

# Seizmički prigušivači u građevinskim konstrukcijama

---

Nižić, Angela; Meštrović, Darko

Source / Izvornik: **Građevinar, 2011, 63, 661 - 667**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:639433>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**

Repository / Repozitorij:

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



# Seizmički prigušivači u građevinskim konstrukcijama

Angela Nižić, Darko Meštrović

## Ključne riječi

građevinska konstrukcija, seizmički prigušivač, potres, proračun, spektralna analiza, vremenski zapis

## Key words

engineering structure, seismic damper, earthquake, analysis, spectral analysis, time history

## Mots clés

ouvrage de construction, amortisseur sismique, tremblement de terre, analyse, analyse spectrale, histoire temporelle

## Ключевые слова

строительная конструкция, сейсмический амортизатор, сейсмическое воздействие, расчет, спектральный анализ, запись во времени

## Schlüsselworte

Baukonstruktion, seismischer Dämpfer, Erdbeben, Berechnung, Spektralanalyse, Zeitbuchung

A. Nižić, D. Meštrović

Stručni rad

## Seizmički prigušivači u građevinskim konstrukcijama

U radu se uvodno opisuje osnovna načela i problematika projektiranja seizmički otpornih konstrukcija. Prikazani su sljedeći seizmički prigušivači: histerezni, viskozni, samocentrirajući i prigušivač s dodanom masom. Dan je primjer proračuna na potres vijadukta Zečeve drage, proveden prema spektralnoj analizi i uz upotrebu vremenskog zapisa. U zaključku se ističe da seizmički prigušivači znatno smanjuju sile u konstrukciji koja može ostati u elastičnom području i nakon potresa.

A. Nižić, D. Meštrović

Professional paper

## Seismic dampers in engineering structures

Basic principles and problems relating to the design of earthquake-resistant structures are presented in the initial part of the paper. The following seismic dampers are presented: hysteretic damper, viscous damper, self-centred damper, and added-mass damper. An example of seismic design made for the Zečeva drage Viaduct, as based on spectral analysis and time history, is given. It is emphasized in conclusion that forces acting on a structure are significantly reduced by seismic dampers, so that the structure remains in an elastic area after earthquake action.

A. Nižić, D. Meštrović

Ouvrage professionnel

## Amortisseurs sismiques dans les ouvrages de construction

Les principes de base et les problèmes relatifs à l'étude des ouvrages résistants à l'action sismique sont présentés dans la partie initiale de l'ouvrage. Les amortisseurs sismiques suivants sont présentés: amortisseur hystérétique, amortisseur visqueux, amortisseur à centrage automatique et amortisseur à masse ajoutée. L'exemple de l'étude sismique faite pour le viaduc de Zečeva drage, basé sur l'analyse spectrale et l'histoire temporelle, est présenté. Il est souligné dans la conclusion que les force agissant sur l'ouvrage sont réduites de manière notable par les amortisseurs sismiques, et que la construction donc reste dans la zone élastique après l'action sismique.

A. Нијич, Д. Мејштровић

Отраслевая работа

## Сейсмические амортизаторы в строительных конструкциях

В работе приведено вводное описание основных принципов и проблематики проектирования сейсмостойких конструкций. Показаны следующие сейсмические амортизаторы: гистерезисные, вязкостные, самоцентрирующие и амортизатор с добавочной массой. Дан пример расчета виадукта Зечева драга на сейсмическое воздействие, проведенный по спектральному анализу и с использованием записи во времени. В заключении подчеркивается, что сейсмические амортизаторы значительно снижают силы в конструкции, которая может остаться в гибкой зоне и после сейсмического воздействия.

A. Nižić, D. Meštrović

Fachbericht

## Seismische Dämpfer in Baukonstruktionen

Im Artikel beschreibt man einleitend die Grundprinzipie und die Problematik des Entwerfens seismisch widerstandsfähiger Konstruktionen. Dargestellt sind folgende seismische Dämpfer: hysteresenartige, viskose, selbstzentrierende und Dämpfer mit hinzugefügter Masse. Vorgelegt ist als Berechnungsbeispiel die seismische Berechnung der Talbrücke Zečeva drage, durchgeführt nach der Spektralanalyse und mit Benützung eines Zeitregistrierinstruments. Im Schluss wird hervorgehoben dass seismische Dämpfer wesentlich die Kräfte in der Kostruktion verringern die im elastischen Gebiet auch nach dem Erdbeben verbleiben können.

Autori: Mr. sc. **Angela Nižić**, Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München; prof. dr. sc. **Darko Meštrović**, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb

## 1 Uvod

Dimenzioniranje konstrukcija na potresna djelovanja u većini slučajeva svodi se na proračun učinaka djelovanja inercijskih sila izazvanih gibanjem tla zbog seizmičkih valova. Veličina tih sila ovisi o karakteristikama seizmičke uzbude i o deformabilnosti konstrukcijskih elemenata u elastičnom i plastičnom području [4]. Da bi prilikom potresa došlo do disipacije energije, konstrukcije moraju biti projektirane tako da se tijekom potresa konstrukcijski elementi nalaze u plastičnom području, odnosno da dođe do njihova oštećenja. Često dolazi do potrebe za skupim sanacijama nakon potresa. Problem ovog pristupa očituje se u mnogim ograničenjima i pravilima konstrukcijskog oblikovanja koja imaju za svrhu da spriječe neželjene oblike i veličine odziva, te da poboljšavaju svojstva duktilnosti konstrukcijskih elemenata. Ove je zahtjeve nekad vrlo teško zadovoljiti. Za ograničenje veličine seizmičkih sila povoljno je da su konstrukcije podatljive, dok je za ograničenje oštećenja nekonstrukcijskih elemenata povoljnije da budu što kruće [9].

Općenito možemo razlikovati dva postupka [7]:

- aktivna kontrola deformiranja
- pasivna kontrola deformiranja nosivih elemenata

Pasivna se kontrola realizira:

- umetanjem specijalnih mehanizama za apsorpiranje energije u nosivom sustavu
- izoliranjem građevine

Osnova aktivne kontrole deformiranja jest da građevinu podvrgnemo umjetnoj uzbuđi koja izaziva naprezanje, dok u mirnom stanju ostaje u početnom položaju. Ova uzbuđa se postiže umetanjem elektroničkih upravljačkih hidrauličkih uređaja čime se postiže veliki tehnički trošak. Pasivni postupci predstavljaju osiguranje od potresa bez dovođenja eksterne energije i mogu se podijeliti na dva različita postupka:

1. Cilj umetanja mehanizama za apsorpciju energije sastoji se u tome da se prilikom disipacije energija koncentrira u specijalno koncipiranim mehanizmima i pri tome su spriječene plastične deformacije i mjestimična oštećenja nosivih elemenata. Ova se metoda osniva na plastičnom deformiranju meke konstrukcije od čelika, njegovu histereznom ponašanju pri trenju i viskoelastičnom ponašanju specijalnih uređaja za prigušivanje koji su ugrađeni u konstrukciju.
2. Izoliranje konstrukcije sastoji se u odvajanju nosive konstrukcije od potresne uzbude. Izvodi se najčešće

duž jedne horizontalne fuge koja dijeli konstrukciju na dva dijela. Najčešće je to podjela na gornji i donji ustroj. Na tim se mjestima ugrađuju izolatori potresa koji u horizontalnom pravcu imaju veoma malu, a u vertikalnom veoma veliku krutost. Kod armiranih elastomera zahtijeva se da je vertikalna krutost nekoliko stotina puta već od horizontalne. Umetanjem veoma mekih ležajeva smanjuje se vlastita frekvencija osnovnog osciliranja.

Građevina se izolira samo u horizontalnom smjeru zbog sljedećega:

- izbjegavanja osciliranja građevine u obliku klatna
- nosivi elementi u vertikalnom smjeru dimenzionirani su da u tom smjeru imaju velike rezerve nosivosti
- u većini slučajeva vertikalna je komponenta potresa znatno manja od horizontalne komponente.

Dakle navedeni postupci se mogu sumirati ili na provedbu konstrukcijskih mjera koje bi rezultirale ili smanjivanjem količine seizmičke energije koja se unosi u konstrukciju (izolacija baze), ili da se osigura disipacija većeg dijela unesene energije posredstvom posebnih elemenata (sustava za disipaciju energije – prigušivača) [10]. Konstrukcijski elementi ovako koncipiranih građevina ostaju u elastičnom području i kod jakih potresa te su redovito dimenzionirani na znatno manje unutarnje sile nego sustavi koji doživljavaju trajne deformacije i oštećenja. U ovom ćemo radu ukratko prikazati jedan tip ovih sustava (seizmički prigušivači).

## 2 Seizmički prigušivači

### 2.1 Osnovne jednadžbe

Osnovna jednadžba gibanja dana je izrazom (1).

$$\begin{aligned}
 [M] \left\{ \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} \right\} + [C] \left\{ \frac{\partial X}{\partial t} \right\} + F_r(t) = \\
 = -[M] \{r\} \frac{\partial^2 X_g}{\partial t^2} + F_s(t)
 \end{aligned} \quad (1)$$

gdje je  $[M]$  matrica masa,  $[C]$  matrica viskoznog prigušenja, dok  $\left\{ \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} \right\}$  i  $\left\{ \frac{\partial X}{\partial t} \right\}$  predstavljaju vektore ubrzanja odnosno brzine.

Integrirajući rad pojedinih članova u izrazu, te uvažavajući pravila deriviranja može se doći do sljedećih izraza:

$$\{dx(t)\} = \left\{ \dot{X}(t) \right\} dt \quad (2)$$

$$\int [M] \left\{ \frac{\partial X}{\partial t} \right\}^T \left\{ d \dot{X}(t) \right\} + \int d X(t) [C] \left\{ \frac{\partial X}{\partial t} \right\}^T + \int \{dx\}^T F_r(t) = \int \{dx\}^T - [M] \{r\} \frac{\partial^2 X_g}{\partial t^2} + \int \{dx\}^T F_s(t) \quad (3)$$

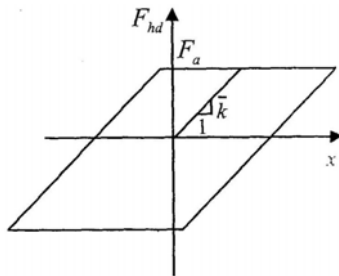
Ove izraze možemo napisati redom:

$$E_k(t) + E_{vd}(t) + E_a(t) = E_{in}(t) + E_{st}(t) \quad (4)$$

gdje su:  $E_k(t)$  relativna kinetička energija u vremenu  $t$ ,  $E_{vd}(t)$  disipirana energija zbog viskoznog prigušenja do vremena  $t$ ,  $E_a(t)$  apsorbirana energija do vremena  $t$ ,  $E_{in}(t)$  je relativna energija koja je ušla u sustav do vremena  $t$  a  $E_{st}(t)$  je rad statičkih sila do vremena  $t$ . U izrazu je posebno zanimljiva apsorbirana energija  $E_a(t)$  koja se može prikazati kao zbroj elastične energije deformiranja i histerezne energije [2]:

$$E_a(t) = E_{es}(t) + E_h(t) \quad (5)$$

Na slici 1. prikazana je krivulja tipično histereznog ponašanja materijala.



Slika 1. Histerezni dijagram

U radu [5] su jednačbe gibanja izvedene za opći slučaj, dakle uzimajući u obzir sva tri stupnja slobode uz pretpostavku da je konstrukcija izložena seizmičkom djelovanju u dva međusobno okomita smjera. Ako os  $x$  i  $z$  postavimo horizontalno a os  $y$  vertikalno, onda se, uz pretpostavku da se modalno prigušenje može napisati u obliku linearne kombinacije matrice masa i matrice krutosti, jednačba gibanja može napisati u obliku:

$$M_n \cdot \ddot{D}_n + C_n \cdot \dot{D}_n + K_n \cdot D_n = -M_n \cdot (\Gamma_{xn} \cdot \ddot{u}_{gx} + \Gamma_{zn} \cdot \ddot{u}_{gz}), \quad n = 1, 2, 3N \quad (6)$$

gdje je  $M_n$  matrica masa,  $C$  matrica prigušenja, a  $K$  matrica krutosti.  $\Gamma_{xn}$  predstavlja  $n$ -ti modalni faktor učešća definiran kao:

$$\Gamma_{xn} = \frac{\varphi_n^T \cdot M \cdot I_x}{\varphi_n^T \cdot M \cdot \varphi_n}, \quad \Gamma_{zn} = \frac{\varphi_n^T \cdot M \cdot I_z}{\varphi_n^T \cdot M \cdot \varphi_n} \quad (7)$$

$$D_n = \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \\ D_{\Theta n} \end{bmatrix}, \quad M_n = \begin{bmatrix} \varphi_{xn}^T \cdot m_x \cdot \varphi_{xn} & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_{zn}^T \cdot m_x \cdot \varphi_{zn} & 0 \\ 0 & 0 & \varphi_{\Theta n}^T \cdot I_o \cdot \varphi_{\Theta n} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{xx} & c_{xz} & c_{x\Theta} \\ c_{zx} & c_{zz} & c_{z\Theta} \\ c_{\Theta x} & c_{\Theta z} & c_{\Theta\Theta} \end{bmatrix} = \alpha \cdot M + \beta \cdot K$$

gdje su elementi vektora  $D_n$  translacije  $n$ -tog oblika osciliranja odnosno rotacije  $n$ -tog oblika oscilacija.

Ako se matrica prigušenja ne može izraziti kao linearna kombinacija matrice mase i krutosti, svedeno se mogu rabiti izrazi dani u [5] s razlikom da je potrebno pretpostaviti da će  $n$ -ti modalni pomak  $u_n$  biti pobuđen, odnosno da vrijedi:

$$M_n \cdot \ddot{u}_n + C \cdot \dot{u}_n + K \cdot u_n = -(\Gamma_{xn} \cdot \ddot{u}_{gx} + \Gamma_{zn} \cdot \ddot{u}_{gz}) \cdot s_n, \quad n = 1, 2, 3N \quad (9)$$

Ovo će rezultirati s 3N jednačbi gibanja i s tri stupnja slobode koje će biti potrebno riješiti.

## 2.2 Podjela seizmičkih prigušivača

Seizmičke prigušivače možemo podijeliti na histerezne, viskozne odnosno viskoelastične, samocentrirajuće i prigušivače s dodanom masom [2].

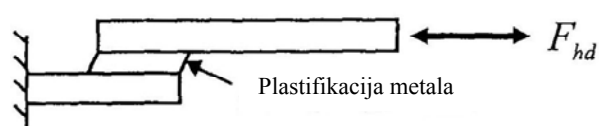
### 2.2.1 Histerezni prigušivači

Histerezni prigušivači pripadaju grupi sustava koji se aktiviraju zbog pomaka. Ovu skupinu možemo dalje podijeliti na metalne i prigušivače koji djeluju na osnovi trenja (slike 2. i 3.). Metali se koriste histereznim ponašanjem zbog plastifikacije materijala. S druge strane, prigušivači na osnovi trenja disipiraju seizmičku energiju trenjem koje se javlja na kontaktu dvaju elemenata (slika 2.). Za jednostavan sustav dan na slici 2. jednačbu gibanja možemo napisati u obliku:

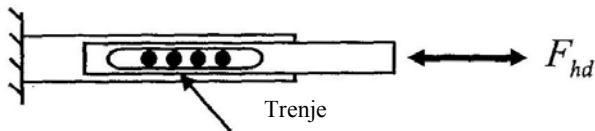
$$m \cdot \ddot{x}(t) + c \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t) + F_{hd}(t) = -m \cdot \ddot{x}_g \quad (10)$$

gdje  $m$ ,  $c$ ,  $k$  redom predstavljaju masu, ekvivalentno viskozno prigušenje i horizontalnu krutost konstrukcije;

$x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$  i  $\ddot{x}(t)$  su redom relativni pomak, brzina i ubrzanje, dok je  $F_{hd}(t)$  nelinearna horizontalna sila histereznog prigušivača. To je osnovni izraz za proračun metalnih prigušivača.



Slika 2. Histerezni metalni prigušivač



Slika 3. Histerezni prigušivač na osnovi trenja

Kod prigušivača koji djeluju na osnovi trenja (slika 3.) sila trenja može se proračunati kao umnožak koeficijenta trenja i sile koja djeluje okomito na prigušivač. Na slici 4- prikazan je histerezni prigušivač ugrađen u konstrukciju.

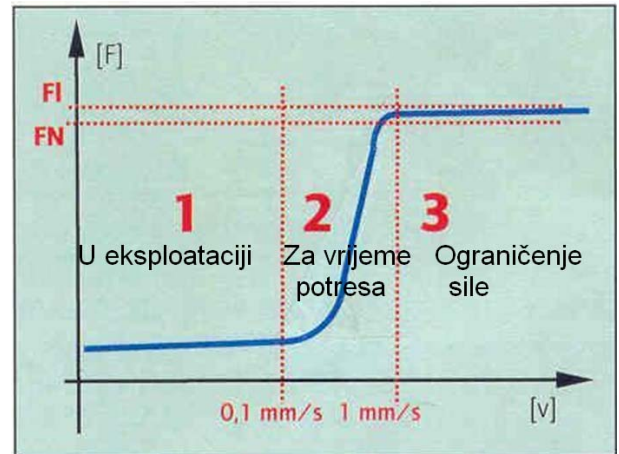


Slika 4. Histerezni prigušivač ugrađen u konstrukciju

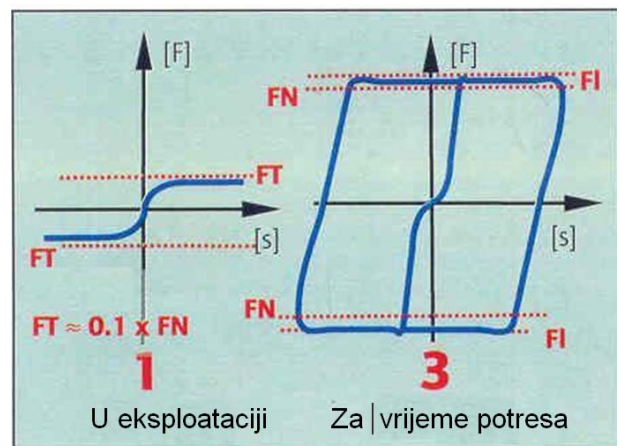
### 2.2.2 Viskozni (viskoelastični) prigušivači

Smanjenje vibracija pomoću ovih prigušivača već se desecima godina rabi u avioindustriji i auto-industriji. Prva primjena u građevinskim konstrukcijama bila je 1969. g. za smanjenje vibracije od vjetera u konstrukciji Svjetskog trgovačkog centra. Tek se u posljednjih 15-ak godina ovi prigušivači počinju rabiti i za smanjenje seizmičkih utjecaja. Viskozni prigušivači su uređaji koji omogućuju pomake od temperaturnih promjena, puzanja i skupljanja bez značajnog otpora, ali disipiraju golemu količinu energije za iznenadne pojave unosa seizmičke energije i ta energija biva pretvorena u toplinu. Ti uređaji uobičajeno djeluju u horizontalnom smjeru i ne prenose vertikalno opterećenje kao izolatori. Viskozne se prigušivače može podijeliti na lineare i nelinearne. Princip rada prikazan je na slikama 5. i 6. Vrlo mali pomaci kao što su temperaturne promjene uzrokuju neznatnu silu  $F_T$ . Pri velikoj akceleraciji koja se javlja između veza elemenata konstrukcije zbog seizmičke energije ili vjetera prigušivač se blokira i postane krut. Kada se prekorači maksimalna sila  $F_N$ , pri seizmičkom opterećenju me-

hanizam omogućava relativne pomake ali s konstantnom silom  $F_T$  koja ima vrijednost malo veću od  $F_N$ . Posebni mehanizam omogućuje tok fluida iz jednog spremnika u drugi da bi se postigla konstantna sila. Sila pri projektiranju može biti proračunana s odgovarajućim koeficijentom sigurnosti jer će odziv uređaja biti neovisan o seizmičkoj sili.



Slika 5. Dijagram ovisnosti sile o brzini [7]



Slika 6. Odziv prigušivača ovisno o situaciji [7]

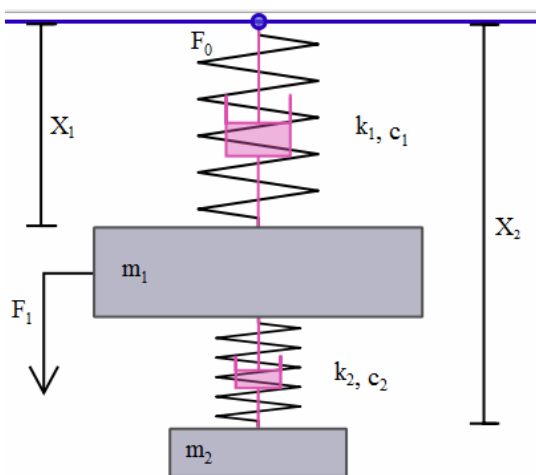
### 2.2.3 Samocentrirajući uređaji (slika 7.)

Optimalni sustav zaštite od potresa trebao bi ograničiti seizmičke sile i povećati prigušenje, imati mogućnost samocentriranja odnosno omogućiti konstrukciji da nakon potresa bude približno u početnom položaju te smanjiti kumulativno oštećenje glavnih elemenata konstrukcije. Upotreba samocentrirajućih uređaja redovito se kombinira s uporabom elastičnih ležajeva. Opruga u ležajevima podvrgnuta je vertikalnom djelovanju zbog težine građevine i kasnije njezinu iskrivljenju zbog horizontalnih i vertikalnih komponenata pomaka. Prigušivač reducira vertikalne pomake građevine. Opruga ima funkciju kompenziranja pomoću vertikalnog deformiranja. Ležajevi mogu biti s kliznim trenjem i trenjem kotrljanja.

Opruga ležajeva je obično kombinirana s hidrauličkim prigušivačima koji smanjuju vertikalne pomake konstrukcije (slika 8.).



Slika 7. Primjer samocentrirajućeg uređaja



Slika 8. Mehanička shema uređaja s usklađenom masom

#### 2.2.4 Uređaji s dodanom masom

Mnoštvo visokih i ovješanih konstrukcija podložno je vibracijama. Većinom su to konstrukcije s malim prigušenjem i malom vlastitom frekvencijom. Takve je vibra-



Slika 9. Uređaj s usklađenom masom (neboder Taipei)

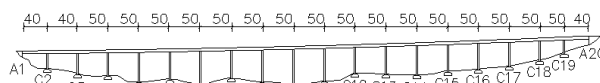
cije teško prigušiti i normalna uporaba nije moguća. Kod ovog se tipa konstrukcija za smanjenje vibracija, ali i za smanjenje učinaka potresa, rabe uređaji s dodanom masom. Uređaj se sastoji od pokretne mase, opruge i prigušivača. Shematski takav je uređaj prikazan na slici 8., a primjer ugrađenog uređaja na neboderu Taipei (101 m) na slici 9.

### 3 Proračunski primjer uporabe prigušivača

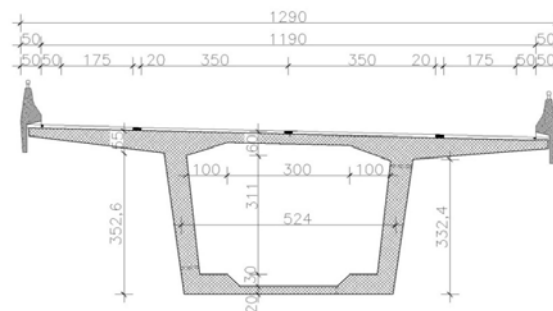
Vijadukt Zečeve drage gredni je most ukupne duljine 940 metara (slike 10. do 13.), a nalazi se na autocesti Zagreb-Rijeka, odnosno preciznije u blizini Vrbovskog [6,10]. Visinska razlika lijevog i desnog upornjaka je oko 23 m. Rasponska konstrukcija je sandučasti nosač širine 12,5 m i visine 4m. Ploština presjeka iznad oslonca iznosi 10,2 m<sup>2</sup>, a u polju 9,4 m<sup>2</sup>. Ta je razlika zbog toga što se nad osloncem povećava debljina ploče. Poprečni presjek na vrhu stupova je pravokutnik dimenzija



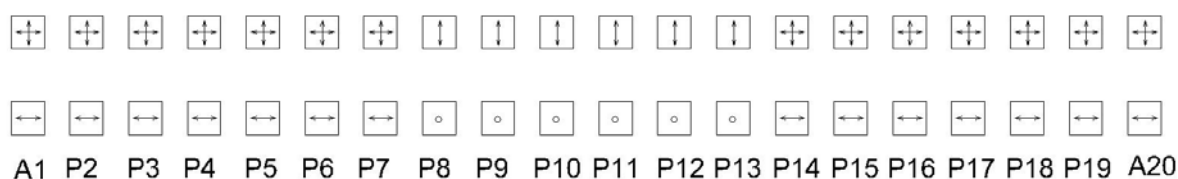
Slika 10. Most Zečeve drage u izgradnji



Slika 11. Skica uzdužnog presjeka mosta



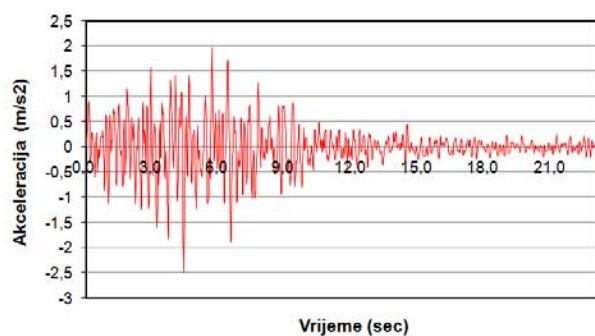
Slika 12. Poprečni presjek između stupova



Slika 13. Shema modeliranih ležajeva mosta (stupovi P8-P14 su upeti)

3,10x6,60m, koji prelazi u šuplji pravokutni presjek gdje je debljina stijenke 30 cm koja se pri dnu širi na 50 cm. Razred tla je A. Za rasponski sklop rabio se beton C 45/55, a beton C 35/45 za stupove. Čelik je S 400. Most ima 18 stupova, a rasponi su 50 m osim onih koji su bliže upornjaku i iznose 40 m. Most je modeliran kao štapna konstrukcija gdje je prvo i zadnje polje podijeljeno na pet dijelova, a sva ostala polja na šest dijelova. Stupovi su većinom diskretizirani na deset dijelova, dok su kraći, koji su bliže upornjacima, diskretizirani na šest dijelova. Pretpostavljeni su lončasti ležajevi zbog očekivane velike sile potresa i modelirani su pomoću opruge duljine 10 cm, velike krutosti u vertikalnom smjeru te u horizontalnom na mjestima nepokretnog ležaja. Tlo je modelirano pomoću opruga u smjeru triju koordinatnih osi. Prigušivači su modelirani na krajevima rasponske konstrukcije s obje strane i to uspravno prigušnim elementom i oprugom čija krutost numerički odgovara krutosti prigušivača. U vlastitu težinu ubrojene su i težine dijafragmi kao koncentrirano opterećenje.

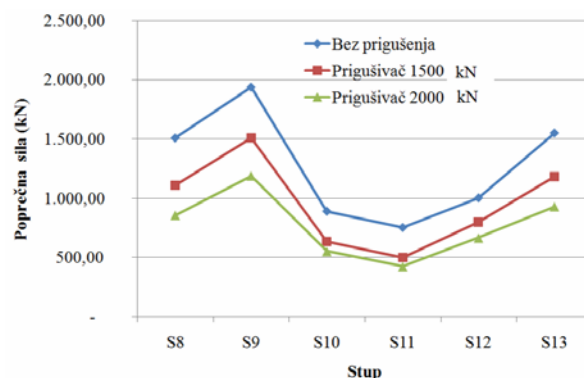
Što se tiče dinamike konstrukcije u obzir je uzeto 30 oblika osciliranja s modalnim prigušenjem od 0,05 [10]. Potres je proračunan na dva načina, i to spektralnom analizom prema EC8/2 za ubrzanje tla od 0,19 g za povratno razdoblje od 500 godina te uporabom vremenskog zapisa gdje je ubrzanje 0,25 g za povratno razdoblje od 1000 godina. Spektralna je analiza rađena za elastični i projektni spektar s faktorom ponašanja  $q = 1,5$  (ograničeno duktilno ponašanje). Proračun s pomoću vremenskog zapisa proveden je s 8 akcelorograma i to za magnituda 5,5, 6, 6,5 i 7,0 s epicentralnim udaljenostima od 0 i 15 km. Akcelorogrami su napravljeni za dva potresa i



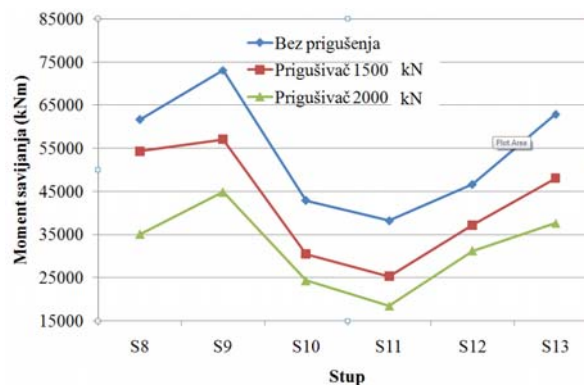
Slika 14. Jedan od akcelorograma upotrijebljen za proračun s pomoću vremenskog zapisa (magnituda 7, epicentralna udaljenost 0 km) [11]

to na lokaciji Petrovac (Crna Gora) magnituda  $M = 6,8$ , zabilježen na epicentralnoj udaljenosti 19,5 km i na lokaciji Ulcinj od  $M = 5,3$  i epicentralnoj udaljenosti 17,5 km [1, 3, 11, 12]. Budući da je maksimalno ubrzanje tla veće od 0,25g, vrijednost ubrzanja danih akcelorograma svodi se na vrijednost maksimalnog ubrzanja za to područje od 0,25 g. Za direktnu integraciju upotrijebljena je Wilsonova metoda. Vremenski korak je 0,02 s.

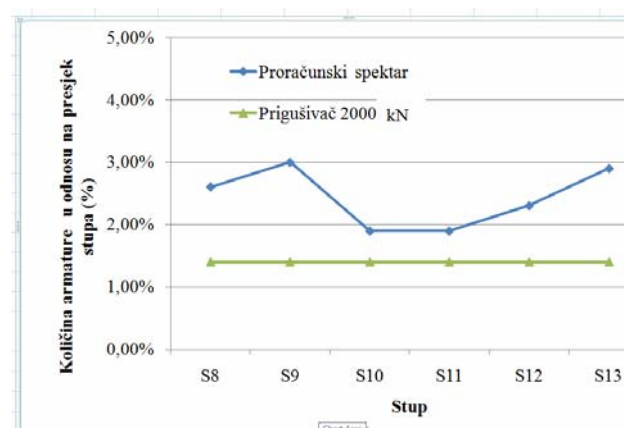
Na slici 15. prikazane su poprečne sile na stupovima S8-S13, a ba skucu 16, su momenti savijanja za konstrukciju bez prigušivača te za prigušivače od 1500 kN odnosno 2000 kN. Upotrebom prigušivača od 1500 kN može se uočiti smanjenje od oko 25 % u veličini unutarnjih sila. Još je veće smanjenje sila vidljivo kod modela mosta s prigušivačem od 2000 kN. Na slici 17. prikazana je količina armature (%) u odnosu na poprečni presjek stupa. Iz priloženog se vidi znatno smanjenje količine armature u stupovima.



Slika 15. Poprečne sile u stupovima za neprigušenu i prigušenu konstrukciju



Slika 16. Momenti savijanja u stupovima za neprigušenu i prigušenu konstrukciju



Slika 17. Količina (%) armature u stupovima za neprigušenu i prigušenu konstrukciju

## LITERATURA

- [1] Bommer, J. J., A.B. Acevedo.: *The use of real accelograms as input for dynamic analysis*, Journal of Earthquake Engineering Vol. 8, London, 2004.
- [2] Christopoulos, C., Filiatrault, A.: *Principles of passive supplemental damping and seismic isolation*, IUSS Press, Pavia, 2006.
- [3] Čaušević, M.: *Potresno inženjerstvo*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2001.
- [4] Čizmar, D., Nižić, A., Meštrović, D.: *Importance of dynamic characteristics of accelograms to structural response*, SECED Conference, 2005.
- [5] Lin, J. L., Tsai, K., C.: *Time domain modal analysis of non proportionally damped two way asymmetric elastic buildings*, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, Kina, 2008.
- [6] Marić, Z., Tkalčić, D.: *Nova postignuća u građenju betonskih mostova u Hrvatskoj*, Građevinar 51 (2003) 4, 191-200.
- [7] MAURER *Seismic Isolation Systems*, 2003.
- [8] Mihanović, A.: *Dinamika konstrukcija*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 1995.
- [9] Naeim, F., Kelly, J. M.: *Design of seismic isolated structures – From theory to practise*, John Wiley & Sons, SAD, 1999.
- [10] Nižić, A.: *Potresi i potresni uređaji*, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004.
- [11] SeismoSoft : *SeismoSignal - A computer program for signal processing of strong-motion data*, <http://www.seismosoft.com>, 2004.
- [12] S.R.A.C. inc.: *COSMOS/M 2.6 Electronic Documentation*, ASTAR – Advanced Dynamics, p. 166-175, Los Angeles, 2000.

## 4 Zaključak

Pri dimenzioniranju betonskih konstrukcija, u određenim je područjima potres mjerodavno djelovanje. Uobičajene strategije zaštite od potresa pretpostavljaju velike plastične deformacije zbog kojih će doći do disipacije energije. Problem je što se ove veličine ne mogu kontrolirati, pa se može dogoditi da nakon potresa konstrukcija više ne može ispunjavati svoju funkciju i da su potrebne sveobuhvatne i skupe sanacije. S druge strane, upotrebom seizmičkih prigušivača znatno se smanjuju unutarnje sile u konstrukciji, što pridonosi manjem utrošku materijala, a pravilnim odabirom i dimenzioniranjem prigušivača konstrukcija može ostati u elastičnom području i nakon potresa. Daljnja se istraživanja mogu usmjeriti na analizu pouzdanosti konstrukcija s prigušivačima pri potresnom djelovanju.