

Primljen / Received: 26.6.2012.

Ispravljen / Corrected: 15.4.2013.

Prihvaćen / Accepted: 22.5.2013.

Dostupno online / Available online: 10.6.2013.

# Protupotresno poboljšanje a/b građevina primjenom CFRP traka

## Autori:



Prof. dr. sc. **Ahmet Murat Turk**, dipl. ing. građ.  
Sveučilište Kultur u Istanbulu  
Odjel za građevinarstvo  
[murat.turk@iku.edu.tr](mailto:murat.turk@iku.edu.tr)



Dr. sc. **Mustafa Comert**, dipl. ing. građ.  
Tehničko sveučilište u Istanbulu  
Građevinski fakultet  
[mcomert@itu.edu.tr](mailto:mcomert@itu.edu.tr)



**Cumhur Cosgun**, dipl. ing. građ.  
Sveučilište Kultur u Istanbulu  
Odjel za građevinarstvo  
[c.cosgun@iku.edu.tr](mailto:c.cosgun@iku.edu.tr)

Pregledni rad

**Ahmet Murat Turk, Mustafa Comert, Cumhur Cosgun**

## Protupotresno poboljšanje a/b građevina primjenom CFRP traka

Protupotresno poboljšanje postojećih građevina s armiranobetonskom okvirnom konstrukcijom obično zahtijeva iseljenje stanara, a često su i kratki vremenski rokovi za izvođenje građevinskih radova. Ovakvi problemi uglavnom dovode do kašnjenja i dodatnih troškova u projektima protupotresne obnove. Jedan od načina poboljšanja seizmičke otpornosti konstrukcije je uporaba CFRP (ugljičnim vlaknima ojačanog polimera) traka i čeličnih spona. U radu je na temelju provedenih analiza dokazana ekonomičnost i praktičnost ovog tehničkog rješenja.

### Ključne riječi:

armirani beton, okvirne konstrukcije, protupotresno poboljšanje, ojačanje, CFRP

Subject review

**Ahmet Murat Turk, Mustafa Comert, Cumhur Cosgun**

## Seismic upgrade of RC buildings using CFRP sheets

The seismic upgrade of existing reinforced-concrete frame buildings usually calls for evacuation of occupants, and the time available for construction works is often quite limited. These problems usually cause time delays and additional costs on seismic rehabilitation projects. One of the ways of improving seismic resistance of structures is to use CFRP (carbon fibre-reinforced polymer) sheets and steel fuse elements. The cost-effectiveness and practical value of this technical solution is proven in the paper through appropriate analyses.

### Key words:

reinforced concrete, frame structures, seismic upgrade, strengthening, CFRP

Übersichtsarbeit

**Ahmet Murat Turk, Mustafa Comert, Cumhur Cosgun**

## Seismische Nachrüstung von Stahlbetonbauten durch die Anwendung von CFRP Streifen

Die seismische Nachrüstung bestehender Gebäude mit Rahmenkonstruktionen aus Stahlbeton verlangt normalerweise den vorübergehenden Auszug der Einwohner. Außerdem sind die verfügbaren Zeitfristen für die Ausführung der Bauarbeiten oft begrenzt. Diese Probleme können zu Verspätungen und zusätzlichen Kosten in Projekten seismischer Ertüchtigung führen. Ein möglicher Weg, die seismische Beständigkeit zu verbessern, ist die Anwendung von Streifen aus CFRP (kohlenstoffaserverstärktem Polymer) und Stahlverbindungen. In der vorliegenden Arbeit ist auf Grund durchgeführter Analysen die Wirtschaftlichkeit und Verwendbarkeit dieser technischen Lösung nachgewiesen.

### Schlüsselwörter:

Stahlbeton, Rahmenkonstruktionen, seismische Nachrüstung, Verstärkung, CFRP

## 1. Uvod

U zadnja dva desetljeća veliki potresi kao što su Erzincan (1992.), Dinar (1995.), Ceyhan (1998.), Kocaeli i Duzce (1999), Elazig (2010.), Simav (2011.) prouzročili su velik broj poginulih i goleme materijalne štete u Turskoj. Posebno su potresi Kocaeli i Duzce godine 1999. prouzročili goleme štete u velikoj pokrajini koja se proteže od Tekirdaga do Eskisehira, a najteže pogođeni gradovi bili su Sakarya, Duzce, Yalova, Kocaeli, Bolu i Istanbul. Broj oštećenih zgrada nakon potresa premašio je 25.000. U potresu Kocaeli (17. kolovoza 1999.) i Duzce (12. studenoga 1999) poginulo je 15.000, a više od 20.000 je ranjeno. Konačno, potresi 23. listopada 2011., jačine 7,2 (Mw) i 9. studenoga, jačine 5,7 sraznili su oko 2.000 zgrada, ubili 645 ljudi u Vanu u Turskoj. Očevidom nakon potresa pokazalo se da su izvedbe niskih i srednje visokih stambenih, poslovnih i javnih građevina s armiranobetonskom konstrukcijom bile loše zbog svojih fleksibilnih okvirnih sustava neodgovarajuće duktilnosti. Postalo je jasno da te zgrade imaju neke zajedničke nedostatke kao što su: mala čvrstoća betona, mala vlačna čvrstoća armature, neodgovarajuća bočna krutost, neodgovarajuća duktilnost (krajevi konstrukcijskih elemenata i čvorovi gredastup nisu primjereno ovijeni armaturom) te neodgovarajuća dužina preklopa uzdužne armature stupa. U zadnjih 30 godina ispitane su i primijenjene mnoge različite tehnike za sanaciju postojećih konstrukcija s armiranobetonskim okvirom [1-10]. Te se metode mogu razvrstati na konstrukcijskoj razini i na razini elementa, kao što je oblaganje stupova i nosača, dodavanje krilnih zidova, dodavanje zidova ispune poput monolitnih armiranobetonskih zidova ispune ili zidova od višestrukih montažnih armiranobetonskih panela ili čelikom obloženih zidova ispune, dodavanje čeličnih ukrućujućih elemenata vanjskih čeličnih okvira i naknadno napinjanje.

U Turskoj postoje brojne neprimjerene armiranobetonske građevine. Velika većina stambenih i poslovnih zgrada, koje su obično niske ili srednje visoke građevine s armiranobetonskim okvirima, uključujući i javne građevine kao što su škole i bolnice, nisu projektirane tako da izdrže čak ni umjerene potrese. Zato se u praksi vrlo često susrećemo s ojačanjem postojećih armiranobetonskih zgrada prije mogućih sljedećih potresa i popravak onih oštećenih nakon potresa.

Jedan od ostalih velikih problema glede seizmičke obnove postojećih građevina jest potreba iseljenja stanara s mjesta građevinskih radova. To je uglavnom vrlo skupo i neugodno za korisnike i vlasnike građevina, uglavnom javnih zgrada. Drugi je problem obično ograničeno vrijeme raspoloživo za stvarne radove na gradilištu. Zadnji, ali ne i najmanji problem jest nešto što se može nazvati skrivenim problemima, kao što su promjene napravljene na sustavima zgrade nakon ugovaranja koje nisu prikazane u izvedbenim nacrtima. Svi ti problemi često dovode do kašnjenja i prekoračenja troškova u projektima protupotresne sanacije. Na slici 1. prikazana je tipična armiranobetonska zgrada u Turskoj. Postoji velik broj takvih zgrada koje treba brzo poboljšati i bez "izbacivanja iz

uporabe" prema sadašnjem turskom Seizmičkom propisu [11] čiji su zahtjevi slični zahtjevima IBC-2006 [12] i Eurokoda 8 [13]. U tu svrhu, posebno na ovim vrstama zgrada, ispitana je hibridna shema seizmičkog ojačanja uz minimalno "zadiranje" u zgradu i njezine konstrukcijske elemente. U analitičkom su istraživanju za hibridni sustav korišteni omotavanje CFRP trakama i ugradnja čeličnih osigurača.

## 2. Važnost istraživanja

Ovo istraživanje bavi se razvojem nove, za stanare povoljne i brze tehnike pogodne za građevine s armiranobetonskim okvirom s ispunama od šuplje opeke ili bez tih ispuna. Osnovna ideja je koristiti se praktičnom metodom koja je jednostavna za primjenu i minimalno invazivna prema konstrukcijskim elementima u zadanom kratkom vremenskom roku. Istodobno bi se moglo nastaviti s radom i djelatnostima u građevini. Nije potrebna oplata, niti postavljanje zidnih panela, nema značajnijeg povećanja vlastitog opterećenja konstrukcije zbog primjene takve metode.



Slika 1. Izgled uobičajene zgrade osnovne škole u Istanbulu

## 3. Analitičko istraživanje

Protupotresno projektiranje građevina, što ima bitnu ulogu u zaštiti od potresa, obično se temelji na konceptu povećanja protupotresne otpornosti konstrukcija na bočno opterećenje uporabom posmičnih zidova, ukrućenih okvira ili rubnih okvira otpornih na moment savijanja. Glede konstrukcijskih dijelova kao što su grede i stupovi, a s ciljem povećanja duktilnosti i čvrstoće, izbjegavanja šteta, sprječavanja krskog sloma, možda će biti potrebno povećati aksijalnu nosivost, posmičnu čvrstoću i deformabilnost kako bi se postiglo zadovoljavajuće seizmičko ponašanje. Otpornost armiranobetonskih stupova i nosača neusklađenih s propisom na deformaciju može se povećati omatanjem ili ovijanjem njihovih područja potencijalnih plastičnih zglobova uz pomoć polimera armiranog ugljičnim vlaknima (CFRP), što je zadnjih godina postalo prilično popularnom tehnikom ojačanja. Smjernice za proračun konstrukcija ojačanih FRP-om dio su turskog Seizmičkog propisa [11]. Kompozitne trake od ugljičnim

vlaknima ojačanih polimera visoke čvrstoće (CFRP) mogu povećati i aksijalnu čvrstoću i deformabilnost konstrukcijskih elemenata kao i njihovu posmičnu čvrstoću. U usporedbi s drugim sanacijskim tehnikama CFRP materijali imaju mnoge prednosti, kao što je manja specifična težina, veća vlačna čvrstoća i modul elastičnosti, postojanost i dobra obradivost. S obzirom na te prednosti, zadnjih godina brzo raste uporaba CFRP kompozita za sanaciju konstrukcijskih sustava.

Slom postojećih armiranobetonskih čvorova greda-stup za vrijeme potresa još je jedan važan problem za Tursku i druge zemlje s velikim brojem potresa. Prijašnji potresi i zadnji Van Earthquake (23.10.2011.) potres jačine  $M_w=7,2$  potvrdili su loše ponašanje čvorova greda-stup u građevinama s armiranobetonskim okvirima. Zbog male čvrstoće, loših izvedbi detalja i slabog ponašanja spojeva dolazilo je do potpunog urušavanja i velikih šteta. Slom čvora greda-stup obično je najčešći problem za veliki broj građevina s armiranobetonskim okvirima, koje nisu u skladu s propisima, i starijih neduktilnih građevina izgrađenih prema prethodnim seizmičkim propisima. Dakle, osim ojačavanja područja plastičnih zglobova, područja čvora greda-stup također su potencijalne zone sloma pod seizmičkim opterećenjima, ako nisu primjereno projektirane i ovijene armaturom. U takvim zgradama koje nisu građene u skladu s propisima obično je potrebno pojačanje čvora greda-stup od posmičnog oštećenja. Prijašnja praksa gradnje obično u takvim zgradama potvrđuje da čvorovi greda-stup praktički nemaju nikakve posmične armature (nema vezne šipke u zoni spoja). Prethodna eksperimentalna istraživanja [5, 14] također su pokazala nedostatnost uobičajeno slabih

armiranobetonskih okvira (nisu u skladu s propisima) u Turskoj. Armiranobetonski okviri (neusklađeni s propisima) ispitivani pod kvazistatičkim obrnutim cikličkim opterećenjem pokazali su nezadovoljavajuće ponašanje u smislu čvrstoće, duktilnosti i krutosti. Spomenuti armiranobetonski okviri napravljeni su s jakim gredom i slabim stupom kakvi su uobičajeni u praksi. Zbog nepostojanja posmične armature u čvorovima greda - stup, osim oštećenja stupa uslijed savijanja, došlo je i do ozbiljnog pucanja i štete kako je prikazano na slikama 2. i 3., [5].

Pitanje treba li prihvatiti utjecaj smanjene čvrstoće čvorova greda-stup na cjelokupno ponašanje armiranobetonskih okvirnih konstrukcija izazovan je zadatak za inženjere koji rade na projektima protupotresnog ojačanja. Postoje ograničeni načini povećanja otpornosti na bočno opterećenje i na deformaciju čvorova greda-stup kao što je njihovo oblaganje armiranim betonom ili čeličnim profilima, omatanje FRP kompozitnim materijalom ograničene primjenjivosti. Ove se metode mogu opisati kao invazivne u smislu globalne sheme ojačanja. Kako bi se spriječio kruti posmični slom spojeva (čvorova), mogu se koristiti jednostavni štapni elementi (čelično ojačanje ili elementi za osiguranje) postavljeni oko čvora i vezani zglobovima na ploče koje su spojene na grede i stupove čime se eliminira oštećenje spoja i formiranje plastičnog zgloba u gredi na mjestu spoja daleko od područja čvora (slika 4.). Za ovaj se sustav navodi da daje rezultate, tj. povećanje globalne bočne čvrstoće nakon eksperimentalnih istraživanja, stabilno histerezno ponašanje i poboljšanu sposobnost disipacije energije [15]. U istom istraživanju istraživači su pokazali da je postavljanje štapnog

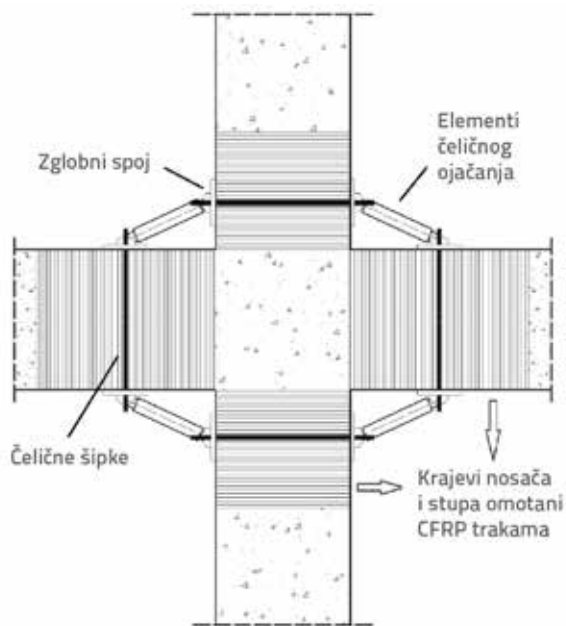


Slika 2. Tlocrtni prikaz štete na čvoru vanjske grede i stupa bez posmične armature



Slika 3. Bočni prikaz oštećenog čvora vanjske grede i stupa jer nema posmične armature

elementa u područje čvora greda-stup značajno smanjilo posmične sile i moment savijanja čvora greda-stup. Kao što je dobro poznato, mehanizam posmičnog zgloba u čvorovima greda-stup ima kritičan učinak na odgovor na pobudu zgrade s okvirom. S druge strane, kako bi se osigurao duktilan slom čvorova grede i stupa, omatanje CFRP-om povećalo je posmičnu čvrstoću u odnosu na neomotane (gole) dijelove. Omatanje s CFRP-om osigurava ovijanje područja za povećanje lokalne čvrstoće betona i povećanje posmične čvrstoće krajnjih područja greda i stupova. Analitički je istražena shema protupotresne obnove, koja se sastoji od lokalnog postavljanja elemenata tipa čeličnog osigurača zajedno s omatanjem CFRP-om, blizu čvorova, kako bi se provjerilo poboljšanje seizmičkog ponašanja građevina, uz smanjenje oštećenja čvorova i sprječavanje mehanizama mekog kata [16].



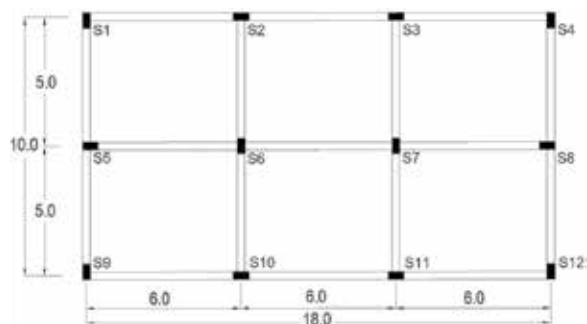
Slika 4. Povezivanje grede i stupa s CFRP trakama i čeličnim osiguračima (ojačanjima)

U ovom istraživanju razmatrana je tipična školska zgrada prikazana na slici 1. Izrađen je analitički proračun pojačanja postavljanjem CFRP-a na potencijalna područja plastičnih zglobova na gredama i stupovima te elementa čeličnih osigurača oko čvorova greda-stup kako se može vidjeti na slici 4. Na ovoj tipično armiranobetonskoj konstrukciji zgrade koja ima tipičnu visinu kata 3,5 m (slika 5.) provedene su trodimenzionalne usporedne analize. Uglavnom, analizirane su tri različite konfiguracije pojačanja:

- slučaj A** - zgrada bez pojačanja,
- slučaj B** - ista zgrada čiji su krajevi greda okvira ovijeni samo s CFRP trakama u područjima plastičnog zgloba
- slučaj C** - ista zgrada čiji su krajevi greda okvira ovijeni s CFRP trakama u područjima plastičnog zgloba i s čeličnim osiguračima oko čvorova greda-stup ugrađenim na ovijenim dijelovima.

Zgrada se sastoji od tipičnih armiranobetonkih okvira bez posmičnih zidova, a nalazi se u jako aktivnom potresnom području Turske. Budući da je većina građevina izgrađena prema nekadašnjem turskom Seizmičkom propisu 1975 [17], ispitivana zgrada je projektirana prema TSC 1975 uzimajući u obzir gravitaciju i potresna opterećenja (seizmička zona 1 s projektiranom akceleracijom tla od 0,4g, vrsta tla Z4 prema TSC-2007 [11], tlo tipa D prema Eurokodu 8 [13]). Pretpostavljena svojstva materijala bila su 12 MPa za tlačnu čvrstoću betona i 220 MPa za granicu popuštanja i uzdužnih i poprečnih šipki armature. Male vrijednosti čvrstoće betona uobičajene su vrijednosti dobivene ispitivanjem uzoraka izvađenih na gradilištima gdje su se izvodili projekti protupotresnog poboljšanja građevina. Trokatna školska zgrada ima dimenzije 18 m x 10 m, a orijentacija svih stupova je prikazana na uobičajenom tlocrtu

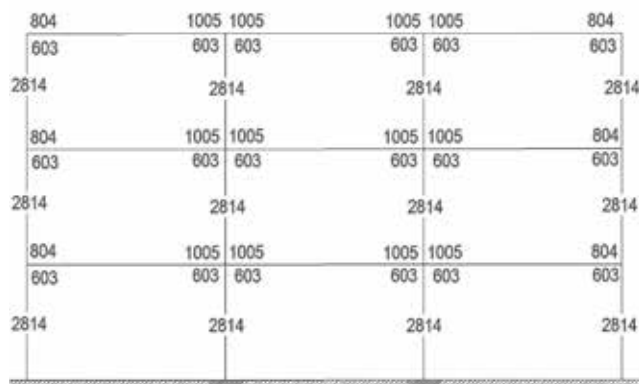
predočenom na slici 5. Dimenzije stupova i grede korištenih u ovom istraživanju bile su uobičajene veličine okvirnog elementa u postojećim školskim zgradama. Dimenzije stupova, dimenzije vanjskih i unutarnjih greda i raspored uzdužne armature na gredama i stupovima prikazane su na slikama 6. i 7. Razmatrana je poprečna armatura u potencijalnim područjima plastičnog zgloba, šipke profila 8 mm na razmaku od 200 mm, što predstavlja tipične razmake u takvim zgradama. Pretpostavljena visina kata je 3,5 m, što je uobičajena visina za školske zgrade. Iako su na slici 7. prikazana samo područja uzdužne armature za x-pravac, pretpostavljene vrijednosti za područja uzdužne armature vanjskog nosača u y-pravcu su jednake onima navedenim na slici. Osim toga, na čvorovima greda-stup nema armature za ovijanje, samo su obične šipke s neprimjerenim detaljima sidrenja šipki armature na tim čvorovima. Ove slabe konstrukcijske pojedinosti, zajedno s malom čvrstoćom betona, uzrokuju prerani slom u čvorovima greda-stup [5].



Slika 5. Tlocrt školske zgrade (sve dimenzije u m)



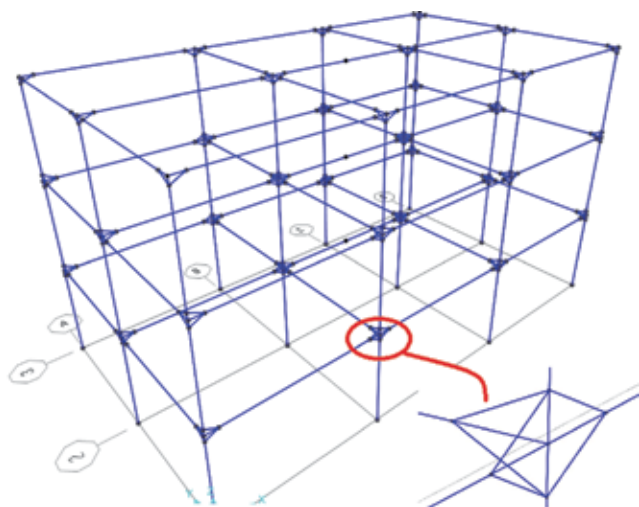
Slika 6. Presjek armiranobetonskog stupa (lijevo), presjek unutarnje armiranobetonke grede (sredina), presjek vanjske armiranobetonke grede (desno)



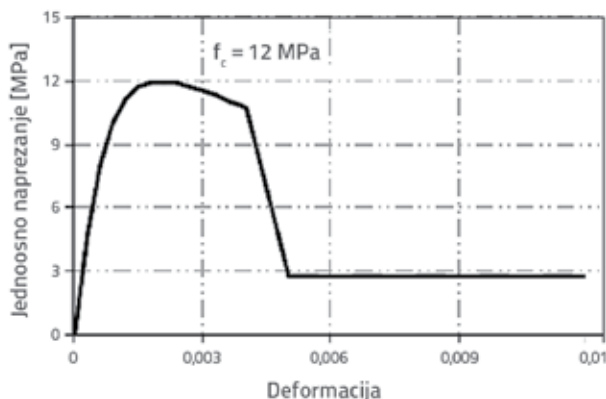
Slika 7. Područja uzdužne armature za okvirne elemente u pravcu X (sve vrijednosti u mm<sup>2</sup>)

#### 4. Nelinearna statička analiza

Trodimenzionalne analize provedene su pomoću programa za statičku i dinamičku analizu konstrukcija SAP 2000 [18]. Karakteristike poprečnih presjeka, kao što je odnos moment savijanja-zakrivljenost za krajeve greda i stupova, krivulje međudjelovanja (interakcije) uzdužna sila – moment savijanja (P-M) izračunane su pomoću XTRACT programa [19]. Slijedi opis pojedinosti modeliranja. Trodimenzionalni model konstrukcije oblikovan je pomoću programa kako bi se napravila nelinearna statička analiza. Dijelovi grede i stupa modelirani su kao nelinearni okvirni elementi s lokalnom plastifikacijom uz definiranje plastičnih zglobova na oba kraja greda i stupova teorijske dužine nula. Svojstva savitljivog zgloba, koja je odredio korisnik, bila su oblikovana pomoću analiza interakcije moment savijanja-zakrivljenost i P-M svakog konstrukcijskog elementa koristeći se programom za analizu presjeka (slika 8.).



Slika 8. Trodimenzionalni konstrukcijski model predmetne zgrade i konstrukcijski dijelovi uključujući grede, stupove i elemente čeličnih osigurača, slučaj C



Slika 9. Pretpostavljeni proračunski dijagram za beton C12 ( $f_c=12$  MPa) koji predlaže Mander [20]

Manderov model [20] za neovijeni beton i tipični model naprezanje-relativna deformacija s vlačnim očvršćenjem za čelik proveden je u analizi moment savijanja-zakrivljenost (slike 9. i 10.). Pretpostavljeno je da krutost puknutog dijela armiranobetonskih greda iznosi 0,4 puta EI (krutost presjeka na savijanje) prema TSC 2007, pri čemu je ista vrijednost uzeta kao 0,5 EI za sve armiranobetonske stupove [11].

Za svaki stup napravljene su analize međudjelovanja uzdužna sila-moment savijanja (P-M) uz svojstva poprečnog presjeka za različite smjerove prikazana je na slici 11. Za unutarnje i vanjske grede zanemarene su uzdužne sile, a čvrstoće na savijanje prikazane su samo odnosima moment savijanja-zakrivljenost (slike 12. i 13.). Zbog programskih ograničenja unosa podataka, odnosi nosivosti prikazani su odnosom moment savijanja-kut zaokreta umjesto moment savijanja-zakrivljenost. Podaci moment savijanja-kut zaokreta smanjeni su na unos pet točaka što doprinosi određenom pojednostavljenju analize. Pretpostavljena je dužina plastičnog zgloba kojom se dobiju granične vrijednosti rotacije iz graničnih zakrivljenosti. Za svojstva zgloba koja je odredio korisnik pretpostavilo se da dužina plastičnog zgloba iznosi 0,5 H, gdje je H visina poprečnog presjeka greda i stupova. Za postojeće armiranobetonske zgrade, posebno one od betona male čvrstoće i neodgovarajućeg ovijanja čvorova, treba uzeti u obzir i posmično popuštanje. U tu svrhu za grede i za stupove uvedeni su posmični zglobovi. Zbog krto groma loma betona pri smicanju, za ovaj tip zgloba nije razmatrana duktilnost. Svojstva posmičnog zgloba određena su tako da, kad posmična sila u elementu dostigne svoju posmičnu nosivost (čvrstoću) izračunanu prema TS-500 [21], taj element odmah popusti. Posmična nosivost elementa određuje se na sljedeći način:

$$V = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \cdot (1 + \gamma \cdot (N_d / A_c))$$

gdje je:

$f_{ctd}$  - vlačna čvrstoća betona

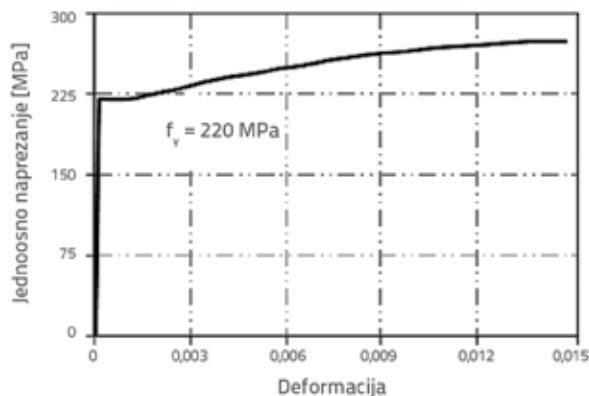
$b_w$  - širina presjeka

$d$  - statička visina poprečnog presjeka

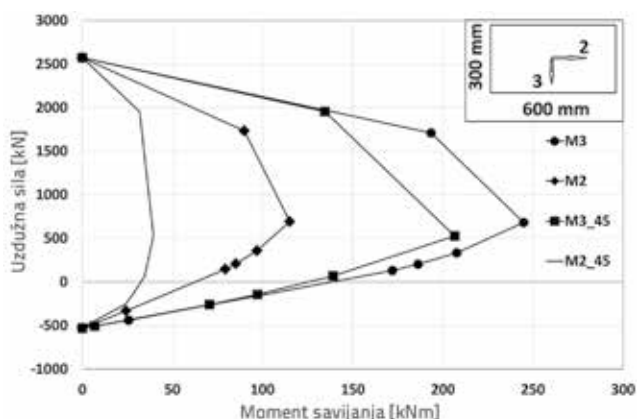
$\gamma$  - 0,07 (tlak), -0,3 (vlak)

$N_d$  - uzdužna sila na poprečni presjek

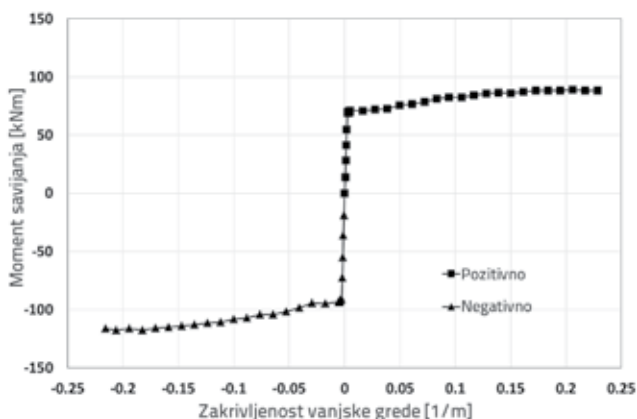
$A_c$  - površina poprečnog presjeka



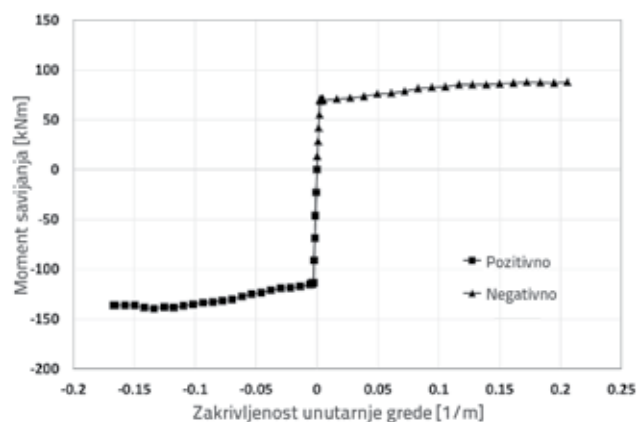
Slika 10. Pretpostavljeni proračunski dijagram čelične armature S220 ( $f_y=220$  MPa)



Slika 11. Dijagram međudjelovanja uzdužna sila – moment savijanja armiranobetonskih stupova uz promatranje različitih orijentacija



Slika 12. Dijagram moment savijanja-zakrivljenost vanjske grede



Slika 13. Dijagram moment savijanja-zakrivljenost unutarnje grede

Kao što se može vidjeti na slici 4. za slučaj B i slučaj C, poprečno ojačanje na krajevima grede i stupa provodi se omatanjem CFRP traka. Kako bi se postigao učinak ovijivosti omatanjem CFRP trakama kod betona male tlačne čvrstoće, u analizi kompozitnih presjeka stupa korišten je model betonskog materijala koji su predložili Ilki i suradnici. Prema predloženom modelu, koji je provjeren ispitivanjima, presjeci ovijeni CFRP-om mogu izdržati najmanje 1,5 puta veća osna

tlačna naprezanja i desetostruko povećanje osne deformacije čak i za male čvrstoće betona od 12 MPa [22]. Slika 14. pokazuje odnos naprezanje-relativna deformacija betonskih dijelova ovijenih CFRP-om dobiven primjenom Ilkijeva modela:

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 2.54 \frac{f_l}{f_{co}} \quad \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{co}} = 1 + \frac{h}{b} 19.27 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.53}$$

$$f_l = \frac{K_a \rho_f \epsilon_{h,rupt} E_{frp}}{2} \quad K_a = 1 - A_1 - A_2 - \rho$$

$$A_1 = \frac{(b - 2r)^2 + (h - 2r)^2}{3bh} \tan \theta \quad A_2 = \frac{4r^2 - \pi r^2}{bh}$$

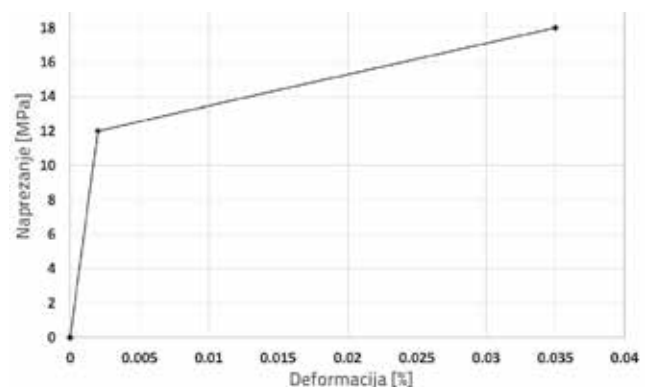
$$\rho_f = \frac{2\eta_f t_f (b + h)}{bh}$$

U ovim jednadžbama  $f_{cc}$  je maksimalna tlačna čvrstoća betona omotanog FRP-om,  $\epsilon_{cc}$  je maksimalna relativna deformacija betona omotanog FRP-om,  $f_{co}$  je tlačna nosivost neojačanog betona,  $b$  je širina presjeka,  $h$  je visina presjeka,  $r$  je polumjer kutova dijela poprečnog presjeka omotanog FRP-om,  $\eta_f$  je broj omotanih slojeva FRP-a,  $t_f$  je debljina FRP-a.

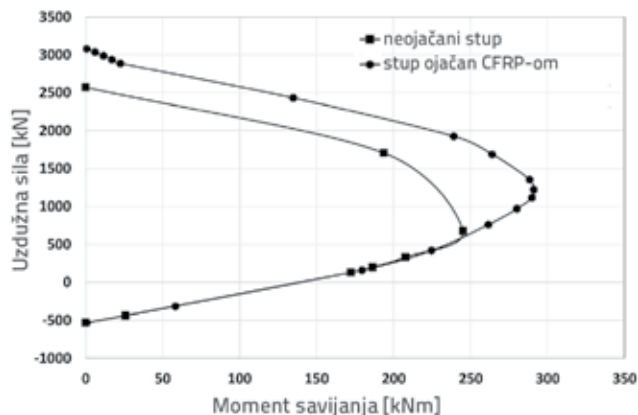
Za armiranobetonske poprečne presjeke ovijene CFRP-om napravljeni su dijagrami međudjelovanja P-M uzimajući u obzir geometrijske karakteristike poprečnih presjeka stupova oko slabije i jače osi te mehaničke značajke CFRP-a uz pretpostavku pune veze između betona i CFRP materijala. Mehaničke i geometrijske karakteristike CFRP materijala korištenog u analizi prikazane su u tablici 1. Proračunani dijagrami međudjelovanja P-M običnih stupova i stupova omotanih CFRP-om oko obje osi prikazane su na slikama 15 i 16. Pri izračunu karakteristika poprečnih presjeka, uz pretpostavku potpune veze, pretpostavljeno je da su grede i stupovi ovijeni s tri sloja CFRP trake

Tablica 1. Mehaničke i geometrijske karakteristike CFRP traka

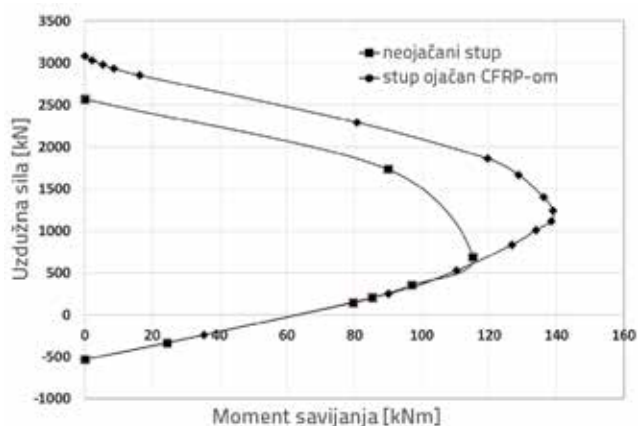
Karakteristična tlačna čvrstoća [MPa]	Youngov modul elastičnosti [MPa]	Maksimalna vlačna relativna deformacija [mm/mm]	Efektivna površina po jedinici širine [mm <sup>2</sup> /mm]	Jedinična težina [kg/m <sup>3</sup> ]
3430	230000	0.015	0.165	1820



Slika 14. Odnos "naprezanje-relativna deformacija" ojačanog betonskog stupa CFRP-om (prema modelu)



Slika 15. Dijagram međudjelovanja uzdužna sila-moment savijanja za neojačani i ojačani stup CFRP-om u smjeru jače osi



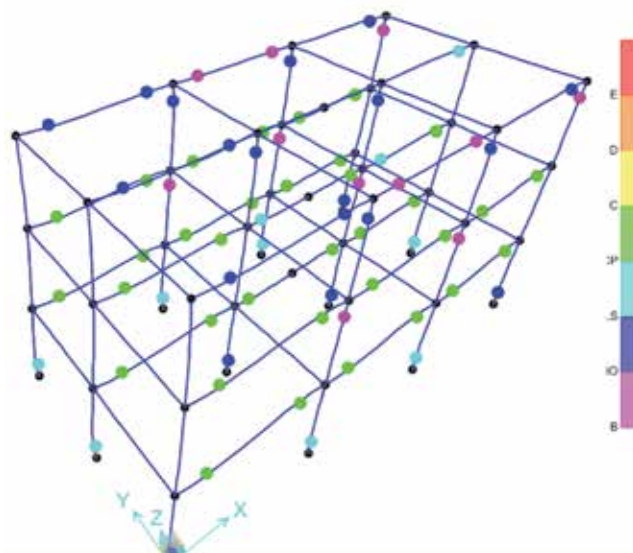
Slika 16. Dijagram međudjelovanja uzdužna sila-moment savijanja za neojačani i ojačani stup CFRP-om u smjeru slabije osi

U slučaju C, osim ovijenosti CFRP-om, čvorovi greda-stup ojačani su čeličnim osiguračima sa zglobovima na oba kraja što dovodi do smanjenja posmika u čvoru jer se posmik preko tih osigurača prenosi između greda i stupova. Ovi se elementi postavljaju oko unutarnjih i vanjskih čvorova za izabrani okvir pod kutom od 30° s armiranobetonskim gredama. Kao čelični osigurači izabrani su elementi od čeličnih cijevi (S220,  $f_v=220$  MPa) koji imaju vanjski promjer 100 mm i debljinu stijenske 20 mm (slika 4).

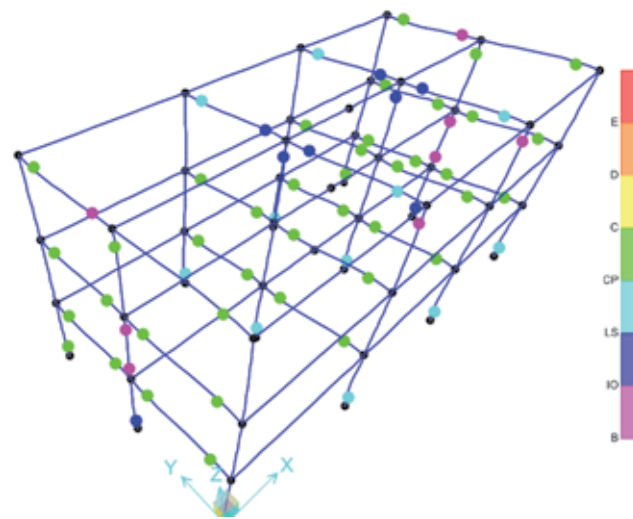
U nelinearnoj statičkoj analizi (metoda postupnog guranja) ponašanje konstrukcije okarakterizirano je krivuljom nosivosti koja prikazuje odnos između posmične sile baze (base shear force) i pomaka vrha. Ovo je vrlo prikladan prikaz u praksi, a inženjeri konstruktori ga mogu lako vizualizirati [23]. Vidljivo je da se pomak krova konstrukcije koristi za krivulju nosivosti, jer je to široko prihvaćeno u praksi. Rezultati metode postupnog guranja, uključujući mehanizme plastičnog zgloba u zadnjim fazama za oba smjera, prikazani su za slučaj A (slika 17. i 18.). Mehanizmi formiranja plastičnog zgloba dobiveni su na točkama pomaka koje odgovaraju globalnom popuštanju i graničnim pomacima. Točka globalnog popuštanja odgovara pomaku na krivulji nosivosti gdje sustav počinje "omekšavati". Formiranje plastičnog zgloba započinje na krajevima greda

na nižim katovima, a zatim se širi prema višim katovima i nastavlja se s popuštanjem temeljnih stupova. Izgleda da su mjesta zglobova postojana, a značajno oštećenje ili slom javlja se na stupovima za sve slučajeve.

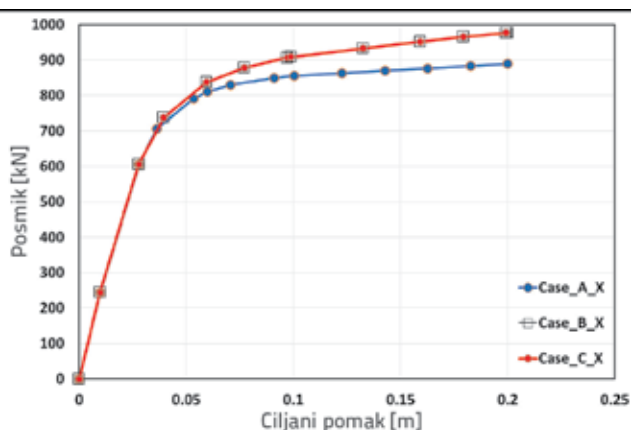
Posmični slom za konstrukcijske dijelove nije otkriven u slučaju čistog okvira, osim u nekim područjima čvorova. To je prije svega zbog pretpostavljene male tlačne nosivosti betona i loših detalja čvorova. Dakle, cjelokupnim ponašanjem dominirali su savijeni i posmik čvora. Kako je prikazano na slikama 19 i 20, vrijednosti bočne krutosti u sva tri slučaja (A, B i C) u oba smjera gotovo su slične. Osnovna posmična čvrstoća u odnosu na čisti okvir značajno se povećala zbog uvođenja shema pojačanja. Ova promjena nastala je zbog duktilnosti elemenata i smanjenja posmika čvora. Povećanje osnovne posmične čvrstoće u slučaju B i C u X-smjeru u usporedbi s čistim okvirom je 10 % te 6 % za usporedbu u Y-smjeru.



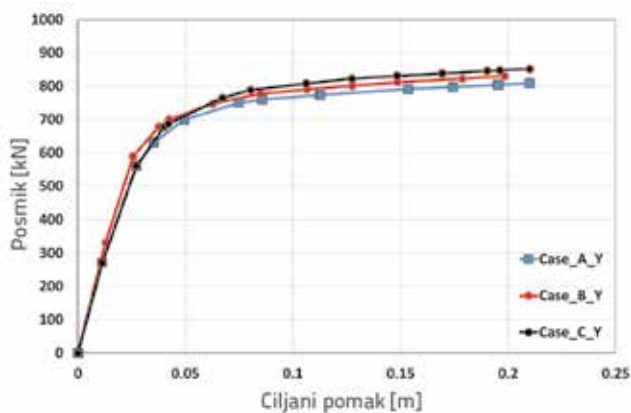
Slika 17. Obrazac formiranja plastičnog zgloba za slučaj A u X-smjeru u zadnjoj fazi analize



Slika 18. Obrazac formiranja plastičnog zgloba za slučaj A u Y-smjeru u zadnjoj fazi analize

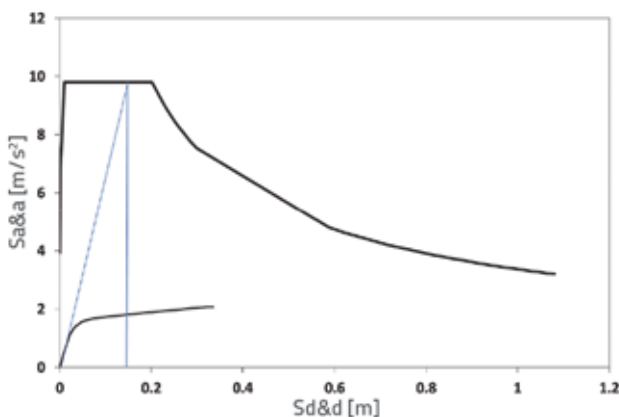


Slika 19. Rezultati nelinearne statičke analize u X-smjeru (za sva tri promatrana slučaja: A, B i C)



Slika 20. Rezultati nelinearne statičke analize u Y-smjeru (za sva tri promatrana slučaja: A, B i C)

Kao što se može vidjeti na slici 21, projektni potres koji navodi turski Seizmički propis zahtijeva oko 210 i 200 mm kao ciljani pomak za smjerove Y i X.



Slika 21. Krivulja traženog savijanja projektnog potresa za konstrukciju u tri navedena slučaja

U turskom Seizmičkom propisu 2007 [11] za procjenu ponašanja konstrukcije utvrđena su tri različita stupnja oštećenja definirana kao plastične deformacije betona i čelika.

Navode se detaljni podaci granica tih oštećenja:

**a) granica minimalnog oštećenja (MN)** - maksimalna relativna tlačna deformacija betona ( $\epsilon_{cu}$ ) i relativna deformacija čelične armature ( $\epsilon_s$ )

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0,0035; (\epsilon_s)_{MN} = 0,010$$

**b) granica sigurnosti (SL)** - maksimalna relativna tlačna deformacija betona ( $\epsilon_{cg}$ ) i relativna vlačna deformacija čelične armature

$$(\epsilon_s)_{SL} = 0,040; (\epsilon_{cg})_{SL} = 0,0035 + 0,010 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135$$

**c) granica sloma (FL)** - maksimalna relativna tlačna deformacija betona ( $\epsilon_{cg}$ ) i relativna deformacija čelične armature

$$(\epsilon_s)_{FL} = 0,060; (\epsilon_{cg})_{FL} = 0,004 + 0,014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0180$$

U ovim jednadžbama  $r_s$  je definiran kao volumetrijski omjer poprečne armature, a  $r_{sm}$  je traženi volumetrijski omjer poprečne armature prema TSC 2007 [11]. Propis opisuje četiri različite razine ponašanja, a to su malo oštećenje, umjereno oštećenje, veliko oštećenje i slom kako je prikazano na slici 22.



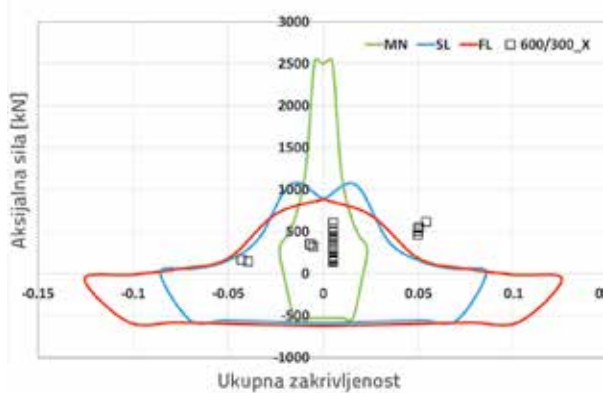
Slika 22. Stupnjevi ponašanja zgrada prema TSC-2007 [11]

Kako bi se procijenilo seizmičko ponašanje stupova, izrađeni su dijagrami osna sila – ukupna zakrivljenost uz navođenje podataka o granicama oštećenja [11], a zatim su prikazana ponašanja za sve stupove za slučaj A i slučaj C na slikama 23. do 30. Na slikama 23. i 24., za opterećenje u X-smjeru, ukupno 15 stupova od 36 (18 stupova 300x600 mm, 18 stupova 600x300 mm) ili je blizu ili iznad granice sloma (koja je na crtežima označena crvenom crtom). Za slučaj C i isti pravac, slike 27. i 28. pokazuju da se svi stupovi nalaze unutar granica sigurnosti. Ako bi se ista usporedba napravila za Y-smjer, 8 stupova od 36 bilo bi ispod ili blizu granice sigurnosti za neojačane okvire, dok bi samo jedan stup bio ozbiljno oštećen u slučaju C (slika 25., 26., 29., 30.). Slučaj C nije imao nijedan slomljeni stup, dok ih neojačani okvir (slučaj A) ima mnogo što bi moglo dovesti do potpunog urušavanja zgrade. To pokazuje da je ponašanje konstrukcijskih dijelova, posebno stupova, znatno poboljšano primjenom predloženih načina sanacije.

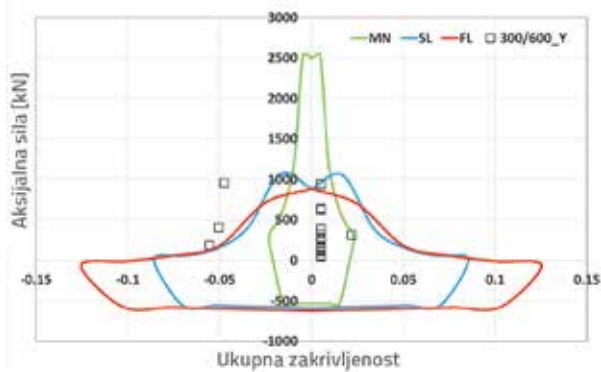




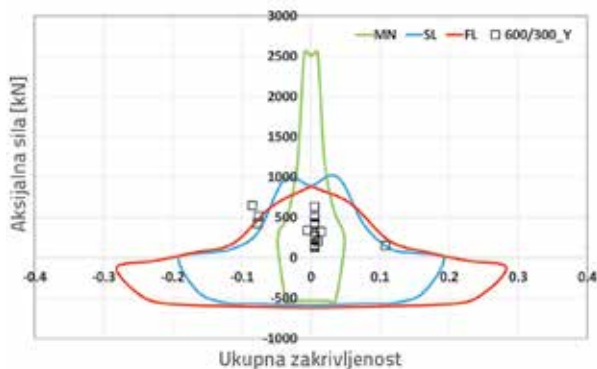
Slika 23. Procjena razine ponašanja za slučaj A analizom stupova dimenzija 300/600 mm u smjeru X



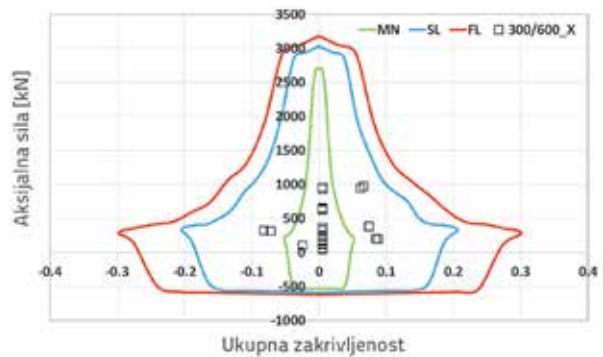
Slika 24. Procjena razine ponašanja za slučaj A analizom stupova dimenzija 600/300 mm u smjeru X



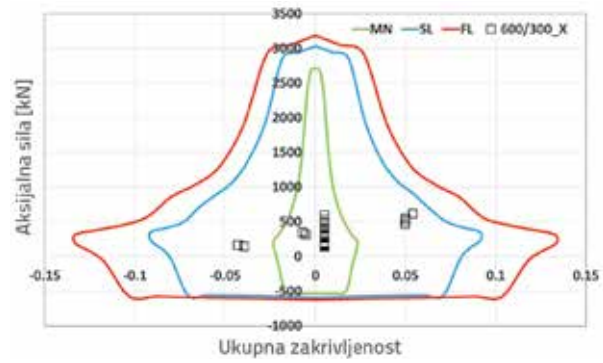
Slika 25. Procjena razine ponašanja za slučaj A analizom stupova dimenzija 300/600 mm u smjeru Y



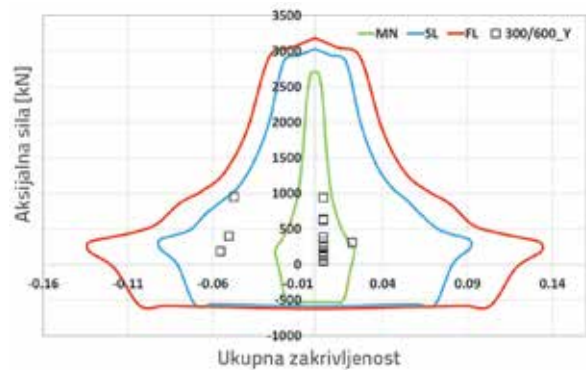
Slika 26. Procjena razine ponašanja za slučaj A analizom stupova dimenzija 600/300 mm u smjeru Y



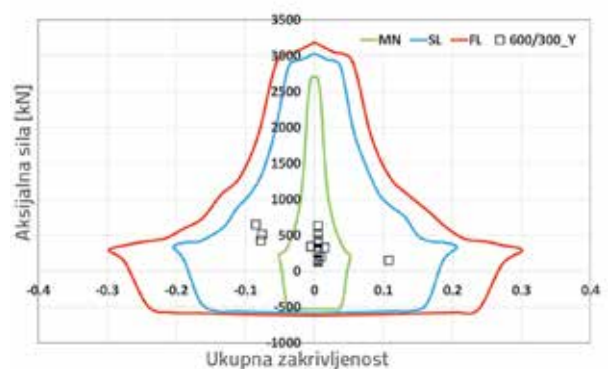
Slika 27. Procjena razine ponašanja za slučaj C analizom stupova dimenzija 300/600 mm u smjeru X



Slika 28. Procjena razine ponašanja za slučaj C analizom stupova dimenzija 600/300 mm u smjeru X

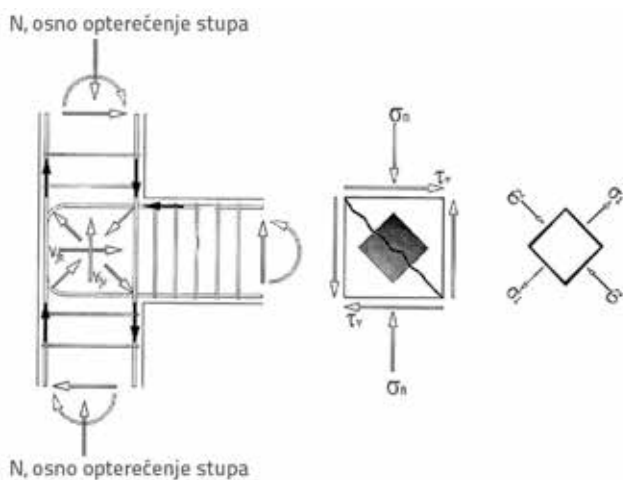


Slika 29. Procjena razine ponašanja za slučaj C analizom stupova dimenzija 300/600 mm u smjeru Y



Slika 30. Procjena razine ponašanja za slučaj C analizom stupova dimenzija 600/300 mm u smjeru Y

Kako je prethodno spomenuto, posmični slom spoja, koji se može nazvati krtim slomom, uzrokuje prerane slomove dok su ostala područja plastičnih zglobova stupa i grede još nosiva. Slom cijele konstrukcije, uzrokovan raspadanjem čvorova okvira može se javiti prije bilo kakvog značajnijeg oštećenja koje može nastati u gredama i stupovima. Za čvorove greda-stup kombinacija betona male čvrstoće i loše konstrukcijske pojedinosti, kao što su korištenje sidrenja vlačne šipke s kukom oštećuje konstrukciju. Kako bi se postiglo bolje ponašanje za konstrukcije svih tipova okvira, potrebno je osigurati ispravno ponašanje elemenata čvorova okvira [24, 25]. Navodi se da uporaba čeličnih osigurača na konstrukcijskom sustavu u tu svrhu značajno smanjuje slom čvorova okvira, naročito vanjskih [15]. Za ovo istraživanje korištena je prethodno predložena jednadžba kako bi se provjerila posmična čvrstoća čvora, što je prikazano na slici 31., [14]. U ovom istraživanju ispitani su uobičajeni čvorovi greda-stup s različitim slabostima poput: nema ovijenosti čvorova armaturom, uporaba sidrenja vlačnih šipki pomoću kuka, uporaba betona male čvrstoće.



Slika 31. Unutarnje sile i naprezanja koji uzrokuju posmičnu pukotinu na rubnom čvoru greda-stup

Sljedeći izraz predložen je za otpornost na posmik vanjskog čvora izrađenog od betona male čvrstoće i drugih spomenutih dijelova:

$$\tau_m = 0.5\sqrt{f_c} \sqrt{1 - \frac{N}{0.5\sqrt{f_c} A_g}} \quad V_j = \tau_m A_e$$

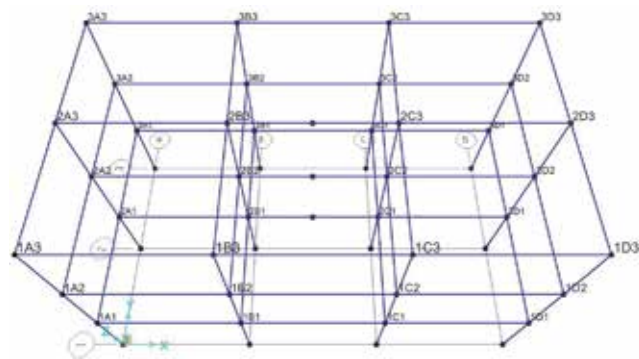
gdje su:

- $f_c$  = tlačna čvrstoća betona (MPa)
- $N$  = uzdužna sila u stupu (tlačna sila ima negativan predznak, N)
- $A_g$  = ploština presjeka stupa (mm<sup>2</sup>)
- $A_e$  = efektivna ploština posmika (mm<sup>2</sup>)
- $\tau_m$  = posmična čvrstoća čvora (MPa)
- $V_j$  = otpornost veze na posmičnu silu (N)

Osim toga, ASCE 41 predlaže sljedeći izraz za izračun posmične čvrstoće čvora:

$$\tau_m = 0.083 \cdot \gamma \cdot (f_c)^{1/2}$$

gdje je  $\gamma = 12$  za unutarnje čvorove s poprečnim gredama, 8 za vanjske čvorove s poprečnim nosačima i 4 za koljenaste čvorove [26]. U tablicama 2. i 3., prikazane su usporedbe posmične sile i čvrstoće čvorova za slučaj A i slučaj C primjenom izraza iz ASCE 41 za sve tipove čvorova, i izraza navedenog u [14] izvedenog za vanjske čvorove. Brojevi čvorova prikazani su na slici 32. za cijelu konstrukciju. Samo za vanjske čvorove u tablicu su uvrštene najmanje čvrstoće dobivene između ove dvije jednadžbe. Kako se može vidjeti u ovoj tablici, posmične čvrstoće čvorova povećavaju se s primjenom sustava osigurača zbog promjene osnovog opterećenja čvorova greda-stup. U slučaju A, 11 od 36 čvorova u X smjeru pretrpjelo je slom, dok se 14 od 36 čvorova slomilo u Y smjeru. U slučaju C, svi slomljeni čvorovi slučaja A u smjeru X i Y, osim jednog, pokazali su se sigurnim. Pri procjeni omjera JSF/JSC, vrijednosti veće od 0,96 smatraju se slomom čvora.



Slika 32. Oznaka čvorova u prostornom modelu konstrukcije

## 5. Zaključak

U *pushover* analizama razmatrana je tipična trokatna školska zgrada koja je kao niska armiranobetonska građevina služila za istraživanje. Nelinearne (*pushover*) analize metodom postupnog guranja napravljene su i za smjer X i za smjer Y na 3D modelu konstrukcije zgrade. Iz rezultata istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- a) Ukupna osnovna posmična nosivost ojačanih okvira s vlaknima armiranim kompozitima i s čeličnim ojačanjima na čvorovima, osim omatanja CFRP-om, sa zglobovima koje određuje korisnik, povećala se 10 i 6 % u odnosu na neojačani okvir u smjeru X i Y.
- b) Sva tri slučaja pokazala su približno istu krutost na savijanje prije popuštanja. Korištene sheme ojačavanja ne povećavaju bočnu krutost. Za povećanje bočne krutosti mogu se primijeniti različite metode ojačanja, npr. dodavanje zidova ispune, krilni potporni zidovi, čelične potpore, oblaganje stupova ako je potrebno.
- c) U smislu ocjene razina učinkovitosti prema turskom Seizmičkom propisu [11], primjena omatanja CFRP-om i čeličnih ojačanja na konstrukciji poboljšala je ponašanje

Tablica 2. Posmične sile na čvoru i izračunane posmične nosivosti okvira u smjeru X

Čvor	Vrsta čvora	Slučaj A i B	Slučaj C	Ploština poprečnog presjeka čvora [mm <sup>2</sup> ]	Posmična nosivost čvora (JSC) (prema [26]) [kN]	Posmična nosivost čvora (prema [14]) [kN]	Slučaj A i B	Slučaj C
		Posmična sila u čvoru (JSF) [kN]	Posmična sila u čvoru (JSF) [kN]				Odnos JSF/JSC	Odnos JSF/JSC
1A1	Vanjski	189	109	90000	207	192	0.98	0.56
1A2	Vanjski	199	114	90000	207	192	0.96	0.59
1A3	Vanjski	199	88	90000	207	192	1.03	0.46
1B1	Vanjski	109	74	180000	414	383	0.28	0.19
1B2	Vanjski	159	79	180000	414	383	0.38	0.19
1B3	Vanjski	159	39	180000	414	383	0.38	0.09
1C1	Vanjski	109	109	180000	414	383	0.26	0.26
1C2	Vanjski	139	114	180000	414	383	0.34	0.28
1C3	Vanjski	139	2	180000	414	383	0.34	0.00
1D1	Vanjski	169	149	90000	207	192	0.82	0.72
1D2	Vanjski	179	169	90000	207	192	0.93	0.82
1D3	Vanjski	179	107	90000	207	192	0.93	0.52
2A1	Vanjski	139	149	180000	414	383	0.34	0.36
2A2	Vanjski	205	153	180000	414	383	0.50	0.37
2A3	Vanjski	205	59	180000	414	383	0.50	0.14
2B1	Unutarnji	354	125.2	90000	310	-	<b>1.14</b>	<b>0.40</b>
2B2	Unutarnji	363	153.2	90000	310	-	<b>1.17</b>	<b>0.49</b>
2B3	Unutarnji	363	105.2	90000	310	-	<b>1.17</b>	<b>0.34</b>
2C1	Unutarnji	343	125.2	90000	310	-	<b>1.11</b>	<b>0.40</b>
2C2	Unutarnji	359	195.2	90000	310	-	<b>1.16</b>	<b>0.63</b>
2C3	Unutarnji	359	110.2	90000	310	-	<b>1.16</b>	<b>0.36</b>
2D1	Vanjski	135	184	180000	414	383	0.33	0.44
2D2	Vanjski	172	194	180000	414	383	0.42	0.47
2D3	Vanjski	172	129	180000	414	383	0.42	0.31
3A1	Vanjski	120	108	90000	207	192	0.58	0.52
3A2	Vanjski	192	114	90000	207	192	1.00	0.59
3A3	Vanjski	192	87	90000	207	192	1.00	0.45
3B1	Vanjski	111	74	180000	414	383	0.27	0.18
3B2	Vanjski	154	80	180000	414	383	0.37	0.19
3B3	Vanjski	154	29	180000	414	383	0.37	0.07
3C1	Vanjski	104	109	180000	414	383	0.25	0.26
3C2	Vanjski	139	114	180000	414	383	0.34	0.28
3C3	Vanjski	139	2	180000	414	383	0.34	0.00
3D1	Vanjski	170	159	90000	207	192	0.88	0.77
3D2	Vanjski	179	179	90000	207	192	0.93	0.87
3D3	Vanjski	179	106	90000	207	192	0.93	0.51

Tablica 3. Posmične sile na čvoru i izračunane posmične nosivosti okvira u smjeru Y

Čvor	Vrsta čvora	Slučaj A i B	Slučaj C	Ploština poprečnog presjeka čvora [mm <sup>2</sup> ]	Posmična nosivost čvora (JSC) (prema [26]) [kN]	Posmična nosivost čvora (prema [14]) [kN]	Slučaj A i B	Slučaj C
		Posmična sila u čvoru (JSF) [kN]	Posmična sila u čvoru (JSF) [kN]				Odnos JSF/JSC	Odnos JSF/JSC
1A1	Vanjski	135	194	90000	207	192	0.65	<b>1.01</b>
1A2	Vanjski	186	179	90000	207	192	<b>0.96</b>	<b>0.87</b>
1A3	Vanjski	186	119	90000	207	192	<b>0.96</b>	<b>0.58</b>
1B1	Vanjski	171	169	180000	414	383	0.41	0.41
1B2	Vanjski	173	169	180000	414	383	0.42	0.41
1B3	Vanjski	173	109	180000	414	383	0.42	0.26
1C1	Vanjski	170	169	180000	414	383	0.41	0.41
1C2	Vanjski	173	169	180000	414	383	0.42	0.41
1C3	Vanjski	173	110	180000	414	383	0.42	0.27
1D1	Vanjski	135	169	90000	207	192	0.70	0.82
1D2	Vanjski	186	176	90000	207	192	<b>0.97</b>	<b>0.85</b>
1D3	Vanjski	186	119	90000	207	192	<b>0.97</b>	<b>0.58</b>
2A1	Vanjski	155	8	180000	414	383	0.37	0.02
2A2	Vanjski	163	19	180000	414	383	0.39	0.05
2A3	Vanjski	163	81	180000	414	383	0.39	0.20
2B1	Unutarnji	320	275	90000	310	-	<b>1.03</b>	<b>0.89</b>
2B2	Unutarnji	331	275	90000	310	-	<b>1.07</b>	<b>0.89</b>
2B3	Unutarnji	331	100	90000	310	-	<b>1.07</b>	<b>0.32</b>
2C1	Unutarnji	320	270	90000	310	-	<b>1.03</b>	<b>0.87</b>
2C2	Unutarnji	331	274	90000	310	-	<b>1.07</b>	<b>0.88</b>
2C3	Unutarnji	331	95	90000	310	-	<b>1.07</b>	<b>0.31</b>
2D1	Vanjski	157	2	180000	414	383	0.38	0.00
2D2	Vanjski	163	19	180000	414	383	0.39	0.05
2D3	Vanjski	163	69	180000	414	383	0.39	0.17
3A1	Vanjski	146	150	90000	207	192	0.71	0.73
3A2	Vanjski	205	154	90000	207	192	<b>1.06</b>	<b>0.74</b>
3A3	Vanjski	205	125	90000	207	192	<b>1.06</b>	<b>0.60</b>
3B1	Vanjski	182	104	180000	414	383	0.44	0.25
3B2	Vanjski	189	114	180000	414	383	0.46	0.28
3B3	Vanjski	189	49	180000	414	383	0.46	0.12
3C1	Vanjski	182	104	180000	414	383	0.44	0.25
3C2	Vanjski	189	114	180000	414	383	0.46	0.28
3C3	Vanjski	189	62	180000	414	383	0.46	0.15
3D1	Vanjski	146	149	90000	207	192	0.71	0.72
3D2	Vanjski	205	158	90000	207	192	<b>1.07</b>	<b>0.76</b>
3D3	Vanjski	205	126	90000	207	192	<b>1.07</b>	<b>0.61</b>

- stupa u odnosu na neojačanu konstrukciju i gotovo svi stupovi su pokazali umjereno oštećenje bez obzira na rizik od urušavanja.
- d) Kapacitet pomaka raste s ovijanjem CFRP-om u potencijalnim područjima zglobova. Ispitivanja jasno pokazuju da se slučaj C ponaša bolje nego slučaj A (neojačani okvir) u prikazu nelinearnog ponašanja kompatibilnog sa svojstvima elemenata. Međutim, ako je poželjniji slučaj C kao način seizmičke sanacije radi jednostavnosti, učinkovitosti u pogledu vremena i ekonomičnosti, inženjer bi trebao biti svjestan posmičnog sloma čvora i mogućnosti katnih mehanizama.
- e) Vanjski čvorovi greda-stup mogu biti posebno osjetljivi zbog svojih slabih konstrukcijskih dijelova kao što su glatke šipke armature, mala čvrstoća betona, neprimjerena ovijenost sponama. Dakle, oni se mogu urušiti prije no što se u gredama i stupovima javi značajnija šteta. Osim toga, testiranja su pokazala da postojanje loših konstrukcijskih detalja (dijelova) dovodi do krtog ponašanja na unutarnjim

čvorovima i do nastanka posmičnih zglobova. Početak oštećenja čvora u ranoj fazi opterećenja pridonosi gubitku nosivosti vertikalnog opterećenja cijele konstrukcije i brzog gubitka nosivosti. U ovom ispitivanju analitički je pokazano da uporaba čeličnih osigurača postavljenih oko čvorova greda-stup znatno smanjuje potencijalni slom čvorova. Laka i brza primjena ove tehnike ojačanja čvorova čini se privlačnom posebno za armiranobetonske zgrade s lošim konstrukcijskim detaljima (pojednostima) i betonom male čvrstoće.

Zaključno, predložena metoda čini se prihvatljivim i održivim rješenjem za armiranobetonske građevine, posebno one s mnogim nedostacima, uključujući nepostojanje ojačanja na čvorovima greda-stup, promatrano u smislu općeg ponašanja konstrukcije. Uvođenjem sheme sanacije moguće je smanjiti probleme u projektima seizmičke obnove, to jest može se izbjeći potreba za iseljavanjem stanara tijekom radova, ograničeno vrijeme, kašnjenja i prekoračenje troškova.

## LITERATURA

- [1] Yuzugullu, O.: Strengthening of reinforced concrete frames damaged by earthquake using precast panel elements, Turkish Scientific and Technical Council, Project No. MAG-494. Ankara, Turkey, 1979.
- [2] Altin, S., Ersoy, U., Tankut, T.: Hysteretic response of reinforced concrete infilled frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 118 (1992) 8, 2133-2150.
- [3] Frosch, R.J., Li, W., Jirsa, J.O., Kreger, M.E.: Retrofit of non-ductile moment-resisting frames using precast infill wall panels, *Earthquake Spectra* 12 (1996) 4, 741-760.
- [4] Matsumoto, T.: Structural performance of SRC multi-story shear walls with infilled precast concrete panels, *Japan Concrete Institute*, 20 (1998), 187-194.
- [5] Turk, A.M.: Rehabilitation of reinforced concrete frames by reinforced concrete infill walls. PhD. Thesis, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 1998.
- [6] Moehle, J.P.: State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US. In: *Proceedings US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures*, USA, 2000.
- [7] Canbay, E., Ersoy, U., Ozcebe, G.: Contribution of RC infills to the seismic behavior of structural systems. *ACI Structural Journal*, 100 (2003) 5, 637-643.
- [8] Sonuvar, M.O., Ozcebe, G., Ersoy, U.: Rehabilitation of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills. *ACI Structural Journal*, 101 (2004) 4, 494-500.
- [9] Turk, A.M., Ersoy, U., Ozcebe, G.: Effect of introducing RC infill on seismic performance of damaged RC frames, *Structural Engineering and Mechanics*, 23 (2006) 5, 469-486.
- [10] Baran, M., Tankut, T.: Experimental study on seismic strengthening of RC frames by precast concrete panels. *ACI Structural Journal*, 108 (2011) 2, 227-237.
- [11] TSC-2007, Turkish earthquake resistant design code. Ministry of Public Works. Ankara, Turkey, 2007.
- [12] IBC-2006, International Building Code, 2006.
- [13] EUROCODE-8 Design of structures for earthquake resistance, 1998-1, 2004.
- [14] Bedirhanoglu, I.: The behavior of reinforced concrete columns and joints with low strength concrete under earthquake loads: An investigation and improvement. PhD. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2009.
- [15] Pampanin, S., Christopoulos, C., Chen, T.H.: Development and validation of a metallic haunch seismic retrofit solution for existing under-designed RC frame buildings, *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 35 (2006), 1739-1766.
- [16] Turk, A.M., Comert, M., Cosgun, C.: Increasing seismic capacity of existing reinforced concrete buildings by the use of FRP and steel fuse elements. In: *3rd FIB Congress 2010, The Third International fib Congress and Exhibition 'Think Globally, Build Locally'*, Paper No:621 (2010), Washington D.C., USA.
- [17] TSC-1975: Turkish earthquake resistant design code, Ministry of Public Works. Ankara, Turkey (1975).
- [18] SAP 2000 Integrated software structural analysis and design, V.12, Computers and Structures Inc., California, USA, 2008.
- [19] XTRACT V3.0.1.: Cross sectional structural analysis of components, IMBSEN software systems, 2004.
- [20] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.: Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114 (1988) 8, 1804-1826.
- [21] TS500 Requirements for design and construction of reinforced concrete structures (Previous version). Turkish Standards Institute. Ankara, Turkey, 2000.

# IMPORTANT ONLINE AUCTION

on behalf of our client

## PLANTRANS GmbH

Räufach 168 - 9821 Obervellach (± 100 km from Klagenfurt) - Austria

### CONSTRUCTION MACHINES



**TRACKED MOBILE RAW SIEVING PLANT** "Extec" E7;

**HYDR. TRACKED EXCAVATORS** "New Holland/Kobelco" E215 ELC, E215; "Kobelco" SK250NLC, SK480 LC-6; "New Holland" E265, E265B; "Kobelco/New Holland" E385 B; "Demag" H85;

**MOBILE EXCAVATORS** "New Holland" MH Plus; "Akerman" EW200; **BULLDOZER** "New Holland" D 180 XL;

**2 WHEEL LOADERS** "Volvo" L90CV, L150; **DUMPERS** "Volvo" A25C 6x6, A30C, A35C;

**4-AXES DUMPER** "Mercedes Benz" 4144 8x4 Actros; **2-AXES DUMPER TRAILERS** "Benalu", "Schwarz Müller"; **trailer** "Schwarz Müller";

**TRUCK** "Mercedes Benz" Actros 932.07; **SEMI-TRAILER/LOW-LOADER** "Doll" S2H-T; **TRUCKS** "Iveco" Daily50C15V, "Ford" Doka 300M (2010), 110T200 (2010), Ranger, 190 L; "Mazda" B2500DK; **CARS** "Ford" Vario basis 280M 2,2D (2011), Focus Ecosport TR1, 6DPF (2010); "Seat" Altea5P; **trench roller** "Wacker" RT 669; **stone splitting tool** "Darda"; **floor cutter** "ABG" FG 100; **vibratory plate** "Ammann" AVP 1850; **accessory equipment** incl. backhoe, various grabs, trench clearing buckets, bucket teeth, demolition shear; **forklift trucks** "Clark" CDP 45 H, "Kalmar" LT 10600; **containers** incl. sea containers "CTX Containex", office/material containers; **tank facilities**; **workshop equipment** incl. racks, compressors, welding units, tools, machines, emergency generators; traffic signs/lights; barriers; office equipment; lot of various spare parts, material, etc.;

*Intermediate sales reserved*

**BIDDING ONLY ON THE INTERNET**

**CLOSING:** Thursday **30 MAY** from 14.00 hrs

Viewing: Tuesday 21 May from 9.00 to 16.00 hrs

PHOTOS / Catalogue on our website



Scan me!

**TROOSTWIJK**  
www.TroostwijkAuctions.com

- [22] Ilki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C.; Kumbasar, N.: FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns, Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), 20 (2008), 169-188.
- [23] ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council. California, USA, 1996.
- [24] Mosier, G.: Seismic assessment of reinforced concrete beam-column joints. MsCE thesis, University of Washington, Seattle. 2000.
- [25] Calvi, G.M., Magenes, G., ve Pampanin, S.: Relevance of beam-column joint damage and collapse in RC frame assessment. Journal of Earthquake Engineering, Imperail Collage Press. 6 (1), (2002), 75-100.
- [26] ASCE/SEI 41-06, Seismic rehabilitation of existing buildings. American Society of Civil Engineers SCE/SEI, 2006.