

Spoj montažnog armiranobetonskog stupa i temelja

Švagelj, Antun

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:157:354611>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Antun Švigelj

Spoj montažnog armiranobetonskog stupa i temelja

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo

Montažne konstrukcije

**Antun Švigelj
JMBAG: 0114018177**

Spoj montažnog armiranobetonskog stupa i temelja

Završni rad

Rijeka, srpanj 2019.

Naziv studija: **Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo**
Znanstveno područje: Tehničke znanosti
Znanstveno polje: Građevinarstvo
Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

SPOJ MONTAŽNOG ARMIRANOBETONSKOG STUPA I TEMELJA
PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE COLUMN TO FOUNDATION CONNECTION

Kandidat: **ANTUN ŠVAGELJ**
Kolegij: **MONTAŽNE KONSTRUKCIJE**
Završni rad broj: **19-ST-35**

Zadatak:

Kandidat treba analizirati nekoliko različitih varijanti upetog spoja montažnih armiranobetonskih stupova i temelja:

- a) temeljnu čašicu,
- b) spoj s čeličnom podložnom pločom (vijčani spoj po uzoru na spojeve kod čeličnih konstrukcija),
- c) žljebove ispunjene mortom (injektiranje prethodno izvedenih kanala – ostvarivanje kontinuiteta preko armature).

Također treba razmotriti i jedan primjer patentiranih spojeva – npr. Peikko čeličnu podložnu stopu kao zamjensku varijantu čelične podložne ploče.

U prvom dijelu rada potrebno je teorijski obraditi navedene varijante spojeva, uključujući osnovne karakteristike, posebnosti, prednosti, preporuke za izvedbu i proračun, dok je u drugom dijelu rada potrebno za jedan armiranobetonski stup proračunati sve varijante spojeva.

Tema rada je uručena: 15. veljače 2019.

Mentor:

doc. dr. sc. Paulo Ščulac,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom i 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.



Antun Švagelj

U Rijeci, 27. lipnja 2019.

SAŽETAK

U ovom radu razmatrano je nekoliko različitih varijanti upetog spoja montažnih armiranobetonskih stupova i temelja: (i) temeljna čašica, (ii) žljebovi ispunjeni mortom (korištenje armaturnih šipki iz temelja), (iii) spoj s temeljnom podložnom pločom (vijčani spoj), te (iv) čelična podložna stopa kao zamjenska varijanta čelične podložne ploče kod stupova većeg poprečnog presjeka.

Za svaku su vrstu spoja u prvom dijelu rada dane osnovne karakteristike spoja, prednosti i nedostaci te preporuke za izvedbu i proračun, dok su u drugom dijelu rada prikazani proračuni na primjeru montažnog armiranobetonskog jednokatnog stupa industrijske hale.

KLJUČNE RIJEČI: montažne betonske konstrukcije, spoj stup-temelj, upeti spoj, temeljna čašica, žljebovi ispunjeni mortom, spoj s čeličnom podložnom pločom

ABSTRACT

In this work several different variants of moment resisting prefabricated reinforced concrete column to foundation connection are analysed: (i) column pocket foundation, (ii) grouted sleeves (using projecting bars from foundation into sleeves in the column), (iii) base steel plate connection (bolted connection) and (iv) column steel shoe connection as an alternate variant to base steel plate connection in case of columns with greater cross-section.

In the first part of the work basic features of the connections, advantages and disadvantages as well as recommendations for the manufacture and design are given, while the second part contains design of a prefabricated reinforced concrete column of a single-story industrial warehouse for each type of the considered connection.

KEYWORDS: prefabricated concrete structures, column-base connection, moment resisting connection, pocket foundation, grouted sleeves, base steel plate connection

SADRŽAJ

1. UVOD	3
2. NAČINI SPOJA MONTAŽNOG ARMIRANOBETONSKOG STUPA I TEMELJA	5
2.1. Spoj stup-temelj s temeljnom čašicom	5
2.2. Spoj stup-temelj s temeljnom podložnom pločom (čeličnom stopom; vijčani spoj)	13
2.3. Spoj stup-temelj izveden injektiranjem prethodno izvedenih kanala	16
2.4. Izvođenje spoja stup-temelj s patentiranim spojem <i>Peikko Column Shoe</i> sustavom (čelične stope)	21
3. PRIMJERI PRORAČUNA SPOJA MONTAŽNOG STUPA I TEMELJA	25
3.1. Proračun uzdužne i poprečne armature stupa	25
3.2. Temeljna čašica s glatkom stijenkom	28
3.3. Čelična podložna ploča veća od presjeka stupa	34
3.4. Čelična podložna ploča poravnata s presjekom stupa	37
3.5. Patentirani Peikko Column Shoe sustav	40
3.6. Žljebovi ispunjeni cementnim mortom (injektiranje prethodno izvedenih kanala)	41
4. ZAKLJUČAK	44

Popis slika:

Slika 1: Vrste temelja a) temeljna čašica, b) upuštena temeljna čašica, c) stup i temelj kao zajednički prefabricirani element, d) vijčani spoj [9]

Slika 2: Načini izvođenja temeljne čašice [8]

Slika 3: Čašica s bočnim armaturnim sponama za spoj s veznim gredama a) prije betoniranja temeljne stope, b) nakon betoniranja temeljne stope [8]

Slika 4: Betonska temeljna čašica tip A sa sponama za monolitno povezivanje sa temeljnom stopom [2]

Slika 5: Skica spoja stup-temelj izvedenog pomoću temeljne čašice

Slika 6: Spoj stup-temelj izveden pomoću temeljne čašice [2]

Slika 7: Temeljna čašica a) s glatkom stijenkom, b) s hrapavom stijenkom [5]

Slika 8: Model temelja s upuštenom čašicom s glatkom ili hrapavom stijenkom [2]

Slika 9: Unutarnje i vanjske sile kod temeljne čašice [6]

Slika 10: Način armiranja temeljne čašice s glatkom stijenkom [5]

Slika 11: Način armiranja temelja s upuštenom čašicom s hrapavim stijenkama [5]

Slika 12: Skica spoja stup-temelj s podložnom pločom

Slika 13 Predložak za ugradnju sidrenih vijaka u temelj [1]

Slika 14: Spoj stup temelj s proširenom podložnom pločom [2]

Slika 15: „Flush“ temeljna ploča s ostavljenim džepovima u uglovima [2]

Slika 16: Podložna ploča sa zavarenim rebrastim armaturnim šipkama [3]

Slika 17: Spoj stup-temelj injektiranjem prethodno izvedenih kanala a) šipke izlaze iz temelja, b) šipke izlaze iz stupa [3]

Slika 18: Skica spoja stup-temelj izvedenog injektiranjem prethodno izvedenih kanala

Slika 19: Ispuna kanala a) punjenje s gornje strane kod većih promjera , b) punjenje s donje strane pomoću pritiska [3]

- Slika 20: Kanali u stupu formirani od rebrastih čeličnih cijevi [2]
- Slika 21: Prijenos sila između šipki u spoju s preklopom [3]
- Slika 22: Spoj stup-temelj izveden injektiranjem prethodno izvedenih kanala [2]
- Slika 23: Peikko sidreni vijci (HPM Anchor bolts) [7]
- Slika 24: Raspored čeličnih stopa u Peikko Column Shoe sustavu [4]
- Slika 25: Peikko čelična stopa sa sidrenim vijkom (*HPKM Column shoe*) [4]
- Slika 26: Dimenzije (mm), težine (kg) i kodovi boja u HPKM Column Shoe sustavu [4]
- Slika 27: Način armiranja u Peikko Column Shoe sustavu [5]
- Slika 28: Postupak instalacije stupa pomoću HPKM Column Shoe sustava [4]

1. UVOD

Montažne konstrukcije su sve češće zastupljene u građevinarstvu zbog svojih mnogih prednosti.

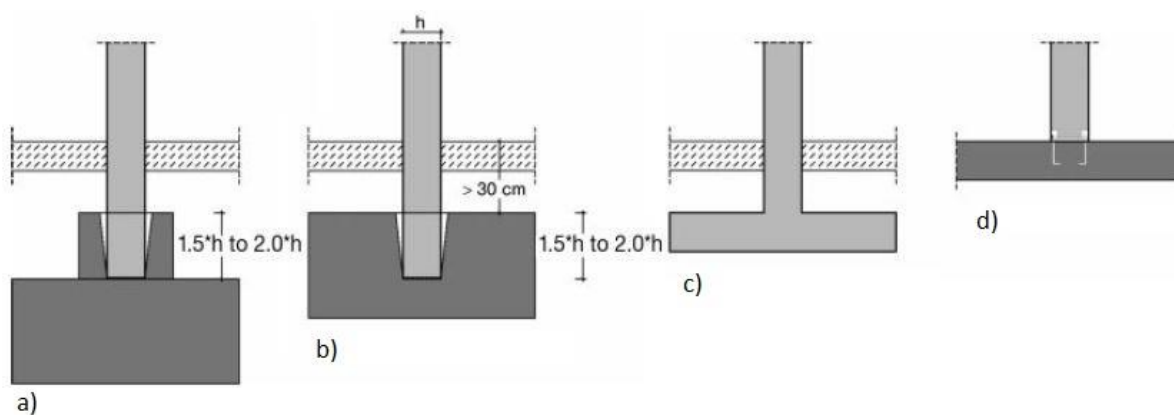
Neke od najznačajnijih prednosti montažne gradnje su:

- ekonomičnost gradnje,
- dobra energetska učinkovitost,
- brzina gradnje zbog predgotovljenih segmenata.

Osnovni nedostaci i mane montažne gradnje uključuju:

- više troškove transporta montažnih elemenata,
- viši stupanj organizacije,
- veliki broj spojeva koji utječu na kompaktnost konstrukcije.

Zbog velike težine temelja i problema transporta istih do gradilišta, oni se najčešće izvide *in situ*, ali može ih se izvesti i predgotovljeno [9]. Na slici 1 prikazana je „evolucija“ izvođenja predgotovljenih temelja:



Slika 1: Vrste temelja a) temeljna čašica, b) upuštena temeljna čašica, c) stup i temelj kao zajednički prefabricirani element, d) vijčani spoj [9]

Poravnati temelj (*eng. pad foundation*) s odvojenom temeljnom čašicom glatkih stijenci postavljenim na vrhu bio je uobičajena praksa mnogo godina. Najveći

nedostatak ovog rješenja je to što zahtjeva veliku količinu zemljanih radova, odnosno veću dubinu iskopa.

Navedeni tip temelja je zamijenjen temeljem s upuštenom čašicom (*eng. pocket foundation*) i ova promjena omogućila je izradu ekonomičnijih plićih temelja pa više nije bilo potrebe za odvojenu i skupu izradu te armiranje temeljne čašice. Najveći nedostatak ovog tipa temelja je velika količina utrošenog betona i samim time velika težina temelja. Kod ove vrste temelja potrebno je osigurati takvu vezu između stupa i stijenki temelja koja će omogućiti uzdužne sile trenjem (najčešće izvedbom hrapave/profilirane spojnice).

Slika 1c) prikazuje stup i temelj koji su prefabricirani kao zajednički element. Prednost je u izostanku spoja stup-temelj, bržoj izvedbi i manjim dubinama temelja, dok su očiti nedostaci otežani transport i masivnost elementa. Kao zadnje rješenje na slici 1d) prikazan je spoj s temeljnom podložnom čeličnom pločom (vijčani spoj) koji je nastao po uzoru na spojeve u čeličnim konstrukcijama.

U ovom radu ćemo obraditi spoj stupa i temelja, koji se najčešće izvodi na jedan od četiri načina. Izbor spoja ovisi o brojnim faktorima, kao što su stabilnost konstrukcije, raspored nosivih elemenata, jednostavnost i ekonomičnost izvedbe, te pristup gradilištu.

2. NAČINI SPOJA MONTAŽNOG ARMIRANOBETONSKOG STUPA I TEMELJA

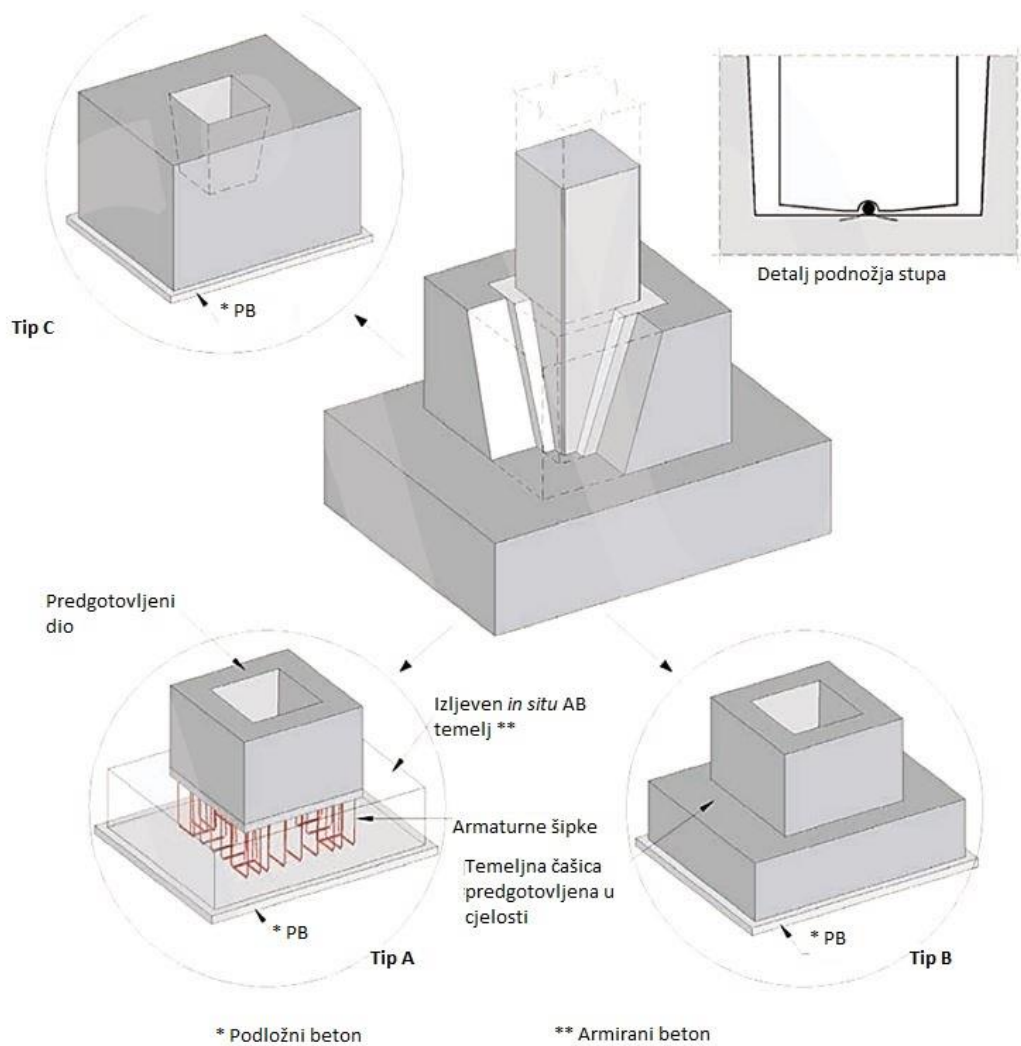
Spoj stupa i temelja uglavnom možemo podijeliti na:

- spoj s temeljnom čašicom (*eng. grouted pocket*),
- spoj s čeličnom podložnom pločom (*eng. base plate*),
- spoj s ispunjenim žlijebom i korištenjem armaturnih šipki za kontinuitet (injektiranjem prethodno izvedenih kanala) (*eng. grouted steel sleeves/tubes*),
- razne patentirane spojeve.

2.1. Spoj stup-temelj s temeljnom čašicom

Ova metoda je najstarija od navedenih. Koristili su je još stari Rimljani. Iskopali bi rupu, umetnuli stup i učvrstili ga ispunjavanjem praznine vulkanskim pepelom.

Na sličnom principu se spoj izvodi i danas. Razlika je što danas koristimo betonsku čašicu koja može biti predgotovljena ili izvedena *in situ*.



Slika 2: Načini izvođenja temeljne čašice [8]

Na slici 2 prikazana su tri načina na koje se može izvesti temeljna čašica. Kod tipa A gornji dio čašice je predgotovljen, dok se temeljna stopa armira i betonira *in situ*. U donjem dijelu ostavljene su armaturne sponje dovoljne duljine kako bi se ostvarila monolitna veza s temeljnom stopom. Prednost ovog tipa izvođenja temeljne čašice je u znatno manjoj težini predgotovljenih elemenata prilikom transporta.

Kod tipa B je cijela temeljna čašica predgotovljena (stranice čašice + temeljna stopa). Čašice su obično pravokutnog oblika i često se izvode s dodatnim vanjskim sponama

koje služe da se temelji međusobno povežu veznim gredama (*eng. tie beams*), što je posebno bitno kod terena slabije nosivosti - slika 3 a) i b).

Postoje slučajevi u kojima se upuštena čašica izvodi *in situ* - Tip C, a to najčešće ovisi o financijskim uvjetima i samoj lokaciji gradilišta [8].

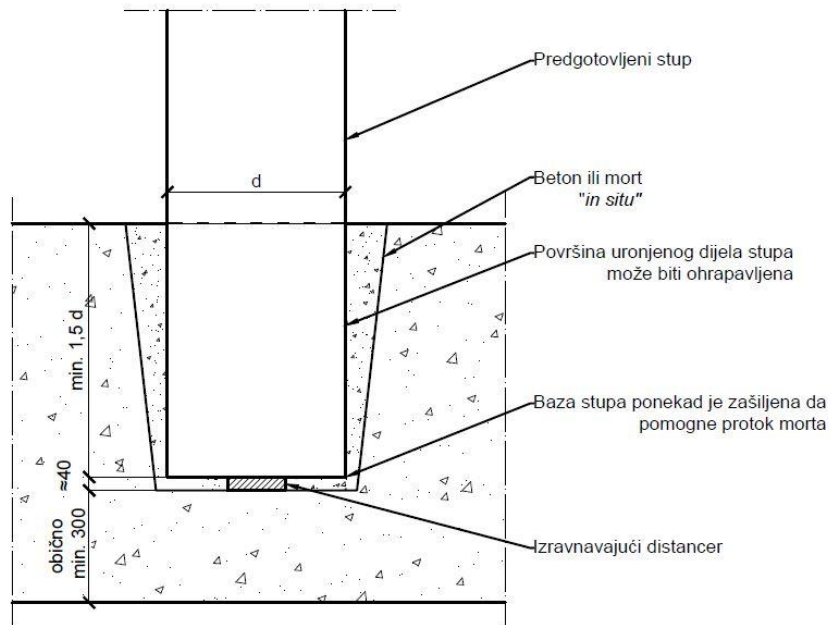


a) Slika 3: Čašica s bočnim armaturnim sponama za spoj s veznim gredama a) prije betoniranja temeljne stope, b) nakon betoniranja temeljne stope [8]



Slika 4: Betonska temeljna čašica tip A sa sponama za monolitno povezivanje sa temeljnom stopom [2]

Razmak između stupa i unutarnjeg ruba čašice mora biti barem 75 mm pri vrhu, a stijenke čašice su obično nakošene 5° u odnosu na vertikalu kako bi se olakšala ugradnja betona [2].

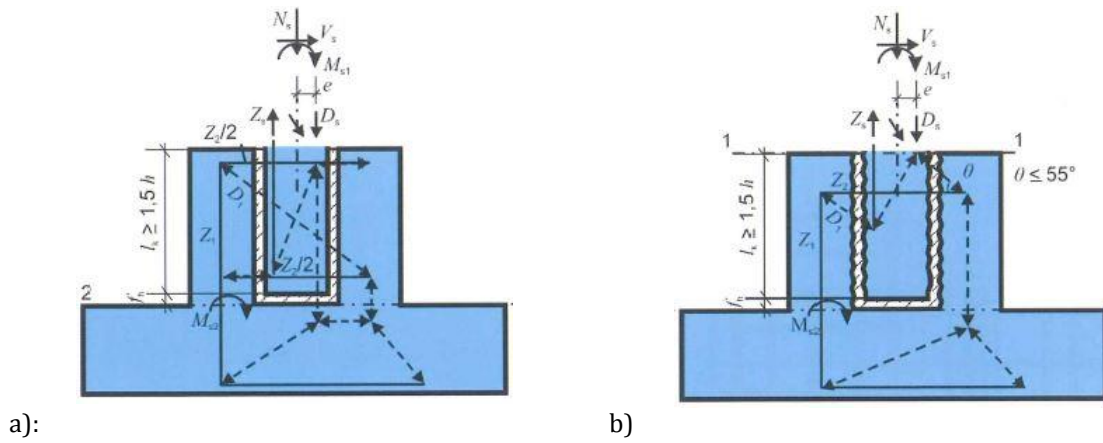


Slika 5: Skica spoja stup-temelj izvedenog pomoću temeljne čašice

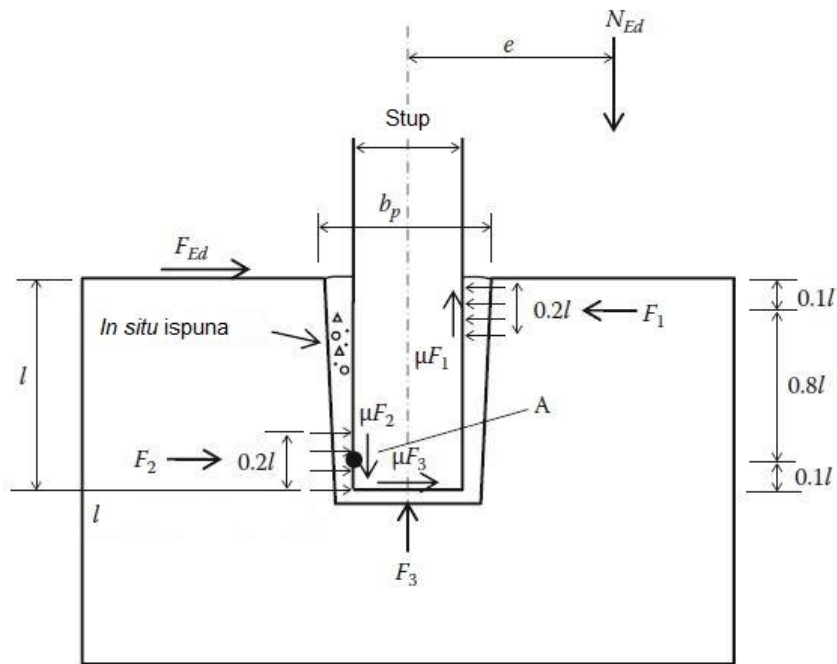


Slika 6: Spoj stup-temelj izveden pomoću temeljne čašice [2]

Površine temeljne čašice mogu biti glatke ili hrapave (rebraste; profilirane). Ako je površina glatka vertikalna opterećenja prenose se samo nalijeganjem, a ako je hrapava djelomično nalijeganjem i djelomično trenjem između stupa i ispune (slika 7).

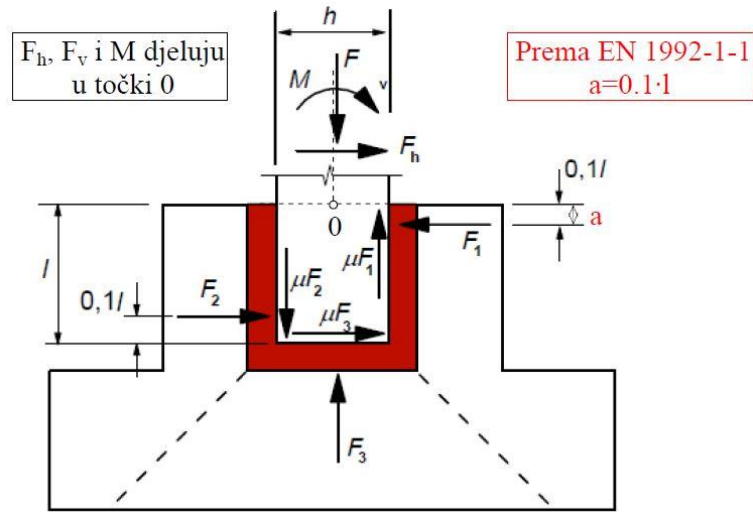


Slika 7: Temeljna čašica a) s glatkom stijenkom, b) s hrapavom stijenkom [5]



Slika 8: Model temelja s upuštenom čašicom s glatkom ili hrapavom stijenkom [2]

Na slici 9 prikazan je odnos vanjskih i unutarnjih sila u temeljnoj čašici [8]:



Slika 9: Unutarnje i vanjske sile kod temeljne čašice [6]

Postavljaju se tri uvjeta ravnoteže te se rješavanjem tri linearne jednadžbe s tri nepoznanice dobiva tri općenita izraza:

$$F_1 = \frac{M \cdot (1 + \mu^2) + F_v \cdot \left(\frac{\mu^2 \cdot h}{2} - a \cdot \mu \right) + F_h \cdot \left(-a + 1 + \mu^2 \cdot l + \frac{\mu \cdot h}{2} \right)}{(\mu^2 + 1)(l - 2 \cdot a + \mu \cdot h)} \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{M \cdot (1 + \mu^2) + F_v \cdot \left(-\mu \cdot l - \frac{\mu^2 \cdot h}{2} + a \cdot \mu \right) + F_h \cdot \left(a + \mu^2 \cdot l - \frac{\mu \cdot h}{2} \right)}{(\mu^2 + 1)(l - 2 \cdot a + \mu \cdot h)} \quad (2)$$

$$F_3 = \frac{F_v + F_h \cdot (-\mu)}{\mu^2 + 1} \quad (3)$$

Za temeljne čašice s glatkom stijenkom $a=0.1 \cdot l$ prema EN 1992-1-1 i u slučaju zanemarenja trenja $\mu = 0$ (opterećenja se prenose samo nalijeganjem) navedeni izrazi se pojednostavljaju te postaju:

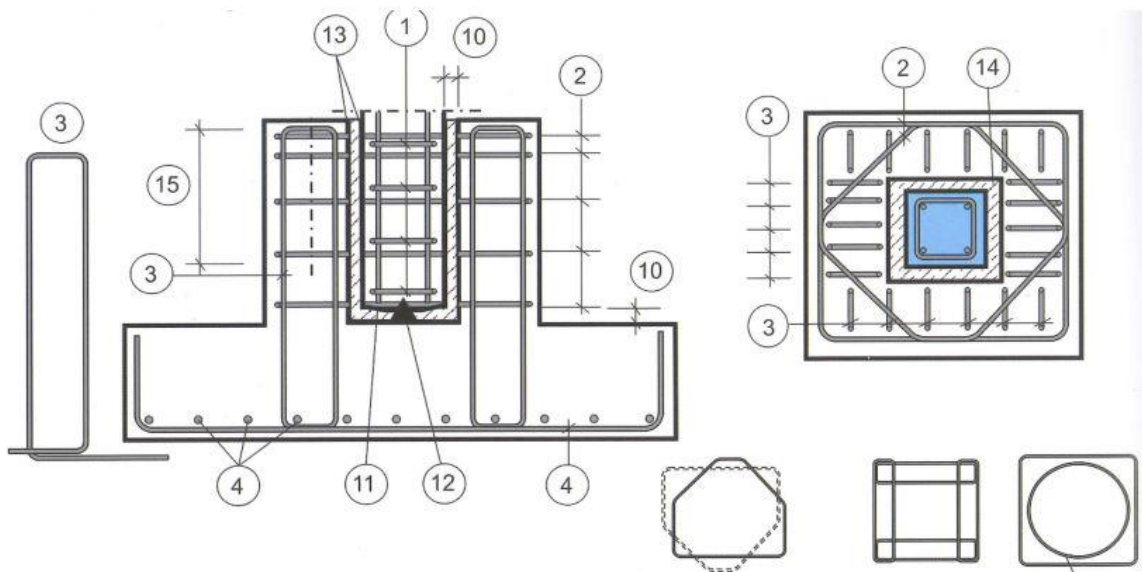
$$F_1 = \frac{M + F_h \cdot (0,9 \cdot l)}{0,8 \cdot l} \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{M + F_h \cdot (0,1 \cdot l)}{0,8 \cdot l} \quad (5)$$

$$F_3 = F_v \quad (6)$$

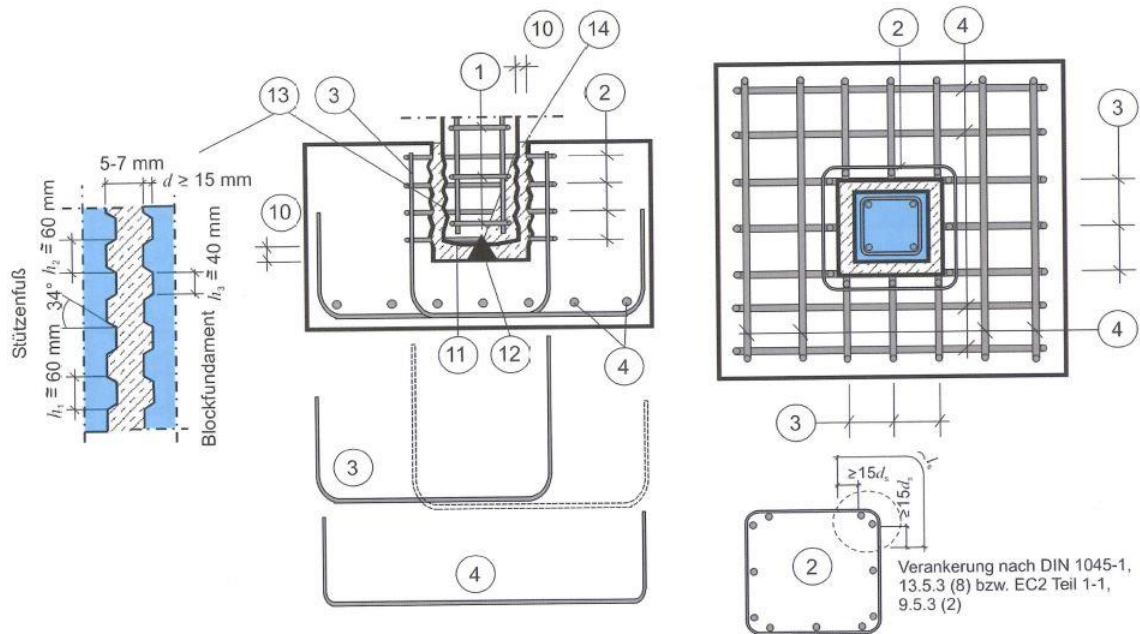
U slučaju vlačnih naprezanja šipke armature stupa koje se produžuju u čašicu moraju biti potpuno usidrene.

Na slici 10 prikazan je jedan način armiranja temeljne čašice s glatkom stijenkom, dok je na slici 11 prikazana armatura temelja s upuštenom čašicom.



Slika 10: Način armiranja temeljne čašice s glatkom stijenkom [5]

- 1- Armatura stupa
- 2- Horizontalna armatura u temeljnoj čašici
- 3- Vertikalna armatura temeljne čašice
- 4- Armatura temeljne stope
- 10- Razmak između stijenke temeljne čašice i stupa $\geq 50\text{mm}$ na dnu
- 11- Zakošeni dio stupa
- 12- Središnji „stožac“ za centriranje
- 13- Vrsta stijenke (glatka, hrapava)
- 14- Beton ili mort in situ

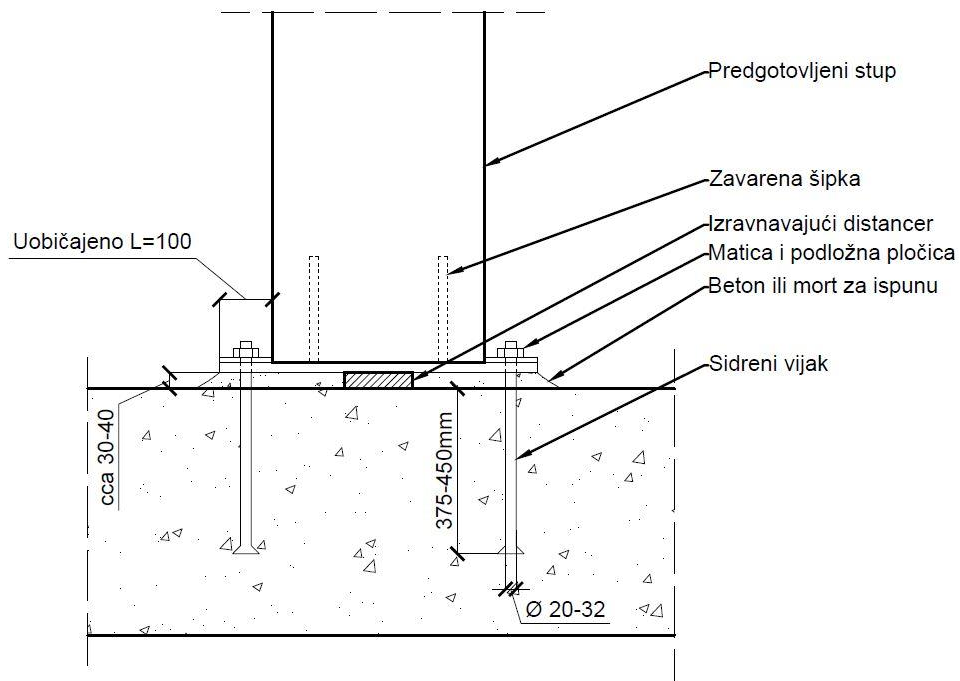


Slika 11: Način armiranja temelja s upuštenom čašicom s hrapavim stjenkama [5]

2.2. Spoj stup-temelj s temeljnom podložnom pločom (čeličnom stopom; vijčani spoj)

Ova vrsta spoja nastala je na predlošku spajanja čeličnih stupova i temelja i zasniva se na ugradnji čeličnih spojnih sredstava u stup (podložne ploče) te sidrenih vijaka u temelj.

Ovakav spoj stupa i temelja je najskuplji od navedenih, a koristi se kada spoj mora prenositi znatno veći moment. Prednost ovakvog spoja je što može trenutačno pri ugradnji prenositi sile, a vertikalnost se osigurava zatezanjem vijaka, nije potrebno podupiranje elemenata, te nije potrebno čekanje dok spoj otvrdne kao u drugim primjerima. Ovo je osobito važno kada se gradi na mekom tlu [2].



Slika 12: Skica spoja stup-temelj s podložnom pločom

Kod ovog spoja sidreni vijci se ugrađuju u temelj uz pomoć predloška (slika 13). Vijci prenose tlak, vlak i posmične sile u temelj.



Slika 13 Predložak za ugradnju sidrenih vijaka u temelj [1]

Temeljna podložna ploča je najčešće veća od tlocrta stupa (*eng. extended plate*), a ovo je posebno važno ako stup prenosi značajniji moment [3].



Slika 14: Spoj stup temelj s proširenom podložnom pločom [2]

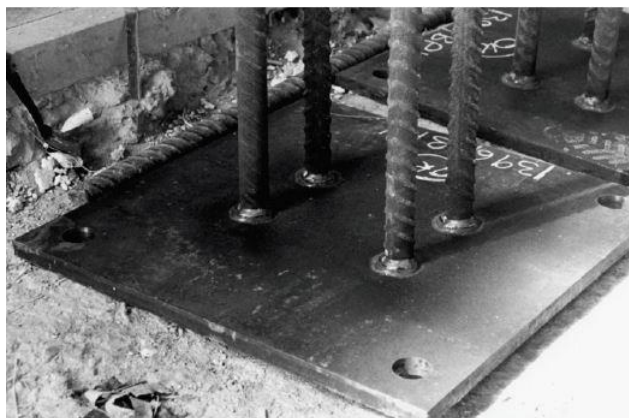
Ploča koja je veličine stupa (*eng. flush plate*) ili manja koristi se kada raspored vijaka izvan tlocrta stupa nije prihvatljiv iz statičkih ili arhitektonskih razloga. Sidreni vijci postavljaju se u liniji s glavnom armaturom stupa, a ležajna ploča postavlja se u ravnini s dnom predgotovljenog stupa.

Za potrebe pristupa ploči i spajanja sa sidrenim vijcima na svakom uglu stupa ostavljaju se manji „džepovi“ koji su obično kockastog oblika i približno dimenzija 100x100x100 mm [2].



Slika 15: „Flush“ temeljna ploča s ostavljenim džepovima u uglovima [2]

Nesimetrične ploče se koriste kada prijepust ploče nije moguć s jedne ili dvije strane. Čelična ploča se pričvršćuje za stup u pogonskoj radionici pomoću rebrastih armaturnih šipki koje se ugrađuju kroz rupe na ploči i obostrano vare za čeličnu podložnu ploču (slika 16).



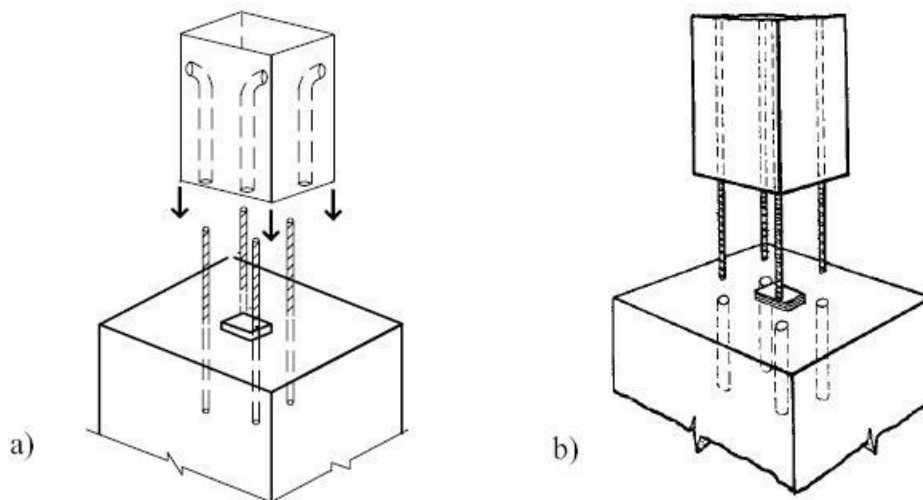
Slika 16: Podložna ploča sa zavarenim rebrastim armaturnim šipkama [3]

Vijci su obično usidreni 375 do 450 mm, debljine od 20 do 32 mm i kvalitete čelika 4.6 ili 8.8. Razmak između ploče i temelja se obično ispunjava betonom C30/37 do C40/50. Spoj se smatra dovršenim kada je prostor između vijaka u potpunosti ispunjen s nestisljivom ispunom [3].

2.3. Spoj stup-temelj izveden injektiranjem prethodno izvedenih kanala

Metoda spoja stupa ostvarenjem kontinuiteta preko armaturnih šipki koje se ugrađuju u prethodno izvedene kanale (žljebove) i zatim injektiraju mortom je najpopularnija i najekonomičnija među onima koje se danas koriste.

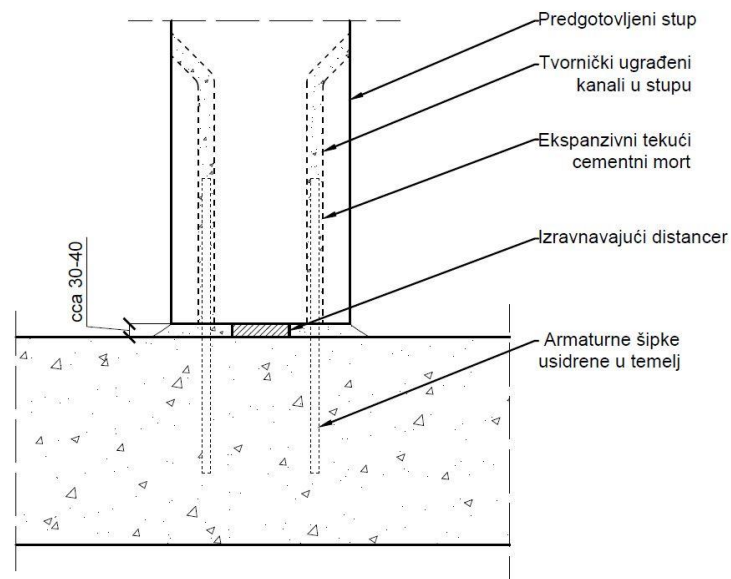
Ovaj spoj se promatra kao da je armiranobetonski stup izveden monolitno. Pretpostavka je da će se armaturnim šipkama (eng. projecting bars) postići potpuni prijenos sila. Armaturne šipke se prethodno ugrađuju u temelj, te prilikom montaže stupa prolaze kroz tvornički ugrađene kanale (cijevi) u stupu, (slika 17 a)).



Slika 17: Spoj stup-temelj injektiranjem prethodno izvedenih kanala a) šipke izlaze iz temelja, b) šipke izlaze iz stupa [3]

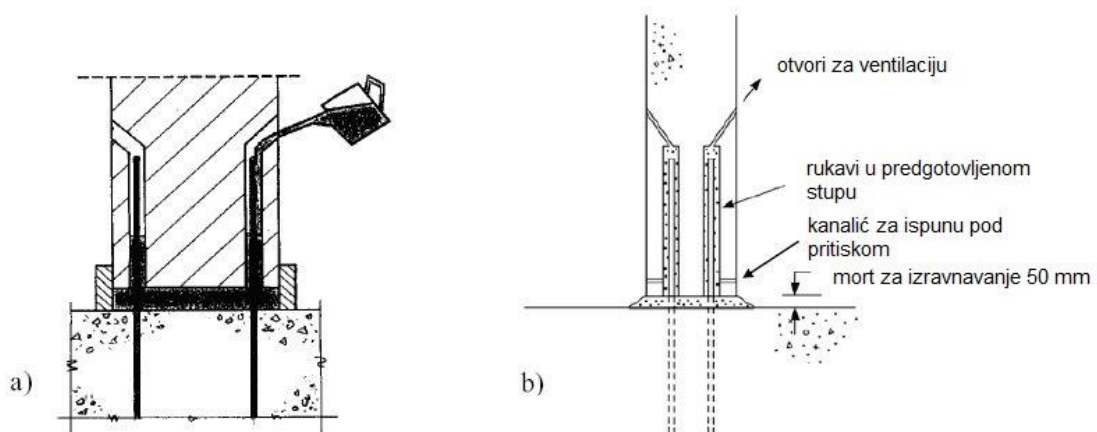
Suprotno rješenje je također moguće, da stup sadrži šipke koje ulaze u žljebove u temelju, (slika 17 b)). Ovo rješenje pojednostavljuje izradu stupa jer nije potrebno prethodno ugrađivati kanale u njega, ali rupe u temelju moraju biti zaštićene od vode i prljavštine. Može se primijetiti kako je za osiguranje vertikalnosti stupa potrebno ugraditi izravnavajući distancer.

U oba slučaja stup se prilikom montaže mora bočno pridržavati u vertikalnom položaju, te se kanali ispunjavaju ekspanzivnim tekućim cementnim mortom čvrstoće jednake čvrstoći stupa. Za oba rješenja treba biti ograničen broj šipki kako bi se omogućio odgovarajući razmak između kanala i odgovarajući zaštitni sloj betona [3].



Slika 18: Skica spoja stup-temelj izvedenog injektiranjem prethodno izvedenih kanala

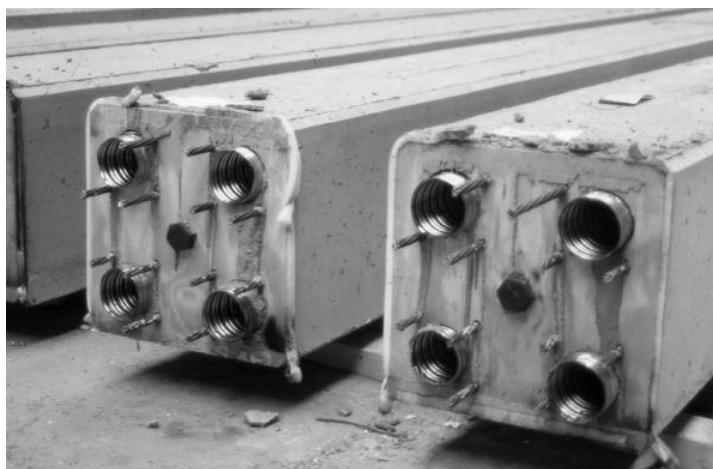
Kada su kanali prethodno izvedeni u stupu, može ih se ispunjavati s gornje strane kao što je prikazano na slici 19 a) ili s donje strane pomoću pritiska. Kod ispune s donje strane potrebni su otvori za ventilaciju na vrhu (slika 19 b) koji ujedno služe i kao indikatori da je žljeb u potpunosti ispunjen mortom.



Slika 19: Ispuna kanala a) punjenje s gornje strane kod većih promjera , b) punjenje s donje strane pomoću pritiska [3]

Kada su kanali prethodno izvedeni u temelju, pune se prije nego što se stup spusti u svoju konačnu poziciju. Ova vrsta spoja zahtijeva pažljivu izvedbu. Šipke trebaju biti potpuno obložene s mortom za ispunu, što je nemoguće naknadno provjeriti. Teško je postići vertikalnost stupa, a isto tako je teško naknadno korigirati spoj.

Da bi se postigla dobra povezanost ispune i okolnog betona površina kanala ne smije biti glatka (slika 20). Kako bi se osigurala potpuna ispunjenost, ispuna mora imati odgovarajuću konzistenciju. Poželjno je koristiti kanale formirane od rebrastih čeličnih cijevi. Minimalni razmaci između šipke i ruba kanala moraju biti 6 mm. Ako je razmak između šipke i kanala prilično velik (10-15 mm) kanali se mogu gravitacijski puniti. Preporučuje se da unutrašnji promjer kanala bude barem 30 mm veći od promjera šipki kako bi se osigurala potpuna obloženost šipke i izbjeglo stvaranje zračnih džepova. Zaštitni sloj betona do čeličnih cijevi treba biti jednak ili veći od promjera cijevi, a također međusobna udaljenost između cijevi ne bi trebala biti manja od promjera cijevi [3].

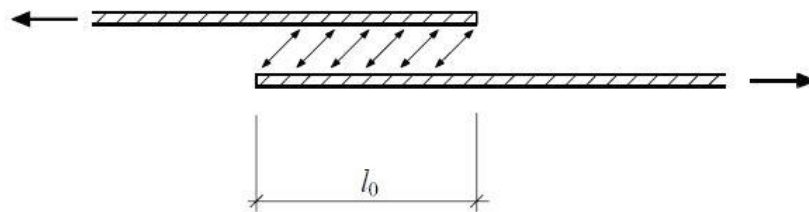


Slika 20: Kanali u stupu formirani od rebrastih čeličnih cijevi [2]

U ovom slučaju armaturne šipke koje služe za kontinuitet se ugrađuju u žljebove koji se naknadno ispunjavaju mortom, te takvu vrstu sidrenja nazivamo posredno sidrenje. To znači da se vlačna sila sa šipke treba prenijeti preko posmika na mort za ispunu, te dalje posmičnom vezom između morta za ispunu i okolnog betona.

Općenito duljinu posrednog sidrenja ne bi trebalo usvojiti manju od „direktnog“ sidrenja (šipke ugrađene izravno u beton). Za potpuni prijenos sila ponekad je potrebno povećati duljinu šipke ili poduzeti neke druge mjere kojima će se nadoknaditi manja čvrstoća morta za ispunu, rizik nastanka pukotina uslijed posrednog sidrenja, nesigurnosti u potpunom obavijanju armaturnih šipki, te naposljetku i kvalitete izvedbe.

Duljina sidrenja posredno usidrenih šipki se u mnogim slučajevima može smatrati nastavljenim preklapanjem između dodatne šipke i glavne armature stupa.



Slika 21: Prijenos sila između šipki u spoju s preklapom [3]



Slika 22: Spoj stup-temelj izveden injektiranjem prethodno izvedenih kanala [2]

Bočna pridržanja mogu se ukloniti kada cementni mort u kanalima dosegne proračunske tlačne čvrstoće, ali ih obično uklanjamo tek nakon povezivanja stupa sa

stropnom konstrukcijom. Da bi se postigla vertikalnost stupa potreban je izravnajući distancer. Ispunom podnožja stupa mora se osigurati da se vertikalne sile ne prenose isključivo kroz distancer.

Kao što je već navedeno, osnovni nedostatak ovakvog sistema je što se nakon završetka injektiranja ne može provjeriti kvaliteta ostvarene veze između morta i armature. Također, glavna armatura stupa često mora biti postavljena više prema središtu poprečnog presjeka jer se armaturne šipke postavljaju u uglove stupa kako bi se maksimizirala statička visina.

2.4. Izvođenje spoja stup-temelj s patentiranim spojem *Peikko Column Shoe* sustavom (čelične stope)

U situacijama kada je poprečni presjek stupa znatnije veličine (stranice veće od 60x60 cm) koristi se cjenovno prihvatljivija metoda spoja s više manjih čeličnih stopa umjesto spoja s temeljnom podložnom pločom. Na taj način smanjena je površina podložne ploče i samim time količina čelika potrebnog za izvedbu ovakvog spoja.

Spojevi su skupi u vidu dodatnog čeličnog materijala i proizvodnje, ali ekonomski taj nedostatak nadoknađuju s mogućnošću vrlo brzog i statički sigurnog fiksiranja na gradilištu, te dozvoljavaju određene tolerancije u pozicioniranju vijaka. Pozicionirajuće greške do 10 mm su omogućene korištenjem pametno dizajniranih podložnih pločica s rupom van centra [2].

U nastavku je opisan jedan primjer gore navedenog rješenja, patentirani sustav finske tvrtke Peikko: HPKM Column Shoe [4] [7].

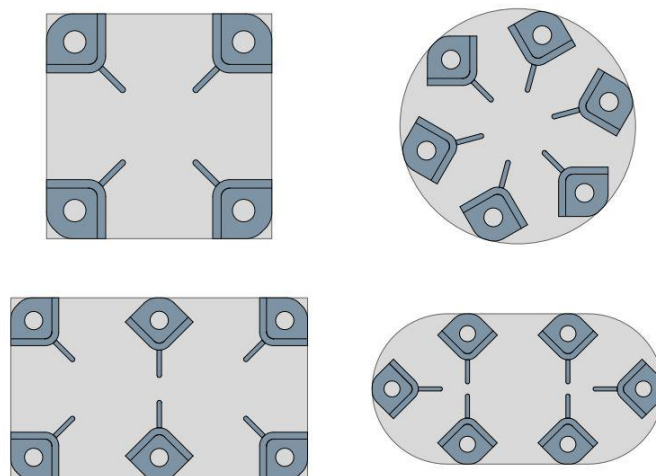
Kao i kod standardnog spoja sa temeljnom pločom, kod HPKM sustava temeljne se ploče ugrađuju u predgotovljene betonske stupove, a sidreni vijci (koriste se također patentirani vijci, HPM Anchor Bolts, slika 23) se ugrađuju u temelj.



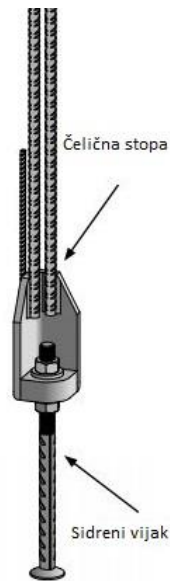
Slika 23: Peikko sidreni vijci (HPM Anchor bolts) [7]

HPM sidreni vijci koji se koriste u Peikko Column Shoe spoju prenose vlačne, tlačne i posmične sile u temelj. Standardna svojstva HPM sidrenih vijaka vrijede za beton u rasponu od C20/25 do C50/60. Postoje dvije vrste HPM vijaka: dugački sidreni vijci koji se najčešće koriste za spojeve između stupova (na slici 23 šipka iznad) i kratki sidreni vijci s glavama koji se koriste za sidrenje u temelje (na slici 23 šipka ispod). Kratki vijci prenose sile kombinirano kroz glavu i rebrasto tijelo šipke. [7]

Kod ovog spoja obično se koristi četiri ili više čeličnih stopa, a na slici 24 prikazane su razne vrste rasporeda čeličnih stopa kod HPKM sustava, kod stupova kvadratnog, pravokutnog ili kružnog poprečnog presjeka.



Slika 24: Raspored čeličnih stopa u Peikko Column Shoe sustavu [4]



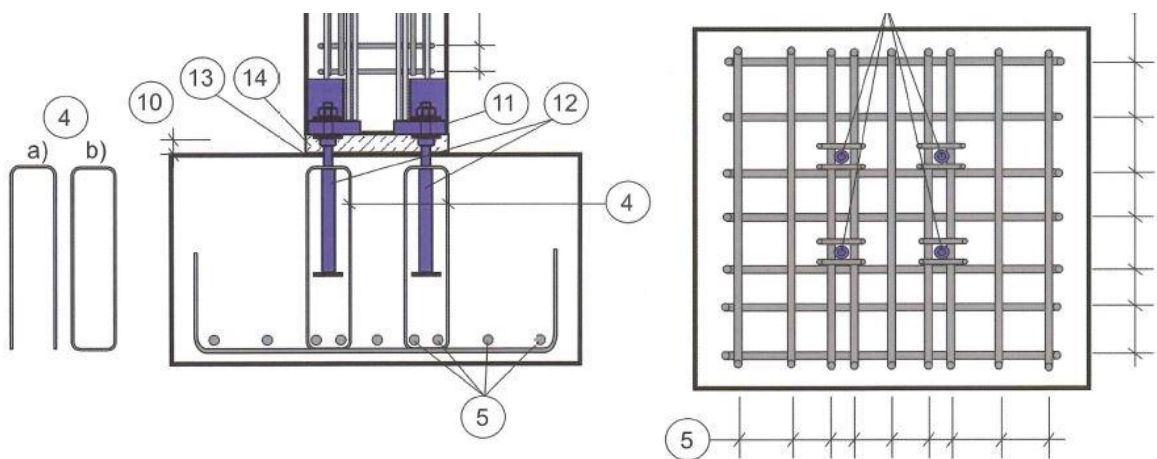
Slika 25: Peikko čelična stopa sa sidrenim vijkom (HPKM Column shoe) [4]

HPKM čelične ploče dostupne su standardnim modelima (16, 20, 24, 30 i 39). Brojke u nazivima modela odgovaraju promjeru poprečnog presjeka HPM sidrenih vijaka.

Model čelične ploče određen je imenom na oznaci proizvoda kao i s bojom proizvoda. Popis kodova boja, dimenzija i težina koji su pridruženi modelima ploča prikazan je na slici 26.

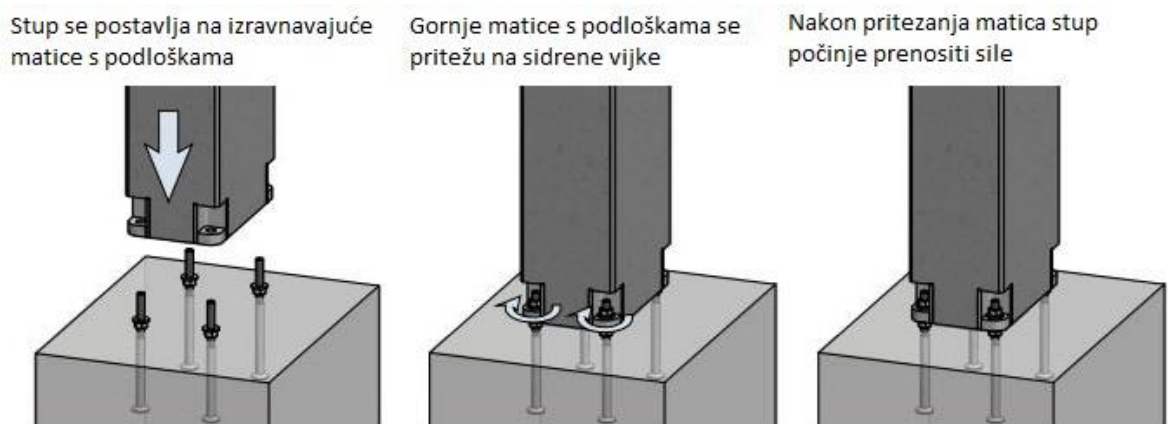
	HPKM 16	HPKM 20	HPKM 24	HPKM 30	HPKM 39
	[mm]				
B	85	95	105	120	150
C	75	80	85	90	110
D	115	120	125	140	180
E	50	50	50	50	60
H	725	875	1105	1430	1885
K	135	145	150	175	225
t	15	20	30	45	50
X	30	30	30	30	37
Ø	28	31	35	40	55
weight	2.1	3.7	6.5	13.4	26.4
color	■	■	■	■	■

Slika 26: Dimenzije (mm), težine (kg) i kodovi boja u HPKM Column Shoe sustavu [4]



Slika 27: Način armiranja u Peikko Column Shoe sustavu [5]

Postupak izvedbe ove vrste spoja prikazan je na slici 28:



Slika 28: Postupak instalacije stupa pomoću HPKM Column Shoe sustava [4]

3. PRIMJERI PRORAČUNA SPOJA MONTAŽNOG STUPA I TEMELJA

Kako bi detaljnije usporedili opisane vrste spojeva stup-temelj, u nastavku ćemo za isti stup opterećen jednakim silama napraviti proračun za svaki od navedenih spojeva. Dimenzije kvadratnog stupa u proračunu su 50x50 centimetara te visina 6 metara. Gradivo koje je korišteno u proračunu je beton C35/45 i armatura B500B.

Proračunske rezne sile:

Uzdužna tlačna sila: $F_{v,Ed}=600$ kN

Moment savijanja: $M_{ed}=300$ kNm

Poprečna sila: $F_{h,Ed}=50$ kN

Proračunska čvrstoća betona:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \frac{35}{1,5} = 23,33 MPa$$

Proračunska granica popuštanja armature:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 MPa$$

3.1. Proračun uzdužne i poprečne armature stupa

Dimenzioniranje stupa provedeno je prema HRN EN 1992-1-1:2013.

Proračun uzdužne armature

$$\nu_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{b^2 f_{cd}} = \frac{-600}{50^2 * 2,33} = -0,103$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b * b^2 * f_{cd}} = \frac{30000}{50^3 * 2,33} = 0,103$$

Razred konstrukcije S4 (proračunski uporabni vijek konstrukcije 50 godina)

Razred izloženosti XC3 (vanjski beton zaštićen od kiše)

$$c_{min} = 25 mm$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35mm$$

$$d_1 = c_{nom} + \phi_w + \frac{\phi}{2} = 35 + 10 + \frac{25}{2} = 54mm \approx 6cm$$

$$d = b - d_1 = 50 - 6 = 44cm$$

$$\frac{d_1}{b} = \frac{6}{50} = 0,12 \approx 0,15$$

Korišteni su dijagrami interakcije [11]

$$\omega_{tot} = 0,15$$

$$A_{tot} = A_{s1} + A_{s2} = \omega * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b^2 = 0,15 * \frac{23,3}{434,78} * 50^2 = 20,1cm^2$$

$$\text{izabrano: } 2 * (3\phi 2)5 = 2 * 14,73cm^2 = 29,46cm^2$$

Zbog velikog razmaka šipki u drugom smjeru dodana je jedna međušipka ($\phi 25$)

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 * F_{v,Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 * 600}{43,48} = 2,07cm^2 \\ 0,003A_c = 0,003 * 50^2 = 7,5cm^2 \\ 4\phi 12 = 4,52cm^2 \end{array} \right. = 7,5cm$$

Izabrana armatura zadovoljava minimalne uvjete

Poprečna armatura - spone

$$\text{Izabrano } \phi_w = 10mm$$

$$\phi_w > 6mm$$

$$\phi_w > \frac{1}{4} \phi = 6,25mm$$

Poprečna armatura zadovoljava uvjete

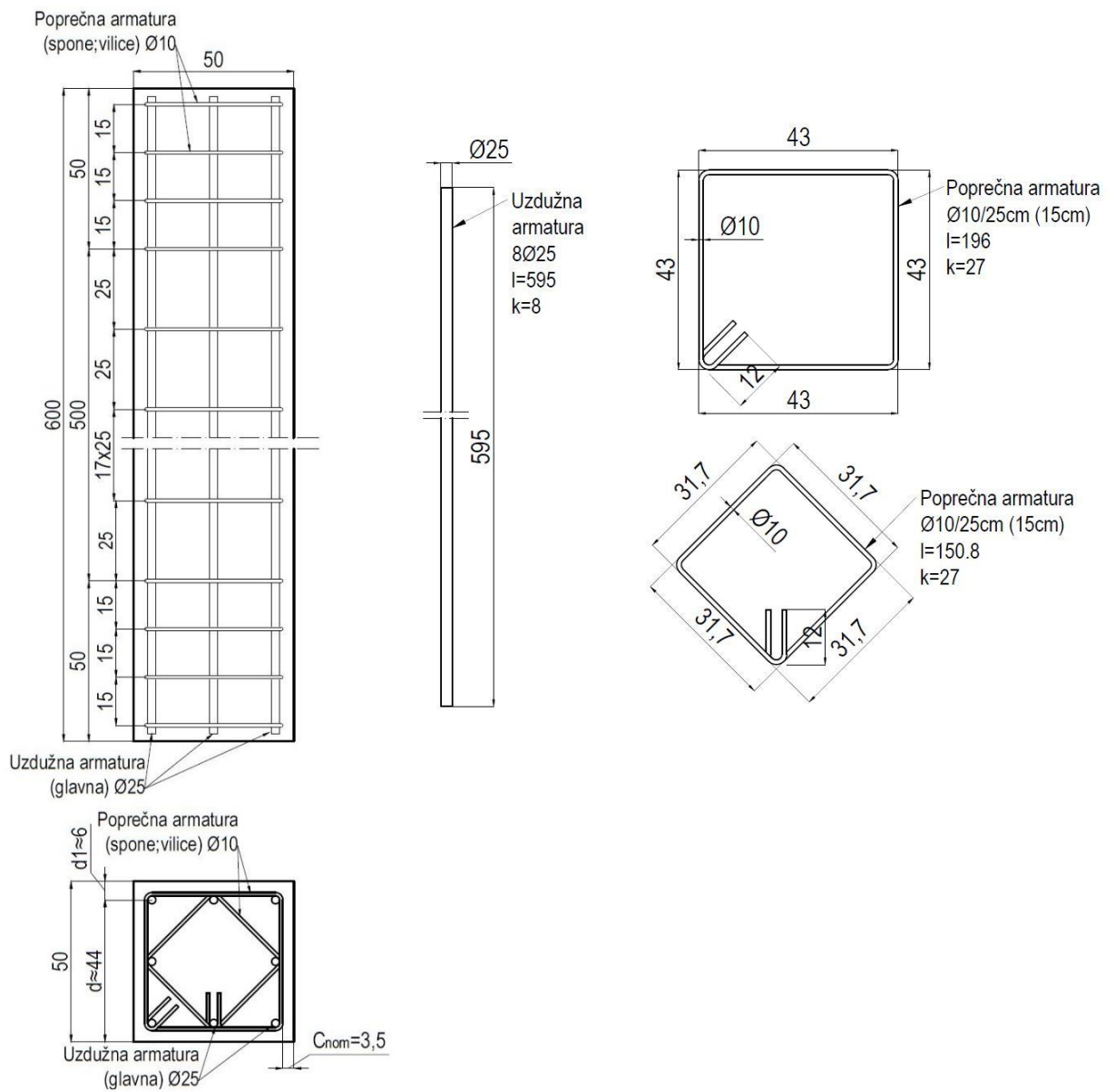
Razmaci poprečne armature (spona)

$$s_{ce} = \min \begin{cases} 12 * \phi = 12 * 25 = 300mm \\ b = 500m \\ 300mm \end{cases} = 300mm$$

izabrano $s_{ce} = 250mm$

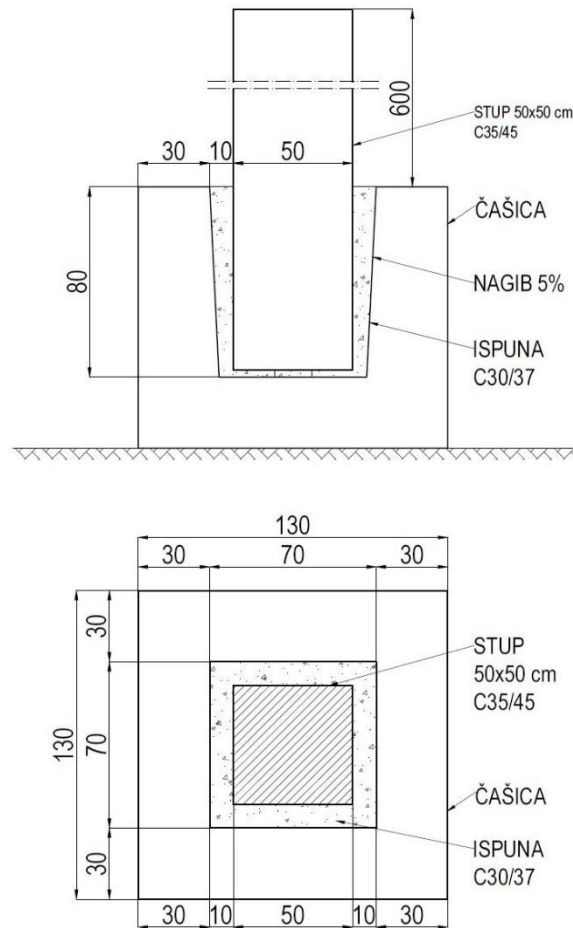
Razmaci poprečne armature (spona) na vrhu i dnu stupa, na duljini b=60cm

$$S_{ce,r} = 0,6 * S_{ce} = 0,6 * 250 = 150mm$$



3.2. Temeljna čašica s glatkom stijenkom

U nastavku je izložen izračun spoja izvedenog koristeći temeljnu čašicom s glatkom stijenkom.



$$a = 0,1 * l = 0,1 * 80 = 8 \text{ cm}$$

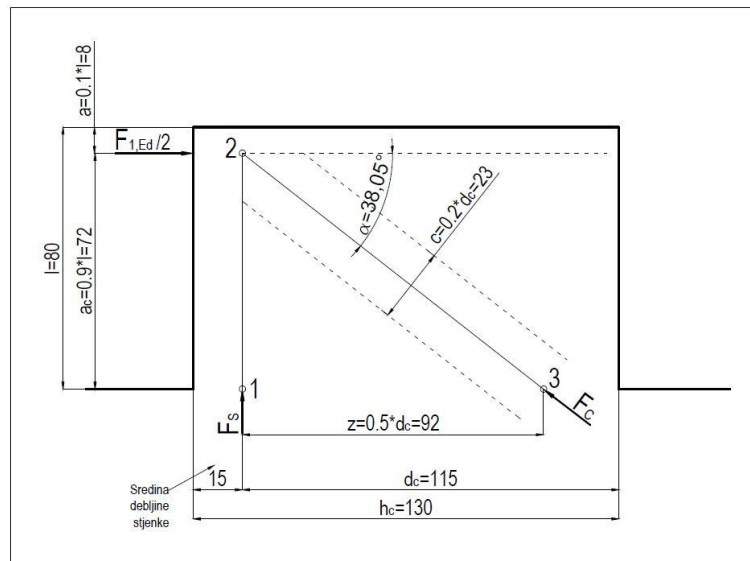
$$\mu = 0$$

$$F_{1,Ed} = \frac{M_{Ed} + F_{h,Ed} * (0,9 * l)}{0,8 * l} = \frac{300 + 50 * (0,9 * 0,8)}{0,8 * 0,8} = 525 \text{ kN}$$

$$F_{2,Ed} = \frac{M_{Ed} + F_{h,Ed} * (0,1 * l)}{0,8 * l} = \frac{300 + 50 * (0,1 * 0,8)}{0,8 * 0,8} = 475 \text{ kN}$$

$$F_{3,Ed} = F_{v,Ed} = 600 \text{ kN}$$

Stijenu temeljne čašice promatramo kao kraku konzolu



$$a_c = 0,9 * l = 0,9 * 0,8 = 0,72m$$

$$z \cong 0,8 * d_c = 0,8 * 1,15 = 0,92m$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dc}{z} = \frac{0,72}{0,92} = 0,782 \Rightarrow \alpha = 38,047^\circ$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$\frac{F_{1,Ed}}{2} * a_c - F_s * z = 0 \Rightarrow F_s = \frac{F_{1,Ed} * a_c}{2 * z} = \frac{525 * 0,72}{2 * 0,92} = 205,43kN$$

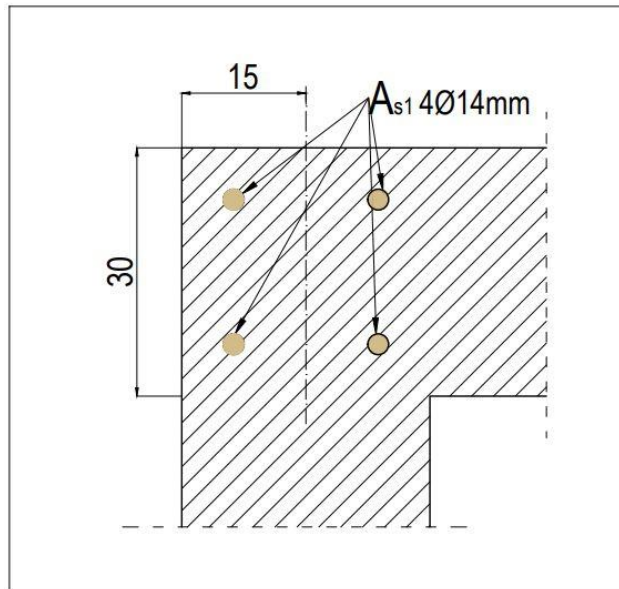
$$\sum M_2 = 0$$

$$\frac{F_{1,Ed}}{2} * a_c - F_c \sin \alpha * z = 0 \Rightarrow F_c = \frac{F_{1,Ed} * a_c}{2 * \sin \alpha * z} = \frac{525 * 0,72}{2 * \sin 38,047 * 0,92} = 333,33kN$$

Potrebna vlačna armatura

$$A_{s1} = \frac{F_s}{f_{yd}} = \frac{205,43}{43,48} = 4,73cm^2$$

izabrano: $4 * \phi 14 (6,16 \text{ cm}^2)$



Provjera nosivosti tlačnog štapa 1-2

Čašica se izvodi od betona C25/30

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$$

$$Q_{Rd,max} = f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$$

visina tlačnog štapa

$$c \cong 0,2 * d_c = 0,2 * 115 = 23 \text{ cm}$$

naprezanje u tlačnom štapu 1-2

$$Q_{Ed} = \frac{F_c}{c * b} = \frac{33,33 * 1000}{250 * 230} = 5,8 \text{ MPa}$$

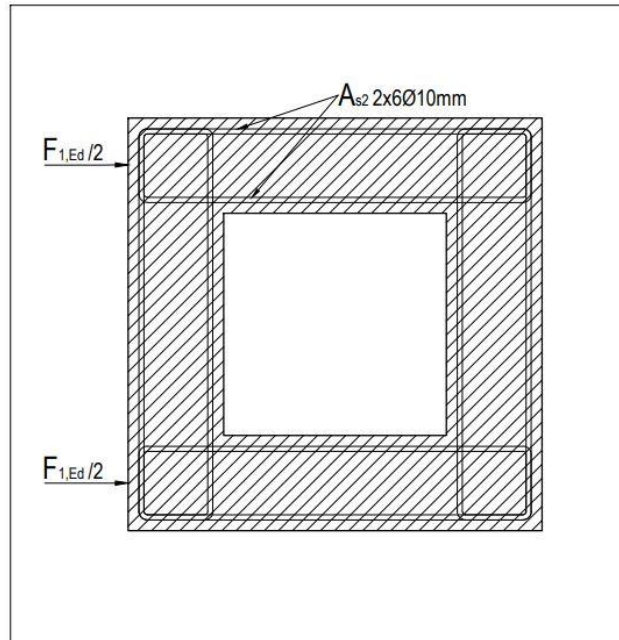
$$Q_{Ed} \leq Q_{Rd,max} \Rightarrow 5,8 \text{ MPa} < 16,7 \text{ MPa}$$

Provjera tlačnog štapa zadovoljava

Zatvorene spone na vrhu stjenki

- Kriterij 1.

$$A_{s2} = \frac{F_{1,Ed} / 2}{f_{yd}} = \frac{525}{2 * 43,48} = 6,04 \text{ cm}^2$$



- Kriterij 2.
 - kontinuirano opterećenje na stijenku

$$q = \frac{F_{1,Ed}}{f} = \frac{525}{0,7} = 750 \text{ kN / m}$$

- moment savijanja na mjestu upetosti

$$M_{Ed} = \frac{q * f^2}{12} = \frac{\left(\frac{F_{1,Ed}}{f}\right) * f^2}{12} = \frac{F_{1,Ed} * f}{12} = \frac{525 * 0,7}{12} = 30,63 \text{ kNm}$$

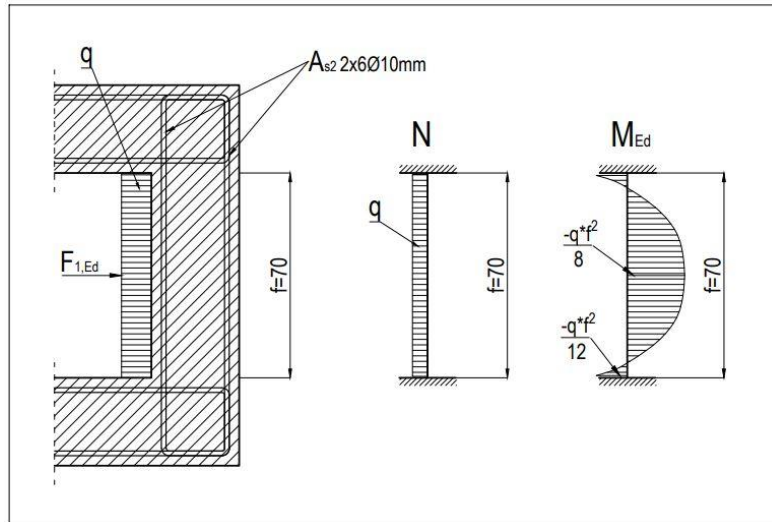
- težište armature 5cm od bližeg ruba

$$d = 30 - 5 = 25 \text{ cm}$$

- krak unutarnjih sila

$$z \cong 0,9 * d = 0,9 * 25 = 22,5 \text{ cm}$$

$$\frac{A_{s2}}{2} = \frac{M_{Ed}}{z * f_{yd}} \Rightarrow A_{s2} = 2 \frac{M_{Ed}}{z * f_{yd}} = 2 \frac{3063}{22,5 * 43,48} = 6,26 \text{ cm}^2$$



Mjerodavni veći $A_{s2}=6,26 \text{ cm}^2$

izabrano: $2 * 6\phi 10 (9,42 \text{ cm}^2)$

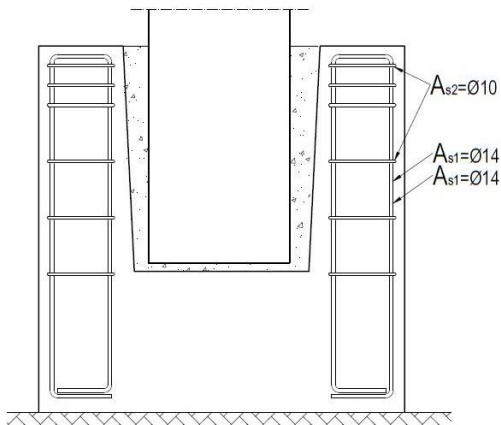
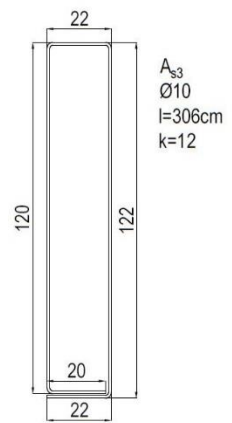
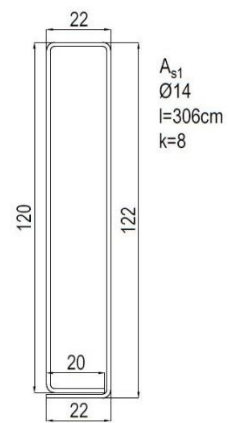
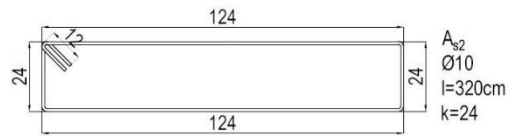
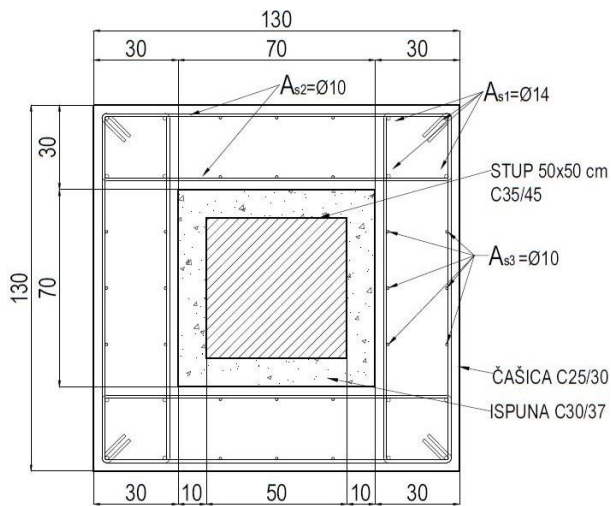
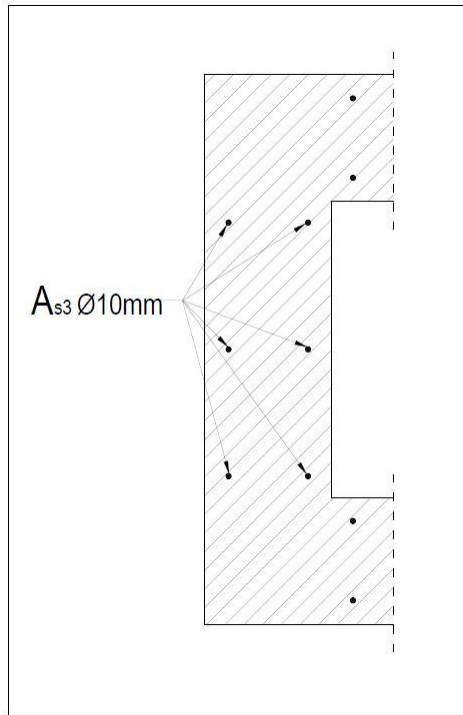
Vertikalne spono po duljini stijenki

$$A_{s3} \geq k_1 * A_{s1, \text{odabrano}}$$

$$k_1 = 0,25$$

$$A_{s3} = 0,25 * 6,16 = 1,54 \text{ cm}^2$$

izabrano: u svaku stijenku $2 * 3\phi 10 (4,71 \text{ cm}^2)$



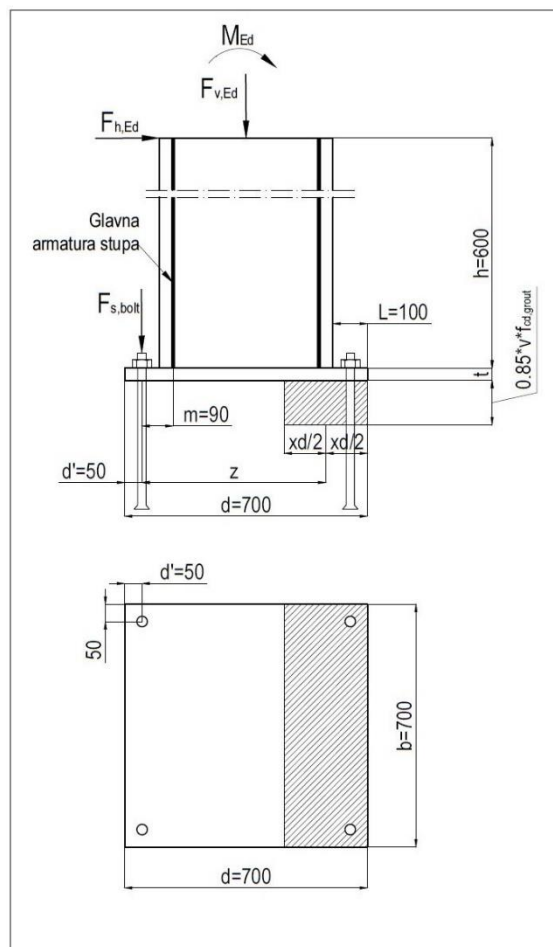
3.3. Čelična podložna ploča veća od presjeka stupa

U nastavku je izložen izračun spoja stupa i temelja izvedenog koristeći čeličnu podložnu ploču čija je površina veća od presjeka stupa [2].

Gradivo:

- beton C30/37 (ispuna)
- čelik S275 (ploča) - $f_{yp} = 275MPa$
- izabrani vijci klase 8.8

Proračunski model spoja s čeličnom podložnom pločom



$$f_{yb,bolt} = 640N / mm^2$$

$$d=700mm$$

$$d'=50mm$$

$$m=110\text{mm}$$

$$L=100\text{mm}$$

$$\sum y = 0$$

$$F_{s,bolt} + F_{v,Ed} = 0,85 * v * f_{cd,grout} * b * xd$$

$$v = 1 - \frac{f_{ck,grout}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{F_{v,Ed}} = \frac{300}{600} = 0,5\text{m} = 500\text{mm}$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{50}{700} = 0,929$$

$$\frac{F_{v,Ed} * (e + 0,5d - d')}{0,85 * v * f_{cd,grout} * b * d^2} = x * (1 - \frac{d'}{d}) - 0,5x^2$$

$$\frac{600000 * (500 + 350 - 50)}{14,96 * 700 * 700^2} = -0,5x^2 + 0,929x$$

$$-0,5x^2 + 0,929x - 0,272 = 0 \Rightarrow x = \frac{-0,929 \pm \sqrt{0,929^2 - 4 * (-0,5) * (-0,272)}}{2 * (-0,5)}$$

$$x = 0,107$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{0,85 * v * f_{cd,grout} * b * d} = \frac{600000}{14,96 * 700 * 700} = 0,081 < x \Rightarrow F_{s,bolt} \text{ je pozitivan}$$

Sila u vijcima

$$F_{s,bolt} = 0,85 * v * f_{cd,grout} * d * 10^3 * xd - F_{v,Ed}$$

$$F_{s,bolt} = 14,96 * 700 * 10^3 * 0,107 * 700 - 600 = 183,56\text{kN}$$

Potrebna poprečna površina jednog vijka za broj vijaka na jednoj strani n=2 vijka

proračunska granica popuštanja vijka

$$f_{yb} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M2}} = \frac{640}{1,25} = 512\text{MPa}$$

minimalna poprečna površina jednog vijka

$$A_b = \frac{F_{s,bolt}}{n * f_{yb}} = \frac{183560}{2 * 512} = 179,26 mm^2$$

izabrano M20; $A_b=245 mm^2$

Proračun debljine temeljne ploče gdje je L prijepust čelične ploče izvan stupa

m-udaljenost od težišta vijka do težišta šipki u stupu=110 mm

$$t > \sqrt{\frac{0,85 * v * f_{cd,grout} * L^2}{f_{yp}}} = \sqrt{\frac{14,96 * 100^2}{275}} = 23,33 mm$$

$$t > \sqrt{\frac{4 * F_{s,bolt} * m}{d * f_{yp}}} = \sqrt{\frac{4 * 183561 * 110}{700 * 275}} = 20,48 mm$$

izabrano

$$t = 25 mm$$

Provjera vijaka na poprečnu silu

$$H_{Ed} = 50 kN$$

Aktivna su samo dva vijka: sila koja otpada na jedan vijak

$$V_{Ed} = \frac{H_{Ed}}{n} = \frac{50}{2} = 25 kN$$

a) otpornost na posmik po posmičnoj površini [12]

$$V_{Ed} \leq F_{V,Rd}$$

klasa vijka 8.8 $\Rightarrow \alpha_v = 0,6$

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_b}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 245}{1,25} = 94080 N = 94,08 kN$$

$$25 kN \leq 94,08 kN$$

b) otpornost na pritisak po omotaču rupe

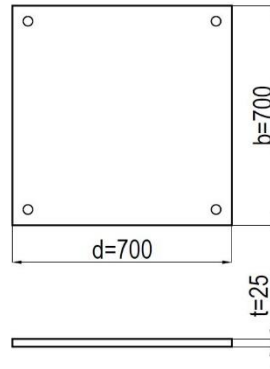
$$d=20\text{mm}$$

$$t=25\text{mm}$$

čelik s275 $f_u=430\text{MPa}$

$$V_{Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$



$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_1}{3d} = \frac{50}{3 * 22} = 0,76 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1,86 \\ 1,0 \end{array} \right. = 0,76$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 * \frac{l_2}{d} - 1,7 = 2,8 * \frac{50}{22} - 1,7 = 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right. = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 0,76 * 430_u * 20 * 25}{1,25} = 326800\text{N} = 327\text{kN}$$

$$25\text{kN} < 327\text{kN}$$

c) kombinacija posmika i vlaka

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{25}{F_{94,08}} + \frac{183,56/2}{1,4 * (0,245 * 512)} \leq 1$$

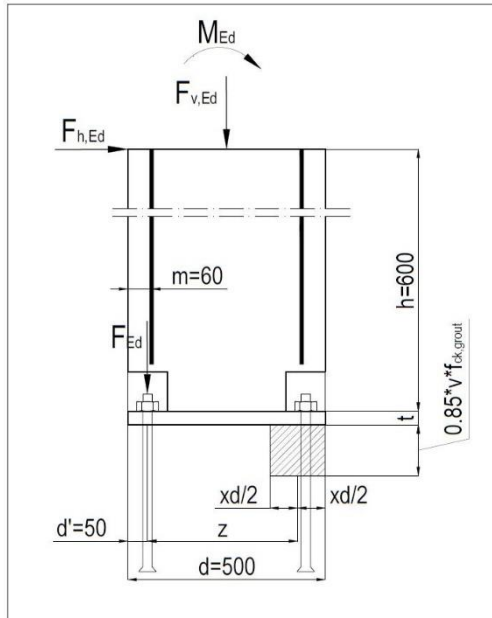
$$0,27 + 0,52 = 0,79 \leq 1$$

3.4. Čelična podložna ploča poravnata s presjekom stupa

U nastavku je izložen izračun spoja stupa i temelja izvedenog koristeći čeličnu ploču čija je površina poravnata s presjekom stupa.

Gradivo:

- beton C30/37 (ispuna)
- čelik S275 (ploča) - $f_{yp} = 275MPa$
- Izabrani vijci klase 8.8



$$f_{yb,bolt} = 640N / mm^2$$

$$d=500mm$$

$$d'=50mm$$

$$m=60mm$$

$$F_{s,bolt} + F_{v,Ed} = 0,85 * v * f_{cd,gROUT} * b * xd$$

$$v = 1 - \frac{f_{ck,gROUT}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{F_{v,Ed}} = \frac{300}{600} = 0,5m = 500mm$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{50}{500} = 0,900$$

$$\frac{F_{v,Ed} * (e + 0,5d - d')}{0,85 * \nu * f_{cd,grout} * b * d^2} = x * (1 - \frac{d'}{d}) - 0,5x^2$$

$$\frac{600000 * (500 + 250 - 50)}{14,96 * 500 * 500^2} = -0,5x^2 + 0,900x$$

$$-0,5x^2 + 0,900x - 0,225 = 0 \Rightarrow x = \frac{-0,900 \pm \sqrt{0,900^2 * 4 * (-0,5) * (-0,225)}}{2 * (-0,5)}$$

$$x = 0,299$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{0,85 * \nu * f_{cd,grout} * b * d} = \frac{600000}{14,96 * 500 * 500} = 0,160 < x \Rightarrow F_{s,bolt} \text{ je pozitivan}$$

Sila u vijcima

$$F_{s,bolt} = 0,85 * \nu * f_{cd,grout} * d * 10^3 * xd - F_{v,Ed}$$

$$F_{s,bolt} = 14,96 * 500 * 10^{-3} * 0,299 * 500 - 600 = 519,50kN$$

Potrebna poprečna površina jednog vijka za broj vijaka na jednoj strani n=2 vijka

proračunska granica popuštanja vijka

$$f_{yb} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M2}} = \frac{640}{1,25} = 512MPa$$

minimalna poprečna površina jednog vijka

$$A_b = \frac{F_{s,bolt}}{n * f_{yb}} = \frac{519500}{2 * 512} = 507,32mm^2$$

izabrano M30; $A_b=561mm^2$

Proračun debljine temeljne ploče

$$t > \sqrt{\frac{4 * F_{s,bolt} * m}{d * f_{yp}}} = \sqrt{\frac{4 * 519500 * 60}{500 * 273}} = 30,22mm$$

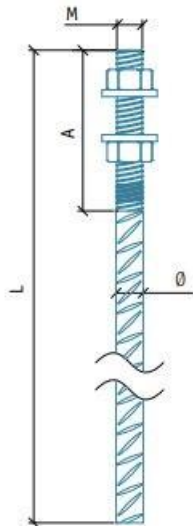
izbrano

$$t = 35mm$$

3.5. Patentirani Peikko Column Shoe sustav

Za ovu metodu spoja nećemo raditi poseban izračun nego ćemo preuzeti dobivene sile iz proračuna za čeličnu ploču poravnatu s presjekom stupa (poglavlje 3.4.).

Izabiremo sidreni vijak HPM 39 L:



	HPM 16 P	HPM 20 P	HPM 24 P	HPM 30 P	HPM 39 P
M	M16	M20	M24	M30	M39
A	140	140	170	190	200
Stress area of the thread	157	245	352	561	976
Ø	16	20	25	32	40
L	810	1000	1160	1420	2000
Washer	Ø 40-6	Ø 44-6	Ø 56-6	Ø 65-8	Ø 90-10
Weight	1,5	2,8	4,9	9,8	21,8
Color code	Yellow	Blue	Gray	Green	Orange

Granica popuštanja vijka:

		HPM 16	HPM 20	HPM 24	HPM 30	HPM 39
N_{Rd} $N_{Rd,0}$	[kN]	62	96	139	220	383

$$F_{s,bolt} < N_{Rd}$$

$$F_{s,bolt} = \frac{519,50kN}{2} = 259,75kN$$

$$259,75kN < 383kN$$

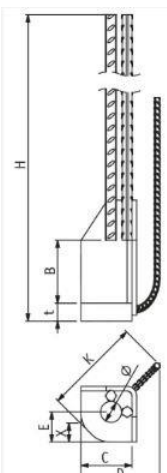
Otpornost sidrenog vijka na posmik:






Anchor Bolt	V_{Rd} [kN] Final Stage	$V_{Rd,0}$ [kN] Erection Stage	t_{Grout} [mm]
HPM 16	20	5	50
HPM 20	31	10	50
HPM 24	45	18	50
HPM 30	72	37	50
HPM 39	125	72	60

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$25kN < 125kN$$

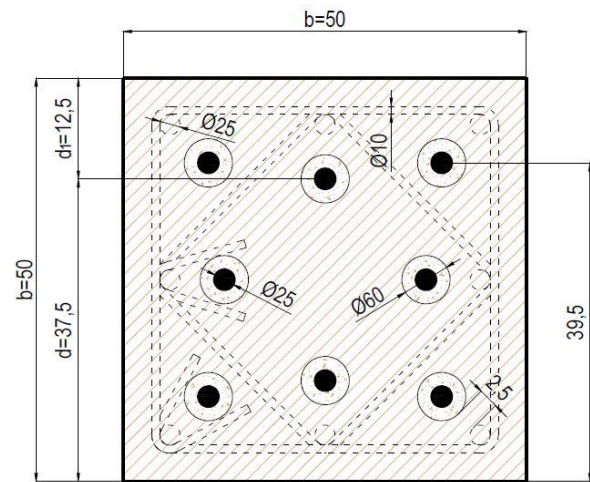
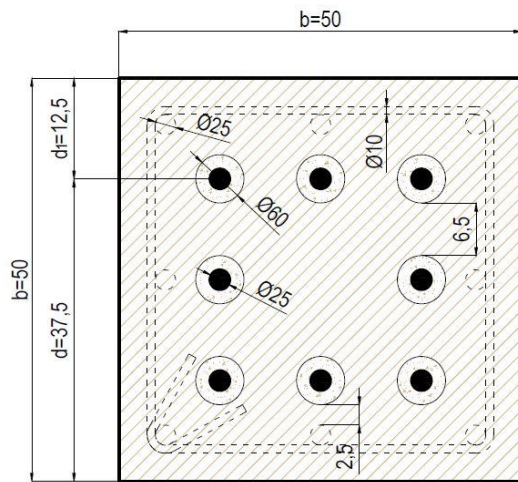
S obzirom na dobivene sile izabrali smo Peikko čelične stope HPKM 39.



	HPKM 16	HPKM 20	HPKM 24	HPKM 30	HPKM 39
			[mm]		
B	85	95	105	120	150
C	75	80	85	90	110
D	115	120	125	140	180
E	50	50	50	50	60
H	725	875	1105	1430	1885
K	135	145	150	175	225
t	15	20	30	45	50
X	30	30	30	30	37
Ø	28	31	35	40	55
weight	2.1	3.7	6.5	13.4	26.4
color					

3.6. Žljebovi ispunjeni cementnim mortom (injektiranje prethodno izvedenih kanala)

Na sljedećoj slici prikazane su dvije opcije mogućeg rasporeda žljebova u stupu. Proračun je proveden samo za jedan slučaj (sa manjim statičkim visinama-na strani sigurnosti).



$$v_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{b^2 f_{cd}} = \frac{-600}{50^2 * 2,33} = -0,103$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{30000}{50 * 50^2 * 2,33} = 0,103$$

Razred konstrukcije S4 (proračunski uporabni vijek konstrukcije 50 godina)

Razred izloženosti XC3 (vanjski beton zaštićen od kiše)

$$d_1 = 3,5 + 1 + 2,5 + 2,5 + \frac{6}{2}$$

$$d_1 = 12,5 \text{ cm}$$

$$d = b - d_1 = 50 - 12,5 = 37,5 \text{ cm}$$

$$\frac{d_1}{b} = \frac{12,5}{50} = 0,25$$

$$\omega_{tot} = 0,2 \text{ (dijagrami interakcije [11])}$$

$$A_{s,2} = A_{s,1}$$

$$A_{s,tot} = A_{s,1} + A_{s,2} = 2A_{s,1}$$

$$2As_1 = \omega_{tot} * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b^2 \Rightarrow As_1 = \frac{\left(\omega * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b^2 \right)}{2} = \frac{\left(0,2 * \frac{23,3}{434,78} * 50^2 \right)}{2} = 13,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{izabrano: } 3\phi 25 = 14,73 \text{ cm}^2$$

Potrebna duljina armaturnih šipki za nastavljjanje

C35/45 – proračunska čvrstoća prijanjanja $f_{bd}=3,30\text{MPa}$

Osnovna duljina sidrenja:

$$l_{b,rdg} = \frac{\phi}{4} * \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{\phi}{4} * \frac{434,8}{3,30} = 33\phi$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljjanjem:

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rdg} \geq l_{0,\min}$$

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1$$

$$\alpha_6 = 1,5$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{c_d - \phi}{\phi} \begin{cases} \geq 0,7 \\ \leq 1,0 \end{cases}$$

$$c_d = 45 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{45 - 25}{25} = 0,88$$

$$l_0 = 0,88 * 1,5 * 33 * \phi = 44\phi = 110 \text{ cm}$$

usvojeno $l_0 = 110 \text{ cm}$

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađene su različite vrste spoja montažnog armiranobetonskog stupa i temelja. Metoda spoja s temeljnom čašicom je najstarija od svih obrađenih u radu. Izvodi se pomoću betonske čašice koja može biti predgotovljena ili izvedena *in situ*, ovisno o financijskim uvjetima i samoj lokaciji gradilišta. Najveći nedostatak ovog tipa spoja je velika količina utrošenog betona i samim time velika težina temelja.

Metoda spoja stupa i temelja pomoću čelične ploče (stope) je najskuplji od obrađenih spojeva, a koristi se kada spoj mora prenositi znatno veći moment. Prednosti ove metode očituju se u trenutačnom prijenosu sila pri ugradnji i vertikalnosti koja se osigurava zatezanjem vijaka. Kod ovakvog spoja nije potrebno podupiranje elemenata, te nije potrebno čekanje dok spoj otvrdne kao u drugim metodama.

Metoda spoja stupa injektiranjem prethodno izvedenih kanala je zbog svoje ekonomičnosti najpopularnija među navedenima. Kod ovog spoja pretpostavka je da će se armaturnim šipkama postići potpuni prijenos sila pa se sam spoj promatra kao monolitni armiranobetonski stup. Osnovni nedostaci ove metode su potreba za pažljivom izvedbom, nemogućnost naknadne provjere jesu li šipke potpuno obložene mortom za ispunu, teže postizanje vertikalnosti stupa, te teže naknadne korekcije spoja.

Sve veći fokus na financijski aspekt i ekonomičnost izvođenja radova u današnjem građevinarstvu doveo je do inovacija u metodama spajanja stupova i temelja. Jedan primjer takva patentirane metode je i Peikko Column Shoe sustav opisan u ovom radu. Kod ovog sustava koristi se cjenovno prihvatljivija metoda spoja (u odnosu na klasični spoj s čeličnom pločom) s više manjih čeličnih stopa. Na taj način smanjena je količina čelika potrebna za izvedbu spoja što omogućava veliku uštedu u situacijama kada je poprečni presjek stupa znatnije veličine.

Svaka od navedenih metoda spojeva ima određene prednosti i nedostatke. Konstantni razvoj i napredak u proizvodnji i materijalima omogućavaju prilagodbu i lakši odabir najpogodnijeg spoja za stabilnost konstrukcije, jednostavnost i ekonomičnost izvedbe, te uvjete na gradilištu.

Literatura i izvori:

- [1]. <https://www.peikko.com/products/product/ppl-anchor-bolt-installation-template/> ; PPL Anchor Bolt Installation Template, Technical Manual, 04/2014.
- [2]. Kim S. Elliott: Precast Concrete Structures , Taylor & Francis, CRC Press, 2017.
- [3]. fib Bulletin 43: Structural connections for precast concrete buildings; FIB, February 2008.
- [4]. <https://www.peikko.com/products/product/hpkm-column-shoe/technical-information/> ; HPKM Column Shoe – ETA, Technical Manual, 05/2014.
- [5]. Mathias Tillmann: Knotenverbindungen für Betonfertigteile, Hinweise für Bemessung und Konstruktion, FDB, Bonn, 2011.
- [6]. Vježbe iz kolegija Montažne konstrukcije, doc.dr.sc. Željko Smolčić (MK primjer-P05-temeljna čašica), ak. god. 2018./2019.
- [7]. <https://www.peikko.com/products/product/hpm-rebar-anchor-bolt/> ; HPM Rebar Anchor Bolt – ETA, technical Manual, 01/2015
- [8]. fib Bulletin 78: Precast - concrete buildings in seismic areas; FIB, March 2016.
- [9]. Hubert Bachmann, Alfred Steinle: Precast Concrete Structures, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011.
- [10]. 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)
- [11]. Schneider – Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 22. Auflage, Bundesanzeiger Verlag, 2016.
- [12]. Boris Androić, Darko Dujmović, Ivica Džeba: Čelične konstrukcije 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.