

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Igličar, R., 2016. Dimenzioniranje vijačenih priključkov steber – temelj. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Može, P.): 35 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5948/>

Datum arhiviranja: 19-10-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Igličar, R., 2016. Dimenzioniranje vijačenih priključkov steber – temelj. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Može, P.): 35 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5948/>

Archiving Date: 19-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

ROK IGLIČAR

**DIMENZIONIRANJE VIJAČENIH PRIKLJUČKOV
STEBER - TEMELJ**

Diplomska naloga št.: 279/B-GR

DESIGN OF STEEL COLUMN BASES

Graduation thesis No.: 279/B-GR

Mentor:

doc. dr. Primož Može

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent **Rok Igličar**
vpisna številka **26110690**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom:
Dimenzioniranje vijačenih priključkov steber-temelj

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*
 - a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK 624.04:624.014.2(043.2)
Avtor: Rok Igličar
Mentor: doc. dr. Primož Može
Naslov: Dimenzioniranje vijachenih priključkov steber-temelj
Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 35 str., 6 pregl., 34 sl.
Ključne besede: priključek steber-temelj, sidranje, komponentna metoda

Izvleček:

V diplomski nalogi obravnavam vijacheni priključek jeklenega stebra na betonski temelj. V prvem delu prikažem tipične oblike priključka in opis njegovih glavnih elementov. Nato predstavim komponentno metodo in podrobneje opišem nosilnost komponent. V drugem delu na primerih prikažem izračun nosilnosti komponent in rezultate primerjam s programom Hilti PROFIS Anchor.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC 624.04:624.014.2(043.2)
Author: Rok igličar
Supervisor: Assist. Prof. Primož Može, Ph. D.
Title: Design of steel column bases
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 35p., 6 tab., 34 fig.
Key words: column base, anchoring, component method

Abstract:

Steel column base is analyzed in this thesis. Firstly the most common type of connection and description of its main elements are shown. The component method and the resistance of each components are then described in detail. Secondly the procedure for calculating the resistance of a column base is shown in three examples. Finally, i compare the results with the program Hilti PROFIS Anchor.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 OBLIKE VIJAČENIH PRIKLJUČKOV	2
2.1 Ležiščna pločevina	2
2.2 Podlitje	3
2.3 Betonski temelj	3
2.4 Sidra	3
3 KOMPONENTNA METODA	4
3.1 Osnovne komponente	5
3.1.1 Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu	5
3.1.1.1 Nosilnost	6
3.1.1.2 Sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa	8
3.1.2 Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu	10
3.1.2.1 Nosilnost	10
3.1.2.2 Sodelujoča širina nadomestnega T-elementa	11
3.1.3 Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku	13
3.1.4 Sidrni vijaki v strigu	13
3.2 Vnos v beton	14
3.2.1 Natezne komponente	14
3.2.1.1 Sidrni vijaki v nategu	14
3.2.1.2 Izvlek sidra	14
3.2.1.3 Porušitev betona v obliki stožca	15
3.2.1.4 Razcepitev betona	16
3.2.2 Strižne komponente	17
3.2.2.1 Sidrni vijaki v strigu	17
3.2.2.2 Pry-out porušitev	18
3.2.2.3 Robna porušitev betona	18
3.2.3 Kombinacija nateznih in strižnih obremenitev	20
3.3 Strižni trn	20

3.3.1	Strižna nosilnost trna	20
3.3.2	Kontaktne napetosti	20
3.3.3	Upogib strižnega trna.....	21
3.4	Obremenitev komponent	21
4	RAČUNSKI PRIMERI	22
4.1	Priključek obremenjen s tlačno osno silo in strižno silo	22
4.1.1	Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu	23
4.1.2	Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku	24
4.1.3	Prenos strižnih sil	24
4.2	Priključek obremenjen s tlačno osno silo, upogibnim momentom in majhno strižno silo	24
4.2.1	Obremenitev komponent	25
4.2.2	Osnovne komponente.....	25
4.2.2.1	Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu	25
4.2.2.2	Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku	26
4.2.2.3	Sidrni vijaki v strigu	26
4.2.2.4	Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu.....	26
4.2.3	Vnos v beton	27
4.2.3.1	Sidrni vijaki v nategu	27
4.2.3.2	Izvlek sidra.....	27
4.2.3.3	Porušitev betona v obliki stožca	27
4.2.3.4	Razcepitev betona.....	28
4.2.3.5	Sidrni vijaki v strigu	28
4.2.3.6	Pry-out porušitev	28
4.2.3.7	Robna porušitev betona	28
4.2.3.8	Kombinacija nateznih in strižnih obremenitev	29
4.2.3.9	Primerjava rezultatov s programom Hilti PROFIS Anchor.....	29
4.3	Priključek obremenjen s tlačno osno silo, upogibnim momentom in večjo strižno silo.....	30
4.3.1	Obremenitev komponent	31
4.3.2	Osnovne komponente.....	31
4.3.2.1	Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu	31
4.3.2.2	Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku	31
4.3.2.3	Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu.....	31
4.3.3	Vnos v beton	32
4.3.3.1	Sidrni vijaki v nategu	32
4.3.3.2	Izvlek sidra.....	32
4.3.3.3	Porušitev betona v obliki stožca	32
4.3.3.4	Razcepitev betona.....	33
4.3.3.5	Primerjava rezultatov s programom Hilti PROFIS Anchor.....	33

4.3.4	Strižni trn	33
4.3.4.1	Strižna nosilnost trna	33
4.3.4.2	Kontaktne napetosti	33
4.3.4.3	Upogib strižnega trna	33
5	ZAKLJUČEK	34
VIRI	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovne komponente [6].....	4
Preglednica 2: Natezne komponente [7].....	4
Preglednica 3: Strižne komponente [7]	5
Preglednica 4: Izračun sodelujoče dolžine	9
Preglednica 5: Primerjava rezultatov s Hilti PROFIS Anchor	29
Preglednica 6: Primerjava rezultatov s Hilti PROFIS Anchor	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Elementi priključka [5]	2
Slika 2: Oblike priključkov [5].....	2
Slika 3: Tipi ležiščnih pločevin [2]	3
Slika 4: Vrste sider [2]	3
Slika 5: Definicija T-elementa [2].....	5
Slika 6: Prikaz kontaktnih sil [2].....	5
Slika 7: Ekvivalentna dolžina vijaka [8]	6
Slika 8: Mehanizmi porušitve kadar kontaktne sile so prisotne [8]	6
Slika 9: 1-2. način porušitve [8].....	7
Slika 10: Oblike plastifikacije pločevine [2].....	8
Slika 11: Razlaga simbolov [8]	8
Slika 12: Koncentrirana obtežba na beton [9]	11
Slika 13: Sodelujoča širina [8]	11
Slika 14: Površina ekvivalentnega T-elementa [2].....	12
Slika 15: Površina ekvivalentnega T-elementa [2].....	12
Slika 16: Upogib vijakov [8].....	13
Slika 17: Porušitev betona v obliki stožca [7]	15
Slika 18: Idealna površina projekcije stožca [3]	15
Slika 19: Dejanska površina projekcije stožca [3]	16
Slika 20: Dodatna armatura znotraj stožca [7]	16
Slika 21: Določitev ročice [3]	17
Slika 22: Pry-out porušitev [3].....	18
Slika 23: Robna porušitev betona [7].....	18
Slika 24: Idealna in dejanska površina projekcije stožca [3]	19
Slika 25: Strižni trn [4].....	20
Slika 26: Trikotna razporeditev napetosti [4].....	21
Slika 27: Kombinacija osne sile in upogibnega momenta [1].....	21
Slika 28: Zasnova priključka.....	22
Slika 29: Prikaz ekvivalentne površine	23
Slika 30: Zasnova priključka.....	24
Slika 31: Obremenitev komponent.....	25
Slika 32: Prikaz ekvivalentne površine	26
Slika 33: Zasnova priključka.....	30
Slika 34: Obremenitev komponent.....	31

Ta stran je namenoma prazna

1 UVOD

V jeklenih konstrukcijah morajo projektanti največ pozornosti nameniti spojem, saj imajo velik vpliv na obnašanje celotne konstrukcije. Vijaaeni priključek jeklenega stebra na betonski temelj je zelo pomemben spoj, saj je njegova funkcija prenos obremenitev, ki delujejo na konstrukcijo, do temeljnih tal.

Za analizo spoja se trenutno uporablja komponentna metoda, ki jo podaja SIST EN 1993-1-8 [1]. S komponentno metodo lahko analiziramo le spoje, ki so obremenjeni z upogibnim momentom okoli močne osi. Za analizo spojev, ki so obremenjeni z upogibnim momentom okoli šibke osi, se velikokrat uporablja metodo končnih elementov, saj za ta primer ni analitičnih metod [2].

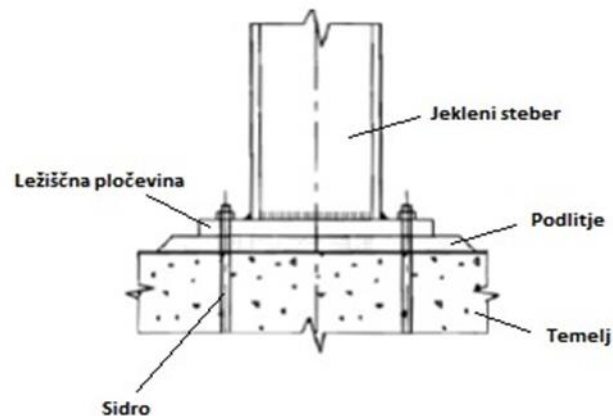
V diplomski nalogi sem se osredotočil le na izračun nosilnosti priključka. V [1] so opisane le komponente, ki so povezane z jeklenim delom priključka. Vnos v beton sem preveril po metodi, ki je opisana v ETAG 1 [3]. [3] je smernica za pridobitev tehničnega soglasja ETA in podaja tudi metodo za izračun nosilnosti sidrnega sistema. Tehnično soglasje pa je dokument, ki vsebuje opis in bistvene značilnosti gradbenega proizvoda.

[1] ne podaja rešitve za priključek s strižnim trnom, zato sem sledil navodilom podanim v Joints in Steel Construction: Moment-Resisting Joints to Eurocode 3 [4]. Strižni trn je v splošnem jeklena plošča ali jeklen profil, ki je privarjen na spodnjo stran ležiščne pločevine. Strižni trn se uporabi takrat, ko strižna nosilnost sidrnih vijakov ni dovolj velika za prevzem strižnih obremenitev.

2 OBLIKE VIJAČENIH PRIKLJUČKOV

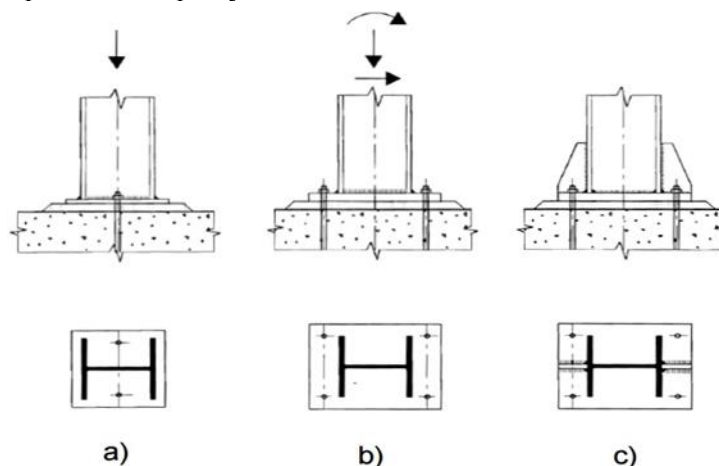
Vijačeni priključek jeklenega stebra na betonski temelj je poseben tip priključka, ki povezuje jekleni stebel z betonskim temeljem. Glavni elementi takega priključka so:

- jekleni stebel,
- ležiščna pločevina,
- sidrni vijaki,
- podlitje,
- temelj.



Slika 1: Elementi priključka [5]

Postavitev sider je odvisna od obremenitev, ki delujejo na priključek. Sidra lahko postavimo znotraj pasnic stebra ali zunaj pasnic stebra. V primeru velikih obremenitev lahko priključek tudi ojačamo. Na sliki 2 so prikazane tipične oblike priključkov.

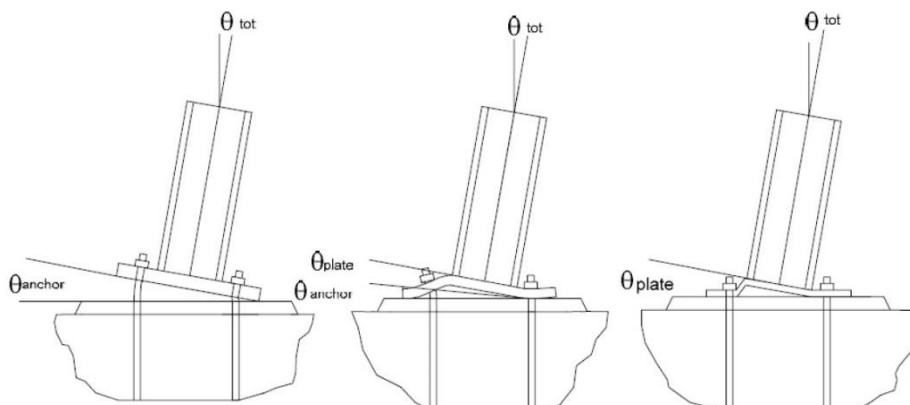


Slika 2: Oblike priključkov [5]

2.1 Ležiščna pločevina

Ležiščna pločevina je jeklena pločevina pravokotne oblike, ki je privarjena na jekleni stebel. Prva funkcija ležiščne pločevine je povečanje kontaktne površine med jeklenim stebelom in betonskim temeljem. S povečanjem kontaktne površine se zmanjšajo tlačne napetosti na beton v primeru tlačnih obremenitev in prepreči drobljenje betona. Druga funkcija ležiščne pločevine je prenos nateznih obremenitev iz jeklenega stebra na sidrne vijake.

Ležiščne pločevine delimo na toge, delno toge in tanke ležiščne pločevine [2]. Na sliki so prikazani trije tipi pločevin in pričakovane deformirane oblike.



Slika 3: Tipi ležiščnih pločevin [2]

Za priključek s togo ležiščno pločevino je značilno togo obnašanje pločevine. V pločevini se ne tvorijo plastični členki in do porušitve pride zaradi porušitve vijakov. Za priključek s tanko ležiščno pločevino je značilno duktilno obnašanje in do porušitve pride zaradi porušitve pločevine. V primeru delno togih ležiščnih pločevin do porušitve pride tako v vijakih kot tudi v pločevini.

2.2 Podlitje

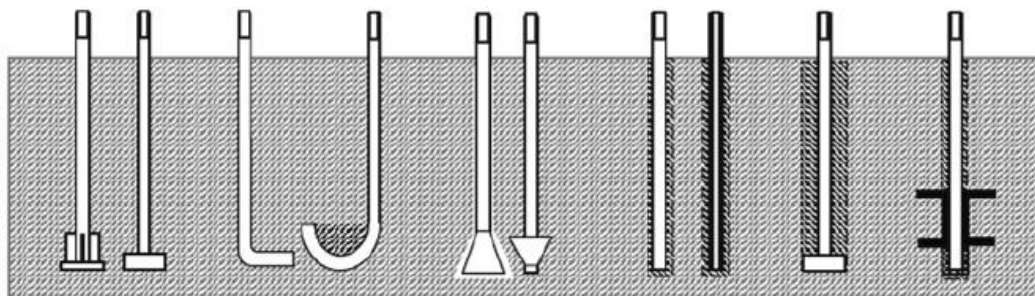
Podlitje je sloj med ležiščno pločevino in betonskim temeljem. Funkcija podlitja je prenos strižnih obremenitev iz jeklenega stebra na betonski temelj s trenjem med ležiščno pločevino in podlitjem ter trenjem med betonskim temeljem in podlitjem [2]. Druga funkcija podlitja je zagotovitev ravne površine, na kateri stoji steber.

2.3 Betonski temelj

Funkcija betonskega temelja je prenos obremenitev v temeljna tla. Dimenzije temelja so določene na podlagi specifičnih pogojev zemljine in obremenitev, ki delujejo nanj.

2.4 Sidra

Funkcija sider je sidranje jeklenega stebra v betonski temelj. Za sidranje se uporablja več vrst sider. Najpogosteje se uporablja vijachna sidra, ekspanzijska sidra in palice s kavljem, saj je vgradnja takih sider najcenejša [2].



Slika 4: Vrste sider [2]


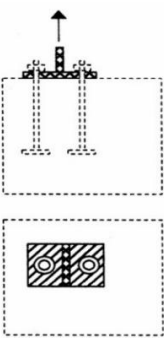
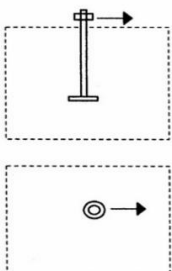
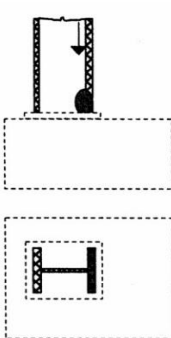
3 KOMPONENTNA METODA

Komponentna metoda je najpogosteje uporabljena metoda za analizo spojev in je opisana v SIST EN 1993-1-8 [1]. Princip komponentne metode je razdelitev spoja na posamezne komponente, ki jih nato analiziramo vsako posebej. Postopek te metode je sestavljen iz naslednjih korakov [1]:

- identifikacija komponent,
- izračun nosilnosti komponent,
- izračun nosilnosti spoja.

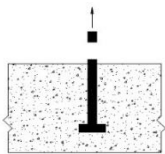
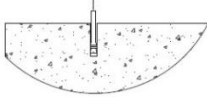
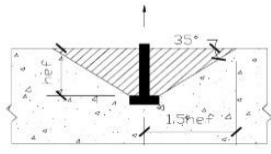

V [1] je naveden seznam osnovnih komponent, ki se nanašajo na jekleni del priključka in beton v tlaku, ter izrazi za izračun njihovih lastnosti. Najpomembnejše lastnosti komponent so: nosilnost F_{Rd} , togost K , in rotacijska kapaciteta δ_{Cd} . V tej diplomski nalogi sem se osredotočil samo na izračun nosilnosti komponent. Komponente, ki so pomembne za priključek jeklenega stebra na betonski temelj so prikazane v spodnji preglednici:

Preglednica 1: Osnovne komponente [6]

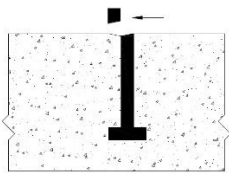
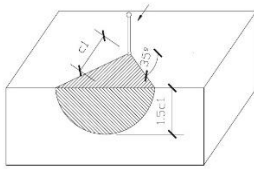
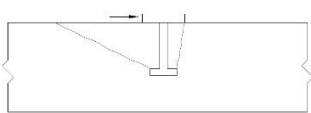
			
Ležiščna pločevina v upogibu in beton v tlaku	Ležiščna pločevina v upogibu in sidrni vijaki v nategu	Sidrni vijaki v strigu	Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku

Komponente oziroma načini porušitve, ki so povezani s sidranjem priključka v [1] niso opisane. Te podaja ETAG 1 [3]. Izrazi podani v [3] veljajo predvsem za vijačna sidra, ekspanzijska sidra in spodrezna sidra. Načini porušitve, ki jih moramo preveriti, so v [3] razdeljene glede na tip obremenitve sider in so prikazane preglednicah 2 in 3.

Preglednica 2: Natezne komponente [7]

Obremenitev	Komponente oziroma načini porušitve			
Nateg				
	Sidrni vijaki v nategu	Izvlek sidra	Porušitev betona v obliki stožca	Razcepitev betona

Preglednica 3: Strižne komponente [7]

Obremenitev	Komponente oziroma načini porušitve		
Strig			
	Sidni vijaki v strigu	Robna porušitev betona	Pry-out porušitev

Kadar za prevzem strižnih obremenitev uporabimo strižni trn, moramo namesto zgornjih strižnih komponent preveriti naslednje [4]:

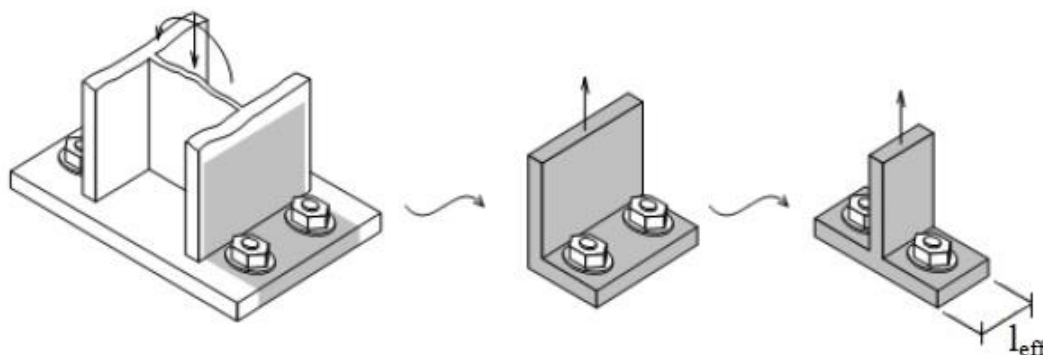
- strižna nosilnost strižnega trna,
- kontaktne napetosti,
- upogib strižnega trna.

3.1 Osnovne komponente

3.1.1 Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu

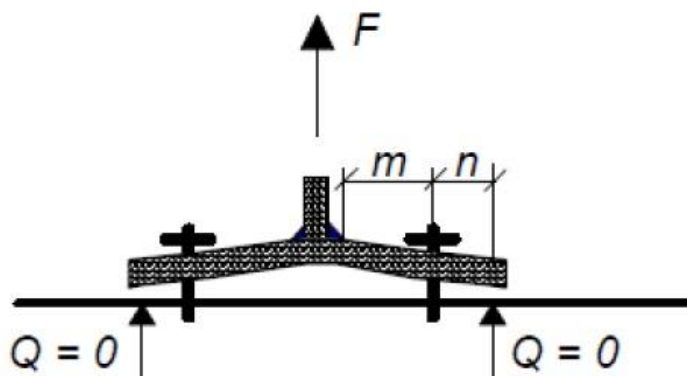
Kadar je spoj obremenjen z momentno obtežbo, lahko do porušitve v natezni coni pride zaradi upogiba ležiščne pločevine, porušitve sidrnih vijakov ali istočasne odpovedi vijakov in ležiščne pločevine.

Ta komponenta je v [1] opisana z uvedbo nadomestnega T-elementa. To je element T-oblike z efektivno dolžino l_{eff} , ki ima enako odpornost in načine porušitve, kot jo ima osnovni element.



Slika 5: Definicija T-elementa [2]

Upoštevati moramo razliko med ležiščno pločevino in čelno pločevino pri spojih steber-prečka. V primerjavi z čelno pločevino ima ležiščna pločevina večjo debelino in daljše sidrne vijake, zato v večini primerov ni kontaktnih sil [8].



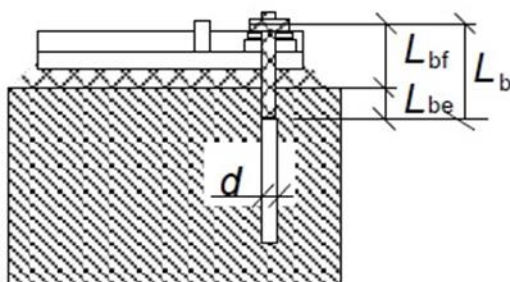
Slika 6: Prikaz kontaktnih sil [2]

Prisotnost kontaktnih sil se določi na podlagi dolžine sidrnih vijakov. Vendar se vijaki ne deformirajo po celotni dolžini, zato je potrebno določiti ekvivalentno dolžino vijakov. Če je ekvivalentna dolžina vijakov dovolj velika, se zaradi deformiranja vijakov ležiščna pločevina loči od betonskega temelja in kontaktnih sil v tem primeru ni. Minimalno ekvivalentno dolžino vijakov določimo po spodnjem izrazu [8]:

$$L_{b,\min} = \frac{8.82m^3 A_s}{l_{eff,1} t^3} \quad (1)$$

kjer je:

- A_s ... prerez stebila vijaka,
 $l_{eff,1}$... sodelujoča dolžina T-elementa,
 t ... debelina pločevine,
 m ... razdalja od središča vijaka do zvara,
 $L_{b,\min}$... minimalna ekvivalentna dolžina vijaka.



Slika 7: Ekvivalentna dolžina vijaka [8]

Ekvivalentno dolžino vijakov določimo po spodnjem izrazu:

$$L_b = L_{bf} + L_{be} \quad (2)$$

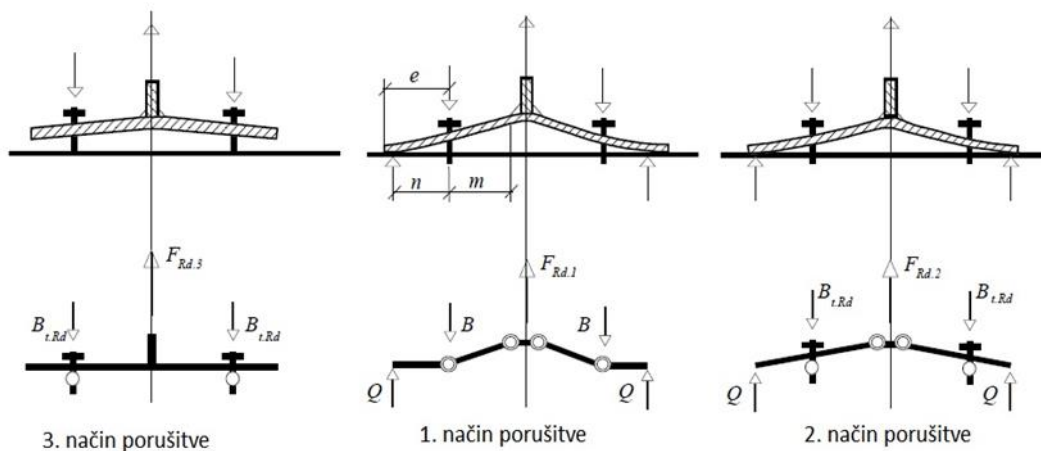
kjer je:

$$L_{be} = \min(8d, h_{ef}).$$

3.1.1.1 Nosilnost

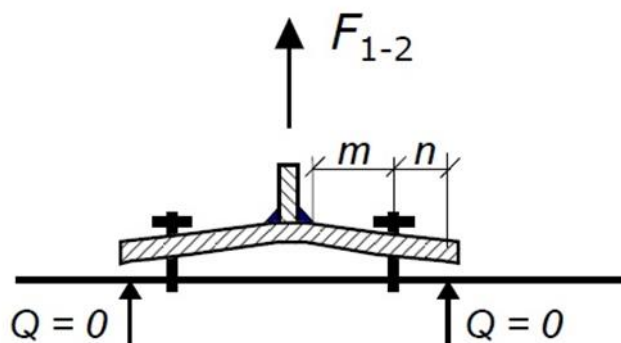
V [1] so za primer, ko so prisotne kontaktne sile, opisani 3 mehanizmi porušitve T-elementov:

- 1. način porušitve: upogib pasnice T-elementa. Je merodajen pri tankih pločevinah.
- 2. način porušitve: istočasna odpoved ležiščne pločevine in sidrnih vijakov. Je merodajen pri srednje debelih pločevinah.
- 3. način porušitve: odpoved vijakov. Je merodajen pri debelih pločevinah.



Slika 8: Mehanizmi porušitve kadar kontaktne sile so prisotne [8]

Za primer brez kontaktnih sil je v [1] opisan še en dodaten mehanizem porušitve (1-2. način porušitve). Ta mehanizem porušitve je podoben 1. načinu porušitve, vendar niso prisotne kontaktne sile [2].



1-2. način porušitve

Slika 9: 1-2. način porušitve [8]

Odpornost posameznih mehanizmov porušitve določimo z naslednjimi izrazi:

1. način porušitve:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (3)$$

2. način porušitve:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} \quad (4)$$

3. način porušitve:

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} \quad (5)$$

1-2. način porušitve:

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1-2,Rd}}{m} \quad (6)$$

kjer je:

- n ...razdalja od središča vijaka do roba pločevine, vendar $n \leq 1.25m$,
- $M_{pl,i,Rd}$...plastični odpornostni moment pasnice T-elementa za porušitev po i-tem načinu.

Plastični odpornostni moment T-elementa za i-ti način porušitve dobimo po spodnjem izrazu:

$$M_{pl,i,Rd} = \Sigma l_{eff,i} \frac{1}{4} \frac{t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7)$$

kjer je:

- f_y ...napetost na meji tečenja,
- γ_{M0} ...delni faktor odpornosti.

Natezno nosilnost navadnega vijaka s šestrobo glavo $F_{t,Rd}$ dobimo z izrazom:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8)$$

kjer je:

- f_{ub} ...natezna trdnost vijaka,
- γ_{M2} ...delni faktor odpornosti.

Skupno nosilnost komponente za primer s kontaktnimi silami dobimo z izrazom:

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad (9)$$

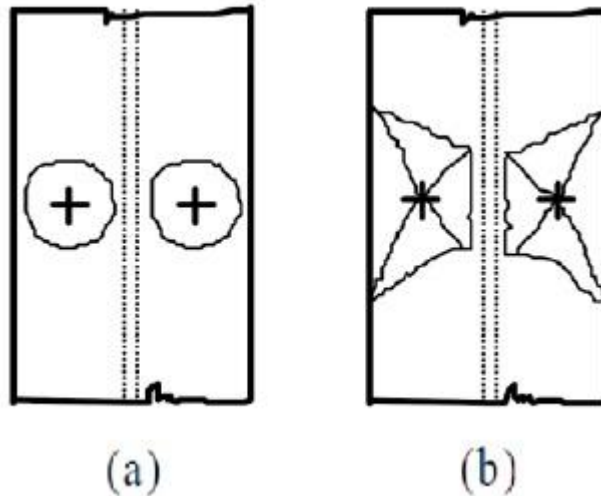
Za primer brez kontaktnih sil pa z izrazom:

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad (10)$$

3.1.1.2 Sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa

Sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa je odvisna od oblike plastičnih porušnih linij. Pojavita se lahko dve obliki plastičnih linij:

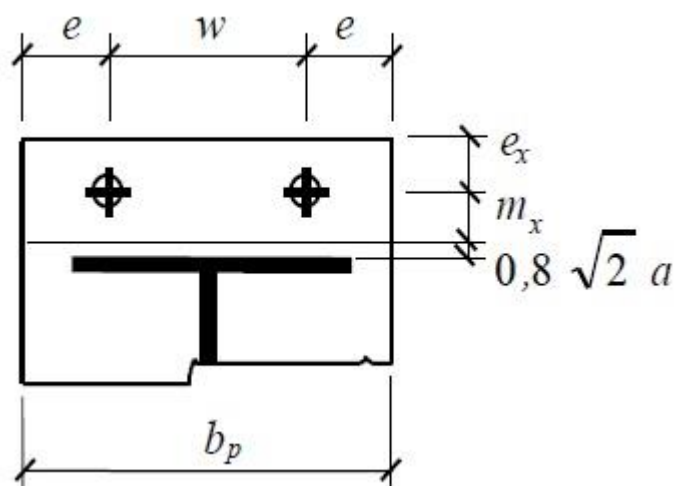
- krožna oblika,
- poligonalna oblika.



Slika 10: Oblike plastičnih porušnih linij [2]

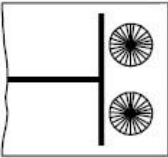
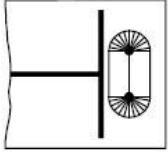
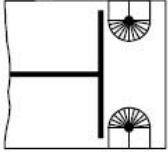
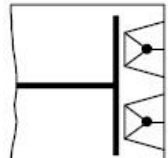
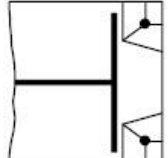
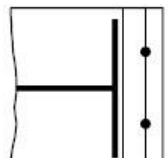
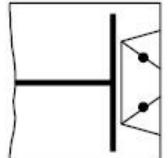
Izraze za izračun sodelujoče dolžine najdemo v [1], vendar le za primer, ko so prisotne kontaktne sile. Ostale izraze sem pridobil iz [8] in so zbrani v preglednici 4. Ilustracije sem pridobil iz [2].

Simboli uporabljeni v preglednici 4 predstavljajo razdalje, kot kaže slika 11.



Slika 11: Razlaga simbolov [8]

Preglednica 4: Izračun sodelujoče dolžine

Oblika porušnih linij	Kontaktne sile so prisotne	Kontaktne sile ni	
Krožna oblika		$l_1 = 2\pi m_x$	$l_1 = 2\pi m_x$
		$l_2 = \pi m_x + w$	$l_2 = 2\pi m_x + 2w$
		$l_3 = \pi m_x + 2e$	$l_3 = \pi m_x + 4e$
Poligonalna oblika		$l_4 = 4m_x + 1.25e_x$	$l_4 = 4m_x + 1.25e_x$
		$l_5 = e + 2m_x + 0.625e_x$	$l_5 = e + 2m_x + 0.625e_x$
		$l_6 = 0.5b_p$	$l_6 = 0.5b_p$
		$l_7 = 0.5w + 2m_x + 0.625e_x$	$l_7 = 0.5w + 2m_x + 0.625e_x$

Izrazi v preglednici 4 veljajo le kadar sta v natezni coni 2 vijaka in kadar so vijaki postavljeni ob zunanjo stran pasnice stebra. Sodelujoče dolžine za posamezne načine porušitve dobimo po spodnjih formulah:

1. način porušitve:

$$l_{eff,1} = \min(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7) \quad (11)$$

2. način porušitve:

$$l_{eff,2} = \min(l_4, l_5, l_6, l_7) \quad (12)$$

1-2. način porušitve:

$$l_{eff,1-2} = \min(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7) \quad (13)$$

3.1.2 Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu

Komponenta »beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu« predstavlja tlačeni del priključka. Nosilnost te komponente je odvisna predvsem od nosilnosti betona pri koncentrirani obtežbi. Na nosilnost komponente imajo vpliv tudi sloj podlitja, projektna trdnost betona, velikost tlačnega področja in dimenzije betonskega temelja. Tako kot komponento »pločevina v upogibu in vijaki v nategu«, tudi to komponento opišemo s pomočjo T-elementov.

3.1.2.1 Nosilnost

Nosilnost komponente $F_{c,Rd}$ določimo po spodnjem izrazu:

$$F_{c,Rd} = f_{jd} A_{eff} \quad (14)$$

kjer je:

A_{eff} ...površina nadomestnega T-elementa, odvisna od sodelujoče širine c ,
 f_{jd} ...projektna trdnost betonske podlage, obremenjene s koncentrirano obtežbo.

Projektno trdnost betonske podlage določimo po spodnjem izrazu:

$$f_{jd} = \beta f_{ca} \alpha \quad (15)$$

kjer je:

β ...koeficient podlage, za katerega se predpostavi vrednost 2/3, če so izpolnjeni naslednji pogoji:

- karakteristična trdnost podlitja ni manjša od 20 % karakteristične trdnosti betona,
- debelina podlitja ni večja od 20 % tlorisnih dimenzij ležiščne pločevine,
- pri debelini nad 50 mm je karakteristična trdnost podlitja enaka ali večja od karakteristične trdnosti betona, vgrajenega v temelj.

α ...faktor raznosa obtežbe, $1 \leq \alpha \leq 3$.

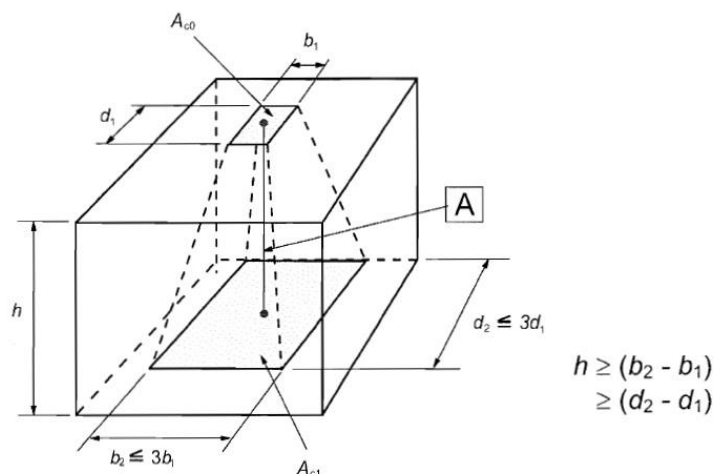
Rznos obtežbe α določimo po naslednjem izrazu:

$$\alpha = \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \quad (16)$$

kjer je:

A_{c0} ...velikost območja koncentrirane obremenitve in je enaka A_{eff} ,

A_{c1} ...velikost območja, ki je odvisno od geometrije temelja.



Slika 12: Koncentrirana obtežba na beton [9]

Glede na to, da je velikost območja A_{c0} odvisna od sodelujoče širine c , ta pa je odvisna od projektne trdnosti betonske podlage f_{jd} , je za določitev vseh teh parametrov potreben krajši iteracijski postopek. Kot prvi korak lahko uporabimo, da je A_{c0} enaka površini ležiščne pločevine [2].

$$A_{c0} = ab \quad (17)$$

A_{c1} pa pridobimo z upoštevanjem geometrijskih pogojev [2].

$$A_{c1} = a_2 b_2 \quad (18)$$

$$a_2 = \min \begin{cases} a + h \\ 3a \\ a_1 \end{cases} \quad (19)$$

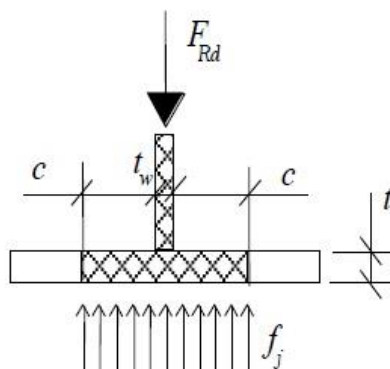
$$b_2 = \min \begin{cases} b + h \\ 3b \\ b_1 \end{cases} \quad (20)$$

kjer je:

- a, b ...dimenzije ležiščne pločevine,
- h ...višina betonskega temelja,
- a_1, b_1 ...dimenzije betonskega temelja.

3.1.2.2 Sodelujoča širina nadomestnega T-elementa

Sodelujočo širino nadomestnega T-elementa se določi z upoštevanjem stanja, da pasnice T-elementa dosežejo elastično upogibno nosilnost. Na T-element deluje konstantna obtežba f_{jd} , kot kaže slika 13.



Slika 13: Sodelujoča širina nadomestnega T-elementa [8]

Elastična upogibna nosilnost ležiščne pločevine na enoto dolžine je enaka:

$$M_n = \frac{1}{6} t^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (21)$$

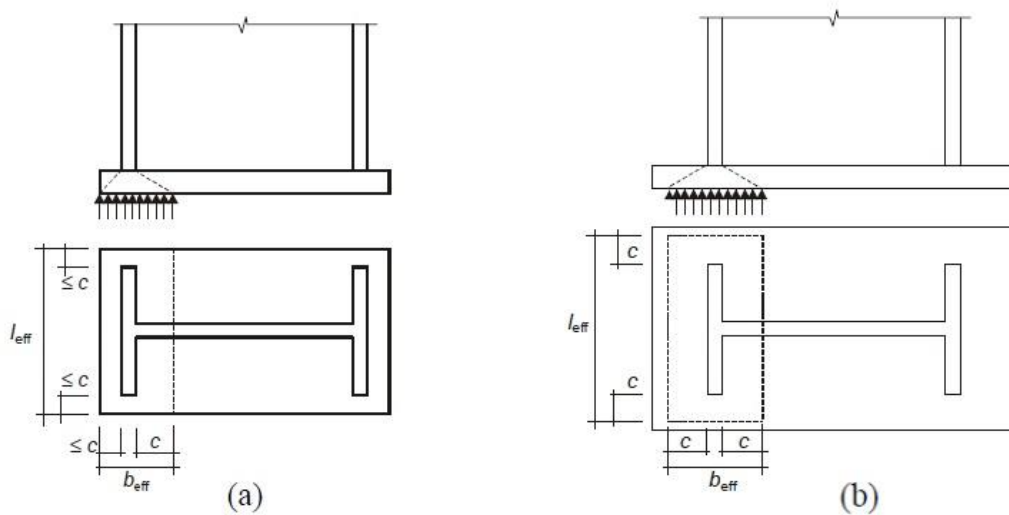
Zunanji moment, ki deluje na pločevino je enak:

$$M_z = \frac{1}{2} c^2 f_{jd} \quad (22)$$

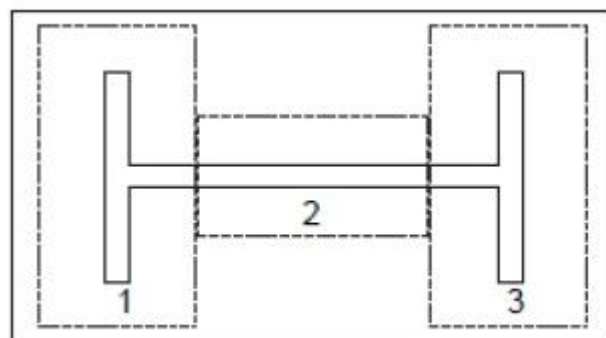
Sodelujočo širino nadomestnega T-elementa c izrazimo iz ravnotežja notranjega in zunanje momenta:

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} \quad (23)$$

Ko izračunamo sodelujočo širino c , lahko preprosto določimo A_{eff} . Kadar na priključek delujeta tlačna osna sila in upogibni moment, to storimo tako kot kaže slika 14, kadar pa na priključek deluje samo osna sila, to storimo kot kaže slika 15.



Slika 14: Površina nadomestnega T-elementa [2]



Slika 15: Površina nadomestnega T-elementa [2]

3.1.3 Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku

Zagotoviti moramo, da so napetosti v stebru manjše od projektne napetosti tečenja.

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (24)$$

kjer je:

A ...prerez jeklenega stebra,

W_{el} ...elastični odpornostni moment jeklenega stebra.

3.1.4 Sidrni vijaki v strigu

Kadar je priključek stebra na betonski temelj obremenjen s prečno silo, lahko to silo prevzamemo s trenjem med pločevino in podlitjem, s strižno nosilnostjo vijakov ali pa s strižnim trnom.

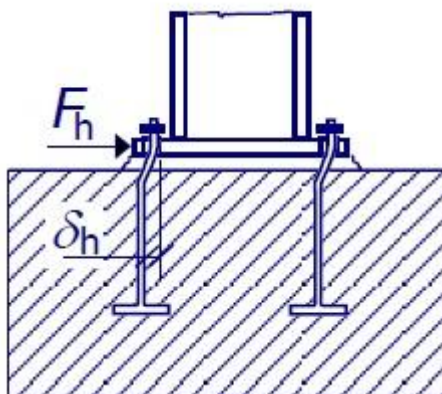
Trenje lahko upoštevamo le kadar imamo priključek obremenjen s tlačno osno silo. Torno nosilnost med podlitjem in pločevino določimo z izrazom:

$$F_{f,Rd} = 0.2N_{c,Ed} \quad (25)$$

kjer je:

$N_{c,Ed}$...tlačna osna sila, ki deluje na priključek.

Pri strižni nosilnosti sidrnih vijakov upoštevamo reducirano strižno nosilnost, saj so lahko zaradi manjše nosilnosti podlitja vijaki izpostavljeni tudi upogibu.



Slika 16: Upogib vijakov [8]

Reducirano strižno nosilnost sidrnega vijaka določimo po spodnjem izrazu:

$$F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_b f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (26)$$

kjer je:

$\alpha_b = 0.44 - 0.0003f_{yb}$,

f_{yb} ...napetost tečenja sidrnega vijaka v MPa. f_{yb} ne sme presegati 640 MPa.

3.2 Vnos v beton

[1] ne podaja metode za izračun nosilnosti sidranja, zato sem uporabil metodo opisano v ETAG 1 [3]. [3] je smernica za pridobitev tehničnega soglasja ETA in podaja tudi metodo za izračun nosilnosti sidranja. V [3] so sicer prikazane 3 metode za izračun nosilnosti komponent, vendar se bom osredotočil le na metodo A, ki je bolj natančna metoda. Projektno nosilnost komponent se izračuna po naslednjem izrazu:

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (27)$$

kjer je:

R_k ...karakteristična nosilnost,

γ_M ...delni faktor odpornosti.

Po [3] se delni faktor odpornosti za nosilnost sider določi na podlagi izkušenj kot:

Natezno obremenjeni sidrni vijaki:

$$\gamma_{Ms} = \frac{1.2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1.4 \quad (28)$$

kjer je:

f_{yk} ...napetost tečenja za sidrne vijake,

f_{uk} ...natezna trdnost sidrnih vijakov.

Strižno obremenjeni sidrni vijaki:

$$\gamma_{Ms} = \frac{1.0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1.25 \quad \text{za} \quad f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \quad \text{in} \quad f_{yk}/f_{uk} \leq 0.8 \quad (29)$$

Sicer velja: $\gamma_{Ms} = 1.5$

Beton:

$$\gamma_{Mc} = \gamma_c \gamma_2 \quad (30)$$

kjer je:

$\gamma_c = 1.5$,

γ_2 ...faktor, ki upošteva varnost pri namestitvi sidrnega sistema.

Beton lahko zaradi obremenitve tudi razpoka. Nerazpokanost betona lahko upoštevamo le kadar so sidra obremenjena z silo, ki je manjša od 60 kN in ko velja izraz (31), drugače upoštevamo, da je beton razpokan [3].

$$\sigma_L + \sigma_R \leq 0 \quad (31)$$

kjer so:

σ_L ...napetosti v betonu zaradi zunanjih obremenitev,

σ_R ...napetosti v betonu zaradi vsiljenih deformacij in krčenja betona.

3.2.1 Natezne komponente

3.2.1.1 Sidrni vijaki v nategu

Karakteristično nosilnost te komponente se določi po naslednjem izrazu:

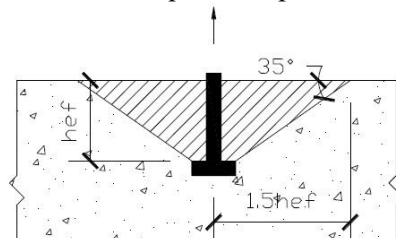
$$N_{Rk,s} = A_s f_{uk} \quad (32)$$

3.2.1.2 Izvlek sidra

[3] ne podaja izraza za nosilnost te komponente in pravi, da lahko nosilnost te komponente pridobimo v tehničnem soglasju ETA.

3.2.1.3 Porušitev betona v obliki stožca

Kadar so sidrni vijaki obremenjeni z natezno silo, je običajno ta komponenta najbolj reprezentativna. Nosilnost te komponente se določi s pomočjo tako imenovane »CC metode«. Ta metoda temelji na predpostavki, da se v betonu izoblikuje porušna površina z naklonom 35°, ki se prične pri glavi sidrnega vijaka in konča na površini betona, kar povzroči porušitev betona v obliki stožca [7].



Slika 17: Porušitev betona v obliki stožca [7]

Začetno karakteristično nosilnost v primeru enega sidrnega vijaka se določi po naslednjem izrazu:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \sqrt{f_{ck,cube}} h_{ef}^{1.5} \quad (33)$$

kjer je:

- h_{ef} ... globina sidranja v mm,
- $f_{ck,cube}$... trdnost betona v N/mm²,
- k_1 ... faktor, ki zajema vpliv velikosti porušne površine stožca in natezne trdnosti betona.

Faktor k_1 je odvisen tudi od razpokanosti betona in velja [3]:

- $k_1 = 7.2$... razpokan beton,
- $k_1 = 10.1$... nerazpokan beton.

Dejansko karakteristično nosilnost pa se določi po naslednjem izrazu:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \quad (34)$$

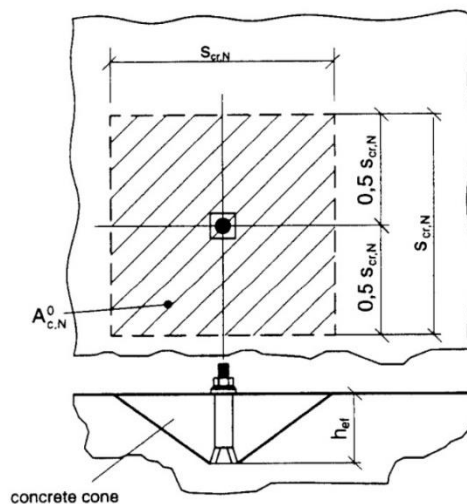
V tem izrazu je $\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0}$ razmerje med dejansko površino projekcije stožca in idealno površino projekcije stožca v primeru enega vijaka. To projekcijo se poenostavi kar na pravokotnik, kot kaže slika 18.

Idealno površino projekcije stožca v primeru enega vijaka določimo po spodnjem izrazu:

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} s_{cr,N} \quad (35)$$

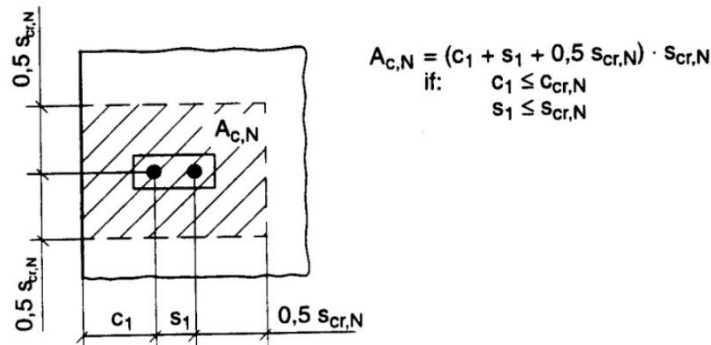
kjer je:

$$s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 3h_{ef}.$$



Slika 18: Idealna površina projekcije stožca [3]

Dejansko površino projekcije stožca pa določimo kot kaže slika 19.



Slika 19: Dejanska površina projekcije stožca [3]

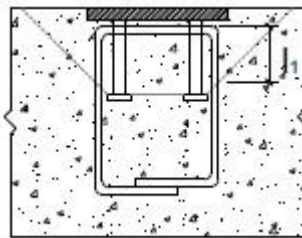
Faktor $\psi_{s,N}$ zajema negativen vpliv, kadar je razdalja med središčem sidrnega vijaka in robom betonskega temelja krajša od $c_{cr,N}$ in se ga določi po naslednjem izrazu:

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (36)$$

kjer je:

c ... najkrajša razdalja med središčem sidrnega vijaka in robom betonskega temelja.

Faktor $\psi_{re,N}$ zajema negativen vpliv, kadar je razdalja med palicami dodatne armature znotraj stožca majhna. V primeru da je ta razdalja $\geq 150\text{mm}$ ali pa dodatne armature ni, lahko uporabimo $\psi_{re,N} = 1$.



Slika 20: Dodatna armatura znotraj stožca [7]

Faktor $\psi_{ec,N}$ zajema negativen vpliv, kadar je več skupin sidrnih vijakov obremenjenih z različno natezno silo. Kadar je obremenjena samo ena skupina sidrnih vijakov, lahko uporabimo $\psi_{ec,N} = 1$.

3.2.1.4 Razcepitev betona

Razcepitev betona lahko nastane med samo vgradnjo sider. Temu se izognemo tako, da upoštevamo minimalno razdaljo od sider do roba betona c_{min} , minimalno razdaljo med sidri s_{min} in minimalno višino temelja h_{min} . Te razdalje dobimo tehničnem soglasju.

Razcepitev betona pa lahko povzroči tudi obtežba. Temu se izognemo, če sta izpolnjena dva pogoja:

- $c \geq 1.2c_{cr,sp}$ in $h \geq 2h_{ef}$,
- širina razpok je omejena na $w_k = 0.3\text{mm}$.

Razdaljo $c_{cr,sp}$ dobimo v tehničnem soglasju.

Če zgornja pogoja nista izpolnjena, karakteristično nosilnost določimo po spodnjem izrazu:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{h,sp} \quad (37)$$

$N_{Rk,c}^0$, $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$ in $\psi_{ec,N}$ določimo kot v poglavju 3.2.1.3, $A_{c,N}$ in $A_{c,N}^0$ pa tako, da razdalji $c_{cr,N}$ in $s_{cr,N}$ zamenjamo z razdalji $c_{cr,sp}$ in $s_{cr,sp}$. Zadnji dve razdalji dobimo v tehničnem soglasju. V primeru, da so razdalje enake, lahko izraz (37) poenostavimo:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c} \psi_{h,sp} \quad (38)$$

Faktor $\psi_{h,sp}$ zajema vpliv višine temelja na razcepitev betona in se ga določi po spodnjem izrazu:

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq 1.5 \quad (39)$$

3.2.2 Strižne komponente

3.2.2.1 Sidrni vijaki v strigu

Strižna sila, ki deluje na sidro, lahko deluje z ročico ali brez. Strižno silo brez ročice predpostavimo, če sta izpolnjena dva pogoja:

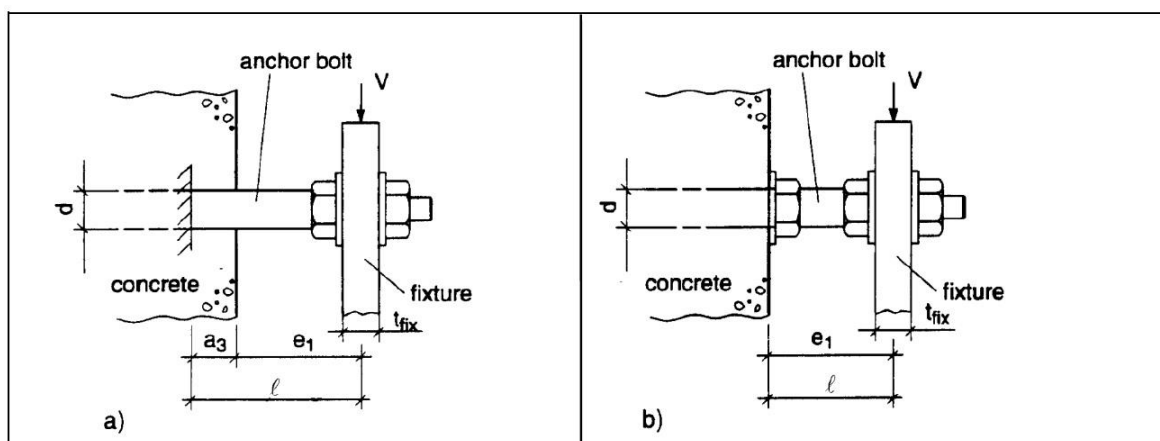
- debelina podlitja $\leq d/2$ in trdnost podlitja $\geq 30 \text{ N/mm}^2$,
- ležiščna pločevina je v kontaktu z sidrnimi vijaki po njeni celotni debelini.

Če oba pogoja nista izpolnjena, poračunamo ročico po spodnjem izrazu:

$$l = a_3 + e_1 \quad (40)$$

kjer je:

- e_1 ...razdalja med točko kjer deluje strižna sila in površino betona,
 $a_3 = 0.5d$ ali $a_3 = 0$...glej sliko 21,
 d ...premer sidrnega vijaka.



Slika 21: Določitev ročice [3]

Strižno nosilnost sidrnega vijaka za primer brez ročice določimo po spodnjem izrazu:

$$V_{Rk,s} = 0.5A_s f_{uk} \quad (41)$$

Strižno nosilnost sidrnega vijaka za primer z ročico pa določimo po spodnjem izrazu:

$$V_{Rk,s} = \frac{M_{Rk,s} \alpha_M}{l} \quad (42)$$

kjer je:

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{sd}/N_{Rd,s}),$$

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms},$$

N_{sd} ...natezna sila, ki deluje na posamezni sidrni vijak,

$M_{Rk,s}^0$...odpornost sidra na upogibni moment,

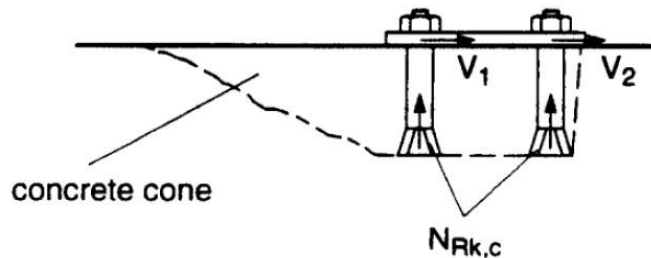
$\alpha_M = 2$...kadar ni rotacije pločevine.

Vrednost $M_{Rk,s}^0$ lahko pridobimo v tehničnem soglasju ali pa ga poračunamo po spodnjem izrazu:

$$M_{Rk,s}^0 = 1.2 W_{el} f_{uk} \quad (43)$$

3.2.2.2 Pry-out porušitev

Ta način porušitve v primeru strižne obremenitve je kritičen, kadar je globina sidranja majhna. Pri velikih strižnih obremenitvah pride do drobljenja betona na površini temelja ob sidrnih vijakih. To povzroči neko rotacijo sidrnih vijakov in s tem tlačne napetosti na beton [7]. Pry-out porušitev nastane v nasprotni smeri delovanja strižne sile kot kaže slika 22 [3].



Slika 22: Pry-out porušitev [3]

Nosilnost te komponente se določi po naslednjem izrazu:

$$V_{Rk,cp} = k N_{Rk,c} \quad (44)$$

kjer je:

$N_{Rk,c}$...nosilnost komponente »porušitev v obliki stožca«, določena za vse skupine vijakov, ki so obremenjene s strižno silo,

k ...faktor, ki ga lahko pridobimo v tehničnem soglasju.

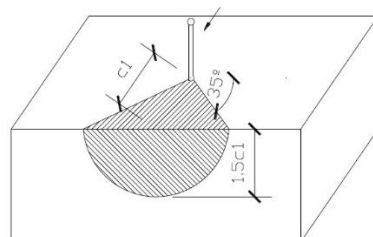
Konservativna vrednost faktorja k za sidrne vijake pa je [3]:

$$k = 1 \quad h_{ef} < 60\text{mm},$$

$$k = 2 \quad h_{ef} \geq 60\text{mm}.$$

3.2.2.3 Robna porušitev betona

Mehanizem porušitve te komponente je zelo podoben porušitvi betona v obliki stožca, zato se nosilnost robne porušitve določi podobno kot pri porušitvi v obliki stožca. Robna porušitev betona je običajno kritična, kadar so sidrni vijaki nameščeni blizu roba temelja. V tem primeru se izoblikuje porušna površina v obliki stožca v smeri roba temelja kot kaže slika 23.



Slika 23: Robna porušitev betona [7]

Kadar imamo skupino največ 4 sidrne vijake in so razdalje do robov v vseh smereh $c > 10h_{ef}$ in $c > 60d$, nosilnosti komponente ni potrebno preveriti [3].

Začetno karakteristično nosilnost v primeru enega sidrnega vijaka določimo po naslednjem izrazu:

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 d_{nom}^\alpha h_{ef}^\beta \sqrt{f_{ck,cube}} c_1^{1.5} \quad (45)$$

kjer je:

$k_1 = 1.7$... v primeru razpokanega betona,

$k_1 = 2.4$... v primeru nerazpokanega betona,

$\alpha = 0.1(l_f/c_1)^{0.5}$,

$\beta = 0.1(d_{nom}/c_1)^{0.2}$,

$l_f = h_{ef}$,

d_{nom} ... premer luknje v mm,

h_{ef} ... globina sidranja vijaka v mm,

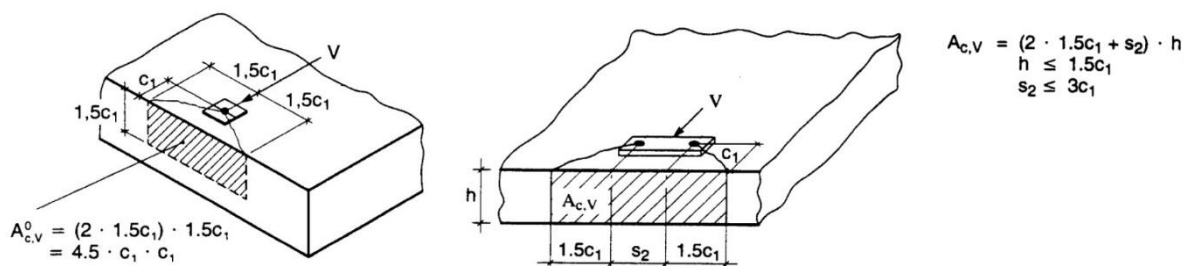
$f_{ck,cube}$... trdnost betona v N/mm^2 ,

c_1 ... razdalja med sidrnim vijakom in robom betona v smeri delovanja strižne sile v mm.

Dejansko karakteristično nosilnost pa določimo po naslednjem izrazu:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \psi_{s,V} \psi_{re,V} \psi_{ec,V} \psi_{\alpha,V} \psi_{h,V} \quad (46)$$

Vrednosti $A_{c,V}^0$ in $A_{c,V}$ se določi na podoben način kot v poglavju 3.2.1.3 in sicer kot prikazuje slika 24.



Slika 24: Idealna in dejanska površina projekcije stožca [3]

Faktor $\psi_{s,V}$ zajema negativen vpliv ozkih temeljev in se ga določi z izrazom:

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1 \quad (47)$$

kjer je:

c_2 ... razdalja med sidrnim vijakom in robom temelja pravokotno na smer delovanja strižne sile.

Faktor $\psi_{h,V}$ je potrebno določiti zato, ker se nosilnost komponente ne spreminja sorazmerno z razmerjem $\frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0}$. Določi se ga z izrazom:

$$\psi_{h,V} = (1.5c_1/h)^{1/2} \geq 1 \quad (48)$$

Faktor $\psi_{\alpha,V}$ zajema vpliv, kadar sidrni vijaki niso obremenjeni z prečno silo, ki je vzporedna z robovi temelja. Če je prečna sila vzporedna z robovi temelja, velja $\psi_{\alpha,V} = 1$.

Faktor $\psi_{ec,V}$ zajema negativen vpliv, kadar so posamezni sidrni vijaki obremenjeni z različno strižno silo. Če so vsi vijaki obremenjeni z enako strižno silo, velja $\psi_{ec,V} = 1$.

Faktor $\psi_{re,V}$ zajema pozitiven vpliv dodatne armature v območju stožca. Kadar dodatne armature v območju stožca ni, velja $\psi_{re,V} = 1$.

3.2.3 Kombinacija nateznih in strižnih obremenitev

Izpolnjene morajo biti naslednje 3 kontrole:

$$\beta_N \leq 1 \quad (49)$$

$$\beta_V \leq 1 \quad (50)$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1.2 \quad (51)$$

kjer je:

β_N ...razmerje med projektno natezno obremenitvijo in projektno natezno nosilnostjo,

β_V ...razmerje med projektno strižno obremenitvijo in projektno strižno nosilnostjo.

3.3 Strižni trn

Strižni trn je lahko jeklena plošča ali jekleni profil, ki je privarjen na spodnjo stran ležiščne pločevine in ima funkcijo prenosa strižne sile iz stebra v beton. Strižni trn se uporabi takrat, ko sama strižna nosilnost sidrnih vijakov ni dovolj velika za prevzem strižnih obremenitev. [1] ne podaja rešitve za priključek s strižnim trnom, zato sem sledil navodilom podanim v [4].

3.3.1 Strižna nosilnost trna

Strižno nosilnost trna določimo po spodnjem izrazu [1]:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (52)$$

kjer je:

A_v ...strižni prerez trna.

3.3.2 Kontaktne napetosti

Kadar uporabimo strižni trn, se strižna obremenitev iz trna prenese na beton s kontaktom. Tako nastanejo kontaktne napetosti na beton, ki jih moramo omejiti. Nosilnost betona za ta primer porušitve dobimo po spodnjem izrazu [4]:

$$V_{Rd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} d_{eff} b \quad (53)$$

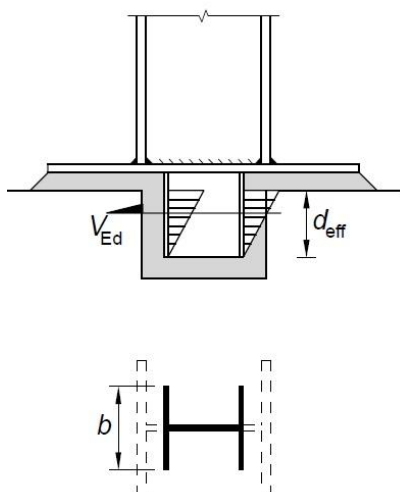
kjer je:

f_{ck} ...karakteristična tlačna trdnost betona,

b ...glej sliko 25,

$\gamma_c = 1.5$,

d_{eff} ...glej sliko 25.



Slika 25: Strižni trn [4]

3.3.3 Upogib strižnega trna

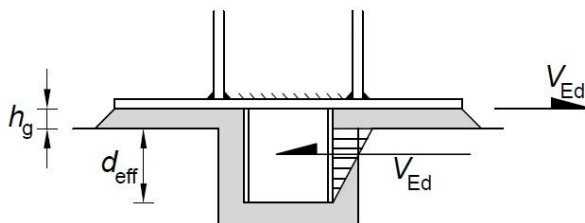
Zagotoviti moramo, da so napetosti v trnu manjše od projektne napetosti tečenja.

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (54)$$

kjer je:

W_{el} ...elastični odpornostni moment strižnega trna.

Pri računu M_{Ed} upoštevamo, da na strižni trn deluje trikotna razporeditev napetosti po višini [4].

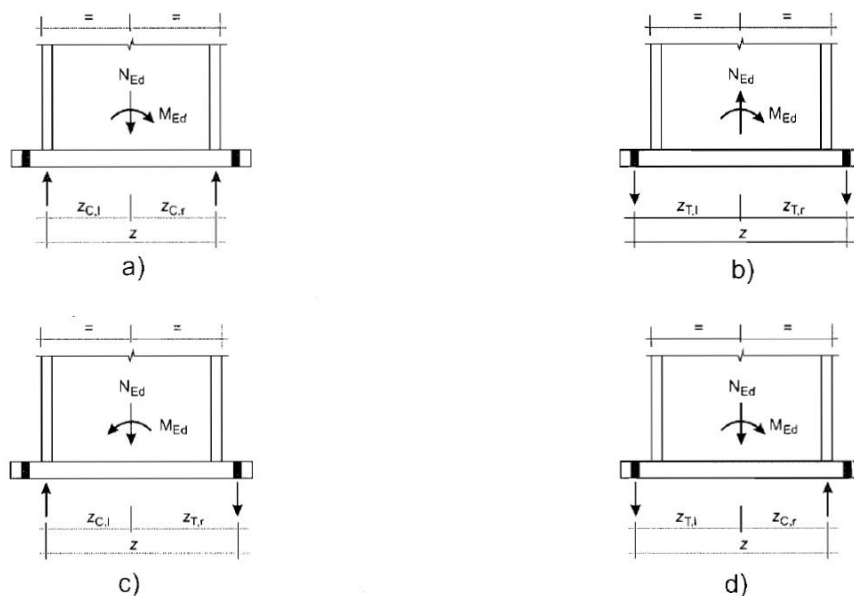


Slika 26: Trikotna razporeditev napetosti [4]

3.4 Obremenitev komponent

Kadar na spoj deluje samo tlačna osna sila N_{Ed} , ta predstavlja tudi obremenitev komponente »beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu«.

V primeru, da na spoj deluje upogibni moment M_{Ed} ali kombinacija osne sile in momenta, najprej z ravnotežnimi enačbami določimo sile pod pasnicama stebra [4]. Če pod pasnico stebra deluje natezna sila, to silo prevzamejo vijaki in ostale natezne komponente, če pa pod pasnico stebra deluje tlačna sila, to silo prevzame tlačna komponenta »beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu«. V [1] je predpostavljeno, da rezultanta tlačnih napetosti deluje pod osjo tlačene pasnice. Glede na kombinacijo osne sile in momenta [1] loči 4 primere:



Slika 27: Kombinacija osne sile in upogibnega momenta [1]

Ko določimo pravi primer, s pomočjo ravnotežnih enačb izračunamo silo na mestu vijakov ali silo pod pasnico stebra. Sila pod pasnico predstavlja obremenitev tlačne komponente, sila na mestu vijakov pa predstavlja obremenitev nateznih komponent [4].

4 RAČUNSKI PRIMERI

Za primer vroče valjanega HEB 300 profila z različnim naborom obremenitev (osna sila, upogibni moment in prečna sila) sem zasnoval ustrezne rešitve priključka in preveril nosilnosti v vseh potrebnih elementih priključka.

4.1 Priključek obremenjen s tlačno osno silo in strižno silo

Podatki o obremenitvi priključka:

$$N_{Ed} = -0.3N_{pl} \text{ (stebra)} = -1050.5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0.05V_{pl,Rd} = 23.5 \text{ kN}$$

Podatki o betonu, ležiščni pločevini in profilu:

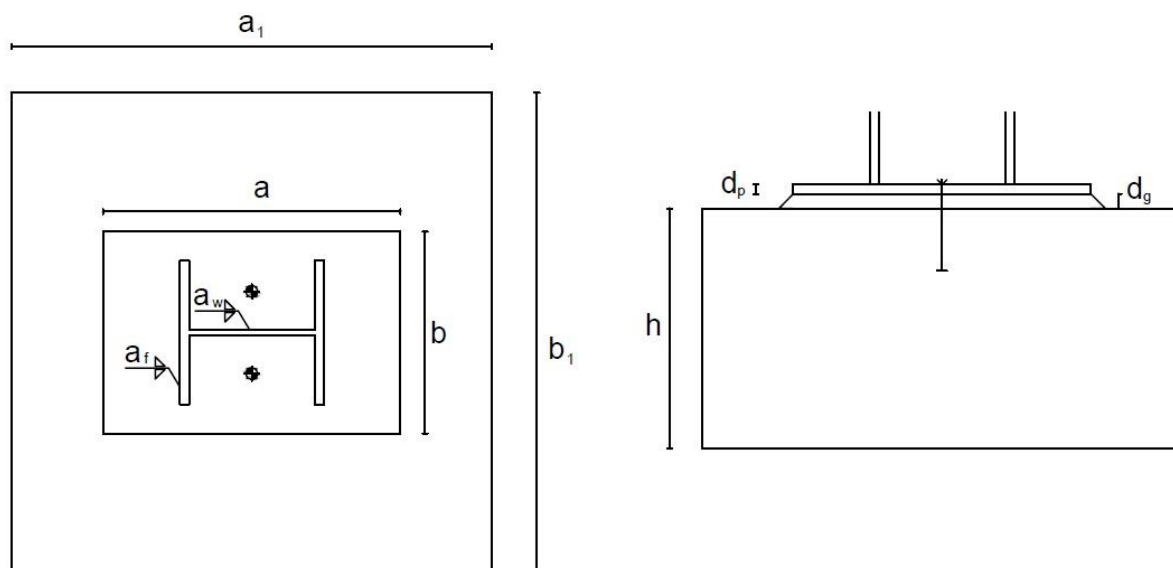
Beton: C 30/37

Profil HEB 300

Jeklo: S235

Trdost podlitja je večja od trdnosti betona.

Zasnova priključka:



Slika 28: Zasnova priključka

Razdalje, ki so kotirane na sliki so sledeče:

$$a_1 = b_1 = 220 \text{ cm}$$

$$d_p = 4 \text{ cm}$$

$$a = 52 \text{ cm}$$

$$b = 42 \text{ cm}$$

$$d_g = 4 \text{ cm}$$

$$h = 100 \text{ cm}$$

Vse zware predvidim kot polno nosilne in jih določim po spodnjem izrazu [1]:

$$a \geq 0.46t \tag{55}$$

Z upoštevanjem pogoja (55) izberem:

$$a_f = 9 \text{ mm}$$

$$a_w = 6 \text{ mm}$$

4.1.1 Beton v tlaku in ležišna pločvina v upogibu

Uporabim izraz (17) in določim A_{c0} :

$$A_{c0} = 42\text{cm} \cdot 52\text{cm} = 2184\text{cm}^2$$

Nato uporabim izraz (18) z upoštevanjem geometrijskih pogojev (19) in (20):

$$A_{c1} = 152\text{cm} \cdot 126\text{cm} = 19152\text{cm}^2$$

Sedaj lahko določim raznos obteže po izrazu (16):

$$\alpha = \sqrt{19152\text{cm}^2 / 2184\text{cm}^2} = 2.96 \leq 3$$

Za koeficient podlage β uporabim vrednost $2/3$, ker sta izpolnjena pogoja:

- karakteristična trdnost podlitja ni manjša od 20 % karakteristične trdnosti betona,
- debelina podlitja ni večja od 20 % tlorisnih dimenzij ležišne pločvine.

Nato določim projektno trdnost podlage z izrazom (15):

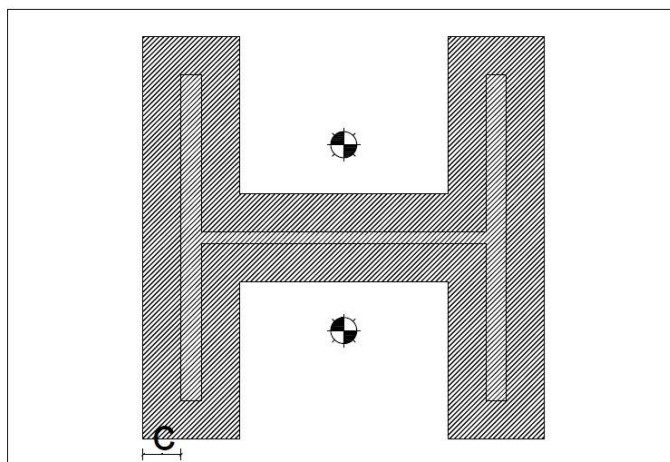
$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3\text{kN}}{1.5} \cdot 2.96 = 3.95\text{kN/cm}^2$$

Določim še sodelujočo širino c po izrazu (23):

$$c = 4\text{cm} \sqrt{23.5\text{kN/cm}^2 / 3 \cdot 3.95\text{kN/cm}^2} = 5.6\text{cm}$$

Nato določim A_{eff} kot kaže slika 29:

$$A_{eff} = (1.9\text{cm} + 2 \cdot 5.6\text{cm}) \cdot (30\text{cm} + 2 \cdot 5.6\text{cm}) \cdot 2 + (30\text{cm} - 2 \cdot 1.9\text{cm} - 2 \cdot 5.6\text{cm}) \cdot (1.1\text{cm} + 2 \cdot 5.6\text{cm}) = 1263.9\text{cm}^2$$



Slika 29: Prikaz ekvivalentne površine

Sedaj določim še nosilnost komponente po izrazu (14):

$$F_{c,Rd} = \frac{3.95\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1263.9\text{cm}^2 = 4992.4\text{kN} \geq 1050.5\text{kN}$$

4.1.2 Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku

Preverim napetosti:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{1050.5\text{kN}}{149\text{cm}^2} = 7.1\text{kN/cm}^2 \leq 23.5\text{kN/cm}^2$$

4.1.3 Prenos strižnih sil

Ker je priključek obremenjen s tlačno osno silo, lahko prečno silo prevzamemo s trenjem med pločevino in podlitjem. Torno nosilnost določim z izrazom (25):

$$F_{f,Rd} = 0.2 \cdot 1050.5\text{kN} = 210.1\text{kN} \geq 23.5\text{kN}$$

4.2 Priključek obremenjen s tlačno osno silo, upogibnim momentom in majhno strižno silo

Podatki o obremenitvi priključka:

$$N_{Ed} = -0.2N_{pl} \text{ (stebra)} = -700.3\text{kN}$$

$$M_{Ed} = 0.3M_{el} = 118.5\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Ed} = 0.05V_{pl,Rd} = 23.5\text{kN}$$

Podatki o betonu, ležiščni pločevini in profilu:

Beton: C 30/37

Profil HEB 300

Jeklo: S235

Uporabim sidra Hilti HSL-3 M24:

$$f_{ub} = 83\text{kN/cm}^2$$

$$f_{yb} = 64\text{kN/cm}^2$$

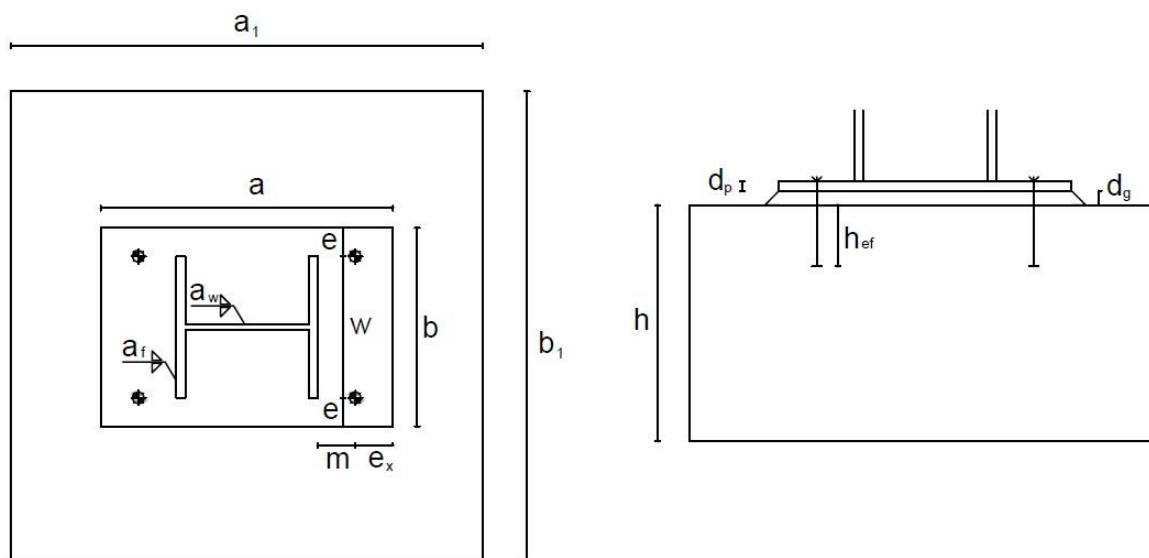
$$d_{nom} = 32\text{mm}$$

$$A_s = 3.53\text{cm}^2$$

$$h_{ef} = 150\text{mm}$$

Trdnost podlitja je večja od trdnosti betona.

Zasnova priključka:



Slika 30: Zasnova priključka

Razdalje, ki so kotirane na sliki so sledeče:

$$a_1 = b_1 = 250\text{cm}$$

$$d_p = 5\text{cm}$$

$$a = 62\text{cm}$$

$$b = 46\text{cm}$$

$$d_g = 5\text{cm}$$

$$h = 100\text{cm}$$

$$e = e_x = m = 8\text{cm}$$

$$w = 30\text{cm}$$

Vse zware predvidim kot polno nosilne in jih določim z upoštevanjem pogoja (55):

$$a_f = 9\text{mm}$$

$$a_w = 6\text{mm}$$

4.2.1 Obremenitev komponent

Najprej določim silo pod levo pasnico $F_{L,0}$ in silo pod desno pasnico $F_{D,0}$, ki ju povzročita N_{Ed} in M_{Ed} .

$$\text{Sili pod pasnico zaradi } N_{Ed}: F_{L,0}^N = F_{D,0}^N = -\frac{700.3\text{kN}}{2} = -350.15\text{kN}$$

$$\text{Sili pod pasnico zaradi } M_{Ed}: F_{D,0}^M = -F_{L,0}^M = \frac{118.5 \cdot 100\text{kN}\cdot\text{cm}}{(30\text{cm} - 1.9\text{cm})} = 421.7\text{kN}$$

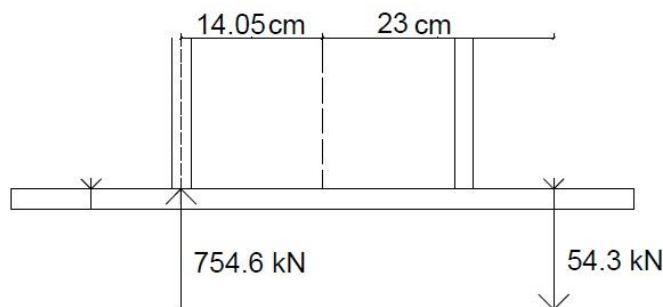
$$F_{L,0} = F_{L,0}^N + F_{L,0}^M = -350.15\text{kN} - 421.7\text{kN} = -771.9\text{kN}$$

$$F_{D,0} = F_{D,0}^N + F_{D,0}^M = -350.15\text{kN} + 421.7\text{kN} = 71.6\text{kN}$$

Gre za primer c na sliki 27, zato z ravnotežnimi enačbami določim silo F_L , ki deluje pod osjo tlačene pasnice in silo F_D , ki deluje na mestu vijakov:

$$F_L = 754.6\text{kN (tlak)}$$

$$F_D = 54.3\text{kN (nateg)}$$



Slika 31: Obremenitev komponent

Ti dve sili sedaj predstavljata obremenitev nateznih in tlačnih komponent.

4.2.2 Osnovne komponente

4.2.2.1 Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu

Na enak način kot v poglavju 4.1.1 določim A_{c0} , A_{c1} , α , f_{jd} in c in dobim:

$$A_{c0} = 46\text{cm} \cdot 62\text{cm} = 2852\text{cm}^2$$

$$A_{c1} = 162\text{cm} \cdot 138\text{cm} = 22356\text{cm}^2$$

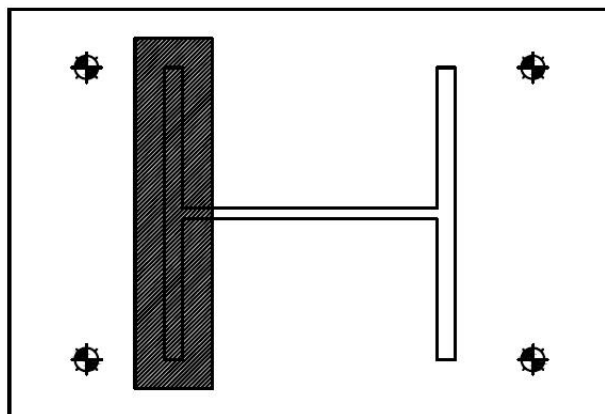
$$\alpha = \sqrt{22356\text{cm}^2 / 2852\text{cm}^2} = 2.8 \leq 3$$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1}{1.5} \cdot 2.8 = 3.73\text{kN}/\text{cm}^2$$

$$c = 5\text{cm} \sqrt{23.5\text{kN}/\text{cm}^2 / 3 \cdot 3.73\text{kN}/\text{cm}^2} = 7.2\text{cm}$$

Nato določim A_{eff} kot kaže slika 32.

$$A_{eff} = (2 \cdot 7.2\text{cm} + 1.9\text{cm}) \cdot (30\text{cm} + 2 \cdot 7.2\text{cm}) = 723.7\text{cm}^2$$



Slika 32: Prikaz ekvivalentne površine

Sedaj lahko preverim nosilnost komponente po izrazu (14):

$$F_{c,Rd} = \frac{3.73 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \cdot 723.7 \text{ cm}^2 = \mathbf{2699.4 \text{ kN}} \geq \mathbf{754.6 \text{ kN}}$$

4.2.2.2 Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku

Preverim napetosti:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{700.3 \text{ kN}}{149 \text{ cm}^2} + \frac{118.5 \cdot 100 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{1680 \text{ cm}^3} = \mathbf{11.8 \text{ kN/cm}^2} \leq \mathbf{23.5 \text{ kN/cm}^2}$$

4.2.2.3 Sidrni vijaki v strigu

Celotno strižno silo naj prevzamejo sidrni vijaki.

Najprej določim strižno nosilnost enega sidrnega vijaka z izrazom (26):

$$F_{vb,Rd} = \frac{0.248 \cdot 83 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3.53 \text{ cm}^2}{1.25} = 58.1 \text{ kN}$$

Nato določim skupno strižno nosilnost sidrnih vijakov:

$$F_{vb,Rd} = 4 \cdot 58.1 \text{ kN} = \mathbf{232.4 \text{ kN}} \geq \mathbf{23.5 \text{ kN}}$$

4.2.2.4 Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu

Najprej moram izračunati sodelujočo dolžino. Preden to storim, moram določiti razdaljo m_x kot kaže slika 11:

$$m_x = 8 \text{ cm} - 0.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.9 \text{ cm} = 7 \text{ cm}$$

Sedaj lahko določim sodelujočo širino za 1. način porušitve po izrazih v preglednici 4 in z izrazom (11):

$$l_{eff,1} = \min(44 \text{ cm}, 52 \text{ cm}, 38 \text{ cm}, 38 \text{ cm}, 27 \text{ cm}, 23 \text{ cm}, 34 \text{ cm}) = 23 \text{ cm}$$

Nato določim ekvivalentno dolžino vijakov z izrazom (2) in z izrazom (1) preverim, če kontaktne sile slučajno so prisotne:

$$L_b = 5 \text{ cm} + 5 \text{ cm} + \frac{3 \text{ cm}}{2} + \min(19.2 \text{ cm}, 15 \text{ cm}) = 26.5 \text{ cm}$$

$$L_{b,min} = \frac{8.82 \cdot 7^3 \text{ cm} \cdot 3.53 \text{ cm}^2}{23 \text{ cm} \cdot 5^3 \text{ cm}} = 3.7 \text{ cm} \leq 26.5 \text{ cm}$$

Ker velja zgornji izraz, skupno nosilnost komponente določim z izrazom (10).

Preden to storim, določim še sodelujočo širino za 1-2. način porušitve in plastični odpornostni moment T-elementa z izrazom (7):

$$l_{eff,1-2} = \min(44 \text{ cm}, 104 \text{ cm}, 54 \text{ cm}, 38 \text{ cm}, 27 \text{ cm}, 23 \text{ cm}, 34 \text{ cm}) = 23 \text{ cm}$$

$$M_{pl,1-2,Rd} = 23 \text{ cm} \cdot \frac{1}{4} \cdot 5^2 \text{ cm} \cdot \frac{23.5 \text{ kN}}{\text{cm}^2} = 3306.3 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Sedaj določim nosilnost za 1-2 način porušitve z izrazom (6):

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 \cdot 3306.3\text{kN} \cdot \text{cm}}{7\text{cm}} = 944.7\text{kN}$$

Natezno nosilnost sidrnega vijaka ne morem določiti z izrazom (8), saj ta velja le za vijake, ki jih obravnava [1] in ne velja za sidrne vijake, zato natezno nosilnost pridobim iz tehničnega soglasja [10] in določim $F_{T,3,Rd}$ z izrazom (5):

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot 188.3\text{kN} = 376.6\text{kN}$$

Z izrazom (10) določim še skupno nosilnost:

$$F_{T,Rd} = \min(376.6\text{kN}, 944.7\text{kN}) = \mathbf{376.6\text{kN} \geq 54.3\text{kN}}$$

4.2.3 Vnos v beton

V prvem koraku določim delne faktorje odpornosti po izrazih (28), (29) in (30).

$$\gamma_{Ms,nateg} = \frac{1.2}{64\text{kN/cm}^2/83\text{kN/cm}^2} = 1.56 \geq 1.4$$

$$\gamma_{Ms,strig} = 1.5$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5$$

Upoštevam, da beton razpoka.

4.2.3.1 Sidrni vijaki v nategu

Nosilnost določim z izrazom (32):

$$N_{Rd,s} = 3.53\text{cm}^2 \cdot \frac{83\text{kN}}{1.56} = \mathbf{187.8\text{kN} \geq \frac{54.3\text{kN}}{2} = 27.2\text{kN}}$$

Izračunam še izkoristek β_N :

$$\beta_N = 27.2\text{kN}/187.8\text{kN} = \mathbf{0.14}$$

4.2.3.2 Izvlek sidra

V tehničnem soglasju za sidra Hilti HSL-3 M24 [10] piše, da izvlek teh sider ni merodajen.

4.2.3.3 Porušitev betona v obliki stožca

Začnem z določitvijo začetne karakteristične nosilnosti enega vijaka z izrazom (33):

$$N_{Rk,c}^0 = 7.2 \cdot \sqrt{37\text{MPa}} \cdot 150\text{mm}^{1.5} = 80460\text{N} = 80.5\text{kN}$$

Nato določim projekcije stožca kot kažeta sliki 18 in 19:

$$A_{c,N}^0 = (3 \cdot 15\text{cm})^2 = 2025\text{cm}^2$$

$$A_{c,N} = 45\text{cm} \cdot (2 \cdot 22.5\text{cm} + 30\text{cm}) = 3375\text{cm}^2$$

Izračunam še faktor $\psi_{s,N}$ z izrazom (36):

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{102\text{cm}}{22.5\text{cm}} = 2.06 \leq 1$$

Velja tudi da je $\psi_{re,N} = \psi_{ec,N} = 1$, ker ne uporabim dodatne armature znotraj stožca in je natezno obremenjena samo ena vrsta sidrnih vijakov.

Sedaj lahko določim še dejansko nosilnost z izrazom (34):

$$N_{Rd,c} = 80.5\text{kN} \cdot \frac{3375\text{cm}^2}{2025\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1/1.5 = \mathbf{89.4\text{kN} \geq 54.3\text{kN}}$$

Določim še izkoristek β_N :

$$\beta_N = 54.3\text{kN}/89.4\text{kN} = \mathbf{0.61}$$

4.2.3.4 Razcepitev betona

Iz tehničnega soglasja [10] pridobim razdalji $c_{cr,sp}$ in h_{min} :

$$c_{cr,sp} = 28.5\text{cm}$$

$$h_{min} = 30\text{cm}$$

Razdalji $c_{cr,sp}$ in $c_{cr,N}$ nista enaki, zato nosilnost določim z izrazom (37). Pred tem moram izračunati še $A_{c,N}$ in $A_{c,N}^0$ kot kažeta sliki 18 in 19:

$$A_{c,N}^0 = (2 \cdot 28.5\text{cm})^2 = 3249\text{cm}^2$$

$$A_{c,N} = (28.5\text{cm} + 28.5\text{cm}) \cdot (2 \cdot 28.5\text{cm} + 30\text{cm}) = 4959\text{cm}^2$$

Določim še faktor $\psi_{h,sp}$ z izrazom (39):

$$\psi_{h,sp} = (100\text{cm}/30\text{cm})^{2/3} = 2.23 \leq 1.5$$

Sedaj lahko izračunam nosilnost z izrazom (37):

$$N_{Rd,sp} = 80.5\text{kN} \cdot \frac{4959\text{cm}^2}{3249\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.5/1.5 = \mathbf{122.9\text{kN} \geq 54.3\text{kN}}$$

Določim še izkoristek β_N :

$$\beta_N = 54.3\text{kN}/122.9\text{kN} = \mathbf{0.44}$$

4.2.3.5 Sidrni vijaki v strigu

Pogoj $d_g \leq d/2$ ne velja, zato strižna sila deluje z ročico. Ročico izračunam z izrazom (40):

$$l = 0.5 \cdot 2.4\text{cm} + 5\text{cm} + 2.5\text{cm} = 8.7\text{cm}$$

Iz tehničnega soglasja [10] pridobim vrednost W_{el} za sidra:

$$W_{el} = 0.9354\text{cm}^3$$

Nato izračunam vrednost $M_{Rk,s}^0$ z izrazom (43):

$$M_{Rk,s}^0 = 1.2 \cdot 0.9354\text{cm}^3 \cdot \frac{83\text{kN}}{\text{cm}^2} = 93.2\text{kN} \cdot \text{cm}$$

Določim še vrednost $M_{Rk,s}$:

$$M_{Rk,s} = 93.2\text{kN} \cdot \text{cm} \cdot \left(1 - \frac{54.3\text{kN}/2}{187.8\text{kN}}\right) = 79.7\text{kN} \cdot \text{cm}$$

Sedaj lahko izračunam strižno nosilnost z izrazom (42):

$$V_{Rd,s} = \frac{79.7\text{kN} \cdot \text{cm} \cdot 2}{8.7\text{cm} \cdot 1.5} = \mathbf{12.2\text{kN} \geq \frac{23.5\text{kN}}{4} = 5.9\text{kN}}$$

Določim še izkoristek β_V :

$$\beta_V = 5.9\text{kN}/12.2\text{kN} = \mathbf{0.48}$$

4.2.3.6 Pry-out porušitev

Nosilnost določim z izrazom (44):

$$V_{Rd,cp} = 2 \cdot 2 \cdot 89.4\text{kN} = \mathbf{357.6\text{kN} \geq 23.5\text{kN}}$$

$$\beta_V = 23.5\text{kN}/357.6\text{kN} = \mathbf{0.07}$$

4.2.3.7 Robna porušitev betona

Začetno karakteristično nosilnost v primeru enega sidrnega vijaka določim z izrazom (45). Pred tem izračunam še faktorja α in β :

$$\alpha = 0.1(15\text{cm}/102\text{cm})^{0.5} = 0.0383$$

$$\beta = 0.1(3.2\text{cm}/102\text{cm})^{0.2} = 0.05$$

$$V_{Rk,c}^0 = 1.7 \cdot 32\text{mm}^{0.0383} \cdot 150\text{mm}^{0.05} \cdot \sqrt{37\text{MPa}} \cdot 1020\text{mm}^{1.5} = 494199\text{N} = 494.2\text{kN}$$

Nato določim še $A_{c,V}^0$ in $A_{c,V}$ kot kaže slika 24:

$$A_{c,V}^0 = 2 \cdot 1.5 \cdot 102\text{cm} \cdot 1.5 \cdot 102\text{cm} = 46818\text{cm}^2$$

$$A_{c,V} = (102\text{cm} + 102\text{cm} + 30\text{cm}) \cdot (100\text{cm}) = 23400\text{cm}^2$$

Določim še vse potrebne faktorje:

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \frac{110\text{cm}}{1.5 \cdot 102\text{cm}} = 0.92$$

$$\psi_{h,V} = (1.5 \cdot 102\text{cm}/100\text{cm})^{1/2} = 1.24 \geq 1$$

$$\psi_{\alpha,V} = \psi_{ec,V} = \psi_{re,V} = 1$$

Sedaj lahko določim dejansko nosilnost z izrazom (46):

$$V_{Rd,c} = 494.2\text{kN} \cdot \frac{23400\text{cm}^2}{46818\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.92 \cdot 1.24/1.5 = \mathbf{187.9\text{kN} \geq 23.5\text{kN}}$$

$V_{Rd,c}$ se določi le za vrsto, ki je obremenjena z silo, ki kaže proti prostemu robu. Ta vrsta je obremenjena s celotno strižno silo.

Določim še izkoristek β_V :

$$\beta_V = 23.5\text{kN}/187.9\text{kN} = \mathbf{0.13}$$

4.2.3.8 Kombinacija nateznih in strižnih obremenitev

Veljati morajo izrazi (49), (50) in (51):

$$\beta_N = \mathbf{0.61} \leq \mathbf{1}$$

$$\beta_V = \mathbf{0.48} \leq \mathbf{1}$$

$$\beta_N + \beta_V = 0.61 + 0.48 = \mathbf{1.09} \leq \mathbf{1.2}$$

4.2.3.9 Primerjava rezultatov s programom Hilti PROFIS Anchor

S programsko opremo Hilti PROFIS Anchor lahko preverimo nosilnost priključka s Hilti sidrnimi vijaki. S programom lahko preverimo vse načine porušitve, ki sem jih opisal v poglavju 3.2. Izračun nosilnosti ne poteka po metodi, ki sem jo uporabil jaz, zato so tudi manjše razlike v nosilnosti posameznih komponent. Primerjava nosilnosti posameznih komponent je prikazana v preglednici 5.

Preglednica 5: Primerjava rezultatov s Hilti PROFIS Anchor

	Hilti PROFIS Anchor	Uporabljena metoda
Sidni vijaki v nategu	188.3kN	187.8kN
Izvek sidra	/	/
Porušitev betona v obliki stožca	86.1kN	89.4kN
Razcepitev betona	/	122.9kN
Sidni vijaki v strigu	16.2kN	12.2kN
Pry-out porušitev	344.4kN	357.6kN
Robna porušitev betona	204.2kN	187.9kN

4.3 Priključek obremenjen s tlačno osno silo, upogibnim momentom in večjo strižno silo

Podatki o obremenitvi priključka:

$$N_{Ed} = -0.3N_{pl} \text{ (stebra)} = -1050.5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0.5M_{el} = 197.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Ed} = 0.20V_{pl,Rd} = 93.8 \text{ kN}$$

Podatki o betonu, ležiščni pločevini in profilu:

Beton: C 40/50

Profil HEB 300

Jeklo: S235

Uporabim sidra Hilti HDA-T M20:

$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yb} = 64 \text{ kN/cm}^2$$

$$d_{nom} = 37 \text{ mm}$$

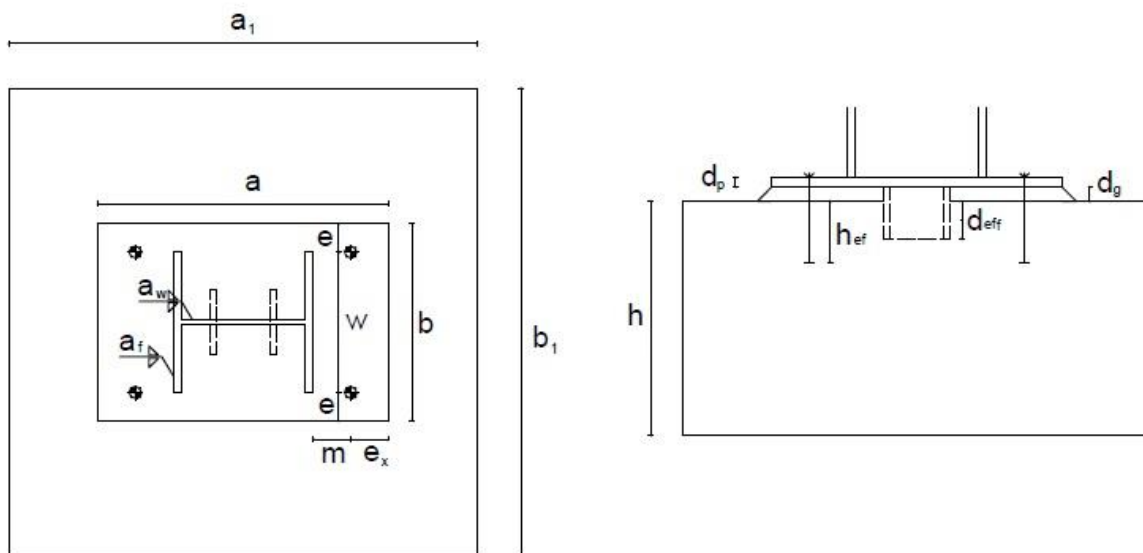
$$A_s = 2.45 \text{ cm}^2$$

$$h_{ef} = 250 \text{ mm}$$

Trdnost podlitja je večja od trdnosti betona.

Strižne obremenitve prevzamem s strižnim trnom. Kot strižni trn uporabim profil HEB 180. Ta je privarjen na spodnji del ležiščne pločevine.

Zasnova priključka:



Slika 33: Zasnova priključka

Razdalje, ki so kotirane na sliki so sledeče:

$$a_1 = b_1 = 250 \text{ cm}$$

$$d_p = 5 \text{ cm}$$

$$a = 62 \text{ cm}$$

$$b = 46 \text{ cm}$$

$$d_g = 5 \text{ cm}$$

$$h = 150 \text{ cm}$$

$$e = e_x = m = 8 \text{ cm}$$

$$w = 30 \text{ cm}$$

$$d_{eff} = 14 \text{ cm}$$

Vse zware predvidim kot polno nosilne in jih določim z upoštevanjem pogoja (55):

$$a_f = 9 \text{ mm}$$

$$a_w = 6 \text{ mm}$$

$$a_{trn,f} = 7 \text{ mm}$$

$$a_{trn,w} = 4 \text{ mm}$$

4.3.1 Obremenitev komponent

Tako kot v poglavju 4.2.1, najprej določim silo pod levo pasnico $F_{L,0}$ in silo pod desno pasnico $F_{D,0}$:

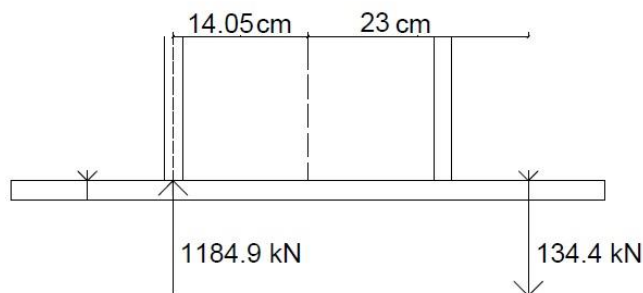
$$F_{L,0} = -1227.8 \text{ kN}$$

$$F_{D,0} = 177.2 \text{ kN}$$

Gre za primer c na sliki 27, zato z ravnotežnimi enačbami določim silo F_L , ki deluje pod osjo tlačene pasnice in silo F_D , ki deluje na mestu vijakov:

$$F_L = 1184.9 \text{ kN (tlak)}$$

$$F_D = 134.4 \text{ kN (nateg)}$$



Slika 34: Obremenitev komponent

Ti dve sili sedaj predstavljata obremenitev nateznih in tlačnih komponent.

4.3.2 Osnovne komponente

4.3.2.1 Beton v tlaku in ležiščna pločevina v upogibu

Po enakem postopku kot v poglavju 4.2.2.1 določim potrebne količine in dobim:

$$A_{c0} = 46 \text{ cm} \cdot 62 \text{ cm} = 2852 \text{ cm}^2$$

$$A_{c1} = 186 \text{ cm} \cdot 138 \text{ cm} = 25668 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = \sqrt{25668 \text{ cm}^2 / 2852 \text{ cm}^2} = 3 \leq 3$$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{4 \text{ kN}}{1.5} \cdot 3 = 5.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$c = 5 \text{ cm} \sqrt{23.5 \text{ kN/cm}^2 / 3 \cdot 5.3 \text{ kN/cm}^2} = 6.1 \text{ cm}$$

$$A_{eff} = (2 \cdot 6.1 \text{ cm} + 1.9 \text{ cm}) \cdot (30 \text{ cm} + 2 \cdot 6.1 \text{ cm}) = 595 \text{ cm}^2$$

Sedaj lahko preverim nosilnost komponente po izrazu (14):

$$F_{c,Rd} = \frac{5.3 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \cdot 595 \text{ cm}^2 = 3153.5 \text{ kN} \geq 1184.9 \text{ kN}$$

4.3.2.2 Pasnica in stojina jeklenega stebra v tlaku

Preverim napetosti:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{1050.5 \text{ kN}}{149 \text{ cm}^2} + \frac{197.4 \cdot 100 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{1680 \text{ cm}^3} = 18.8 \text{ kN/cm}^2 \leq 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

4.3.2.3 Ležiščna pločevina v upogibu in vijaki v nategu

Določim razdaljo m_x kot kaže slika 11:

$$m_x = 8 \text{ cm} - 0.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.9 \text{ cm} = 7 \text{ cm}$$

Sedaj lahko določim sodelujočo širino za 1. način porušitve po izrazih v preglednici 4 in z izrazom (11):

$$l_{eff,1} = \min(44 \text{ cm}, 52 \text{ cm}, 38 \text{ cm}, 38 \text{ cm}, 27 \text{ cm}, 23 \text{ cm}, 34 \text{ cm}) = 23 \text{ cm}$$

Nato izračunam ekvivalentno dolžino vijakov z izrazom (2) in z izrazom (1) preverim, če kontaktne sile slučajno so prisotne:

$$L_b = 5\text{cm} + 5\text{cm} + \frac{3\text{cm}}{2} + \min(16\text{cm}, 25\text{cm}) = 27.5\text{cm}$$

$$L_{b,\min} = \frac{8.82 \cdot 7^3 \text{cm} \cdot 2.45 \text{cm}^2}{23\text{cm} \cdot 5^3 \text{cm}} = 2.6\text{cm} \leq 27.5\text{cm}$$

Ker velja zgornji izraz bom kasneje skupno nosilnost določil z izrazom (10).

Preden to storim, določim še sodelujočo širino za 1-2. način porušitve in plastični odpornostni moment T-elementa z izrazom (7):

$$l_{eff,1-2} = \min(44\text{cm}, 104\text{cm}, 54\text{cm}, 38\text{cm}, 27\text{cm}, 23\text{cm}, 34\text{cm}) = 23\text{cm}$$

$$M_{pl,1-2,Rd} = 23\text{cm} \cdot \frac{1}{4} \cdot 5^2 \text{cm} \cdot \frac{23.5\text{kN}}{\text{cm}^2} = 3306.3\text{kN} \cdot \text{cm}$$

Izračunam še nosilnost za 1-2 način porušitve z izrazom (6):

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 \cdot 3306.3\text{kN} \cdot \text{cm}}{7\text{cm}} = 944.7\text{kN}$$

Natezno nosilnost sidrnega vijaka ne morem določiti z izrazom (8), saj ta velja le za vijake, ki jih obravnava [1] in ne velja za sidrne vijake, zato natezno nosilnost pridobim iz tehničnega soglasja [11] in določim $F_{T,3,Rd}$ z izrazom (5):

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot 128\text{kN} = 256\text{kN}$$

Sedaj z izrazom (10) določim skupno nosilnost:

$$F_{T,Rd} = \min(256\text{kN}, 944.7\text{kN}) = \mathbf{256\text{kN} \geq 134.4\text{kN}}$$

4.3.3 Vnos v beton

Uporabim izraza (28) in (30) za določitev faktorjev odpornosti:

$$\gamma_{Ms,nateg} = \frac{1.2}{64\text{kN/cm}^2 / 80\text{kN/cm}^2} = 1.5 \geq 1.4$$

$$\gamma_{Mc} = 1.5$$

Upoštevam, da je beton razpokan.

4.3.3.1 Sidrni vijaki v nategu

Nosilnost določim z izrazom (32):

$$N_{Rd,s} = 2.45\text{cm}^2 \cdot \frac{80\text{kN}}{1.5} = \mathbf{130.7\text{kN} \geq \frac{134.4\text{kN}}{2} = 67.2\text{kN}}$$

4.3.3.2 Izvlek sidra

V tehničnem soglasju [11] je nosilnost te komponente določena z izrazom:

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_b = 63.6\text{kN} \cdot 1.41 = \mathbf{89.7\text{kN} \geq \frac{134.4\text{kN}}{2} = 67.2\text{kN}}$$

Vrednosti $N_{Rd,p}^0$ in f_b prav tako pridobim iz tehničnega soglasja [11].

4.3.3.3 Porušitev betona v obliki stožca

Po enakem postopku kot v poglavju 4.2.3.3 določim vse potrebne količine:

$$N_{Rk,c}^0 = 7.2 \cdot \sqrt{50\text{MPa}} \cdot 250\text{mm}^{1.5} = 201246\text{N} = 201.2\text{kN}$$

$$A_{c,N}^0 = (3 \cdot 25\text{cm})^2 = 5625\text{cm}^2$$

$$A_{c,N} = (37.5\text{cm} + 37.5\text{cm}) \cdot (2 \cdot 37.5\text{cm} + 30\text{cm}) = 7875\text{cm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{102\text{cm}}{37.5\text{cm}} = 1.5 \leq 1$$

Ne uporabim dodatne armature znotraj stožca in natezno je obremenjena samo ena vrsta vijakov, zato velja:

$$\psi_{re,N} = \psi_{ec,N} = 1$$

Sedaj določim še dejansko nosilnost z izrazom (34):

$$N_{Rd,c} = 201.2\text{kN} \cdot \frac{7875\text{cm}^2}{5625\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1/1.5 = \mathbf{187.8\text{kN} \geq 134.4\text{kN}}$$

4.3.3.4 Razcepitev betona

Iz tehničnega soglasja [11] pridobim razdalji $c_{cr,sp}$ in h_{min} :

$$c_{cr,sp} = 37.5\text{cm} = c_{cr,N}$$

$$h_{min} = 35\text{cm}$$

Ker sta razdalji $c_{cr,sp}$ in $c_{cr,N}$ enaki, lahko nosilnost določim z izrazom (38).

Pred tem določim še faktor $\psi_{h,sp}$ z izrazom (39):

$$\psi_{h,sp} = (150\text{cm}/35\text{cm})^{2/3} = 2.64 \leq 1.5$$

$$N_{Rd,sp} = 187.8\text{kN} \cdot 2.64 = \mathbf{495.8\text{kN} \geq 134.4\text{kN}}$$

4.3.3.5 Primerjava rezultatov s programom Hilti PROFIS Anchor

Preglednica 6: Primerjava rezultatov s Hilti PROFIS Anchor

	Hilti PROFIS Anchor	Uporabljena metoda
Sidrni vijaki v nategu	128kN	130.7kN
Izvek sidra	89.6kN	89.7kN
Porušitev betona v obliki stožca	207.1kN	187.8kN
Razcepitev betona	/	495.8kN

4.3.4 Strižni trn

4.3.4.1 Strižna nosilnost trna

Preverim nosilnost z izrazom (52):

$$V_{pl,Rd} = \frac{1.2 \cdot 0.85\text{cm} \cdot 15.2\text{cm} \cdot 23.5\text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3}} = \mathbf{210.4\text{kN} \geq 93.8\text{kN}}$$

4.3.4.2 Kontaktne napetosti

Določim nosilnost z izrazom (53):

$$V_{Rd} = \frac{4\text{ kN/cm}^2}{1.5} \cdot 18\text{cm} \cdot 14\text{cm} = \mathbf{672\text{kN} \geq 93.8\text{kN}}$$

4.3.4.3 Upogib strižnega trna

Preverim napetosti:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{93.8\text{kN} \cdot (5\text{cm} + 14\text{cm} \cdot 1/3)}{426\text{cm}^3} = \mathbf{2.1\text{ kN/cm}^2 \leq 23.5\text{ kN/cm}^2}$$

5 ZAKLJUČEK

V tej nalogi sem predstavil komponentno metodo, ki se uporablja za analizo spojev. Nosilnost komponent, ki so pomembne za priključek jeklenega stebra na betonski temelj, sem podrobneje opisal.

Na primerih sem poizkušal prikazati potek izračuna nosilnosti priključka. Tu sem se prepričal, da na nosilnost priključka najbolj vpliva sidranje v beton. Projektanti se zato velikokrat odločijo za uporabo dodatne armature za povečanje nosilnosti priključka.

Postopek izračuna nosilnosti priključka zna biti kar dolgotrajen, zato je smiselna uporaba računalniških programov, kot je na primer Hilti PROFIS Anchor. Metoda, ki jo uporablja ta program, je sicer podobna kot metoda v [3], vendar se razlikujejo nekateri faktorji in zato pride do razlik v rezultatih.

VIRI

- [1] SIST EN 1993-1-8: 2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-8. del: Projektiranje spojev.
- [2] Amaral, P. 2014. Steel column bases under biaxial loading conditions. Masters in Civil Engineering – 2013/2014 – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, Portugal, 2014: 78 str.
https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=403541 (Pridobljeno 9. 8. 2016.)
- [3] EOTA: 1997. Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for use in Concrete - Annex C: Design Methods for Anchorages: 34 str.
- [4] Joints in Steel Construction: Moment-Resisting Joints to Eurocode 3. 2013. The Steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association Limited: 163 str.
- [5] Beg, D., Čermelj, B. 2011. Jeklene konstrukcije I 6.0 Spoji.
<http://ucilnica1314.fgg.uni-lj.si/course/view.php?id=2216> (Pridobljeno 9. 8. 2016.)
- [6] Wald, F., Sokol, Z., Jaspert, J., Steenhuis, M. 2008. Component method for steel column bases. Heron, vol. 53, No. 1/2: 20 str.
<http://heronjournal.nl/53-12/1.pdf> (Pridobljeno 9. 8. 2016.)
- [7] New market chances for steel structures by innovative fastening solutions between steel and concrete. 2012. Reasearch Fund for Coal and Steel: str. 20-27.
- [8] Wald, F. 2014. Design of Steel Buildings with worked examples.
http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2014_07_WS_Steel/presentations/06_Eurocodes_Steel_Workshop_WALD.pdf (Pridobljeno 9. 8. 2016.)
- [9] SIST EN 1992-1-1: 2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1 del: Splošna pravila in pravila za stavbe.
- [10] ETA - 02/0042: 2015. European Technical Assessment for Hilti HSL-3 heavy-duty expansion anchor.
<https://www.hilti.co.uk/anchor-systems/expansion-anchors/r2813> (Pridobljeno 4. 9. 2016.)
- [11] ETA – 99/0009: 2015. European Technical Assessment for Hilti HDA self-cutting undercut anchor.
<https://www.hilti.co.uk/anchor-systems/undercut-anchors/r1190> (Pridobljeno 4. 9. 2016.)

Ostali viri:

Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.