

# Proračun duktilnosti proizvoljnih armiranobetonskih presjeka opterećenih uzdužnom silom i momentom savijanja

Hrvoje Čagalj<sup>1</sup>, izv. prof. dr. sc. Mario Uroš<sup>2</sup>

<sup>1</sup>cagalj1992@gmail.com

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, mario.uros@grad.unizg.hr

## Sažetak

Osiguranje dostatne duktilnosti presjeka armiranobetonskih zidova je uz dovoljnu otpornost na unutarnje sile nužan uvjet sigurnosti građevina za vrijeme djelovanja potresa. U radu je opisana metoda za proračun duktilnosti presjeka. Metoda se temelji na podjeli presjeka na dijelove i iterativnom određivanju visine tlačnog područja. Opisanom metodom moguće je analizirati složene presjeke, presjeke sastavljene od ovijenih i neovijenih dijelova presjeka i armirane proizvoljnom armaturom. Opisan je postupak podjele presjeka i proračuna zakrivljenosti presjeka. Navedene su prednosti i nedostaci metode i napravljena je analiza triju presjeka. Rezultati analize su uspoređeni s primjerima iz dostupne literature i paralelnom analizom u SAP2000.

*Ključne riječi: armiranobetonski zidovi, duktilnost presjeka,  $M - \varphi$  dijagram, zidovi proizvoljnih poprečnih presjeka*

## Calculation of ductility of reinforced concrete sections

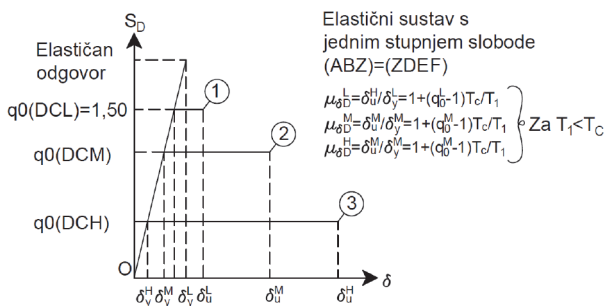
### Abstract

Providing sufficient ductility of reinforced concrete wall sections, along with adequate resistance to internal forces, is necessary for the safety of buildings during seismic excitation. This paper describes a method for calculating the ductility of sections. The method is based on dividing the section into segments and iteratively determining the height of the compression zone. With this method, it is possible to analyze complex sections, including those composed of confined and unconfined parts, and reinforced with arbitrary reinforcement. The procedure for dividing the section and calculating the curvature of the section is described. The advantages and disadvantages of the method are listed, and an analysis of three sections is conducted. The results of the analysis were compared with examples from the available literature and with a parallel analysis in SAP2000.

*Key words: reinforced concrete walls, section ductility,  $M - \varphi$  diagram, walls with arbitrary cross-sections*

## 1 Uvod

Važeća norma HRN EN 1998 [1] dopušta smanjenje proračunskih potresnih sila uporabom faktora ponašanja  $q$ . Kako bi se ostvarili zahtijevani pomaci građevine tijekom djelovanja potresa, građevine proračunate na umanjene potresne sile moraju imati sposobnost deformiranja u plastičnom području [2], slika 1.



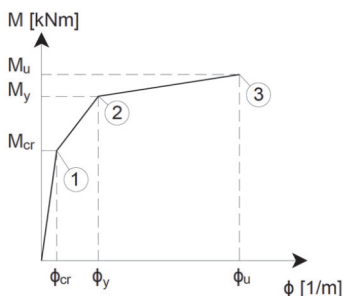
Slika 1. Odnos proračunske sile i zahtijevane duktilnosti za građevine s osnovnim periodom  $T_1 < T_c$  [2]

Sposobnost deformiranja konstrukcije u plastičnom području se naziva duktilnost konstrukcije [2]. Prema HRN EN 1998-1 [1] provjera dostatne duktilnosti konstrukcije je dana vezom između osnovne vrijednosti faktora ponašanja  $q_0$  i zahtijevanog koeficijenta duktilnosti s obzirom na zakrivljenost presjeka  $\mu_{\phi}$  izrazom (1):

$$\mu = 2q_0 - 1 \quad \text{ako je} \quad T_1 \geq T_c \quad (1)$$

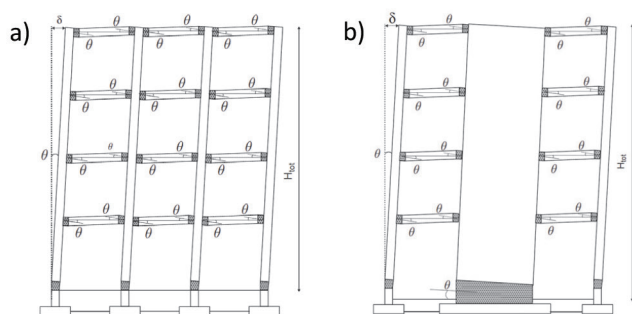
$$\mu_{\phi} = 1 + (2q_0 - 1) T_1 / T_c \quad \text{ako je} \quad T_1 < T_c$$

Koeficijent duktilnosti presjeka s obzirom na zakrivljenosti je definiran kao omjer zakrivljenosti presjeka u točkama 3 i 2 s dijagrama moment – zakrivljenost presjeka [2]. Točka 2 predstavlja zakrivljenost presjeka pri popuštanju vlačne armature, a točka 3 predstavlja zakrivljenost presjeka pri slomu presjeka, slika 2.



Slika 2. Karakteristični  $M - \phi$  dijagram [2]

Iz izraza (1) i sa slike 1 se može zaključiti kako pri projektiranju novih armirano-betonskih konstrukcija, odabirom faktora ponašanja i pripadajućim koeficijentom duktilnosti, projektant kreira zahtijevanu kombinaciju otpornosti na unutarnje sile i duktilnosti konstrukcije koju građevina mora posjedovati kako bi zadovoljavala granično stanje nosivosti. Nadalje, osiguravanjem duktilnosti elemenata konstrukcije, omogućuje se preraspodjela sila nakon početka popuštanja armature pojedinih elemenata. Preraspodjelom sila se u potpunosti mogu aktivirati poželjni plastični mehanizmi građevine i maksimizirati potrošnja unesene energije tijekom trajanja potresa, slika 3.



Slika 3. Plastični mehanizam okvirnog sustava, b) plastični mehanizam zidnog sustava, [3]

## 2 Proračun duktilnosti presjeka

Poznavanjem duljine plastičnog zgloba i duktilnosti presjeka, odnosno zakrivljenosti presjeka pri slomu i popuštanju armature, mogu se definirati  $M - \theta$  dijagrami plastičnih zglobova za duktilne elemente. Opisivanje dijagrama plastičnih zglobova ima primjenu pri modeliranju realnog ponašanja građevina tijekom djelovanja potresa uvažavajući materijalne nelinearnosti. HRN EN 1998-3 [4] daje izraze maksimalne vrijednosti zaokretanja vlakna za granično stanje blizu rušenja, granično stanje znatnog oštećenja i granično stanje ograničenog oštećenja. Slične smjernice su dane u ASCE 41-17 [5] u obliku tabličnih vrijednosti parametara za definiranje dijagrama plastičnog zgloba za pojedine elemente.

Proračun duktilnosti presjeka moguć je analitičkim izrazima [2, 6, 7]. U [2] dan je izraz za proračun koeficijenta duktilnosti s obzirom na zakrivljenost za zidove pravokutnog poprečnog presjeka:

$$\mu_{\varphi} \cong \frac{0,80 \varepsilon_{cu}}{1,44 \varepsilon_y} \frac{1}{(v + \omega_v)} \quad (2)$$

Gdje je:

$\varepsilon_{cu}$  - deformacija pri slomu betona

$\varepsilon_y$  - deformacija pri popuštanju uzdužne armature

$\nu$  - bezdimenzijski koeficijent uzdužne sile

$\omega_v$  - mehanički koeficijent armiranja uzdužnom armaturom hrpta zida.

U [7] autori su dali izraze za moment otpornosti, rotaciju elementa i sekantnu krutost za točku 2 na  $M - \varphi$  dijagramu, odnosno za stanje popuštanja armiranobetonskih greda, pravokutnih stupova, zidova i za elemente T, H, U ili šupljih presjeka, na osnovu velikog broja ispitivanja elemenata bez preklopa uzdužne armature u zoni plastičnog zgloba i negativnog utjecaja poprečnih sila. Također, dani su izrazi za proračun momenta popuštanja i zakrivljenosti pri popuštanju za presjeke s T ili U tlačnom zonom.

Zakrivljenost pri popuštanju greda ili stupova:

$$\varphi_y = \frac{1,54f_{y1}}{E_s d} \quad \text{ili} \quad \varphi_y = \frac{1,75f_{y1}}{E_s h} \quad (3)$$

Zakrivljenost pri popuštanju pravokutnih zidova:

$$\varphi_y = \frac{1,34f_{y1}}{E_s d} \quad \text{ili} \quad \varphi_y = \frac{1,44f_{y1}}{E_s h} \quad (4)$$

Zakrivljenost pri popuštanju zidova "T", "U", "H" ili šupljeg poprečnog presjeka:

$$\varphi_y = \frac{1,47f_{y1}}{E_s d} \quad \text{ili} \quad \varphi_y = \frac{1,57f_{y1}}{E_s h} \quad (5)$$

Gdje je:

$f_{y1}$  - granica popuštanja uzdužne armature

$E_s$  - modul elastičnosti uzdužne armature

$d$  - statička visina presjeka

$h$  - visina presjeka.

Budući da su izrazi empirijski izvedeni, vrijednost medijana u odnosu na eksperimentalno dobivene rezultate iznosi 1,0 dok su koeficijenti varijacije u rasponu od 16,2 % do 19,2 %.

U [6] autori su dali analitičke izraze za određivanje zakrivljenosti presjeka i rotacije elementa pri slomu. Izrazi su kalibrirani na osnovu velike baze ispitanih uzoraka

pod monotonim i cikličkim opterećenjem. Postupak određivanja zakrivljenosti pri slomu je dugotrajan i nije jednoznačan, a odabir izraza koji će se primijeniti ovisi o zadovoljavanju pojedinih jednadžbi tokom proračuna. Izrazi za rotaciju elementa pri slomu su dani na osnovu proračuna zakrivljenosti presjeka pri slomu i duljine plastičnog zgloba s koeficijentom varijacije do 80 %. Zbog velikog odstupanja od eksperimentalno izmjerenih veličina dani su i empirijski izrazi kojima se točnije opisuje ponašanje elemenata pri slomu monotonim i cikličkim opterećenjem. Dani su i izrazi za korekciju rotacije elementa pri slomu za elemente koji nisu armirani poprečnom armaturom sa kukama savinutim pod kutom od  $135^\circ$ , za elemente armirane glatkim šipkama i za elemente s preklapom armature u području plastičnih zglobova.

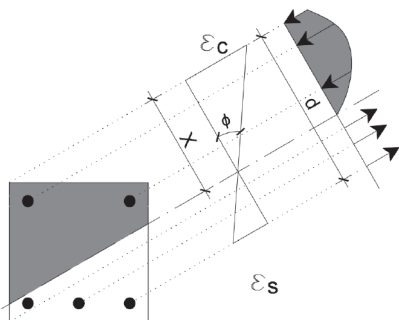
Zbog kompleksnosti proračuna presjeka s proizvoljnim rasporedom armature ili složenih poprečnih presjeka, često se koriste gotova programska rješenja koja se uglavnom zasnivaju na diskretizaciji poprečnih presjeka ili elemenata zidova u vlakna [8,9]. Primjer programa za analizu presjeka su ECTools NOUS, SEQAD, UCFyber, CONSEC, XSECTION, Response 2000, Idea Statica, ili pojedinačnih modula unutar programa za proračun konstrukcija poput SAP2000, ETABS, RFEM i dr. Proračun korištenjem većine programa je ograničen, ovisno o robusnosti programskog rješenja, na jednostavne presjeke, jednostavne dispozicije armature i uporabu samo po jednog radnog dijagrama za beton i armaturu. Pojedini programi poput SAP2000 imaju mogućnost odabira proizvoljne geometrije presjeka, dispozicije armature kao i pridruživanje više radnih dijagrama materijala betona ili armature

U radu [8] ispitano je 6 zidova "T" poprečnog presjeka, eksperimentalno dobiveni podaci pomaka vrha zida su uspoređeni s proračunatim pomacima zida na osnovu zakrivljenosti presjeka i duljine plastičnog zgloba. Nelinearna analiza presjeka napravljena je koristeći program Engineers' Studio, na principu podjele poprečnih presjeka u vlakna. Usporedbom rezultata pokazano je dobro poklapanje procijenjene maksimalne otpornosti elementa koji nisu razvili posmični slom i precjenjivanje krutosti elementa posebice u ranijim fazama ispitivanja zbog zanemarivanja utjecaja posmičnih deformacija i pojave zaostajanja posmika.

Za razliku od rada [8] u kojem su vlaknima modelirani poprečni presjeci zidova za proračun zakrivljenosti presjeka, u radu [9] savojno ponašanje je opisano na makro razini koristeći niz jednoosnih vlakana za modeliranje elementa zida i jednog vlakna u sredini zida za modeliranje posmičnog ponašanja elementa zida, temeljno na radu [10]. Takav pristup modeliranju naziva se "Multiple-vertical-line-element-model" ili MVLEM. Eksperimentalni rezultati su uspoređeni s rezultatima MVLEM analize i pokazano je da se uz kalibracije radnih dijagrama korištenih materijala mogu dovoljno točno proračunati savojna nosivost zida, bočna krutost za različite veličine deformacije, točka popuštanja armature, ciklička svojstva sila – pomak dijagrama, dijagram pomaka zida po visini, prosječne rotacije i pomaci unutar plastičnog čvora i položaj

neutralne osi. Slično kao u radu [8] naglašeno je da se modeliranjem elemenata zidova jednoosnim vlaknima ne može opisati utjecaj posmičnih deformacija i zaostajanja posmika u pojasnicama elementa.

Kontrolna analiza za usporedbu rezultata s opisanom metodom je napravljena programom SAP2000 v24.0.0. modulom Section Designer, općom metodom provjere koja se temelji na [1]. Osnovni princip rada je objašnjen na primjeru sa slike 4, prema [11].



**Slika 4. Stanje naprezanja i deformacija presjeka**

$M - \varphi$  krivulja formira se preko  $n$  broja proračunskih točki koje su međusobno povezane pravcima. Svaka proračunska točka definirana je iznosom momenta otpornosti presjeka za određenu zakrivljenost presjeka. Broj proračunskih točaka upisuje korisnik i svaka točka ima unaprijed definiran iznos zakrivljenosti. Na slici 4 je prikazan poprečni presjek, opterećen poznatim iznosom uzdužne sile i momentom savijanja. Zakrivljenost presjeka je definirana kao nagib pravca kojim je definirana deformacija presjeka, prema izrazu (6).

$$\varphi = (\varepsilon_c + \varepsilon_s) / d \quad (6)$$

Gdje je:

- $\varphi$  - zakrivljenost presjeka
- $\varepsilon_c$  - deformacija betona
- $\varepsilon_s$  - deformacija armature
- $d$  - statička visina.

Stanje deformacija po površini presjeka je definirano odabranim iznosom zakrivljenosti presjeka i položajem neutralne osi, tj. visinom tlačnog područja  $X$ . Naprezanja se računaju na temelju definiranih radnih dijagrama materijala i poznatih deformacija po točkama presjeka. Budući da je zakrivljenost presjeka unaprijed definirana po pojedinim točkama krivulje, za svaku točku se proračunava visina

tlačnog područja  $X$  za koju se postiže ravnoteža unutarnjih i vanjskih sila, što se radi iterativnim postupkom. Nakon postizanja ravnoteže uzdužnih sila presjeka, proračunava se moment od rezultanti unutarnjih sila (tlačne sile u armaturi i betonu i vlačna sila u armaturi) i vanjske sile. Proračunati moment za definiranu zakrivljenost čini jednu točku  $M - \varphi$  krivulje.

### 3 Opis predložene metode proračuna duktilnosti presjeka

Osnovna ideja proračuna je kao i kod većine programa, diskretiziranje presjeka u konačan broj dijelova. Čitav presjek se diskretizira u više manjih dijelova koji su paralelni s vektorom promatranog momenta otpornosti presjeka, primjer podjele presjeka je prikazan na slici 5a. Težištu svakog dijela se pridružuju pripadajuće površine armature i betona i pripadajući radni dijagrami materijala. Uvažavajući pretpostavku da poprečni presjeci ostaju ravni, za zadanu zakrivljenost jednostavno je izračunati deformacije težišta svakog dijela presjeka. Za proračun duktilnosti potrebne su zakrivljenost pri popuštanju vlačne armature – točka 2, i zakrivljenost pri slomu presjeka – točka 3 sa slike 2.

Zakrivljenost pri popuštanju, armature  $\varphi_v$  se određuje kao nagib pravca kojim je definirana deformacija presjeka sa slike 6a.

$$\varphi_v = \varepsilon_c / X_v \quad (7)$$

Gdje je:

- $\varepsilon_c$  - deformacija betona pri popuštanju armature
- $X_v$  - visina tlačnog područja pri popuštanju armature

Slom presjeka se može ostvariti na dva načina. Prvi način je dostizanjem maksimalne dozvoljene vlačne deformacije armature, za B500B iznosi 50 ‰, za B500C 75 ‰. Drugi način je dostizanjem maksimalno dozvoljene tlačne deformacije neovijenog betona, 3,5 ‰ za razrede betona  $\leq C50/60$  ili maksimalno dozvoljene tlačne deformacije ovijenog betona. Zakrivljenost pri slomu presjeka se određuje kao nagib pravca kojim je definirana deformacija presjeka sa slike 6b prema izrazu (8), odnosno sa slike 6c, prema izrazu (9).

$$\varphi_{u,s} = \varepsilon_c / X_{u,s} \quad (8)$$

Gdje je:

- $\varepsilon_c$  - deformacija betona pri slomu armature
- $X_{u,s}$  - visina tlačnog područja pri slomu armature

$$\varphi_{u,s} = \varepsilon_{c,u} / X_{u,c} \quad (9)$$

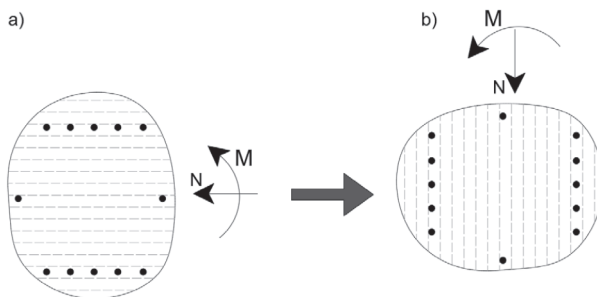
Gdje je:

$\varepsilon_{c,u}$  - deformacija betona pri slomu betona

$X_{u,c}$  - visina tlačnog područja pri slomu betona

Nakon podjele presjeka na određeni broj dijelova potrebno je upisati parametre svakog dijela presjeka. Radi lakše orijentacije tablicu za upis parametara dijela presjeka je pogodno orijentirati u istom smjeru kao i podjelu presjeka.

U ovom primjeru analiza presjeka je napravljena uz pomoć Microsoft Excela. Presjek je zarotiran kao na slici 5 stoga svaki stupac proračunske tablice sadrži podatke od jednom dijelu presjeka.



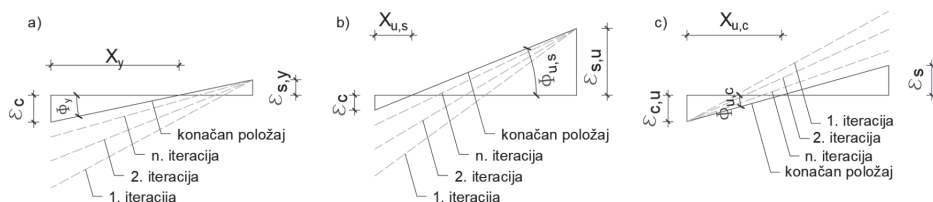
Slika 5. a) podjela presjeka, b) presjek zarotiran za analizu

Tablica 1. Shematski prikaz Excel tablice

Duljina dijela	Upisuje korisnik
Visina dijela	Upisuje korisnik
Udaljenost težišta dijela od tlačnog ruba	Programski se računa
Ukupna površina dijela presjeka	Programski se računa
Razred betona	Upisuje korisnik
Količina armature po pojedinom dijelu	Upisuje korisnik
Razred armature	Upisuje korisnik
Neto površina presjeka betona	Programski se računa

Nakon upisa podataka presjeka, potrebno je za točke 2 i 3 zadati poznate deformacije. Za točku 2 to je deformacija pri popuštanju armature. Za točku 3 to su već opisane deformacije betona ili armature ovisno je li je slom presjeka uvjetovan slomom betona ili armature. Mjerodavni slom je onaj koji se postiže za manju zakrivljenost presjeka.





**Slika 6. a) Iteracije pri popuštavanju vlačne armature, b) Iteracije pri slomu presjeka preko sloma vlačne armature, c) Iteracije pri slomu presjeka preko sloma betona**

Za određivanje zakrivljenosti presjeka, a uz poznatu deformaciju na jednom kraju presjeka, dovoljno je odrediti visinu tlačnog područja  $X$  za koju se postiže ravnoteža unutarnjih sila i vanjske sile. Iznos vanjske sile se upiše i direktno se unosi u sumu sila. Unutarnje sile se proračunaju iz deformacije težišta svakog dijela presjeka, površine betona i armature u svakom dijelu presjeka i upisanih radnih dijagrama materijala. Ovijanje betona kao i odabir različitih razreda betona unutar istog presjeka se može uzeti u obzir pridruživanjem različitih radnih dijagrama betona po dijelovima presjeka. Iterativni postupak određivanja vrijednosti  $X$  je iznimno jednostavno napraviti korištenjem naredbe "traženje rješenja", eng. "Goal Seek" uz postavljanje čelije koja predstavlja sumu sila jednakoj nuli za traženu vrijednost  $X$ . Nakon određivanja vrijednosti  $X$  potrebno je izračunati mjerodavnu zakrivljenost presjeka i sumu momenata koju čine unutarnje i vanjska sila oko proizvoljne točke. Kao rezultat dobije se moment otpornosti presjeka za izračunatu zakrivljenost i poznati iznos vanjske sile.

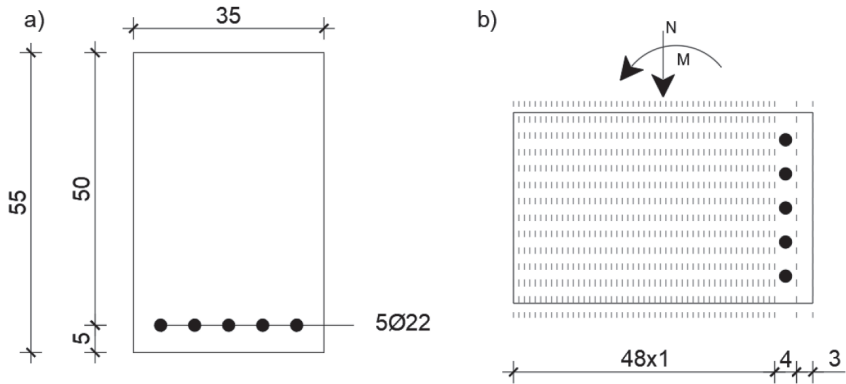
## 4 Analiza presjeka i usporedba rezultata

Analizirana su i uspoređena 3 presjeka:

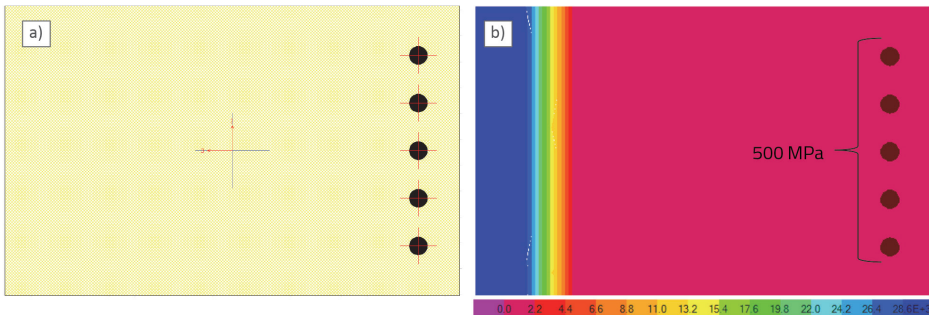
- Presjek 1 je pravokutni presjek, armiran u jednoj zoni i bez uzdužne sile
- Presjek 2 je jednak Presjeku 1 ali je opterećen uzdužnom tlačnom silom
- Presjek 3 je izabran kao složeni presjek poput jezgri dizala ili stubišta u visokogradnji

### 4.1 Presjek 1

Presjek je pravokutan, dimenzija  $b/h/d=35/55/50$  cm, analiziran je sa karakterističnim vrijednostima materijala, beton je razreda C30/37, armatura je razreda B500B, svi materijali su modelirani bilinearnim radnim dijagramima. Presjek je armiran u vlačnoj zoni s  $5 \text{ } \varnothing 22 = 19,01 \text{ cm}^2$ . Presjek je analiziran u SAP2000, Excel tablicom i rezultati su uspoređeni sa [12].



Slika 7. a) Presjek 1 i Presjek 2, b) Podjela Presjeka 1 i Presjeka 2 za potrebe proračuna Excel tablicom



Slika 8. a) Model presjeka u SAP2000, b) Stanje naprezanja pri slomu Presjeka 1 u SAP2000 [MPa]

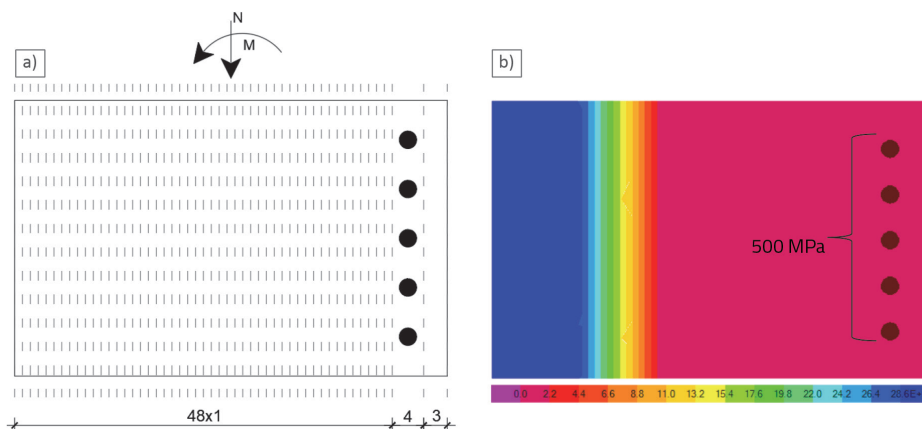
Tablica 2. Rezultati analize programom SAP2000

Presjek 1	Moment [kNm]			Zakrivljenost [1/m]		
	SAP2000	Skripta [12]	Excel tablica	SAP2000	Skripta [12]	Excel tablica
Točka 2	412,49	413,08	413,08	0,008227	0,008229	0,008227
Točka 3	430,09	430,2	430,55	0,028914	0,029	0,028997
Duktilnost				3,5145253	3,524122	3,52461408

Uspoređujući iznose proračunatih duktilnosti presjeka može se zaključiti kako su rezultati gotovo jednaki.

## 4.2 Presjek 2

Presjek je pravokutan, dimenzija  $b/h/d=35/55/50$  cm, analiziran je sa karakterističnim vrijednostima materijala, beton je razreda C30/37, armatura je razreda B500B, svi materijali su modelirani bilinearnim radnim dijagramima. Presjek je armiran u vlačnoj zoni s  $5\varnothing 22 = 19,01$  cm<sup>2</sup>. Razlika Presjeka 1 i Presjeka 2 je u dodatnoj uzdužnoj tlačnoj sili od 750 kN kojom je konstantno opterećen Presjek 2. Presjek je analiziran u SAP2000 i Excel tablicom.



Slika 9. a) Podjela Presjeka 2 za potrebe proračuna Excel tablicom, b) Stanje naprezanja pri slomu Presjeka 2 u SAP2000 [MPa]

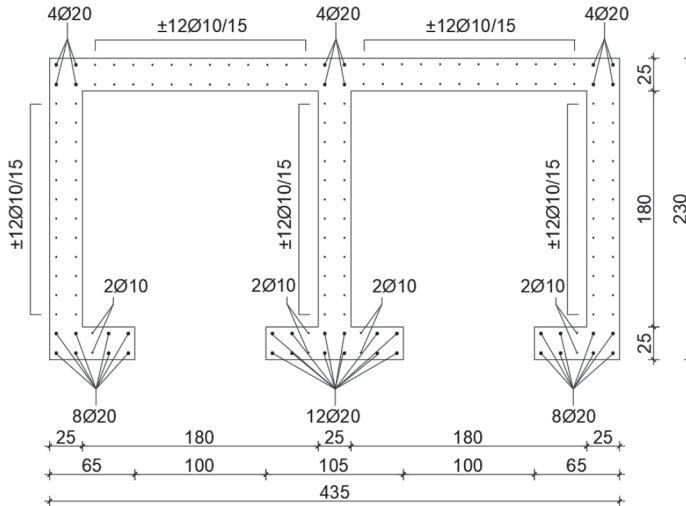
Tablica 3. Rezultati analize programom SAP2000

Presjek 2	Moment [kNm]		Zakrivljenost [1/m]	
	SAP2000	Excel tablica	SAP2000	Excel tablica
Točka 2	530,12	530,31	0,009981	0,009982
Točka 3	537,899	538,66	0,01618	0,0162
Duktilnost			1,621080052	1,622921258

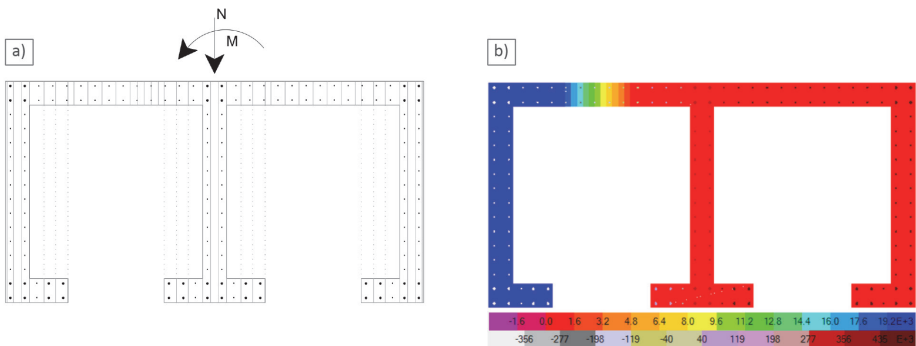
Uspoređujući iznose proračunatih duktilnosti presjeka može se zaključiti kako su rezultati gotovo jednaki.

### 4.3 Presjek 3

Presjek 3 je oblika karakteristične jezgre za dizala ili stubišta. Tlocrtni gabariti su  $b/h=230/435$  cm, debljine zidova su 25 cm. Površina presjeka je  $3,03 \text{ m}^2$  te je opterećen uzdužnom tlačnom silom 15 MN. Presjek je analiziran s proračunskim vrijednostima materijala, beton je razreda C30/37, armatura je razreda B500B, svi materijali su modelirani bilinearnim radnim dijagramima. Presjek je analiziran u SAP2000 i Excel tablicom.



Slika 10. Presjek 3



Slika 11. a) Podjela Presjeka 3 za potrebe proračuna Excel tablicom, b) Stanje naprezanja pri slomu Presjeka 3 u SAP2000 [MPa]

**Tablica 4. Rezultati analize programom SAP2000**

Presjek 3	Moment [kNm]		Zakrivljenost [1/m]	
	SAP2000	Excel tablica	SAP2000	Excel tablica
Točka 2	38947,38	38982,55306	0,0009156	0,00091572
Točka 3	44441	45974,34701	0,0023231	0,002515721
Duktilnost			2,537243338	2,747259586

Uspoređujući iznose proračunatih duktilnosti presjeka može se zaključiti kako su rezultati razlikuju za 7,6%, povećana točnost se može postići gušćom podjelom presjeka, posebice u zoni neutralne osi pri popuštaju i pri slomu presjeka.

## 5 Zaključak

U radu je opisan postupak analize armiranobetonskih presjeka i postupak računanja duktilnosti presjeka s obzirom na zakrivljenost. Napravljena je analiza triju presjeka te su dobiveni rezultati uspoređeni s rezultatima iz analize programom SAP2000, a za Presjek 1 i s primjerom iz [12]. Odstupanje rezultata predložene metode za Presjek 1 u odnosu na rezultate iz [12] je 0,01 % te 0,2 % u odnosu na rezultate dobivene programom SAP2000. Rezultati za Presjek 2 odstupaju 0,1 % u odnosu na rezultate analizom programom SAP2000, odnosno 7,6 % za Presjek 3.

Opisani postupak ima sljedeće prednosti:

- jednostavan je za programirati
- korisnik ima potpunu kontrolu procesa proračuna
- pruža precizne rezultate
- ne zahtijeva specijalizirane softvere izuzev npr. Microsoft Excela
- mogu se analizirati presjeci složene geometrije presjeka i dispozicije armature
- jednostavno se može uzeti u obzir ovijanje armiranobetonskog dijela presjeka ili uporaba armature različitih razreda duktilnosti

Nedostaci opisanog postupka analize presjeka su:

- potrebno je nešto više vremena za analizu presjeka složene geometrije, zbog unosa podataka
- opisani postupak vrši analizu samo za savijanje oko jedne jače osi presjeka uz prisutnost uzdužne sile. Za analizu dvoosnog savijanja s uzdužnom silom potrebno je presjek dijeliti na dijelove i u drugom smjeru što značajno komplicira unos podataka i analizu.
- točnost rezultata značajno ovisi u gustoći podjele presjeka

Daljnji razvoj bi bio povezivanje CAD programa i programa za analizu presjeka što bi ubrzalo unos geometrije i automatsku podjelu presjeka za analizu dvoosnog savijanja. Opisano bi značajno unaprijedilo robusnost i vrijeme potrebno za analizu presjeka.

## Literatura

- [1] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade; EN 1998-1; CEN: Bruxelles, Belgija, pp. 37 - 73, 2011.
- [2] Penelis, G., Penelis, G.: Concrete Buildings in Seismic Regions, Second Edition, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis Group, pp. 164 – 460, 2019
- [3] Fardis, M., N.: Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings, Volume 8, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Springer, pp. 17, 2009.
- [4] Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada; EN 1998-3; CEN: Bruxelles, Belgija, 2011.
- [5] Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2017 edition, Reston, Virginia, American Society of Civil Engineers, 2017.
- [6] Biskinis, D., Fardis, M., N.: Flexure-controlled ultimate deformations of members with continuous or lap-spliced bars, *Structural Concrete*, 11 (2010), pp. 93–108.
- [7] Biskinis, D., Fardis, M., N.: Deformations at flexural yielding of members with continuous or lap-spliced bars, *Structural Concrete*, 11 (2010), pp. 127–138,
- [8] Zhang, Z., Li, B.: Seismic Performance Assessment of Slender T-Shaped Reinforced Concrete Walls, *Journal of Earthquake Engineering*, 20 (2016), pp. 1342–1369.
- [9] Orakcal, K., Wallace, W., J.: Flexural modeling of reinforced concrete walls- Experimental verification, *Structural Journal*, 103 (2006), pp. 196 – 206
- [10] Alfoso V., Vitelmmo V., B., Vincenzo C.: Analytical modeling of R/C structural walls, *Proceedings of ninth world conference on earthquake engineering*, Tokyo – Kyoto, pp. 41–46., 1988
- [11] Section Designer Manual, Computers and Structures, Inc., First Edition, Berkeley, California 94704 USA, pp. 115 – 120, 2000
- [12] Sorić Z., Kišićek T.: *Betonske konstrukcije 3*, Zagreb, pp. 30, 2013.