

*Mladen Milićević<sup>1</sup>, Goran Vojinović<sup>2</sup>, Nemanja Miljković<sup>3</sup>,  
Darko Popović<sup>4</sup>, Vanja Alendar<sup>5</sup>*

## **SPECIFIČNOSTI PROJEKTOVANJA KONSTRUKCIJE CENTRALNE BANKE AZERBEJDŽANA**

### ***Rezime:***

Zgrada Centralne Banke Azerbejdžana, u glavnom gradu Bakuu, sastoji se od dve kule, severne - visine 141m i južne - visine 123m, koje su međusobno povezane na 4 sprata pločama, kao i kosnicima na vrhu tornjeva. Dimenzije kula u osnovi su po 17x48m. Projekat je rađen prema američkim propisima, koji za ovu visinu objekta zahtevaju primenu dualnog sistema za obezbeđenje bočne stabilnosti, koji se sastoji od betonskih jezgara i specijalnih momentnih ramova. Analiza konstrukcije obuhvata i nelinearnu dinamičku analizu, po metodi Projektovanje Konstrukcije Prema Performansama, koja se danas može sprovesti programom Etabs Ultimate.

*Ključne reči: momentni ramovi, nelinearna dinamička analiza, Etabs Ultimate*

## **DESIGN OF STRUCTURE OF CENTRAL BANK OF AZERBAIJAN – SPECIFIC TOPICS**

### ***Summary:***

Central Bank of Azerbaijan building is located in the capital city Baku. It consists of two towers, north one 141m tall and south one 123m tall, which are connected on 4 floors by slabs, as well as bracings on the top. Dimensions of towers in plan are 17x48m. Design is conducted in accordance with USA codes. For the given height, codes are prescribing dual system as a lateral force resisting system, composed of concrete cores and special moment frames. Structural analysis includes nonlinear dynamic analysis based on Performance Based Design methodology, which can be conducted today in Etabs Ultimate software.

*Key words: moment frames, nonlinear dynamic analysis, Etabs Ultimate*

---

<sup>1</sup> Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

<sup>2</sup> Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

<sup>3</sup> Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

<sup>4</sup> Dipl.inž.grad., direktor, DNEC doo, Beograd

<sup>5</sup> Dipl.inž.grad., tehnički direktor, DNEC doo, Beograd

## 1 UVOD

Originalni projekat zgrade Centralne Banke Azerbejdžana (CBA u daljem tekstu), u glavnom gradu države Bakuu, autorsko je delo arhitektonske firme Coop Himmelblau iz Austrije, dok je projekat konstrukcije poveren turskoj firmi Ural. Projekat je završen 2012. god., a 2015. god., belgijska građevinska kompanija Besix, ugovorila je izvođenje objekta. Sastavni deo izvođenja obuhvatao je i preprojektovanje. U domenu konstrukcije, Besix je pored sopstvenog biroa u Briselu, angažovao i kompaniju DNEC d.o.o., čiji je ugovoreni obim posla obuhvatao:

- Izradu zajedničkog DNEC-Besix prostornog FEM modela i odgovarajuće standardne analize,
  - Definisane parametara za seizmičku analizu, uključujući i akceleroگرامe,
  - Projekat čelične konstrukcije, čiji su osnovni elementi: spregnute tavanice, specijalni momentni ramovi, spregnute grede, elementi koji povezuju dve kule,
  - Definisane kriterijuma analize po metodi Projektovanje Konstrukcije Prema Performansama (engl. Performance Based Design, PBD u daljem tekstu),
  - Sprovođenje nelinearnih dinamičkih analiza (NDA u daljem tekstu).
- Preprojektovanje je kao i osnovni projekat rađeno u skladu sa paketom američkih propisa.

## 2 OPIS OBJEKTA

Zgrada CBA, sastoji se od dve kule, severne - visine 140.9m, sa 33 sprata i južne - visine 123.3m i 29 spratova, koje su međusobno povezane na 6., 16., 25. i 27. spratu spregnutim pločama, kao i kosnicima na vrhu tornjeva (Slika 1). Dimenzija kula u osnovi su približno 17x48m, pri čemu se od prizemlja do 18. sprata, osnove rotiraju za po 4 stepena na svakom spratu, a zatim do vrha zadržavaju paralelni položaj na razmaku od 12m, čime je dobijen amorfni oblik objekta. Spratna visina je 4.2m do 27. sprata, a zatim 4.4m do vrha zgrade. Kule su pri dnu povezane zajedničkim podzemnim objektom dimenzija 91x81m, koji se sastoji od jedne etaže i mezanina (Slika 1 desno).

Fasada je usvojena tako da objedinjuje obe kule u jedinstveni volumen (Slika 1, levo i sredina), čiji je sastavni deo i atrijum, formiran u prostoru između kula i fasade.

## 3 OPIS KONSTRUKCIJE

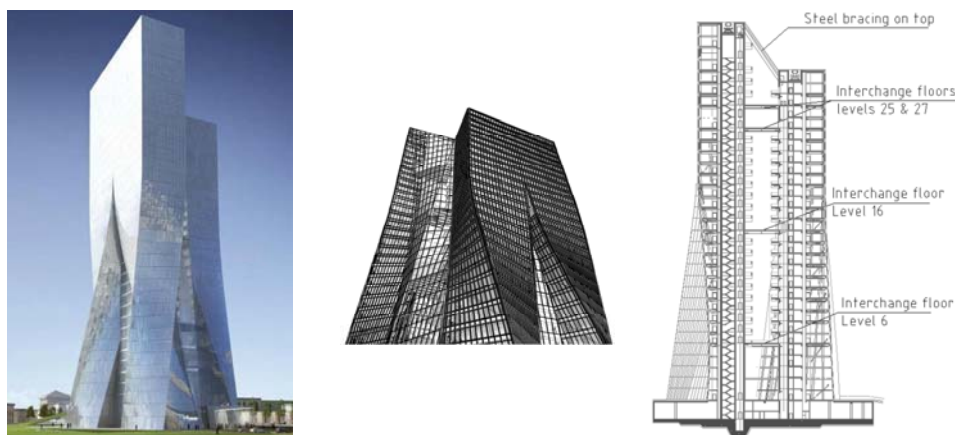
Zgrada je po značaju svrstana u III kategoriju prema američkom propisu ASCE7-10, što podrazumeva da bi kolaps konstrukcije nosio značajan rizik po ljudske živote. Locirana je u seizmički aktivnom području, na obali Kaspijskog mora. Projektna seizmička ubrzanja, u skladu sa ASCE7-10 (Ref. [1]), iznose 0.79g i 0.46g na platou spektra i pri periodu od 1sec, respektivno, čime je konstrukcija svrstana u seizmičku projektnu kategoriju D. Tlo je kategorije D – koje se opisuje kao tvrdo tlo sa brojem udaraca u SPT metodi između 15 i 50.

Zbog svoje visine i specifičnog oblika, vršena su i tunelska ispitivanja vetrom, od strane nemačke firme Wacker Ingenieure. Brzina vetra sa povratnim periodom od 50 godina, osrednjena na 3 sec (engl. 3 sec gust), iznosi 55m/sec.

Konstruktivni sistem za prenos vertikalnih opterećenja usvojen je u vidu spregnutih tavanica, formiranih od spregnutih ploča i spregnutih greda, koje su na jednom kraju oslonjene

na fasadni ram, a na drugoj na betonsko jezgro. Fasadni ram se sastoji od spregnutih stubova – čeličnih cevi ispunjenih betonom (CFT u daljem tekstu), i čeličnih greda usvojenih od I profila. Stubovi su postavljeni na konstantnom rastojanju od ivice ploče na svim spratovima, tako da su, usled rotacije tavanica, kosi od prizemlja do 18. sprata, a zatim vertikalni do vrha. Jezgra su vertikalna, dimenzija 30x10m. Postavljena su paralelno, jedno u odnosu na drugo, na razmaku od 12m i smaknuta za 18m u podužnom pravcu. Sastoje se od većeg broja zidova, debljine 300,400 i 600mm, koji formiraju složeni poprečni presek (Slika 2).

Podzemna konstrukcija usvojena je od armiranog betona. Zgrada je fundirana na šipovima.

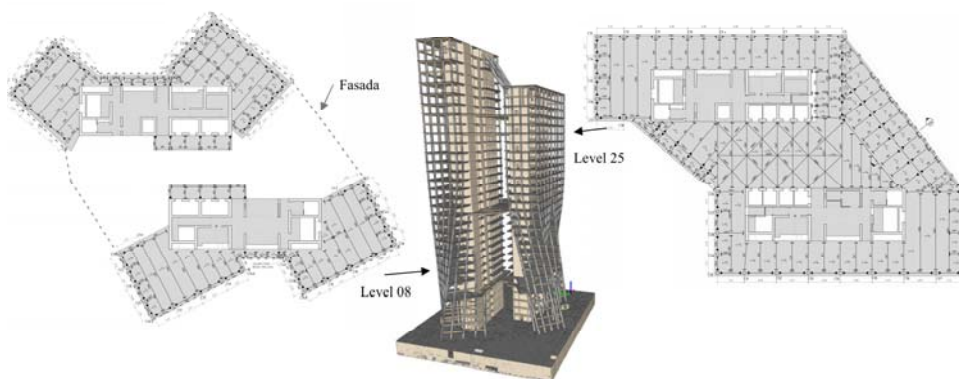


Slika 1 – Izometrijski prikaz objekta (sredina i levo) i poprečni presek (desno)

Sistem za obezbeđenje bočne stabilnosti, je prema zahtevima američkog propisa ASCE 7-10, za seizmičku projektnu kategoriju D i visinu zgrade preko 50m, usvojen kao dvojni sistem, koji se sastoji od sistema AB jezgara, koja prenose više od 75% seizmičkih sila i specijalnih momentnih ramova u fasadi (SMR u daljem tekstu), koji redukuju spratna pomeranja na gornjim etažama i obezbeđuju rezervu sigurnosti pri dejstvu zemljotresa, a treba da budu projektovani tako da mogu da prenesu najmanje 25% ukupnih seizmičkih sila. Spregnute tavanice, koje u ovom sistemu imaju ulogu dijafragmi, su zbog velikog broja otvora za instalacije postavljenih po obodu jezgara, sa njima povezane na manje od 40% od bruto kontaktnog obima (Slika 2).

Elementi koji povezuju kule, na nivoima 6, 16, 25 (Slika 2) i 27 sastoje se od horizontalnih čeličnih spregova usvojenih od čeličnih cevastih profila  $\Phi 1150 \times 30 \text{mm}$ , u okviru spregnutih ploča, dok su vrhovi kula povezani kosnicima, usvojenim od čeličnih cevastih profila  $\Phi 300 \times 16 \text{mm}$ . Vezni elementi, a naročito kosnici na vrhu značajno utiču na ponašanje konstrukcije, a pre svega su efikasni u kontroli pomeranja.

Prema prvobitnom, Uralovom rešenju, zgrada je imala i čelične dijagonale u fasadi, u svrhu povećanja torzione krutosti konstrukcije. U novoprojektovanom rešenju ovi elementi su uklonjeni, jer kompromituju rad momentnih ramova, remete predviđeno ponašanje konstrukcije tokom zemljotresa i formalno nisu u skladu sa pravilnikom.



Slika 2 – Tipične osnove CBA konstrukcije – Nivo 8 (Levo), nivo 25 (desno)

#### 4 KONCEPT ANALIZE KONSTRUKCIJE

Projekat konstrukcije raden je prema američkim propisima. Za analizu opterećenja i zahteve konstrukcije u celini, korišćen je ASCE7-10. U cilju definisanja seizmičkog dejstva urađena je i mikro seizmička rejonizacija (engl. Site Specific Spectra Report), na osnovu koje je utvrđeno da je spektralna kriva, korišćena u originalnom projektu, bila previše konzervativna, pa je korigovana usvajanjem realnih vrednosti parametara koji je definišu, čime je faktički smanjen nivo seizmičkih sila. Originalni Projektant Ural je, u vezi sa tim, zahtevao da se ponašanje konstrukcije, pored provera po odredbama osnovnog pravilnika, potvrdi i po metodologiji PBD.

Za razliku od ASCE7-10, koji u slučaju seizmičkog proračuna kao projektni cilj ima očuvanje života ljudi (engl. Life Safety – LS u daljem tekstu), pri zemljotresu sa povratnim periodom od 475 god., PBD podrazumeva da zgrada ostane potpuno operativna pri čestim zemljotresima sa povratnim periodom od 43 god. (engl. Immediate Occupancy – IO u daljem tekstu), a da pri maksimalno razmatranom zemljotresu, sa povratnim periodom od 2475 god. ne dođe do rušenja (engl. Collapse Prevention – CP u daljem tekstu). Provera ovih zahteva u određenim slučajevima podrazumeva sprovođenje nelinearnih dinamičkih analiza (NDA u daljem tekstu). Do nedavno je standardni alat za NDA bio softver Perform 3D, razvijen od strane kompanije “Computers and Structures” iz SAD, ali je tokom 2013. god. ista kompanija unapredila svoj znatno popularniji softver Etabs, u Etabs Ultimate, tako da je pored opcija za nelinearno modeliranje linijskih elemenata, u ovoj verziji to omogućeno i za zidove. Time je postignuto da se i linearne i nelinearne analize sprovode u istom softverskom paketu, što znatno ubrzava rad i smanjuje mogućnost za pravljenje grešaka.

Sa druge strane, provera svih usvojenih kriterijuma za projektovanje, uslovila je razvijanje više nezavisnih Etabs Ultimate modela. Tako su napravljene i korišćene u analizi:

- osnovni model za proveru nosivosti elemenata i seizmičkih pomeranja, u kojem su krutosti vertikalnih elemenata, prema ACI 318 (Ref. [3]) redukovane na 70% bruto krutosti,

- model za proveru pomeranja na vetru, u kome nisu redukovane krutosti vertikalnih elemenata,
- model za proveru pomeranja pri čestom zemljotresu, sa krutostima elemenata zadatim u skladu sa dokumentom TBI (Ref. [10]), koji globalno definiše metodologiju PBD,
- model za proveru SMR, u kojem su oslabljena jezgra, tako da se 100% seizmičke sile nanosi na ramove, a zatim se uticaji skaliraju na potrebnih 25%,
- model za analizu gravitacionih uticaja pri dugotrajnim sleganjima, koji jedini od svih pomenutih modela, umesto idealizovanih oslonaca ima opruge,
- model za proveru elemenata koji povezuju zgrade, u kome je smanjena aksijalna, kao i krutost na savijanje spregnutih ploča mostova, tako se da celokupni prenos sila vrši preko horizontalnih čeličnih spregova i kosnika na vrhu,
- model za nelinearne dinamičke analize.

Dimenzionisanje betonskih elemenata sprovodi se u skladu sa ACI 318-14 (Ref. [3]).

Što se tiče SMR, oni treba da pored odredbi generalnog pravilnika za projektovanje čeličnih konstrukcija AISC 360-10 (Ref. [4]), ispune i uslove posebnog pravilnika za proračun čeličnih zgrada u seizmičkim područjima, AISC 341-10 (Ref. [5]). Naročita pažnja se poklanja vezama greda i stubova, u skladu sa pravilnikom AISC 358-10 (Ref. [6]), koje pri seizmičkom dejstvu moraju da obezbede duktilno ponašanje.

Spregnute tavanice su dimenzionisanje u skladu sa AISC 360-10. Po pitanju upotrebljivosti, merodavna je bila provera vibracija tavanica u skladu sa dokumentom CCIP-016 (Ref. [7]). U pogledu seizmičkog proračuna, kako je već pomenuto, zbog velikog broja otvora na vezi ploče i jezgra, posebno je analiziran prenos sila u ovoj zoni.

Sastavni deo američke regulative za projektovanje je i dokument UFC 4-023-03 (Ref. [11]), koji daje smernice za projektovanje konstrukcije protiv progresivnog loma. Zgrada CBA je prema UFC-u, svrstana u III kategoriju po značaju (kat. IV ima najstrožije uslove), za koju se zahteva analiza po metodama Alternativnog Puta Sila i Povećane Lokalne Otpornosti, pri čemu obe podrazumevaju uklanjanje pojedinačnih stubova konstrukcije.

Kao što je najavljeno u uvodu ovog poglavlja, pored prethodno opisanih standardnih analiza, u okviru preprojektovanja CBA konstrukcije bila je predviđena i provera ponašanja po PBD metodologiji. Ona je nastala kao proizvod rada grupe konstruktivaca i geotehničara okupljenih u udruženju Pacific Earthquake Engineering Research Center, koji su 2010. god. izdali dokument TBI (Ref. [10]), koji sadrži smernice za projektovanje visokih zgrada, koje mogu da posluže kao alternativa trenutno obavezujućim procedurama važećih američkih pravilnika. Osnovna ideja je da se analizom konstrukcije, detaljnijom od standardne, potvrdi da konstrukcija u globalu ima dovoljnu krutost (kontrolom pomeranja), a da na nivou komponenata konstrukcije ispunjava definisane projektne ciljeve IO i CP. U određenim slučajevima, pre svega vezanim za maksimalni razmatrani zemljotres to podrazumeva sprovođenje NDA. One omogućuju realnije određivanje odgovora konstrukcije izložene dejstvu zemljotresa tako što uzimaju u obzir preraspodelu sila do koje dolazi pri nelinearnom ponašanju. Nelinearno ponašanje konstrukcije se uvodi preko geometrijske ( $P-\Delta$  efekti) i materijalne nelinearnosti (definisani plastični zglobovi). Za primenu ove analize zahtevano je minimum 3 dvo-komponentalna akceleroograma čestih zemljotresa i 7 dvo-komponentalnih akceleroograma maksimalno razmatranih zemljotresa.

U nastavku je dat kratak pregled nekih kriterijuma za ove dve analize:

1. Kriterijumi vezani za česte zemljotrese ( $T=43$ god):

- Relativno spratno pomeranje manje od 0.5%, odnosno 1/200.

- Za zidove, nadvratne grede, stubove i grede odnos zahtevane nosivosti i nosivosti, treba da bude manji od 1.5, ali se prekoračenje dopušta za duktilne tipove loma, uz sprovođenje NDA, a kada se primenjuje kriterijum prihvatljivosti vezan za projektni cilj IO.

2. Kriterijumi vezani za maksimalno razmatrane zemljotrese ( $T=2475$ god):

- Srednja vrednost spratnih pomeranja (apsolutne vrednosti) dobijenih pri analizi pojedinačnih zapisa je ograničena na 3%, a maksimalna apsolutna vrednost u svim analizama je ograničena na 4.5%.

- Srednja vrednost spratnih pomeranja zaostalih na kraju zapisa (apsolutne vrednosti) dobijenih pri puštanju pojedinačnih zapisa je ograničena na 1%, a maksimalna apsolutna vrednost u svim analizama je ograničena na 1.5%.

- na nivou komponenata konstrukcije, za neduktilne tipove loma kontroliše se nosivost po procedurama TBI (Ref. [10]), za kritična i nekritična dejstva, gde se kao kritična definišu kao ona koja mogu da izazovu lom sa značajnim posledicama po stabilnost konstrukcije.

- na nivou komponenata konstrukcije, za duktilne tipove loma definisane su vrednosti graničnih deformacija, poput plastičnih rotacija ili dilatacija. Neke od ovih vrednosti date su u samom TBI dokumentu, poput graničnih vrednosti dilatacija za zidove, dok za kriterijume za linijske elemente TBI upućuje na druge dokumente poput ASCE 41-13 (Ref. [2]), ili ATC 72-1 (Ref. [9]) u kojima su definisane granične vrednosti povezane sa projektnim ciljem CP.

## 5 SPECIJALNI MOMENTNI RAMOVI

Specijalni momentni ramovi na CBA konstrukciji sastoje se od CFT stubova i čeličnih greda od valjanih profila. Osnovni zahtev pravilnika AISC 341 (Ref. [5]) je da ram bude projektovan po principu Jak Stub - Slaba Greda. U konkretnom slučaju ovo je postignuto slabljenjem greda u zonama oko stuba, putem zasecanja flanši, u iznosu od maksimalno 50% širine flanše, prema AISC 358 (Ref. [6]), čime su direktno diktirana mesta pojave plastičnih zglobova usled dejstva zemljotresa (Slika 4).

Pomenuti pravilnik definiše tipove veza, koje su odobrene za primenu u seizmički aktivnim zonama, pri čemu se u slučaju primene veze, koja nije navedena u dokumentu, zahteva testiranje u laboratoriji, u cilju dokaza adekvatnog (duktilnog) ponašanja pri prinudnim pomeranjima.

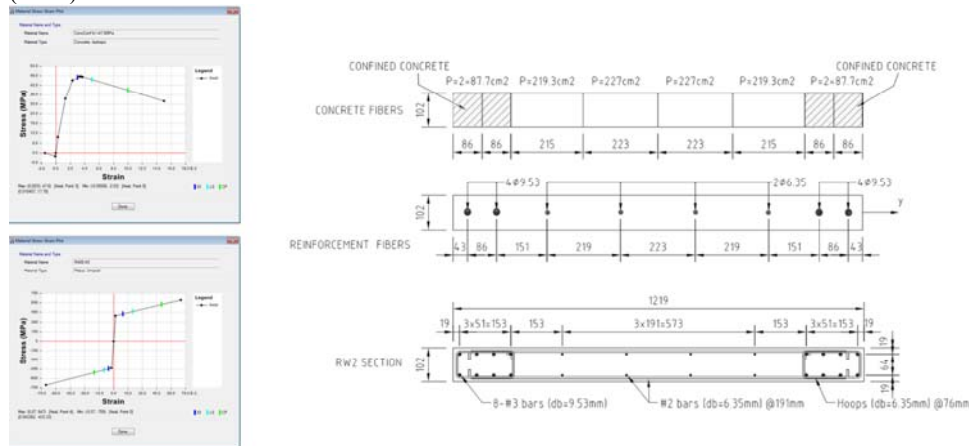
U samom pravilniku je detaljno opisana veza čeličnog stuba i grede I preseka, dok je za vezu CFT stuba i I grede, u delu sa komentarima, preporučena studija Azizinaminija i Snajdera (Ref. [8]), koji su testiranjem pokazali da je od 6 pod-tipova ove veze, najbolje rezultate po pitanju postelastičnih kapaciteta rotacija imala veza u kojoj je greda (i flanše i rebro) propuštena kroz stub. Shodno tome ovaj tip veze je usvojen i za CBA kulu.

Kako je pokazano na tipskom detalju veze (Slika 3), zona između zaseka na gredi i lica stuba se tretira kao zaštićena zona, u kojoj nije dozvoljeno bušenje grede, pa je samim tim montažni nastavak grede izmešten van ove zone. U zaštićenoj zoni nema moždanika za sprezanje ploče i grede, a sam stub je od betona odvojen zazorom širine 25mm u cilju smanjenja nosivosti grede.



softvera kao i kalibracija ulaznih parametara za odgovarajuće nelinearne elemente prema rezultatima referentnih, verifikovanih, i široko prihvaćenih eksperimenata. Pored lokalnih modela sa definisanim plastičnim zglobovima (pravougaoni zid, zid T preseka, nadvratna greda, spregnuti stub, čelična greda sa zasečenim flanšama), razmatrane su i specifičnosti povezanih zidova sa nadvratnim gredama, kao i mogućnosti redukcije smičuće krutosti plastičnih zglobova zidova jezgra u nelinearnoj analizi. Na osnovu DNEC-ovog izveštaja sa prethodno opisanim testovima, Etabs Ultimate je prihvaćen i od strane Originalnog Projektanta Urala kao alat za NDA na ovom projektu.

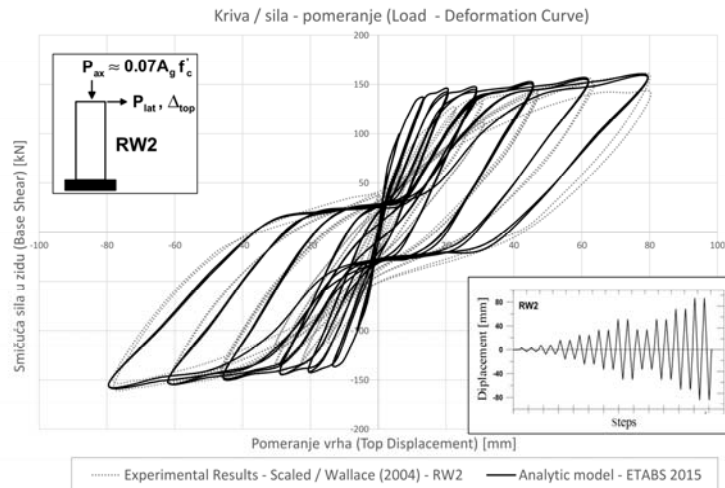
Kao primer prikazana su u nastavku poređenje rezultata eksperimenata i definisanih analitičkih modela za pravougaoni zid i nadvratnu gredu. Nelinearnost u zidovima definisana je preko vlaknastih (“fiber”) plastičnih zglobova (Slika 4). Za vezu napon-dilatacija čelika, utegnuto i neutegnuto betona zadati su modeli definisani u referentnom eksperimentu, Wallace (2004) (Slika 5), dok je za histerezisno ponašanje zadat Etabsov “degradirajući” histerezis za oba materijala. Kao opterećenje je zadato ciklično pomeranje sa velikim vremenskim intervalima da bi dinamički efekat bio zanemarljiv. Prvo je naneto vertikalno opterećenje a zatim je stanje takvog deformisanog sistema uzeto kao početak nelinearne dinamičke analize koja se rešava direktnom integracijom, primenom „Hilber-Hughes-Taylor“ (HHT) numeričke metode.



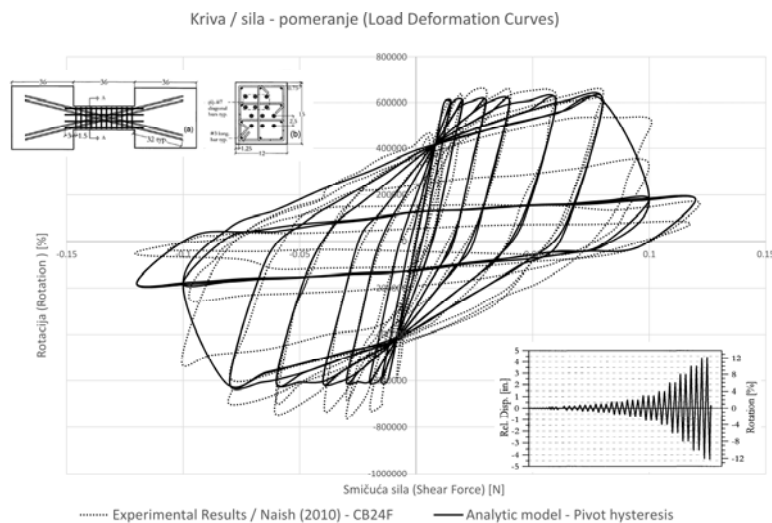
Slika 4 –  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagrami utegnutog betona i čelika i odgovarajući vlaknasti elementi u preseku

Nelinearno ponašanje nadvratnih greda sa dijagonalnom armaturom je definisano preko smičućeg plastičnog zgloba koji je zadat na sredini elastične grede. Parametri ovog plastičnog zgloba zadati su u skladu sa preporukama za modeliranje ATC 72-1(Ref. [9]), a zajedno sa opterećenjem i ostalim parametrima prema referentnom eksperimentu, Naish 2010 (Slika 6).





Slika 5 – Funkcija sile u osloncu u odnosu na pomeranje vrha zida RW2 (pravougaoni zid) poređenje / eksperiment(Wallace-2004) u odnosu na analitički model(ETABS) – Ref [12]



Slika 6 – funkcija smičuće sile u odnosu na rotaciju (nadvratna greda), poređenje / eksperiment (Naish-2010) u odnosu na usvojen analitički model(ETABS) – Ref [13]

Kalibracijom parametara analitičkih modela plastičnih zglobova formirana je baza nelinearnih elemenata.

Plastični zglobovi se inicijalno dodeljuju samo elementima na kojima se očekuje nelinearno ponašanje (npr. na zidovima jezgara u nivou prizemlja). Ukoliko bi se, na osnovu rezultata

linearne analize, recimo na zidovima jezgra, uočila tendencija ka plastifikaciji van očekivane zone, usvajanjem veće količine armature bi se presek vratio u elastično područje, a u slučaju da to nije moguće, na takvom mestu bi bio zadat plastični zglob.

## 7 TRENUTNO STANJE PROJEKTA

Dispozicija konstrukcije je usvojena i potvrđena na osnovu analiza sprovedenih po odredbama osnovnog pravilnika ASCE7. Svi kriterijumi za projektovanje su zadovoljeni.

U pogledu proveru incidentnih slučajeva gubitka pojedinačnih stubova prema UFC-u, neke od greda momentnih ramova nisu imale potrebnu nosivost. Za rešavanje ovog problema potreban je dogovor sa Revidentom i Klijentom, a kao moguće rešenje razmatrana je mogućnost uvođenja moćnih rešetki na vrhu zgrade, o koje bi bili ovesani stubovi.

Što se tiče analiza po Metodologiji Programiranog Ponašanja, definisani su akcelerogrami, kao i kriterijumi, urađene su neke od linearnih analiza, poput kontrole spratnih pomeranja pri čestom zemljotresu, dok je vezano za NDA, testiran i potvrđen Etabs softver kao alat za rad.

Projekat je zamrznut u trenutku neposredno pre sprovođenja nelinearnih dinamičkih analiza, tako da će ovaj deo posla biti urađen u očekivanom nastavku projekta.

## LITERATURA

- [1] ASCE 7-10, Minimum Design Loads for Building and Other Structures, 2010.
- [2] ASCE 41-13, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, 2013.
- [3] ACI 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2014
- [4] AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, 2010
- [5] AISC 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2010
- [6] AISC 358-10, Pre-qualified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, Including Supplements 1 and 2, 2011
- [7] The Concrete Center Publication, CCIP-016, A Design Guide for Footfall Induced Vibrations of Structures, 2006
- [8] Moment Connections to Circular Concrete-Filled Steel Tubes Columns, Atorod Azizinamini and Stephen Schneider, Journal of Structural Engineering @ ASCE, 2004.
- [9] Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, ATC 72-1, PEER, 2010
- [10] Tall Building Initiative, Guidance for Performance Based Design of Tall Buildings, Version 1.0, PEER Report 2010/05
- [11] UFC 4-023-03 United Facilities Criteria, Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, 2009
- [12] Thomsen IV J.H., and Wallace J.W., (2004) "Experimental Verification of Displacement-Based Design Procedures for Slender Reinforced Concrete Structural Walls", Journal of Structural Engineering; ASCE, Vol. 130, No. 4, pp. 18-630
- [13] Naish, D.A.B., (2010), "Testing and modeling of reinforced concrete coupling beams", PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Los Angeles, California.