju primjenu ima prvenstveno u građevinarstvu pa samim time znanja o kretanju litosfernih ploča, širenju seizmičkih valova, pretpostavkama potresa na osnovu onih ranijih uvelike pomažu pri projektiranju kako bi se zaštitili ljudski životi, ograničile štete te osigurala funkcionalnost konstrukcija. Na osnovu svih tih podataka izrađuju se karte potresnih područja s kojih se očitavaju horizontalna ubrzanja površine za određena područja kojima se, uz kategorije tla, određuje potresno djelovanje za to isto područje. Na temelju tih podataka provodi se proračun i provjeravaju učinci djelovanja prema važećim normama Eurokoda 8. U ovom radu seizmički proračun je proveden za nadvožnjak, a modeliran je u programu Sofistik pomoću kojeg su prikazana ponašanja konstrukcije na djelovanje potresa, dobivene vrijednosti djelovanja te dimenzioniran stup.

Ključne riječi: norme, Eurokod 8, most, nadvožnjak, potres, potresno djelovanje, seizmički proračun

SUMMARY

The effects of earthquakes demonstrate how seismology finds its primary application in civil engineering. Consequently, knowledge about the movement of lithospheric plates, the propagation of seismic waves and earthquake predictions based on previous events greatly aids in design processes to protect human lives, limit damage and ensure the functionality of structures. Based on all this data, maps of seismic zones are created, from which horizontal surface accelerations for specific areas are read. These maps, along with soil categories, determine the seismic impact for those areas. Calculations are then performed and the effects of the seismic actions are checked according to the valid norms of Eurocode 8. In this work, a seismic analysis was conducted for an overpass, modeled in the Sofistik software, which shows the behavior of the structure to the action of an earthquake, the obtained values of the seismic effects and the dimensioned column.

Key words: norms, Eurocode 8, bridge, overpass, earthquake, earthquake action, seismic design

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD.....	1
2. SEIZMOLOGIJA I GEOTEHNIČKI UTJECAJI.....	2
3. SEIZMIČKO DJELOVANJE NA MOSTOVE PREMA VAŽEĆIM NORMAMA.....	4
3.1. Zahtjevi i kriteriji.....	4
3.2. Potresno djelovanje.....	7
3.3. Proračun.....	9
3.4. Provjera čvrstoće.....	11
3.5. Razrada detalja.....	13
4. SEIZMIČKI PRORAČUN NADVOŽNJAKA.....	14
4.1. Opis konstrukcije	14
4.2. Analiza seizmičkog djelovanja nadvožnjaka.....	14
4.2.1. Stalno opterećenje	15
4.2.2. Dodatno stalno opterećenje	15
4.2.3. Potresno opterećenje.....	15
4.2.4. Modovi osciliranja.....	18
4.3. Rezultati seizmičke analize nadvožnjaka	20
4.3.1. Model nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem.....	20
4.3.2. Model nadvožnjaka s dva nepomična stupišta.....	25
4.3.3. Proračun uzdužne armature stupa	28
4.3.4. Proračun poprečne armature stupa.....	29
4.3.5. Skice armature stupa	29
4.3.6. Model nadvožnjaka s dva nepomična stupišta (faktor ponašanja $q=1,5$).....	30
5. ZAKLJUČAK.....	34
POPIS LITERATURE.....	35

POPIS SLIKA	36
POPIS TABLICA.....	38
PRILOG A	39
PRILOG B	40
PRILOG C.....	41

1. UVOD

Ovaj završni rad pod nazivom Seizmički proračun mosta podijeljen je u tri poglavlja u kojima se opisuje potres, odnosno njegovo djelovanje na konstrukcije te ponašanje konstrukcije s naglaskom na mostove.

U prvom poglavlju obrađena je seizmologija kao grana geofizike, njen razvoj te pojmovi poput litosferne ploče i seizmičkih valova. Također, važni su geotehnički utjecaji na konstrukciju gdje jako veliku ulogu preuzima vrsta tla na kojoj će se graditi, njegova čvrstoća i slijeganje.

U drugom poglavlju detaljnije i konkretnije se obrađuje seizmičko djelovanje prema važećim normama Eurokoda 8. Proći će se kroz zahtjeve i kriterije koje je potrebno ispuniti, način na koji se određuje potresno djelovanje, sami proračun, a na koncu i provjere čvrstoće te razrada detalja. Uvidom u kartu potresnih područja i tip temeljnog tla dobit će se jasnija vizija u daljnji tok projektiranja za cjelovitu konstrukciju, a provjerama će se osigurati rušenja i oštećenja. Jedan od glavnih pojmova koji će se obraditi je elastični spektar za dvije komponente potresnog djelovanja. Uz spektar, najviše riječi bit će o faktoru ponašanja i razini duktilnosti. U radu je navedeno više vrsta proračuna te što bi se dogodilo kombiniranjem potresnog djelovanja s drugim djelovanjima.

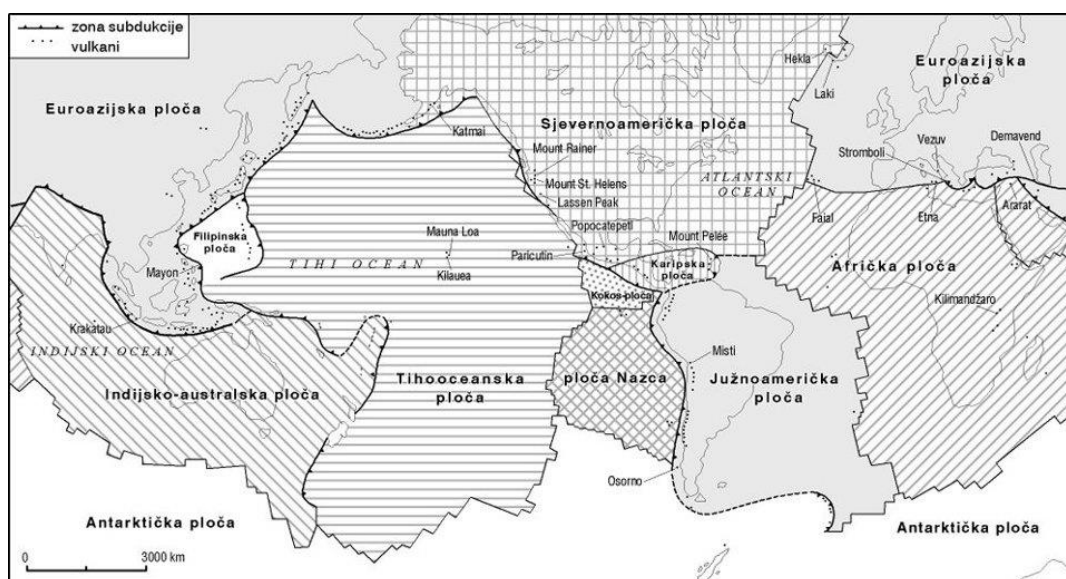
U trećem, odnosno posljednjem poglavlju napravljen je seizmički proračun na primjeru nadvožnjaka. Analiza je provedena u programu Sofistik gdje je modeliran most na osnovu djelovanja potresnih sila dobivenih na temelju odabrane lokacije mosta i njezinog potresnog područja. Na kraju, pomoću dobivenih podataka iz softvera, dimenzioniran je stup mosta.

2. SEIZMOLOGIJA I GEOTEHNIČKI UTJECAJI

Seizmologija je grana geofizike koja proučava potrese i njihova popratna djelovanja – učinak na površinu i na objekte. Bavi se proučavanjem rasprostiranja seizmičkih valova, odnosno pitanjima nastanka potresa, procesa tijekom potresa i njihovih posljedica. Potres se definira kao „iznenadno oslobađanje nakupljene energije unutar ograničenog područja na Zemlji“, a današnja seizmologija poznaje nekoliko različitih uzročnika i vrsta potresa. Najčešći su tektonski potresi (>90%) koji nastaju na rasjedima i rezultat su djelovanja tektonskih sila, a osim njih postoje još vulkanski, urušni, impaktni i umjetni. [1]

Seizmologija se kroz povijest itekako razvijala. U počecima je nastanak potresa povezan s idejama mitološkog podrijetla, proučavani su odnosi Sunca, Mjeseca i zvijezda te Zemljino uporište. Razvojem čovječanstva i znanosti razvijala se i seizmologija, a naglim razvojem računala u drugoj polovici 20. stoljeća omogućeno je rješavanje složenijih numeričkih problema vezanih uz potresne valove. [2] [3]

Cijelim tim razvojem ove znanosti spoznalo se postojanje 12 litosfernih ploča ispod Zemljine kore (slika 1) i došlo do zaključka da potres nastaje kada se u podzemnom žarištu (hipocentru) dio potencijalne energije elastično napetih stijena pretvori u kinetičku energiju elastičnih titranja. Litosferne ploče se neprekidno kreću, sudaraju, razmiču i klize jedna uz drugu duž rasjeda i te interakcije uzrokuju nakupljanje napetosti koja se onda vremenom oslobađa u obliku potresa. Svojim gibanjem šire valove do najbliže točke na površini, tj. epicentra. Tu je potres najjači, a dalje se širi horizontalno po površini. [4]



Slika 1. Prikaz tektonike ploča [3]

Danas seizmologija koristi napredne tehnologije i metode za proučavanje potresa. Seizmički valovi, koji nastaju tijekom potresa, daju dodatne podatke o unutrašnjosti Zemlje. Postoje dvije vrste seizmičkih valova, a to su površinski i unutarnji. Kako i samo ime kaže, površinski putuju po površini Zemlje, a unutarnji kroz Zemljinu unutrašnjost. Unutarnji se dijele na primarne (P) valove i sekundarne (S) valove. Primarni su najbrži i prvi se identificiraju, a nakon njih dolaze sekundarni te oni ne mogu prolaziti kroz tekuće dijelove Zemlje. [5]

Potres se prati seizmografima koji bilježe vertikalnu i dvije horizontalne komponente seizmičkih valova te na seizmogramu dobivamo podatke poput položaja epicentra, dubine hipocentra, vremena oslobađanja energije. Očitani valovi na seizmogramu razlikovat će se s obzirom na međusobnu udaljenost hipocentra i epicentra. Ako je energija potresa velika, podrhtavanja i razdvajanja tla mogu izazvati oštećenja građevina na tim prostorima. [4]

Time vidimo kako seizmologija svoju primjenu prvenstveno ima u građevinarstvu. Manji potresi uzrokuju manje štete, dok veliki potresi mogu uzrokovati mnogo veće štete te ljudske žrtve. Međutim, ljudske žrtve nisu izravna posljedica potresa, već potresom odlomljenih dijelova građevina. Pojava požara također se često javlja nakon potresa pucanjem plinskih i električnih instalacija. Potresi ostavljaju ozbiljne posljedice i zato se od njih ne branimo njihovim predviđanjem, već zaštitom u vidu projektiranja korištenjem znanja iz povijesti. Projektiranje građevina otpornih na potrese bazira se na korištenju podataka o seizmičkim silama na nekom mjestu uzimajući u obzir vremensko razdoblje, odnosno povratni period pojave prethodnih potresa.

Na ponašanje potresa velik utjecaj ima vrsta tla. Lokalni geološki i geomorfološki uvjeti mogu povećati ili smanjiti djelovanje seizmičkih valova. Tako će uvijek više stradati područja u glinenim i rahlijim tlima, nego ona tla kojima je podloga npr. stijena. Iskustveno također znamo da je bolje graditi gdje je tlo stabilno i čvrsto. Samim time stabilna lokacija je uvjet za bilo kakvu gradnju te ona predstavlja temelj ostalih stavki o tipovima tla. Tijekom i nakon potresa može doći do sloma u vidu proklizavanja ili razdvajanja tla. Proklizavanje se često javlja kod pješćanih ili glinenih tala. Kod razdvajanja dolazi do pucanja diskontinuiteta, a ono može biti horizontalno (slijeganje tla) ili vertikalno (otvaranje zemlje). [6] [7]

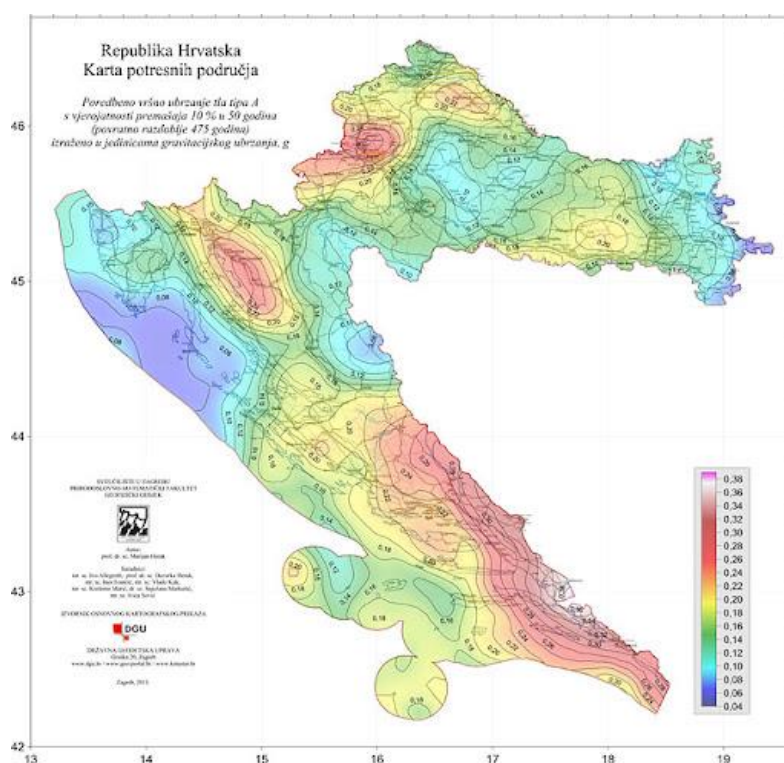
Kod sitnozrnatih tala ne dolazi do većeg gubitka čvrstoće što dovodi do manjih slijeganja. Međutim, kod temelja samaca i kod temeljnih traka potrebno je odrediti nosivost u nedreniranim uvjetima. Time se pokazuje da, osim o vrsti tla, ponašanje ovisi o vrsti temelja i cikličkom opterećenju. Uvažavanje svih djelovanja i utjecaja temelj je za seizmički sigurnu konstrukciju s geotehničke strane. [8]

3. SEIZMIČKO DJELOVANJE NA MOSTOVE PREMA VAŽEĆIM NORMAMA

3.1. Zahtjevi i kriteriji

Konstrukcije se uvijek projektiraju i grade s određenim stupnjem pouzdanosti. Važno je da ne dođe do lokalnog ili globalnog rušenja, stoga je potrebno zadržati cjelovitost konstrukcije i preostalu nosivost. To postizemo određivanjem djelovanja i maksimalnih opterećenja pomoću kojih dimenzioniramo određenu konstrukciju kako bi tijekom svog životnog vijeka zadržala nosivost i uporabivost. Tako je i u slučaju potresa potrebno zaštititi ljudske živote, ograničiti štete te osigurati funkcionalnost konstrukcija čime se posebno bavi Eurokod 8, odnosno norma HRN EN 1998 koja je podijeljena u više poglavlja. Opća pravila i potresno djelovanje predmet su proučavanja prvog dijela (HRN EN 1998-1), a specifično mostovima bavi se drugi dio Eurokoda 8 (HRN EN 1998-2). Uz norme postoje i Nacionalni dodaci koji mogu sadržavati dodatna granična stanja u pojedinim zemljama.

Unatoč gradnji konstrukcija s određenim stupnjem pouzdanosti, ona nije uvijek maksimalna, već ovisi o namjeni mosta. Za stalne mostove se najčešće uzima mjerodavni potres s vjerojatnošću premašenja od 10% u razdoblju od 50 godina za povratni period od 475 godina. Na osnovu opažanja rade se karte potresnih područja koje pobliže obrađuju i prikazuju ubrzanja tla. [9] Na slici 2 prikazana je karta potresnih područja Hrvatske.



Slika 2. Karta potresnih područja Hrvatske [10]

Karta prikazuje horizontalna ubrzanja površine temeljnog tla tipa A izazvana potresom. Nastanak budućeg potresa ne ovisi o prethodnim potresima. Povratno razdoblje samo procjenjuje ukupan broj potresa čije se događanje može očekivati tijekom nekog perioda, a ne vrijeme u kojem će se potres zaista dogoditi. [11]

Jako bitni podaci tijekom proračuna potresnog djelovanja su podaci o tlu i uvjetima temeljenja. Važan čimbenik kod temeljnog tla je sama lokacija zbog rizika sloma, nestabilnosti kosina i slijeganja. Sve to uvjetuje projektiranje, odabir temelja i cijele konstrukcije mosta. Stoga Eurokod daje tablicu (tablica 1) s tipovima i opisom temeljnog tla te podacima o parametrima kao što su prosječna brzina poprečnog vala, broj udaraca (standardni penetracijski test) i posmična čvrstoća tla. [9]

Tablica 1. Tipovi temeljnog tla [9]

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (udara/30 cm)	c_u (kPa)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	>800	-	-
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360-800	>50	>250
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180-360	15-50	70-250
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	<180	<15	<70
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima $v_{s,30}$ za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s $v_{s,30} > 800$ m/s			
S ₁	Nanosi koje se sastoje od, ili sadrže, sloj debljine najmanje 10 m mekih glina/praha s velikim indeksom plastičnosti ($PI > 40$) i velikim sadržajem vode	<100 (približno)	-	10-20
S ₂	Nanosi tla podložnih likvefakciji, osjetljivih glina ili svaki drugi profil tla koji nije obuhvaćen tipovima od A do E ili S ₁			

Granična stanja (nosivosti i oštećenja) provode se kako bi se ispunili zahtjevi da ne dođe do rušenja i oštećenja. Granično stanje nosivosti dovodi do sloma koji ugrožava sigurnost ljudi, a granično stanje oštećenja do nemogućnosti uporabe. Kako bi se konstrukcija smatrala stabilnom, mora se provjeriti kao cjelina, a provjere koje se provode su na prevrtanje i klizanje. Što se tiče unutarnjih sila, potrebno je osigurati da elementi temelja i temeljno tlo preuzimaju opterećenja bez trajnih deformacija. Na nekim dijelovima mosta ipak smije doći do oštećenja, no njih treba proračunati za korištenje za izvanredni promet i omogućiti im lagan popravak. To se većinom odnosi na sekundarne dijelove kao što su razdjelnice i ograde. U stupištima je dopušteno da dođe do popuštanja pri čemu se stvaraju plastični zglobovi. U područjima velike seizmičnosti takva popuštanja su nužna kako bi se smanjilo proračunsko potresno djelovanje. [9] [12]

Dvije karakteristike elemenata kod projektiranja su otpornost materijala na potres i mogućnost rasprostiranja energije. Otpornost na potres označava sposobnost materijala i konstrukcije da izdrže sile koje nastaju uslijed seizmičkih aktivnosti, dok se mogućnost rasprostiranja energije odnosi na kapacitet same konstrukcije za apsorpiranje i raspršivanje energije generirane tijekom potresa. Odnos među njima opisan je faktorom ponašanja q i razinom duktilnosti. Duktilnost omogućava konstrukciji da prođe kroz deformacije bez naglog sloma i time smanjuje rizik i opasnost od katastrofe. Kako bi se osigurala dostatna sposobnost deformiranja konstrukcije i kumulativne sposobnosti trošenja energije, mora se izbjeći krhki lom ili stvaranje nestabilnih mehanizama. Krhki lom se događa kada materijal ili konstrukcija pod opterećenjem naglo popušta bez prethodnih upozorenja što stvara opasnost prilikom evakuacije ili drugih zaštitnih mjera. Zbog toga su uvijek poželjniji neodređeni sustavi gdje, i u slučaju sloma, konstrukcija ostaje stabilna. [7] [9]

Ovisno o seizmičnosti lokacije most se mora proračunati tako da je njegovo ponašanje pri proračunskom potresnom djelovanju duktilno ili ograničeno duktilno. Za duktilno ponašanje most se projektira u područjima umjerene do velike seizmičnosti. Potrebno je previdjeti pouzdane načine trošenja energije pri jakim potresima tako što se osigura stvaranje plastičnih zglobova pri savijanju. Zglobovi se najčešće stvaraju u stupištima, a poželjno bi bilo da se stvore u što više stupišta istovremeno. Najbolje bi bilo odabrati one točke koje su dostupne za pregled i popravak, a nikako se ne bi smjeli stvoriti u armiranobetonskim presjecima. Na njih se provodi provjera otpornosti kako bi imali adekvatnu čvrstoću na savijanje. Također, među različitim dijelovima konstrukcije trebala bi postojati hijerarhija otpornosti te zato vrijedi proračun sposobnosti kojim se osigurava stvaranje plastičnih zglobova kod predviđenih oblika i izbjegavanje sloma kod krhkih. [12]

3.2. Potresno djelovanje

Pri određivanju veličine potresnog djelovanja razmatra se samo ono preneseno od temeljnog tla na konstrukciju. Međutim, potresi mogu izazvati stalne pomake koji dovode do sloma temeljnog tla ili prijeloma rasjeda te tako stvaraju ozbiljne posljedice za mostove. Posljedice takvih opasnosti treba svesti na najmanju moguću mjeru, a veliku ulogu pri smanjenju tih posljedica ima odabir konstrukcijskog sustava. [12]

Elastični spektar ubrzanja odziva temeljnog tla, odnosno tzv. „elastični spektar odziva“, služi kao prikaz za potresno gibanje u nekoj točki. Kod ove metode u proračun se uzimaju 3 translacijske komponente potresnog djelovanja (uzdužni, poprečni i vertikalni smjer) te se proračunavaju odvojeno. Međutim, kako se potresno djelovanje može prikazati i preko vremenskih zapisa ubrzanja i srodnih veličina (brzine i pomaka), tada se proračun provodi istovremeno za djelovanje različitih komponenti. Bez obzira koristi li se za proračun spektar odziva ili vremenski zapis, potrebno je odrediti svaku komponentu. [9] [12]

Elastični spektar odziva za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja prikazan je na slici 3 i određen sljedećim izrazima [9]:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4: \quad S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

gdje je:

$S_e(T)$ – elastični spektar odziva

T – period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode

a_g – proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A

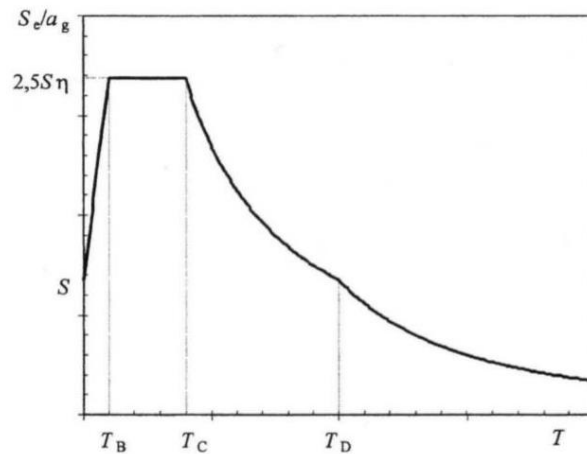
T_B – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_C – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_D – vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka

S – faktor tla

η – faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost $\eta = 1,5$ za 5%-tno viskozno prigušenje

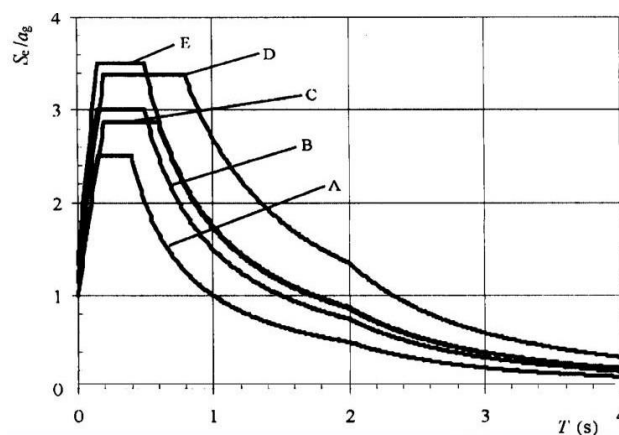


Slika 3. Oblik elastičnog spektra odziva [9]

Parametri S , T_B , T_C , T_D , koji definiraju oblik horizontalnih elastičnih spektara odziva, dani su za svaki tip temeljnog tla i tip spektra u nacionalnom dodatku, a Hrvatska primjenjuje elastični spektar tipa 1. [11]

Tablica 2. Vrijednosti parametara za elastični spektar odziva tipa 1 [9]

Tip temeljnog tla	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Slika 4. Elastični spektar odziva tipa 1 za tlo tipa A – E (5% prigušenje) [9]

Izrazi za vertikalnu komponentu potresnog djelovanja su sljedeći [9]:

$$0 \leq T \leq T_B: S_{ve}(T) = a_{vg} \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_{ve}(T) = a_{vg} \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_{ve}(T) = a_{vg} \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4: S_{ve}(T) = a_{vg} \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Za vertikalnu komponentu, kao i za horizontalnu, Hrvatska primjenjuje elastični spektar tipa 1 s preporučenim vrijednostima danima u nastavku. [11]

Tablica 3. Vrijednosti parametara za vertikalni elastični spektar odziva tipa 1 [9]

Spektar	a_{vg}/a_g	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
Tip 1	0,90	0,05	0,15	1,0

S druge strane, provođenjem nelinearnog proračuna upotrebom vremenskog zapisa upotrebljavaju se tri para zapisa komponenti horizontalnog gibanja temeljnog tla. Odabiru se parovi čije magnitude, udaljenosti izvora i mehanizmi odgovaraju potresima kojima se definira proračunsko potresno djelovanje. Komponente parova moraju djelovati istovremeno, a u slučaju nedostatka zapisa uzimaju se prilagođeni zapisi ili umjetni akcelerogrami. [12]

3.3. Proračun

Raspodjela krutosti i masa predstavljena je modelom mosta i odabirom dinamičkih stupnjeva slobode. Na taj način aktiviraju se svi važni oblici deformiranja i inercijskih sila. U proračun se uzimaju dva odvojena modela; jedan u uzdužnom smjeru, drugi u poprečnom. Vertikalna komponenta se smije izostaviti u maloj i umjerenoj seizmičnosti, no u područjima velike seizmičnosti potrebno ju je proučiti ako su stupišta izložena velikim naprezanjima. [12]

Faktor ponašanja definiran je globalno za cijelu konstrukciju i označava njezinu sposobnost duktilnosti, tj. sposobnost elemenata da bez sloma preuzmu potresna djelovanja u poslijeelastičnom području. Približno, to je omjer potresnih sila kojima bi konstrukcija bila izložena kad bi njezin odziv u cijelosti bio elastičan i potresnih sila koje se koriste u

proračunu. S obzirom na poslijeelastično ponašanje duktilnih elemenata kod kojih dolazi do najvećeg trošenja energija, u normi su dane najveće vrijednosti faktora ponašanja q . Kod duktilnog ponašanja je u granicama od 1,5 do 3,5, a za ograničeno duktilno ponašanje $q \leq 1,5$. [12] [13]

Tablica 4. Najveće vrijednosti faktora ponašanja q [12]

Tip duktilnih elemenata	Ponašanje pri potresu	
	Ograničeno duktilno	Duktilno
Armiranobetonska stupišta		
Vertikalna stupišta pri savijanju	1,5	3,5 λ
Nagnute razupore pri savijanju	1,2	2,1 λ
Čelična stupišta		
Vertikalna stupišta pri savijanju	1,5	3,5
Nagnute razupore pri savijanju	1,2	2,0
Stupišta s uobičajenim ukrućenjem	1,5	2,5
Stupišta s ekscentričnim ukrućenjem	-	3,5
Upornjaci kruto spojeni s rasponskim sklopom		
Općenito	1,5	1,5
Ukopane konstrukcije	1,0	1,0
Lukovi	1,2	1,0

Prema vrsti i tipu opterećenja proračun može biti statički i dinamički, a prema načinu ponašanja gradiva linearni i nelinearni te prema tome postoji više metoda proračuna. Jedan od linearnih dinamičkih proračuna je metoda spektra odziva. To je elastični proračun najvećeg dinamičkog odziva svih značajnih oblika vibracije konstrukcije uz korištenje ordinata najvećeg proračunskog spektra koji je ovisan o lokaciji. Ukupan odziv dobiva se statističkom kombinacijom najvećih doprinosa pojedinih oblika vibracija. Ova metoda smije se koristiti u svim slučajevima u kojima je dopušten linearni proračun. [12] [14]

Kod metode osnovnog oblika vibracija potresne sile određuju se iz inercijskih sila koje odgovaraju osnovnom obliku vibracija i vlastitom periodu konstrukcije. Postoje tri različita modela zbog posebnih značajki mosta, a to su model krutog rasponskog sklopa, model deformabilnog rasponskog sklopa te model pojedinačnog stupišta. Ova metoda se koristi kada se dinamičko ponašanje može dovoljno približno odrediti model s jednim dinamičkim stupnjem slobode. Od drugih linearnih metoda postoji proračun upotrebom vremenskih

nizova gdje se proračunsko potresno djelovanje mora uzeti kao prosječna vrijednost ekstremnih odziva. [12]

Također, postoje i nelinearni proračuni – dinamički (proračun upotrebom vremenskog zapisa) i statički (proračun postupnog guranja). Glavni cilj proračuna upotrebom vremenskog zapisa je provjeriti stvarni način stvaranja plastičnog zgloba, procijeniti i provjeriti zahtjeve s obzirom na pomake te odrediti zahtjeve čvrstoće kako bi se spriječili neduktilni oblici sloma i provjerilo tlo. S druge strane, kod proračuna postupnog guranja javljaju se konstantna vertikalna (gravitacijska) opterećenja i monotono rastuća horizontalna opterećenja koja predstavljaju učinak horizontalne potresne komponente. Glavni ciljevi su procjena redoslijeda i konačni oblik stvaranja plastičnog zgloba, procjena preraspodjele sila te ocjena krivulje sila – pomak konstrukcije („krivulja sposobnosti“). Metoda se može koristiti za cijelu konstrukciju ili pojedine dijelove mosta. [12]

3.4. Provjera čvrstoće

Provjere čvrstoće provode se na sustave potresno otpornih mostova, dobivenih linearnom metodom proračuna, uzimajući u obzir duktilno ili ograničeno duktilno ponašanje konstrukcije. Ako su mostovi proračunati na duktilno ponašanje gdje je $q > 1,5$, tada se betonski elementi, u kojima postoji mogućnost stvaranja plastičnih zglobova, moraju armirati čelikom razreda C. U slučaju da su proračunati na ponašanje gdje je $q \leq 1,5$, tada se svi betonski elementi mosta moraju armirati čelikom razreda B. [12]

Za učinke proračuna sposobnosti provodi se analiza predviđenog plastičnog mehanizma za nepotresna djelovanja u proračunskoj potresnoj situaciji te na razini potresnog djelovanja u promatranom smjeru gdje su zglobovi nastali savijanjem stvorili momente koji se nazivaju momenti povećane čvrstoće M_0 , a računa se prema izrazu:

$$M_0 = \gamma_0 M_{Rd}$$

gdje je:

γ_0 – koeficijent povećane čvrstoće

M_{Rd} – proračunska čvrstoća na savijanje presjeka (temelji se na stvarnim geometrijskim svojstvima presjeka)

Vrijednost koeficijenta povećane čvrstoće odnosi se na promjenjivost svojstava čvrstoće materijala te omjer čvrstoće i granice popuštanja. Preporučene vrijednosti koeficijenta su $\gamma_0 = 1,35$ za betonske elemente i $\gamma_0 = 1,25$ za čelične elemente, a one su prihvaćene i u nacionalnom dodatku. [12] [15]

Što se tiče kombinacija potresnog djelovanja s drugim djelovanjima, proračunska vrijednost E_d učinaka djelovanja u potresnoj proračunskoj situaciji određuje se prema izrazu [12]:

$$E_d = G_k + P_k + A_{Ed} + \psi_{2,1} Q_{1,k} + Q_2$$

gdje je:

„+“ – „kombinira se s“

G_k – stalna djelovanja sa svojim karakterističnim vrijednostima

P_k – karakteristična vrijednost prednapinjanja nakon svih gubitaka

A_{Ed} – proračunsko potresno djelovanje

$Q_{1,k}$ – karakteristična vrijednost prometnog opterećenja

$\psi_{2,1}$ – faktor kombinacije za prometno opterećenje

Q_2 – nazovistalna vrijednost dugotrajnog djelovanja (tlaka zemlje, uzgona, struja...)

Učinke djelovanja prisilnih deformiranja izazvanih temperaturom, skupljanjem, slijeganjem oslonaca, trajnim pomacima temeljnog tla nije potrebno kombinirati s učincima potresnog djelovanja. Takva djelovanja se većinom javljaju postepeno, dok se potresno djelovanje događa naglo i intenzivnije. Također se izostavljaju djelovanja vjetra i snijega koja stvaraju opterećenja za određene vremenske uvjete. [12]

Za proračunsku otpornost konstrukcija ograničenog duktilnog ponašanja rade se provjere za otpornost presjeka na savijanje te provjere posmične otpornosti. Učinak potresnog djelovanja A_{Ed} dodatno se množi faktorom ponašanja q uzetog u linearnom proračunu, a vrijednosti otpornosti $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$ i $V_{Rd,max}$ moraju se podijeliti dodatnim koeficijentom sigurnosti γ_{Bd1} za krhki lom. Preporučena vrijednost γ_{Bd1} iznosi 1,25 te je prihvaćena u nacionalnom dodatku. [12] [15]

Kod konstrukcija duktilnog ponašanja provjerava se otpornost na savijanje presjeka s plastičnim zglobovima, otpornost na savijanje presjeka izvan područja plastičnih zglobova, posmična otpornost elementa izvan područja plastičnih zglobova, posmična otpornost plastičnih zglobova, provjera čvorova uz plastične zglobove te provjera rasponskog sklopa. Provjere se provode za najnepovoljniji učinak proračunskog djelovanja. [12]

Temelji mostova moraju se projektirati tako da pri potresnom djelovanju ostanu elastični čime se osigurava njihova sposobnost da izdrže seizmičke sile. Također, trebaju se izbjeći kao izvori trošenja energije što znači da je potrebno osigurati da ne apsorbiraju i disipiraju energiju nastalu tijekom potresa. Potrebno je omogućiti mostu da vrati u svoj prvobitni oblik i stanje nakon što seizmičko djelovanje prestane. Ovakav pristup osigurava dugotrajniju stabilnost i sigurnost mosta te smanjuje potrebu za popravcima nakon potresa. [12]

3.5. Razrada detalja

Neduktilne konstrukcije elemente poput ležajeva potrebno je proračunati na učinke potresnog djelovanja pri čemu se ti učinci množe odgovarajućim faktorom q . Međutim, takva provjera se može izostaviti u slučaju kada slom ne utječe na cjelovitost konstrukcije. To znači da kvar ležajeva neće dovesti do značajnijeg narušavanja i oštećenja iako ležajevi ne posjeduju duktilnost koja bi neutralizirala potres, odnosno osigurala neoštećenost. U situacijama kada njihov slom nema kritičan utjecaj na glavne nosive elemente konstrukcije nisu potrebne dodatne provjere za potresna djelovanja. [12]

Između rasponske konstrukcije i stupova su elastomerni ležajevi koji moraju imati prigušujuća svojstva kako bi što više energije akumulirali svojom mogućnošću pomicanja. Na taj način učinkovito prenose djelovanja na upornjake ili stupišta. Mogućnost ležaja da se deformira omogućuje akumuliranje energije potresa. Samom deformacijom smanjuju se unutarnje sile izazvane potresom, a time i opterećenja. [9] [12]

Upornjaci mogu biti deformabilno i kruto spojeni s rasponskim sklopom. Kod prvih sklop je oslonjen na klizne ili elastomerne ležajeve, a kod drugih spoj se smatra krutim ako je monolitan ili su prisutni nepomični ležajevi. Upornjaci kruto spojeni s rasponskim sklopom imaju velik značaj kod potresne otpornosti u uzdužnom i poprečnom smjeru. Potrebno je proračunati taj spoj na učinke djelovanja te svesti oštećenja tla ili nasipa iza upornjaka u granice prihvatljivosti ovisno o razredu važnosti mosta. Preporučene granične vrijednosti proračunskog potresnog pomaka određene su Eurokodom i dane u tablici 5. [12]

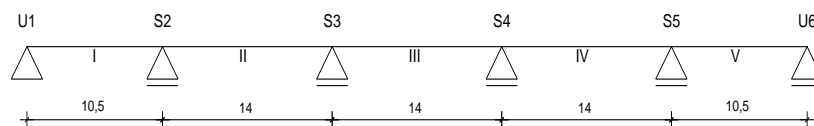
Tablica 5. Preporučena granična vrijednost proračunskog potresnog pomaka upornjaka kruto spojenih s rasponskim sklopom [12]

Razred važnosti mosta	Granica pomaka d_{lim} (mm)
III	60
II	30
I	nema ograničenja

4. SEIZMIČKI PRORAČUN NADVOŽNJAKA

4.1. Opis konstrukcije

Most je cestovni nadvožnjak koji prevodi cestu preko prepreke za koju je potrebno osigurati slobodni profil u iznosu od 7,80 m. Statički gledano radi se o kontinuiranom nosaču s pet raspona. Glavni rasponi su duljine 14 m, dok su rubni 10,5 m. Shematski prikaz statičkog sustava mosta dan je na slici 5, a detaljniji uzdužni presjek mosta u prilogu A. Nosiva konstrukcija mosta, odnosno rasponski sklop, je armiranobetonsko rebro visine 90 cm te klase betona C 30/37. Rasponska konstrukcija oslanja se na dva krajnja upornjaka i na četiri stupa. Ukupna širina mosta iznosi 10 m što je vidljivo na prilogu B koji prikazuje poprečni presjek mosta. Širina kolnika iznosi 590 cm, odnosno s obzirom na predviđenu brzinu od 50 km/h dovoljna su dva prometna traka širine po 275 cm svaki te dva rubna traka po 20 cm. Sa svake strane mosta su pješačke staze širine po 80 cm.



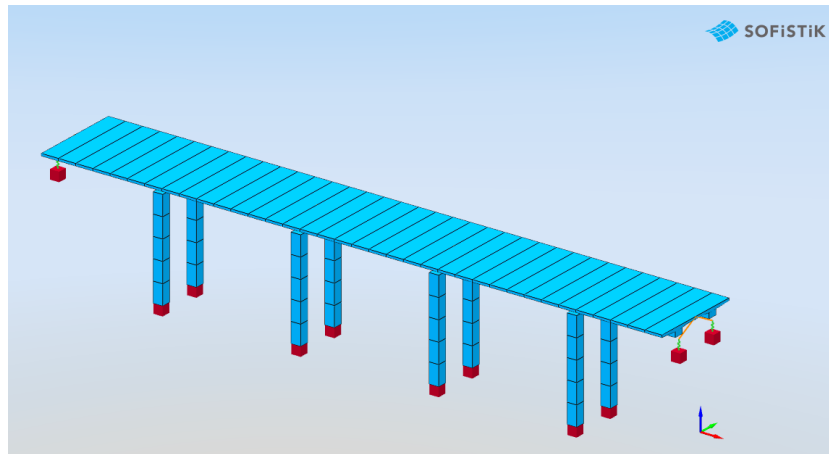
Slika 5. Shematski prikaz statičkog sustava mosta

Donji ustroj mosta čine stupovi i upornjaci čiji je zadatak prenijeti sile od djelovanja na konstrukciju u tlo te ostvariti neprimjetan prijelaz prometnice s mosta na tlo. Donji ustroj ovog mosta sastoji se od dva upornjaka i četiri stupa. Kod upornjaka debljina zida je 100 cm, a zidića 30 cm. Krila upornjaka su paralelna debljine 55 cm te ona preuzimaju opterećenja od rasponske konstrukcije i nasipa koji je izveden u nagibu 1:1 i čiji pokos je kamena obloga. Duljina prijelazne ploče je 400 cm te se ona izvodi zbog različitog slijeganja kod zida upornjaka i nasipa mosta kako bi se omogućio što jednostavniji prijelaz. Tlocrtna dimenzija temelja upornjaka je 920 x 800 cm, a širina zida upornjaka iznosi 820 cm. Što se tiče stupova, različitih su visina. Kvadratnog su tlocrtnog presjeka brida 100 cm, a temeljeni su na temelju tlocrtnih dimenzija 770 x 400 cm kako je prikazano na tlocrtu mosta (prilog C).

4.2. Analiza seizmičkog djelovanja nadvožnjaka

Analiza svih djelovanja obrađena je u programu Sofistik, softveru za statičke i dinamičke proračune. Radi lakšeg rada u softveru, postavljena je ravna niveleta te su stoga svi stupovi

jednakih visina, a model je prikazan na slici 6. Djelovanja koja su se uzimala u proračun su stalno djelovanje, odnosno vlastita težina, dodatna stalna djelovanja od asfalta, hidroizolacije, vijenca, rubnjaka, staze, pješačke ograde i elastičnog odbojnika te potresna djelovanja dobivena spektrom. Vrijednosti djelovanja su dane u nastavku, a uzimale su se po metru dužnom glavnog nosača.



Slika 6. Model nadvožnjaka

Površina poprečnog presjeka rasponskog sklopa:

$$A = 3,91 \text{ m}^2$$

4.2.1. Stalno opterećenje

Vlastita težina:

$$g_{vl} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,91 \text{ m}^2 = 97,75 \text{ kN/m}'$$

4.2.2. Dodatno stalno opterećenje

Asfalt:

$$g_1 = 22 \text{ kN/m}^3 \cdot 5,90 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ m} = 10,36 \text{ kN/m}'$$

Hidroizolacija:

$$g_2 = 21 \text{ kN/m}^3 \cdot 9,40 \text{ m} \cdot 0,01 \text{ m} = 1,97 \text{ kN/m}'$$

Vijenac, rubnjak, staza:

$$g_3 = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,53 \text{ m}^2 \cdot 2 = 26,50 \text{ kN/m}'$$

Pješačka ograda:

$$g_4 = 0,4 \text{ kN/m}' \cdot 2 = 0,8 \text{ kN/m}'$$

Elastični odbojnik:

$$g_5 = 0,4 \text{ kN/m}' \cdot 2 = 0,8 \text{ kN/m}'$$

Ukupno dodatno stalno:

$$g = 40,43 \text{ kN/m}'$$

4.2.3. Potresno opterećenje

Akceleracija tla za povratni period $T_p = 475$ godina za lokaciju Zagreb očitano sa seizmološke karte iznosi: $a_g = 0,255g$.

Tablica 6. Tip temeljnog tla A [9]

Kategorija tla	
Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	C

Tablica 7. Vrijednosti parametara za horizontalni spektar Tip 1 za tlo kategorije A [9]

Horizontalni spektar Tip 1	S	T_B	T_C	T_D
C	1,15	0,20	0,6	2,0

Tablica 8. Vrijednosti parametara za vertikalni spektar za sve kategorije tla [9]

Vertikalni spektar	a_{vg}/a_g	T_B	T_C	T_D
Sve kategorije tla	0,90	0,05	0,15	1,0

Proračunski horizontalni i vertikalni spektar određuje se prema gore iskazanim parametrima tla i akceleracije i prema sljedećim izrazima:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T \leq 4: S_d(T) \begin{cases} = a_g S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

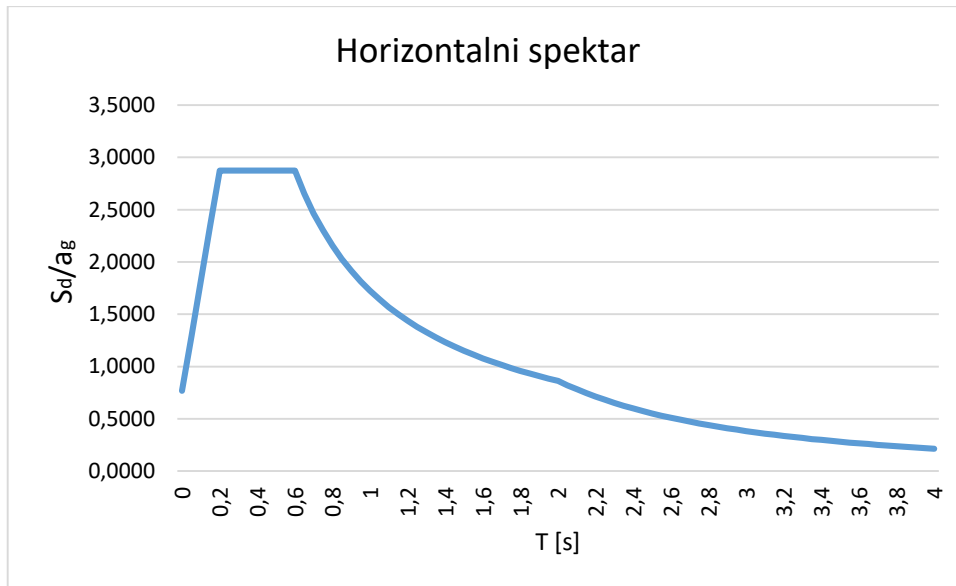
$$\beta = 0,2$$

Pretpostavlja se elastično neduktilno ponašanje stupova bez mogućnosti razvijanja plastičnih zglobova pa je u tom slučaju faktor ponašanja $q = 1,0$.

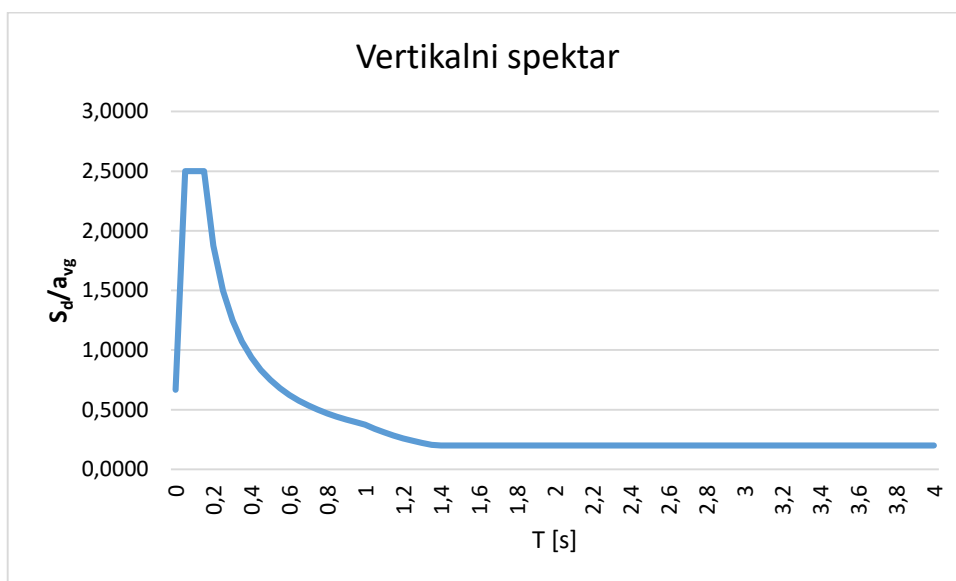
Prema gornjim izrazima određuju se vrijednosti odziva $S_d(T)$ za periode $T \in (0, 4 \text{ s})$ i grafički se prikazuje dijagram za horizontalni i vertikalni proračunski spektar. Vrijednosti odziva dane su u nastavku u tablici 9 te su na slikama 6 i 7 prikazani proračunski spektri.

Tablica 9. Vrijednosti odziva za periode $T < 0, 4 \text{ s}$

$T [s]$	$S_{d,hor}$	S_{ver}	$S_{d,hor}/a_g$	$S_{d,ver}/a_g$	$T [s]$	$S_{d,hor}$	S_{ver}	$S_{d,hor}/a_g$	$S_{d,ver}/a_g$
0	1,918	1,501	0,7667	0,6667	2,05	2,054	0,4503	0,8209	0,2000
0,05	3,236	5,628	1,2938	2,5000	2,1	1,957	0,4503	0,7823	0,2000
0,1	4,555	5,628	1,8208	2,5000	2,15	1,867	0,4503	0,7463	0,2000
0,15	5,873	5,628	2,3479	2,5000	2,2	1,783	0,4503	0,7128	0,2000
0,2	7,192	4,221	2,8750	1,8750	2,25	1,705	0,4503	0,6815	0,2000
0,25	7,192	3,377	2,8750	1,5000	2,3	1,631	0,4503	0,6522	0,2000
0,3	7,192	2,814	2,8750	1,2500	2,35	1,563	0,4503	0,6247	0,2000
0,35	7,192	2,412	2,8750	1,0714	2,4	1,498	0,4503	0,5990	0,2000
0,4	7,192	2,111	2,8750	0,9375	2,45	1,438	0,4503	0,5748	0,2000
0,45	7,192	1,876	2,8750	0,8333	2,5	1,381	0,4503	0,5520	0,2000
0,5	7,192	1,689	2,8750	0,7500	2,55	1,327	0,4503	0,5306	0,2000
0,55	7,192	1,535	2,8750	0,6818	2,6	1,277	0,4503	0,5104	0,2000
0,6	7,192	1,407	2,8750	0,6250	2,65	1,229	0,4503	0,4913	0,2000
0,65	6,639	1,299	2,6538	0,5769	2,7	1,184	0,4503	0,4733	0,2000
0,7	6,165	1,206	2,4643	0,5357	2,75	1,141	0,4503	0,4562	0,2000
0,75	5,754	1,126	2,3000	0,5000	2,8	1,101	0,4503	0,4401	0,2000
0,8	5,394	1,055	2,1563	0,4688	2,85	1,063	0,4503	0,4247	0,2000
0,85	5,077	0,993	2,0294	0,4412	2,9	1,026	0,4503	0,4102	0,2000
0,9	4,795	0,938	1,9167	0,4167	2,95	0,992	0,4503	0,3964	0,2000
0,95	4,542	0,889	1,8158	0,3947	3	0,959	0,4503	0,3833	0,2000
1	4,315	0,844	1,7250	0,3750	3,05	0,928	0,4503	0,3709	0,2000
1,05	4,110	0,766	1,6429	0,3401	3,1	0,898	0,4503	0,3590	0,2000
1,1	3,923	0,698	1,5682	0,3099	3,15	0,870	0,4503	0,3477	0,2000
1,15	3,752	0,638	1,5000	0,2836	3,2	0,843	0,4503	0,3369	0,2000
1,2	3,596	0,586	1,4375	0,2604	3,25	0,817	0,4503	0,3266	0,2000
1,25	3,452	0,540	1,3800	0,2400	3,3	0,793	0,4503	0,3168	0,2000
1,3	3,319	0,500	1,3269	0,2219	3,35	0,769	0,4503	0,3074	0,2000
1,35	3,196	0,463	1,2778	0,2058	3,4	0,747	0,4503	0,2984	0,2000
1,4	3,082	0,450	1,2321	0,2000	3,45	0,725	0,4503	0,2899	0,2000
1,45	2,976	0,450	1,1897	0,2000	3,5	0,705	0,4503	0,2816	0,2000
1,5	2,877	0,450	1,1500	0,2000	3,55	0,685	0,4503	0,2738	0,2000
1,55	2,784	0,450	1,1129	0,2000	3,6	0,666	0,4503	0,2662	0,2000
1,6	2,697	0,450	1,0781	0,2000	3,65	0,648	0,4503	0,2590	0,2000
1,65	2,615	0,450	1,0455	0,2000	3,7	0,630	0,4503	0,2520	0,2000
1,7	2,538	0,450	1,0147	0,2000	3,75	0,614	0,4503	0,2453	0,2000
1,75	2,466	0,450	0,9857	0,2000	3,8	0,598	0,4503	0,2389	0,2000
1,8	2,397	0,450	0,9583	0,2000	3,85	0,582	0,4503	0,2328	0,2000
1,85	2,333	0,450	0,9324	0,2000	3,9	0,567	0,4503	0,2268	0,2000
1,9	2,271	0,450	0,9079	0,2000	3,95	0,553	0,4503	0,2211	0,2000
1,95	2,213	0,450	0,8846	0,2000	4	0,539	0,4503	0,2156	0,2000
2	2,158	0,450	0,8625	0,2000					



Slika 7. Dijagram horizontalnog proračunskog spektra



Slika 8. Dijagram vertikalnog proračunskog spektra

4.2.4. Modovi osciliranja

U analizi seizmičkog proračuna bitni su i modovi osciliranja koji predstavljaju prirodne frekvencije konstrukcije. To znači da svaki mod odgovara određenom načinu na koji most može vibrirati kad je izložen dinamičkom opterećenju. Njihova analiza pokazuje kako se seizmičke sile raspoređuju duž konstrukcije. U nastavku su na slikama dani modovi osciliranja; jedan za sustav s jednim nepomičnim stupištem, drugi za sustav s dva nepomična stupišta.

Eigenvalues

No.	LC	λ [rad2/sec2]	error [-]	ω [rad/sec]	f [Hz]	T [sec]	ξ [%]	Meff			participation			
								X[%]	Y[%]	Z[%]	X[%]	Y[%]	Z[%]	
1	10001	1.6475E+01	-	4.059	0.646	1.548	5.000	84.6	0.0	0.0	86.6	0.0	0.0	
2	10002	3.6976E+02	-	19.229	3.060	0.327	5.000	0.0	70.2	0.0	0.0	71.9	0.0	
3	10003	1.3255E+03	-	36.408	5.794	0.173	5.000	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	
4	10004	1.3255E+03	-	36.408	5.794	0.173	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	10005	1.3255E+03	-	36.408	5.794	0.173	5.000	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.0	
6	10006	1.3255E+03	-	36.408	5.794	0.173	5.000	0.0	4.7	0.0	0.0	4.8	0.0	
7	10007	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	10008	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	
9	10009	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	10010	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	10011	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	
12	10012	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	7.7	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	
13	10013	1.5245E+03	-	39.045	6.214	0.161	5.000	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	
14	10014	2.3589E+03	-	48.568	7.730	0.129	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	10015	2.9881E+03	-	54.664	8.700	0.115	5.000	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	10016	3.0487E+03	-	55.215	8.788	0.114	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	10017	3.1330E+03	-	55.973	8.908	0.112	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	10018	3.6852E+03	-	60.706	9.662	0.104	5.000	0.0	0.0	12.7	0.0	0.0	13.0	
19	10019	4.3614E+03	-	66.041	10.511	0.095	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20	10020	5.5504E+03	-	74.501	11.857	0.084	5.000	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
								Σ (%) ¹	92.9	76.2	12.9	95.0	77.5	13.2

¹ Total effective mass / participation factors of activated masses in X-, Y- and Z-direction.

No.	eigenmode number	f	eigenfrequency
LC	load case	T	eigenperiod
λ	eigenvalue	ξ	modal damping ratio
error	relative eigenvalue error	Meff	effective modal mass in X-, Y- and Z-direction
ω	circular eigenfrequency	participation	participation factors in X-, Y- and Z-direction

Slika 9. Modovi osciliranja (jedno nepomično stupište)

Eigenvalues

No.	LC	λ [rad2/sec2]	error [-]	ω [rad/sec]	f [Hz]	T [sec]	ξ [%]	Meff			participation			
								X[%]	Y[%]	Z[%]	X[%]	Y[%]	Z[%]	
1	10001	3.2590E+01	-	5.709	0.909	1.101	5.000	86.9	0.0	0.0	88.9	0.0	0.0	
2	10002	3.9567E+02	-	19.891	3.166	0.316	5.000	0.0	74.5	0.0	0.0	76.2	0.0	
3	10003	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
4	10004	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	
5	10005	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	10006	1.3255E+03	-	36.408	5.795	0.173	5.000	5.2	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	
7	10007	1.5240E+03	-	39.039	6.213	0.161	5.000	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	
8	10008	2.3579E+03	-	48.559	7.728	0.129	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	10009	2.9881E+03	-	54.663	8.700	0.115	5.000	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	10010	3.0480E+03	-	55.209	8.787	0.114	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	10011	3.1330E+03	-	55.973	8.908	0.112	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	10012	3.6843E+03	-	60.698	9.660	0.104	5.000	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	12.9	
13	10013	4.2692E+03	-	65.339	10.399	0.096	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	10014	5.5501E+03	-	74.499	11.857	0.084	5.000	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	10015	5.5552E+03	-	74.533	11.862	0.084	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	10016	5.9632E+03	-	77.222	12.290	0.081	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	10017	6.1800E+03	-	78.613	12.512	0.080	5.000	0.0	0.0	54.8	0.0	0.0	56.1	
18	10018	1.2348E+04	-	111.121	17.686	0.057	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	10019	1.2659E+04	-	112.513	17.907	0.056	5.000	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	
20	10020	1.3017E+04	-	114.091	18.158	0.055	5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
								Σ (%) ¹	92.4	75.0	67.6	94.5	76.4	69.2

¹ Total effective mass / participation factors of activated masses in X-, Y- and Z-direction.

No.	eigenmode number	f	eigenfrequency
LC	load case	T	eigenperiod
λ	eigenvalue	ξ	modal damping ratio
error	relative eigenvalue error	Meff	effective modal mass in X-, Y- and Z-direction
ω	circular eigenfrequency	participation	participation factors in X-, Y- and Z-direction

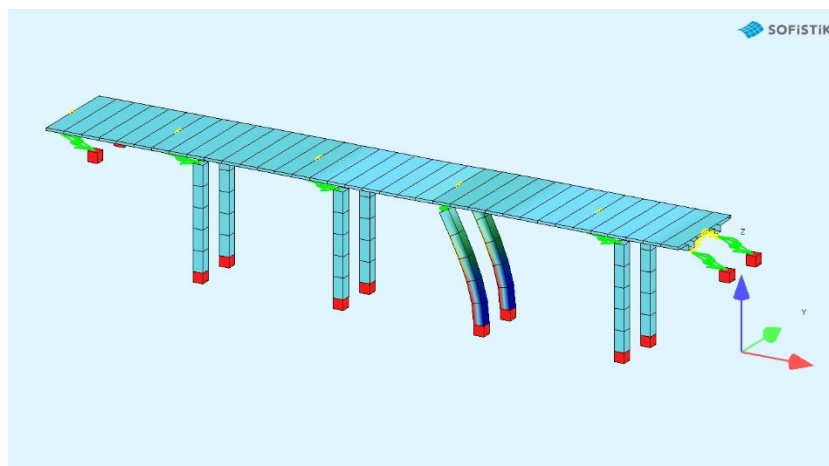
Slika 10. Modovi osciliranja (dva nepomična stupišta)

Prikazani podaci pokazuju koliki se postotak mase konstrukcije aktivirao u različitim tonovima oscilacije, odnosno za svaki pojedini. Vidljivo je da se u prvom tonu aktivira većina mase u uzdužnom smjeru pri odgovarajućoj frekvenciji. Ovaj ton predstavlja način vibriranja mosta u uzdužnom smjeru što ukazuje da će najviše reagirati na dinamičke sile koje djeluju u tom smjeru. S druge strane, u drugom tonu se većina mase aktivira u poprečnom smjeru, također pri odgovarajućoj frekvenciji. Taj ton naglašava ponašanje mosta kad je izložen silama koje djeluju poprečno na konstrukciju.

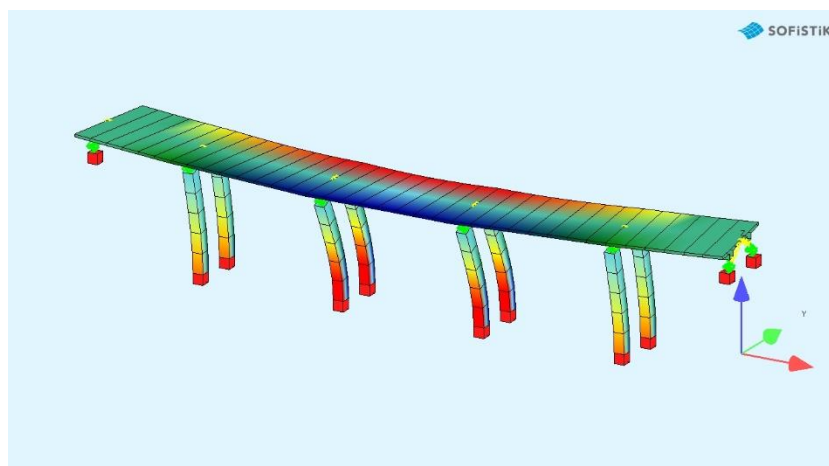
4.3. Rezultati seizmičke analize nadvožnjaka

4.3.1. Model nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem

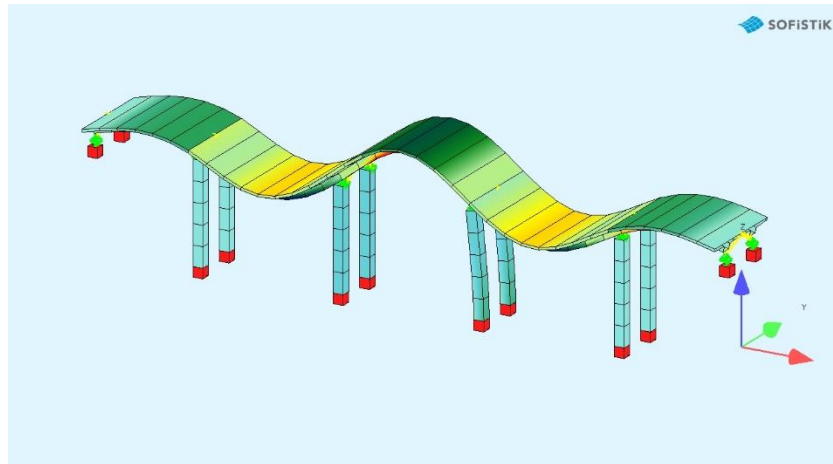
Nakon unosa u softver svih potrebnih podataka za analizu, dobiveni su rezultati tih istih djelovanja. Prikaz djelovanja potresa i ponašanja nadvožnjaka za različite frekvencije dan je na slikama 9, 10 i 11 u nastavku.



Slika 11. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (0,65 Hz)

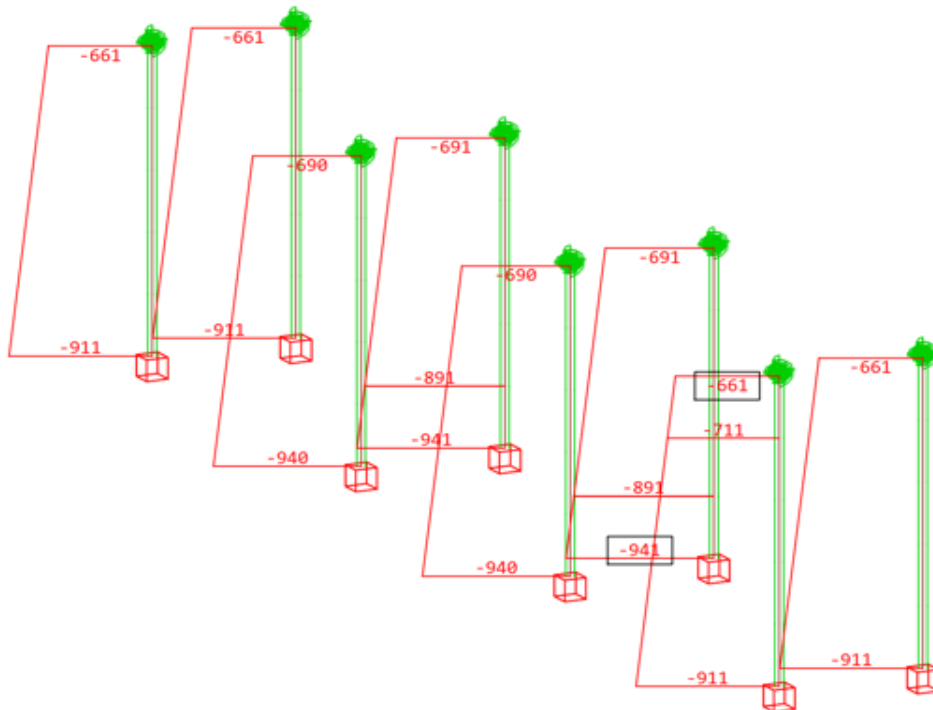


Slika 12. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (3,17 Hz)

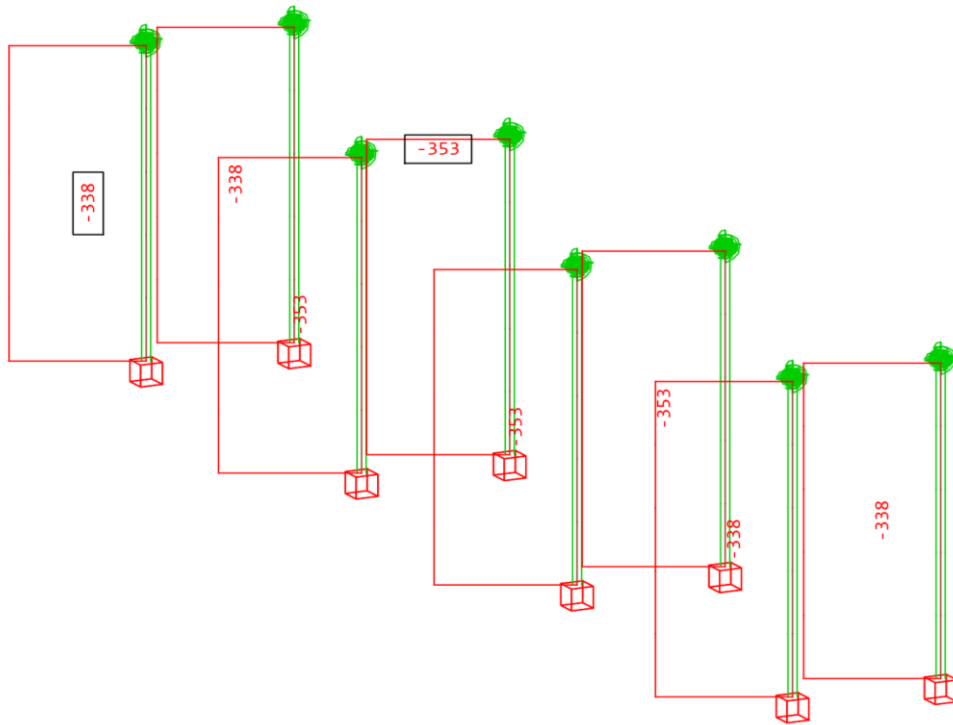


Slika 13. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (6,21 Hz)

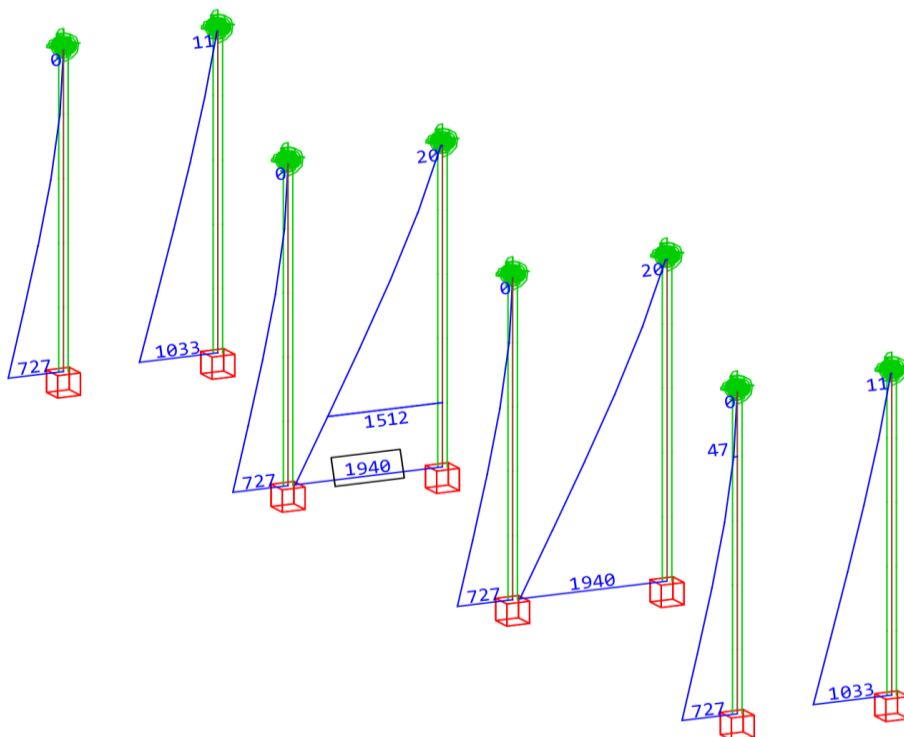
S obzirom da svaki stup preuzima određeno djelovanje, njihove vrijednosti sila i momenata su također prikazane u dijagramima. Na kraju su u tablici 10 očitane maksimalne vrijednosti koje su potrebne za dimenzioniranje stupa.

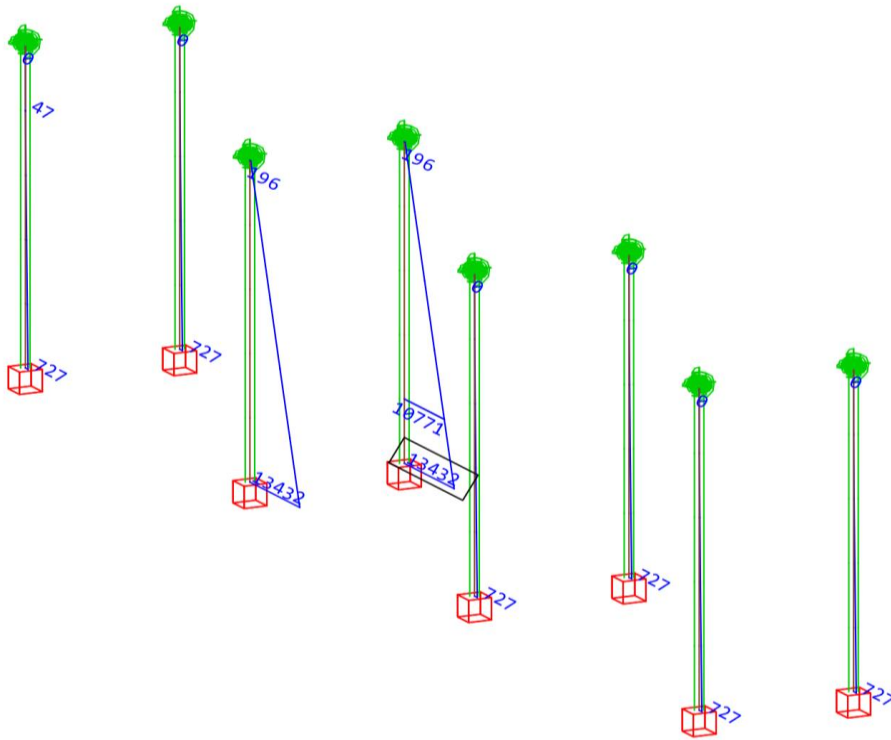
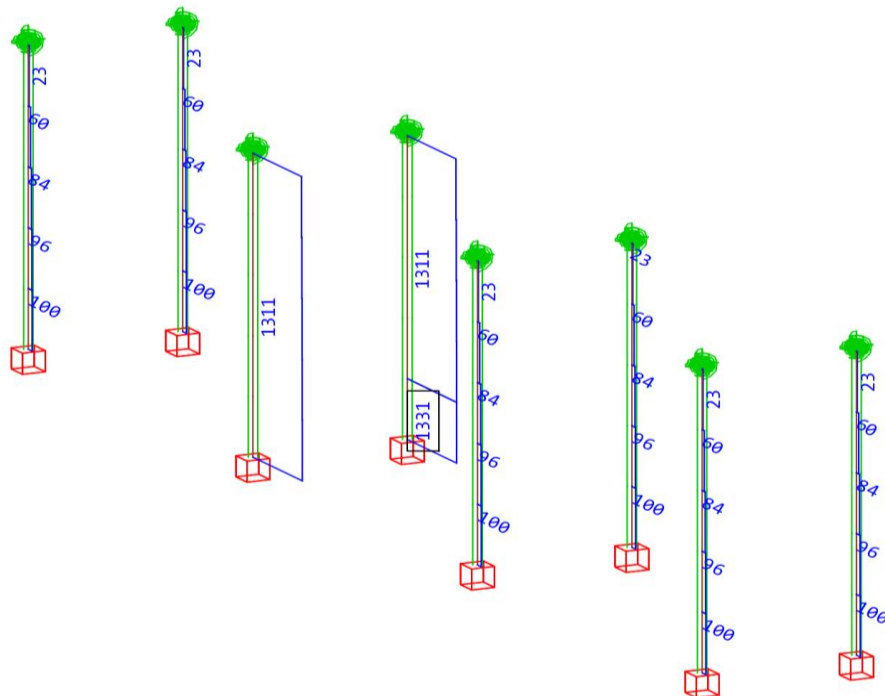


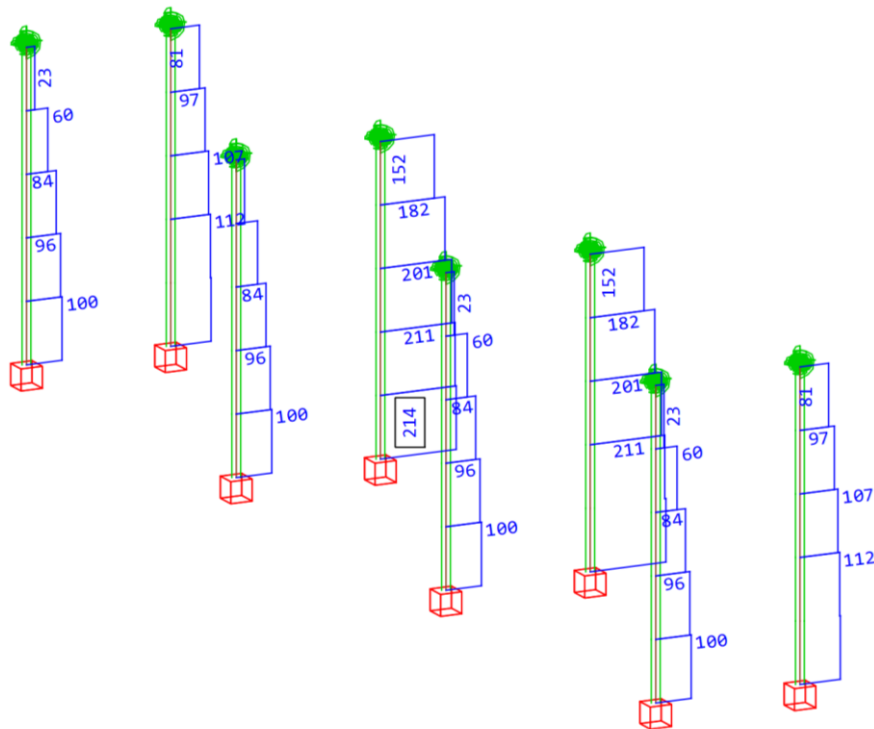
Slika 14. Uzdužna sila N od vlastite težine (jedno nepomično stupište)



Slika 15. Uzdužna sila N od dodatnog stalnog opterećenja (jedno nepomično stupište)

Slika 16. Moment M_y od potresnog opterećenja (jedno nepomično stupište)

Slika 17. Moment M_z od potresnog opterećenja (jedno nepomično stupište)Slika 18. Poprečna sila V_y (jedno nepomično stupište)

Slika 19. Poprečna sila V_z (jedno nepomično stupište)

Tablica 10. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem

N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1293	1311	214	1940	13432

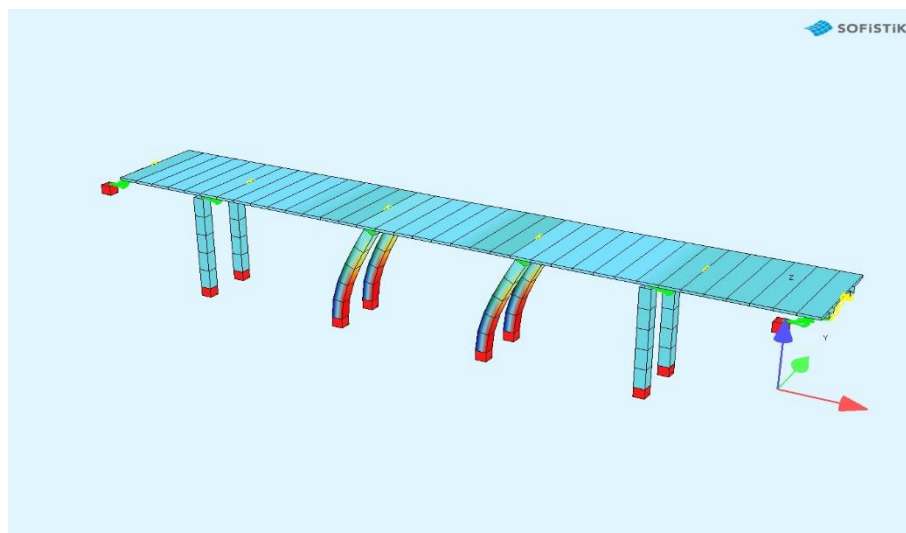
Uzdružna sila dobivena je zbrajanjem sile od vlastite težine te sile od dodatnog stalnog opterećenja. Za statičku analizu potresa u jednom smjeru uzima se 30% vrijednosti momenta/poprečne sile iz drugog smjera. Tako se u obzir uzimaju dva slučaja; jedan za dominantan smjer x (uzdužno na most), drugo za smjer y (poprečno na most). Ulazni podaci za dimenzioniranje u softveru i dobivene vrijednosti armature nakon dimenzioniranja navedene su u tablici 11.

Tablica 11. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem

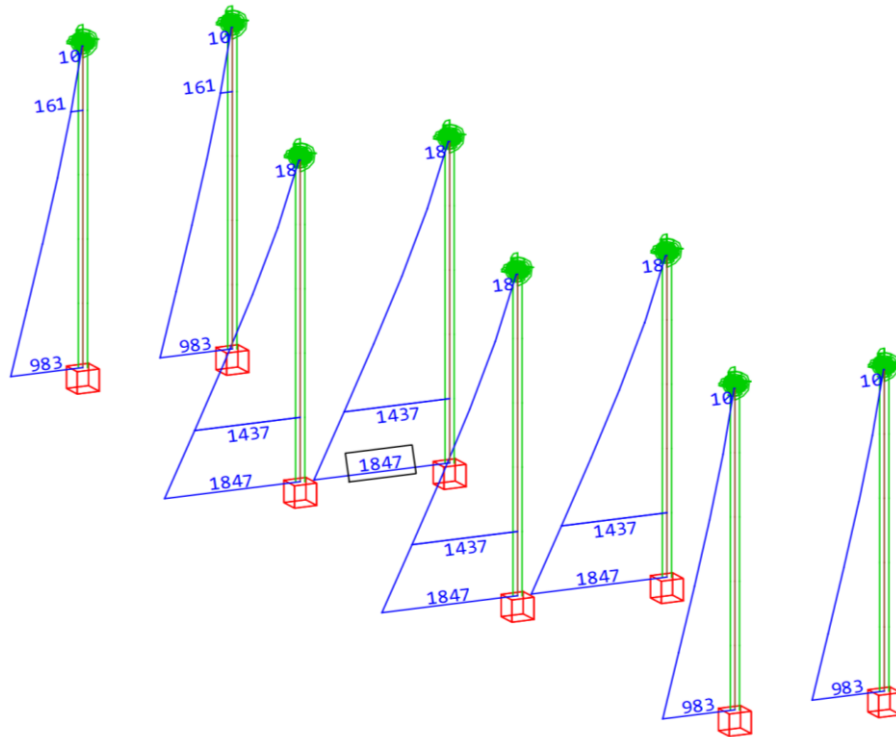
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	A_s [cm^2]	Layers	
1293	1311	65	582	13432	21,93	0,00	1
					37,29	0,00	2
					314,49	6,35	3
					176,23	6,35	4
1293	394	214	1940	4030	67,48	0,00	1
					11,93	0,00	2
					83,37	2,08	3
					11,93	2,08	4

4.3.2. Model nadvožnjaka s dva nepomična stupišta

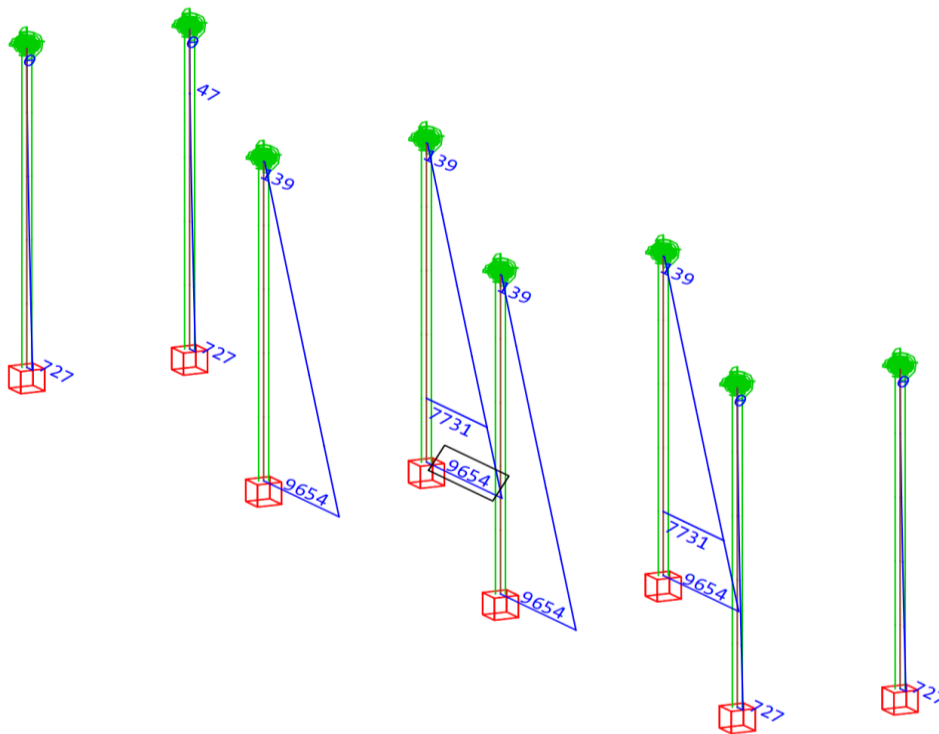
Za usporedbu, napravljen je model gdje su na dva unutarnja stupišta postavljeni nepomični ležajevi. Jedan od slučajeva ponašanja nadvožnjaka prikazan je na slici 20. Uzdužne sile od vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja jednaku su onima gdje su nepomični ležajevi samo kod jednog stupišta. Ponovljen je postupak kao kod sustava s jednim nepomičnim stupištem, odnosno prikaz vrijednosti sila i momenata dan je u dijagramima koji slijede, a konačno i tablica s maksimalnim vrijednostima.



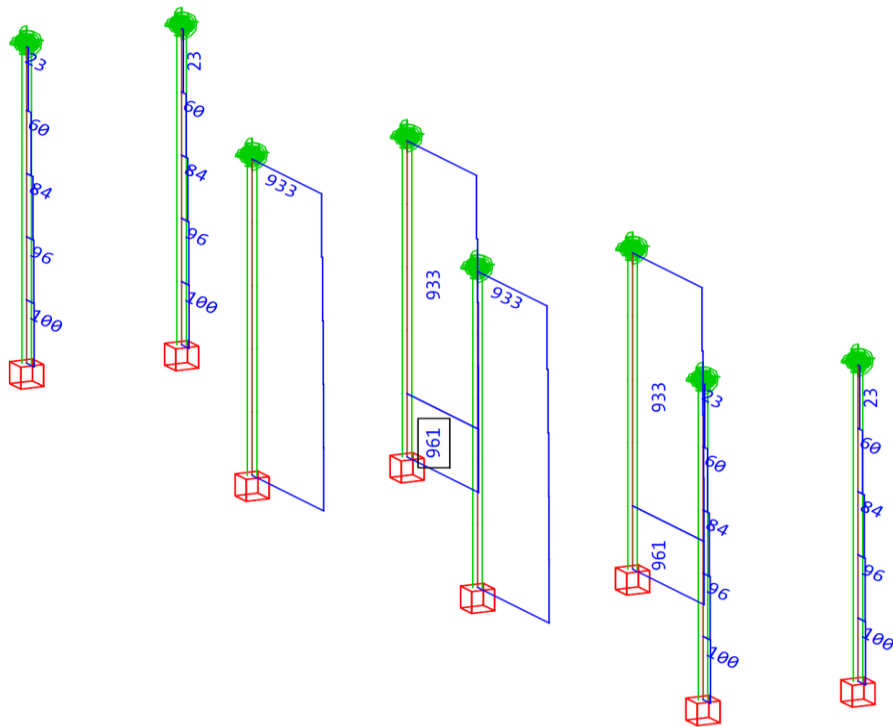
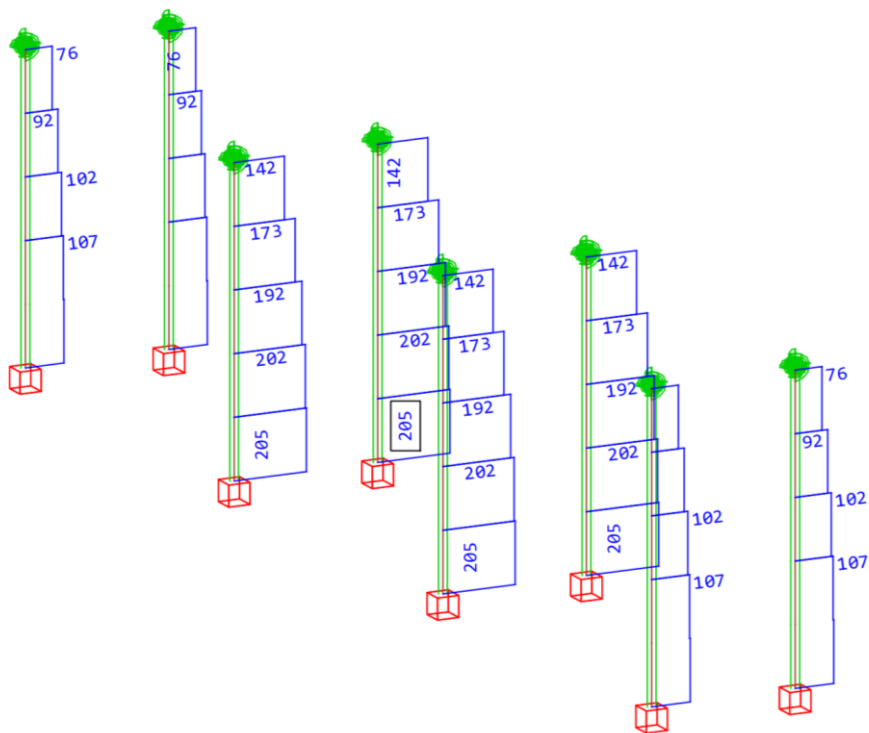
Slika 20. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (0,91 Hz)



Slika 21. Moment M_y od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta)



Slika 22. Moment M_z od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta)

Slika 23. Poprečna sila V_y (dva nepomična stupišta)Slika 24. Poprečna sila V_z (dva nepomična stupišta)

Tablica 12. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta

N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1293	961	205	1847	9654

Kod dimenzioniranja ponovno se u obzir uzimaju dva slučaja, odnosno dva smjera dominantnog djelovanja potresa, a svi potrebni podaci i konačne armature vidljive su u tablici 13.

Tablica 13. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta

N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	A_s [cm ²]		Layers
1293	961	62	555	9654	44,98	0,00	1
					11,93	0,00	2
					62,52	1,49	3
					11,93	1,49	4
1293	289	205	1847	2897	21,86	0,00	1
					24,54	0,00	2
					232,54	4,76	3
					90,38	4,76	4

4.3.3. Proračun uzdužne armature stupa

Minimalna uzdužna armatura stupa:

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{1293}{43,5} = 4,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 100 \cdot 100 = 100 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna uzdužna armatura stupa:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 100 = 400 \text{ cm}^2$$

4.3.4. Proračun poprečne armature stupa

Što se tiče poprečne armature, potrebno je usvojiti reznost i promjer vilica.

Pretpostavka: četverorezne spone ($m = 4$) $\emptyset 12$; $A_{sw}^1 = 1,13 \text{ cm}^2$

$$A_{sw} = m \cdot A_{sw}^1 = 4 \cdot 1,13 = 4,52 \text{ cm}^2$$

Usvojene su šipke $\emptyset 12$ na razmacima 15 cm na mjestima mogućeg formiranja plastičnog zgloba (na dnu stupa) te šipke $\emptyset 12$ na razmacima 25 cm izvan tog područja.

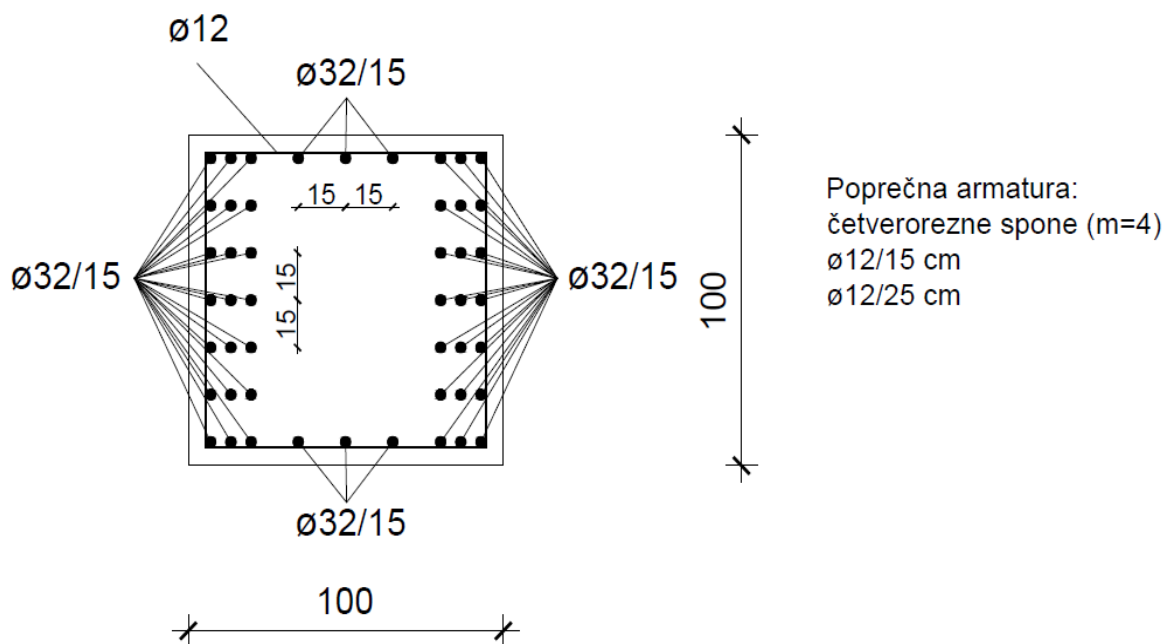
4.3.5. Skice armature stupa

Pri odabiru potrebne armature pazi se da ona bude između minimalnih i maksimalnih vrijednosti izračunatih prethodno. S obzirom da ona nije ugrađiva kod modela s jednim nepomičnim stupaštem, prikazat će se skica uzdužne armature kod modela s dva nepomična stupašta.

$$A_{s,od} = 386,06 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,od} \leq A_{s,max}$$

$$100 < 386,06 < 400$$

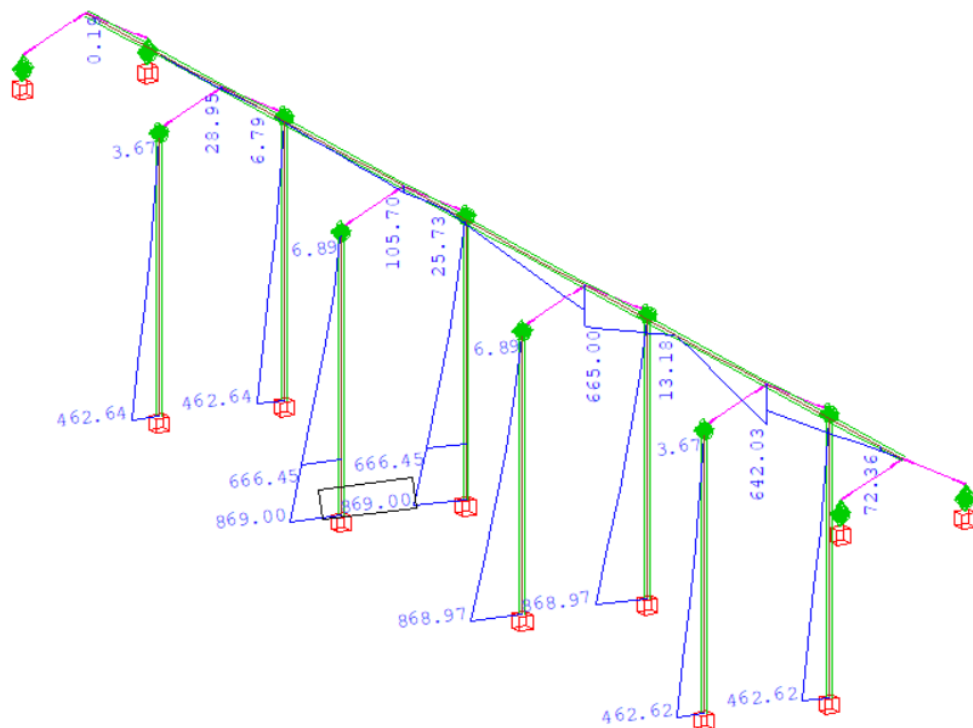


Slika 25. Skica uzdužne armature stupa s opisom poprečne kod modela s dva nepomična stupašta

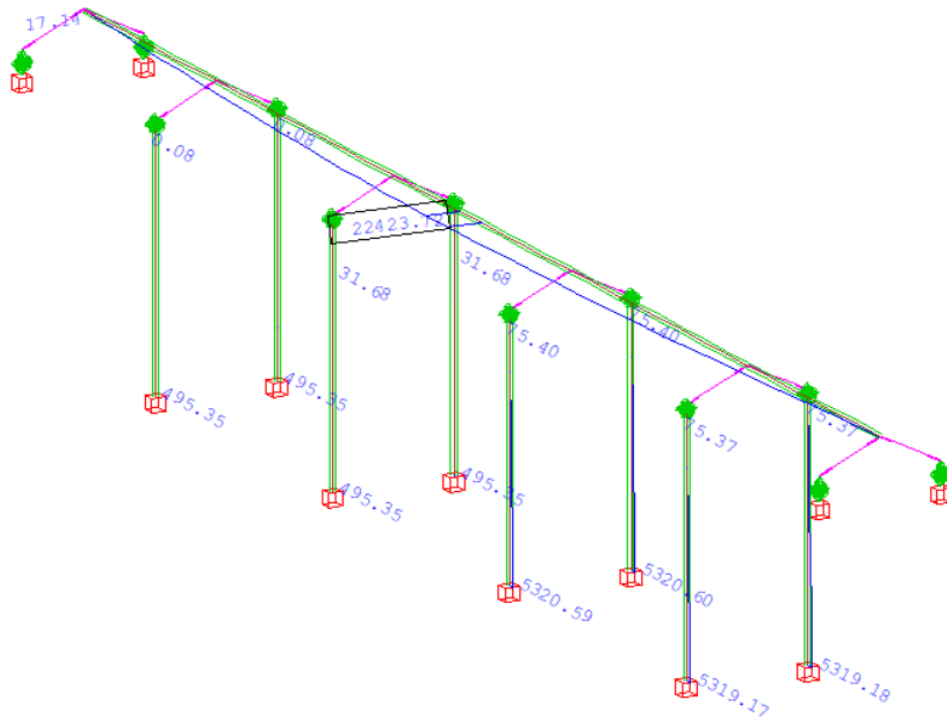
S obzirom na jako velike količine armature u stupu napravljen je još jedan slučaj modela s dva nepomična stupa gdje faktor ponašanja iznosi 1,5 kako bi se usporedile dobivene armature i uvidjelo što predstavlja promjena faktora ponašanja.

4.3.6. Model nadvožnjaka s dva nepomična stupa (faktor ponašanja $q=1,5$)

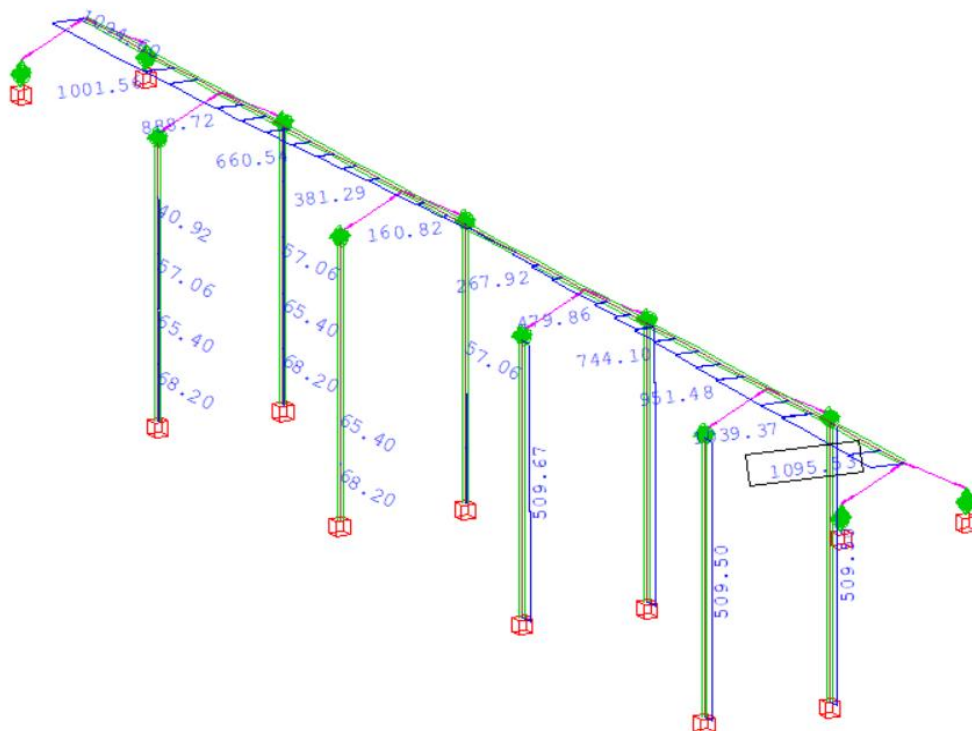
Promjenom faktora ponašanja, odnosno njegovim povećanjem, smanjuju se seizmičke sile, tj. projektira se uz pretpostavku veće duktilnosti. Kao rezultat smanjenja seizmičkih sila, smanjit će se i vrijednosti sila i momenata što dokazuju slike u nastavku.



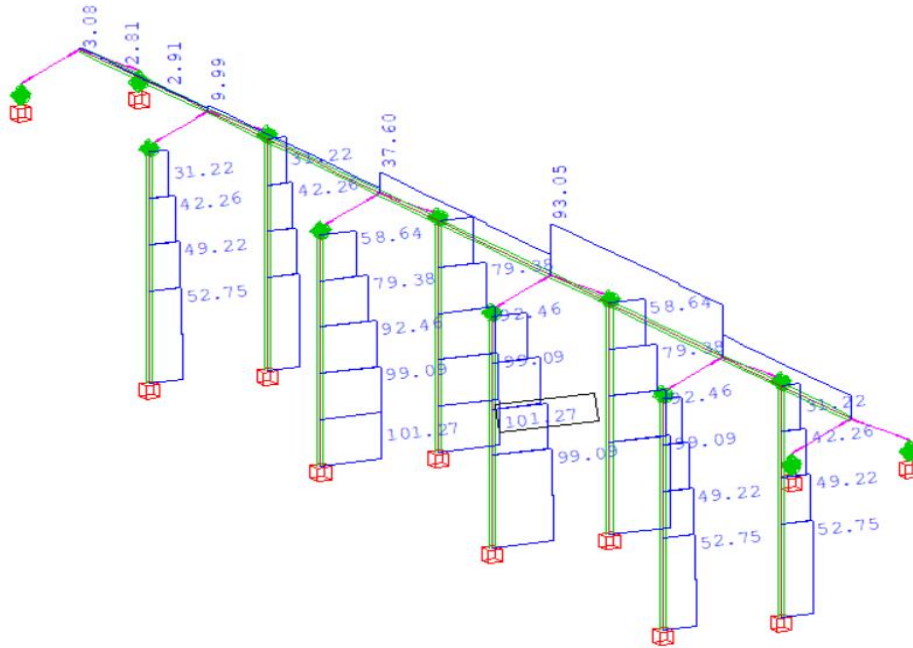
Slika 26. Moment M_y od potresnog opterećenja (dva nepomična stupa), $q=1,5$



Slika 27. Moment M_z od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta), $q=1,5$



Slika 28. Poprečna sila V_y (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Slika 29. Poprečna sila V_z (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Kao i u prethodnim modelima, izdvojene su maksimalne vrijednosti, svi potrebni podaci koji ulaze u dimenzioniranje te konačne armature.

Tablica 14. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta, $q=1,5$

N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1293	510	102	869	5321

Tablica 15. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta, $q=1,5$

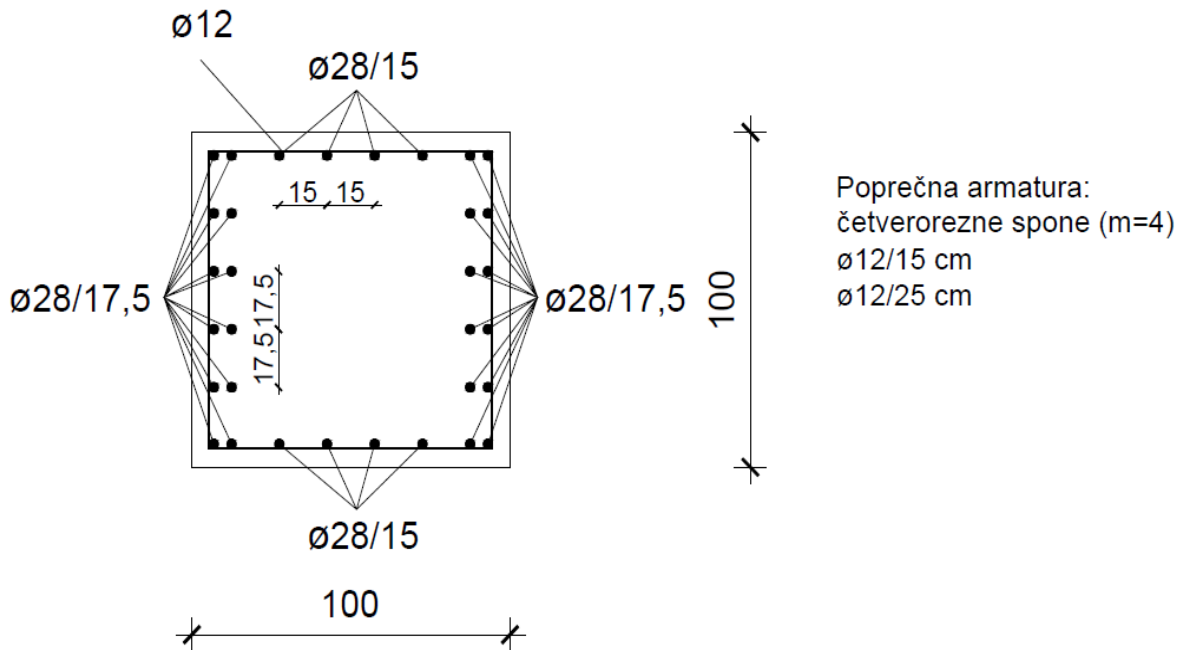
N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	A_s [cm ²]		Layers
1293	510	31	261	5321	17,58	0,00	1
					18,15	0,00	2
					127,19	3,32	3
					11,93	3,32	4
					17,39	0,00	1
1293	153	102	869	1597	15,45	0,00	2
					35,74	0,92	3
					11,93	0,92	4

Vidljivo je da su dobivene manje vrijednosti potrebne armature te će sama ugradnja biti lakša. Izabrani profili šipki i njihova raspodjela nalazi se na slici 30.

$$A_{s,od} = 197,02 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,od} \leq A_{s,max}$$

$$100 < 197,02 < 400$$



Slika 30. Skica uzdužne armature stupa s opisom poprečne kod modela s dva nepomična stupišta, $q=1,5$

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad bavio se seizmičkim proračunom mosta. U praktičnom dijelu rada, kroz primjer nadvožnjaka, prikazan je seizmički proračun metodom spektra gdje je, uz djelovanja, definirana lokacija na osnovu koje je uzeta relevantna akceleracija tla. S obzirom na tip tla i parametre definirane Eurokodom, uz pretpostavku elastičnog neduktilnog ponašanja, dobiveni su dijagrami proračunskih spektara koji pružaju uvid u seizmički odziv konstrukcije. Primjenom ovih podataka u odgovarajućem softveru, odnosno softveru Sofistik, dobivene su vrijednosti sila i momenata potrebne za dimenzioniranje. Te vrijednosti omogućuju projektiranje konstrukcije koja će biti sposobna preuzeti i izdržati predviđena seizmička opterećenja. Osiguranjem stabilnosti i sigurnosti u seizmičkom projektiranju pruža se temelj za izgradnju mostova koji mogu učinkovito odgovoriti na izazove potresa.

Konkretno u ovom radu, obrađena je usporedba dvaju modela nadvožnjaka s obzirom na broj nepomičnih stupišta. Prvi model bio je s jednim nepomičnim stupištem, dok je drugi model uključivao dva nepomična stupišta. Cilj je bio odrediti kako raspodjela momenata utječe na potrebnu armaturu te kako različit broj stupišta koji osiguravaju uzdužnu stabilnost konstrukcije mijenja te zahtjeve. Rezultati su pokazali da su vrijednosti momenta veće kada je aktivno samo jedno stupište za uzdužni smjer. To je posljedica koncentracije uzdužnih sila na samo jednom stupištu. S druge strane, u modelu s dva nepomična stupišta dolazi do ravnomjernije raspodjele sila što dovodi do smanjenja vrijednosti momenta, a samim time i potrebne količine armature. U ovoj analizi u obzir nije uzeto temperaturno djelovanje koje bi rezultiralo dodatnim silama između dva nepomična stupišta.

Usporedbom odabrane armature s minimalnim i maksimalnim dopuštenim vrijednostima, napravljena je analiza kako bi se osigurala optimalna količina armature za postizanje potrebne nosivosti. Na temelju tih rezultata izrađena je skica armature stupa koja prikazuje potrebne profile šipki i njihovu raspodjelu. Dobivene količine potrebne armature kod modela nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem prelazi maksimalno dopuštene vrijednosti te ona nije ugrađiva. Nasuprot tome, model nadvožnjaka s dva nepomična stupišta zadovoljava te uvjete, a za usporedbu je napravljen još jedan model u kojem je povećan faktor ponašanja na 1,5 kako bi se smanjile potresne sile, a time i potrebna armatura za ugradnju. Norma dozvoljava primjenu faktora ponašanja 1,5 za uzdužnu armaturu, ali paralelno traži da se poprečna armatura računa s faktorom ponašanja 1,2. U skladu s tim proveden je proračun i dobivene su količine koje su usvojene kod poprečne armature.

POPIS LITERATURE

- [1] Seizmološki pojmovnik – Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu
- [2] Mohorovičić – D. Skoko, J. Mokrović
- [3] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje – Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013.-2024.
- [4] Potres i efekti potresa – Josip Mokrović
- [5] Opća geologija – Davor Pavelić, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb
- [6] Mehanika tla – Građevinski fakultet Zagreb
- [7] Potresno inženjerstvo – Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [8] Građevinar 72 (2020) 10 – M. Bačić, T. Ivšić, M. S. Kovačević: Geotehnika kao nezaobilazan segment potresnog inženjerstva
- [9] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (HRN EN 1998-1)
- [10] Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [11] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak (HRN EN 1998-1:2011/NA)
- [12] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 2. dio: Mostovi (HRN EN 1998-2)
- [13] Građevinar 55 (2003) 3 – M. Čaušević, P. Fajfar, M. Fischinger, T. Isaković: Proračun vijadukta na djelovanje sila potresa prema Eurokodu 8/2
- [14] Djelovanje potresa na konstrukcije i osnove seizmičkog proračuna – Građevinski fakultet u Osijeku
- [15] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 2. dio: Mostovi – Nacionalni dodatak (HRN EN 1998-2:2011/NA)

POPIS SLIKA

- Slika 1. Prikaz tektonike ploča [3]
- Slika 2. Karta potresnih područja Hrvatske [10]
- Slika 3. Oblik elastičnog epktra odziva [9]
- Slika 4. Elastični spektar odziva tipa 1 za tlo tipa A – E (5% prigušenje) [9]
- Slika 5. Shematski prikaz statičkog sustava mosta
- Slika 6. Model nadvožnjaka
- Slika 7. Dijagram horizontalnog proračunskog spektra
- Slika 8. Dijagram vertikalnog proračunskog spektra
- Slika 9. Modovi osciliranja (jedno nepomično stupište)
- Slika 10. Modovi osciliranja (dva nepomična stupišta)
- Slika 11. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (0,65 Hz)
- Slika 12. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (3,17 Hz)
- Slika 13. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (6,21 Hz)
- Slika 14. Uzdužna sila N od vlastite težine (jedno nepomično stupište)
- Slika 15. Uzdužna sila N od dodatnog stalnog opterećenja (jedno nepomično stupište)
- Slika 16. Moment M_y od potresnog opterećenja (jedno nepomično stupište)
- Slika 17. Moment M_z od potresnog opterećenja (jedno nepomično stupište)
- Slika 18. Poprečna sila V_y (jedno nepomično stupište)
- Slika 19. Poprečna sila V_z (jedno nepomično stupište)
- Slika 20. Ponašanje nadvožnjaka na seizmičko djelovanje (0,91 Hz)
- Slika 21. Moment M_y od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta)
- Slika 22. Moment M_z od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta)
- Slika 23. Poprečna sila V_y (dva nepomična stupišta)
- Slika 24. Poprečna sila V_z (dva nepomična stupišta)
- Slika 25. Skica uzdužne armature stupa s opisom poprečne kod modela s dva nepomična stupišta

Slika 26. Moment M_y od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Slika 27. Moment M_z od potresnog opterećenja (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Slika 28. Poprečna sila V_y (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Slika 29. Poprečna sila V_z (dva nepomična stupišta), $q=1,5$

Slika 30. Skica uzdužne armature stupa s opisom poprečne kod modela s dva nepomična stupišta, $q=1,5$

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipovi temeljnog tla [9]

Tablica 2. Vrijednosti parametara za elastični spektar odziva tipa 1 [9]

Tablica 3. Vrijednosti parametara za vertikalni elastični spektar odziva tipa 1 [9]

Tablica 4. Najveće vrijednosti faktora ponašanja q [12]

Tablica 5. Preporučena granična vrijednost proračunskog potresnog pomaka upornjaka kruto spojenih s rasponskim sklopom [12]

Tablica 6. Tip temeljnog tla A [9]

Tablica 7. Vrijednosti parametara za horizontalni spektar Tip 1 za tlo kategorije A [9]

Tablica 8. Vrijednosti parametara za vertikalni spektar za sve kategorije tla [9]

Tablica 9. Vrijednosti odziva za periode $T < 0,4 s$

Tablica 10. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem

Tablica 11. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s jednim nepomičnim stupištem

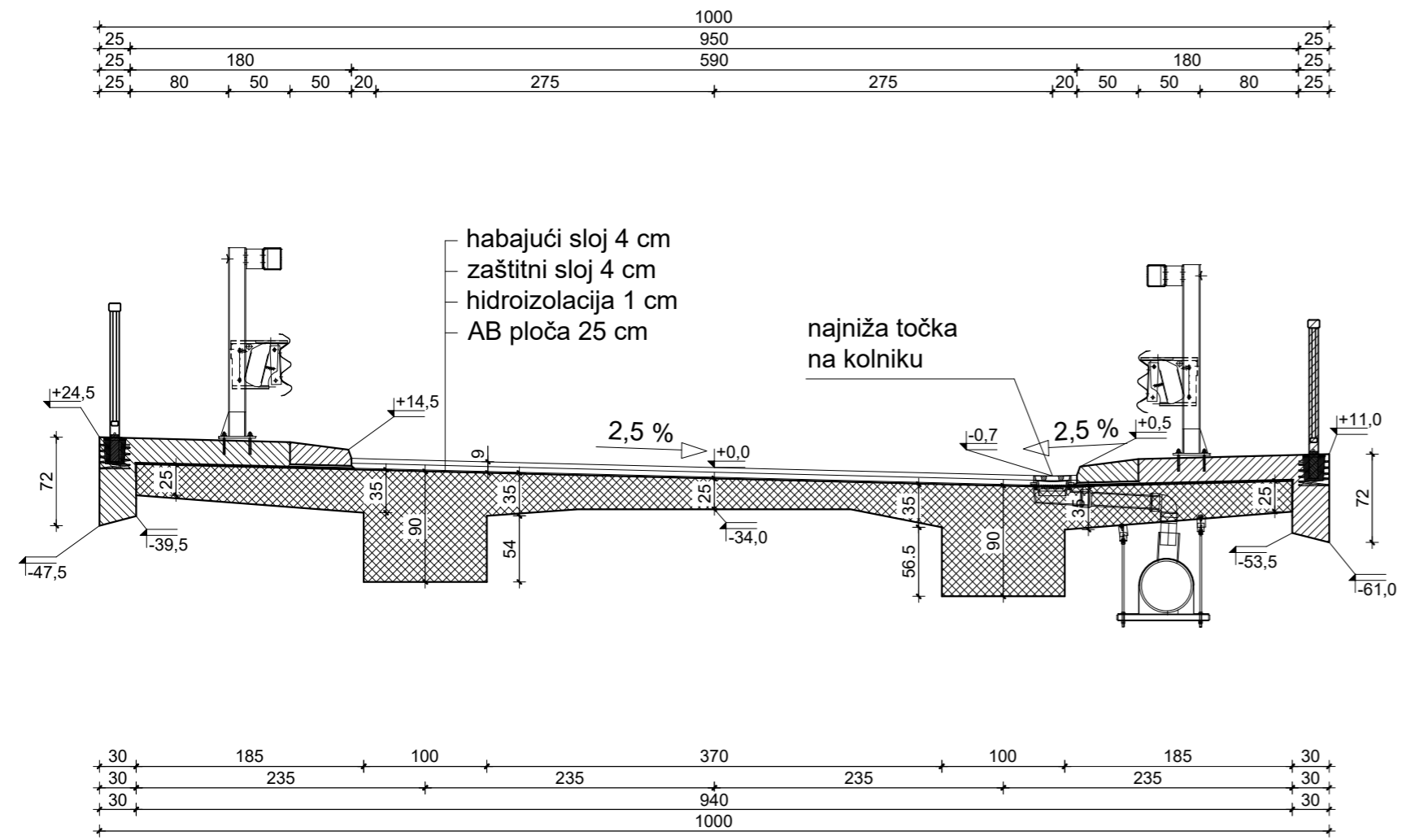
Tablica 12. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta

Tablica 13. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta

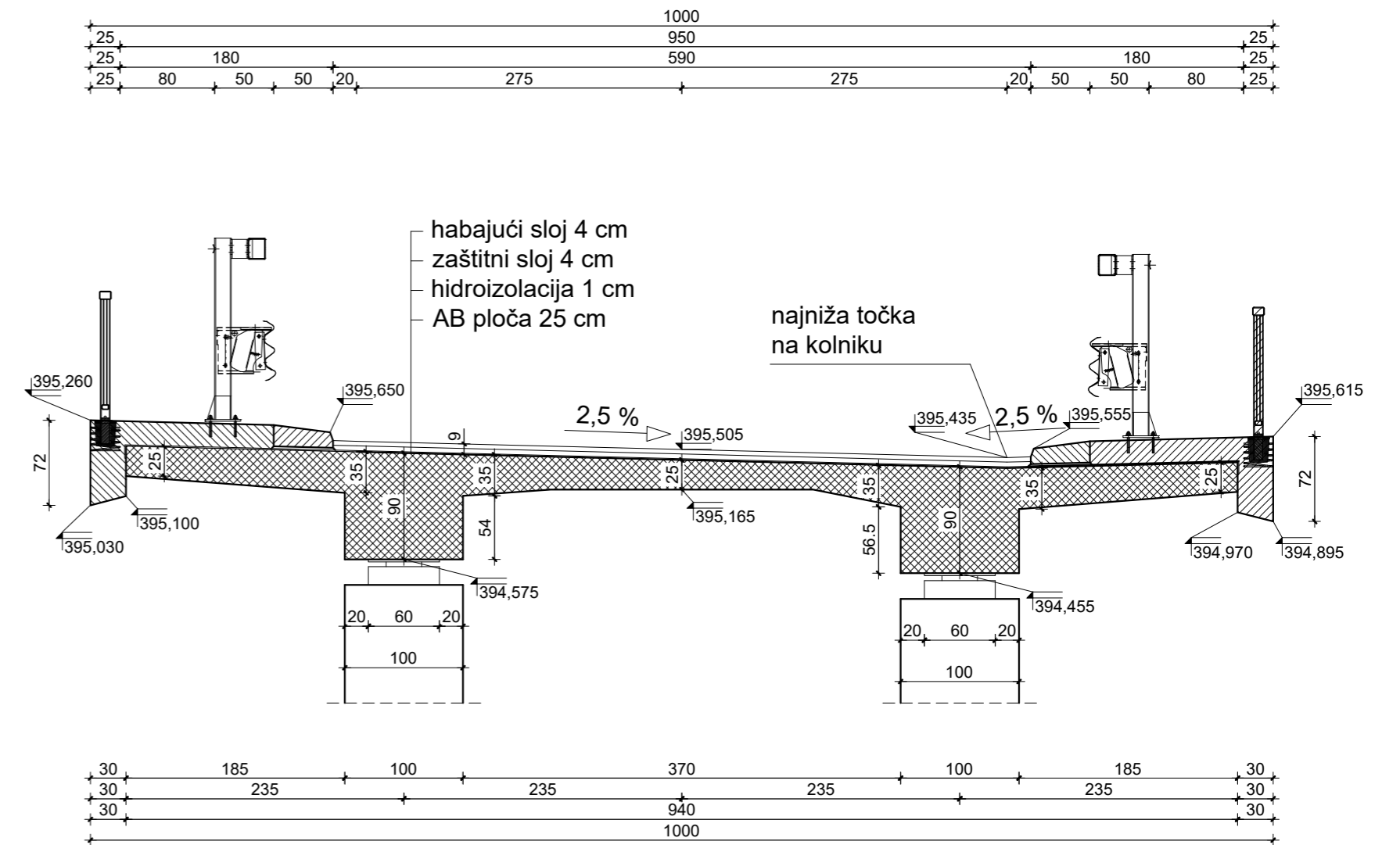
Tablica 14. Maksimalne vrijednosti sila i momenata na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta, $q=1,5$


Tablica 15. Vrijednosti potrebne armature za dimenzioniranje stupa na modelu nadvožnjaka s dva nepomična stupišta, $q=1,5$

POPREČNI PRESJEK MOSTA
MJ. 1:50

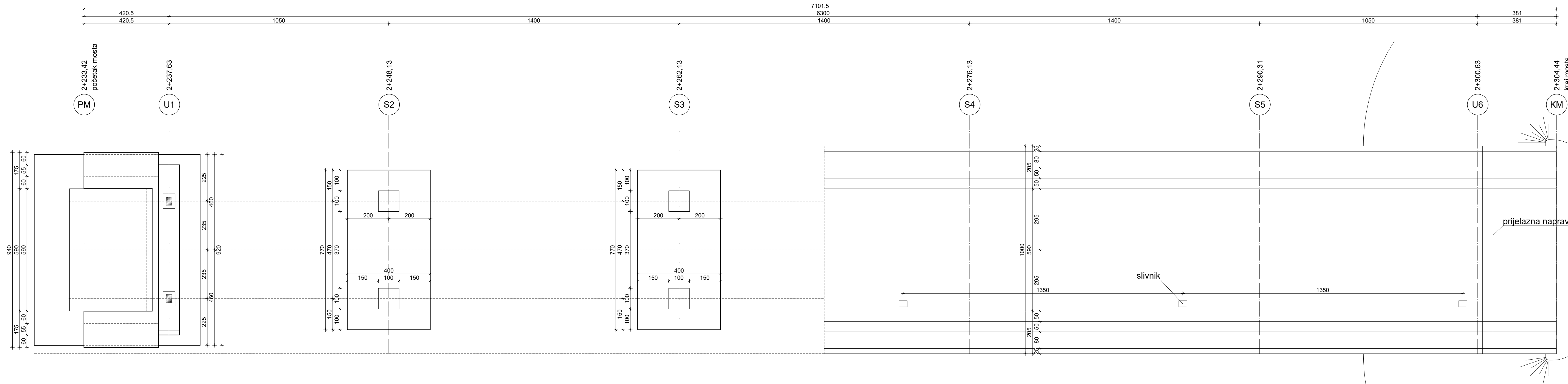


POPREČNI PRESJEK MOSTA NAD STUPOM S3
MJ. 1:50



 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET		DISPOZICIJSKO RJEŠENJE MOSTA REBRASTOG POPREČNOG PRESJKA
Sadržaj nacrt:	PRILOG B - POPREČNI PRESJECI	
Aсистent:	MLADEN SRBIĆ	Pregledao:
Datum:	4.4.2024.	Mjerilo:
Akademski godina:	2023./2024.	1:50
Izdacio:	SARA ČEŠKIĆ	

TLOCRT MOSTA
DONJI USTROJ - GORNJI USTROJ
MJ. 1:100



RASPORED LEŽAJEVA
MJ. 1:200



		DISPOZICIJSKO RJEŠENJE MOSTA REBRASTOG POPREČNOG PRESJEKA
Sadržaj nacrt: PRILOG C - TLOCRT MOSTA, RASPORED LEŽAJEVA		
Asistent: MLADEN SRBIĆ	Pregledao:	
Datum: 4.4.2024.	Mjerilo: 1:100, 1:200	
Akademski godina: 2023./2024.	Izradio: SARA ČEŠKIĆ	