

# Seizmička izolacija postojeće armiranobetonske zgrade

---

**Todorić, Krešimir**

**Master's thesis / Diplomski 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:237:276664>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Krešimir Todorić

**SEIZMIČKA IZOLACIJA POSTOJEĆE  
ARMIRANOBETONSKE ZGRADE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Krešimir Todorić

**SEIZMIČKA IZOLACIJA POSTOJEĆE  
ARMIRANOBETONSKE ZGRADE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mario Uroš

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Krešimir Todorić

**SEISMIC ISOLATION OF AN EXISTING  
REINFORCED CONCRETE BUILDING**

MASTER THESIS

Supervisor: Associate professor Mario Uroš

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Krešimir Todorić

(Ime i prezime)

0082060870

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Seizmička izolacija postojeće armiranobetonske zgrade

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Seismic isolation of the existing reinforced concrete building

(Naslov teme diplomskog rada 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 diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

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

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

12.11.2024.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mario Uroš

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

KREŠIMIR TODORIĆ, 0082060870

(Ime i prezime, JMBAG)

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

SEIZMIČKA IZOLACIJA POSTOJEĆE ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

(Naslov teme diplomskog rada 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:

13.11.2024.

Potpis:

Krešimir Todorić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

KREŠIMIR TODORIĆ, 55383413946

(Ime i prezime, OIB)

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

SEIZMIČKA IZOLACIJA POSTOJEĆE ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

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

Izv. prof. dr. sc. Mario Uroš

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

21.11.2024.

(Datum obrane)

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

Datum:

13.11.2024.

Potpis:

Krešimir Todorčić

## ZAHVALE

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Mariju Urošu na podršci, suradnji i pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvale gospođi Castellano i tvrtki FIP MEC S.r.l. na suradnji te svim korisnim savjetima i sugestijama prilikom izrade diplomskog rada.

Hvala prijateljima na svim divnim uspomena za vrijeme studija.

Hvala ocu Mariju i bratu Petru na svemu što su me naučili.

Hvala majci Mariji i sestri Ivani na podršci.

Hvala stricu Petru što nikad nije sumnjao!



## SAŽETAK

U Hrvatskoj do sada seizmički izolatori nisu imali značajniju primjenu u postizanju otpornosti građevine na djelovanje potresa. Cilj rada je prikazati mogućnost primjene seizmičkih izolatora na realiziranom primjeru građevine obnovljene nakon potresa gdje su primijenjene klasične i uobičajene metode ojačanja armiranobetonske okvirne konstrukcije izvedbom dodatnih armiranobetonskih zidova.

Rad sadrži opis i model postojećeg stanja konstrukcije, korištene parametre i rezultate pri izradi projekta obnove te numerički model s izolatorima. Pri izradi modela korišten je programski paket ETABS. Napravljena je analiza i usporedba dobivenih rezultata.

Za razmatranje mogućnosti primjene seizmičkih izolatora, potrebna je usporedba direktnih i indirektnih troškova radova koji su posljedica konstrukcijske obnove.

**Ključne riječi:** *potres, okvirna konstrukcija, numerički model, ETABS, seizmička izolacija*

## SUMMARY

In Croatia, base isolation has not had a significant application in achieving the resistance of buildings to the effects of earthquakes. The aim of the work is to show the possibility of applying base isolation on a realized example of a building rebuilt after an earthquake, where common methods of strengthening reinforced concrete frame constructions were applied with the execution of additional reinforced concrete walls.

Thesis contains a description and model of the existing state of the structure, the parameters and results used in the reconstruction project, and a numerical model with base isolation. The ETABS software was used to create numerical model. An analysis and comparison of the obtained results was made.

In order to consider the possibility of applying base isolation, a comparison of the direct and indirect costs of works resulting from structural renovation is necessary.

**Key words:** *earthquake, frame construction, numerical model, ETABS, base isolation*

---

**SADRŽAJ**

<b>ZAHVALE .....</b>	<b>i</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>iii</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>iv</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆEG STANJA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Dostupna dokumentacija.....	3
2.2. Tehnički opis konstrukcije.....	4
2.3. Oštećenja konstrukcije .....	7
2.4. Istražni radovi .....	8
<b>3. NUMERIČKI MODEL ZGRADE – POSTOJEĆE STANJE .....</b>	<b>12</b>
3.1. Analiza opterećenja .....	12
3.2. Proračun.....	17
3.3. Rezultati .....	19
3.4. Provjera stupova .....	22
<b>4. NUMERIČKI MODEL ZGRADE – S IZOLATORIMA .....</b>	<b>26</b>
4.1. Općenito o izolatorima .....	26
4.2. Tehnički opis građevine sa seizmičkom izolacijom.....	31
4.3. Proračun.....	33
4.4. Rezultati .....	39
4.4.1. Rezultati modalne analize.....	39
4.4.2. Rezultati spektralne analize .....	40
4.4.3. Rezultati dinamičke analize .....	42
4.5. Provjera stupova .....	54
<b>5. OBNOVA ZGRADE KONVENCIONALNIM NAČINOM UMETANJEM ZIDOVA .....</b>	<b>57</b>
5.1. Projekt obnove.....	57
5.2. Izvođenje radova na obnovi .....	62
<b>6. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA.....</b>	<b>64</b>
<b>7. FINACIJSKA USPOREDBA .....</b>	<b>67</b>
7.1. Ojačanje sa ab-zidovima, prema projektu obnove.....	67
7.2. Ojačanje sa seizmičkom izolacijom.....	67
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>69</b>
<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>71</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>73</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>76</b>

## 1. UVOD

Nakon potresa koji su 2020. godine pogodili Hrvatsku svjedoci smo značajne materijalne štete i procesa sveobuhvatne i kompleksne obnove koja se provodi na pogođenim područjima. Potres koji je pogodio Zagreb i okolicu 22. ožujka 2020. godine, inteziteta 5.5 stupnjeva po Richteru te potresi u Sisačko-moslavačkoj županiji 28. i 29. prosinca 2020., od kojih je najjači magnitudom bio 6.4 po Richteru [1] ponajviše su pogodili jezgre gradova sa starim građevinskim fondom koji se pretežno sastoji od zidanih zgrada kao i armirano betonskih okvirnih konstrukcija projektiranih prije upotrebe prvih seizmičkih propisa na tlu Hrvatske.

Odmah nakon potresa započeo je proces obnove i ojačanja velikog broja građevina koji je aktualan i zahtijeva značajnu količinu financijskih sredstava. Zbog potrebe izvođenja složenih zahvata na konstrukciji uglavnom je potrebno ukloniti sve podne i zidne obloge pa su neophodna iseljenja i pronalazak odgovarajuće zamjenske lokacije. Navedene aktivnosti otežavaju korisnicima odluku o obnovi te nameću dodatne financijske troškove iseljavanja i premještanja ljudi, opreme i ostalog. Problematika oko iseljenja je posebno istaknuta kod objekata javne namjene. Iz spomenutih razloga javlja se potreba za povećanjem otpornosti građevine na potresno djelovanje na dostatnu razinu, ako je moguće bez iseljenja i zadržavanje građevine u potpunoj ili djelomičnoj funkciji za vrijeme izvođenje radova.

Objekti javne namjene na području Zagreba uglavnom su građeni u razdoblju prve polovice 20. stoljeća kada dolazi do veće primjene armiranog betona u gradnji. Konstrukcije se izvode kao okvirne, većih raspona i vitkijih elemenata, rebričastim i sitnorebričastim stropovima, ali bez potrebnih znanja o protupotresnoj gradnji i adekvatnih dokaza na potresna djelovanja. Kao najveći izvorni nedostatak zbog kojeg građevine ne posjeduju dostatnu protupotresnu otpornost je vitkost okvirnog sustava i nedostatna otpornost armiranobetonskih okvira na potresna djelovanja. [2]

Zbog navedene problematike u sklopu ovoga rada na primjeru postojeće AB okvirne konstrukcije javne namjene analizirano je već realizirano pojačanje i alternativna mogućnost primjene seizmičke izolacije i postizanja propisane potresne otpornosti, uz potrebe djelomičnog iseljenja. Odabrana građevina obnovljena je nakon potresa klasičnom metodom ojačanja, zbog čega je bilo neophodno potpuno iseljenje i dodatni financijski troškovi preseljenja. U nastavku će biti prikazan opis građevine, oštećenja nakon potresa, istražni radovi, parametri i model postojećeg stanja konstrukcije, te numerički model i dokaz sa izolatorima. Dobiveni rezultati i potrebni zahvati su uspoređivani sa već provedenom obnovom klasičnim metodama i zahvatima, te je napravljena financijska usporedba.

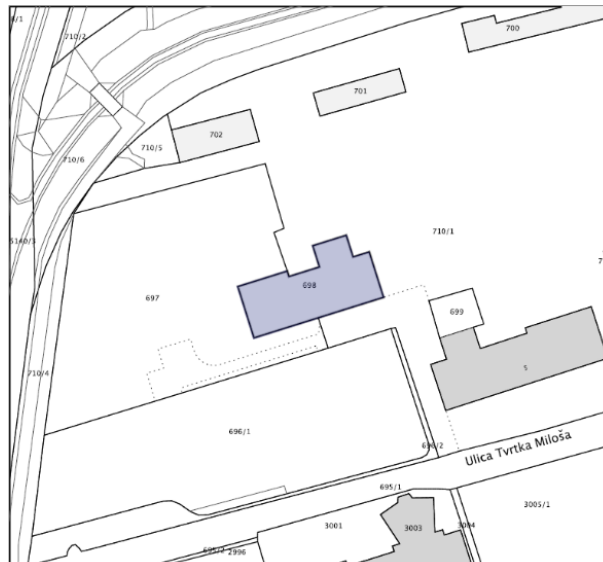
## 2. TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆEG STANJA

Konstrukcija razmatrana u sklopu ovoga rada je armiranobetonska okvirna konstrukcija iz 30.-tih godina prošlog stoljeća, građena u vrijeme kada nisu postojali tehnički propisi za projektiranje i proračun konstrukcija na djelovanje potresa. Građevina se nalazi u Zagrebu i dio je kompleksa Agronomskog fakulteta, pod nazivom "Paviljon 1". [3]

Tlocrt građevine je pretežno pravokutnog oblika, maksimalnih dimenzija 40,50 x 16,00 m, sa aneksom sa sjeverne strane dimenzija 10,50 x 6,50 m. Etažnost građevine je prizemlje, prvi kat, drugi kat i potkrovlje (Pr+2K+Pk), a visina građevine od kote uređenog terena iznosi oko 17,00 m. Svojom namjenom građevina spada pod kategoriju javnih zgrada.



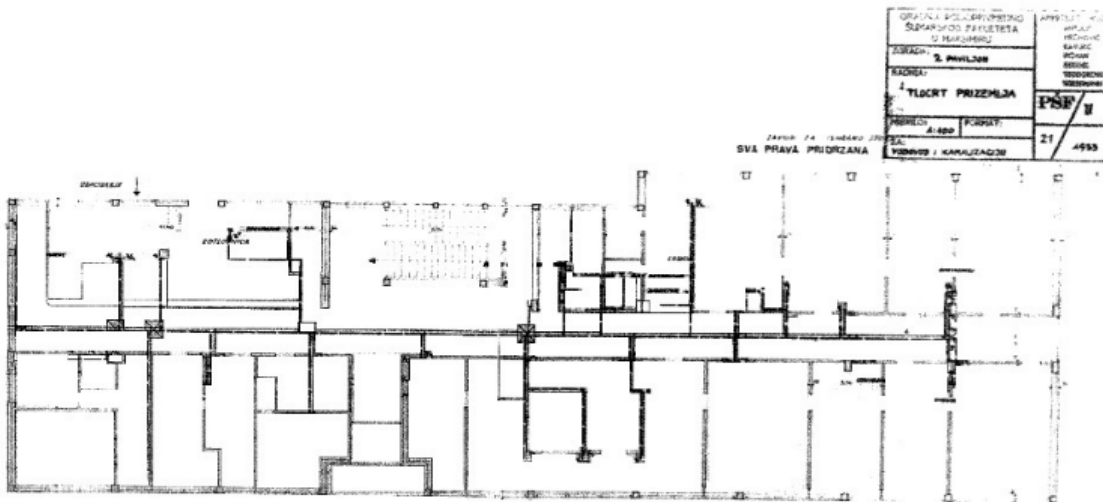
Slika 1.: Prikaz građevine [3]



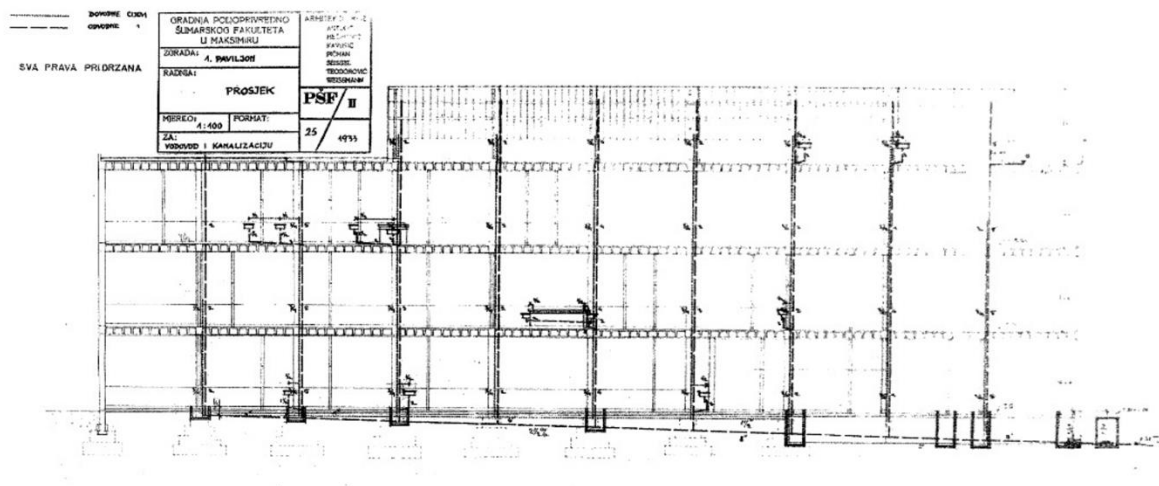
Slika 2.: Prikaz iz katastra samostojeće građevine [4]

## 2.1. Dostupna dokumentacija

U sklopu dostupne dokumentacije o postojećem stanju predmetne zgrade korišteni su arhivski nacrti. Prema arhivskim podacima građevina je projektirana 1932. godine. U nastavku je priložen dio dostupne arhivske građe.



Slika 3.: Tlocrt prizemlje iz arhivske dokumentacije [5]

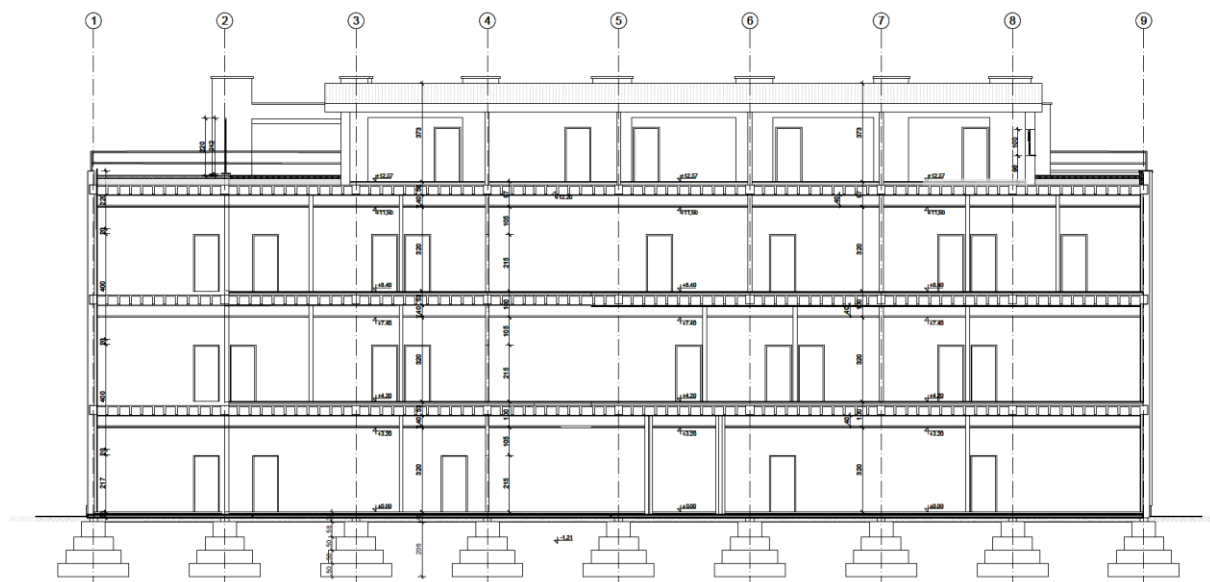


Slika 4.: Karakterističan presjek iz arhivske dokumentacije [5]

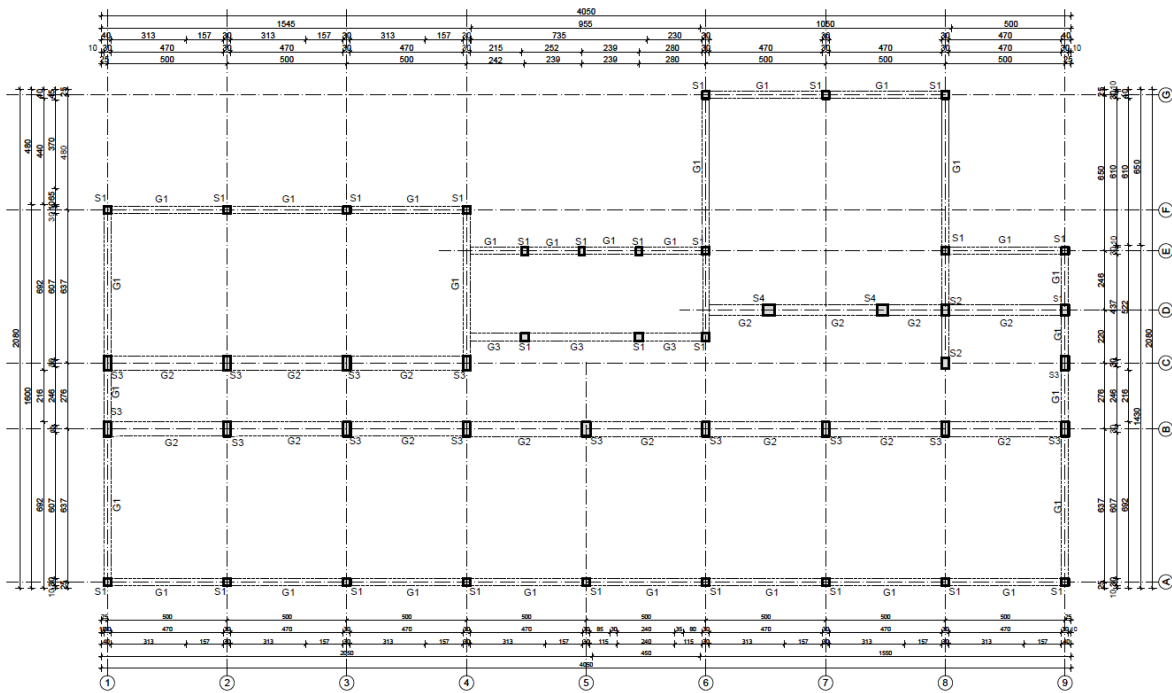
Iz dostupne arhivske dokumentacije nije poznata ugrađena armatura, provedbom istražnih radova koji su opisani u sklopu poglavlja u nastavku dobiveni su podaci o ugrađenim materijalima, armaturi i točnoj dispoziciji nosivih elemenata.

## 2.2. Tehnički opis konstrukcije

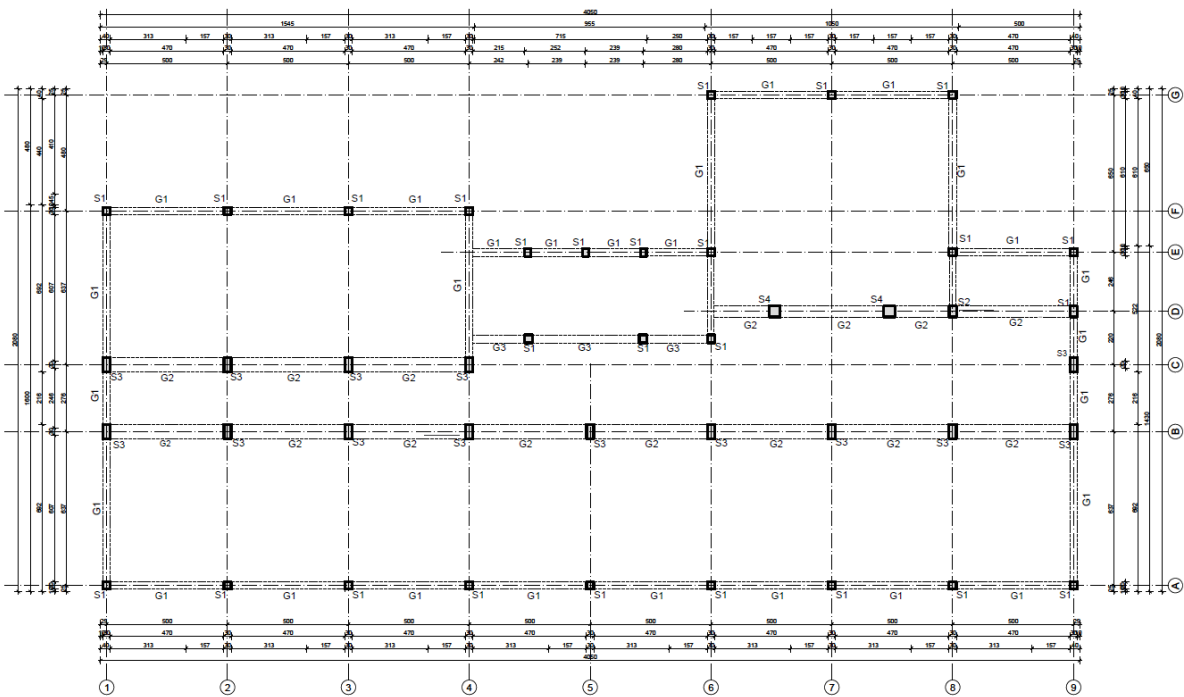
Izvornu nosivu konstrukciju čini sustav povezanih armiranobetonskih stupova i greda koji čine poprečne okvire, dok su u uzdužnom smjeru okviri formirani samo u ravninama fasada. Prema analizama arhivskih nacрта, pretpostavka je da su izvedene poprečne grede u glavnim osima na mjestu oslanjanja stupova (na razmaku 5 metara), u visini sitnobrečastog stropa. Raster stupova je na razmaku 5 metara, dimenzije unutarnjih stupova su promjenjive i smanjuju se po visini. Dimenzije nosivih elemenata kao i karakteristike gradiva utvrđeni su premjeravanjem građevine i istražnim radovima u sklopu projekta obnove [3]. Međukatna stropna konstrukcija je armiranobetonska, tzv. sitnobrečasti strop, koji je izveden monolitno te su rebra povezana s tlačno betonskom pločom debljine 5 cm. Na rebra su s donje strane ugrađene drvene letvice i trska na koju je postavljena žbuka. Prema istražnim radovima [6], stropna konstrukcija se oslanja u poprečnom smjeru na uzdužne grede. Između dijelova okvirnog sustava je ispunsko ziđe od pune i dijelom šuplje opeke. Iako se ne smatra dijelom konstrukcijskog protupotresnog sustava, ispunsko ziđe je značajno sudjelovalo u disipaciji seizmičke energije što je vidljivo i po brojnim oštećenjima do kojih je došlo zbog velikih pomaka, odnosno nedovoljne krutosti građevine u poprečnom smjeru. U središnjem dijelu građevine nalazi se dvokrako armiranobetonsko stubište. Temelji su izvedeni kao samci, kaskadno u više razina. U nastavku su priloženi pozicijski planovi sa postojećim dimenzijama konstrukcijskih elemenata utvrđenih istražnim radovima. Na slikama 6.-9. prikazane su karakteristične etaže sa označenim gredama sljedećih poprečnih presjeka: G1 – b/d=30/45 cm, G2 – b/d=45/60 cm, G3 – b/d=30/60 cm i stupovima S1 – b/d=30/30 cm, S2 – b/d=30/45 cm, S3 – b/d=35/60 cm i S4 – b/d=45/45 cm.



Slika 5.: Presjek građevine



Slika 6.: Plan pozicija prizemlja



Slika 7.: Plan pozicija prvog kata





### 2.3. Oštećenja konstrukcije

Nakon potresa na zagrebačkom području u ožujku 2020. g. te Sisačko – Moslavačkoj županiji u prosincu 2020. zgrada je doživjela oštećenja zbog kojih je klasificirana kao privremeno neuporabljiva građevina. Odmah nakon potresa izrađena je detaljna fotodokumentacija sa snimkom oštećenja [7] u sklopu kojega su zabilježene sve značajnije pukotine. Pregledom snimka u sklopu rada izdvojene su značajne pukotine i detektirana oštećenja bitna za mehaničku otpornost i stabilnost građevine.

Najizraženija oštećenja su vidljiva na pregradnim zidovima od šuplje opeke. Pretežni dio pregradnih zidova u svim etažama zadobio je pri potresu oštećenja u vidu vertikalnih pukotina, zupčastih pukotine po sljubnicama kao što je vidljivo na slici 10., dijagonalnih pukotina na nadvojima i drobljenje ziđa s pucanjem morta. Pukotine su registrirane po cijelom presjeku zida i bitno umanjuju njegovu nosivost. Na dvokrakom stubištu došlo je do znatnog odvajanja žbuke sa zidova. Na fasadnim zidovima nisu vidljiva značajnija oštećenja osim napukle žbuke. [7]



Slika 10.: Karakteristična oštećenja građevine nakon potresa [7]



Slika 11.: Oštećenje ispunskog ziđa i pukotinsko oštećenje žbuke [7]

## 2.4. Istražni radovi

Navedena građevina izgrađena je 1932. godine. Samo dio dokumentacije nacrtu, sačuvan je u arhivu, a ne postoje ni dokazi o kvaliteti primjenjenih gradiva. Stoga su u sklopu projekta obnove nakon potresa izrađeni istražni radovi koji su bili definirani programom istražnih radova od strane Projektanta konstrukcije. Izrađeno je Izvješće o istražnim radovima na konstrukciji građevine kojim su utvrđene dimenzije konstrukcijskih elemenata i kvaliteta gradiva postojećeg stanja konstrukcije. U nastavku će biti izdvojeni istražni radovi koji su ključni za bolje poznavanje gradiva i dimenzija ugrađene armature što nam je ključno prilikom provjere postojećeg stanja.

Prema izvješću o istražnim radovima laboratorija za ispitivanje konstrukcija Građevinskog fakulteta [6]:

- utvrđena je posmična čvrstoća ziđa,
- utvrđena je vrste i dimenzija konstrukcijskih elemenata, kao i kvaliteta ugrađenog materijala
- uzeti su uzorci betona bušenjem valjaka i ispitivanjem tlačne čvrstoće armiranobetonskih stupova u prizemlju i na katovima građevine,
- korištena su nerazorna ispitivanja sklerometrom za ocjenu kvalitete ugrađenog betona.



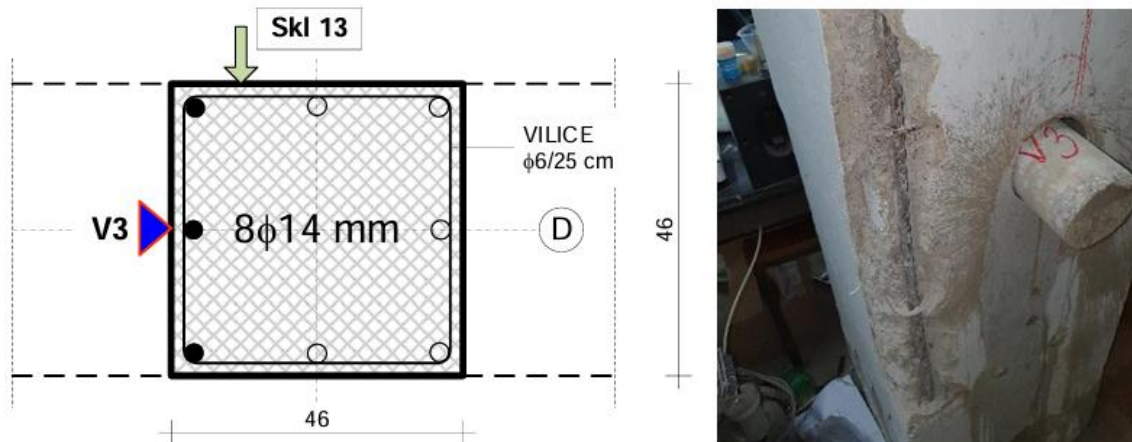
**Slika 12.:** Provedena ispitivanja ziđa [6]

Utvrđene su dimenzije armiranobetonskih elemenata i debljina zaštitnog sloja, te vrsta i količina ugrađene armature u armiranobetonske stupove.



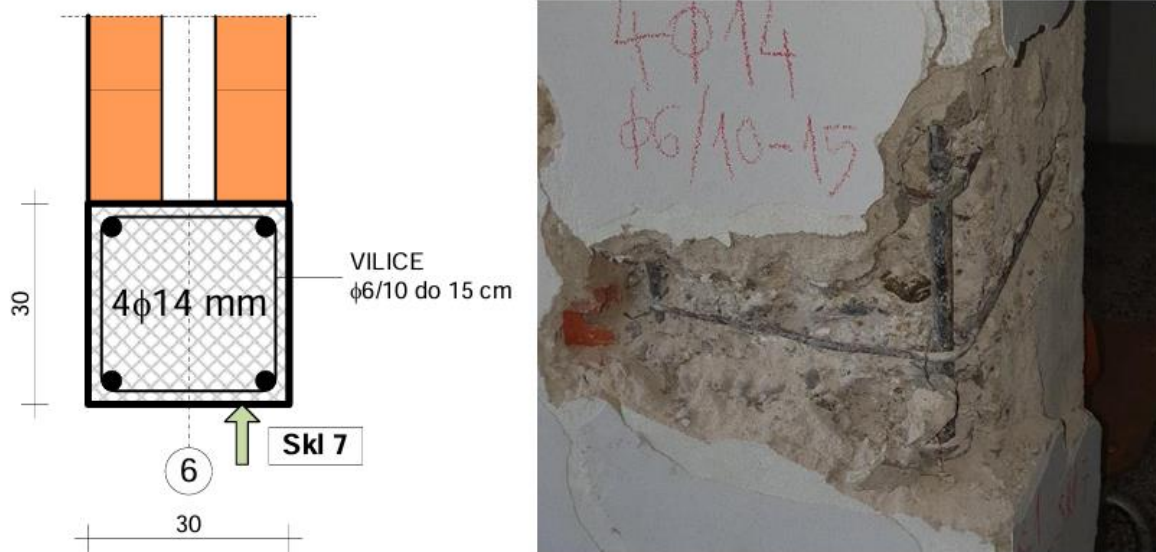
**Slika 13.:** Utvrđivanje količine ugrađene armature i provjera dimenzija konstruktivnih elementata [6]

Na slici 14. prikazana je utvrđena armatura u stupu 45/45. Detektirane su vilice promjera 6 mm ugrađene na razmaku 25 centimetara, što je nedovoljno i po količini i razmaku za preuzimanje poprečnih potresnih sila prema današnjim propisima.



**Slika 14.:** Utvrđivanje ugrađene armature na stupu 45/45 [6]

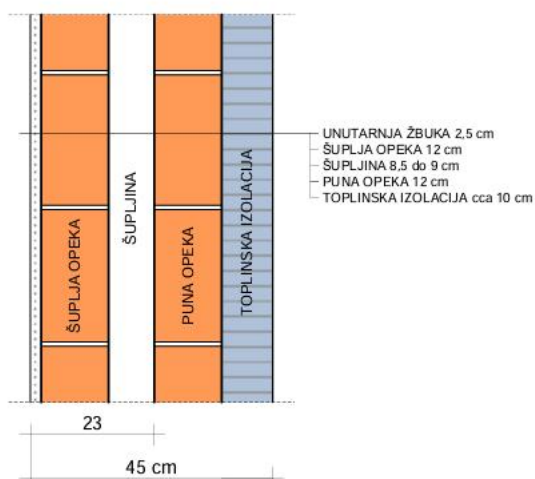
Na slici 15. prikazana je utvrđena armatura u stupu 30/30.



Slika 15.: Utvrđivanje ugrađene armature na stupu 30/30 [6]

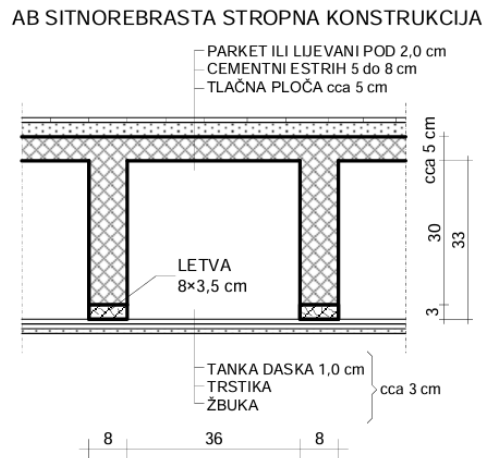
Bez istražnih radova moguće je donijeti potpuno krive zaključke o nosivoj konstrukciji i odabrati pogrešne parametre za proračunske modele. Nepoznanice su posebno došle do izražaja kod ispunskog ziđa ukupne debljine (bez žbuke i toplinske izolacije) 30 cm. Iako je bilo za očekivati da su klasični nosivi zidovi od pune opeke, istražnim radovima je utvrđeno da se radi samo o ispunama od dva reda opeke sa šupljinom između. Unutarnji dio tog zida na 1. i 2. katu je čak od šuplje opeke kao što je prikazano na slici 16.

DEBLJINE ZABATNIH ZIDOVA NA 1. I 2. KATU



Slika 16.: Presjek zabatnih zidova [6]

Na slici 17. prikazan je presjek sitnorebraste stropne konstrukcije i mjesto otvaranja za potrebe istražnih radova.



Slika 17.: Presjek sitnorebraste stropne konstrukcije [6]

Prema provedenim istražnim radovima može se zaključiti da postojeći armiranobetonski stupovi nemaju dovoljno ugrađene armature. Nedovoljno je ugrađene uzdužne armature na manjem broju stupova, a posmična armatura uglavnom je nedostatna na svim stupovima i po količini i razmaku, zbog čega bi kod jačih potresa i djelovanja poprečnih sila moglo doći do krstog loma i urušavanja građevine ili dijela građevine.

### 3. NUMERIČKI MODEL ZGRADE – POSTOJEĆE STANJE

#### 3.1. Analiza opterećenja

Proračun konstrukcije za oba promatrana slučaja proveden je za opterećenje od vlastite težine, uporabnog opterećenja, opterećenja snijegom i opterećenja od potresa. Opterećenje od vjetra biti će korišteno kod modela konstrukcije sa seizmičkim izolatorima. U nastavku će biti prikazana i opisana sva korištena opterećenja.

#### Stalno opterećenje

Tablica 1.: Stavke stalnog opterećenja konstrukcije

Završna podna obloga	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Estrih 5-8 cm	1,40 kN/m <sup>2</sup>
Podgled	0,50 kN/m <sup>2</sup>
Pregradni zidovi	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Međukatna konstrukcija (softver uzima u obzir)	0,00 kN/m <sup>2</sup>
<b>Ukupno:</b>	<b>=2,50 kN/m<sup>2</sup></b>

Računalni program uzima u obzir vlastitu težinu konstruktivnih elemenata na temelju dimenzija i zapreminske težine materijala.

Dodatno stalno opterećenje građevine nanoseno u iznosu od 2,5 kN/m<sup>2</sup>

#### Korisno opterećenje:

Uporabno opterećenje građevine: Kategorija C (C1, C2)

Korisno opterećenje građevine u iznosu od 3,0 kN/m<sup>2</sup>.

#### Dodatno linijsko opterećenje:

Zadano linijsko opterećenje koje zamjenjuje težinu fasadnih zidova:

„Sendvič“ zidovi od pune opeke

Linijsko opterećenje fasadnog zida za 1m visine zida:

$$g_{\text{zid}} = 2 \cdot 0,12 \text{m} \cdot 19 \text{kN/m}^2 + 0,025 \text{m} \cdot 18 \text{kN/m}^2 = 5,01 \text{kN/m}^1$$

**Opterećenje snijegom:**

Snijeg se određuje prema karti karakterističnog opterećenja snijegom. Predmetna lokacija spada u 3. snježno područje sa karakterističnim opterećenjem snijegom  $S_k=1,25 \text{ kN/m}^2$ .



Slika 18.: Karta snježnih područja Republike Hrvatske [11]

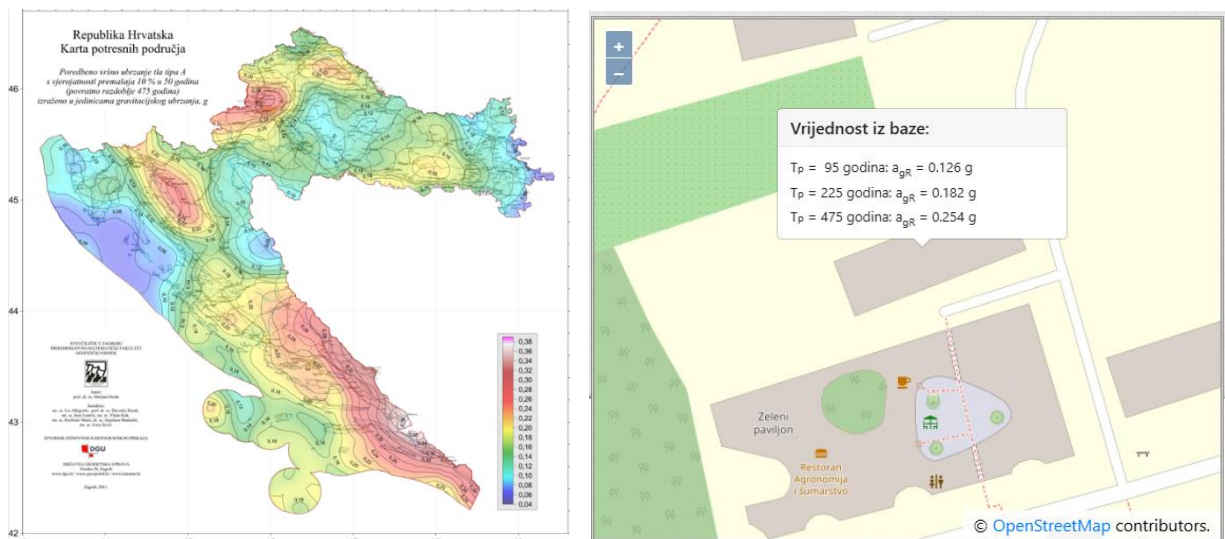
Zadano površinsko opterećenje snijegom na modelu  $s=1,0 \text{ kN/m}^2$ .

**Seizmičko opterećenje**

Razred važnosti građevine je III  $\gamma_I=1,2$ .

Tlo je kategorija C.

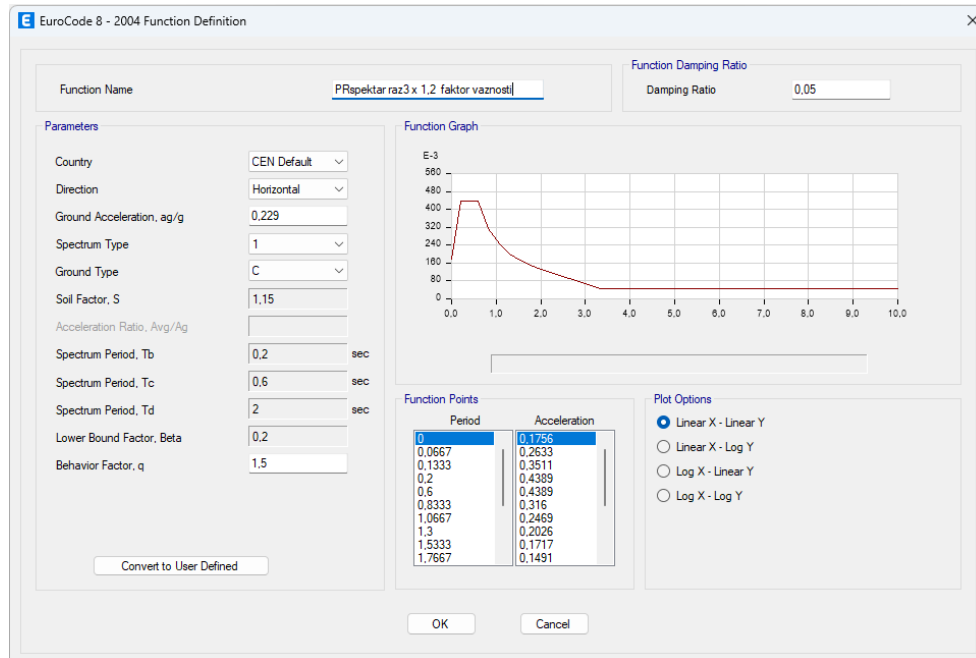
Iz karte potresnih područja Republike Hrvatske očitano je iznos horizontalnih vršnih ubrzanja tla.



Slika 19.: Prikaz vršnih ubrzanja tla [9]

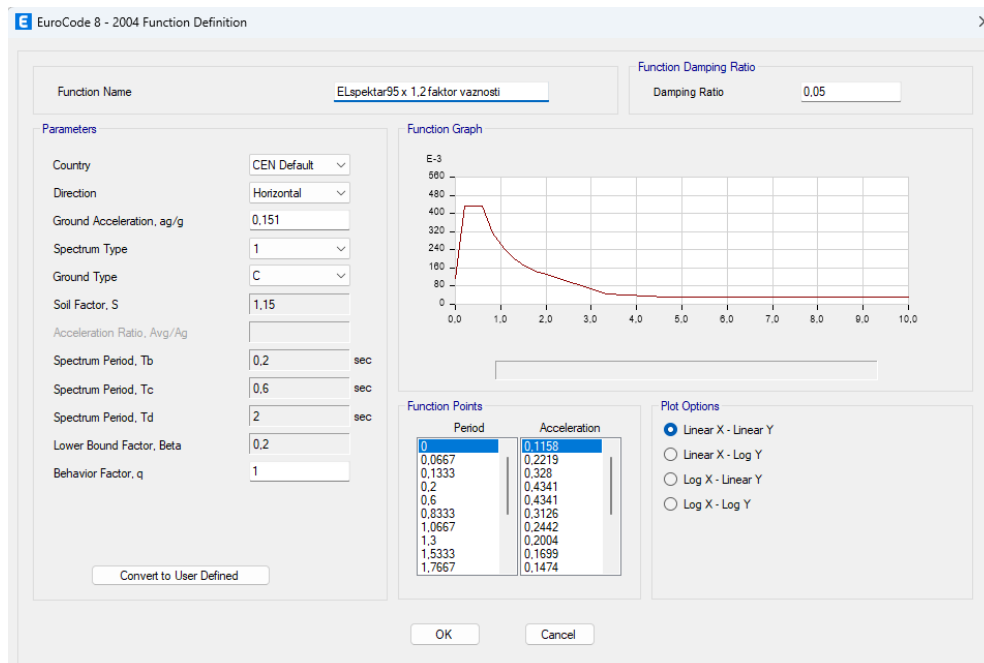


Pri definiranju projektnog potresnog spektra, korišteno je ubrzanja tla u vrijednosti 75% ubrzanja povratnog razdoblja 475 godina za razinu obnove 3 koja je propisana Tehničkim propisom za predmetnu građevinu. Očitano ubrzanje uvećano je sa razredom važnosti 1,2. S obzirom da je riječ o postojećoj građevini u proračunu je korišten faktor ponašanja  $q=1,5$ .



Slika 20.: Definiranje potresnog spektra za postojeće stanje [10]

Pri definiranju elastičnog spektra, koristi se faktor ponašanja  $q=1,0$  za povratno razdoblje 95 godina za granično stanje ograničenog oštećenja uvećan sa razredom važnosti 1,2.



Slika 21.: Definiranje elastičnog spektra [10]

### Opterećenje vjetrom

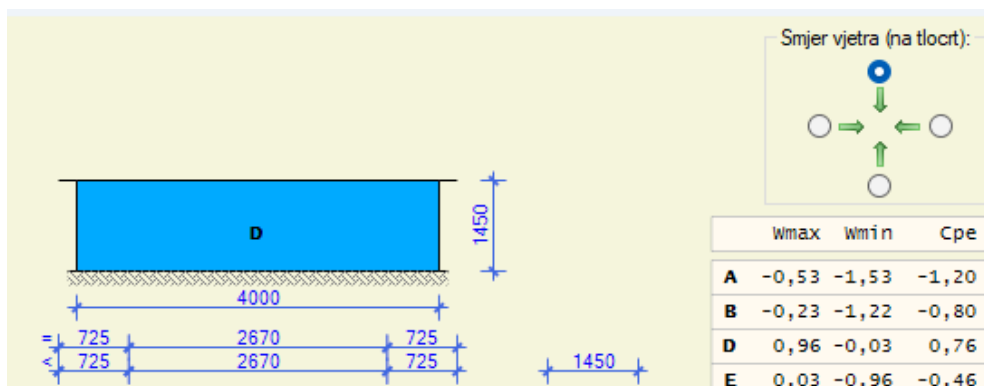
Djelovanje vjetra nije mjerodavno horizontalno opterećenje na građevinu bez izolatora, međutim može imati značajan utjecaj kod primjene seizmičke izolacije u vidu pomaka konstrukcije. Potrebno je uzeti u obzir djelovanje vjetra, u ovom slučaju zadano po dužoj strani građevine.

Osnovna brzina vjetra iznosi:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 25 = 25 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak vjetra iznosi:

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 25^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$



Slika 22.: Djelovanje vjetra po dužoj strani građevini [8]

U tablici 2. prikazana je rekapitulacija korištenih opterećenja.

**Tablica 2. Rekapitulacija opterećenja**

1.	Vlastita težina	Uzeta u obzir unutar računalnog programa
2.	Stalno	Definirano prema tablici ( $g=2,5 \text{ kN/m}^2$ )
3.	Korisno	Kategorija C ( $q=3,0 \text{ kN/m}^2$ )
4.	Snijeg	Prema karti snijega ( $s=1,0 \text{ kN/m}^2$ )
5.	Dodatno linijsko opterećenje	Zamjenjuje ispunsko zidē ( $g_{zid}=5 \text{ kN/m}'$ )
6.	PRspektar225	Za razinu obnove 3 (75% od povratnog perioda za 475 godina) s faktorom ponašanja $q=1,5$ i uvećan sa razredom važnosti građevine
7.	Elastični spektar	Za povratno razdoblje 95 godina i faktorom ponašanja $q=1$
8.	Vjetar	Korišteno za izolatore

U tablici 3. prikazane su korištene kombinacije opterećenja.

**Tablica 3. Kombinacije opterećenja**

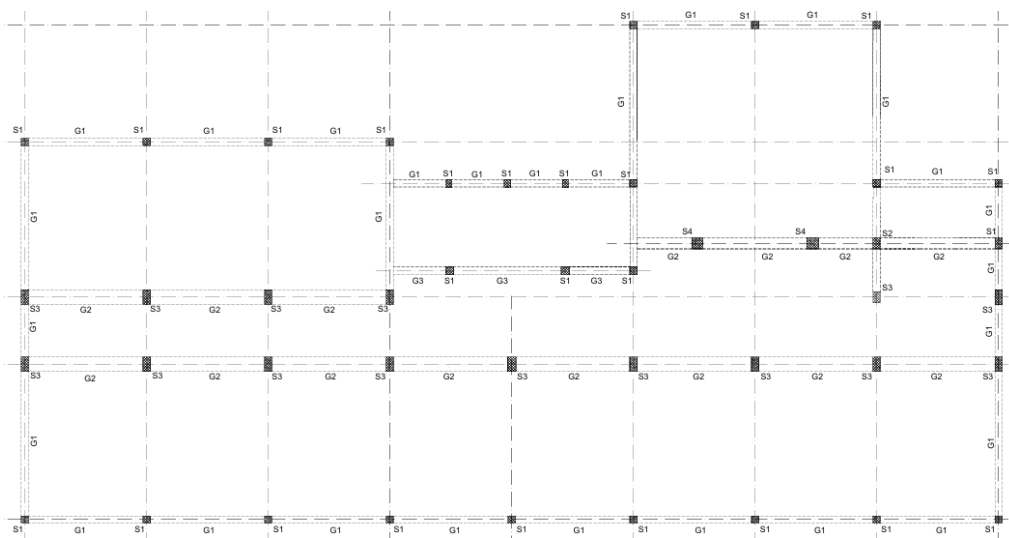
A.	KOMB_POTRES	1G+0,3Q+1xPRspektar225
B.	KOMB_GSU	1G+0,3Q+1xPRspektar95
C.	KOMB_MASS	1G+0,3Q
D.	KOMB_VJETAR	1,35G+1,5Q+1,5Vjetar

### 3.2. Proračun

U softveru ETABS napravljen je numerički model koji odgovara postojećem stanju konstrukcije. Materijali i dimenzije konstrukcijskih elemenata su definirani prema informacijama iz arhivske građe te podataka dobivenih iz istražnih radova.

Korištena klasa betona je C16/20. Međukatna konstrukcija modelirana je kao betonska ploča debljine 12 cm. Konstrukcijski elementi u modelu imaju zadanu reduciranu krutost na savijanje i poprečnu silu 0,5.

Istražnim radovima utvrđena je armatura stupova 30/30 i 45/45, a armatura preostalih stupova i gredi je pretpostavljena slijedeći slične principe ugradnje armature prikazano u tablici 4.

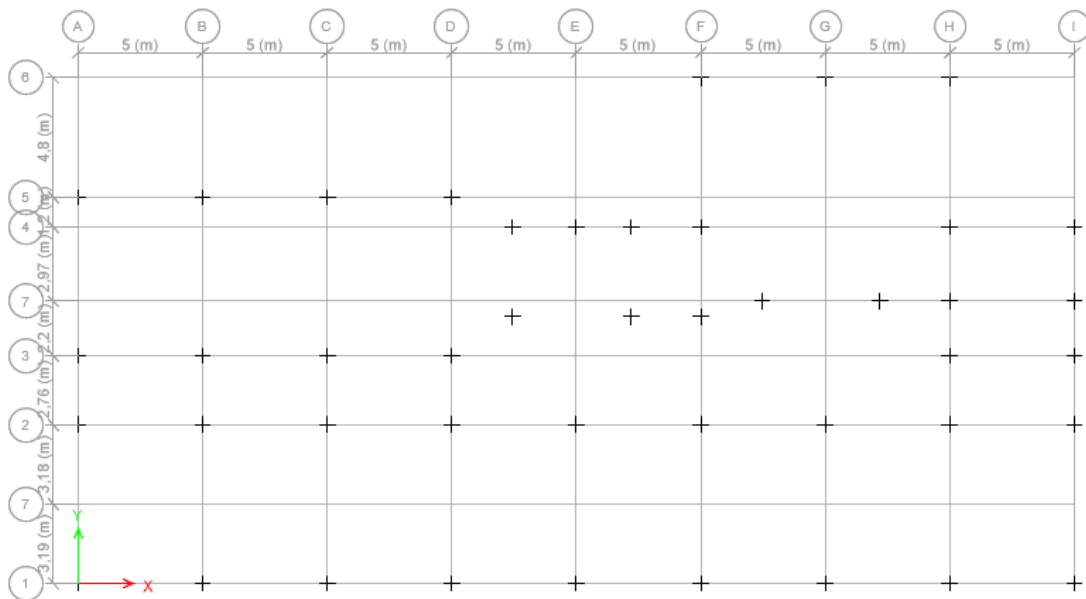


Slika 23.: Položajni tlocrt

Tablica 4.: Dimenzije konstrukcijskih elemenata i ugrađena armatura

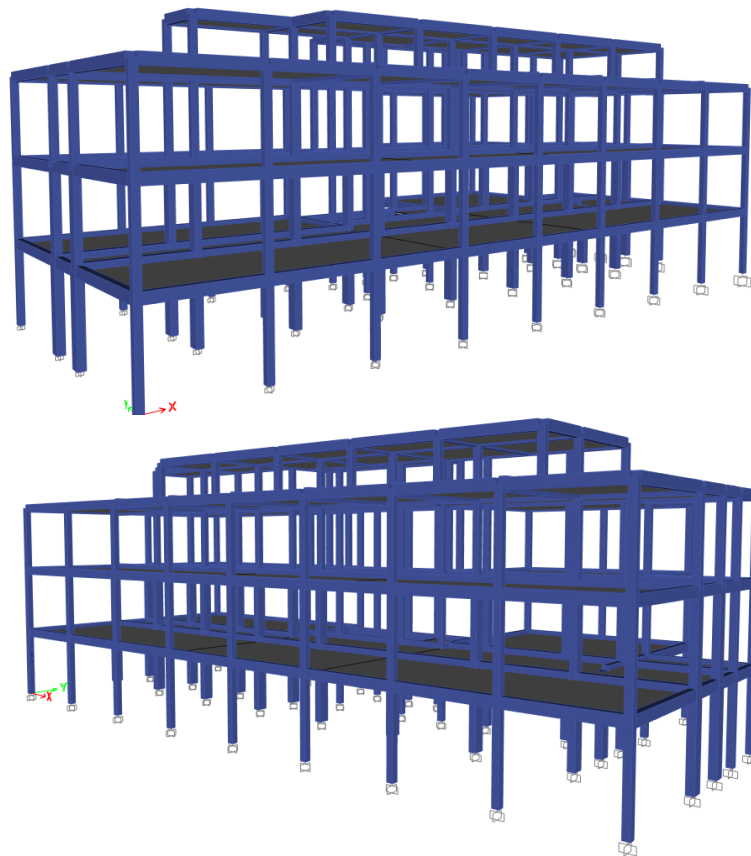
Dimenzije elementa	Uzdužna armatura	Poprečna armatura
S1 30/30 cm	4Ø 14	Ø 6 na razmaku 15 cm
S2 30/45cm	6Ø 14	Ø 6 na razmaku 15 cm
S3 35/60cm	10Ø 14	Ø 6 na razmaku 25 cm
S4 45/45cm	8Ø 14	Ø 6 na razmaku 25 cm
S5 30/55cm	8Ø 14	Ø 6 na razmaku 25 cm
G1 30/45	6Ø 14	Ø 6 na razmaku 15 cm
G2 45/60	10Ø 14	Ø 6 na razmaku 25 cm
G3 30/60	8Ø 14	Ø 6 na razmaku 25 cm

Osi modela te smjer x i y prikazani su na slici 24.



Slika 24.: Osi modela [4]

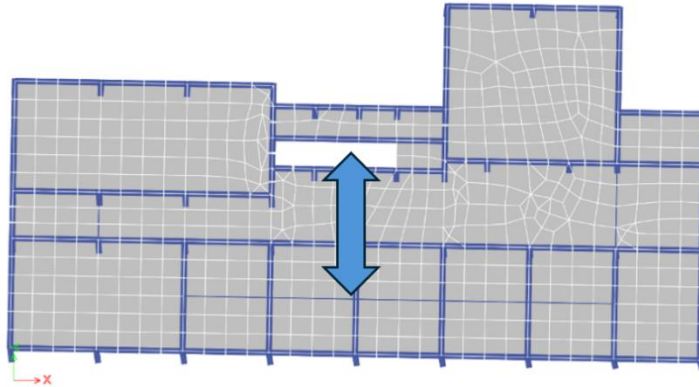
Aksonometrijski prikaz modela priložen je na slici 25.



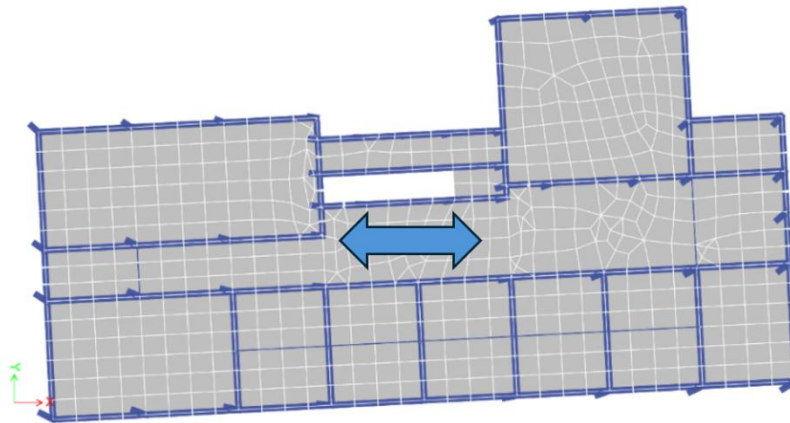
Slika 25.: Aksonometrijski prikaz modela [10]

### 3.3. Rezultati

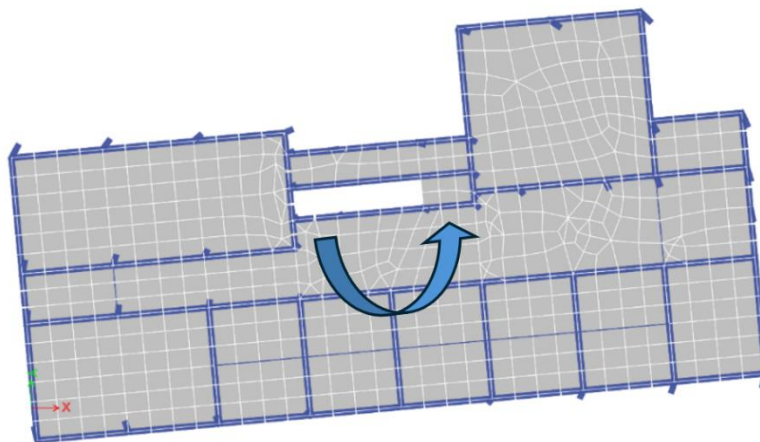
Provedenim proračunom postojećeg stanja dobiven je prvi oblik titranja u smjeru osi y. Drugi oblik titranja je u smjeru osi x, dok je treći oblik titranja torzija.



Slika 26.: Prvi oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 1,04s [10]



Slika 27.: Drugi oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 0,92s [10]



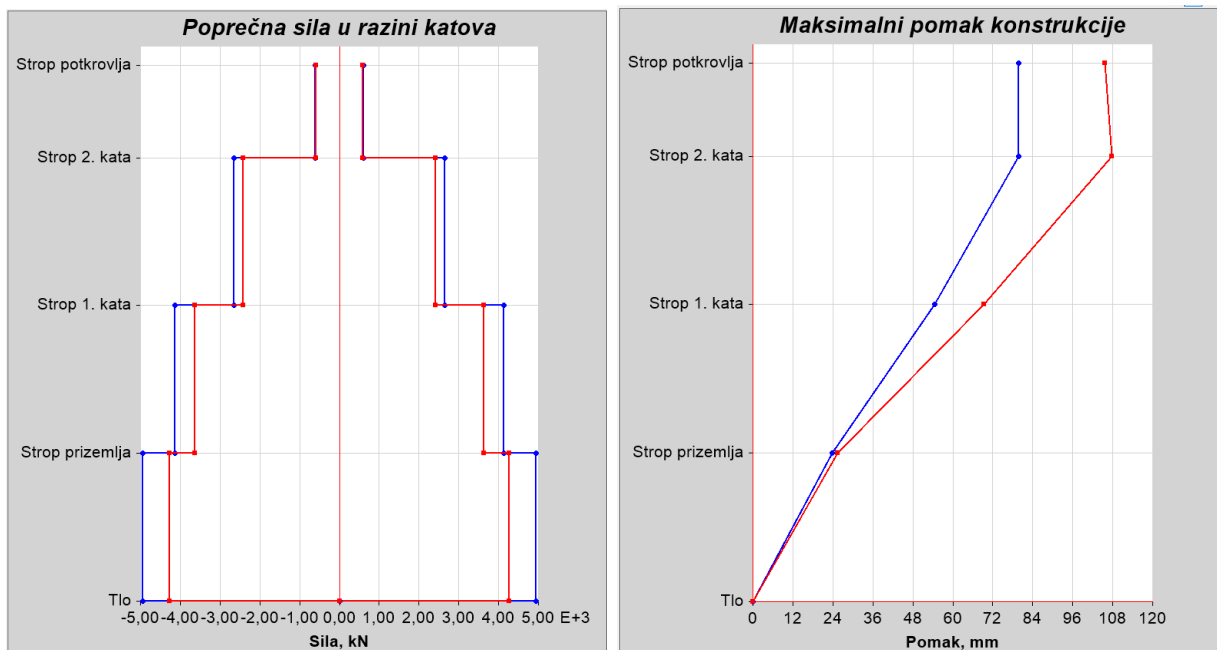
Slika 28.: Treći oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 0,85s [10]

Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja prikazani su u tablici 5.

**Tablica 5.: Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja**

Oblik titranja	Period (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1,049	0,0017	0,7833	0,0017	0,7833
2	0,919	0,7332	0,0068	0,7349	0,7901
3	0,845	0,1107	0,0104	0,8456	0,8005
4	0,336	0,0403	0,0617	0,8859	0,8622
5	0,331	0,059	0,0548	0,9449	0,917
6	0,306	0,0127	0,0041	0,9576	0,9211
7	0,200	0,0422	0,00002995	0,9998	0,9211
8	0,167	0,00003813	0,0659	0,9998	0,987
9	0,159	0,0002	0,0094	1	0,9963
10	0,145	0	0,0028	1	0,9992

Na slici 29. je prikazana raspodjela seizmičke sile. Poprečna sila u razini temelja u smjeru X iz tablice 3. prema kombinaciji A iznosi 4945 kN, a u smjeru Y 4271 kN, te je prikazan pomak konstrukcije uslijed kombinacije B iz tablice 3. Za smjer X maksimalni pomak konstrukcije iznosi 79 mm, a za smjer Y maksimalni pomak konstrukcije iznosi 107 mm.



**Slika 29.:** Raspodjela seizmičke sile i maksimalni pomak konstrukcije [10]

Relativni međukatni pomaci iz tablice 3. prema kombinaciji B prikazani su na slici 30.



Slika 30.: Međukatni pomaci konstrukcije [10]

Napravljena je provjera relativnog pomaka konstrukcije za za povratni period 95 godina prema kombinaciji B iz tablice 3. te kao što se vidi na slici 31. postojeće konstrukcija ne zadovoljava uvjet međukatnog pomaka.

**OGRANIČENJE MEĐUKATNOG POMAKA**

Vršno ubrzanje tla:

$a_{gR}/g = 0,182$   
 $a_{gR}/g = 0,126$

za povratno razdoblje  $T_{NCR} = 225$  godina  
 za povratno razdoblje  $T_{NCR} = 95$  godina

$h = 4,00$  m visina etaže

Relativni pomak etaže:

X SMJER  
 $d_{e,x,\Delta} = 54,6 - 23,7 = 30,90$  mm  
 $d_{r,x} = d_{e,\Delta} \times q = 30,9$  mm

Y SMJER  
 $d_{e,y,\Delta} = 69,3 - 25,4 = 54,90$  mm  
 $d_{r,y} = d_{e,\Delta} \times q = 54,9$  mm

Faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja:

$v = a_{gR,255}/a_{gR,95} = 0,692$

$v = 0,5$

Preporučena vrijednost za razred važnosti I i II

$v = 0,4$

Preporučena vrijednost za razred važnosti III i VI

Usvojeno:  $v = 0,692$

Ograničenje za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente od krhkih materijala pričvršćene za konstrukciju:

$d_r v \leq 0,005 h$

X SMJER:  
 $21,39$  mm >  $20,00$  mm

Y SMJER:  
 $38,01$  mm >  $20,00$  mm

NE ZADOVOLJAVA

NE ZADOVOLJAVA

Stvarni ukupni pomak konstrukcije:

X SMJER:  
 $d_{r,x} = d_e \times q_{d,75} = 17,79$  mm

Y SMJER:  
 $d_{r,y} = d_e \times q_{d,75} = 25,34$  mm

Slika 31.: Provjera međukatnog pomaka



### 3.4. Provjera stupova

Dokaz za otpornost stupa na poprečnu silu provodi se prema tri izraza:

Prema izrazu iz norme HRN EN 1992 [11]

$$V_{Rd} = \max\left\{ \left[ 0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d; (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w d \right\}$$

Pri čemu je:

$$k - 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_1 - \frac{A_{sl}}{b \times d} \leq 0,02$$

$f_{ck}$  – karakteristična tlačna čvrstoća betona u  $N/mm^2$

$\gamma_c$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za beton

$$\sigma_{cp} - \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

$b_w$  – najmanja širina poprečnog presjeka u mm

$$v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$$

$d$  – statička visina poprečnog presjeka u mm

Prema izrazu iz norme HRN EN 1998-3 [12] dobiva se vrijednost  $V_R$ , koja označava posmičnu otpornost pri cikličkom opterećenju.

$$V_{Rd} = \frac{1}{y_{el}} \left[ \frac{h-x}{2L_v} \min(N; 0,55A_c f_c) + \left( 1 - 0,05 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}) \right) \right] \times [0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) \left( 1 - 0,16 \min\left(5; \frac{L_v}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w]$$

Pri čemu je:

$y_{el}$  – 1,15 za primarne, odnosno 1,0 za sekundarne potresne elemente

$h$  – visina presjeka

$x$  – visina tlačnog područja

$L_v$  – omjer momenta i poprečne sile u krajnjem presjeku

$N$  – tlačna uzdužna sila

$A_c$  – ploština presjeka

$f_c$  – tlačna čvrstoća betona

$\mu_{\Delta}^{pl}$  faktor duktilnosti poprečnog progiba posmičnog raspona ili zaokretanja vlakna na kraju elementa

$\rho_{tot}$  – ukupni omjer armiranja uzdužnom armaturom

$V_w$  – doprinos poprečne armature posmičnoj otpornosti

Prema izrazu iz talijanskih normi [13] posmična otpornost elementa s poprečnom armaturom se definira kao manja od dvije dolje navedene:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times \frac{A_{sw}}{s} \times f_{yd} \times (ctg\alpha + ctg\theta) \times \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times v \times f'_{cd} \times (ctg\alpha + ctg\theta) \times (1 + ctg^2\theta)$$

$\alpha$  – kut između poprečne armature i osi grede

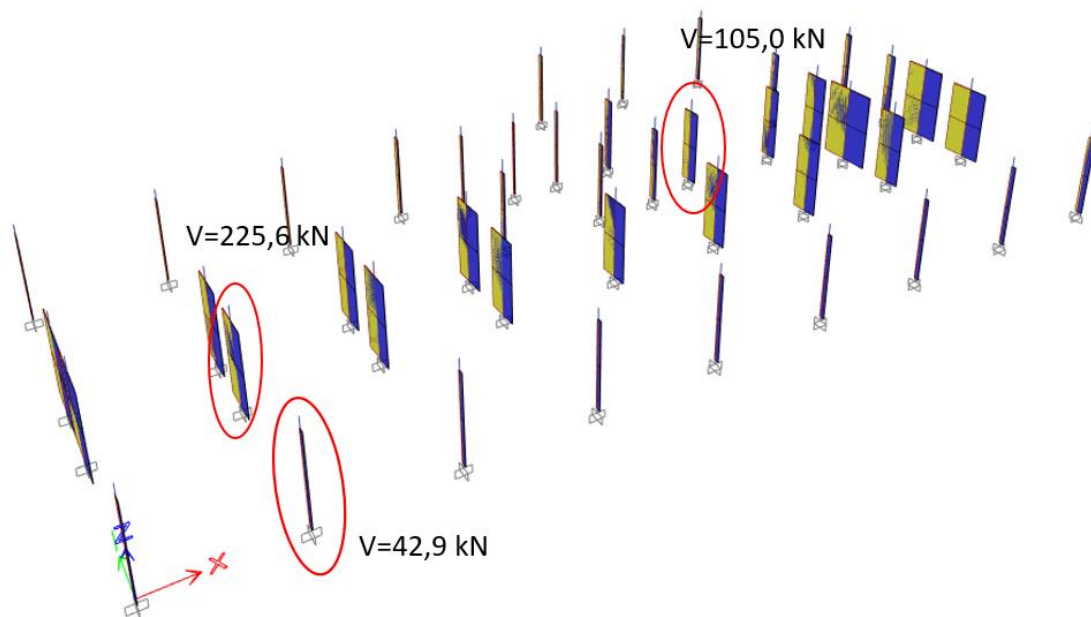
$\theta$  – kut između betonskog tlačnog štapa i osi grede okomito na poprečnu silu

$\alpha_c$  – koeficijent koji uzima u obzir stanje naprezanja u tlačnom pojasu

$v$  – koeficijent smanjenja čvrstoće za beton raspucan posmikom

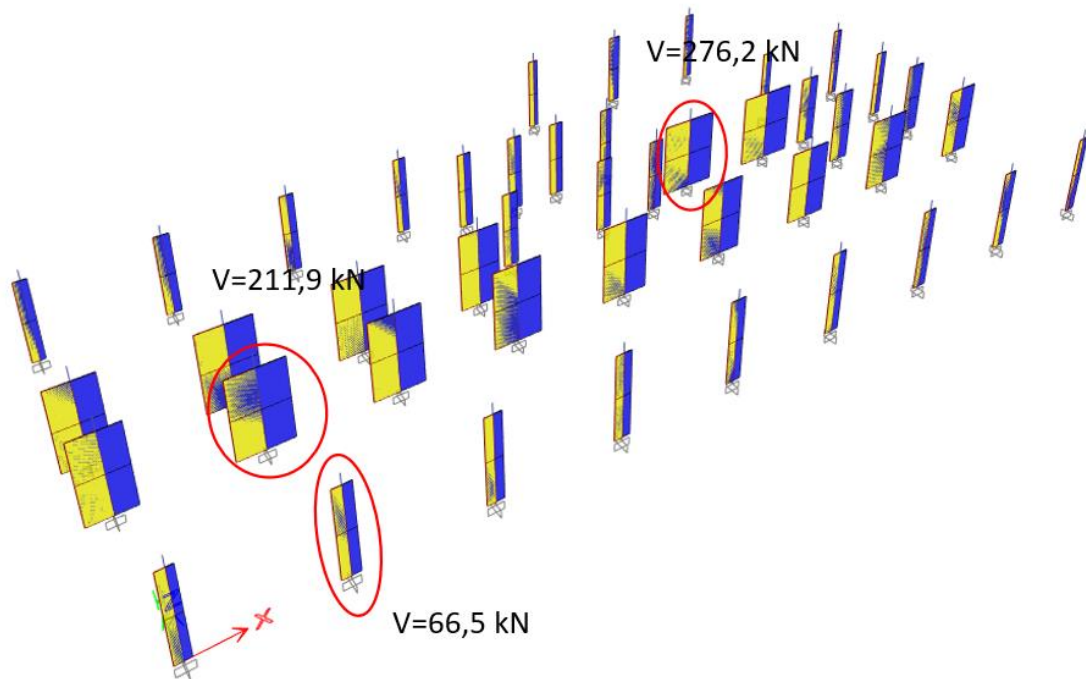
Prema dimenzijama u prizemlju razlikujemo tri stupa, stup 30/30, stup 35/60 i stup 45/45.

Prikaz raspodjele poprečnih sila u prizemlju u smjeru Y prema kombinaciji A iz tablice vidimo na slici 32.



Slika 32.: Poprečne sile u Y smjeru [10]

Poprečne sile u prizemlju u smjeru X prikazane su na slici 33.



Slika 33. Poprečne sile u X smjeru [10]

Provjera stupova se provodi za tri karakteristična stupa u prizemlju.

Stup 30/30 se zbog simetrije provjerava na veću silu iz dva smjera. Otpornost stupa 30/30 prema navedenim izrazima i IZO faktor prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Otpornost stupa 30/30 i IZO faktor

Poprečna sila u stupu	66,5 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	35,6 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	72,3 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	51,0 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 godina (javna građevina)	0,54 (54 %)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	0,40 (40 %)

Kod stupa 35/60 potrebno je provesti proračun sa silama iz dva smjera, kao što je prikazano u tablici 7.

**Tablica 7.: Otpornost stupa 35/60 i IZO faktor**

	Smjer X	Smjer Y
Poprečna sila u stupu	211,9 kN	225,6 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	36,4 kN	53,0 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	92,4 kN	194,0 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	59,4 kN	101,9 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 godina (javna građevina)	0,18 (18 %)	0,27 (27%)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	0,13 (13%)	0,13 (13%)

Stup 45/45 se zbog simetrije provjerava na veću silu iz dva smjera.

**Tablica 8. Otpornost stupa 45/45 I IZO faktor**

	Smjer X
Poprečna sila u stupu	276,2 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	68,5 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	109,2 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	76,4 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 godina (javna građevina)	0,31 (31%)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	0,24 (24%)

**IZO (postojeće) = 0,13 < IZO (Razina 3) = 0,75**

Na temelju provedenih provjera zaključeno je da postojeće stanje konstrukcije nije zadovoljavajuće na djelovanje potresa, mjerodavni su stupovi prizemlja, te je potrebno izvršiti ojačanje kako bi se postigla zakonom propisana razina otpornosti.

## 4. NUMERIČKI MODEL ZGRADE – S IZOLATORIMA

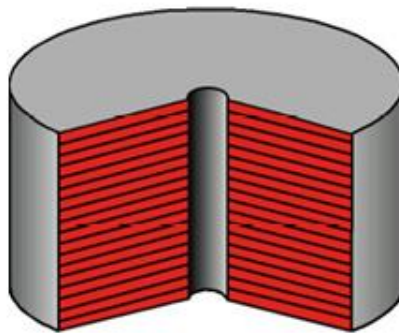
### 4.1. Općenito o izolatorima

Za prvu zgradu u kojoj su ugrađeni izolatori, smatra se osnovna škola „Johan Heinrich Pestalozzi“ u Skopju, izgrađena 1969. godine. [14] Pri gradnji mosta izolatori su prvi put iskorišteni 1973. godine u Novom Zelandu. [15] Turska od 2013. godine u svojim propisima za gradnju bolnica sa više od 100 kreveta, uvjetuje korištenje seizmičkih izolatora. [16] U mnogim seizmički aktivnim zemljama izolatori ne predstavljaju novitet, već inženjersku praksu.

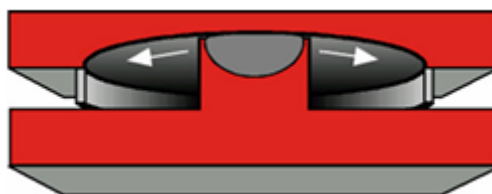
Pri projektiranju građevina na potresno djelovanje potrebno je osigurati disipaciju energije, te građevina mora imati lokalnu i globalnu duktilnost kako bi „preuzela“ veliku količinu energije. Kolaps konstrukcijskih elemenata se izbjegava, ali je dopušteno da građevina poprimi znatna oštećenja, kako bi se spriječile ljudske žrtve.[17] Korištenjem uređaja za disipaciju energije na kontroliran način, poput seizmičkih izolatora značajno se smanjuju ili izbjegavaju oštećenja konstrukcijskih elemenata, pogotovo pri potresima slabih intenziteta gdje građevine ostaju neoštećene i funkcionalne, što je ključno za neometani rad važnih institucija poput bolnica.

Sustave zaštite od potresnog djelovanja dijelimo prema konvencionalnim metodama, sustavima s prigušenjem i sustavima s izolacijom.

Sustave s izolacijom dijelimo na primjenu elastomernih izolatora s ili bez olovne jezgre te kliznih izolatora s ravnom ili zakrivljenom površinom. [18]

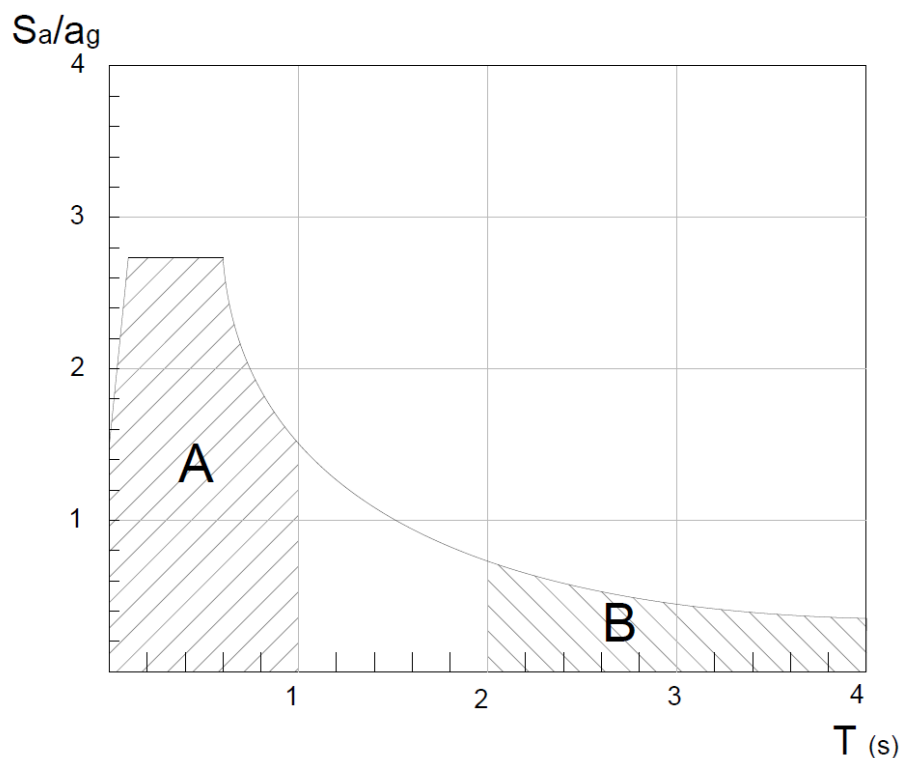


Slika 34.: Primjer elastomernog ležaja [8]



Slika 35.: Primjer konkavnog kliznog ležaja [8]

Ojačavanje konstrukcije dodavanjem konstruktivnih elemenata, konstrukcija često postiže veću krutost a time i manji period uslijed čega dolazi do povećanja seizmičke sile. Osnovni cilj seizmičke izolacije je povećanje perioda konstrukcije na više od 2 sekunde, što rezultira manjom seizmičkom silom. Seizmička izolacija iako može značajno umanjiti potresnu silu, potrebno je provesti provjeru konstrukcije i na pripadnu potresnu silu dobivenu nakon ugradnje izolatora. Ukoliko postojeća konstrukcija ne zadovoljava i na umanjene sile, potrebno je izvesti dodatna ojačanja. Na slici 36. označena su karakteristična područja na spektru u koja se svrstavaju građevine sa seizmičkom izolacijom i bez nje. Veći dio građevina prema periodima može se svrstati u područja A, dok građevine sa ugrađenom seizmičkom izolacijom koja ima značajan utjecaj na povećanje perioda pripadaju području B.

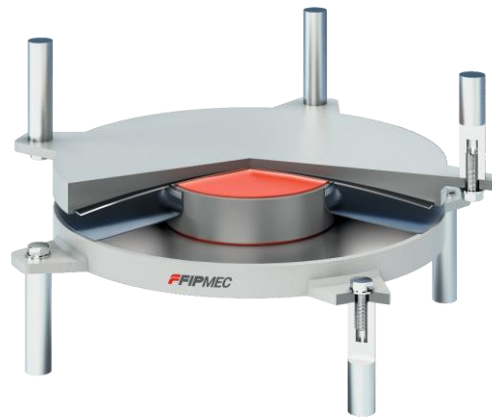


**Slika 36.:** Grafički prikaz usporedbe karakterističnih perioda građevina

Pri donošenju odluke o primjeni izolatora na postojećim građevinama, potrebno je udovoljiti osnovnim uvjetima [19]:

- građevina treba biti prikladno pravilna
- dovoljan prostor za realizaciju pomaka
- dovoljnu otpornost građevina i nakon ugradnje izolatora
- dokaz da se na izolatorima ne pojavljuje vlak

U ovom radu korišten je tip izolatora *Curved Surface Slider – Pendulum isolator* (klizni izolator sa zakrivljenom površinom) od proizvođača FIP MEC-a

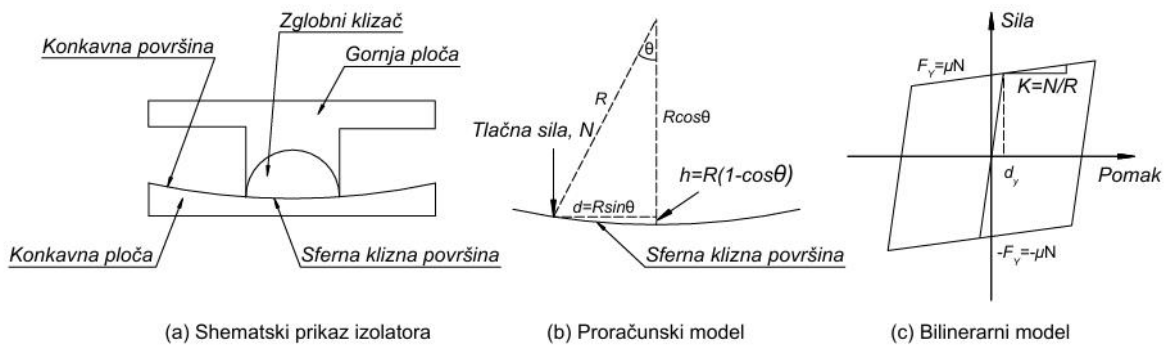


**Slika 37.:** Prikaz karakterističnog "Pendulum" izolatora [20]

„Pendulum“ izolatora koristi „valjke“ i „klizače“ između građevine i temelja. Poprečna sila koja se prenosi preko izolatora na konstrukciju, ograničena je korištenjem koeficijenta trenja, koji treba biti mali iznosom kako bi mogao omogućiti disipaciju energije, a dovoljno velik da trenje izdrži jake vjetrove i manje potrese bez pomaka. [21]

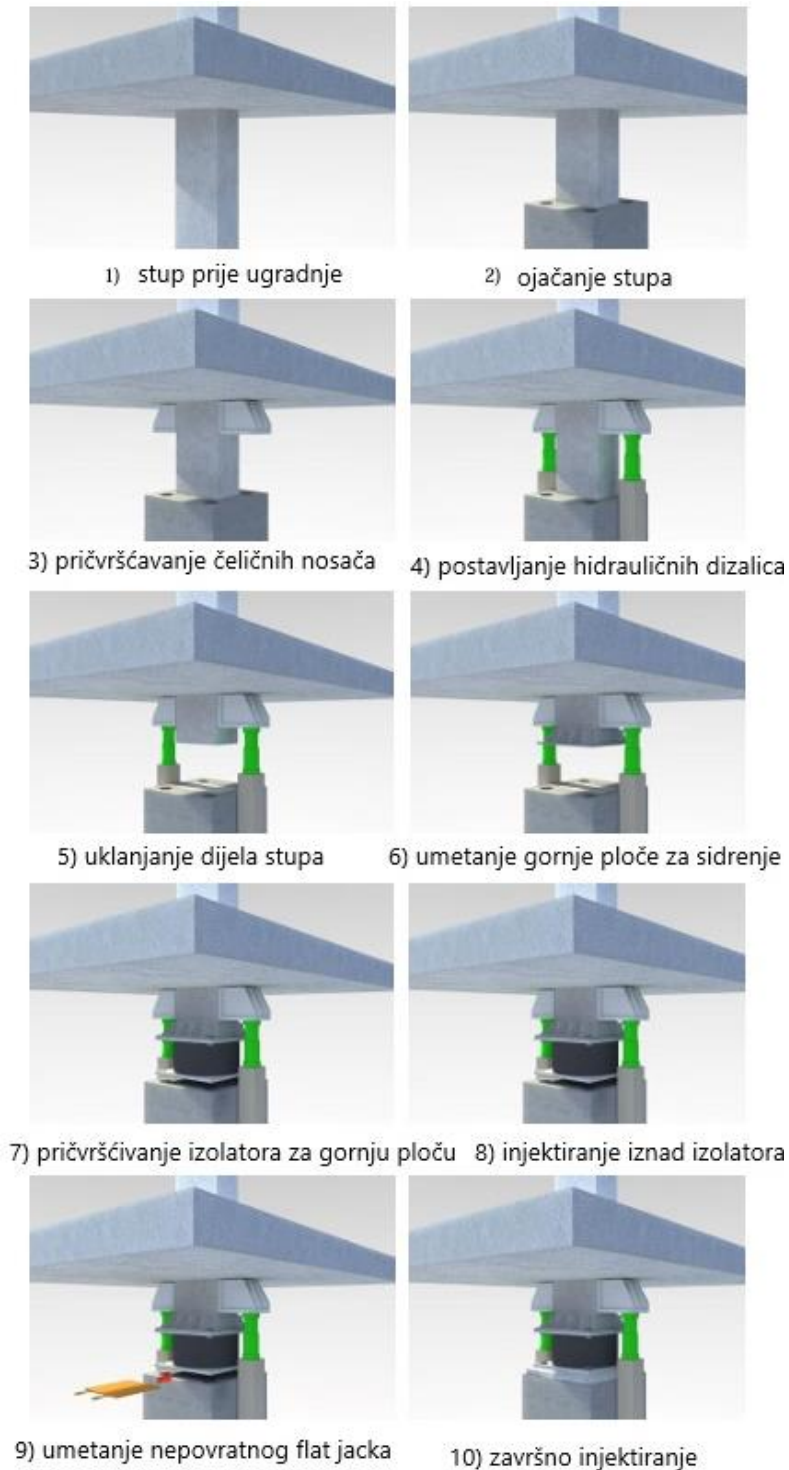
Na slici 37. prikazan je tip izolatora korišten u radu. Izolator se sastoji od donje konkavne ploče i gornje ploče koja zglobnim ležajem kliže po konkavnoj površini. Konkavna površina je bitna zbog toga što vertikalna sila pozitivno utječe na trenje i mogućnost povratka u prvobitno stanje.

Na bilinearnom modelu prema slici 38.  $F_y$  označava kritičnu poprečnu silu potrebnu za početak klizanja, jednaku umnošku uzdužne sile i koeficijenta trenja. Omjer uzdužne sile i radijus zakrivljenost označavaju krutost nakon popuštanja. Koeficijent trenja ovisi o brzini klizanja te u početku raste eksponencijalno, a zatim postiže maksimalnu vrijednosti pri većoj brzini.



**Slika 38.:** Model ponašanja izolatora [22]

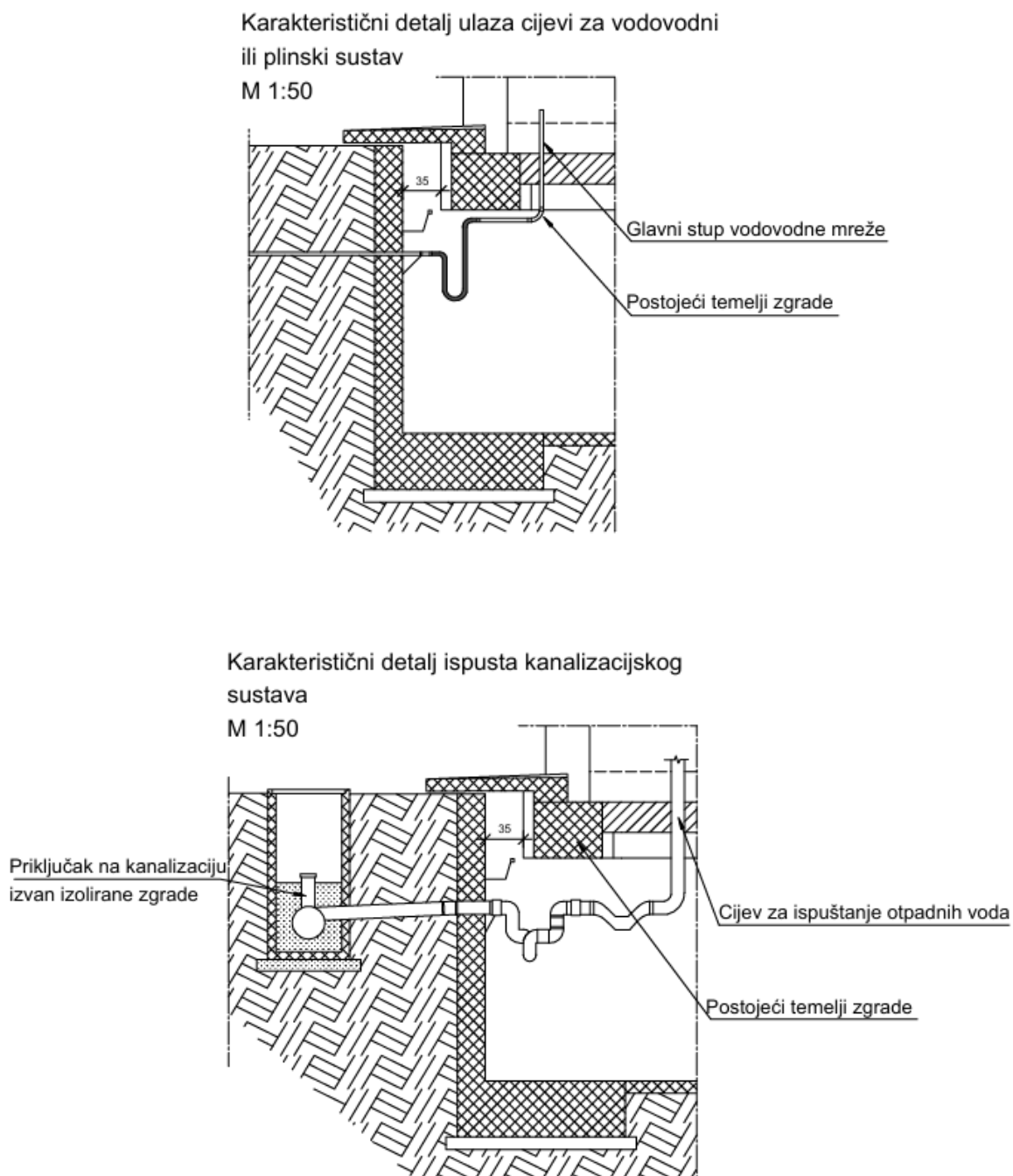
Na slici 41. možemo vidjeti prikaz detalja ugradnje izolatora. Ukoliko stup ili temelj nema dovoljnu otpornost za ugradnju izolatora, potrebno je izvesti ojačanje. Postavlja se priprema za montažu hidrauličnih dizalica. Nakon dizanja, uklanja se dio stupa i postavlja se gornji dio izolatora. Potrebno je injektirati iznad izolatora, a nakon postavljanja nepovratnog „flat jacka“ potrebno je injektiranje i s donje strane izolatora.



**Slika 39.:** Način ugradnje izolatora [23]



Građevine sa ugrađenim seizmičkim izolatorima pri djelovanju potresa doživljavaju značajne pomake. Na svim instalacijama koje ulaze u građevinu neophodno je osigurati fleksibilne spojeve koji omogućuju maksimalne pomake. Na slici 42. prikazani su karakteristični detalji provedbe instalacija u sklopu tehničke etaže. Prema normi za protupotresne naprave [24] sve instalacije koje prolaze kroz spojeve oko izolirane konstrukcije moraju ostati u elastičnom području.

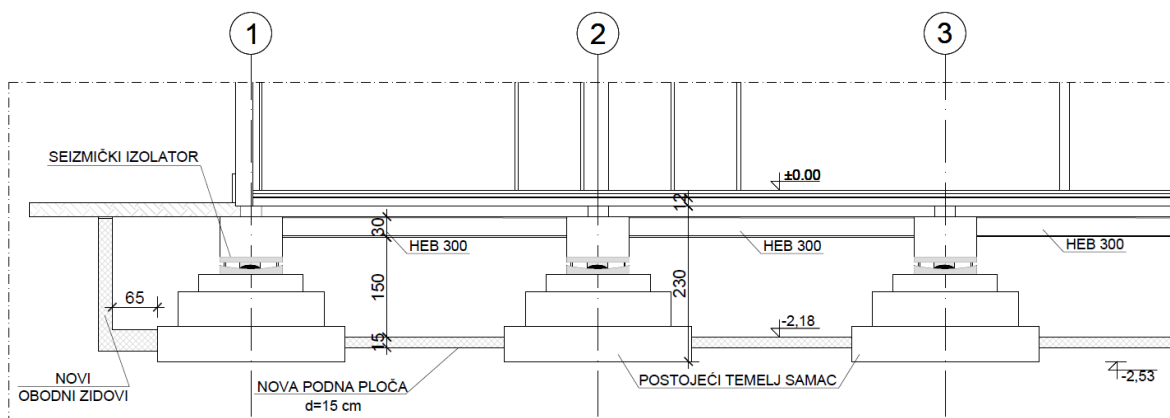


Slika 40.: Detalji ugradnje instalacija kod seizmički izoliranih građevina

## 4.2. Tehnički opis građevine sa seizmičkom izolacijom

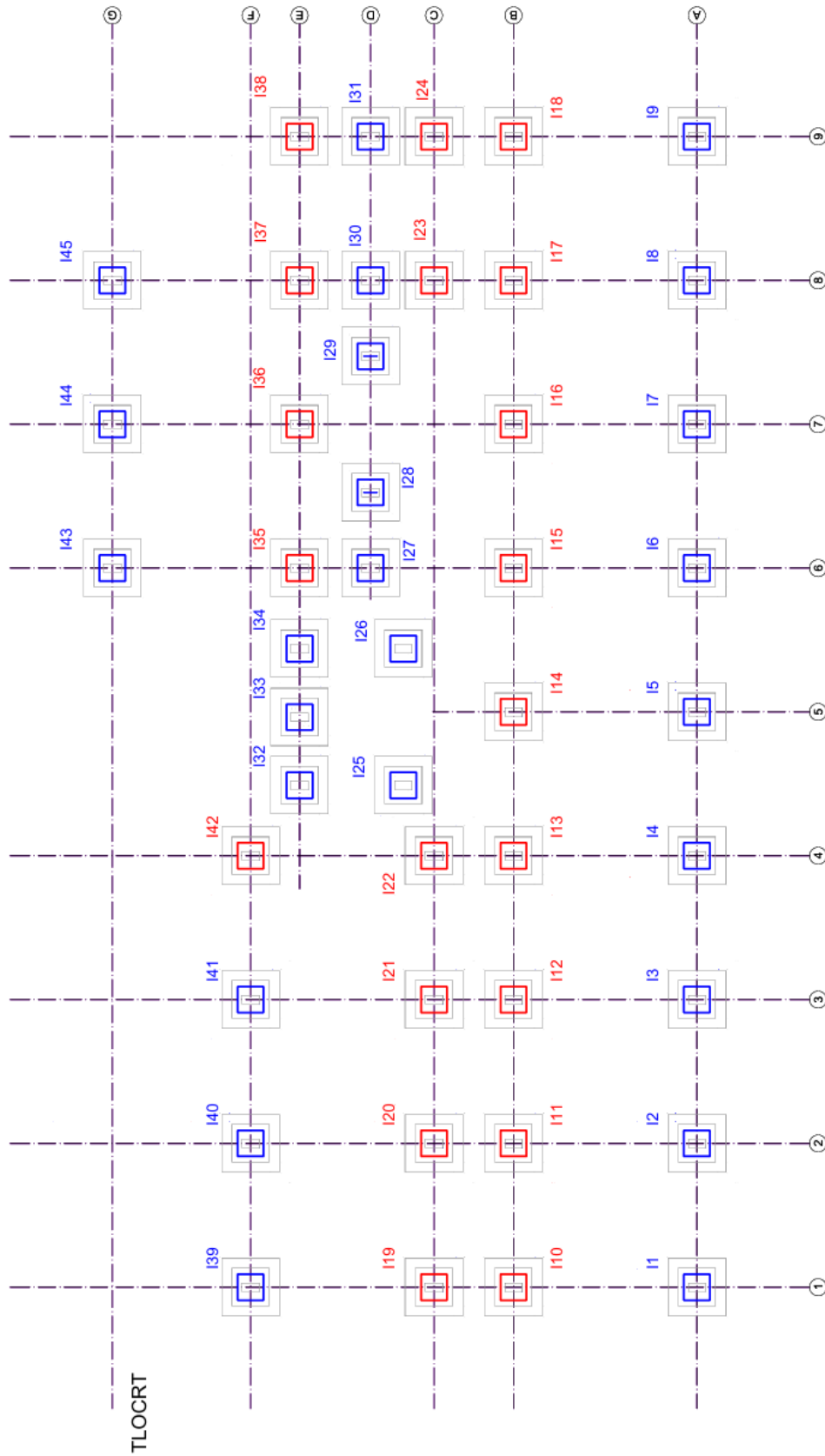
Građevina je samostojeća i odvojena od susjednih građevina, te kao takva ima mogućnost pomaka u svim smjerovima. Za potrebe ugradnje izolatora, potrebno je predvidjeti i osigurati adekvatno mjesto ugradnje, u ovom slučaju potrebno je izvesti tehničku etažu.

Predviđena tehnička etaža realizirala bi se u visini postojećih temelja samaca. Pod tehničke etaže predviđen je kao armirano-betonska ploča u debljini 15 cm. Po obodu tehničke etaže predviđa se izvedba zidova koji su dimenzionirani i za preuzimanje pritiska tla. Iznad pozicije izolatora, predviđa se ugradnja čeličnih profila HEB 300 i trapezni lim kao izgubljena oplata sa ab tlačnom pločom debljine 6 centimetara koja ima ulogu horizontalne dijafragme te osigurava ujednačene pomake konstrukcije. Ovakvim pristupom potresno djelovanje raspoređuje se na sve izolatore istovremeno.



**Slika 41.:** Pregledni nacrt tehničke etaže na karakterističnom presjeku

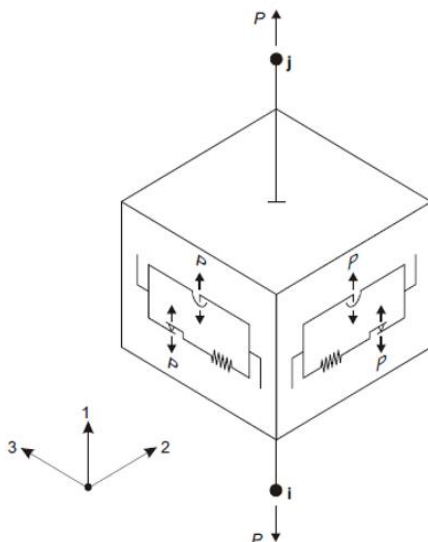
Izolator se postavlja na svaki temelj, a karakteristike ovise o silama, s obzirom na raspodjelu sila korištena su dva tipa izolatora. Predviđena tehnička etaža ispod cijelog tlocrta prizemlja i omogućava pristup svakom temelju, odnosno izolatoru, te je moguć pregled, postavljanje i zamjena izolatora. Slika 42. prikazuje predviđenu shemu i pozicije izolatora.



Slika 42.: Shema i pozicija izolatora

### 4.3. Proračun

Numerički model je rađen u softveru ETABS. Za potrebe modela definiran je tip izolatora Friction-Pendulum Isolator pomoću „Link properties“. U softveru je definiran kao dvoosni izolator koji ima povezane postavke za dvije posmične deformacije i krutosti nakon početka klizanja u posmičnim smjerovima. Sile trenja i njihala su direktno proporcionalne tlačnoj uzdužnoj sili, a takav element ne može prenositi vlačne sile. [15]



Slika 43.: Prikaz izolatora u postavkama softvera [25]

Model trenja dopušta pomake pri niskoj razini posmične sile, a veličina pomaka se povećava kako posmična sila približava „klizanju“. Klizanje pri niskim vrijednostima poprečne sile može se smanjiti koristeći veće vrijednosti elastične posmične krutosti.

Za potrebe linearne analize koriste se efektivne (elastične) krutosti izolatora, ali za nelinearne analize potrebna je krutost poslije elastičnog područja, odnosno krutost koja se mijenja po radnom dijagramu izolatora.

Prema podacima proizvođača FIP-MECA usvojene su karakteristike izolatora. Vrijednosti krutosti izolatora ovise o rezultatima proračuna postojećeg stanja za kombinaciju C iz tablice 3. S obzirom na raspon i raspodjelu sila prema uputama proizvođača uvode se dva tipa izolatora, u postavkama računalnog programa zadanih kao „Izolator tip 1“, za preuzimanje većih sila, te „Izolator tip 2“ za preuzimanje manjih sila. Vertikalna krutost svih ugrađenih izolatora ostaje jednaka, dok se krutost u horizontalnom smjeru smanjuje za izolatore koje preuzimaju manje sile. Karakteristike „Izolatora tip 1“ prikazane su na slici 44.

**E** Link Property Data ✕

---

**General**

Link Property Name:  P-Delta Parameters:

Link Type:  Acceptance Criteria:

Link Property Notes:  None specified

---

**Total Mass and Weight**

Mass:  ton Rotational Inertia 1:  ton-m<sup>2</sup>

Weight:  kN Rotational Inertia 2:  ton-m<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3:  ton-m<sup>2</sup>

---

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property:  m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property:  m<sup>2</sup>

---

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

---

**Stiffness Options**

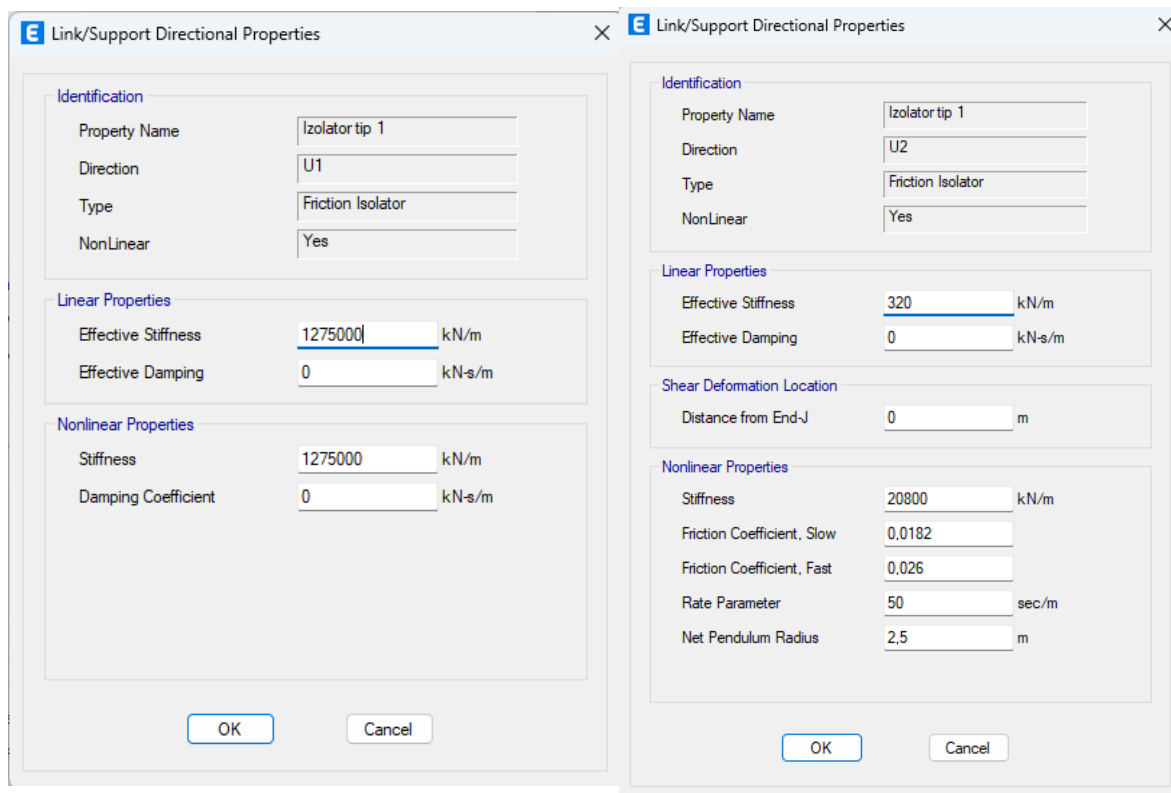
Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor:

Slika 44.: Karakteristike izolatora tip 1 [10]

Potrebno je definirati karakteristike u vertikalnom smjeru i dva horizontalna smjera. Vertikalna krutost izolatora je značajna, dok je u horizontalnom smjeru smanjena kao što se vidi na slici 45. Izolator ima jednake vrijednosti horizontalnih krutosti za oba definirana smjera (U2 i U3).



Slika 45.: Karakteristike izolatora tip 1 u vertikalnom i horizontalnom smjeru [10]

Karakteristike za „Izolator tip 2“ koji se definira za preuzimanje manjih sila.

**E** Link Property Data

**General**

Link Property Name: Izolator tip 2

Link Type: Friction Isolator

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...  
None specified

**Total Mass and Weight**

Mass: 0,1 ton

Weight: 1 kN

Rotational Inertia 1: 0,1 ton-m<sup>2</sup>

Rotational Inertia 2: 0,1 ton-m<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0,1 ton-m<sup>2</sup>

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m<sup>2</sup>

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All      Clear All

**Stiffness Options**

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

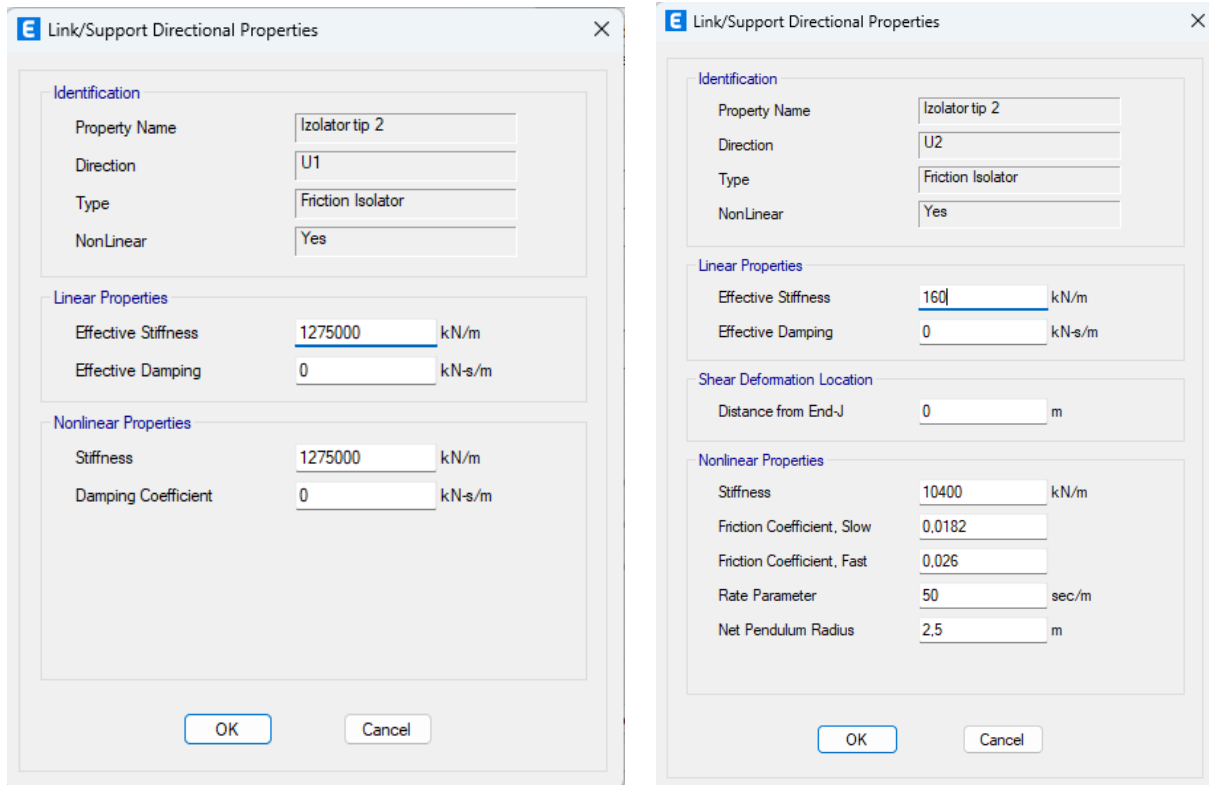
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK      Cancel

Slika 46.: Karakteristike izolatora tip 2 [10]

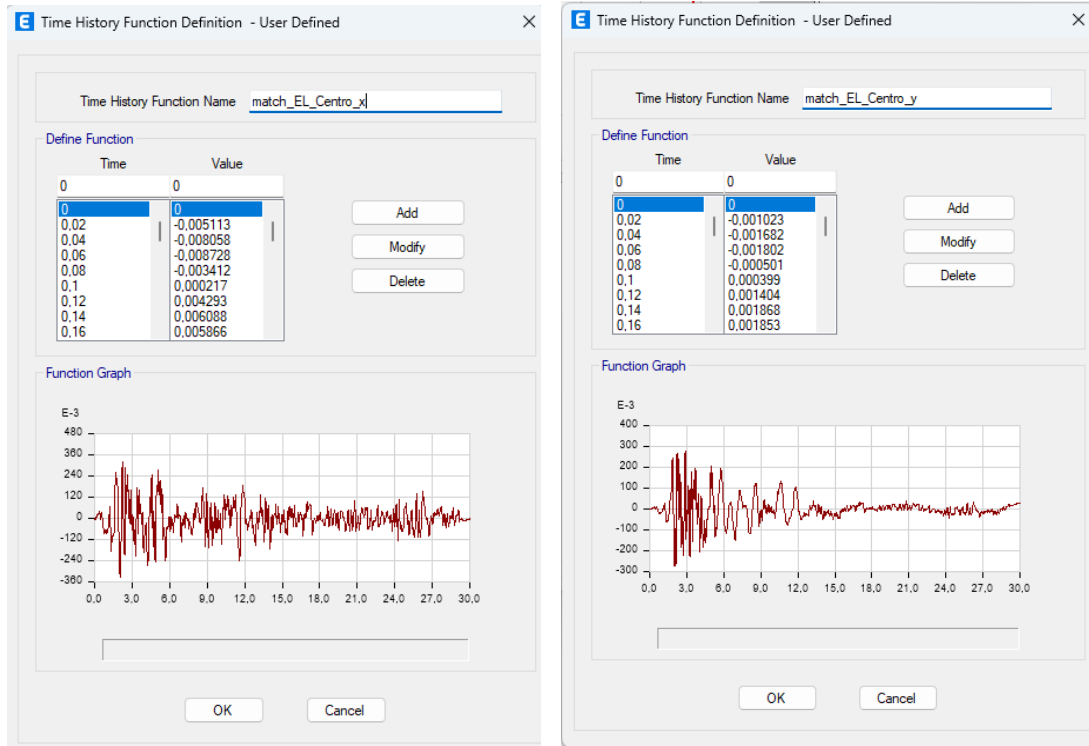
Karakteristike „Izolatora tip 2“ za preuzimanje manjih sila u horizontalnom smjeru, ima jednake vrijednosti za vertikalni smjer (U1) kao i „Izolator tip 1“, ali vrijednost za horizontalne smjerove (U2 i U3) mijenja se kod tipa 2.



Slika 47.: Karakteristike izolatora tip 2 u horizontalnom smjeru



Proračun konstrukcije vrši se nelinearnim dinamičkim proračunom pomoću vremenskog zapisa. Korišten je umjetni zapis koji je generiran da odgovara elastičnom spektru odziva uvećan razredom važnosti građevine. Za početni zapis korišten je El Centro, a rezultat je zapis čiji je spektar blizak elastičnom, a vršno ubrzanje tla koje odgovara predmetnoj lokaciji prema seizmološkoj karti iznosi  $0,254g \times 1,2$  (razred važnosti). Korišteno prigušenje iznosi 5%

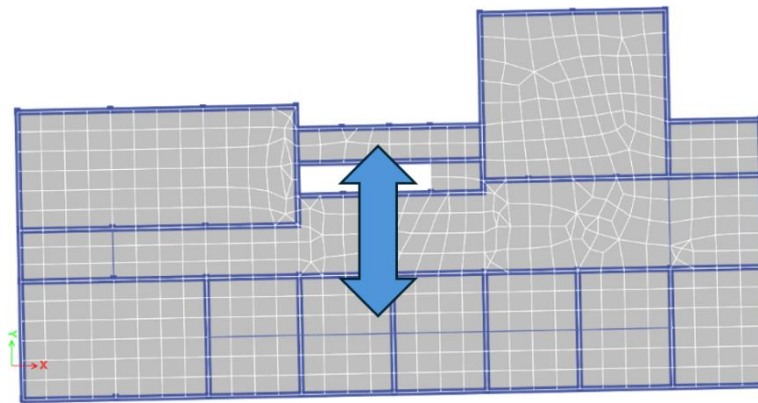


Slika 48.: Vremenski zapis u x i y smjeru [10]

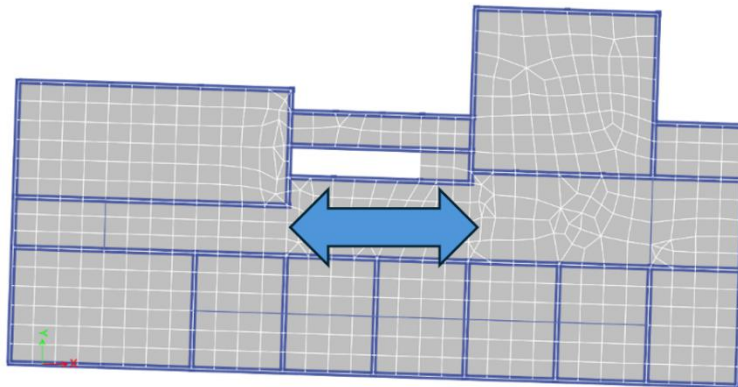
## 4.4. Rezultati

### 4.4.1. Rezultati modalne analize

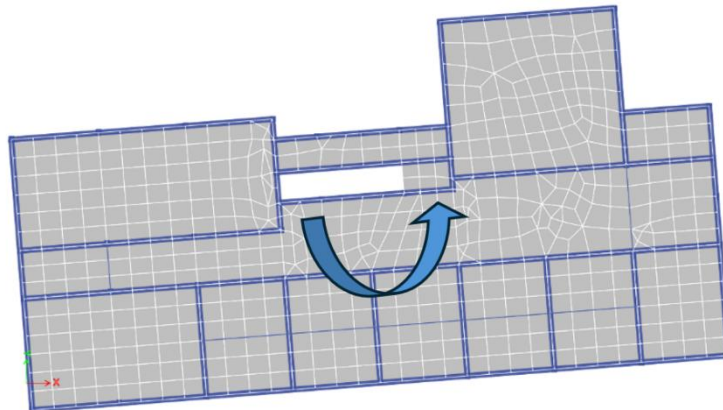
Provedenim proračunom model sa seizmičkom izolacijom dobiven je prvi oblik titranja u smjeru osi y. Drugi oblik titranja je u smjeru osi x, dok je treći oblik titranja torzija.



Slika 49.: Prvi oblik titranja s periodom 3,53 sekunde [10]



Slika 50.: Drugi oblik titranja s periodom 3,50 sekunde [10]



Slika 51.: Treći oblik titranja s periodom 3,25 sekunde [10]

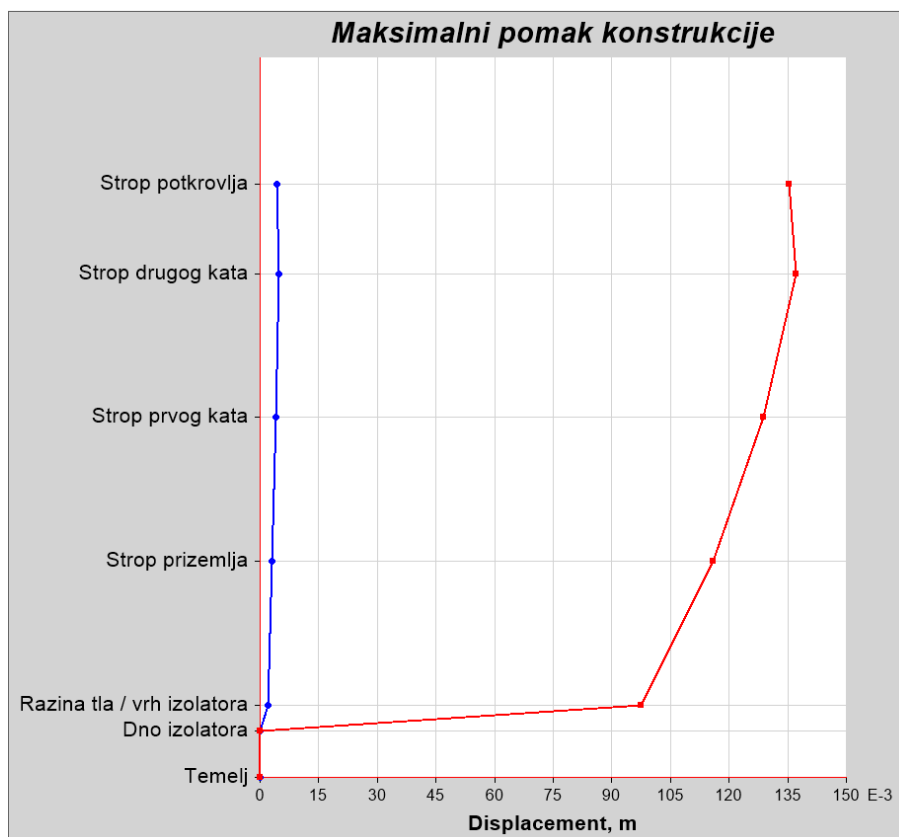
Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja prikazana u tablici 9.

**Tablica 9.: Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja**

Oblik titranja	Period (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	3,525	0,0882	0,8473	0,0882	0,8473
2	3,498	0,7989	0,1094	0,8871	0,9567
3	3,246	0,0787	0,0062	0,9658	0,9629
4	0,798	0,00002057	0,0079	0,9658	0,9708
5	0,716	0,0043	0,0001	0,9701	0,9709
6	0,656	0,0008	0,00004444	0,9709	0,971
7	0,434	0,0003	0,0003	0,9711	0,9712
8	0,429	0,0003	0,0003	0,9715	0,9715
9	0,389	0,00003274	0,00001382	0,9715	0,9715
10	0,292	0,00002396	0	0,9715	0,9715

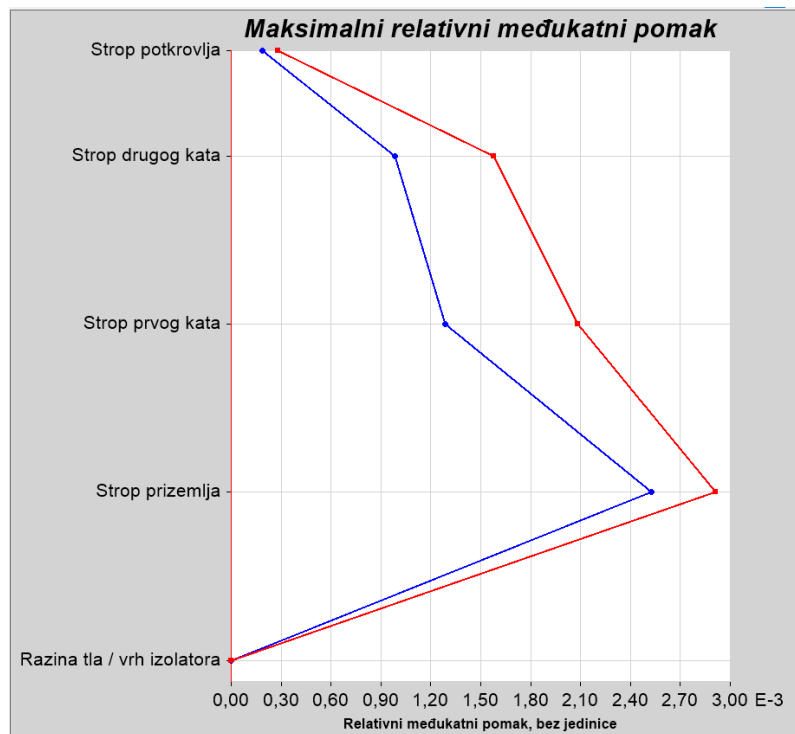
#### 4.4.2. Rezultati spektralne analize

Na slici 52 prikazan je maksimalni pomak konstrukcije uslijed kombinacije D (KOMB\_VJETAR) iz tablice 3.



**Slika 52.: Maksimalni pomak konstrukcije [10]**

Relativni međukatni pomaci su prikazani na slici 53. od vrha izolatora do vrha konstrukcije prema kombinaciji B iz tablice 3.



Slika 53.: Relativni međukatni pomaci konstrukcije [10]

Napravljena je provjera relativnog pomaka konstrukcije kao što se vidi na slici 55. model sa izolatorima zadovoljava uvjet međukatnog pomaka.

**OGRANIČENJE MEĐUKATNOG POMAKA**

Vršno ubrzanje tla:  
 $a_{gR}/g = 0,182$  za povratno razdoblje  $T_{NCR} = 225$  godina  $h = 4,00$  m visina etaže  
 $a_{gR}/g = 0,126$  za povratno razdoblje  $T_{NCR} = 95$  godina

Relativni pomak etaže:  
 X SMJER:  $d_{e,x,\Delta} = 79,9 - 70,0 = 9,90$  mm  $d_{r,x} = d_{e,x} \times q = 14,9$  mm  
 Y SMJER:  $d_{e,y,\Delta} = 84,9 - 73,7 = 11,20$  mm  $d_{r,y} = d_{e,y} \times q = 16,8$  mm

Faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja:

$v = a_{gR,475}/a_{gR,95} = 0,692$   $v = 0,5$  Preporučena vrijednost za razred važnosti I i II  
 $v = 0,4$  Preporučena vrijednost za razred važnosti III i VI  
 Usvojeno:  $v = 0,692$

Ograničenje za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente od krhkih materijala pričvršćene za konstrukciju:

$dr \leq 0,005 h$

X SMJER: 10,28 mm < 20,00 mm Y SMJER: 11,63 mm < 20,00 mm

ZADOVOLJAVA ZADOVOLJAVA

Stvarni ukupni pomak konstrukcije:

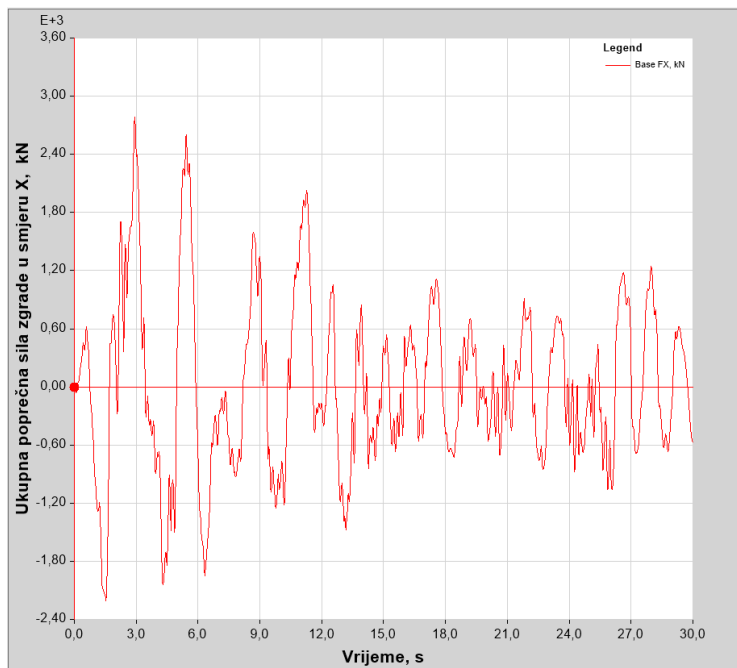
X SMJER:  $d_{r,x} = d_e \times q_{d,75} = 10,28$  mm Y SMJER:  $d_{r,y} = d_e \times q_{d,75} = 11,63$  mm

Slika 54: Provjera međukatnog pomaka

### 4.4.3. Rezultati dinamičke analize

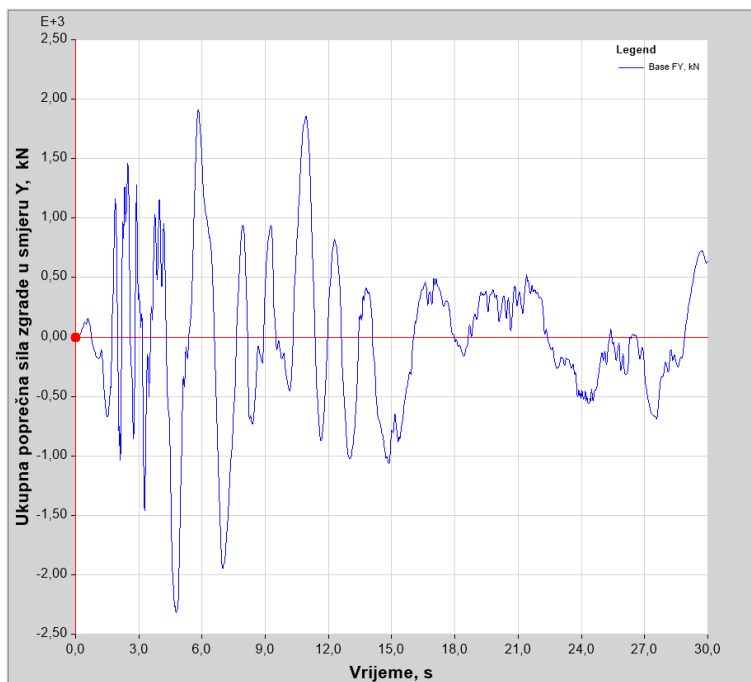
Nelinearna dinamička analiza koristi krutost koja se mijenja po radnom dijagramu izolatora.

Ukupna poprečna sila zgrade u smjeru X u funkciji vremena prikazana na slici 55.



Slika 55.: Poprečna sila u smjeru X u funkciji vremena [10]

Ukupna poprečna sila zgrade u smjeru Y u funkciji vremena prikazana je na slici 56.



Slika 56.: Poprečna sila u smjeru Y u funkciji vremena [10]

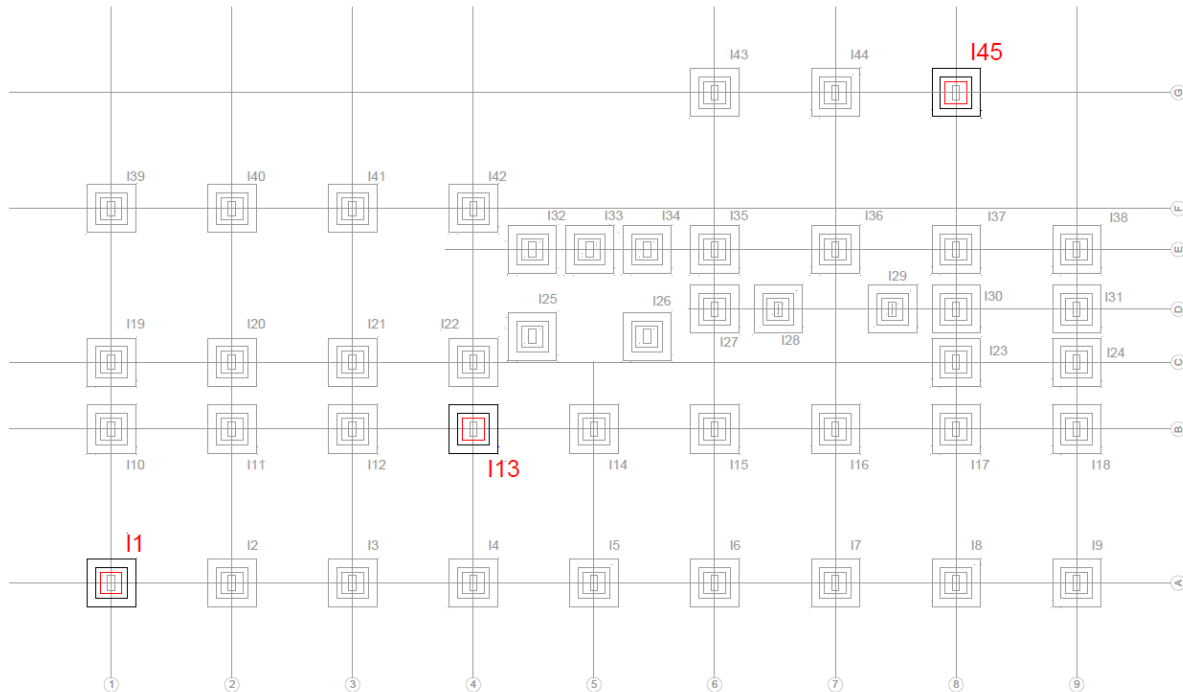
U tablici 10. prikazani su maksimalni pomaci svih izolatora u X i Y smjeru, kao i najveće sile koje se javljaju u izolatorima.

**Tablica 10.: Maksimalni pomaci izolatora i maksimalne sile**

Oznaka izolatora	U2 (m)	U3 (m)	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)
I1	0,080295	0,076923	-529,8653	-27,7643	-22,4337
I2	0,080281	0,079281	-596,0871	-32,8471	-25,6682
I3	0,080282	0,08169	-599,4286	-34,0767	-26,9594
I4	0,080281	0,084099	-612,3023	-34,7581	-27,5851
I5	0,080282	0,086508	-608,1158	-34,734	-27,6548
I6	0,080282	0,088917	-605,7093	-34,824	-27,7981
I7	0,080282	0,091326	-604,5322	-34,5504	-27,8061
I8	0,080282	0,093734	-624,6368	-36,9971	-29,2258
I9	0,08029	0,096153	-517,2527	-20,08	-19,5095
I10	0,079787	0,076923	-1021,4939	-45,5044	-44,8086
I11	0,079757	0,07927	-1122,791	-54,0344	-47,6369
I12	0,079755	0,081675	-1139,4357	-62,9899	-51,7517
I13	0,079751	0,08408	-1145,207	-65,0065	-51,9057
I14	0,079745	0,086481	-1132,8935	-72,7616	-52,3623
I15	0,079745	0,088889	-1151,122	-73,7783	-53,7213
I16	0,079743	0,091296	-1176,1138	-75,655	-54,934
I17	0,07975	0,09371	-1180,4841	-74,3685	-55,3775
I18	0,079773	0,096149	-1030,9774	-36,8119	-38,2759
I19	0,079566	0,076903	-966,1431	-51,5053	-16,7417
I20	0,079543	0,07926	-1014,5544	-53,0095	-27,7957
I21	0,079547	0,081669	-1021,112	-58,8934	-30,5511
I22	0,079554	0,084094	-843,8629	-43,8878	-37,1073
I23	0,079588	0,093756	-386,6032	-15,7183	-17,7004
I24	0,079579	0,096155	-334,9422	-11,372	-6,6982
I25	0,07944	0,085273	-662,3492	-32,8273	-18,8263
I26	0,079452	0,087571	-610,6297	-35,1419	-24,998
I27	0,079455	0,088929	-725,4696	-32,5665	-32,975
I28	0,079377	0,090088	-867,3145	-44,4719	-31,6241
I29	0,079387	0,092372	-913,7364	-57,3173	-36,8176
I31	0,079402	0,096148	-535,6437	-13,4972	-8,4575
I32	0,079182	0,085291	-262,8036	-16,6136	-10,2339
I33	0,079188	0,086524	-116,8618	-6,5234	-2,9451
I34	0,079184	0,087581	-213,5696	-9,78	-4,3618
I35	0,079144	0,088899	-998,3306	-44,8096	-23,0985
I37	0,07915	0,093717	-913,9012	-51,7557	-28,7293
I38	0,079177	0,096153	-412,6695	-9,0218	-7,3706
I39	0,079079	0,076917	-495,036	-30,5382	-14,3779
I39	0,079387	0,09373	-735,4373	-25,5802	-17,8151
I40	0,079066	0,079277	-586,1681	-34,2155	-21,3449
I41	0,079068	0,081686	-583,9219	-36,1098	-22,0017
I42	0,079074	0,084096	-639,1076	-30,3341	-11,936
I43	0,078707	0,088923	-394,9775	-25,1764	-13,4793
I44	0,078682	0,091314	-730,4611	-45,9996	-31,7121
I45	0,078702	0,093741	-424,4843	-16,8368	-10,443

Na slici 57. prikazan je plan pozicija seizmičkih izolatora na tlocrtu temelja. Označeni su izolatori na karakterističnim pozicijama za koje će u nastavku biti prikazani dodatni rezultati.

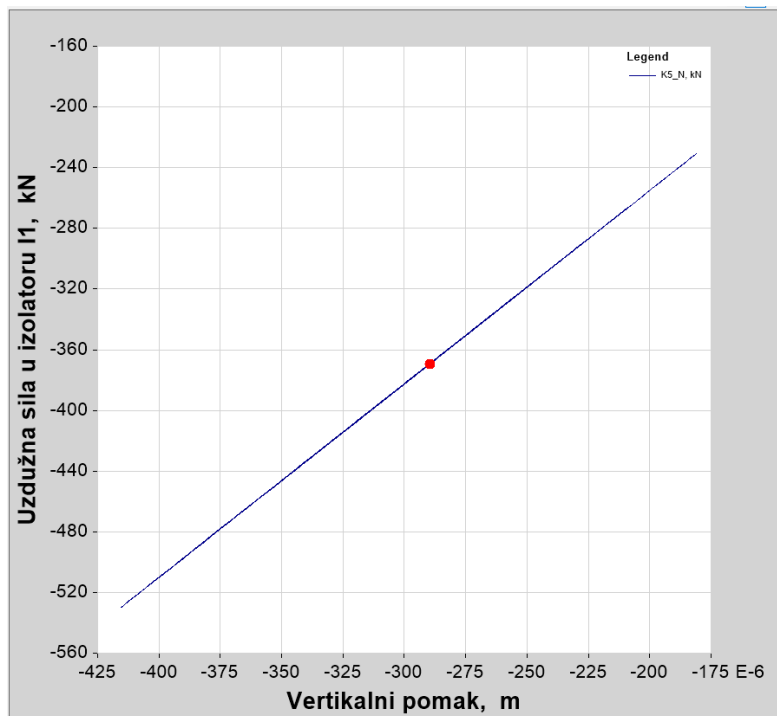
TLOCRT TEMELJA  
- POZICIJE SEIZMIČKIH IZOLATORA



Slika 57.: Tlocrt temelja sa karakterističnim izolatorima

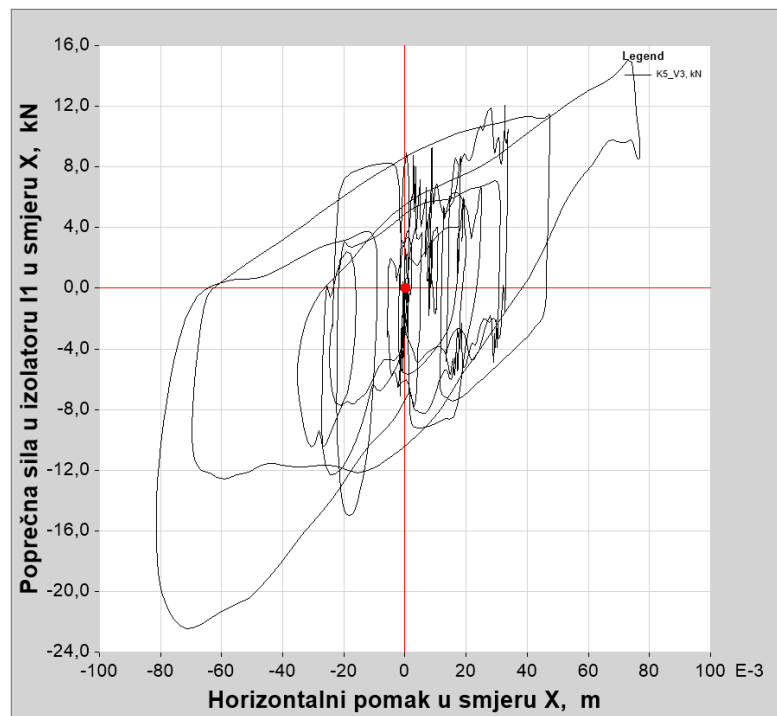
Izolatori I1 u osi 1-A

Vertikalna sila i vertikalni pomak prikazani su na slici 58.



Slika 58.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I1 [10]

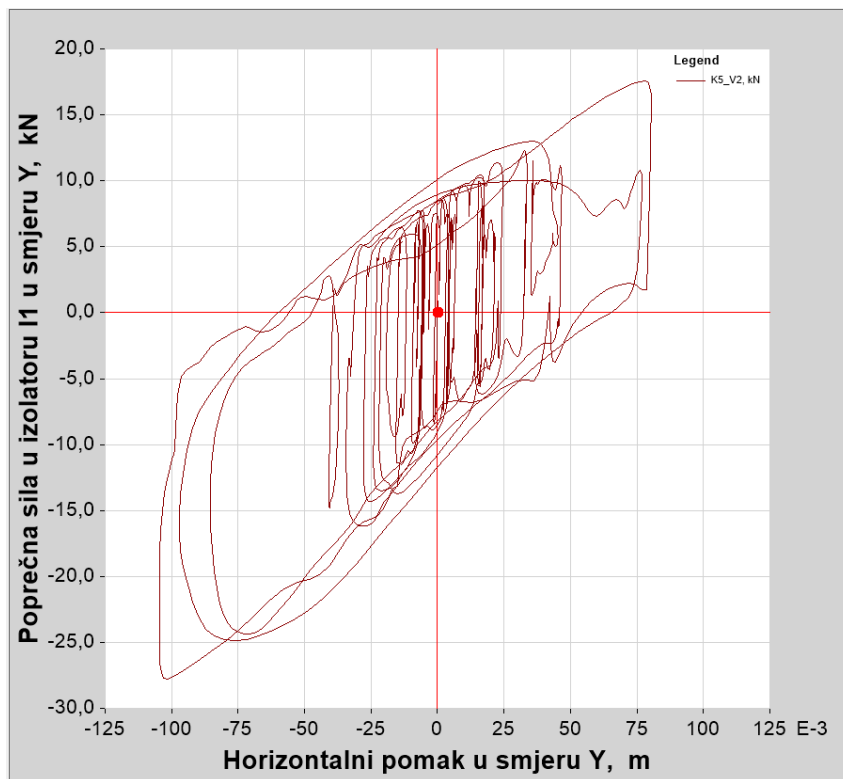
Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru X prikazani su na slici 59.



Slika 59.: Horizontalna sila i pomak u X smjeru izolatora I1 [10]

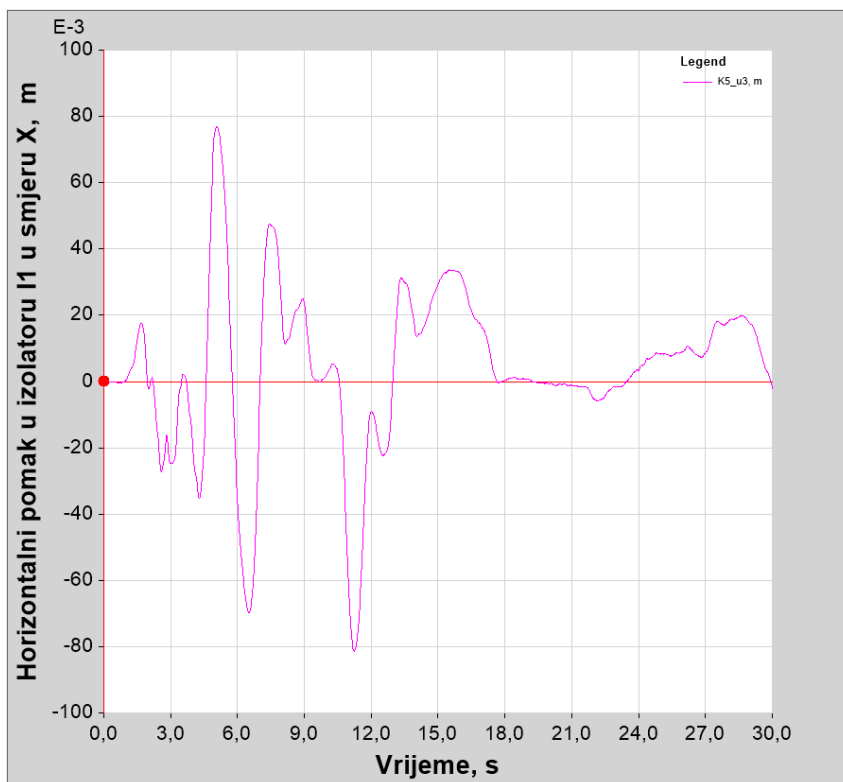


Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru Y prikazani su na slici 60.



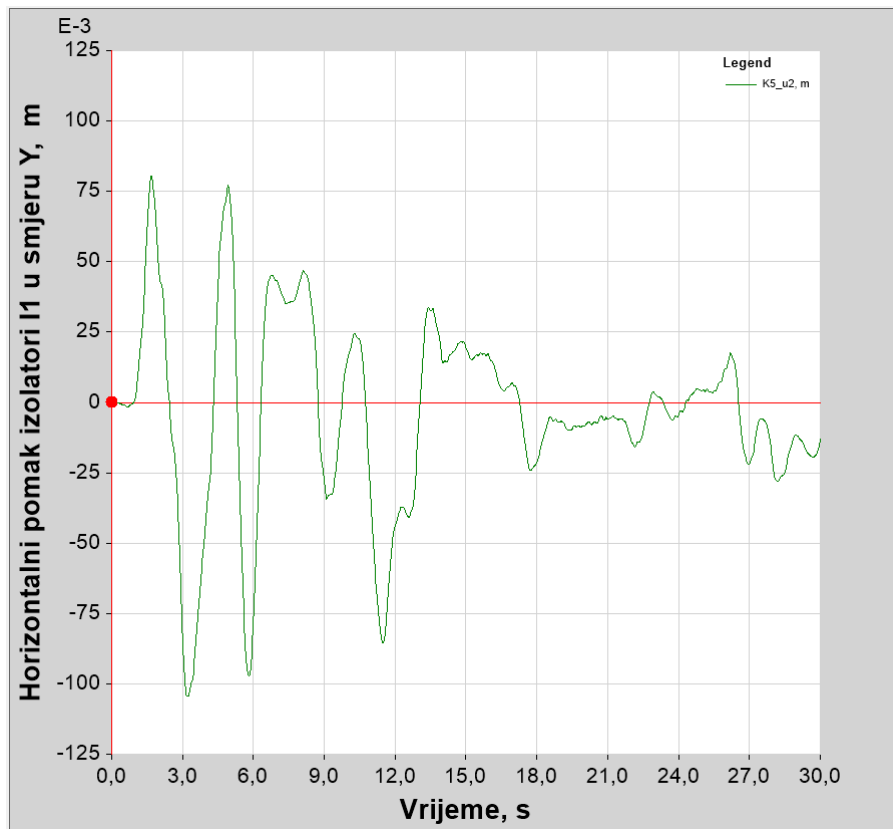
Slika 60.: Poprečna sila i pomak u smjeru Y izolatora I1 [10]

Horizontalni pomak u smjeru X za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 61.



Slika 61.: Horizontalni pomak izolatora I1 u smjeru X [10]

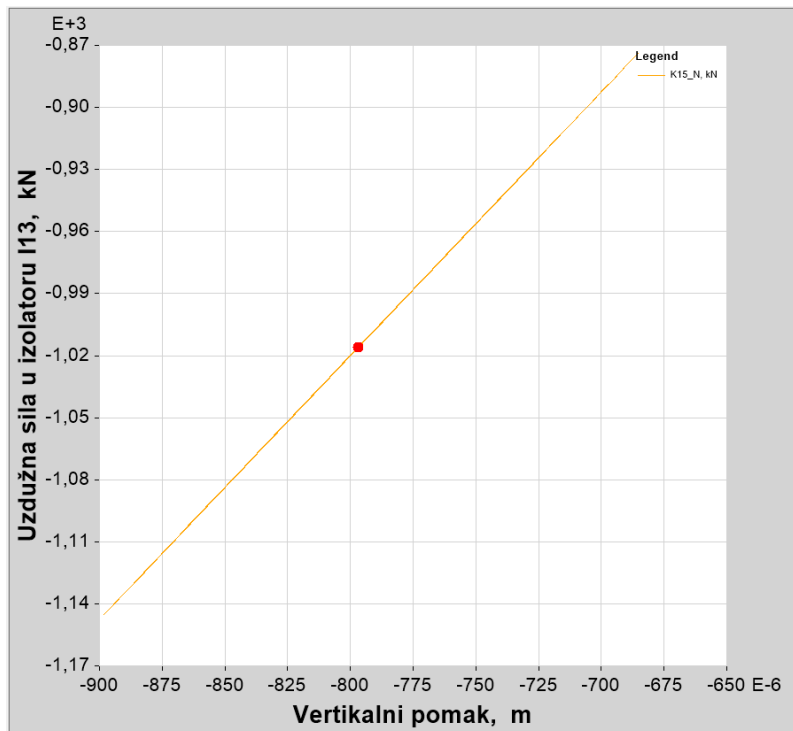
Horizontalni pomak u smjeru Y za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 62.



Slika 62.: Horizontalni pomak izolatora I1 u smjeru Y [10]

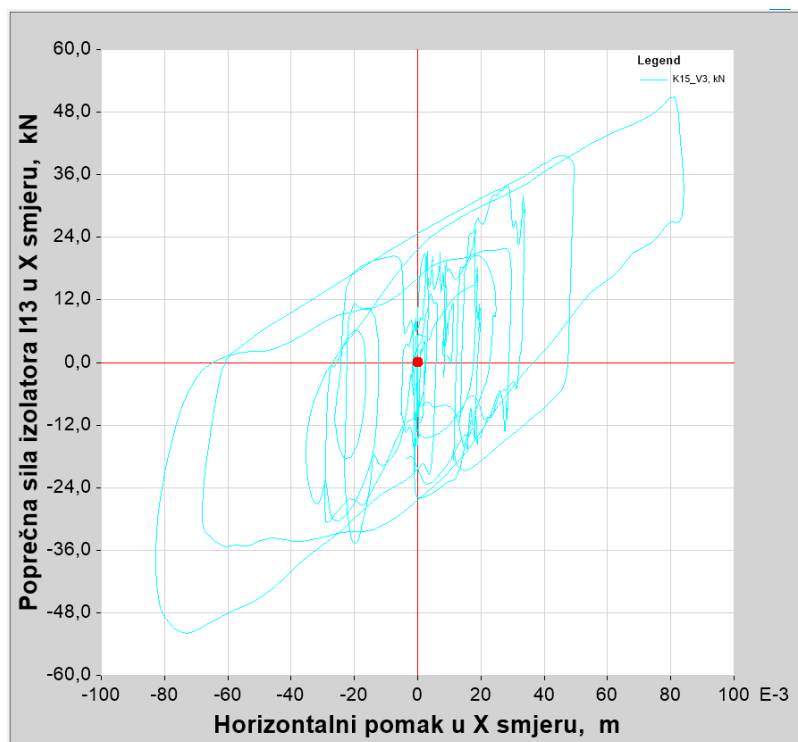
Izolator I13 u osi 4-B

Vertikalna sila i vertikalni pomak prikazani su na slici 63.



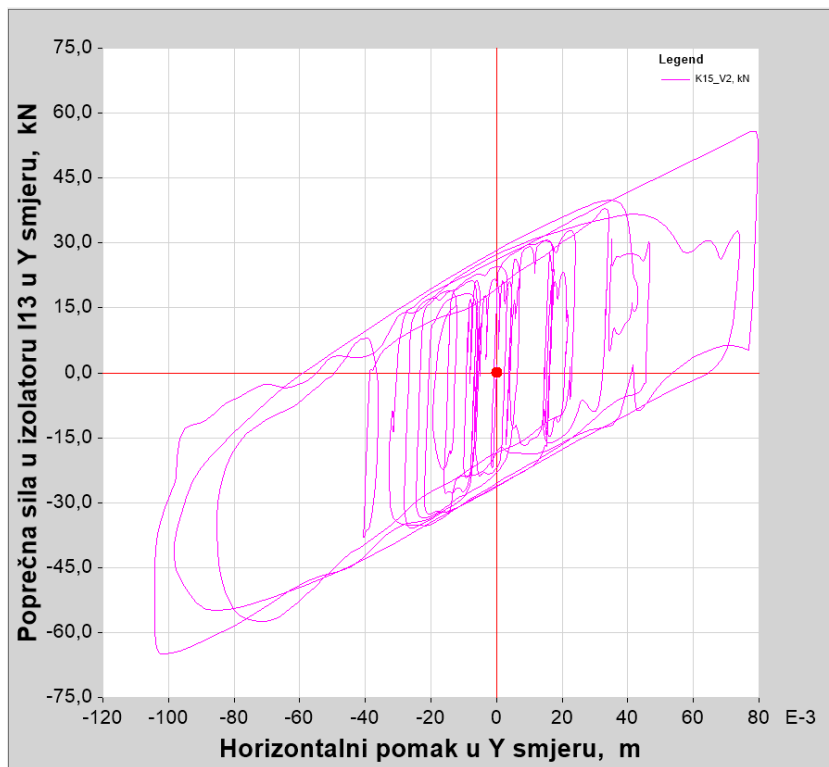
Slika 63.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I13 [10]

Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru X prikazani su na slici 64.



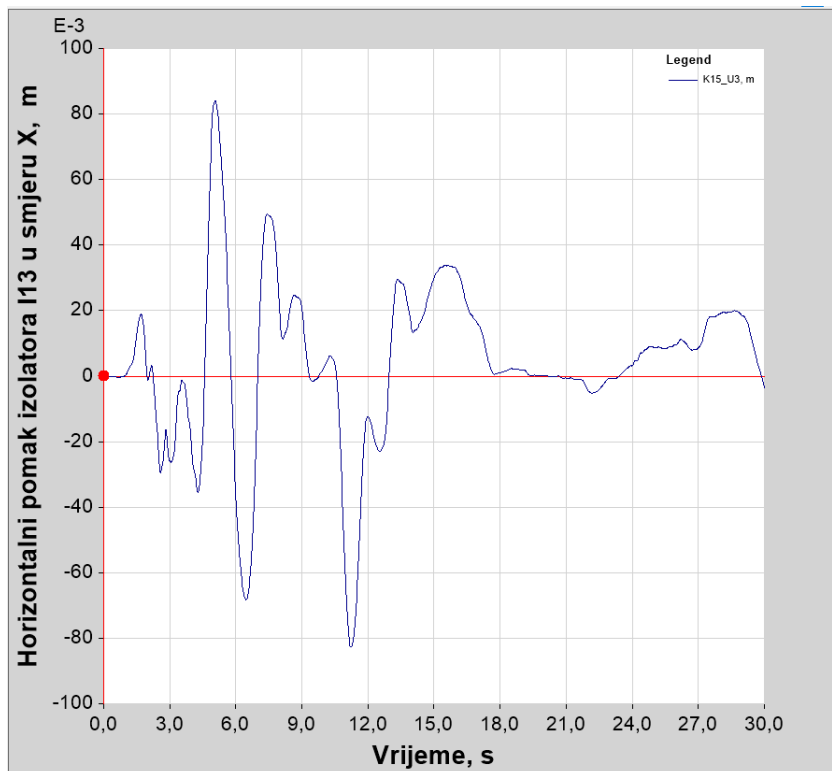
Slika 64.: Horizontalna sila i pomak u smjeru X izolatora I13 [10]

Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru Y prikazani su na slici 65.



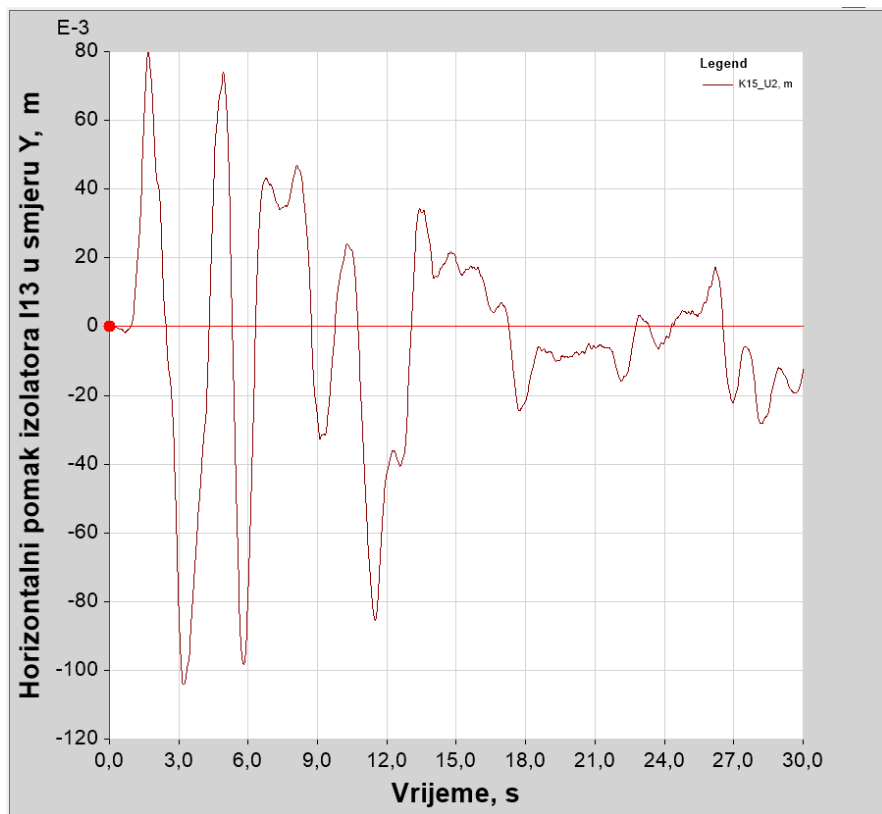
Slika 65.: Horizontalna sila i pomak u smjeru Y izolatora I13 [10]

Horizontalni pomak u smjeru X za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 66



Slika 66.: Pomak izolatora I13 u x smjeru [10]

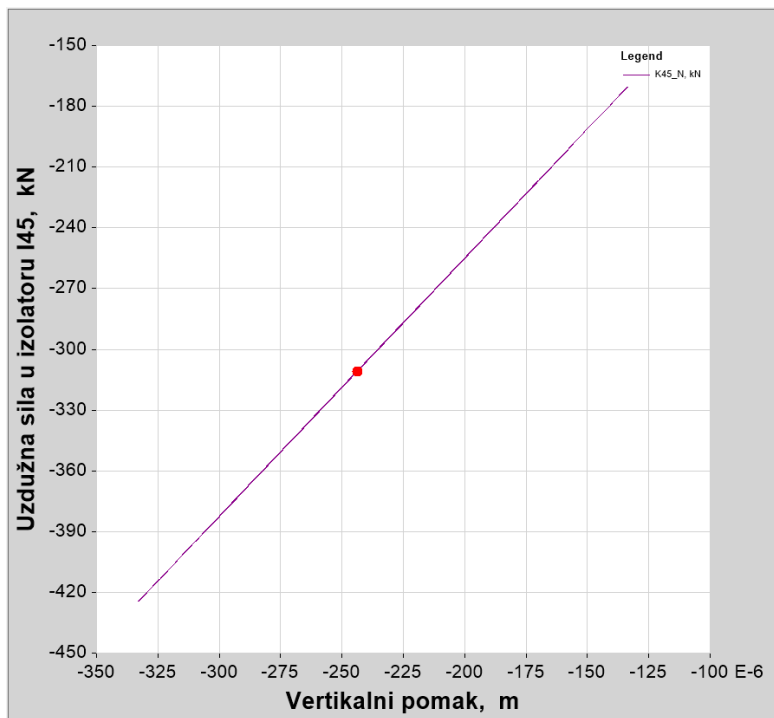
Horizontalni pomak u smjeru Y za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 67



Slika 67.: Pomak izolatora I13 u smjeru Y [10]

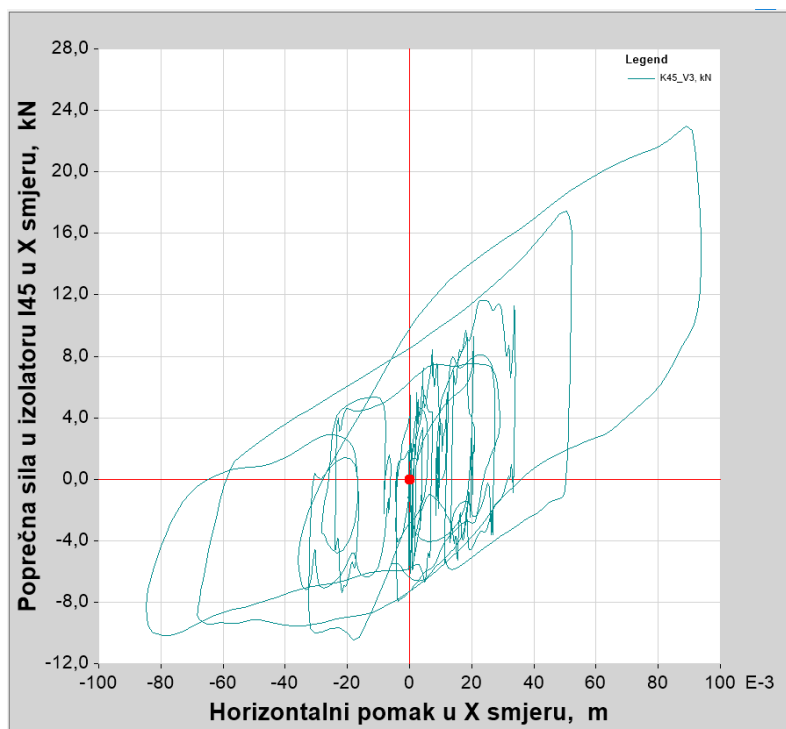
Izolator I45 u osi 8-G

Vertikalna sila i vertikalni pomak prikazani su na slici 68.



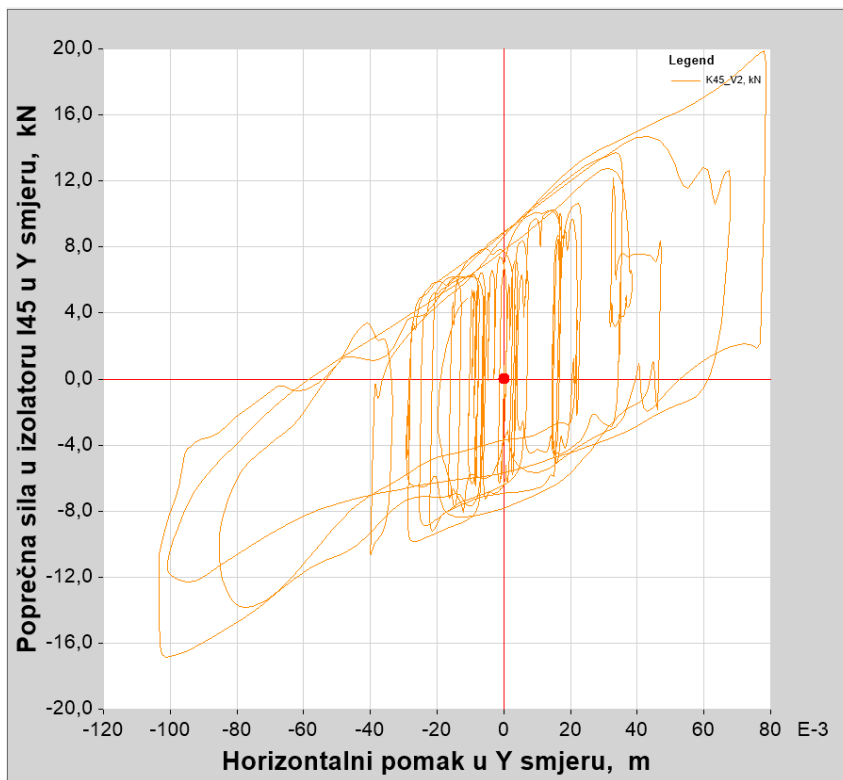
Slika 68.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I45 [10]

Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru X prikazani su na slici 69.



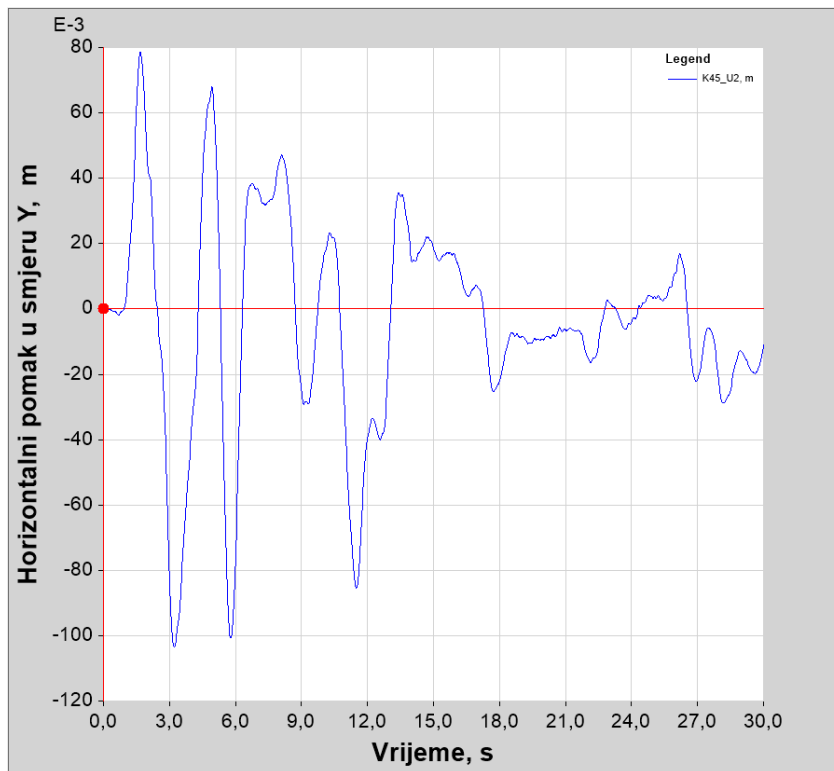
Slika 69.: Horizontalna sila i pomak izolatora I45 u X smjeru [10]

Poprečna sila i horizontalni pomak u smjeru Y prikazani su na slici 70.



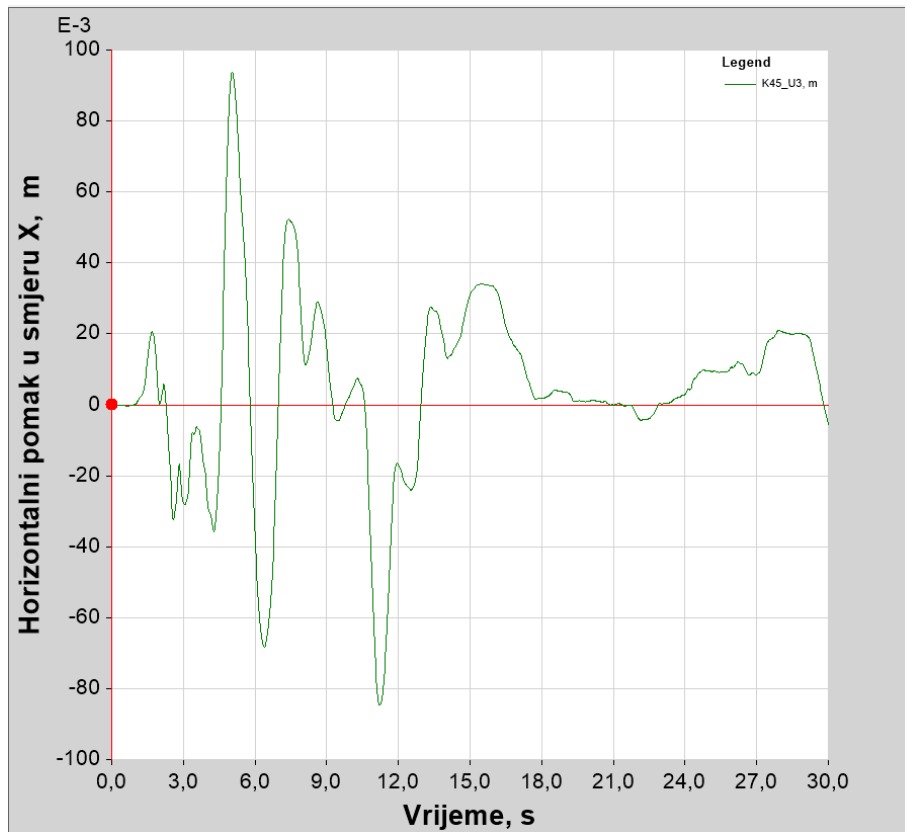
Slika 70.: Horizontalna sila i pomak izolatora I45 u Y smjeru [10]

Horizontalni pomak u smjeru Y za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 71.



Slika 71.: Horizontalni pomak izolatora I45 u Y smjeru [10]

Horizontalni pomak u smjeru X za vrijeme trajanja zapisa prikazan na slici 72.



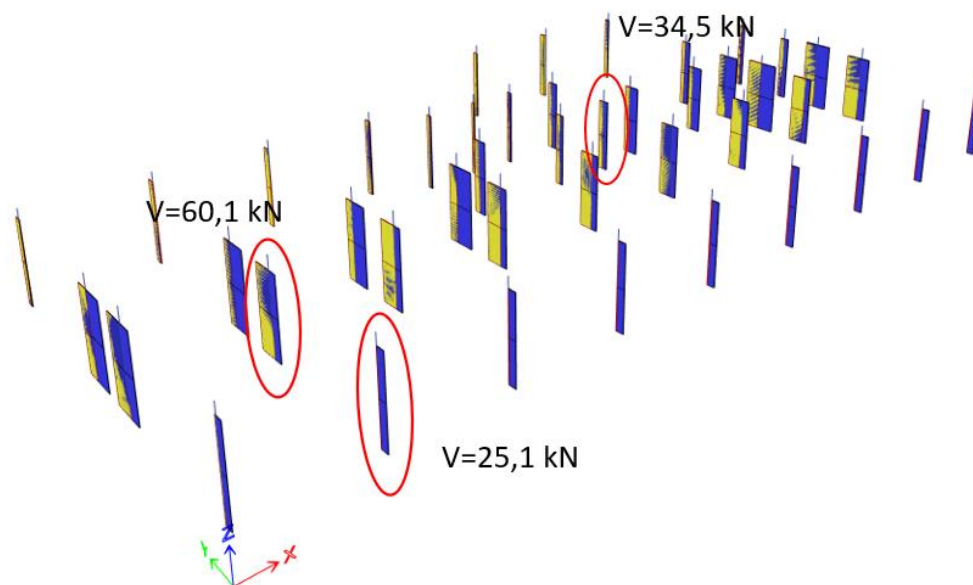
Slika 72.: Horizontalni pomak izolatora I45 u X smjeru [10]



#### 4.5. Provjera stupova

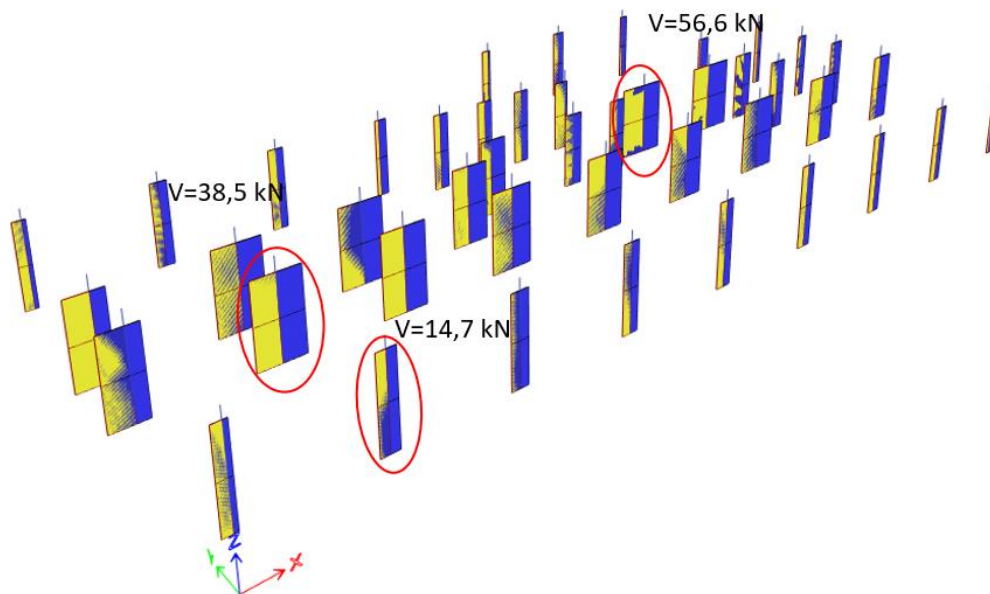
Ugradnjom seizmičke izolacije generiraju se manje poprečne potresne sile. Proveden je dokaz za otpornost stupa na poprečnu silu koji se provodi prema tri izraza navedena u poglavlju 3.4.:

Poprečne sile u smjeru Y u prizemlju za tri karakteristična stupa prema kombinaciji A iz tablice 3. prikazane na slici 73.



Slika 73.: Poprečne sile u smjeru Y [10]

Poprečne sile u prizemlju u smjeru X prema kombinaciji A iz tablice 3.



Slika 74.: Poprečne sile u smjeru X [10]

Stup 30/30 se zbog simetrije provjerava na veću silu iz dva smjera. Otpornost stupa 30/30 prema navedenim izrazima i IZO faktor za model s izolatorima prikazani su u tablici 11.

**Tablica 11. Otpornost stupa 30/30 i IZO faktor za model s izolatorima**

Poprečna sila u stupu	25,1 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	35,3 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	72,3 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	51,0 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 godina (javna građevina)	1,41 (141%)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	1,06 (106%)

Kod stupa 35/60 potrebno je provesti proračun sa silama iz dva smjera, kao što je prikazano u tablici 12.

**Tablica 12. Otpornost stupa 35/60 i IZO faktor za model s izolatorima**

	Smjer X	Smjer Y
Poprečna sila u stupu	38,5 kN	60,1 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	38,9 kN	78,6 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	92,4 kN	133,0 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	59,4 kN	101,9 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 godina (javna građevina)	1,0 (100%)	1,31 (131%)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	0,75 (75%)	0,98 (98%)

Stup 45/45 se zbog simetrije provjerava na veću silu iz dva smjera.

**Tablica 13. Otpornost stupa 45/45 i IZO faktor model s izolatorima**

	Smjer X
Poprečna sila u stupu	56,6 kN
Otpornost stupa prema EN-1998	58,4 kN
Otpornost stupa prema EN-1992	109,2 kN
Otpornost stupa prema talijanskim normama	76,4 kN
Postojeća otpornost prema zakonom propisanoj Razini 3 za povratni period 225 god (javna građevina)	1,03 (103%)
IZO faktor (za povratni period 475 god)	0,77 (77%)

Usporedbom provedenih analiza kao mjerodavan element konstrukcije za određivanje potresne otpornosti građevine (IZO) je stup u prizemlju dimenzija 35/60 cm:

$$\text{IZO (ojačano)} = 0,75 \geq \text{IZO (Razina 3)} = 0,75$$

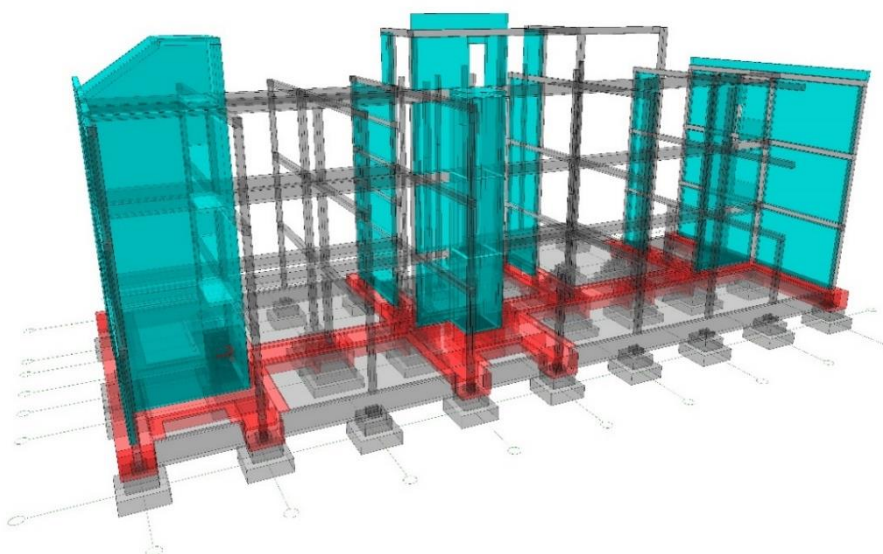
Na temelju provedenih provjera zaključeno je da konstrukcija sa ugrađenim izolatorima zadovoljava uvjete za potrebnu razinu otpornosti.

## 5. OBNOVA ZGRADE KONVENCIONALNIM NAČINOM UMETANJEM ZIDOVA

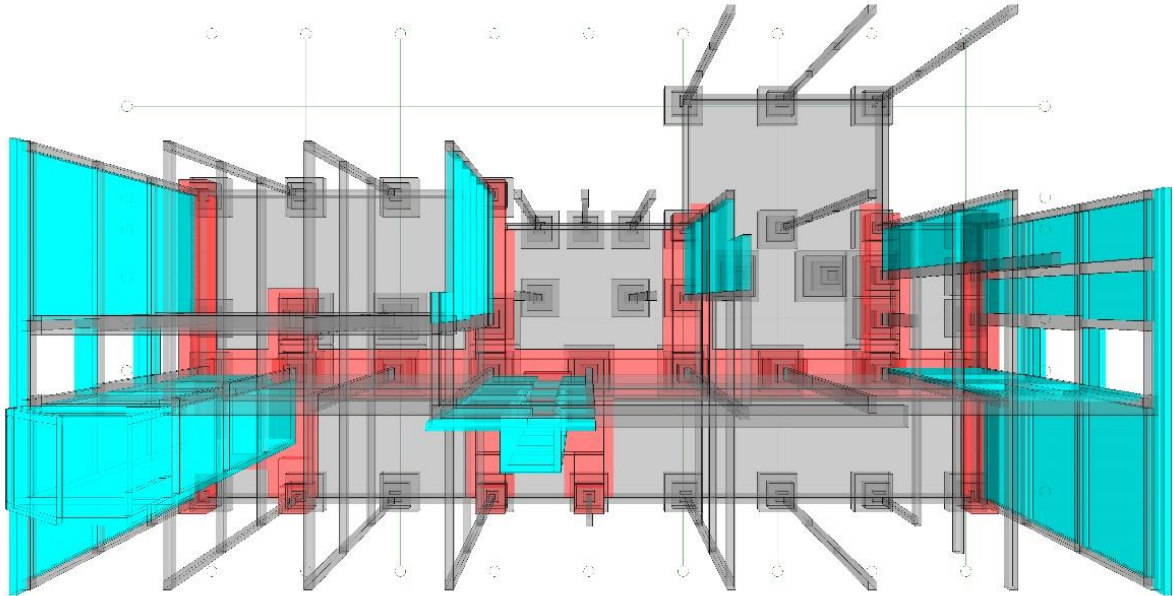
### 5.1. Projekt obnove

Na građevini je izvedena potresna obnova prema zakonom propisanoj projektnoj dokumentaciji. [3] Prema izmjeni i dopuni Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije postignuta je otpornost građevine **Razine 3**. U sklopu ovog Poglavlja biti će sažeto prikazani i komentirani rezultati ojačanja postojeće građevine.

Koncept pojačanja nosive konstrukcije zasniva se na izvedbi novih armiranobetonskih zidova sa novim temeljima te mjestimično izvedbi geotehničkih sidara na mjestima vlačnih napreznja. Odabrani koncept ne zahtjeva ojačanje stupova i greda već se nastoji zadržati pomake konstrukcije i ujednačiti ih kako stupovi ne bi doživjeli prekoračenje zahtjeva duktilnosti. Novi zidovi bi rasteretili postojeće okvire te bi se dobila veća krutost građevine pod uvjetom da se izvedu kontinuirano od temelja do krova i adekvatno povežu sa horizontalnim dijafragmama. U nastavku će biti prikazan koncept ojačanja postojeće konstrukcije sa opisima tehničkih rješenja. Novi armiranobetonski zidovi izvedeni su unutar postojećih AB okvira te jezgre dizala i stubišta. Zidovi su povezani sa postojećim stupovima preko anкера sa kemijskom smjesom. Povezivanje sa krutom dijafragmom izvelo se preko postojećih greda – bušenjem postojeće grede i provlačenjem armature kroz gredu, čime se ostvario i vertikalni kontinuitet zidova za prijenos sile. Zbog značajnih horizontalnih potresnih sila na dijelu novih armiranobetonskih zidova dolazi do pojave vlačnih napona na rubu a koja nije moguće preuzeti postojećom temeljnom konstrukcijom čak i uz izvođenje ojačanja. Zbog toga je bilo neophodno izvesti vlačna geotehnička sidra koja sile vlaka prenosi na dublje tlo.



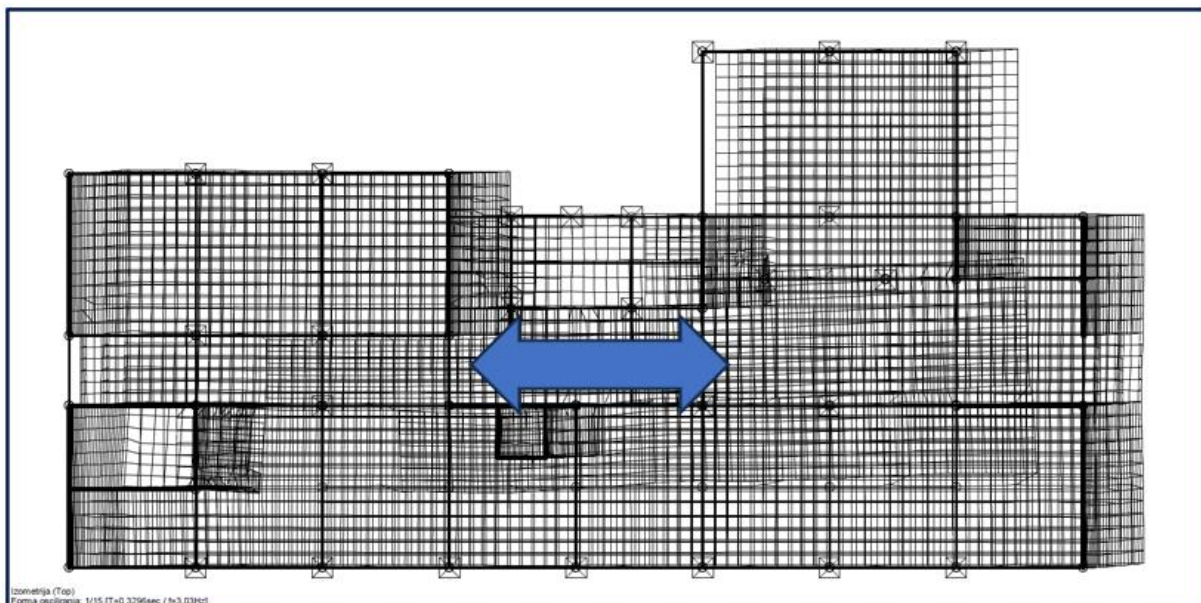
**Slika 75.:** Prikaz dodanih konstruktivnih elemenata na nosivoj konstrukciji Paviljona 1 [3]



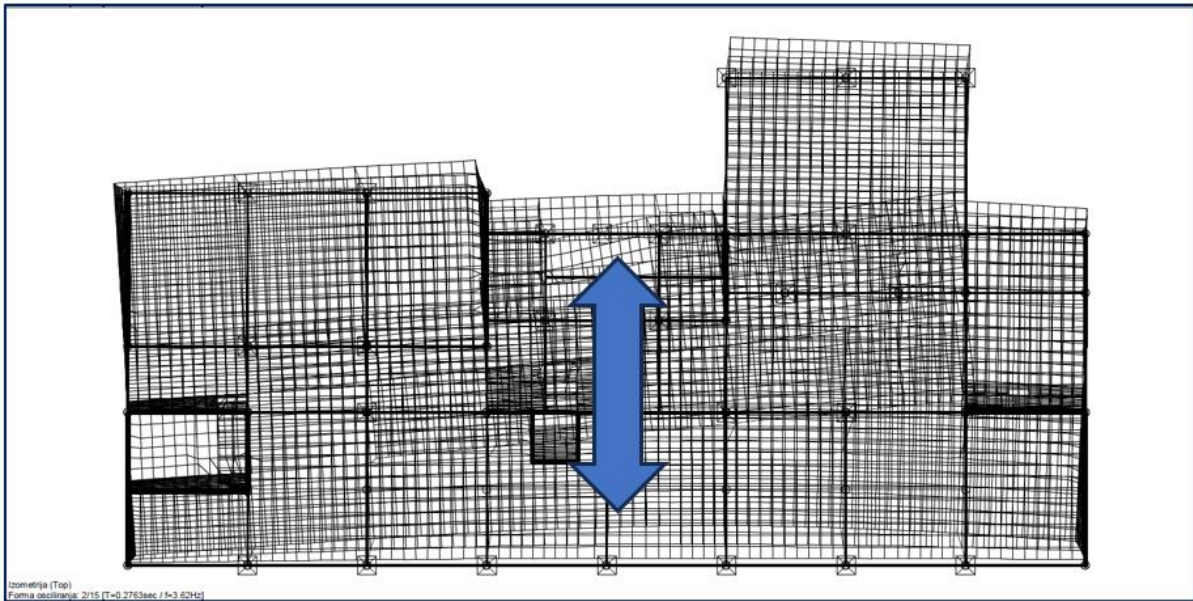
**Slika 76.:** Aksonometrijski prikaz mjera ojačanja na građevini [3]

Modalna analiza provedena se s programskim paketom *Tower Radimpex* na prostornom modelu. Za potrebe proračuna uzeto je raspucalo stanje nosive konstrukcije:

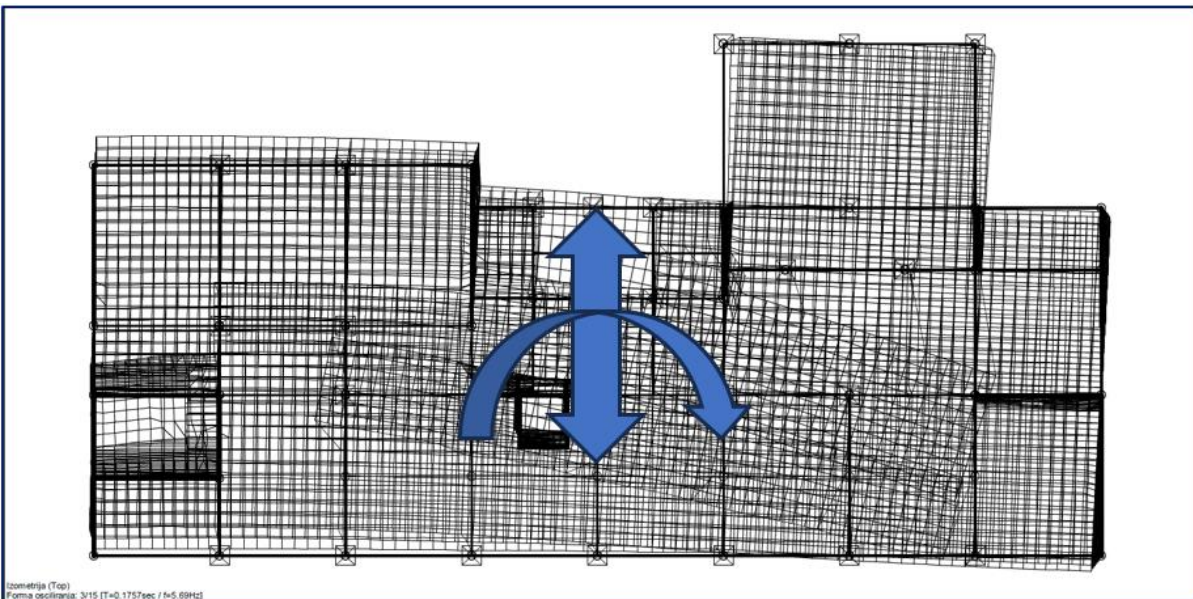
- Aksijalna krutost zidova u ravni je uzeta u iznosu 50 % elastične krutosti
- Krutost stropnih ploča, stupova i greda na savijanje u iznosu 50 % elastične krutosti sukladno zahtjevima norme HRN EN 1998-1:2011.



**Slika 77.:** Prvi oblik titranja konstrukcije s periodom 0,33s [3]



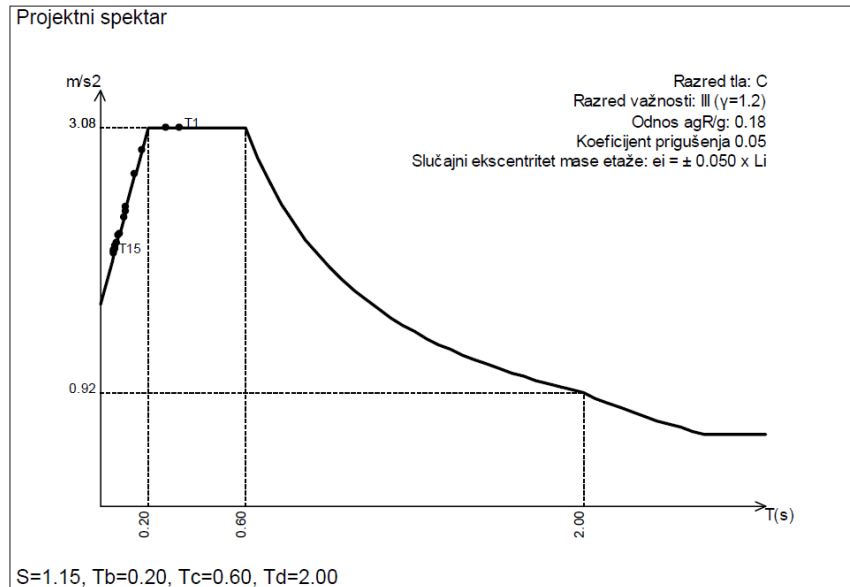
Slika 78.: Drugi oblik titranja konstrukcije s periodom 0,28 s [3]



Slika 79.: Treći oblik titranja konstrukcije s periodom 0,18 s [3]

Provedenom modalnom analizom aktivirano je više od 90% mase u prva tri tona. Prvi ton osciliranja je u uzdužnom smjeru, što je i za očekivati budući da su ojačanja izvedena u poprečnim okvirima čime je taj smjer dodatno ukrućen. Drugi ton je u poprečnom smjeru, budući da ne postoje unutarnji okviri u uzdužnom smjeru.

Za potrebe analize u sklopu projekta obnove [3] proveden je proračun potresnog djelovanja za vjerojatnost premašaja od 20% u 50 godina (povratni period 225. godina) za granično stanje znatnog oštećenja. Kako se proračun provodi linearnom metodom, uzet je u obzir faktor ponašanja ( $q=2,0$ ) kojim se simuliralo nelinearno ponašanje uslijed potresnog djelovanja na konstrukciju, kao i faktor povjerenja koji uzima u obzir eventualne nepoznanice vezane za postojeću konstrukciju.



Slika 80.: Prikaz parametara seizmičkog proračuna i rezultata [3]

Tablica 14: Prikaz potresnih sila u X i Y smjeru [3]

Slučaj opterećenja	Poprečne sile u razini temelja
Sx	6720.05 kN
Sy	5252.36 kN

Zbog nedostatne otpornosti postojećih armiranobetonskih okvira na djelovanje potresa, izvedeno je ojačanje dodavanjem armiranobetonskih zidova koji su preuzeli većinu potresne sile. Obzirom da je time građevina dobila i veću krutost, manji su periodi konstrukcije dok su potresne sile veće u odnosu na sile postojećeg stanja što je vidljivo iz Tablice 14.





## 5.2. Izvođenje radova na obnovi

Za izvođenje predviđenih zahvata Obnove prema projektnoj dokumentaciji bilo je neophodno ukloniti podne i zidne obloge kako bi se moglo pristupiti ojačanju i izvedbi novih elemenata konstrukcije. U nastavku na slici 84. vidljiva je nosiva konstrukcija nakon uklonjenih obloga.



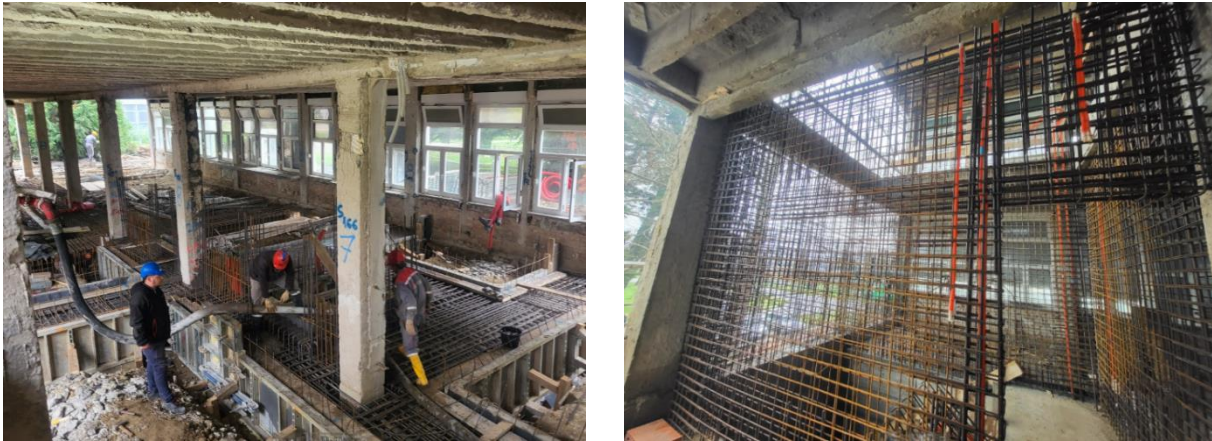
Slika 82.: Istočna fasada za vrijeme obnove [26]

Uklanjanje horizontalnih i zidnih obloga te uklanjanje pregradnih zidova omogućava pristup svim konstruktivnim elementima, te je moguće dodatno provjeriti dimenzije konstruktivnih elemenata kao što je prikazano na slici 83.



Slika 83.: Naknadna provjera ugrađene armature [26]

Na priloženim fotografijama iz vremena izvođenja radova sa klasičnom metodom obnove sa umetanjem dodatnih armiranobetonskih zidova i jezgri vidljivo je koliko su opsežni zahvati od samih dodatnih iskopa i izvedbe dodatne temeljne konstrukcije, uklanjanje većine podnih i zidnih obloga, oštećenja i uklanjanja uglavnom svih instalacija do ugradnje novih armiranobetonskih zidova.



Slika 84.: Dodavanje novih konstrukcijskih elemenata [26]



Slika 85.: Izvedena su geotehnička sidra [26]



Slika 86.: Radovi obnove pri završetku [26]

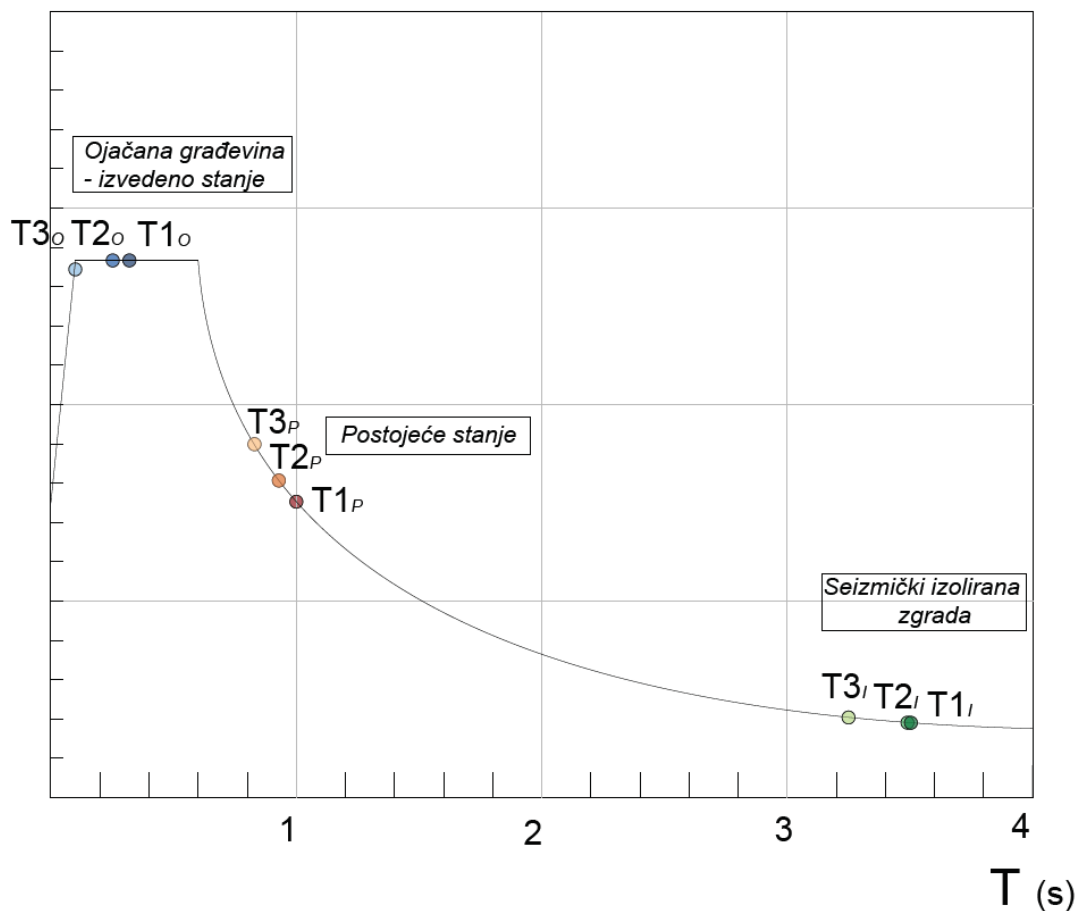
## 6. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA

Tablica prikazuje usporedbu perioda, konstrukcija se seizmičkom izolacijom postiže puno veći period, a time i znatno manju seizmičku silu. Obnova građevine klasičnom metodom sa umetanjem zidova dodaje krutost građevine i time smanjuje periode i povećava seizmičku silu kao što možemo vidjeti na slici 87.

**Tablica 15. Usporedba perioda**

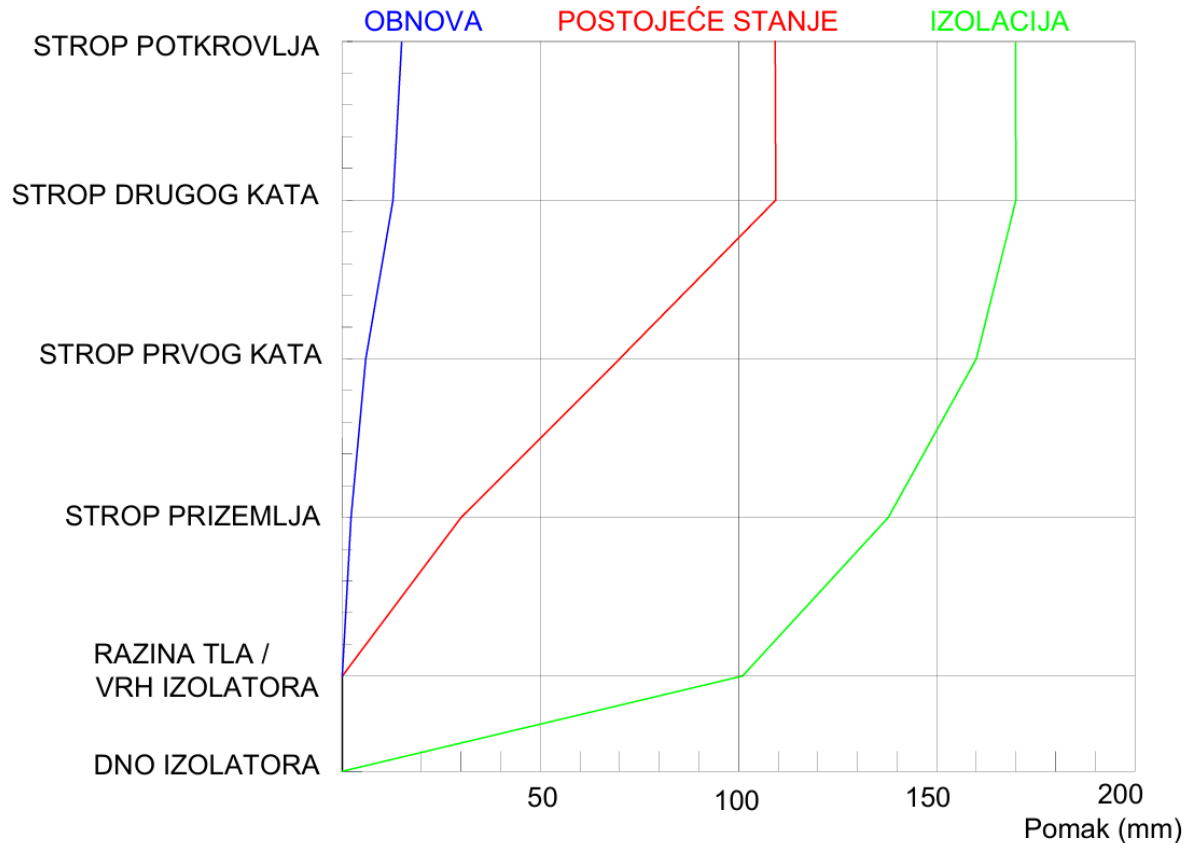
	Postojeće stanje	Konstrukcija s izolacijom	Ojačana konstrukcija – izvedeno stanje
1. Period	1,04 s	3,53 s	0,33 s
2. Period	0,92 s	3,50 s	0,28 s
3. Period	0,85 s	3,25 s	0,18 s

Na slici 87. prikazana je usporedba perioda na spektru.



**Slika 87.:** Grafički prikaz usporedbe perioda na spektru

Na slici su prikazani pomaci konstrukcije po etažama za sva tri modela. Konstrukcija sa seizmičkom izolacijom ima velik pomak u izolatoru, koji zadovoljava dozvoljeni pomak proizvođača, a ukupan pomak konstrukcije prema dinamičkoj analizi iznosi 17,1 centimetara te je bitno da građevina ima mogućnost pomaka u svim smjerovima.



Slika 88.: Usporedba maksimalnog pomaka konstrukcije [4]

Usporedbu ukupnog pomaka konstrukcije možemo vidjeti u tablici 16.

Tablica 16. Usporedba pomaka

Pomak postojećeg stanja (potres)	8,9 cm
Pomak konstrukcije sa izolacijom (potres) – dinamička analiza	17,1 cm
Pomak konstrukcije sa izolacijom (vjetar) – spektralna analiza	13,7 cm
Pomak konstrukcije iz projekta obnove (potres)	1,2 cm

U tablici 17. prikazana je razlika između poprečne sile u razini temelja za tri modela. Pri izradi i analizi tri različita modela korišteni su različiti faktori ponašanja koji su navedeni i obrazloženi u prethodnim poglavljima.

U sklopu tablice 17. izračunat je Base shear koji predstavlja udio ukupne težine koji se aktivira potresnim djelovanjem. Iz rezultata je vidljivo da ugradnjom seizmičkih izolatora smanjujemo udio aktivirane mase u odnosu na ostale slučajeve. Potrebna je manja disipacije energije preko konstrukcijskih elemenata, te konstrukcijski elementi u modelu sa izolacijom imaju dovoljnu otpornost na umanjene sile prema traženoj razini potresne otpornosti.

**Tablica 17. Usporedba poprečne sile u razini temelja**

	Postojeće stanje	Konstrukcija s izolacijom	Ojačana konstrukcija – izvedeno stanje
Poprečna sila (kN)	4944	2700	6720
Ukupna težina (kN)	20760	22100	27680
Base shear	24%	12%	24%

## 7. FINANCIJSKA USPOREDBA

U ovom poglavlju prikazana je financijska usporedba sa dva pristupa u Obnovi građevine:

- Ojačanje sa ab-zidovima, prema projektu obnove
- Ojačanje sa seizmičkom izolacijom

Prikazana je samo rekapitulacija radova na konstrukciji za obje varijante.

### 7.1. Ojačanje sa ab-zidovima, prema projektu obnove

**Tablica 18. Rekapitulacija građevinskih radova, projekta obnove**

I.	REKAPITULACIJA GRAĐEVINSKIH RADOVA – KONSTRUKCIJA	(€)
1.	PRIPREMNI RADOVI	19.400,00
2.	RADOVI UKLANJANJA I DEMONTAŽE	222.410,00
3.	SANACIJA POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE	138.793,00
4.	IZVEDBA GEOTEHNIČKIH SIDARA	26.160,00
5.	IZVEDBA NOVE TEMELJNE KONSTRUKCIJE	181.093,83
6.	IZVEDBA NOVIH AB ZIDOVA I PLOČA	321.037,69
<b>I.</b>	<b>GRAĐEVINSKI RADOVI UKUPNO:</b>	<b>908.894,52</b>

### 7.2. Ojačanje sa seizmičkom izolacijom

**Tablica 19. Rekapitulacija građevinskih radova, modela s izolatorima**

II.	REKAPITULACIJA GRAĐEVINSKIH RADOVA – KONSTRUKCIJA	(€)
1.	UGRADNJA IZOLATORA	308.000,00
2.	RADOVI UKLANJANJA I DEMONTAŽE	12.078,10
3.	SANACIJA POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE	40.592,00
4.	IZVEDBA ČELIČNE KONSTRUKCIJE	168.000,00
5.	IZVEDBA ISKOPA I TEMELJENJA TEHNIČKE ETAŽE	196.022,00
6.	IZVEDBA AB ZIDOVA I TLAČNE PLOČE TEHNIČKE ETAŽE	140.437,90
<b>II.</b>	<b>GRAĐEVINSKI RADOVI UKUPNO:</b>	<b>865.130,00</b>

Analizom pojedinih stavki vidljivo je da su troškovi uklanjanja zidnih, podnih obloga i instalacija na gornjim etažama bitno smanjeni. Također i iznosi same sanacije gornje konstrukcije bitno su manji primjenom izolatora (na oko 30 %), ne pojavljuju se vlačni naponi ispod temelja te nije potrebna ni izvedba geotehničkih vlačnih sidara. Da bi se izolatori mogli ugraditi i u eksploataciji održavati, neophodno je izvesti tehničku etažu ispod cijelog tlocrta, pretpostavljene visine 2,2 m, pa su troškovi iskopa i izvedbe podne ploče i obodnih podrumskih zidova značajno povisile stavku radova na temeljima za oko 85 %. Također, umjesto postojeće podne ploče prizemlja izvodi se zamjenska stropna ploča tehničke etaže predviđena kao tlačna armiranobetonska ploča debljine 6 cm na trapeznom limu kao izgubljenj oplat, spregnuta sa HEB profilima. Odabir ovakvog tipa čelične spregnute stropne konstrukcije odabran je zbog manje mase. Utrošak čelika je značajan, oko 25 tona, pa i ova stavka sudjeluje sa oko 20 % ukupnog troška obnove konstrukcije. I konačno sami izolatori i njihova ugradnja predstavljaju oko 35 % navedenog iznosa. Može se zaključiti da bi varijanta sa ojačanjem same konstrukcije primjenom seizmičke izolacije bila nešto povoljnije, no ne značajno.

Način osiguranja otpornosti na potresna djelovanja ugradnjom izolatora potrebno je sagledati i druge prednosti:

- Osim u prizemnoj etaži, (gdje je potrebno ukloniti kompletne podne obloge i podnu ploču), na gornjim etažama se ne izvode radovi ojačanja konstrukcije pa nije potrebno uklanjati podne i zidne obloge i naknadno izvoditi nove i zamjenske.
- Nije potrebno vršiti selidbu namještaja, demontažu opreme i uređaja, demontažu unutarnje i vanjske stolarije i zamjenjivati ih novima, osim na dijelu prizemlja.
- Na gornjim etažama ne oštećuju se postojeće instalacije zbog izvođenja radova ojačanja.

Analizirana je konkretna obnovljena građevina na bazi cijena postignutih na tržištu. Udio ojačanja konstrukcije izvođenjem novih ab-zidova u ukupnom trošku „cjelovite obnove“ iznosi svega oko 30 %:

- Konstrukcijska obnova oko 900.000 €
- Ostali radovi oko 2.100.000 €
- Ukupno cjelovita obnova oko 3.000.000 €

Analizom troškovničkih stavki ostalih struka, procjenjuje se da bi se značajno smanjili ostali troškovi na oko 40 %, pa bi ukupna ušteda cjelovite obnove primjenom seizmičke izolacije bila značajnija:

- Konstrukcijska obnova oko 865.000 €
- Ostali radovi oko 840.000 €
- Ukupno cjelovita obnova oko 1.705.000 €

Sagledavajući direktne i indirektne troškove, prednosti i nedostatke primjene seizmičke izolacije, dolazimo do zaključka da bi navedena varijanta bila povoljnija za oko 43 % u odnosu na klasične metode potresne obnove sa dodavanjem novih ab zidova.

## 8. ZAKLJUČAK

Seizmički izolatori do sada nisu imali značajniju primjenu u postizanju otpornosti građevine na djelovanje potresa na području Hrvatske. Prije odabira ove metode, za primjenu na konkretnoj građevini neophodno je izraditi i usporedbu u odnosu na klasične metode ojačanja konstrukcije, uzimajući u obzir prednosti i nedostatke pojedinih rješenja i uspoređujući njihove financijske i ostale parametre.

U radu je na konkretnom realiziranom primjeru građevine obnovljene nakon potresa razmatrana mogućnost osiguranja zahtijevane potresne otpornosti prema zakonskoj regulativi primjenom seizmičkih izolatora. Kako bi se dobili realni financijski pokazatelji, korišteni su podaci sa realiziranog projekta sa klasičnim načinom potresne obnove sa izvedbom dodatnih armiranobetonskih zidova i cijenama izvedbe prema aktualnom tržišnom stanju.

Analizirana građevina prema tipologiji spada u okvirne armirano betonske konstrukcije građene prije primjene potresnih propisa i koje se u velikom broju obnavljaju nakon nedavnih potresa na području Zagreba i Petrinje. Načini pojačanja takvog tipa konstrukcije često su zahtjevni, opsežni, financijski neisplativi i značajno utječu na postojeću konstrukciju. Provedenom analizom postojećeg stanja zgrade Agronomskog fakulteta možemo zaključiti da su najkritičniji elementi konstrukcije prilikom potresnog djelovanja stupovi prizemlja kod kojih dolazi do krtog posmičnog sloma. Tome se može pripisati nedovoljno spoznaja o protupotresnoj gradnji u vrijeme projektiranja građevine, odnosno neadekvatno proračunata i ugrađena posmična armatura. Ugrađena armatura u postojećim okvirima je nedostatna na svim stupovima što je vidljivo iz provedenih istražnih radova i potvrđeno provedenim proračunom postojećeg stanja. Sukladno tome mjere ojačanja takve tipologije zgrade zahtijeva zadiranje u postojeću konstrukciju i izvedbu novih duktilnih armirano betonskih elemenata koji će preuzeti potresne sile. Tim principom ojačanja povećali smo krutost same konstrukcije što je vidljivo iz smanjenih perioda. Rezultat toga su povećane poprečne sile koje je potrebno preuzeti novom armaturom, kontinuirano izvesti i pravilno temeljiti. Bitno je naglasiti da kod ojačanja ovakvih tipova konstrukcije posebnu pozornost treba usmjeriti na provjeru pomaka konstrukcije koje je potrebno ograničiti kako ne bi došlo do prekoračenja zahtjeva duktilnosti za stupove što je najčešći oblik otkazivanja okvira. Nakon provedene seizmičke procjene postojećeg stanja zgrade provjerom otpornosti karakterističnih stupova na poprečnu silu dobiven je indeks značajnog oštećenja - IZO faktor u iznosu 0,13. Nakon provedene obnove građevine IZO faktor je zadovoljio zakonom traženih 0,75 za postizanje Razine 3 uz zahtjevnu izvedbu radova na svim elementima konstrukcije uključujući izvedbu geotehničkih sidara za preuzimanje vlačnih napona u temeljima.

U ovom radu proračunom zgrade s ugradnjom seizmičkih izolatora dobiveni su rezultati koji pokazuju da ugradnjom izolatora dolazi do značajnog smanjenja poprečne sile što rezultira da nisu potrebna ojačanja na postojećoj konstrukciji, a samim time ni uklanjanje većine podnih i



zidnih obloga i pripadnih instalacija, a što je glavna prednost obnove okvirnih konstrukcija primjenom seizmičkih izolatora.

Analizom i usporedbom cijena same konstrukcijske obnove za obje varijante utvrđeno je da se se značajno ne razlikuju. Prednost primjene seizmičkih izolatora do izražaja dolazi usporedbom i ostalih neophodnih radova uz konstrukcijsku obnovu, a da bi se postigla zakonom propisana cjelovita obnova, kao i drugih direktnih i indirektnih troškova. Opseg ostalih radova na instalacijama, završnim podnim i zidnim oblogama, sanitarijama, unutarnjoj i vanjskoj stolariji i ostalim, značajno je manji, pa sagledavajući ukupno cijenu cjelovite obnove procjenjuje se da bi bila manja za oko 43 % na ovoj konkretnoj građevini. Prednosti primjene seizmičke izolacije su i „lokalno“ izvođenje radova samo u zoni prizemlja i temeljne konstrukcije, pa nije neophodno, seliti i demontirati uređaje i opremu u značajnijem opsegu.

Nadalje, primjenom seizmičke izolacije pored postizanja dostatne sigurnosti na potresno djelovanje, umanjila bi se i oštećenja pri djelovanju budućih potresa, te bi građevine mogle ostati potpuno u funkciji. To je posebno bitno za građevine kritične infrastrukture koje moraju ostati u funkciji pri djelovanju potresa, kao što su bolnice, zgrade interventnih službi, vatrogasnih postrojbi i ostalih.

Seizmička izolacija u svijetu ima sve veći udio u izvedbi novih i ojačanju postojećih građevina na potresna djelovanja, a svakako zaslužuje značajniju primjenu i u Hrvatskoj, što je prezentirano i ovim radom.

## POPIS LITERATURE

- [1] Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M., Todorić, M.: Potres u Zagrebu od 22. ožujka 2020. - preliminarni izvještaj o seizmološkim istraživanjima i oštećenjima zgrada, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 10, pp. 843-867, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2966.2020>
- [2] Crnogorac, M. (2021): Izvorni i stečeni nedostaci konstrukcija zgrada, u *Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada*. Uroš, M., Todorić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S. (Ur.), Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
- [3] Todorić, M., Duvnjak M., Dragičević I., Todorić P., Crnković I., Šešek M.: *Projekt obnove zgrade za cjelovitu obnovu zgrade*, Zagreb, 2021.
- [4] Katastar: Izvod iz katastarskog plana za k.č. br.: 698, Gradski ured za katastar i geodetske poslove, Grad Zagreb  
Dostupno: <https://oss.uredjenazemlja.hr/oss/public/reports/kp-extract/UWIOVIBCMGZmMExTdHQ3UkVmNklqamFKejdJbFpzT0UwdkZwSIU2VGp6Nm0zUHIxWIJFYm5BJTNEJTNE/kp.pdf>
- [5] Arhivska projektna dokumentacija, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [6] Krolo, J., Bartolac M., Duvnjak, I.: *Izješće o istražnim radovima na konstrukciji građevine Agronomskog fakulteta – Paviljon I u Zagrebu*, Zagreb, 2020.
- [7] Todorić, M., Duvnjak M., Dragičević I., Todorić P.: *Snimak postojećeg stanja Agronomskog fakulteta – Paviljon 1 u Zagrebu*, Zagreb, 2020.
- [8] Opterećenja softver
- [9] Herak, M. Karta potresnih područja Republike Hrvatske  
Dostupno: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php> [Pristupljeno: 11. listopada 2024.]
- [10] ETABS softver, Computers and Structures Inc.
- [11] EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, Europsko povjerenstvo za standardizaciju, 2013.
- [12] EN 1998-3 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada, Europsko povjerenstvo za standardizaciju, 2013.
- [13] „Ažuriranje Tehničkih normi za zgrade”, *Narodne novine Republike Italije* Ministarstvo infrastrukture i prijevoza Republike Italije, 2018.  
Doi: <https://www.lpmc.polimi.it/wp-content/uploads/2018/04/NTC-2018-dm-17-gennaio-2018.pdf>

- [14] Morgan, T.A. i Mahin, S.A. *The Use of Base Isolation Systems to Achieve Complex Seismic Performance Objectives*. Berkeley, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, (2011)
- [15] Robinson W.H. Passive control of structures, the New Zealand Experience. *Iset Journal of Earthquake Technology*. 1998; 35(4):63-75
- [16] Sen F., Sunca F., Altunisik A. C. Seismic performance assessment of a base-isolated hospital building subjected to February 6, 2023, Kahramanmaraş, Türkiye earthquakes (Mw 7.7 Pazarcık and Mw 7.6 Elbistan) and seismic fragility analysis considering different construction stages, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2024; 108: doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108876>.
- [17] Castellano M. G. Seismic isolation or supplemental energy dissipation for seismic retrofit of. *Proceedings of the 1nd Croatian Conference on Earthquake Engineering – 1CroCEE, Zagreb, 22.-24. ožujka 2021. Zagreb*
- Doi: [https://crocee.grad.hr/event/1/contributions/208/attachments/182/228/17\\_CroCEE\\_ID\\_252.pdf](https://crocee.grad.hr/event/1/contributions/208/attachments/182/228/17_CroCEE_ID_252.pdf)
- [18] C. Christopoulos, A. Filiatrault, *Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation*. IUSS Press, Pavia, Italy, 2006.
- [19] Mayes, R.L., Naeim, F. Design of Structures with Seismic Isolation. In: Naeim, F. (ur.) *The Seismic Design Handbook*. Boston, MA, Springer,. (2001). 723-755
- [20] Slika „Pendulum“ izolatora. FIP MEC
- [21] Chopra, Anil K.. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey, Prentice Hall (1995).
- [22] Chen X., Wu P., Li C. Seismic performance assessment of base-isolated tall pier bridges using friction pendulum bearings achieving resilient design, *Structures*, 2022 (38), pp 618-629 <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.032>.
- [23] Castellano M. G., Vetturini R. Seismic retrofit or R.C. building in use through seismic isolation. Three case studies in L'Aquila, Italy. *Proceedings of the 2nd Croatian Conference on Earthquake Engineering – 2CroCEE, Zagreb, 22.-24. ožujka 2023. Zagreb*
- Doi: <https://doi.org/10.5592/CO/2CroCEE.2023.132>
- [24] HRN EN 15129: Protupotresne naprave, Europsko povjerenstvo za standardizaciju, 2018.
- [25] CSI. CSI Analysis Reference Manual, „ETABS“, Berkeley
- [26] Arhivska fotodokumentacije Toding d.o.o.

## POPIS SLIKA

Slika 1.: Prikaz građevine [3].....	2
Slika 2.: Prikaz iz katastra samostojeće građevine [4] .....	2
<b>Slika 3.:</b> Tlocrt prizemlje iz arhivske dokumentacije [5] .....	3
Slika 4.: Karakterističan presjek iz arhivske dokumentacije [5] .....	3
<b>Slika 5.:</b> Presjek građevine .....	4
Slika 6.: Plan pozicija prizemlja .....	5
Slika 7.: Plan pozicija prvog kata.....	5
Slika 8.: Plan pozicija drugog kata.....	6
Slika 9.: Plan pozicija potkrovlja .....	6
Slika 10.: Karakteristična oštećenja građevine nakon potresa [7].....	7
Slika 11.: Oštećenje ispunskog ziđa i pukotinsko oštećenje žbuke [7] .....	7
Slika 12.: Provedena ispitivanja ziđa [6] .....	8
Slika 13.: Utvrđivanje količine ugrađene armature i provjera dimenzija konstruktivnih elementata [6].....	9
Slika 14.: Utvrđivanje ugrađene armature na stupu 45/45 [6] .....	9
Slika 15.: Utvrđivanje ugrađene armature na stupu 30/30 [6] .....	10
Slika 16.: Presjek zabatnih zidova [6] .....	10
Slika 17.: Presjek sitnorebraste stropne konstrukcije [6] .....	11
Slika 18.: Karta snježnih područja Republike Hrvatske [11] .....	13
Slika 19.: Prikaz vršnih ubrzanja tla [9] .....	13
Slika 20.: Definiranje potresnog spektra za postojeće stanje [10] .....	14
Slika 21.: Definiranje elastičnog spektra [10] .....	14
<b>Slika 22.:</b> Djelovanje vjetra po dužoj strani građevini [8].....	15
Slika 23.: Položajni tlocrt .....	17
Slika 24.: Osi modela [4] .....	18
Slika 25.: Aksonometrijski prikaz modela [10] .....	18
Slika 26.: Prvi oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 1,04s [10] .....	19
Slika 27.: Drugi oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 0,92s [10] .....	19
Slika 28.: Treći oblik titranja modela postojećeg stanja s periodom 0,85s [10] .....	19
Slika 29.: Raspodjela seizmičke sile i maksimalni pomak konstrukcije [10] .....	20
Slika 30.: Međukatni pomaci konstrukcije [10] .....	21
Slika 31.: Provjera međukatnog pomaka.....	21
Slika 32.: Poprečne sile u Y smjeru [10].....	23
Slika 33. Poprečne sile u X smjeru [10].....	24
Slika 34.: Primjer elastomernog ležaja [8] .....	26
Slika 35.: Primjer konkavnog kliznog ležaja [8].....	26
<b>Slika 36.:</b> Grafički prikaz usporedbe karakterističnih perioda građevina .....	27

Slika 37.: Prikaz karakterističnog "Pendulum" izolatora [20] .....	28
Slika 38.: Model ponašanja izolatora [22] .....	28
Slika 39.: Način ugradnje izolatora [23] .....	29
Slika 40.: Detalji ugradnje instalacija kod seizmički izoliranih građevina .....	30
Slika 41.: Pregledni nacrt tehničke etaže na karakterističnom presjeku .....	31
Slika 42.: Shema i pozicija izolatora .....	32
Slika 43.: Prikaz izolatora u postavkama softvera [25] .....	33
Slika 44.: Karakteristike izolatora tip 1 [10] .....	34
Slika 45.: Karakteristike izolatora tip 1 u vertikalnom i horizontalnom smjeru [10] .....	35
Slika 46.: Karakteristike izolatora tip 2 [10] .....	36
Slika 47.: Karakteristike izolatora tip 2 u horizontalnom smjeru .....	37
Slika 48.: Vremenski zapis u x i y smjeru [10] .....	38
Slika 49.: Prvi oblik titranja s periodom 3,53 sekunde [10] .....	39
Slika 50.: Drugi oblik titranja s periodom 3,50 sekunde [10] .....	39
Slika 51.: Treći oblik titranja s periodom 3,25 sekunde [10] .....	39
Slika 52.: Maksimalni pomak konstrukcije [10] .....	40
Slika 53.: Relativni međukatni pomaci konstrukcije [10] .....	41
Slika 54.: Provjera međukatnog pomaka .....	41
Slika 55.: Poprečna sila u smjeru X u funkciji vremena [10] .....	42
Slika 56.: Poprečna sila u smjeru Y u funkciji vremena [10] .....	42
Slika 57.: Tlocrt temelja sa karakterističnim izolatorima .....	44
Slika 58.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I1 [10] .....	45
Slika 59.: Horizontalna sila i pomak u X smjeru izolatora I1 [10] .....	45
Slika 60.: Poprečna sila i pomak u smjeru Y izolatora I1 [10] .....	46
Slika 61.: Horizontalni pomak izolatora I1 u smjeru X [10] .....	46
Slika 62.: Horizontalni pomak izolatora I1 u smjeru Y [10] .....	47
Slika 63.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I13 [10] .....	48
Slika 64.: Horizontalna sila i pomak u smjeru X izolatora I13 [10] .....	48
Slika 65.: Horizontalna sila i pomak u smjeru Y izolatora I13 [10] .....	49
Slika 66.: Pomak izolatora I13 u x smjeru [10] .....	49
Slika 67.: Pomak izolatora I13 u smjeru Y [10] .....	50
Slika 68.: Vertikalna sila i vertikalni pomak izolatora I45 [10] .....	51
Slika 69.: Horizontalna sila i pomak izolatora I45 u X smjeru [10] .....	51
Slika 70.: Horizontalna sila i pomak izolatora I45 u Y smjeru [10] .....	52
Slika 71.: Horizontalni pomak izolatora I45 u Y smjeru [10] .....	52
Slika 72.: Horizontalni pomak izolatora I45 u X smjeru [10] .....	53
Slika 73.: Poprečne sile u smjeru Y [10] .....	54
Slika 74.: Poprečne sile u smjeru X [10] .....	54
Slika 75.: Prikaz dodanih konstruktivnih elemenata na nosivoj konstrukciji Paviljona 1 [3] ....	57
Slika 76.: Aksonometrijski prikaz mjera ojačanja na građevini [3] .....	58
Slika 77.: Prvi oblik titranja konstrukcije s periodom 0,33s [3] .....	58

---

<b>Slika 78.:</b> Drugi oblik titranja konstrukcije s periodom 0,28 s [3] .....	59
Slika 79.: Treći oblik titranja konstrukcije s periodom 0,18 s [3] .....	59
Slika 80.: Prikaz parametara seizmičkog proračuna i rezultata [3] .....	60
Slika 81.: Pomaci ojačane konstrukcije [3] .....	61
Slika 82.: Istočna fasada za vrijeme obnove [26].....	62
Slika 83.: Naknadna provjera ugrađene armature [26] .....	62
Slika 84.: Dodavanje novih konstrukcijskih elemenata [26] .....	63
Slika 85.: Izvedena su geotehnička sidra [26] .....	63
Slika 86.: Radovi obnove pri završetku [26].....	63
Slika 87.: Grafički prikaz usporedbe perioda na spektru .....	64
Slika 88.: Usporedba maksimalnog pomaka konstrukcije [4].....	65

## POPIS TABLICA

**Tablica 1.: Stavke stalnog opterećenja konstrukcije**

**Tablica 2. Rekapitulacija opterećenja**

**Tablica 3. Kombinacije opterećenja**

**Tablica 4.: Dimenzije konstrukcijskih elemenata i ugrađena armatura**

**Tablica 5.: Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja**

**Tablica 6. Otpornost stupa 30/30 i IZO faktor**

**Tablica 7.: Otpornost stupa 35/60 i IZO faktor**

**Tablica 8. Otpornost stupa 45/45 i IZO faktor**

**Tablica 9.: Aktivirana masa u prvih 10 oblika titranja**

**Tablica 10.: Maksimalni pomaci izolatora i maksimalne sile**

**Tablica 11. Otpornost stupa 30/30 i IZO faktor za model s izolatorima**

**Tablica 12. Otpornost stupa 35/60 i IZO faktor za model s izolatorima**

**Tablica 13. Otpornost stupa 45/45 i IZO faktor model s izolatorima**

**Tablica 14: Prikaz potresnih sila u X i Y smjeru [3]**

**Tablica 15. Usporedba perioda**

**Tablica 16. Usporedba pomaka**

**Tablica 17. Usporedba poprečne sile u razini temelja**

**Tablica 18. Rekapitulacija građevinskih radova, projekta obnove**

**Tablica 19. Rekapitulacija građevinskih radova, modela s izolatorima**