

Prikaz mogućih postupaka obnove zgrada nakon potresa

Venera Vukašinić

Ključne riječi

zgrada, potres, oštećenja od potresa, obnova zgrada, način obnove zgrada, stabilnost, građevine

Key words

building, earthquake, earthquake damage, building remedy, building remedy method, stability, structures

Mots clés

bâtiment, tremblement de terre, dégâts sismiques, réfection des bâtiments, méthode de la réfection des bâtiments, stabilité, structures

Ключевые слова

здание, землетрясение, повреждение от землетрясения, обновление зданий, способ обновления зданий, устойчивость здания

Schlüsselworte

Gebäude, Erdbeben, seismische Beschädigungen, Gebäudeerneuerung, Gebäudeerneuerungsweise, Stabilität, Bauwerke

V. Vukašinić

Pregledni rad

Prikaz mogućih postupaka obnove zgrada nakon potresa

U članku je prikazan pregled nekoliko mogućih postupaka za obnovu u potresu oštećenih zgrada. Polazeći od ciljeva obnove zgrada opisano je nekoliko prikladnih načina njihova ojačanja koji zadovoljavaju konstruktorske zahtjeve kojima se osigurava stabilnost građevine. Istaknuto je da odabir načina obnove ovisi o karakteristikama građevina i njihove namjene, pri čemu valja voditi računa i o raspoloživim sredstvima. Preporuka je da rješavanju toga problema treba pažljivo pristupiti.

V. Vukašinić

Subject review

Overview of possible remedies for earthquake-damaged buildings

An overview of several procedures that can be used to remedy buildings damaged by earthquake is presented. Starting with building remedy objectives the author describes several appropriate building-strengthening procedures that are compliant with structural requirements for ensuring proper stability of buildings. It is emphasized that the choice of remedial method is dependant on characteristics and occupancy of buildings, and that proper attention should also be paid to funding available for such remedy. A well defined approach should be used in the resolution of such problems.

V. Vukašinić

Ouvrage de syntèse

Aperçu des procédés de réfection des bâtiments endommagés par l'action sismique

Un aperçu des procédés utilisés dans la remise en état des bâtiments endommagés par l'action sismique est présenté. En partant des objectifs de la réfection des bâtiments, l'auteur décrit quelques procédés de renforcement des bâtiments qui sont en conformité avec les exigences structurelles relatives à la stabilité des bâtiments. L'accent est mis sur le fait que le choix de la méthode de réfection dépend des caractéristiques et de l'emploi des bâtiments, et que l'attention appropriée doit être consacrée au financement disponible pour la réfection. Une approche bien définie doit être utilisée dans la résolution de tels problèmes.

В. Вукашинович

Обзорная работа

Обзор возможных способов обновления зданий после землетрясений

В статье показан обзор нескольких возможных способов по обновлению повреждённых в землетрясении зданий. Исходя из целей обновления зданий, описано несколько подходящих способов их укрепления, удовлетворяющим конструкторским требованиям, благодаря которым обеспечивается устойчивость сооружения. Подчёркнуто, что выбор способа обновления зависит от конструкторских требованиях и их назначения, которыми обеспечивается надёжность здания, причём необходимо водить учёт и о средствах, находящихся в распоряжении. Рекомендуются к решению этой проблемы подойти особенно внимательно.

V. Vukašinić

Übersichtsarbeit

Darstellung möglicher Verfahren für die Gebäudeerneuerung nach dem Erdbeben

Im Artikel ist eine Übersicht über einige mögliche Verfahren der Erneuerung im Erdbeben beschädigter Gebäude dargestellt. Ausgehend von den Zielen der Gebäudeerneuerung beschreibt man einige angemessene Weisen derer Verstärkung die die Konstrukteursprüche über die Sicherung der Gebäudestabilität begnügen. Es wird hervorgehoben dass die Auswahl der Erneuerungsweise von den Kennzeichen der Gebäude und von deren Bestimmung abhängt, wobei auch über die verfügbaren Mittel Rechnung getragen werden soll. Die Empfehlung lautet dass man dem Lösen dieses Problems sorgfältig herantreten soll.

Autor: Mr. sc. Venera Vukašinić, dipl. ing. građ., Energonvest d.d. Sektor za hidrotehniku, konstrukcije i arhitekturu-Higra, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

1 Uvod

Obnova nakon potresa (seizmička obnova) u širem smislu obuhvaća popravak, poboljšanje, podešavanje i ojačavanje građevina koje su oštećene u vrijeme potresa. Na primjer, manje oštećeni dio građevine potrebno je ojačati, a ako je oštećenje znatno, onda taj dio treba potpuno zamijeniti kako bi se omogućila ponovna upotreba građevine. Tada se radi o obnovi nakon potresa (engl. *post-earthquake rehabilitation*). Međutim, iznenađujući je podatak da velik broj postojećih i neoštećenih građevina u potresnim područjima širom svijeta treba seizmičku obnovu iz različitih razloga i motivacija, a jedan od njih je zbog dorade i promjene propisa. U pitanju je obnova prije potresa (*pre-earthquake rehabilitation*). Postoje brojne tehnike kojima se ojačavaju, sprežu ili popunjavaju postojeće okvirne konstrukcije tako da im bočna (poprečna) otpornost bude povećana zajedno s njihovom duktilnošću. S druge strane, razvijen je čitav niz suvremenih tehnika kojima je cilj smanjenje seizmičkog odziva konstrukcije kao što su npr. izolacija u podnožju građevine i dodatno prigušenje u konstrukciji.

2 Strategija seizmičke obnove

Kako se na slici 1. vidi, ciljevi seizmičke obnove jesu:

- a. obnavljanje izvornih karakteristika konstrukcije na razinu koju je imala prije oštećenja, tj. potresa,
- b. nadogradnja, tj. unapređenje izvornih karakteristika konstrukcije u odnosu prema onima koje je imala prije potresa i
- c. smanjiti budući seizmički odziv.

Uz a) obnavljanje izvornih karakteristika, tj. obnavljanje mehaničkih karakteristika građevine –njezino «dovođenje na staro stanje» podrazumijeva da neke oštećene dijelove treba popraviti adekvatnim materijalima ili zamijeniti potpuno novim elementima ovisno o stupnju oštećenja.

Uz b) što se nadogradnje postojećih karakteristika tiče, postoji nekoliko pristupa, počevši od ojačanja postojeće

konstrukcije, preko smanjenja njezinih neregularnosti i/ili bilo kakvih diskontinuiteta preko povećanja krutosti konstrukcije i ugradnje uređaja koji će trošiti energiju u vrijeme potresa. Taj se isti postupak može upotrijebiti za

Uz c) smanjenje seizmičkog odziva zgrada zajedno sa smanjenjem i/ili izoliranjem njezine mase.

Svaka navedena tehnika sa slike 1. bit će opisana ukratko u nastavku.

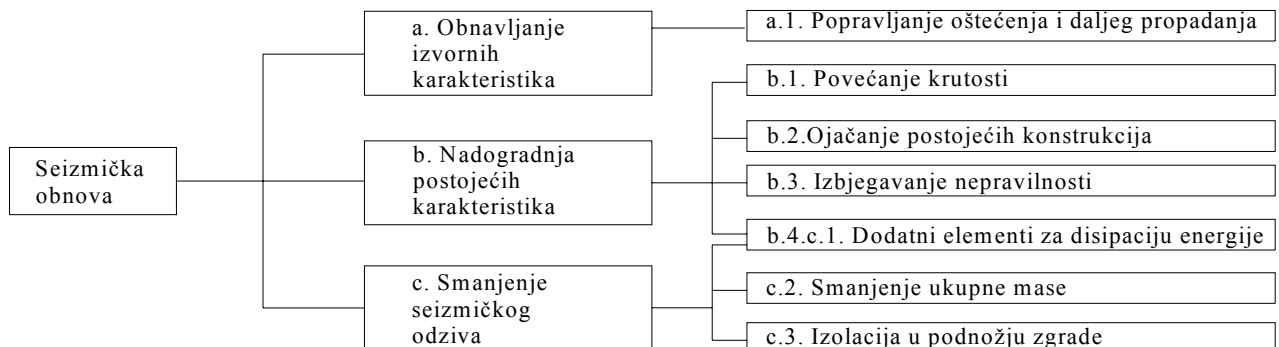
a)1. Popravljanje oštećenja i sprječavanje daljeg propadanja obavlja se uz pomoć materijala koji su već upotrijebljeni u konstrukciji ili potpuno novih ovisno o stupnju oštećenja, vrijednosti građevine, investitoru i drugim svima poznatim faktorima. Ovo je tradicionalna i dobro poznata metoda pa o njoj neće biti puno riječi.

b)1. Povećanje krutosti zgrade pripada već u tehniku koja se bavi nadogradnjom, tj. poboljšanjem njezinih svojstava u odnosu na ona koja je imala prije potresa. Međutim, mijenjanjem ove karakteristike utječe se i na druga svojstva, tj. ova je operacija u izravnoj vezi i uzrokuje promjenu i ostalih karakteristika. Zato će o njoj biti govora u sklopu s ostalim metodama osposobljavanja, npr. u sklopu ojačanja građevine uključuje se povećanje njezine krutosti i/ili izbjegavanje bilo kakvog diskontinuiteta i neregularnosti u rasporedu čvrstoće i krutosti.

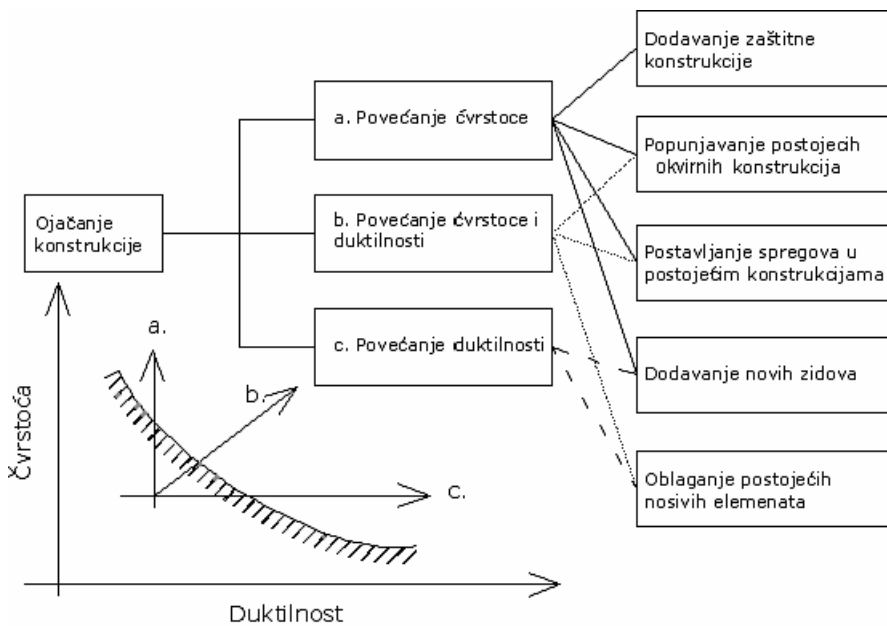
b)2. Ojačanje postojećih konstrukcija ima za ciljeve:

- 1. povećati jakost konstrukcije,
- 2. povećati duktilnost konstrukcije i
- 3. napraviti odgovarajuću kombinaciju već spomenutih ciljeva, a to je zapravo moguće adekvatnim kombiniranjem čvrstoće i krutosti.

Metoda ojačavanja najuspješnija je kod niskih građevina do građevina srednje visine.



Slika 1. Shema strategije seizmičke obnove



Slika 2. Tipične metode ojačavanja konstrukcija

b)2.1. Povećanje čvrstoće konstrukcije moguće je na više načina, što se jasno vidi sa slike 2.:

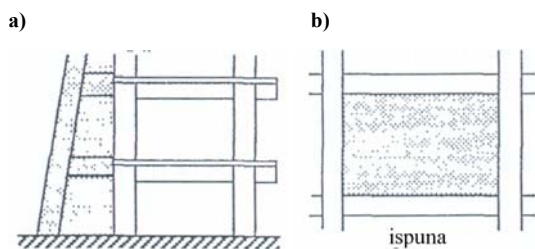
1. osiguravanjem sigurnosne dodatne konstrukcije sa strane,
2. popunjavanjem postojećih okvira,
3. ukrućivanjem postojećih okvira,
4. ugradnjom dodatnih zidova sa strane,

b)2.2. Povećana se duktilnost postiže:

1. ugradnjom dodatnih zidova sa strane,
2. „oblačenjem“, tj. oblaganjem postojećih nosivih elemenata.

b)2.3. Povećanje čvrstoće i duktilnosti obuhvaća sve navedene metode, a najbolji se učinak postiže:

1. popunjavanjem postojećih okvira
2. ukrućivanjem postojećih okvira
3. „oblačenjem“, tj. oblaganjem postojećih nosivih elemenata.



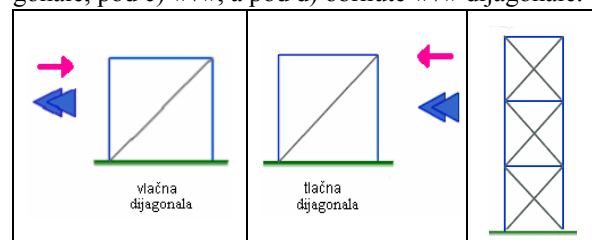
Slika 3. Dodatne konstrukcije sa strane postojeće građevine (a) ispunjavanje postojećih okvira (b)

b)2.1.1. Osiguravanje dodatne sigurnosne konstrukcije sa strane podrazumijeva npr. dogradnju vanjskih, perifernih okvira i podupirača kao što se vidi na slici 3.a.

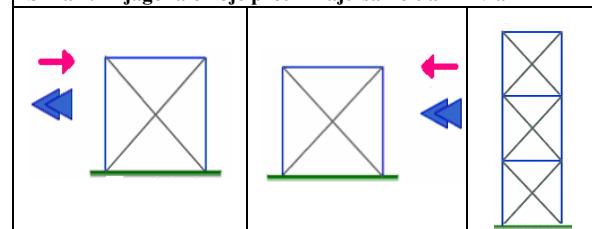
b)2.1.2. i b)2.3.1 Popunjavanje postojećih okvira može se izvesti pranjem betona na mjestu ili ugrađivanjem predgotovljenog betona (slika 3.b). Ispunski elementi mogu biti od opeke, blokova i od čeličnih ploča.

b)2.1.3. i b)2.3.2. Ukrućivanje postojećih okvira jedna je od najprimjenjenijih metoda. Ona se obavlja uz pomoć čeličnih i betonskih dijagonala ili prednapetih natega. Pri tome dijagonale mogu biti samo u jednom pravcu ili u oba. U prvom slučaju preuzimaju samo tlak ili vlak, a u drugom prihvaćaju uzdužne tlačne i vlačne sile. Ilustracije su na slikama 4. i 5. Na slici 6. ponuđeni su i ostali načini projektiranja spregova koji su se pokazali uspješnima. Tako su npr. pod a.) prikazana tzv. «koljenasta» ukrućenja, pod b) su «K» dijagonale, pod c) «V», a pod d) obrnute «V» dijagonale.

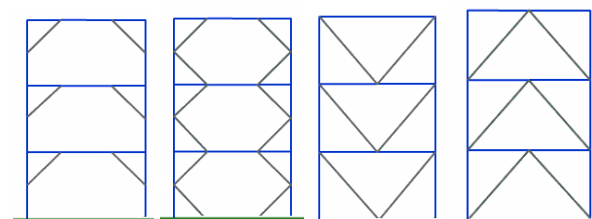
zimizaju samo tlak ili vlak, a u drugom prihvaćaju uzdužne tlačne i vlačne sile. Ilustracije su na slikama 4. i 5. Na slici 6. ponuđeni su i ostali načini projektiranja spregova koji su se pokazali uspješnima. Tako su npr. pod a.) prikazana tzv. «koljenasta» ukrućenja, pod b) su «K» dijagonale, pod c) «V», a pod d) obrnute «V» dijagonale.



Slika 4. Dijagonale koje preuzimaju samo tlak ili vlak



Slika 5. Dijagonale koje primaju i tlak i vlak



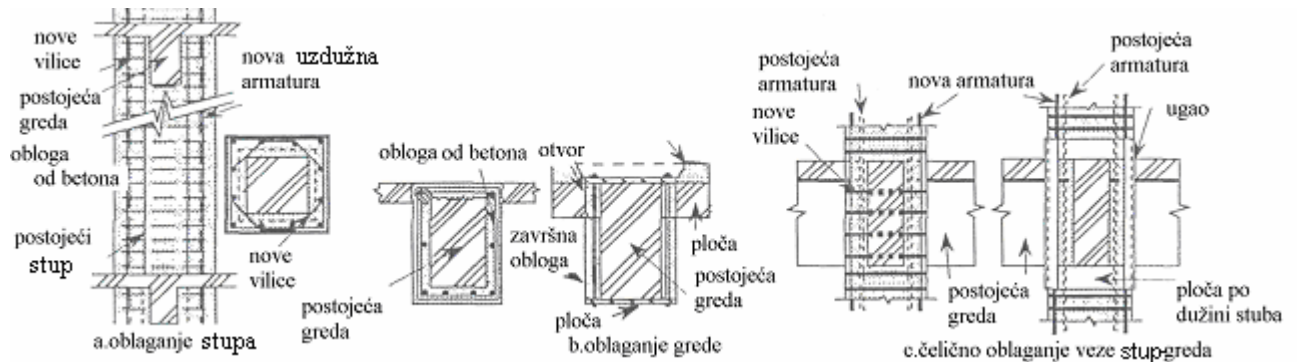
Slika 6. Različiti oblici ukrućenja

b)2.1.4. i b)2.2.1. Ugradnja dodatnih zidova sa strane prikazana je na slici 7. Oni mogu biti po cijeloj duljini ili se mogu ugraditi samo na određenim segmentima.



Slika 7. Ugradnja dodatnih zidova sa strane

b)2.2.2. i b)2.3.3. Oblaganje postojećih nosivih elemenata veoma je popularna metoda, a postoje dva osnovna pristupa ovisno o tome što se želi postići: povećanje nosivosti na savijanje ili na posmik. Načini kojima se mo-



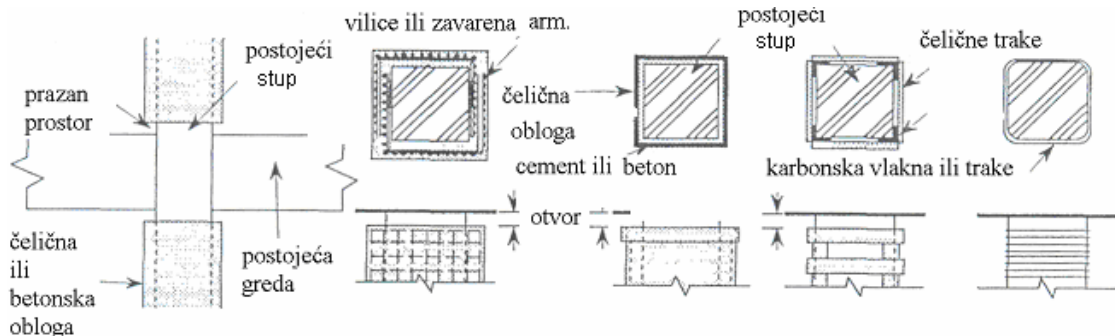
Slika 8. Tehnike oblaganja nosivih elemenata kojima se povećava nosivost na savijanje

že doći do postizanja postavljenih ciljeva prikazani su na slici 8. a) i b) i c) odnosno slici 9. Pritom materijal kojim se oblaže postojeći nosivi element može biti od betona s dodanom armaturom i bez nje te, od čelika. Čelikom se elementi potpuno oblože ili se postavlja tako da se nosivi element obuhvaća samo na pojedinim mjestima; u tim se slučajevima radi o čeličnim obujmicama. U posljednje je vrijeme sve češći način sanacije ugljičnim vlaknima i trakovima.

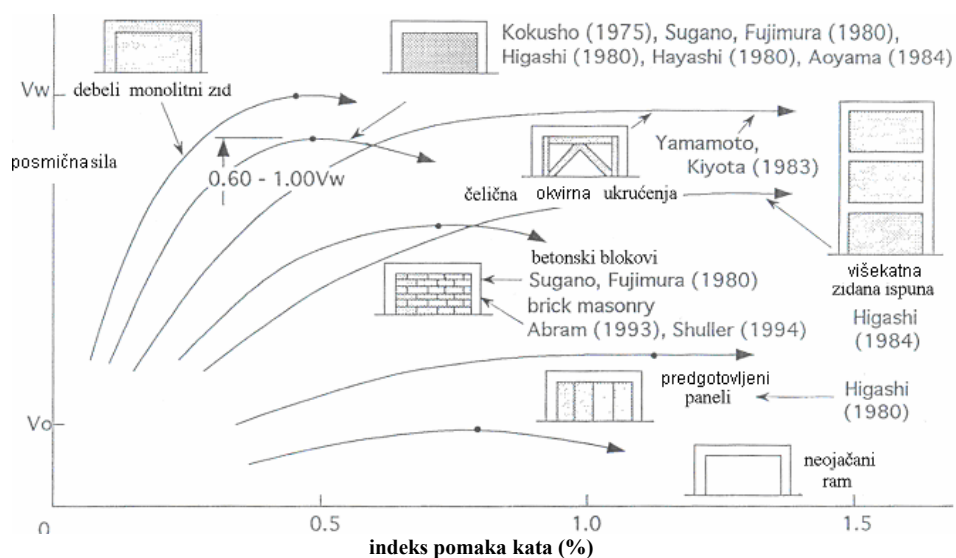
Valja napomenuti da će zbog povećanja nosivosti na posmik biti povećana i duktilnost elemenata. Koja će od

Slijede rezultati eksperimenata koji opisuju ponašanje stupova koji su ojačani različitim tehnikama (slika 11.). Najveću nosivost ima stup pokraj kojega je na licu mjesta izveden zid sa strane, a potom stup ojačan „oblačenjem“ u čelik. Njihova sposobnost bočnih pomaka vrlo je mala; s druge strane, veliki kapacitet pomaka imaju stupovi koji su ojačani ugljičnim vlaknima, trakovima i betonom.

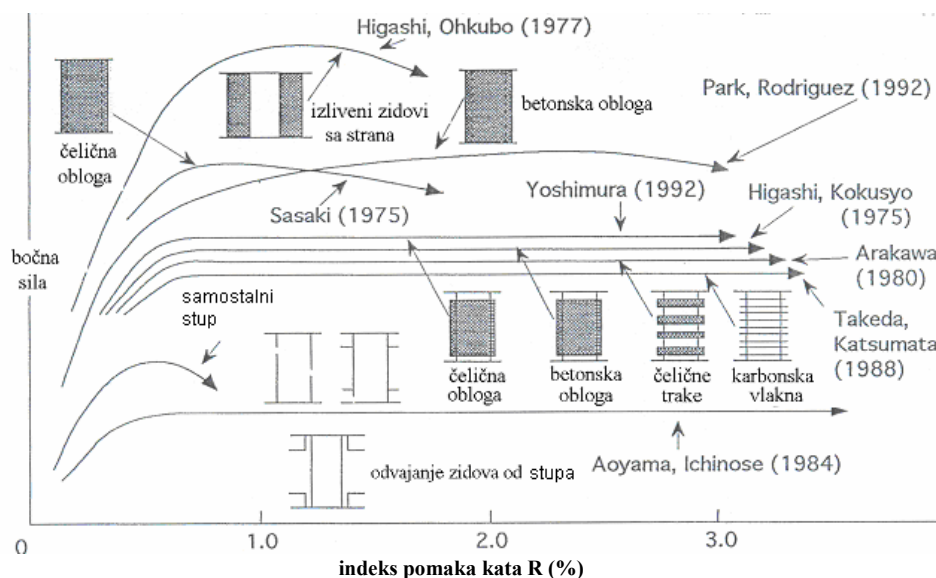
Međutim, potrebno je navesti da tehnike obnove ponajprije zavise od materijala koji je upotrijebljen u postojećoj konstrukciji, tj. od kojeg je materijala građevina izgrađena.



Slika 9. Tehnike oblaganja nosivih elemenata kojima se povećava nosivost stupova na posmik



Slika 10. Tipične krivulje sila-pomak za okvire ojačane različitim tehnikama



Slika 11. Tipične krivulje sila-pomak za stupove ojačane različitim tehnikama

b)3. *Izbjegavanje nepravilnosti* jedna je od najlakše ostvarljivih metoda ako se projektiraju nove građevine i u tom slučaju počinje zajedničko projektiranje s arhitektom. Prednost valja dati jednostavnim, simetričnim oblicima građevina. S obzirom na to da obnova podrazumijeva postojeće građevine, sve daljnje nepravilnosti i/ili diskontinuitete potrebno je izbjegavati i u smislu oblika i u smislu primijenjenih materijala radi obnove (materijal jednolične i dobre kvalitete).

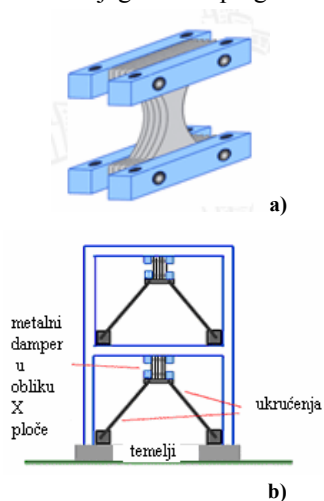
U novije se vrijeme sve više primjenjuju metode koje će smanjiti seizmički odziv konstrukcije. To se postiže ugradnjom prigušivača ili izolacijom u podnožju.

b)4. i c)1. *Prigušivači* se mogu ugraditi u već postojeće ili nove konstrukcije okvirnog tipa da bi apsorbirali

energiju koja se unosi u građevinu zbog pomaka tla. Dakle, oni će «upiti» i potrošiti dio energije koja nastaje pri pomacima i vibriranju zgrade, što znači da će deformacije biti manje, a oštećenja reducirana. Postoje tri osnovne vrste prigušivača:

1. metalni,
2. oni koji djeluju na osnovi trenja i
3. viskozno-fluidni prigušivači.

b.4.1. i c.1.1. *Metalni* se prigušivači uglavnom izrađuju od čelika, a u posljednje vrijeme i od aluminija. Projektirani su tako da sve veće deformacije nastaju upravo na tome mjestu. Postoji više vrsta metalnih prigušivača, a najbolji su oni X oblika (slika 12.) iz jednostavnoga razloga što tijekom vibracije preuzimaju tlak i vlak, kao što je već objašnjeno za dijagonalne spregove.

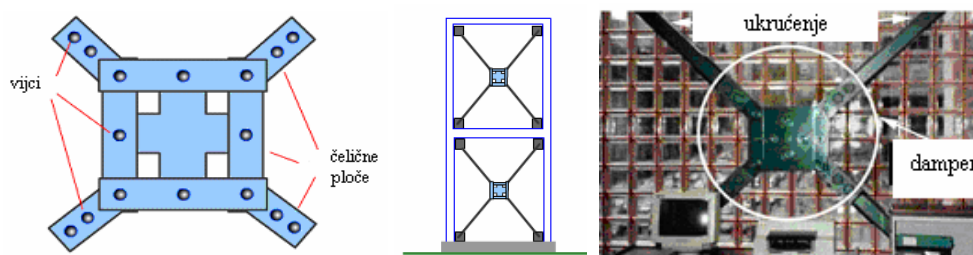


Slika 12. a) skica metalnog «X» prigušivača, b) shematski prikaz «X» prigušivača u konstrukciji

b)4.2. i c)1.2. *Primjer prigušivača koji djeluje na osnovi trenja* je na slici 13.

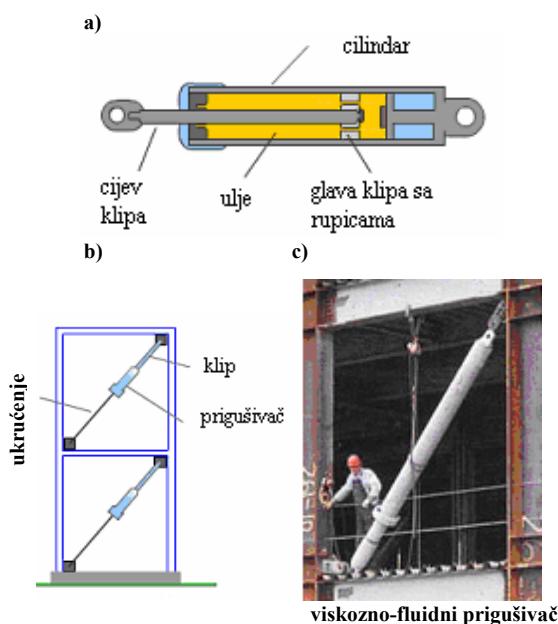
Oni imaju dijelove koji se pokreću, tj. klize jedan preko drugoga pa se zbog trenja troši dio energije koji se unese tijekom potresa.

Ovi se prigušivači izrađuju najčešće od para čeličnih ploča koje su kreirane na poseban način, kako bi trenje između njih bilo što veće; probušene su na određenim mjestima i potom spojene vijcima.



Slika 13. Prigušivači čije se djelovanje osniva na trenju a) skica prigušivača, b) shematski prikaz prigušivača u konstrukciji c) primjer upotrebe prigušivača u konstrukciji

b)4.3. i c)1.2. Viskozno-fluidni prigušivači sastoje se od jednoga zatvorenog valjka koji sadrži određenu viskoznu tekućinu kao npr. ulje. Cijev klipa povezana je s glavom klipa, a pri njegovu pomicanju dolazi do tlačenja ulja koje je prinuđeno da protekne kroz sitne rupe na glavi klipa izazivajući na taj način trenje. Ako je ovaj tip prigušivača ugrađen u građevinu, on će za vrijeme pomaka potresnu energiju trošiti pretvarajući trenje u toplinsku energiju. Ugrađuje se na taj način da čini sastavni dio dijagonalnog ukrućenja zgrade najčešće kao jednostrana dijagonala, kako se i vidi na slici 14.



Slika 14. a) skica viskozno-fluidnog prigušivača b) shematski prikaz prigušivača u konstrukciji c) primjer upotrebe viskozno-fluidnih prigušivača u konstrukciji

c)2. Smanjenje ukupne mase konstrukcije može se između ostalog postići biranjem «laganijih materijala» koji će se rabiti u procesu obnove gdje je god to moguće.

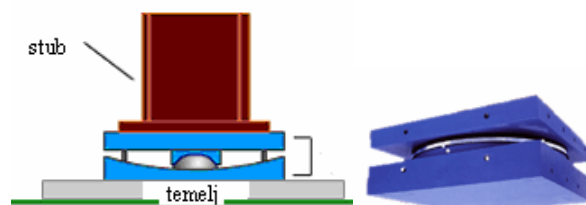
c)3. Izolacija u podnožju građevine sljedeći je način smanjenja seizmičkog odziva. Uobičajeno je da se građevina oslanja na temelje, međutim kod konstrukcija koje su izolirane, umetnuti su posebni izolacijski elementi između konstrukcije i temelja. Ti elementi reduciraju

osnovnu frekvenciju konstrukcije tako da ona neće vibrirati tako jako kao za potresa. Razlika u ponašanju za potresa između građevina upetih u temelje i onih oslonjenih na izolaciju jest u tome što će se upete građevine pomicati onako kako se pomiče tlo ispod

i pokraj njih. Međutim, kod izoliranih će se građevina sva bočna pomicanja uglavnom dogoditi u izolacijskim elementima, a tek nešto u konstrukciji. Postoji velik broj tipova takvih elemenata, a ovdje se spominju samo dva:

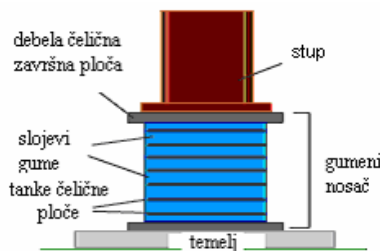
1. izolacija koja se zasniva na trenju i
2. izolacija koja je napravljena od elastomernih ležajeva.

c)2.1. Izolacija koja se zasniva na trenju napravljena je od dvije čelične ploče (slika 15.) koje klize jedna preko druge zbog njihova posebnog oblikovanja i dodanih zglobova preko kojih se obavlja klizanje. Takvi su nosači projektirani tako da budu veoma kruti i jaki da bi mogli primiti sva vertikalna opterećenja. A s obzirom na to da mogu kliziti u bočnim pravcima, sve će se deformacije od potresa dogoditi na toj razini. Postoji niz primjera reduciranja odziva tom metodom, a jedan je od primjera međunarodni aerodrom u San Francisku. Izolacija je proračunana za magnitudu potresa 8.



Slika 15. Shematski prikaz izolacije čije se djelovanje osniva na trenju

c)2.2. Izolacija od elastomernih ležajeva također se postavlja između temelja i građevine; napravljena je veoma kruto za vertikalni, a znatno slabijom za horizontalni smjer; sastoji se od nekoliko slojeva umjetne gume između kojih su postavljene čelične ploče, dok su dvije deblje ploče postavljene na vanjskim stranama (slika 16.).



Slika 16. Shematski prikaz izolacije od elastomernih ležajeva



Muzej na Novom Zelandu

Slika 17. Primjer upotrebe izolacije od elastomernih ležajeva

Takva je izolacija postavljena npr. ispod muzeja na Novom Zelandu (slika 17.). Prigušivači i izolacija mogu se primijeniti kao uspješna metoda smanjenja seiz

mičkog odziva i novih i postojećih građevina (i onih koje zahtijevaju obnovu i onih koje je ne zahtijevaju).

3 Zaključak

Brojni su načini kako se građevina može obnoviti. Danas se primjenjuju najsuvremeniji materijali i tehnike, ali isto tako i oni tradicionalni. Između cijele palete metoda ne postoji najbolja odnosno ona koja se uvijek preporučuje. Svaka je građevina posebna i zaslužuje poseban pristup. Na osnovi toga, a ovisno o financijama (i nekim drugim pratećim elementima) odabrat će se najadekvatniji put koji vodi uspješno obnovljenoj građevini.

LITERATURA

- [1] Aoyama, H.: *A Review of Recent Research in Japan as Related to the Earthquake Resistant Design of Reinforced Concrete Building Structures*, Workshop on Earthquake Resistant Reinforced Concrete Building Construction, University of California, Berkeley, July 11-15, 1997, Vol. II, pp. 185-215
- [2] Božinovski, Ž.; Gavrilović, P.: *Repair and Strengthening of Building Structures*, Lecture Notes, International Post Graduate Study Program (IZIIS-DAAD Master Course), 2005.
- [3] Gavrilović, P.: *Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Frame Component*, Lecture Notes, Twenty Second International twelve-week course on Aseismic Design and Construction-CADAC 2003.
- [4] Nečevska-Cvetanovska, G.: *Reinforced Concrete Structures*, Lecture Notes, Twenty Second International Twelve-Week Course on Aseismic Design and Construction-CADAC 2003.
- [5] Sugano, S.: *Techniques for Rehabilitation of Buildings*, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, June 23-28, 1996.