

# Pojačanje stupa izvedbom betonskog omotača

---

**Gavran, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:319274>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-22**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



zir.nsk.hr



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Filip Gavran**

**Pojačanje stupa izvedbom betonskog omotača**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.godina**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij  
građevinarstva  
Osnove betonskih konstrukcija**

**Filip Gavran  
JMBAG: 0114029419**

**Pojačanje stupa izvedbom betonskog omotača**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.godina**

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

**POJAČANJE STUPA IZVEDBOM BETONSKOG OMOTAČA**  
**STRENGTHENING OF A COLUMN BY CONCRETE JACKETING**

Kandidat: **FILIP GAVRAN**

Kolegij: **OSNOVE BETONSKIH KONSTRUKCIJA**

Završni rad broj: **19-P-21**

**Zadatak:**

Kandidat treba obraditi pojačanje armiranobetonskih stupova pravokutnog poprečnog presjeka povećanjem poprečnog presjeka izvedbom betonskog omotača.

Rad treba sadržavati dva dijela. U prvom dijelu rada potrebno je teorijski obraditi pojačanje izvedbom betonskog omotača: općenito, opisati izvedbu i prikazati karakteristične detalje.

U drugom dijelu rada potrebno je opisati postupak dimenzioniranja i izvesti formule za pojačanje stupa povećanjem presjeka, koje zatim treba koristiti za izradu procedure u programu za tablično računanje. Naposljetku na jednom primjeru obraditi pojačanje za slučaj kada se poprečni presjek stupa povećava s jedne, dvije, tri ili sve četiri strane. Rezultate usporediti s nekim računalnim programom za dimenzioniranje.

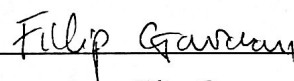
**Tema rada je uručena: 26. veljače 2019.**

**Mentor:**

Doc. dr. sc. Paulo Šćulac,  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.



---

Filip Gavran

U Rijeci, 27. kolovoza 2019.

## **SAŽETAK**

U radu je obrađeno pojačanje armiranobetonskih stupova pravokutnog poprečnog presjeka povećanjem poprečnog presjeka izvedbom betonskog omotača. Najprije je ukratko teorijski obrađeno pojačanje izvedbom betonskog omotača: općenito, opisana je izvedba te su prikazani karakteristični detalji. Zatim je opisan postupak dimenzioniranja i izvedene su formule za pojačanje stupa povećanjem poprečnog presjeka. Na jednom primjeru je obrađeno pojačanje za slučaj kada se poprečni presjek stupa povećava s jedne, dvije, tri ili sve četiri strane.

**KLJUČNE RIJEČI:** armiranobetonski stupovi, pojačanje, betonski omotač

## **ABSTRACT**

In this work strengthening of reinforced concrete columns of rectangular cross-section by concrete jacketing (increase of cross-section dimensions) is analysed. First, a concise theoretical basis of concrete jacketing is given in general, the construction is described as well as characteristic details. It is followed by the description of the procedure and formulas for design of column strengthening by concrete jacketing. At the end an example is discussed where the concrete jacket is applied on one, two, three or all four sides of the column.

**KEY WORDS:** reinforced concrete columns, strengthening, concrete jacket

# Sadržaj

1.UVOD	1
2 .POJAČANJE STUPA IZVEDBOM BETONSKOG OJAČANJA	1
2.1. Općenito o izvedbi pojačanja	1
2.2 Načini izvedbe	8
3. PRORAČUN POJAČANJA STUPA PRAVOKUTNOG POPREČNOG PRESJEKA IZVEDBOM BETONSKOG OMOTAČA	9
3.1 Postupak proračuna	9
3.2. Proračunski dijagrami	12
3.2.1. Proračunski dijagram betona	12
3.2.2. Proračunski dijagram za čelik	13
4. PRIMJERI	14
4.1 Primjer 1.-Povećanje presjeka stupa samo s jedne strane	16
4.2 Primjer 2.-Povećanje presjeka stupa s dvije susjedne strane	18
4.3 Primjer 3.-Povećanje presjeka stupa sa tri strane	20
4.4 Primjer 4.-Potpuno omatanje postojećeg presjeka	22
5.Zaključak	24
Literatura	25

## Popis slika

Slika 1:Prolaz pojačanja kroz cijelu visinu stupa [1]	2
Slika 2:Primjeri detalja izrade pojačanja stupova [2] :	2
Slika 3:Primjeri pojačanja stupova [1]	3
Slika 4: Primjer stupa pojačanog sa svih strana [2]	3
Slika 5:Primjeri pojačavanja stupova [3]	4
Slika 6: Prikaz spajanja armature pomoću S-kuke [2]	5
Slika 7:Spajanje armature pomoću sidara [2]	6
Slika 8:Primjeri ugradnje poprečne armature u slučaju trostranog pojačanja stupa [2]	6
Slika 9:Prikaz armiranja stupa [2]	7
Slika 10:Prikaz postavljanja poprečne armature	8
Slika 11:Opis presjeka,dijagram naprezanja i deformacija, unutarne i presječne sile	10
Slika 12:Dijagram parabola-horizontalni pravac za beton[ 5]	12
Slika 13:Proračunski dijagram naprezanje-deformacija čelika [6]	13
Slika 14:Postojeći presjek stupa	15
Slika 15:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 1	17
Slika 16:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 1	17
Slika 17: Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 2	19
Slika 18:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 2	19
Slika 19:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 3	21
Slika 20:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 3	21
Slika 21:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 4	23
Slika 22:Prijedlog rješenja armature	23



## **1.UVOD**

Pojačanja elementa provodimo kada želimo prenijeti veća opterećenja od postojećih, ako želimo ispraviti pogreške u izgradnji ili ako želimo povećati nosivost elemenata. Može se koristiti i ako želimo vratiti projektiranu nosivost oštećenom elementu uslijed potresa ili požara. Jedna od metoda pojačanja je izrada armiranobetonskog omotača (eng.concrete jackets). Metoda pojačanja stupova je prikladna kod jako oštećenih elemenata, kod koje oštećen ili odlomljen beton mijenjamo s novim dok oštećenu armaturu ne moramo u potpunosti mijenjati [3]. U nastavku će biti prikazano kako pojačanja utječu na nosivost presjeka.

## **2 .POJAČANJE STUPA IZVEDBOM BETONSKOG OJAČANJA**

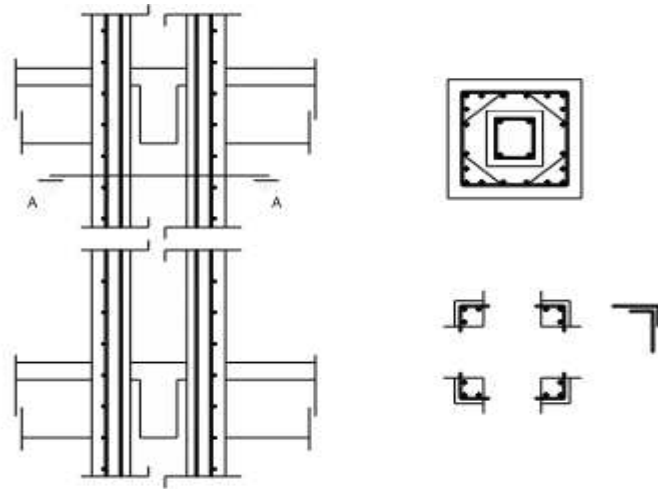
### **2.1. Općenito o izvedbi pojačanja**

Pojačanje se radi kao oblaganje postojećeg stupa s armaturom i dodavanjem betona odnosno povećanjem samog presjeka stupa. Ova tehnika utječe tako da povećava[3]:

- krutost elementa
- posmičnu čvrstoću
- nosivost na savijanje
- povećava samu posmičnu čvrstoću i vezu u spoju kroz koji se pojačanje nastavlja
- štiti staru armaturu od korozije
- povećava deformacijski kapacitet stupa

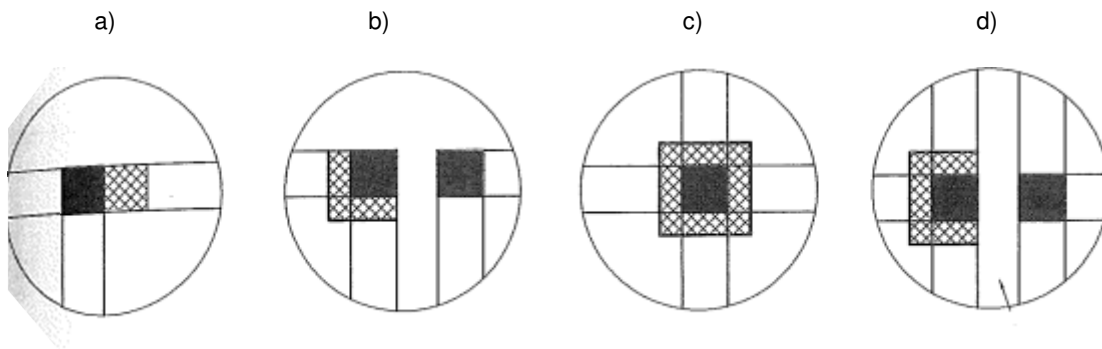
Povećanje čvrstoće i nosivosti na savijanje se postiže povećanjem poprečnog presjeka i uzdužne armature dok dodavanjem spona povećavamo duktilnost i nosivost na poprečne sile. Korištenjem omotača povećavamo poprečni presjek što može biti veliki nedostatak kod objekata gdje nam je potrebno što više prostora. Prilikom izrade pojačanja može doći do velikih količina prašine i buke što je isto jedan od nedostaka [3].

Kad želimo povećati čvrstoću na savijanje uzdužna armatura treba prolaziti kroz ploču to jest kroz gornji i donji kat kao na Slici 1.



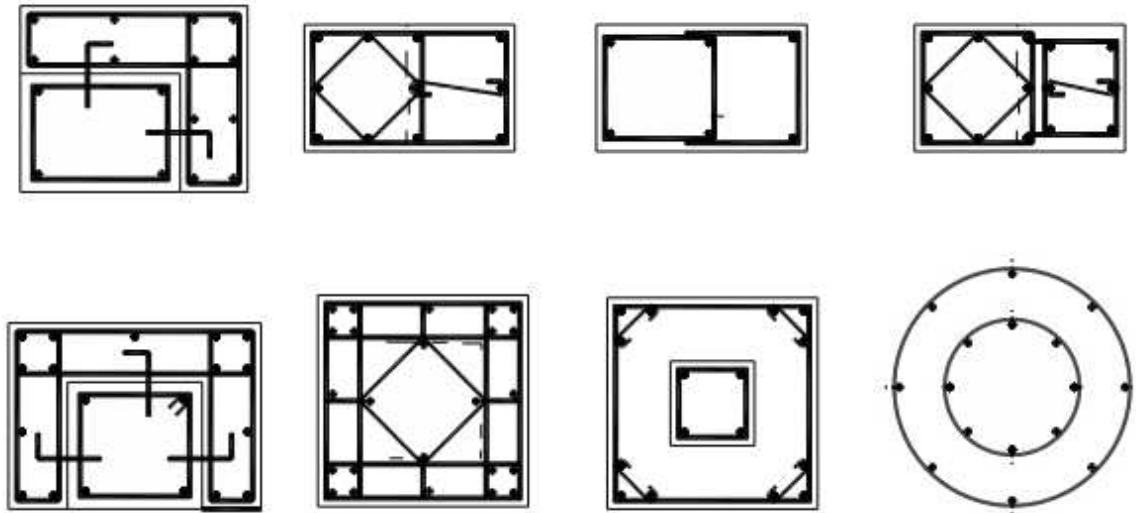
Slika 1: Prolaz pojačanja kroz cijelu visinu stupa [1]

Pojačanje stupova možemo provoditi sa jedne, dvije, tri ili sa svih strana stupa (Slika 2 i 3). Jednostrana pojačanja lakše je ukomponirati u prostor nego višestrana pojačanja. Debljina betona trebala bi biti najmanje od 75 do 100 mm kako bi osigurali da armatura ima potreban zaštitni sloj, te kako bi bila moguća ugradnja dodatne poprečne armature kod ovijanja cjelokupnog presjeka [3].



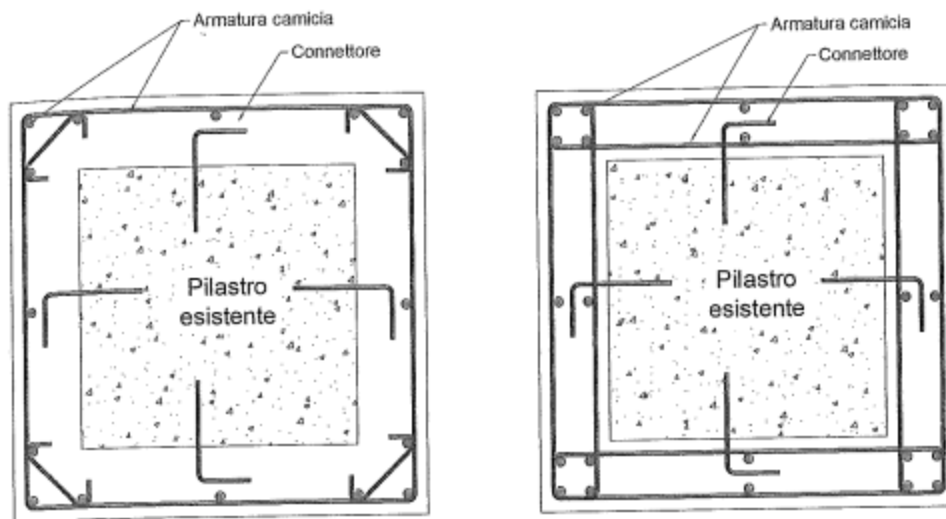
Slika 2: Primjeri detalja izrade pojačanja stupova [2] :

- a) Pojačanje s jedne strane stupa
- b) Pojačanje s dvije strane stupa
- c) Pojačanje sa sve četiri strane stupa
- d) Pojačanje s tri strane stupa

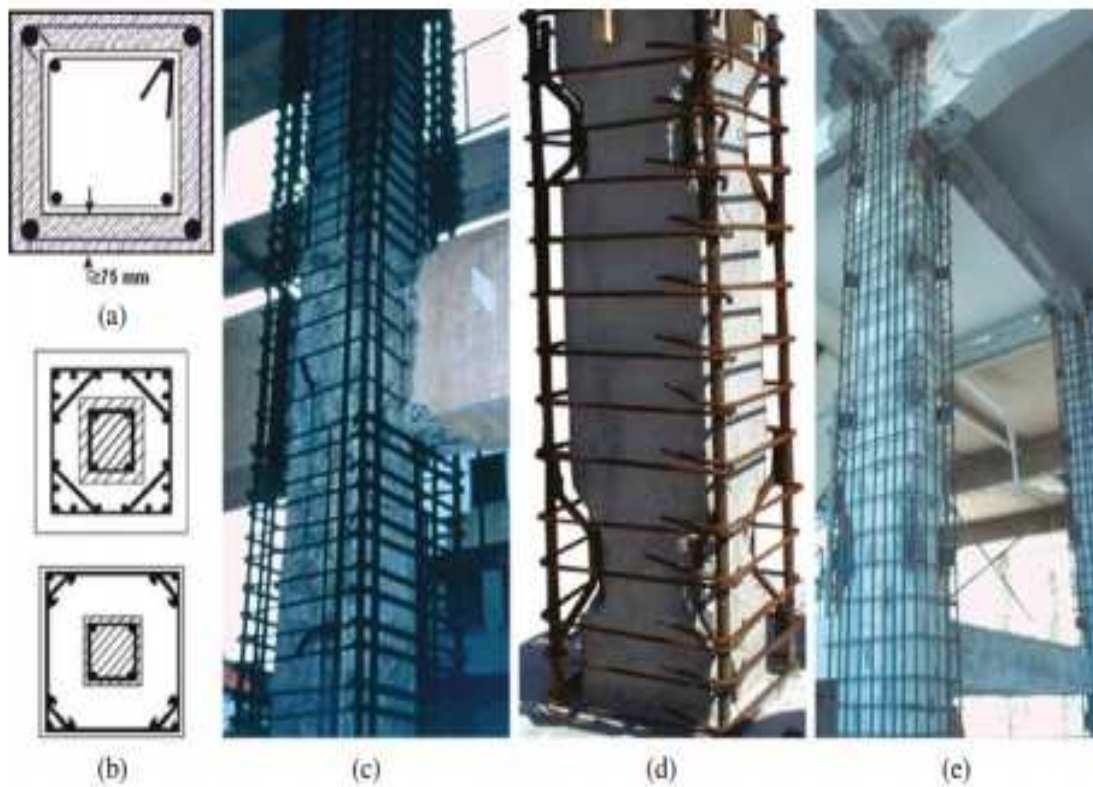


Slika 3: Primjeri pojačanja stupova [1]

Na slici 4 prikazana su dva primjera pojačanja stupa sa sve četiri strane presjeka, koja se razlikuju u obliku ugrađene poprečne armature: lijevo je upotrebljena vanjska spona i dodatne kratke šipke u kutovima za pridržanja uzdužne armature od lokalnog izvijanja dok su desno ugrađene 4 zatvorene spone.



Slika 4: Primjer stupa pojačanog sa svih strana [2]



Slika 5: Primjeri pojačavanja stupova [3]

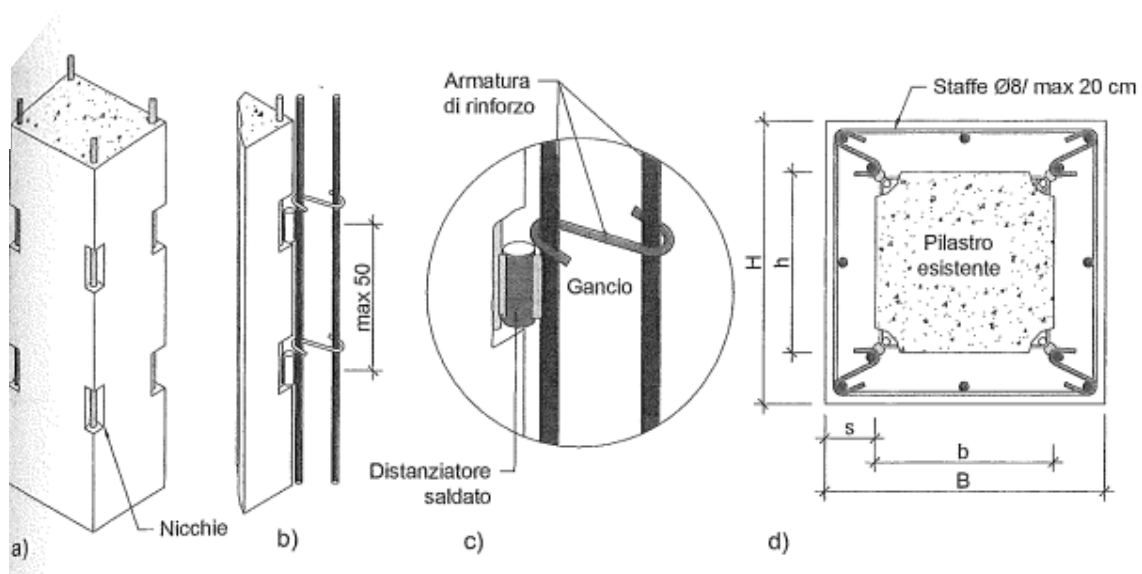
Na Slici 5 prikazano je više načina izrade pojačanja stupova. Pod (a) se nalazi primjer ovijanja cijelokupnog presjeka. Na kutovima se postavljaju uzdužne šipke, te se spajaju zatvorenim sponama koje obavijaju cijeli presjek. Slike (b) i (c) prikazuju uzdužne šipke grupirane u kutovima povezane osmerokutnim sponama ili kratkim šipkama. Ovaj način je posebno prikladan kada treba izbjeći bušenje rupa u gredama koje se spajaju na stupove u čvorovima okvira.

Šipke su grupirane kako bi smanjili broj rupa u ploči prilikom prolaska uzdužne armature kroz etaže. Ako ne koristimo osmerokutne sponne mogu se koristiti kratke šipke pod kutem od  $45^{\circ}$  koje se spajaju na dvije kutne šipke [3].

Spajanje kutnih uzdužnih šipki pojačanja na već postojeću armaturu može se napraviti zavarivanjem pomoću Z ili U šipki kao na Slici 5 (d) i (e). Ova metoda spajanja starih i novih šipki nije preporučljiva jer spajanjem čelika različitih svojstava može doći do stvaranja korozije na mjestu samog spoja.[3]

Alternativno možemo postojeću površinu stupa mehaničkim postupcima ohrapaviti ili profilirati i ugraditi kuke. Kuke koje se buše u postojeći element prolaze u novi sloj betona gdje se često još i savijaju pod kutem od  $90^{\circ}$  jer je najčešće debljina ojačanja mala, pa je zbog potrebnog sidrenja potrebno izvoditi kuke.

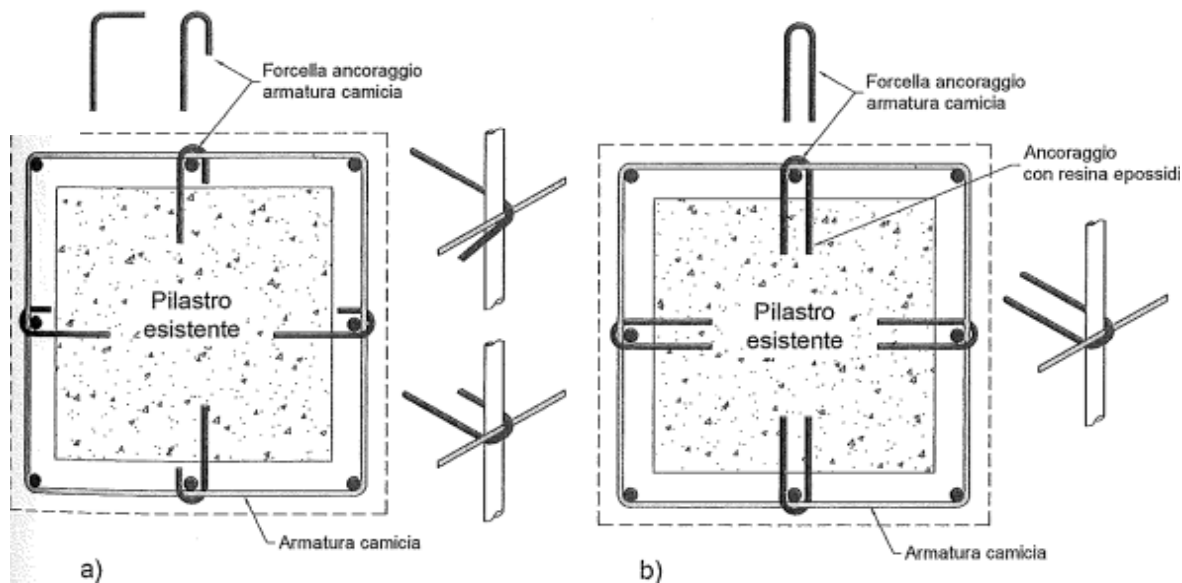
Na slici 6 prikazan je primjer povezivanja armature pomoću S-kuka pri čemu je u postojećem stupu potrebno izraditi otvore u kutevima. Preporuča se korištenje samo u slučaju oštećenog stupa.



Slika 6: Prikaz spajanja armature pomoću S-kuke [2]

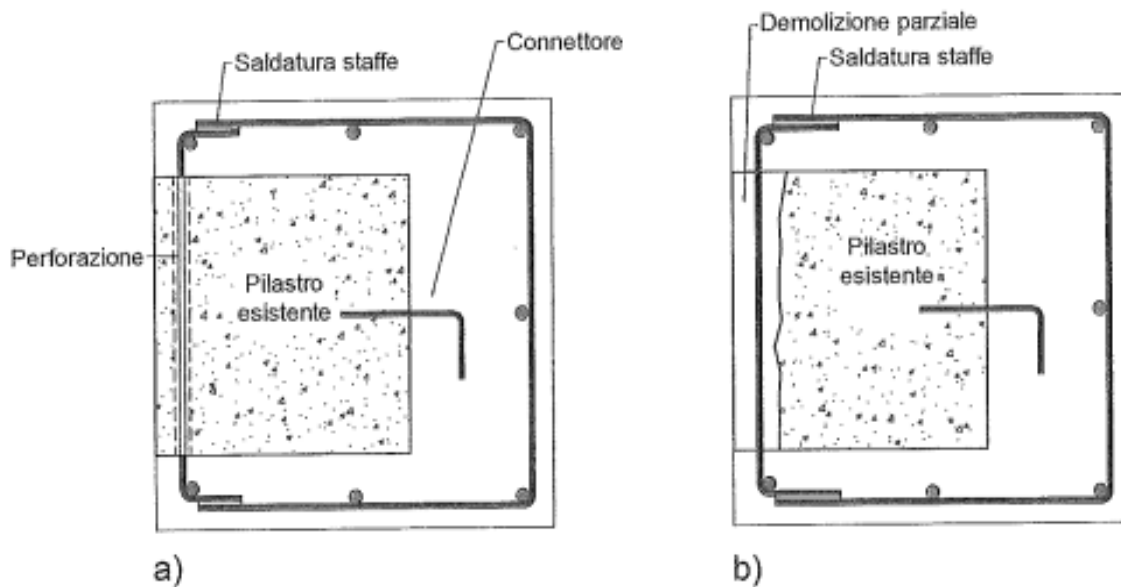
Na slici 7 prikazano je povezivanje starog presjeka i novog betona ugradnjom sidara u prethodno izbušene rupe u postojećem stupu:

- a) sidra s kukom koja se dodatno može zatvoriti (u obliku slova U)
- b) U-sidra



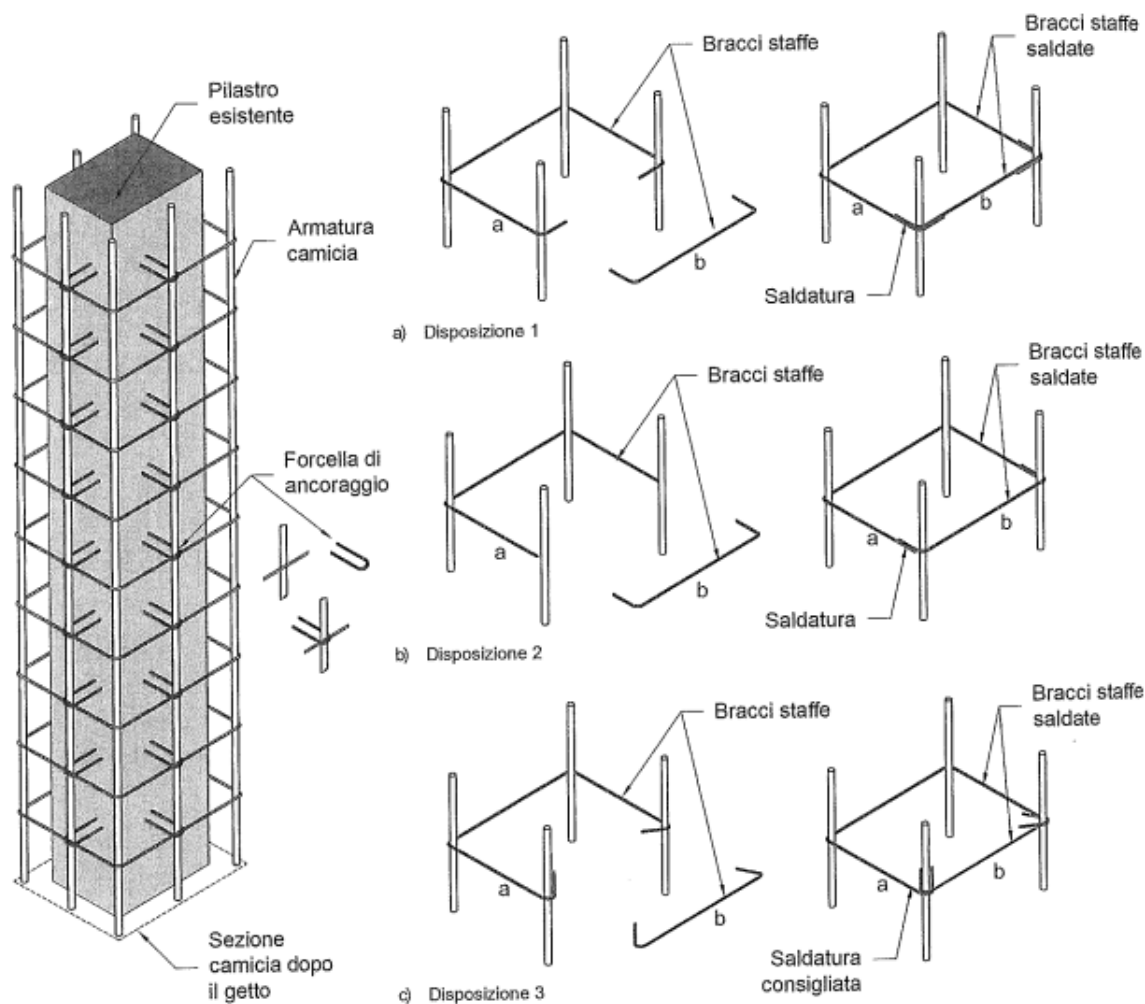
Slika 7: Spajanje armature pomoću sidara [2]

Na Slici 8 prikazana su dva primjera ugradnje poprečne armature u slučaju trostranog ojačanja stupa. U primjeru a) u postojećem stupu izbušena je rupa kroz koju se provlači šipka, koja se zavaruje za vanjsku otvorenu sponu, dok je pod b) dio postojećeg stupa uklonjen kako bi se mogla ugraditi spona.

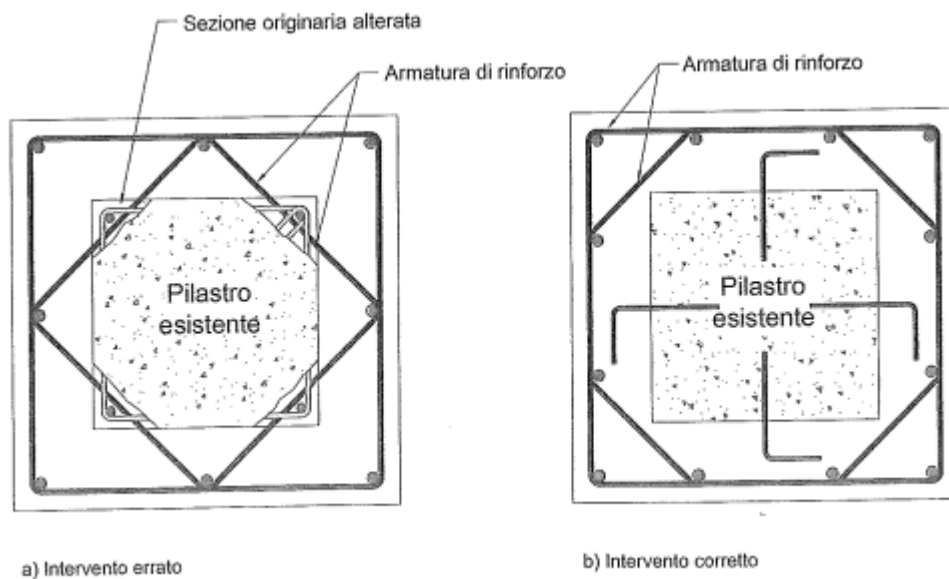


Slika 8: Primjeri ugradnje poprečne armature u slučaju trostranog pojačanja stupa [2]

Na Slici 9 prikazano je nekoliko različitih varijanti poprečne armature u slučaju potpunog omatanja stupa. Zbog lakše ugradnje primjenjene su otvorene spone, koje se nakon ugradnje zavaruju.



Slika 9: Prikaz armiranja stupa [2]



Slika 10: Prikaz postavljanja poprečne armature

- a) Neispravno jer dodatna unutarnja spona smanjuje (razara) postojeći poprečni presjek stupa
- b) Ispravan način armiranja [2]

## 2.2 Načini izvedbe

Metoda izrade pojačanja stupova započinje samim eliminiranjem opterećenja sa stupa (najčešće pomoću nekih podupirača). Ukoliko se radi o jako oštećenom stupu potrebno je odstraniti jako oštećene dijelove betona tako da prilikom odstranjivanja pazimo na susjedne elemente .

Ako je armatura korodirana odstranjujemo koroziju žičanim četkama te nanosimo zaštitne premaze. Dodajemo novu armaturu te premažemo postojeći stup epoksi-smolom radi bolje veze. Konzistencija betona, granulometrijski sastav, cement i v/c faktor trebaju biti takvi da beton bude gust, kompaktan i s minimalnim skupljanjem [4].



### **3. PRORAČUN POJAČANJA STUPA PRAVOKUTNOG POPREČNOG PRESJKA IZVEDBOM BETONSKOG OMOTAČA**

#### **3.1 Postupak proračuna**

U nastavku je prikazan postupak proračuna pojačanja stupa pravokutnog poprečnog presjeka izvedbom betonskog omotača.

Kod određivanja nosivosti pojačanog stupa u obzir možemo uzeti sljedeće pretpostavke koje nam olakšavaju postupak proračuna [3]:

-cijeli element se ponaša monolitno kao cjelina(stari i novi beton)

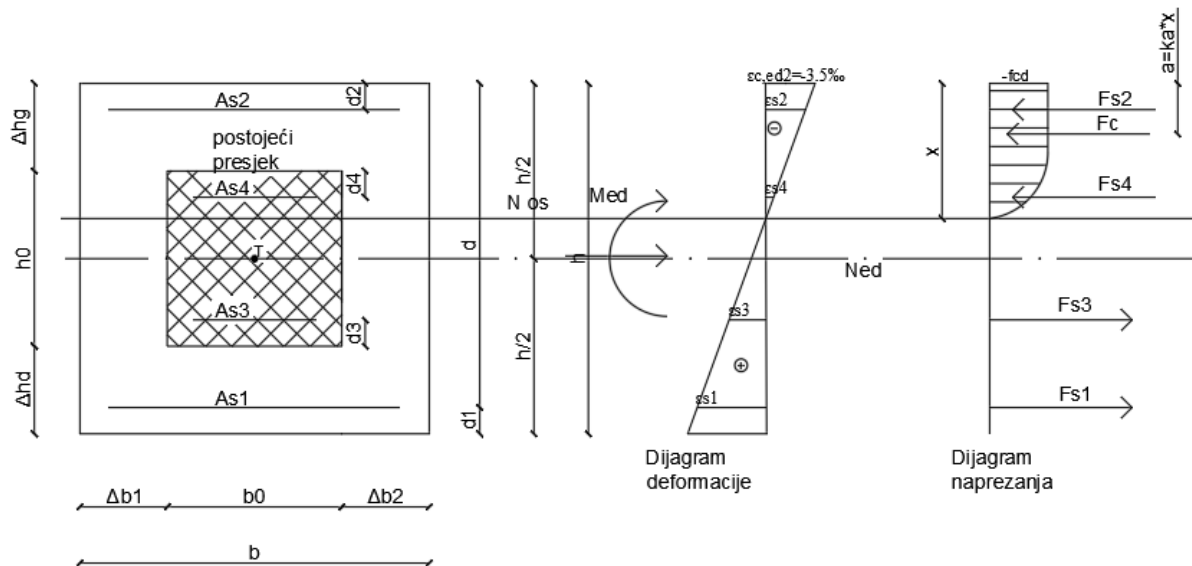
-uzima se da cijela osna sila djeluje na novi presjek

-svojstva novog betona se uzimaju za čitav presjek tj. računa se s povećanim presjekom kao monolitnom cjelinom

Vrijede sljedeće pretpostavke [6] :

- ravni presjeci i nakon deformacije ostaju ravni-vrijedi Bernulijeva hipoteza ravnih presjeka
- deformacije prijanjajuće armature u vlačnom i tlačnom području jednake su deformaciji okolnog betona
- raspodjela tlačnih naprezanja betona izvodi se iz proračunskog dijagrama naprezanje-relativna deformacija (parabola+pravac)
- naprezanja u čeliku za armiranje izvode se iz proračunskih dijagrama naprezanje-relativna deformacija (bilinearni dijagram s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacija)

Na slici 11 prikazan je opis poprečnog presjeka, položaj tlačnih i vlačnih sila te raspodjela relativnih deformacija.



Slika 11: Opis presjeka, dijagram naprezanja i deformacija, unutarnje i presječne sile

Iz uvjeta ravnoteže uzdužnih sila i momenata savijanja

$$N_{Ed} = N_{Rd} \quad (1)$$

$$M_{Ed} = M_{Rd} \quad (2)$$

dobivamo sljedeće izraze:

$$N_{Ed} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_c \quad (3)$$

$$M_{Ed} = F_{s1} * \left( \frac{h}{2} + d_1 \right) - F_{s2} * \left( \frac{h}{2} - d_2 \right) + F_{s3} * \left( \frac{h}{2} - \Delta h_d - d_3 \right) - F_{s4} * \left( \frac{h}{2} - \Delta h_g - d_4 \right) - F_c * \left( \frac{h}{2} - a \right) \quad (4)$$

gdje su  $F_{s1}, F_{s2}, F_{s3}, F_{s4}$  proračunske sile u armaturi, dok je  $F_c$  rezultanta proračunskih tlačnih naprezanja u betonu (tlačna sila).

Proračunske sile u armaturi dobivamo iz umnoška površine armature  $A_{s1}$  i naprezanja u armaturi  $\sigma_{s1}$ .

$$F_{s1} = A_{s1} * \sigma_{s1} \quad (5)$$

$$F_{s2} = A_{s2} * \sigma_{s2} \quad (6)$$

$$F_{s3} = A_{s3} * \sigma_{s3} \quad (7)$$

$$F_{s4} = A_{s4} * \sigma_{s4} \quad (8)$$

dok je proračunska tlačna sila u betonu jednaka:

$$F_c = -f_{cd} * \alpha_v * b * x \quad (9)$$

$\alpha_v$ -koeficijent punoće dijagrama tlačnih naprezanja

$k_a$ -koeficijent položaja tlačne sile s obzirom na tlačni rub. Za  $\epsilon_{c,ed2} = \epsilon_{cu2} = -3,5\%$  vrijedi  $\alpha_v = 0,810$  i  $k_a = 0,416$

Naprezanja u armaturi ovisna su o izduljenju armature, te za pretpostavljeni bilinearni dijagram s horizontalnom granom glase :

$$\sigma_{s1} = E * \epsilon_{s1} \leq f_{yd} \quad (10)$$

$$\sigma_{s2} = E * \epsilon_{s2} \leq f_{yd} \quad (11)$$

$$\sigma_{s3} = E * \epsilon_{s3} \leq f_{yd} \quad (12)$$

$$\sigma_{s4} = E * \epsilon_{s4} \leq f_{yd} \quad (13)$$

gdje je E modul elastičnosti čelika za armiranje ( $E = 200000$  Mpa).

Deformacije dobivamo iz dijagrama deformacija sa slike 11 iz sličnosti trokuta:

$$\frac{\epsilon_{s1}}{d - x} = \frac{-\epsilon_{c,ed2}}{x} \rightarrow \epsilon_{s1} = \frac{d - x}{x} * (-\epsilon_{c,ed2}) \quad (14)$$

$$\frac{-\epsilon_{s2}}{x - d_2} = \frac{-\epsilon_{c,ed2}}{x} \rightarrow \epsilon_{s2} = \frac{x - d_2}{x} * (-\epsilon_{c,ed2}) \quad (15)$$

$$\frac{\epsilon_{s3}}{(h - x) - \Delta h_d - d_3} = \frac{-\epsilon_{c,ed2}}{x} \rightarrow \epsilon_{s3} = \frac{h - x - \Delta h_d - d_3}{x} * (-\epsilon_{c,ed2}) \quad (16)$$

$$\frac{-\epsilon_{s4}}{x - \Delta h_g - d_4} = \frac{-\epsilon_{c,ed2}}{x} \rightarrow \epsilon_{s4} = \frac{x - \Delta h_g - d_4}{x} * (-\epsilon_{c,ed2}) \quad (17)$$

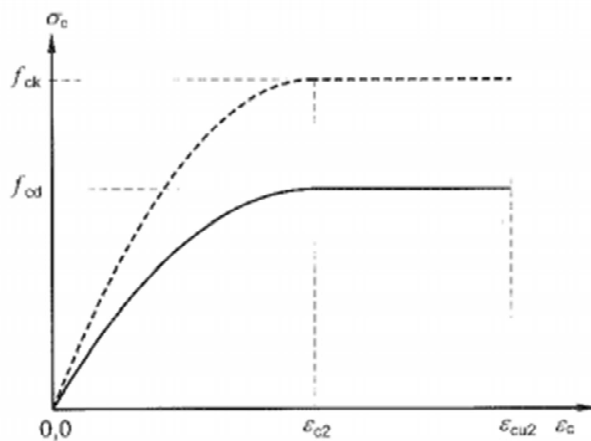
položaj neutralne osi možemo dobiti iz izraza:

$$x = \frac{-d\varepsilon_{c,ed2}}{\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{c,ed2}} \quad (18)$$

Za pretpostavljene relativne deformacije  $\varepsilon_{c,ed} = \varepsilon_{c,ed2} = -3,5 \text{ ‰}$  i neki  $\varepsilon_{s1}$ , moguće je iz sličnosti trokuta odrediti i sve ostale deformacije armature, te uz pretpostavljenu novu armaturu pojačanja proračunati nosivost pojačanog presjeka. Izrazi su napisani za općeniti oblik, i mogu se koristiti za povećanje poprečnog presjeka s jedne, dvije, tri ili sve četiri strane stupa (potpuno omatanje).

## 3.2. Proračunski dijagrami

### 3.2.1. Proračunski dijagram betona



$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$f_{cd}$ -proračunska tlačna čvrstoća betona

$\gamma_c$  -koeficijent sigurnosti

$f_{ck}$ -karakteristična tlačna čvrstoća betona

Slika 12:Dijagram parabola-horizontalni pravac za beton[ 5]

$\alpha_{cc}$  je koeficijent kojim se u obzir uzimaju dugotrajni učinci na tlačnu čvrstoću i nepovoljni učinci koji su posljedica načina opterećivanja. Vrijednost preporučena po normi HRN EN 1992-1-1 je  $\alpha_{cc}=1,0$ , dok je parcijalni koeficijent sigurnosti za beton  $\gamma_c=1,5$ .

Za proračun koristimo odnos naprežanje-relativna deformacija koji se sastoji od dijela parabole i horizontalnog pravca. Takav dijagram se može definirati:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \text{ za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (19)$$

gdje je za C12/15-C50/60:

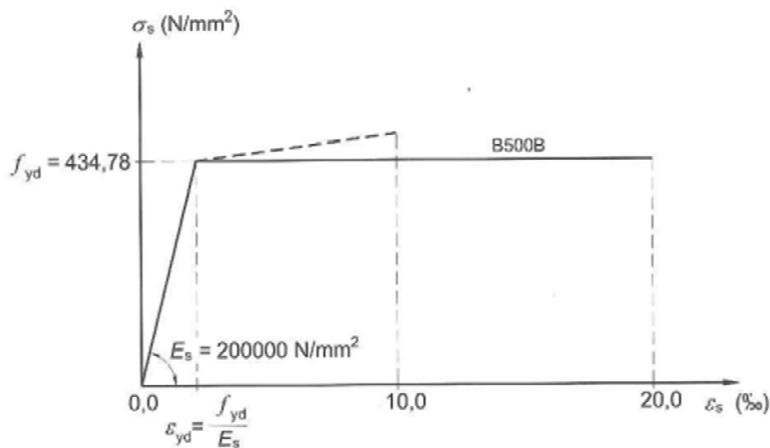
$n=2,0$

$\varepsilon_{c2}$ -relativna deformacija kad je doseguta čvrstoća -2‰

$\varepsilon_{cu}$ -relativna deformacija -3,5‰

### 3.2.2. Proračunski dijagram za čelik

U ovom radu upotrijebljen je proračunski dijagram naprežanje-deformacija čelika za armiranje s horizontalnom gornjom granom.



Slika 13: Proračunski dijagram naprežanje-deformacija čelika [6]

Oznake na slici 13 su:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$f_{yk}$ -karakteristična granica popuštanja čelika

$f_{yd}$ -proračunska granica popuštanja čelika

$\gamma_s$ -koeficijent sigurnosti za čelik=1,1

## 4. PRIMJERI

U nastavku će biti prikazano na primjeru postojećeg stupa dimenzija 30\*30 cm kako na njega utječu različita pojačanja. Prvo će biti izračunata nosivost postojećeg presjeka, te nakon toga će biti izračunano kako svako pojačanje utječe na nosivost. Prethodno izvedeni izrazi za proračun nosivosti pojačanog presjeka upisani su u program za tablično računanje(Excel). Rezultati su također uspoređeni s programskim paketom Gala Reinforcement[7].

Proračun je proveden na četiri primjera:

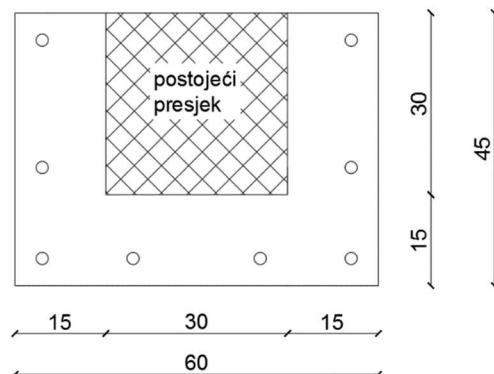
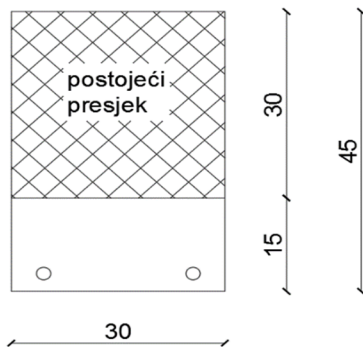
Karakteristike materijala: beton C 30/37, čelik B500B

1) Pojačanje s jedne strane

3) Pojačanje s tri strane

Za ojačanje dodane su 2  $\Phi 16$  šipke.

Za ojačanje dodano je 8  $\Phi 16$  šipki.

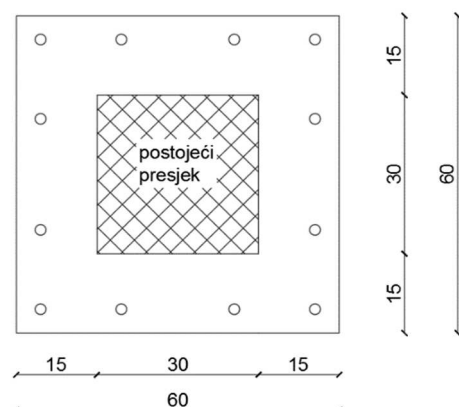
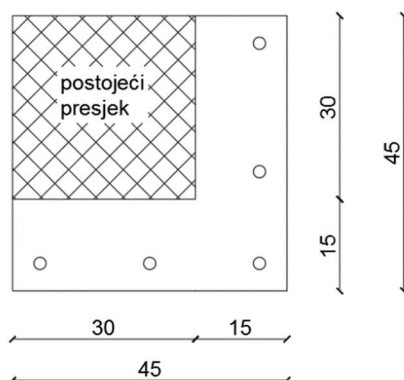


2) Pojačanje s dvije strane

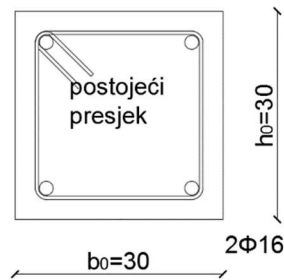
4) Pojačanje sa četiri strane

Za ojačanje dodano je 5  $\Phi 16$  šipki.

Za ojačanje dodano je 12  $\Phi 16$  šipki.



## Proračun nosivosti postojećeg poprečnog presjeka



Slika 14: Postojeći presjek stupa

Prvo započinjemo sa proračunom nosivosti postojećeg presjeka. Inače se postupak dimenzioniranja provodi tako da sa zadanim opterećenjima tražimo potrebnu armaturu za presjek, ali u ovom slučaju idemo obrnutim postupkom: već imamo poznatu armaturu stoga ćemo obrnutim postupkom pomoću uzdužne sile  $N_{Ed}$  i postojeće armature  $A_{s1}$  dobiti moment savijanja  $M_{Ed}$ , odnosno odrediti ćemo nosivost postojećeg presjeka.

$$N_{Ed} = -400 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$A_{s1} = 4,02 \text{ cm}^2 \quad (2 \Phi 16)$$

$$C30/37$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b * h * f_{cd}} = \frac{-400}{30 * 30 * 2,0} = 0,222$$

$$\omega = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{b * h * f_{cd}} = \frac{4,02 * 43,48}{30 * 30 * 2,0} = 0,097$$

Sa dobivenim podacima iz dijagrama interakcije i očitavamo  $\mu_{Ed} = 0,151$  [7]. Izračunamo traženi moment  $M_{Ed}$  i dobijemo nosivost starog presjeka.

$$M_{Ed} = \mu_{Ed} * b * h^2 * f_{cd} = 0,151 * 30 * 30^2 * 2,0 = 81,54 \text{ kNm}$$

Nakon proračunate nosivosti starog presjeka krećemo sa računanjem utjecaja različitih pojačanja na nosivost presjeka.

## 4.1 Primjer 1.-Povećanje presjeka stupa samo s jedne strane

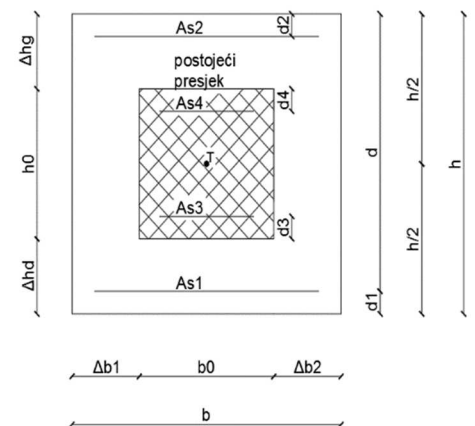
beton	C 30/37	f <sub>ck</sub>	30,00 MPa	f <sub>cd</sub>	2,00 kN/cm <sup>2</sup>	k <sub>a</sub>	0,416
čelik	B500B	f <sub>yk</sub>	500,00 MPa	f <sub>yd</sub>	43,48 kN/cm <sup>2</sup>	alfa	0,81
	širina	b <sub>0</sub>	30,00 cm			E <sub>s</sub>	20000 kN/cm <sup>2</sup>
	visina	h <sub>0</sub>	30,00 cm				
Stari presjek		d <sub>4</sub>	4,50 cm				
		d <sub>3</sub>	4,50 cm				
	2fi16	As <sub>4</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>				
	2fi16	As <sub>3</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>				

Novi presjek	povećanje širine	Δb	0,00 cm	b	30,000 cm	Δh <sub>g</sub>	0 cm
	povećanje visine	Δh	15,00 cm	h	45,000 cm	Δh <sub>d</sub>	15 cm

	d <sub>1</sub>	4,50 cm	d	40,50 cm
	ΔAs <sub>1</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>	As <sub>1</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>2</sub>	0,00 cm <sup>2</sup>	As <sub>2</sub>	0,00 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>3</sub>	0,00 cm <sup>2</sup>	As <sub>3</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>4</sub>	0,00 cm <sup>2</sup>	As <sub>4</sub>	4,02 cm <sup>2</sup>
	d <sub>2</sub>	0,00 cm	Astot	12,060 cm <sup>2</sup>

ε <sub>c,ed2</sub>	-3,50 ‰
ε <sub>s1</sub>	6,70 ‰
x	13,90 cm
ε <sub>s4</sub>	-2,37 ‰
ε <sub>s3</sub>	2,92 ‰
ε <sub>s2</sub>	-3,50 ‰

zadaje se deformacija aramture



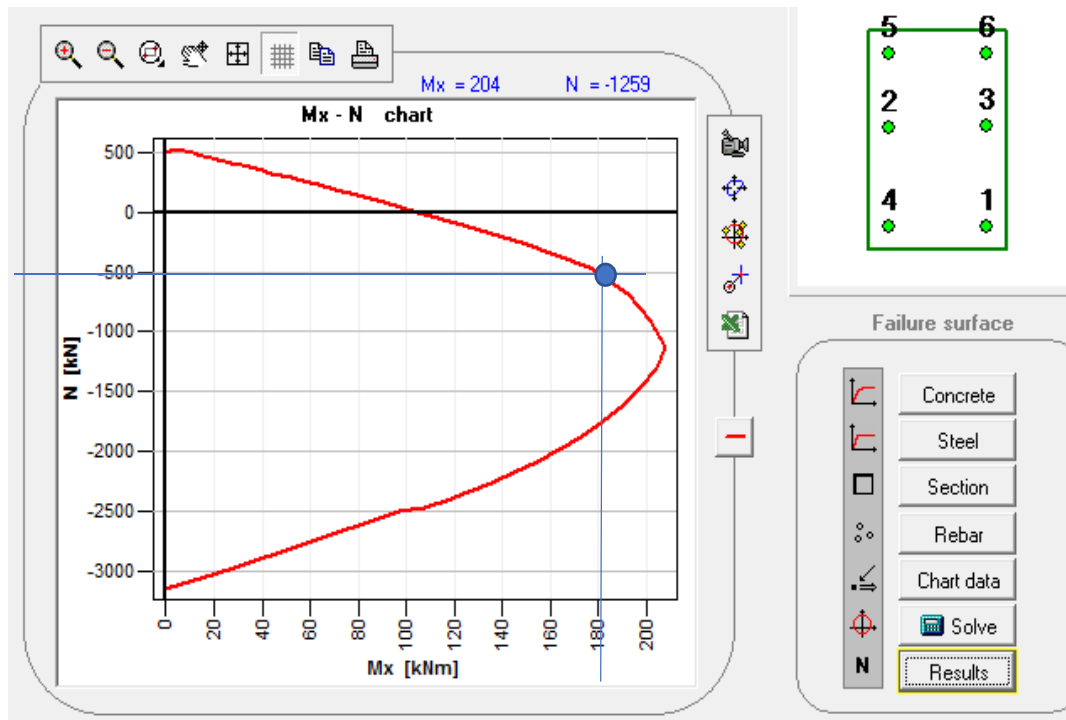
σ <sub>S4d</sub>	-47,34 max	-43,48	σ <sub>S4d</sub>	-43,48 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S3d</sub>	58,43 max	43,48	σ <sub>S3d</sub>	43,48 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S1d</sub>	133,98 max	43,48	σ <sub>S1d</sub>	43,48 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S2d</sub>	-70,00 max	-43,48	σ <sub>S2d</sub>	-43,48 kN/cm <sup>2</sup>

FS <sub>4d</sub>	-174,79 kN	h/2-Δh <sub>g</sub> -d <sub>1</sub>	18,00
FS <sub>3d</sub>	174,79 kN		3,00
FS <sub>1d</sub>	174,79 kN		18,00
FS <sub>2d</sub>	0,00 kN		22,50
F <sub>c</sub>	-675,46 kN		16,72

N <sub>Ed</sub>	-500,67 kN
M <sub>Ed</sub>	181,09 kNm

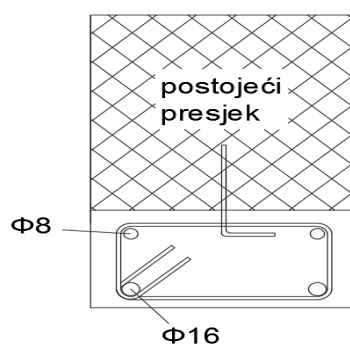


Slika 15 prikazuje krivulju granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile za primjer 1 dobiven programskim paketom Gala Reinforcement[7]. Možemo primjetiti kako se dobiveni rezultat  $N_{Ed}=-500,67$  kN i  $M_{Ed}=181,09$  kNm nalazi na krivulji interakcije, čime je dokazano da je izvedeni postupak pojačanja stupova ispravan.



Slika 15:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 1

Na slici 16 prikazan je je prijedlog pojačanja stupa povećanjem presjeka samo s jedne strane stupa: uz novu glavnu armaturu 2  $\Phi 16$  postavljene su dodatne zatvorene spone i 2  $\Phi 8$ (montažna armatura). Za povezivanje starog i novog presjeka predložene su šipke koje se ugrađuju u rupe izbušene u postojećem presjeku stupa, dok u novom presjeku završavaju kukom zbog boljeg sidrenja.



Slika 16:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 1

## 4.2 Primjer 2.-Povećanje presjeka stupa s dvije susjedne strane

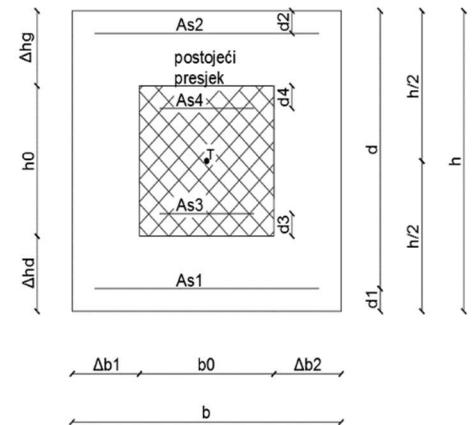
beton	C 30/37	f <sub>ck</sub>	30,000 MPa	f <sub>cd</sub>	2,000 kN/cm <sup>2</sup>	ka	0,416
čelik	B500B	f <sub>yk</sub>	500,000 MPa	f <sub>yd</sub>	43,480 kN/cm <sup>2</sup>	alfa	0,81
	širina	b <sub>0</sub>	30,000 cm			Es	20000 kN/cm <sup>2</sup>
	visina	h <sub>0</sub>	30,000 cm				
Stari presjek		d <sub>4</sub>	4,500 cm				
		d <sub>3</sub>	4,500 cm				
	2fi16	As <sub>4</sub>	4,020 cm <sup>2</sup>				
	2fi16	As <sub>3</sub>	4,020 cm <sup>2</sup>				

Novi presjek	povećanje Δb	15,000 cm	b	45,000 cm	Δhg	0 cm
	povećanje Δh	15,000 cm	h	45,000 cm	Δhd	15 cm

	d <sub>1</sub>	4,500 cm	d	40,500 cm
	ΔAs <sub>1</sub>	6,030 cm <sup>2</sup>	As <sub>1</sub>	6,030 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>2</sub>	0,000 cm <sup>2</sup>	As <sub>2</sub>	0,000 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>3</sub>	2,010 cm <sup>2</sup>	As <sub>3</sub>	6,030 cm <sup>2</sup>
	ΔAs <sub>4</sub>	2,010 cm <sup>2</sup>	As <sub>4</sub>	6,030 cm <sup>2</sup>
	d <sub>2</sub>	0,000 cm	A <sub>stot</sub>	18,090 cm <sup>2</sup>

ε <sub>c,ed2</sub>	-3,500 ‰
ε <sub>s1</sub>	9,752 ‰
x	10,696 cm
ε <sub>s4</sub>	-2,028 ‰
ε <sub>s3</sub>	4,844 ‰
ε <sub>s2</sub>	-3,500 ‰

zadaje se deformacija aramture

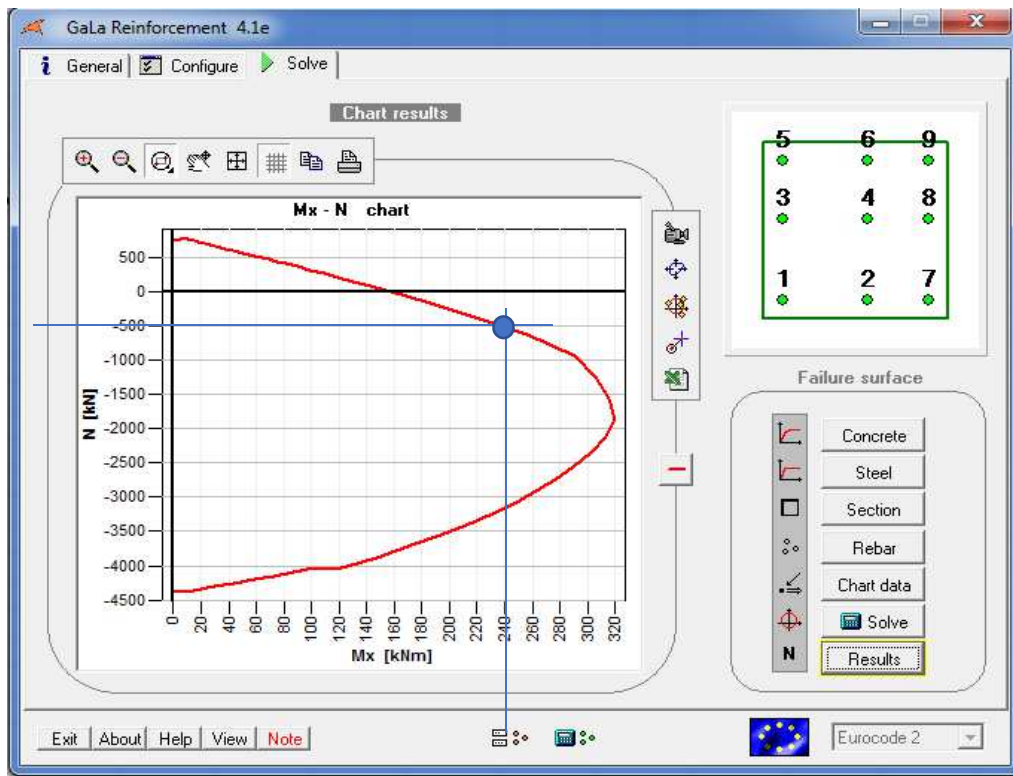


σ <sub>S4d</sub>	-40,551 max	-43,480	σ <sub>S4d</sub>	-40,5511 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S3d</sub>	96,877 max	43,480	σ <sub>S3d</sub>	43,48 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S1d</sub>	195,040 max	43,480	σ <sub>S1d</sub>	43,48 kN/cm <sup>2</sup>
σ <sub>S2d</sub>	-70,000 max	-43,480	σ <sub>S2d</sub>	-43,48 kN/cm <sup>2</sup>

FS <sub>4d</sub>	-244,523 kN	h/2-Δhg-d <sub>3</sub>	18,000
FS <sub>3d</sub>	262,184 kN		3,000
FS <sub>1d</sub>	262,184 kN		18,000
FS <sub>2d</sub>	0,000 kN		22,500
F <sub>c</sub>	-779,775 kN		18,050

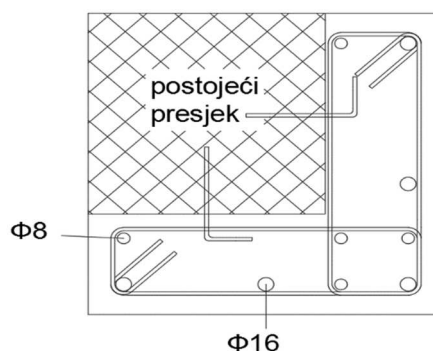
NE <sub>d</sub>	-499,929 kN
ME <sub>d</sub>	239,824 kNm

Slika 17 prikazuje krivulju granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile za primjer 2 dobiven programskim paketom Gala Reinforcement[7]. Možemo primjetiti kako se dobiveni rezultat  $N_{Ed}=-499,93$  kN i  $M_{Ed}=239,824$  kNm nalazi na krivulji interakcije, čime je dokazano da je izvedeni postupak pojačanja stupova ispravan.



Slika 17: Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 2

Na slici 18 prikazan je prijedlog pojačanja stupa povećanjem presjeka sa dvije susjedne strane: uz novu glavnu armaturu 5  $\Phi 16$  postavljene su i dodatne zatvorene sponne te 5  $\Phi 8$  (montažna armatura). Za povezivanje starog i novog presjeka i ovdje su kao u prethodnom primjeru predložene sidrene šipke s kukom.



Slika 18: Prijedlog pojačanja stupa-primjer 2

### 4.3 Primjer 3.-Povećanje presjeka stupa sa tri strane

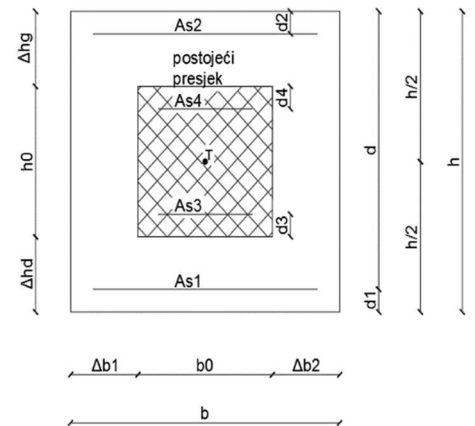
beton	C 30/37	fck	30,00 MPa	fcd	2,000 kN/cm <sup>2</sup>	ka	0,416
čelik	B500B	fyk	500,00 MPa	fyd	43,480 kN/cm <sup>2</sup>	alfa	0,81
	širina	b0	30,00 cm			Es	20000 kN/cm <sup>2</sup>
	visina	h0	30,00 cm				
Stari presjek		d4	4,50 cm				
		d3	4,50 cm				
	2fi16	As4	4,02 cm <sup>2</sup>				
	2fi16	As3	4,02 cm <sup>2</sup>				

Novi presjek	povećanje Δb	30,000 cm	b	60,000 cm	Δhg	0 cm
	povećanje Δh	15,000 cm	h	45,000 cm	Δhd	15 cm

d1	4,50 cm	d	40,50 cm
ΔAs1	4,02 cm <sup>2</sup>	As1	8,04 cm <sup>2</sup>
ΔAs2	0,00 cm <sup>2</sup>	As2	0,00 cm <sup>2</sup>
ΔAs3	4,02 cm <sup>2</sup>	As3	8,04 cm <sup>2</sup>
ΔAs4	4,02 cm <sup>2</sup>	As4	8,04 cm <sup>2</sup>
d2	0,00 cm	Astot	24,12 cm <sup>2</sup>

ε c,ed2	-3,50 ‰
εs1	11,68 ‰
x	9,34 cm
ε s4	-1,81 ‰
ε s3	6,06 ‰
ε s2	-3,50 ‰

zadaje se deformacija armature

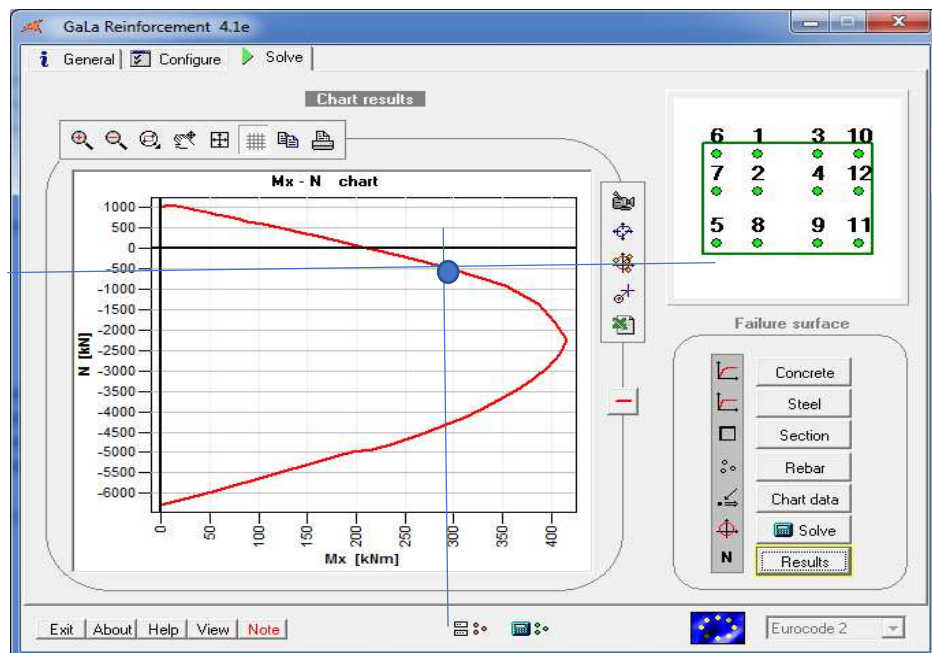


σS4d	-36,26 max	-43,480	σS4d	-36,3 kN/cm <sup>2</sup>
σS3d	121,17 max	43,480	σS3d	43,5 kN/cm <sup>2</sup>
σS1d	233,62 max	43,480	σS1d	43,5 kN/cm <sup>2</sup>
σS2d	-70,00 max	-43,480	σS2d	-43,5 kN/cm <sup>2</sup>

FS4d	-291,57 kN	h/2-Δhg-d3	18,000
FS3d	349,58 kN		3,000
FS1d	349,58 kN		18,000
FS2d	0,00 kN		22,500
Fc	-907,59 kN		18,616

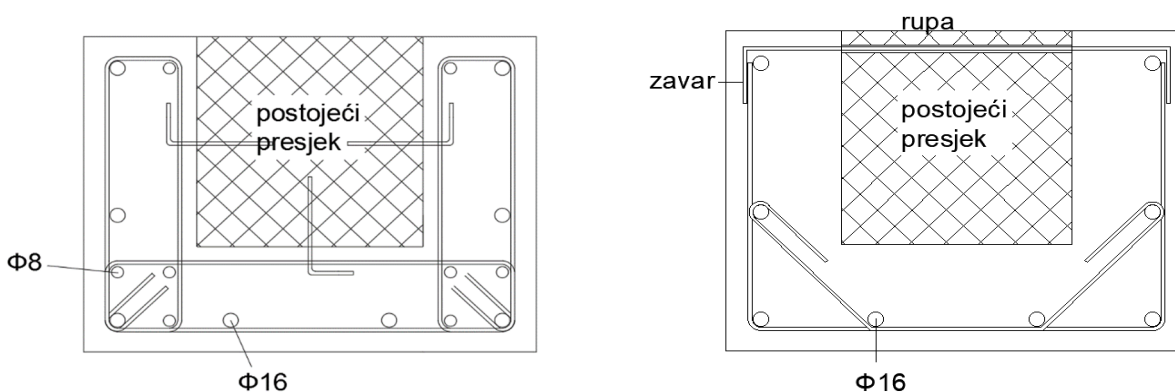
NEd	-500,00 kN
MEd	294,85 kNm

Slika 19 prikazuje krivulju granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile za primjer 3 dobiven programskim paketom Gala Reinforcement[7]. Možemo primjetiti kako se dobiveni rezultat  $N_{Ed}=-500$  kN i  $M_{Ed}=294,85$  kNm nalazi na krivulji interakcije, čime je dokazano da je izvedeni postupak pojačanja stupova ispravan.



Slika 19:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 3

Na slici 20 prikazana su 2 prijedloga pojačanja stupa. Prvi prijedlog prikazuje novu glavnu armaturu od 8  $\Phi 16$  šipki te 3 zatvorene spone uz 8  $\Phi 8$  šipki(montažna armatura). U drugom prijedlogu na strani stupa koja nema pojačanja u postojećem presjeku izbušena je rupa za sidrenje spona koja se zavaruje za drugu sponu. Na dnu se dodaje još jedna spona. U ovom slučaju nije potrebna dodatna montažna armatura.



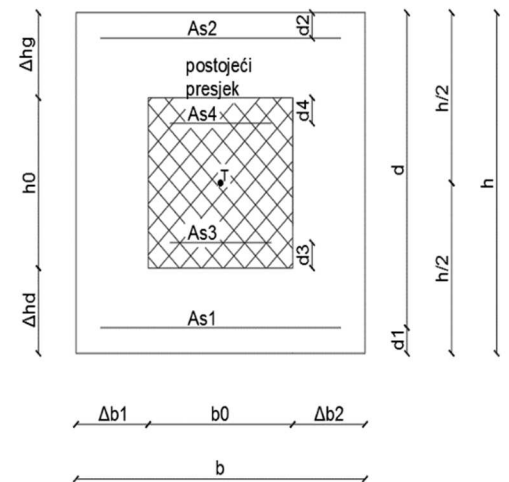
Slika 20:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 3

#### 4.4 Primjer 4.-Potpuno omatanje postojećeg presjeka

beton	C 30/37	fck	30.00 MPa	fcd	2.000 kN/cm <sup>2</sup>	ka	0.416
čelik	B500B	fyk	500.00 MPa	fyd	43.480 kN/cm <sup>2</sup>	alfa	0.810
	širina	b0	30.00 cm			Es	20000 kN/cm <sup>2</sup>
	visina	h0	30.00 cm				
Stari presjek		d4	4.50 cm				
		d3	4.50 cm				
	2f16	As4	4.02 cm <sup>2</sup>				
	2f16	As3	4.02 cm <sup>2</sup>				

Novi presjek	povećanje širine	$\Delta b$	30.000 cm	b	60.000 cm	$\Delta hg$	15.000 cm
	povećanje visine	$\Delta h$	30.000 cm	h	60.000 cm	$\Delta hd$	15.000 cm

	d1	4.50 cm	d	55.50 cm
	$\Delta As1$	4.02 cm <sup>2</sup>	As1	8.04 cm <sup>2</sup>
	$\Delta As2$	4.02 cm <sup>2</sup>	As2	8.04 cm <sup>2</sup>
	$\Delta As3$	4.02 cm <sup>2</sup>	As3	8.04 cm <sup>2</sup>
	$\Delta As4$	4.02 cm <sup>2</sup>	As4	8.04 cm <sup>2</sup>
	d2	4.50 cm	Astot	32.160 cm <sup>2</sup>
$\epsilon_{c,ed2}$	-3.50 ‰			
$\epsilon_{s1}$	12.42 ‰			zadaje se deformacija armature
x	12.20 cm			
$\epsilon_{s4}$	2.09 ‰			
$\epsilon_{s3}$	8.12 ‰			
$\epsilon_{s2}$	-2.21 ‰			

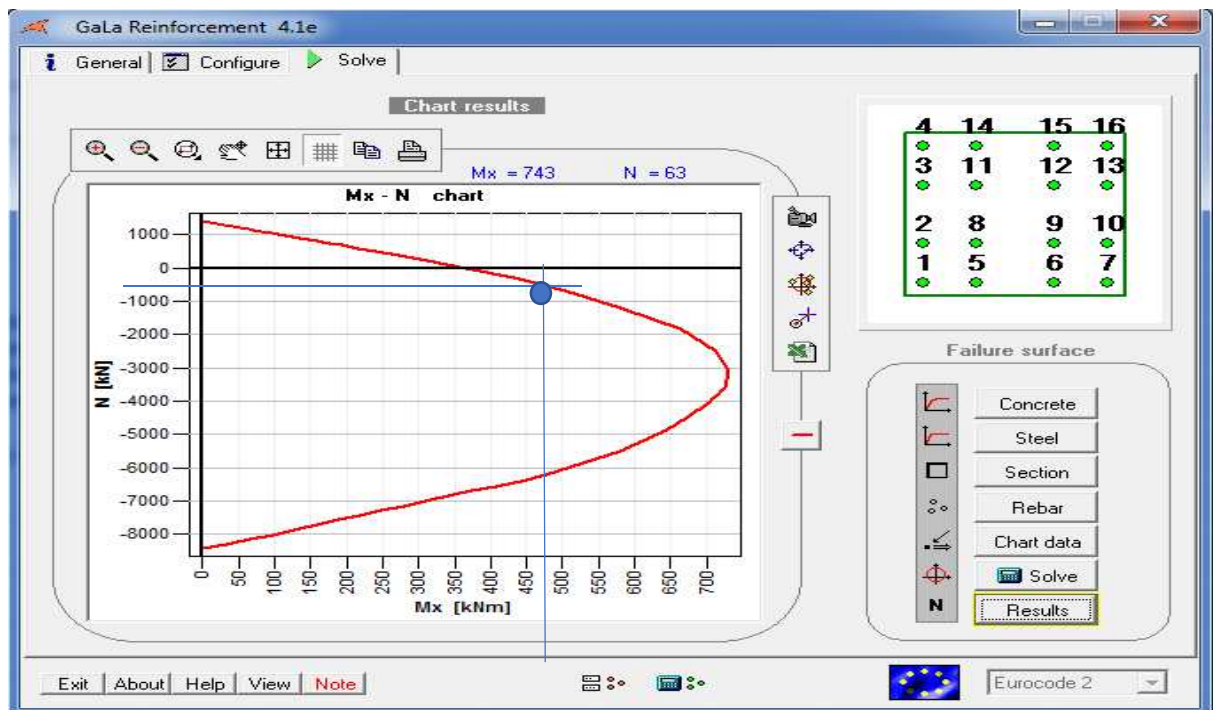


$\sigma_{s4d}$	41.87 max	-43.48	$\sigma_{s4d}$	41.87 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{s3d}$	162.35 max	43.48	$\sigma_{s3d}$	43.48 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{s1d}$	248.40 max	43.48	$\sigma_{s1d}$	43.48 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{s2d}$	-44.18 max	-43.48	$\sigma_{s2d}$	-43.48 kN/cm <sup>2</sup>

FS4d	336.64 kN	$h/2 - \Delta hg - d3$	10.50
FS3d	349.58 kN		10.50
FS1d	349.58 kN		25.50
FS2d	-349.58 kN		25.50
Fc	-1186.00 kN		24.92

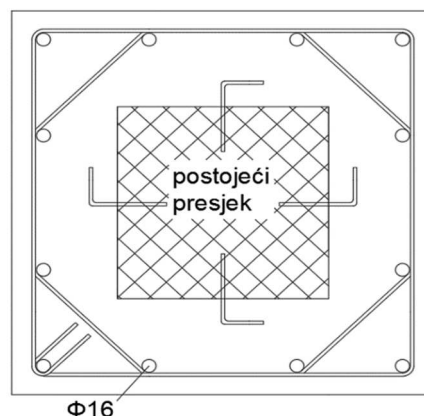
NEd	-499.78 kN
MEd	475.24 kNm

Slika 21 prikazuje krivulju granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile za primjer 4 dobiven programskim paketom Gala Reinforcement[7]. Možemo primjetiti kako se dobiveni rezultat  $N_{Ed}=-499,78$  kN i  $M_{Ed}=475,24$  kNm nalazi na krivulji interakcije, čime je dokazano da je izvedeni postupak pojačanja stupova ispravan.



Slika 21:Krivulja granične nosivosti u interakciji graničnog momenta savijanja i uzdužne sile-primjer 4

Na slici 22 prikazan je prijedlog pojačanja stupa u slučaju potpunog omatanja koji uključuje: nova glavna armatura 12  $\Phi 16$ , vanjsku zatvorenu i dodatnu osmerokutnu sponu.



Slika 22:Prijedlog pojačanja stupa-primjer 4

## 5. Zaključak

Pojačanja elementa izrađujemo kada želimo: prenijeti veća opterećenja od postojećih, ako želimo ispraviti pogreške u izgradnji, ako želimo povećati nosivost elemenata, ako želimo vratiti projektiranu nosivost oštećenom elementu uslijed potresa ili požara.

Pojačanje se radi kao oblaganje dodavanjem betona i armature odnosno povećanjem samog presjeka stupa. Ova tehnika ima nekoliko pozitivnih efekata: da povećava nosivost elementa, posmičnu čvrstoću, nosivost na savijanje, povećava posmičnu čvrstoću i vezu u spoju kroz koji se pojačanje nastavlja, štiti staru armaturu od korozije te povećava deformacijski kapacitet stupa.

U ovom radu analizirali smo četiri primjera pojačanja postojećeg stupa kojem je bilo potrebno povećati nosivost. Dobiveni rezultati uspoređeni su s programom Gala Reinforcemnet. Uočeno je da povećanjem dimenzija poprečnog presjeka dolazi do znatnog povećanja nosivosti stupa.



## Literatura

- [1.] fib bulletin 35:Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications,2006.
- [2.] S.Lombardo: Miglioramento e adeguamento sismico di strutture in cemento armato, Dario Flaccovio Editore, 2018.
- [3.] M.N.Fardis: Seismic Assessment and Retrofitting of Existing Concrete Buildings, 2009.
- [4.] I. TOMIČIĆ: Betonske konstrukcije, Zagreb, 1996.
- [5.] HRN EN 1992-1-1:2013: Eurokod 2, Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)
- [6.] Z.Sorić,T.Kišiček:Betonske konstrukcije 1, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2014.
- [7.] Gala Reinforcement- <http://www.alashki.com/software.htm>, 1997.- 2002.(pristupljeno:01.08.19.)