

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Tomaž Lavrenčič

Preboj pri gobastih ploščah brez vut

Diplomska naloga št.: 2873

Mentor:

izr. prof. dr. Boštjan Brank

Ljubljana, 27. 2. 2006

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **TOMAŽ LAVRENCIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»PREBOJ PRI GOBASTIH PLOŠČAH BREZ VUT«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 31.01.2006

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:624.012.45:624.073(043.2)
Avtor:	Tomaž Lavrenčič
Mentor:	doc. dr. Boštjan Brank
Naslov:	Preboj pri gobastih ploščah brez vut
Obseg in oprema:	85 str., 1 pregl., 24 sl., 258 en.
Ključne besede:	preboj plošče brez vut, strižna armatura zaradi preboja, mozniki, računalniški program Schöck BOLE[®], metoda nadomestnih okvirjev

Izveleček

Diplomsko delo obravnava preboj armiranobetonskih gobastih plošč brez vut. V nalogi sem se med drugim posvetil raziskavi ozadja računalniškega programa Schöck BOLE[®], ki je namenjen projektiranju dodatne strižne armature (moznikov) v plošči zaradi preboja. Enačbe, ki jih uporablja računalniški program, temeljijo na evropskem predstandardu prEN 1992-1-1. Ker je pred kratkim izšel evropski standard EN 1992-1-1, sem primerjal enačbe, ki so zapisane v računalniškem programu, s tistimi, ki jih navaja EN 1992-1-1. Ugotovil sem, da so razlike (z nekaterimi izjemami) minimalne. Ker tako program kot standard EN 1992-1-1, pri kontroli preboja plošče upoštevata natezno vzdolžno armaturo v plošči, sem poiskal ustrezen način za določitev upogibnih momentov v plošči. To se lahko naredi z računalniškim programom po metodi končnih elementov ali pa po metodi nadomestnih okvirjev. Slednjo opisuje standard EN 1992-1-1, medtem ko jo prEN 1992-1-1 ne omenja. Diplomsko delo se konča s praktičnim primerom. Gre za primer projektiranja strižne armature proti preboju v gobasti plošči brez vut. Negativne upogibne momente v plošči sem izračunal s pomočjo metode nadomestnih okvirjev. Ko sem poznal velikost upogibnih momentov, sem dimenzioniral prečni prerez natezne armature v plošči nad stebrom. Podatek o natezni vzdolžni armaturi sem poleg ostalih vnesel v program Schöck BOLE[®] in tako dobil ustrezno strižno armaturo proti preboju.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:624.012.45:624.073(043.2)
Author: Tomaž Lavrenčič
Supervisor: Assist. Prof. Boštjan Brank
Title: Punching shear of flat slabs
Notes: 85 p., 1 tab., 24 fig., 258 eq.
Key words: punching shear of flat slabs, punching shear reinforcement, studs, computer program Schöck BOLE[®], equivalent frame analysis

Abstract

The present work deals with punching shear of flat slabs. I have researched the background of computer program called Schöck BOLE[®], which is planned for designing additional shear reinforcement (studs) because of punching flat slabs. The equations that the computer uses are based on previous standard prEN 1992-1-1. Since the standard EN 1992-1-1 shortly come out, I have compared the equations that are written in the program with those used in the EN 1992-1-1. Thus, I have found out no special differences (with some exceptions). Because of the fact that the program and the standard EN 1992-1-1 both take into account tension steel reinforcement in the punching shear calculation of the slab, I had to find a suitable method to define bending moments in the flat slab. This can be done with a suitable computer program, using finite element analysis, or by choosing the equivalent frame analysis. The latter is explained only by the standard EN 1992-1-1 and not by the prEN 1992-1-1. At the end I dedicated my time to a practical example of punching shear reinforcement close by the column of flat slab. I have calculated negative bending moments with the help of equivalent frame analysis. According to this I have adjusted the right cross section of tension steel reinforcement over the selected column. I have then inserted the data of tension reinforcement with the other data in the program Schöck BOLE[®] and achieved the right punching shear reinforcement.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. B. Branku za vso pomoč pri nastajanju diplomske naloge in dragocen čas, ki mi ga je namenil.

Posebna zahvala gre tudi skupini projektantov iz gradbenega podjetja Primorje d.d. iz Ajdovščine, ki so mi karkoli svetovali.

Lepo se zahvaljujem tudi družini ter vsem prijateljem, sošolkam in sošolcem, ki so mi kakorkoli pomagali.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opis problema	1
1.2	Možne rešitve	2
1.2.1	Splošni ukrepi	2
1.2.2	Rešitev z mozniki	2
2	PROJEKTIRANJE S PROGRAMOM SCHÖCK BOLE®	8
2.1	Splošno o programu	8
2.2	Vhodni podatki	8
2.2.1	Material	8
2.2.2	Geometrija	9
2.2.3	Faktor ekscentričnosti obtežbe	10
2.2.4	Vzdolžna armatura	11
2.2.5	Obtežba	11
2.2.6	Odprtine	12
2.2.7	Ostali parametri	13
2.3	Omejitve	15
2.3.1	Plošče, podprte s pravokotnimi stebri	15
2.3.2	Plošče, podprte z okroglimi stebri	15
2.3.3	Plošče, podprte s stenami	16
2.4	Rezultati	16
2.4.1	Splošno	16
2.4.2	Ugotavljanje potrebnosti ojačitve proti preboju	16
2.4.3	Število palic	18
2.4.4	Število moznikov	19
2.4.4.1	Izračun n_{geom}	19
2.4.4.2	Izračun n_{stat}	20
2.4.4.3	Izračun n_{dyn}	21
2.4.5	Razmak med mozniki	21
2.4.6	Kontrolna obsega	22

2.4.7	Premer moznikov	22
2.4.8	Skupen dejanski prerez moznikov do vključno obsega u_{iR}	23
2.4.9	Nosilnost moznikov in betona do vključno obsega u_{iR}	23
2.4.10	Primer 1 - pravokoten steber v notranjosti plošče	24
2.4.10.1	Vhodni podatki	24
2.4.10.2	Rezultati	24
2.4.11	Primer 2 - pravokoten steber ob horizontalnem robu plošče	26
2.4.11.1	Vhodni podatki	26
2.4.11.2	Rezultati	27
2.4.12	Primer 3 - pravokoten steber ob vertikalnem robu plošče	29
2.4.12.1	Vhodni podatki	29
2.4.12.2	Rezultati	30
2.4.13	Primer 4 - pravokoten steber v vogalu plošče	32
2.4.13.1	Vhodni podatki	32
2.4.13.2	Rezultati	33
2.4.14	Primer 5 – okrogel steber v notranjosti plošče	35
2.4.14.1	Vhodni podatki	35
2.4.14.2	Rezultati	35
2.4.15	Primer 6 – okrogel steber na robu plošče	37
2.4.15.1	Vhodni podatki	37
2.4.15.2	Rezultati	38
2.4.16	Primer 7 – okrogel steber v vogalu plošče	40
2.4.16.1	Vhodni podatki	40
2.4.16.2	Rezultati	41
2.4.17	Primer 8 – medsebojno pravokotne stene v vogalu plošče	43
2.4.17.1	Vhodni podatki	43
2.4.17.2	Rezultati	43
2.4.18	Primer 9 – stena na robu plošče	46
2.4.18.1	Vhodni podatki	46
2.4.18.2	Rezultati	46

3	PRIMERJAVA SCHÖCK BOLE® Z EN 1992-1-1	48
3.1	Splošno	48
3.2	Možne primerjave	49
3.2.1	Kontrolni obsegi	49
3.2.1.1	Osnovni kontrolni obseg v notranjosti plošče	50
3.2.1.2	Osnovni kontrolni obseg robnih in vogalnih plošč	51
3.2.1.3	Redukcija osnovnega kontrolnega obsega	52
3.2.2	Statična višina	52
3.2.3	Bistvene kontrole	53
3.2.4	Račun maksimalne strižne napetosti	54
3.2.5	Izračun koeficienta β za različne primere	55
3.2.5.1	Notranji steber - enojna ekscentričnost	55
3.2.5.2	Notranji steber okroglega prereza – enojna ekscentričnost	56
3.2.5.3	Notranji steber pravokotnega prereza – dvojna ekscentričnost	57
3.2.5.4	Robni steber – enojna ekscentričnost (primer 2, 3 in 6)	57
3.2.5.5	Vogalni steber (primera 4 in 7)	59
3.2.5.6	Standardne vrednosti faktorja β	60
3.2.6	Strižni odpor proti preboju plošč in stebrov brez strižne ojačitve	61
3.2.6.1	Etažne plošče	61
3.2.6.2	Temeljne plošče	62
3.2.7	Strižni odpor proti preboju plošč in stebrov s strižno ojačitvijo	64
3.2.8	Strižna ojačitev proti preboju (detajlne zahteve)	65
3.2.8.1	Razmak med mozniki	65
3.2.8.2	Prerez moznikov	66
3.2.8.3	Navzgor krivljene palice in prednapeti kabli	67
4	RAČUN MOMENTOV Z METODO NADOMESTNIH OKVIRJEV	69
4.1	Splošno	69
4.2	Metoda nadomestnih okvirjev	69
4.2.1	Delitev panelov na pasove	69
4.2.2	Model okvirne konstrukcije	70

4.2.3	Upogibni momenti	71
4.3	Neenakomerna razporeditev stebrov	72
4.4	Armiranje plošče, podprte s stebri	72
5	PRAKTIČEN PRIMER	74
5.1	Splošno	74
5.2	Podatki	75
5.3	Določanje upogibnih momentov po metodi nadomestnih okvirjev	75
5.3.1	Delitev konstrukcije na okvirje	75
5.3.2	Izračun upogibnih momentov okvirja	76
5.3.3	Določanje negativnih upogibnih momentov v plošči	77
5.4	Izračun prečnega prereza armature	80
5.5	Približen izračun reakcije na mestu stebra A	81
5.6	Kontrola preboja na mestu stebra A s programom Schöck BOLE®	82
5.6.1	Vhodni podatki	82
5.6.2	Rezultati	83
5.7	Praktičen primer v sliki	84
6	ZAKLJUČEK	85
	VIRI	86

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Privzete in standardne vrednosti β

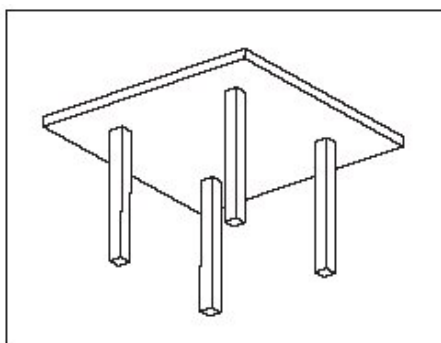
KAZALO SLIK

- Slika 1: Primer plošče, podprte s stebri
- Slika 2: Preboj plošče
- Slika 3: Osne sile v paličju
- Slika 4: Pritisk zemljine na temeljno ploščo σ_p
- Slika 5: Velikost površine A_b za okrogel in pravokotni prerez
- Slika 6: Reduciran kontrolni obseg zaradi odprtin
- Slika 7: Parametri p_1 do p_7 ter različni obsegi
- Slika 8: Sodelujoči parametri pri izračunu $V_{Rd,c}$
- Slika 9: Različni primeri nevarnosti preboja plošče
- Slika 10: Vertikalna komponenta prednapetih kablov
- Slika 11: Model okvirja
- Slika 12: Delitev panela na pasove A in B
- Slika 13: Položaj stebra A v plošči
- Slika 14: Delitev konstrukcije na okvirje
- Slika 15: 3D model okvirja X
- Slika 16: Upogibni momenti M_x
- Slika 17: 3D model okvirja Y
- Slika 18: Upogibni momenti M_y
- Slika 19: Upogibni momenti $M_{x'}$ nad stebrom A
- Slika 20: Upogibni momenti $M_{x_A'}$ oziroma $M_{x_B'}$
- Slika 21: Upogibni momenti $M_{y'}$ nad stebrom A
- Slika 22: Upogibni momenti $M_{y_A'}$ oziroma $M_{y_B'}$
- Slika 23: Vplivna površina za določitev reakcije stebra A
- Slika 24: Tloris in pogled položaja moznikov

1 UVOD

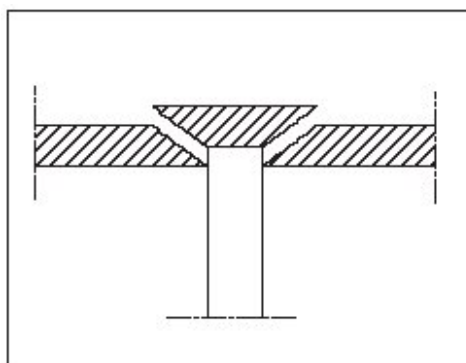
1.1 Opis problema

Armiranobetonska plošča je lahko podprta na različne načine. Podpiranje z gredami ali stenami navadno ne predstavlja posebnega problema glede na preboj plošče, saj je površina podpiranja dovolj velika. Lažja namestitev opaža ter armature, minimizacija etažnih višin in lažja montaža inštalacij pa so tisti argumenti, ki nas lahko prepričajo, da se odločimo za način podpiranja plošče zgolj s stebri (Slika 1).



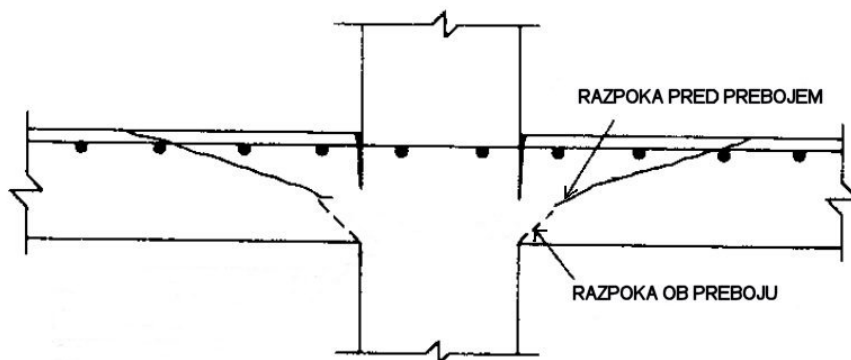
Slika 1: Primer plošče, podprte s stebri

Ko vlogo podpiranja prevzamejo samo stebri, je površina podpiranja plošče določena s prerezom stebra. Če je ta površina glede na obtežbo plošče premajhna, lahko pride do preboja plošče (Slika 2).



Slika 2: Preboj plošče

Preboj plošče je posledica razpok, ki se pričnejo pojavljati v plošči, kot je prikazano na spodnji sliki. Preden pride do preboja, del plošče najprej razpoka pod kotom 25° do 30° . To se navadno zgodi že pri $1/2$ do $2/3$ porušne obtežbe. Ko razpoka še preostali del plošče, pride do njenega preboja.



Pojav razpok pred in ob preboju plošče (Povzeto po: Comité Euro-International du Béton, 1993, str.180.)

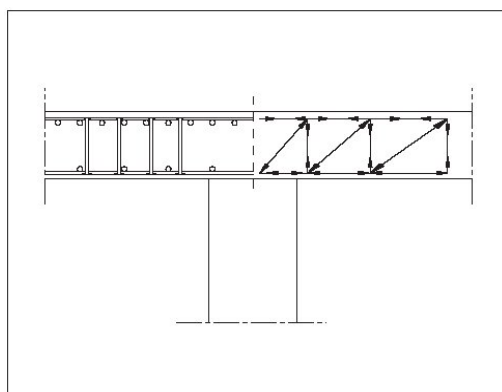
1.2 Možne rešitve problema preboja plošče

1.2.1 Splošni ukrepi

Obstajajo nekateri ukrepi, ki nevarnost preboja zmanjšajo. Lahko se odločimo za debelejšo ploščo, uporabimo boljšo kvaliteto betona, namestimo večjo količino armature ali pa naredimo vuto. Če nam noben od omenjenih ukrepov ne ustreza, se lahko odločimo za poseben sistem ojačitve plošče z mozniki. V nadaljevanju naloge se bom posvetil obravnavi takšne rešitve.

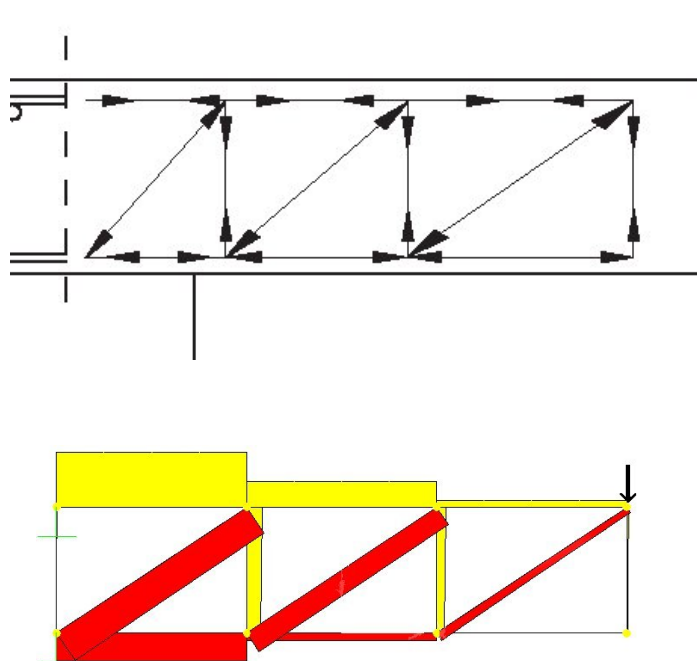
1.2.2 Rešitev z mozniki

Z dodajanjem moznikov se aktivira sistem navideznega paličja, s katerim zagotovimo neko fiktivno povečanje prečnega prereza stebra, kot je prikazano na naslednji sliki in tako povečamo varnost proti preboju plošče.



Mozniki in sistem paličja v plošči (Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.6.)

Pri vertikalni obremenitvi plošče so mozniki in zgornji pas paličja natezno obremenjeni, spodnji pas paličja in diagonale pa tlačno obremenjeni (Slika 3). Tako lahko z mozniki povečamo strižno odpornost tudi do 70%.

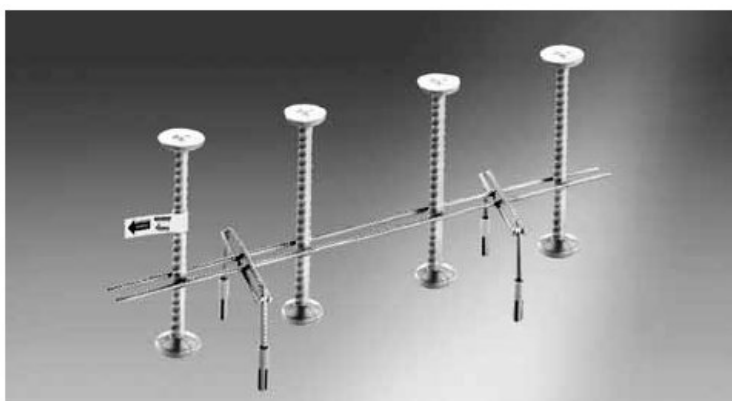


Slika 3: Osne sile v paličju

Moznike za ojačanje plošč izdeluje več podjetij. Eno izmed njih poleg ojačitev ponuja tudi računalniški program Schöck BOLE[®] za projektiranje omenjenih ojačitev. Ojačitev, ki jo ponuja program Schöck BOLE[®], tvori več rebastih moznikov. Na vsaki strani moznika je odebeljena kovana glava. Vodoravni palici, na katerih so mozniki privarjeni, jim zagotavljata

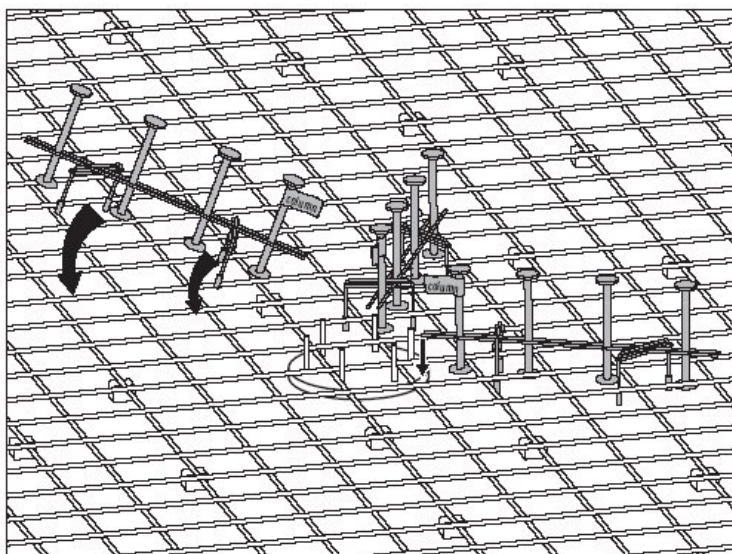
medsebojni razmak, ki ga določi program. Možnost vgradnje narekuje različne tipe povezav med mozniki. Proizvajalec tako ponuja štiri različne tipe, ki so odvisni od vrstnega reda vgradnje armature v ploščo. Vsi tipi moznikov so opremljeni s trakom, ki določa lego prvega moznika od oboda stebra.

Plošče so največkrat armirane z armaturnimi mrežami. V tem primeru je na voljo standardni tip povezave med mozniki, kot kaže naslednja slika. Vgradnjo takega tipa precej poenostavi distančnika, ki sta nameščena na palici v določeni medsebojni razdalji. Z njima lahko tudi ustrezno prilagodimo razdaljo med mozniki in opažem.



Tip moznikov BOLE[®] –standard

(Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.1.)



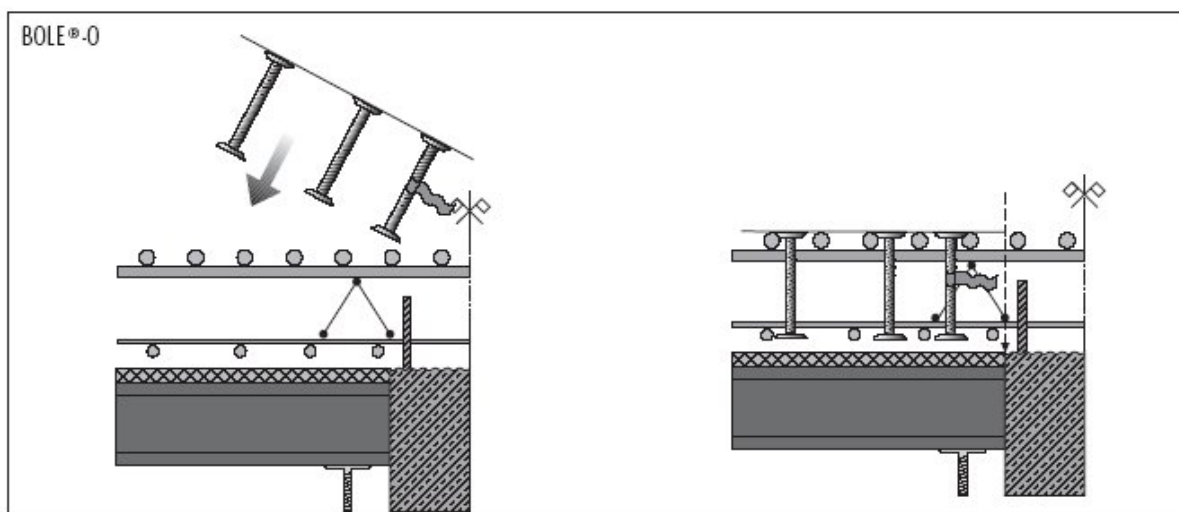
Polaganje moznikov med armaturnimi mrežami (Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.20.)

Če je celotna vzdolžna armatura že nameščena, se moramo odločiti za povezavo med mozniki, kot kaže naslednja slika. Tak tip omogoča neovirano vgradnjo moznikov po namestitvi vzdolžne armature.



Tip moznikov BOLE®-O

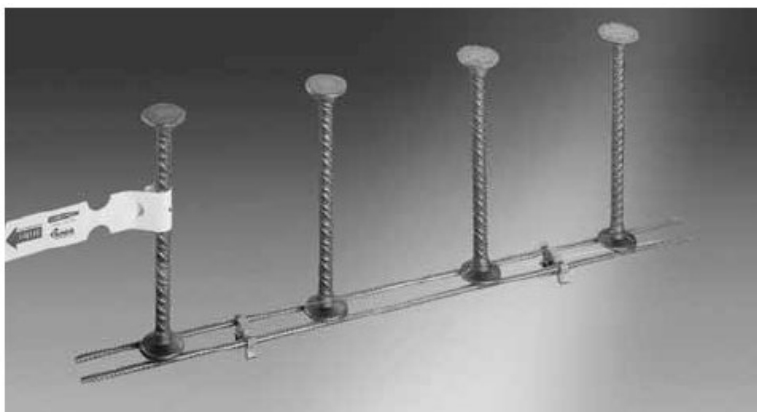
(Povzeto po: Schöck Bole®, 2004, str.1.)



Polaganje po namestitvi vzdolžne armature

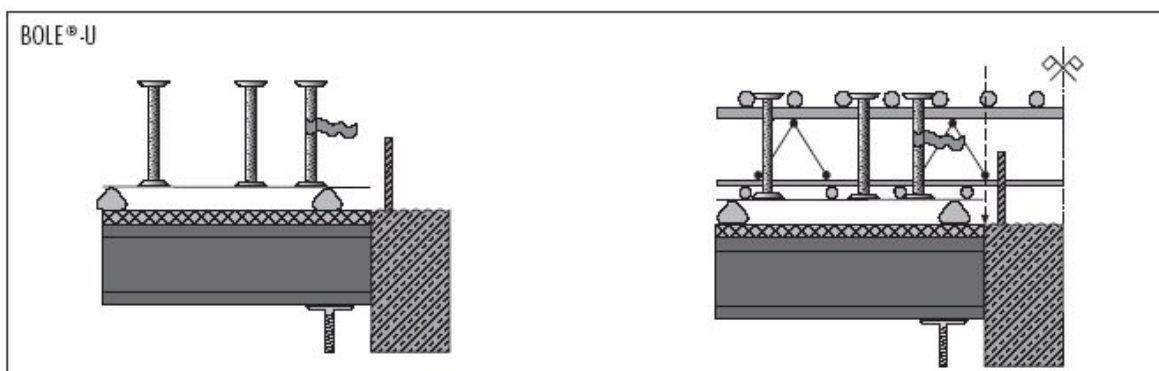
(Povzeto po: Schöck Bole®, 2004, str.21.)

Ko opaževanju plošče najprej sledi namestitev moznikov in šele nato namestitev vzdolžne armature, uporabimo tip povezave med mozniki, ki je prikazan na naslednji sliki. Tudi v tem primeru sta na palici nameščena distančnika, ki določata razdaljo med mozniki in opažem.



Tip moznikov BOLE[®] –U

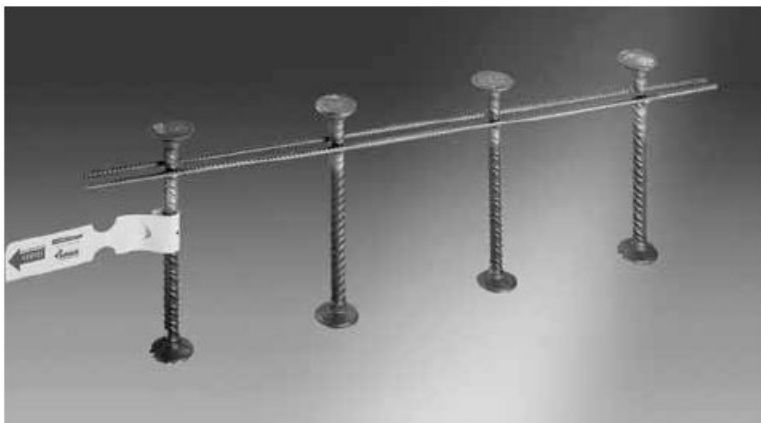
(Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.1.)



Polaganje pred namestitvijo vzdolžne armature

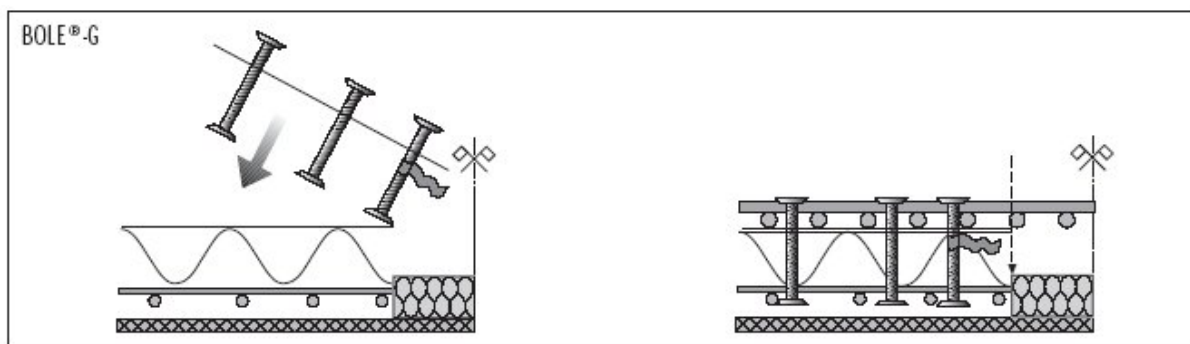
(Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.21.)

Na naslednji sliki je prikazan še zadnji tip povezave med mozniki. Ta se uporablja, ko je del vzdolžne armature že vnaprej nameščen. Po vgradnji moznikov, položimo še armaturne mreže.



Tip moznikov BOLE® –G

(Povzeto po: Schöck Bole®, 2004, str.1.)



Polaganje pred namestitvijo mrežne armature

(Povzeto po: Schöck Bole®, 2004, str.21.)

2 PROJEKTIRANJE S PROGRAMOM SCHÖCK BOLE®

2.1 Splošno o programu

Program Schöck BOLE® se uporablja za projektiranje dodatne strižne armature (moznikov). Program od uporabnika najprej zahteva vhodne podatke. Prav njihova izbira zahteva od uporabnika največ dela. Ko so vhodni podatki enkrat izbrani, je naloga programa, da jih ustrezno pretvori v rezultate. To program naredi v Excelu s pomočjo številnih enačb.

V tem poglavju me bo zanimalo kakšne so te enačbe in kako se ujemajo s standardom EN 1992-1-1. Ker so enačbe v delovnem oknu programa nevidne, jih je potrebno najprej odkriti in nato urediti v primerno obliko, saj so znotraj programa Excel locirane na več delovnih listih.

Program omogoča izračun strižne armature v gobastih ploščah brez vut za devet različnih primerov. Ti primeri zajemajo stik plošče s pravokotnim oziroma okroglim stebrom na robu plošče, v vogalu plošče ali nekje v sredini plošče, pa tudi dva primera stika plošče s steno. Poleg tega se uporabnik lahko pri vsakem primeru odloči, ali gre za temeljno ali etažno ploščo. Od primera do primera se vrste vhodnih podatkov in rezultatov nekoliko razlikujejo. V nadaljevanju bom poskušal čimbolj nazorno predstaviti, kje prihaja do razlik. Zato bom najprej navedel splošna dejstva pri vhodnih podatkih in rezultatih, kasneje pa posebnosti pri vsakem primeru posebej.

2.2 Vhodni podatki

2.2.1 Material

Pri vseh primerih najprej določimo marko betona in kvaliteto jekla, vključno z materialnimi varnostnimi faktorji. Program omogoča izbiro marke betona od C12/15 do C90/105 ter izbiro

kvalitete jekla v plošči od RSt 220 do RSt 600. Mozniki so narejeni iz jekla standardne kvalitete RSt 500.

Trdnostni razredi betona (MPa) (Povzeto po: Schöck Bole® Design, 2004, str.13.)

EC 2	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C 90/105
f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm}	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm}	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
E_c	30.000	31.000	32.000	34.000	35.000	36.000	37.000	38.000	39.000	41.000	42.000	44.000

f_{ck}	karakteristična vrednost tlačne napetosti betona v valju po 28 dneh
$f_{ck,cube}$	karakteristična vrednost tlačne napetosti betona v kocki po 28 dneh
f_{cm}	srednja vrednost tlačne napetosti betona v valju
f_{ctm}	srednja vrednost osne natezne napetosti betona
$f_{ctk,0,05}$	karakteristična vrednost osne natezne napetosti betona pri 5% fraktili natezne nosilnosti
E_c	tangentni modul elastičnosti pri starosti betona 28 dni

Trdnostni razred moznikov (MPa) (Povzeto po: Schöck Bole® Design, 2004, str.13.)

	RSt 220	RSt 250	RSt 420	RSt 460	RSt 500	RSt 550	RSt 600
f_{yk}	220	250	420	460	500	550	600

f_{yk}	karakteristična vrednost napetosti armature na meji plastičnosti
----------	--

2.2.2 Geometrija

Nadalje določimo podatke o prečnem prerezu stebra in plošče, ki je lahko temeljna ali etažna. Pri plošči je pomemben podatek o njeni debelini (h), krovni debelini betona (c) in o statični

višini (d). Pri določanju statične višine plošče je potrebno upoštevati njeno maksimalno vrednost ter najmanjšo debelino plošče, kot to določata naslednja izraza:

$$\max d \leq h - c, \quad (1)$$

$$h \geq 20 \text{ cm.} \quad (2)$$

2.2.3 Faktor ekscentričnosti obtežbe

Pri določanju faktorja ekscentričnosti obtežbe (β) ima uporabnik programa v vseh primerih tri možnosti. Lahko ga poljubno izbere v območju od 1,00 do 1,50 (privzeta vrednost je 1,40), lahko se odloči za standardno vrednost ali pa izbere možnost izračuna po določenih enačbah, ki upoštevajo ekscentričnost obtežbe v smeri x (e_x) oziroma v smeri y (e_y). Na tem mestu je potrebno omeniti, da program v vseh primerih omogoča spremembo ekscentričnosti v obeh smereh. Izkaže se, da ekscentričnost v obeh smereh pride v poštev samo pri prvem primeru. V drugem, petem in šestem primeru je pomemben le podatek e_x , v tretjem primeru pa e_y . V preostalih štirih primerih na rezultat ne vpliva niti ena od možnih ekscentričnosti. To deloma prikrito dejstvo je lepo vidno tudi v enačbah, ki sledijo v nadaljevanju. V primeru, da se uporabnik odloči upoštevati posamezne ekscentričnosti, program izračuna faktor β po enačbah, ki jih navajam v posameznih primerih. Če pa se uporabnik odloči med prvima možnostima, so vrednosti faktorja za vseh devet primerov podane v naslednji preglednici.

Preglednica 1: Privzete in standardne vrednosti β

Primer	Vrednost β	
	Privzeta	Standardna
1	1,40	1,15
2	1,40	1,40
3	1,40	1,40
4	1,40	1,50
5	1,40	1,15
6	1,40	1,40
7	1,40	1,50
8	1,40	1,40
9	1,40	1,40

2.2.4 Vzdolžna armatura

Kot pomemben podatek se šteje tudi prerez vzdolžne armature v plošči. Pomemben je samo tisti del natezne armature, ki poteka preko stebra na območju vplivne površine. Podatek o armaturi lahko podamo na tekoči meter ali pa v deležu betonskega prereza, priporočljivo pa je, da vrednost ne preseže 2%. Večji kot je prerez vzdolžne armature, manjša je potreba po številu moznikov.

2.2.5 Obtežba

Nazadnje sledijo še podatki o obtežbi in njenih varnostnih faktorjih. Podati moramo tako stalno obtežbo (V_G) in spremenljivo obtežbo (V_Q), kot tudi dinamični del spremenljive obtežbe (V_{dyn}). Pri tem mora biti dinamični del spremenljive obtežbe manjši od same spremenljive obtežbe:

$$V_{dyn} < V_Q. \quad (3)$$

Ko poznamo vse vrste obtežbe, lahko program določi računsko strižno silo po spodnjih enačbah in sicer:

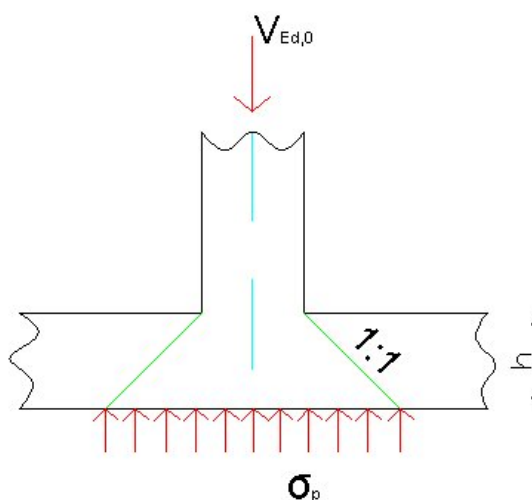
za etažno ploščo

$$V_{Ed,0} = V_G \cdot \gamma_G + V_Q \cdot \gamma_Q, \quad (4)$$

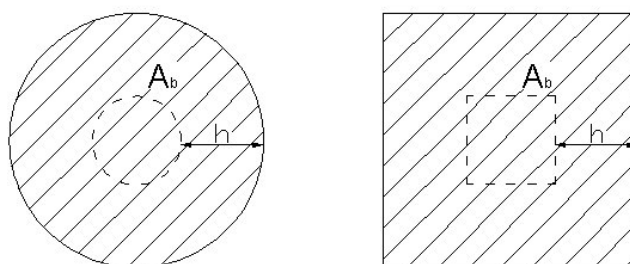
za temeljno ploščo pa

$$V_{Ed,0} = V_G \cdot \gamma_G + V_Q \cdot \gamma_Q - \sigma_P \cdot A_b \geq 0. \quad (5)$$

S σ_P je označen pritisk zemljine (Slika 4), z A_b pa velikost površine, kjer pritisk zemljine učinkuje (Slika 5).



Slika 4: Pritisk zemljine na temeljno ploščo σ_p



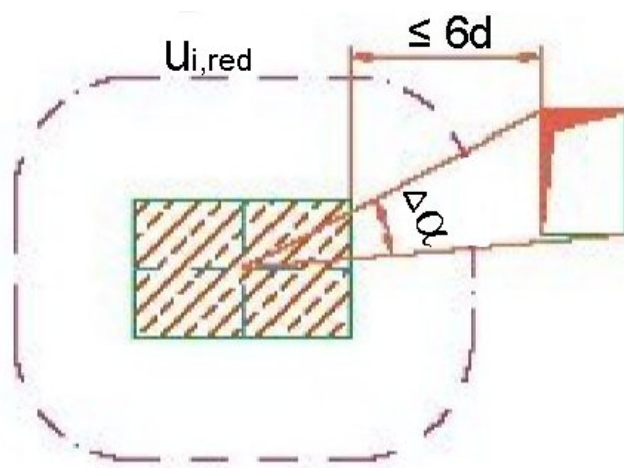
Slika 5: Velikost površine A_b za okrogel in pravokoten prerez

Gre lahko za temeljno ali za etažno ploščo; razlike so samo pri izračunu računске strižne sile ($V_{Ed,0}$). Vrednosti, ki so odvisne od $V_{Ed,0}$, so posledično drugačne, vendar izračunane po istih enačbah kot etažna plošča.

2.2.6 Odprtine

K vhodnim podatkom spadajo tudi tiste odprtine v plošči, kjer najkrajša razdalja med obodom stebra in robom odprtine ne presega razdalje $6 \cdot d$ (Slika 6). Program lahko upošteva največ pet odprtin. Bistvo vsega pa niso same odprtine, ampak seštevek vseh kotov $\Delta\alpha$, ki jih določata tangenti iz centra stebra do zunanega dela odprtine. Če se hočemo izogniti definiranju odprtin, se lahko odločimo tudi za vnos direktne vrednosti kota $\Delta\alpha$. Glede na eno ali drugo možnost se pri izračunu upošteva efektivni oziroma reducirani notranji obseg ($u_{i,red}$) (Slika 6),

razporeditev ojačitev pa mora projektant določiti po lastni presoji, ker tega program ne naredi. Redukcija notranjega kontrolnega obsega (u_i) seveda ne sme biti prevelika. Tako program že pri 40% redukcije opozori uporabnika, naj se prepriča o ustreznosti izbire tipa stebra, pri 60% redukcije pa program prekine z računom, ker redukcijo smatra za preveliko.



Slika 6: Reduciran kontrolni obseg zaradi odprtín

2.2.7 Ostali parametri

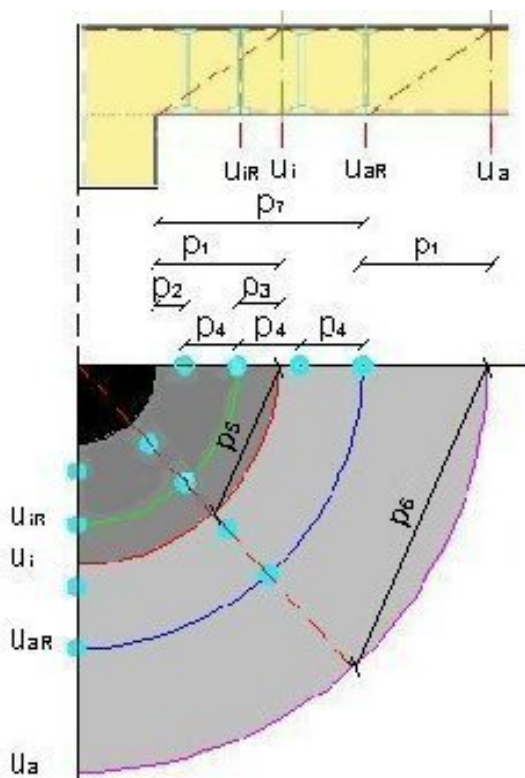
Poleg tega program omogoča še spremembo nekaterih drugih parametrov. Odločimo se lahko med dvema možnostima. Lahko spreminjamo vrednost vseh parametrov, v primeru, da v programu izberemo možnost EC 2, pa samo dveh in sicer p_2 in p_3 . Ti parametri so naslednji:

- | | |
|----------------------|--|
| $p_1 = 2,0 \cdot d$ | razdalja med obodom stebra in notranjim kontrolnim obsegom (u_i) in hkrati razdalja med obsegoma u_{aR} in u_a |
| $p_2 = 0,4 \cdot d$ | razdalja med obodom stebra in prvim moznikom (od $0,3 \cdot d$ do $0,5 \cdot d$) |
| $p_3 = 0,5 \cdot d$ | razdalja med obsegom u_{iR} in notranjim kontrolnim obsegom (u_i) ($\leq 0,5 \cdot d$) |
| $p_4 = 0,75 \cdot d$ | maksimalna razdalja med mozniki vzdolž ene palice ($\leq 0,75 \cdot d$) |
| $p_5 = 1,5 \cdot d$ | maksimalna razdalja med sosednjimi palicami vzdolž notranjega kontrolnega obsega (u_i) |

- $p_6 = 2,0 \cdot d$ maksimalna razdalja med palicami vzdolž zunanjega kontrolnega obsega (u_a)
- $p_7 = 4,0 \cdot d$ maksimalna dolžina palic

Zgoraj definirani parametri so prikazani tudi na spodnji sliki. Poleg tega slika prikazuje položaj različnih obsegov. Vsak obseg ima svoj pomen in sicer:

- u_{iR} - določa mejo med notranjimi in zunanji mozniki
 (določa ga lega zadnjega moznika pred kontrolnim obsegom u_i)
- u_i - osnovni kontrolni obseg ($2 \cdot d$ od oboda stebra)
 - služi za kontrolo razdalj med mozniki sosednjih palic ($\leq 1,5 \cdot d$)
- u_{aR} - določa nek fiktivno povečan prerez stebra
 (določa ga lega zadnjega moznika)
- u_a - kontrolni obseg ($2 \cdot d$ od zadnjega moznika)
 - služi za kontrolo razdalj med mozniki sosednjih palic ($\leq 2,0 \cdot d$)



Slika 7: Parametri p_1 do p_7 ter različni obsegi

2.3 Omejitve

2.3.1 Plošče, podprte s pravokotnimi stebri

V primerih, kjer nastopajo stebri pravokotne oblike, sta pomembni dimenziji prečnega prereza (a) in (b). Nobena od obeh vrednosti ne sme biti manjša od 20 cm. Dimenziji sta tudi medsebojno odvisni, saj mora biti njuno razmerje med 0,5 in 2,0. Prav tako sta dimenziji odvisni od statične višine plošče, saj mora za obseg stebra (U) veljati izraz

$$U \geq 11 \cdot d, \quad (6)$$

kjer je

$$U = 2 \cdot a + 2 \cdot b. \quad (7)$$

Ali je podatek o horizontalni oziroma vertikalni oddaljenosti središča stebra od roba plošče pomemben za posamezen primer, določa položaj stebra glede na ploščo. Vsekakor pa horizontalna oddaljenost središča stebra od roba plošče (r_x) ne sme biti manjša od polovice stranice b , vertikalna oddaljenost središča stebra od roba plošče (r_y) pa ne od polovice stranice a .

2.3.2 Plošče, podprte z okroglimi stebri

Prerez okroglega stebra je določen že s tem, ko podamo njegov premer \emptyset . Ta ne sme biti manjši od 20 cm in ne večji od $3,5 \cdot d$. Zakaj ne sme biti večji od $3,5 \cdot d$, pokaže že kratek izračun, saj je v primeru okroglega prereza zahteva po omejitvi obsega (U) z $11 \cdot d$ enakovredna zahtevi po omejitvi premera (\emptyset) s $3,5 \cdot d$, kjer velja spodnja enačba.

$$U = \emptyset \cdot \pi \quad (8)$$

V primeru stebra okroglega prereza položaj stebra glede na ploščo tudi določa, ali je za posamezen primer pomemben podatek o horizontalni oziroma vertikalni oddaljenosti središča stebra od roba plošče. Tudi v primeru podprtja s stebrom okroglega prereza horizontalna

oddaljenost središča stebra od roba plošče (r_x) oziroma vertikalna oddaljenost središča stebra od roba plošče (r_y), ne sme biti manjša od polovice premera stebra.

2.3.3 Plošče, podprte s stenami

V primeru plošč podprtih s steno, se prvič srečamo s podatkom o faktorju vplivne širine (F_{reach}). Vrednost tega je po EC enaka 1,0 in služi temu, da je nedoločena dimenzija stene nekako omejena in je na ta način stena obravnavana kot steber.

Poleg tega je stena določena šele, ko poznamo podatek o njeni debelini (a) oziroma (b), ki v nobenem primeru ne sme biti manjša od 12 cm.

2.4 Rezultati

2.4.1 Splošno

Za izvajalca je bistvenega pomena informacija o številu in položaju moznikov oziroma palic. Program nam postreže z obema informacijama, vendar moramo v primeru odprtih sami posredovati pri njihovi razporeditvi. Enačbe, ki jih uporablja program, da pride do posameznih rezultatov, bom navedel v nadaljevanju.

2.4.2 Ugotavljanje potrebnosti ojačitve proti preboju

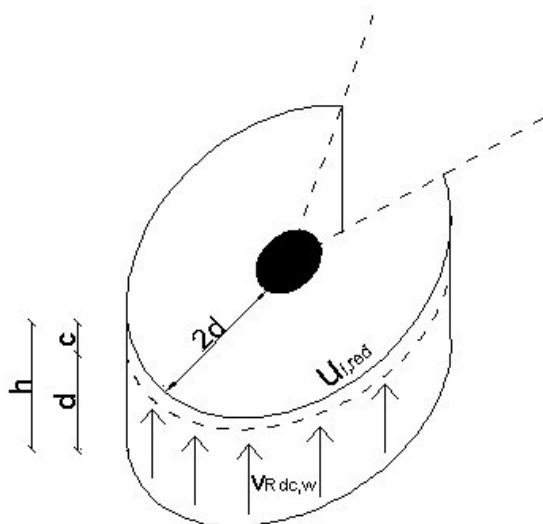
Če računsko vrednost strižne sile ($V_{Ed,0}$) pomnožimo s faktorjem ekscentričnosti obtežbe (β), dobimo vrednost V_{Ed} .

$$V_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed,0} \quad (9)$$

Pri ugotavljanju, ali je ojačitev proti preboju sploh potrebna, moramo primerjati vrednost V_{Ed} z $V_{Rd,c}$, kjer slednja pomeni odpor betona proti preboju.

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c,w} \cdot u_{i,red} \cdot \frac{d}{10} \quad (\text{kN}) \quad (10)$$

Pri enačbi za izračun sile $V_{Rd,c}$ igra ključno vlogo reducirani prerez plošče na razdalji $2 \cdot d$ od oboda stebra ter napetost $v_{Rd,c,w}$, ki predstavlja največji odpor betona v odvisnosti od določenih koeficientov. S faktorjem 10 zmanjšamo celoten izraz, vendar se to zgodi izključno zaradi korekcije enot.



Slika 8: Sodelujoči parametri pri izračunu $V_{Rd,c}$

$$v_{Rd,c,w} = \max \begin{cases} c_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \\ 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (11)$$

$$u_{i,red} = u_i - \Delta u_i \quad (\text{cm}) \quad (12)$$

u_i določen v vsakem primeru posebej

$$\Delta u_i = \frac{u_i}{360} \cdot \Delta \alpha \quad (13)$$

$$\Delta \alpha = \sum_i \Delta \alpha_i, \quad (14)$$

če definiramo i odprtin

$$\Delta \alpha = \max \begin{cases} |\Delta \alpha| \\ 0 \end{cases}, \quad (15)$$

če direktno podamo kot $\Delta \alpha$,

vendar mora v obeh primerih veljati $\Delta \alpha \leq 359^\circ$.

Brezdimenzijske koeficiente c_{Rdc} , k in ρ pa program izračuna po naslednjih izrazih:

$$k = \min \begin{cases} 1 + \sqrt{\frac{200}{10 \cdot d}} \\ 2 \end{cases} \quad d \text{ v cm} \quad (16)$$

$$c_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (17)$$

$$\rho = \text{procent vzdolžnega armiranja} / 100 \quad (18)$$

f_{ck} trdnost v MPa

Ojačitev proti preboju je potrebna le, ko velja spodnja enačba, vendar ob pogoju, ki ji sledi.

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,c} \quad (19)$$

Omenjeni pogoj se nanaša na omejitev strižnega odpora proti preboju ob konturi stebra z $V_{Rds,max}$. Potreben je zato, da ne pride do preboja plošče ob sami konturi stebra.

$$V_{Ed} \leq V_{Rds,max} \quad (20)$$

$$V_{Rds,max} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot u_0 \cdot \frac{d}{10} \quad (21)$$

f_{ck} trdnost v MPa

u_0 določen v vsakem primeru posebej

d statična višina prereza plošče

Če zgornji pogoj ni izpolnjen, program opozori na napako, sicer pa se izvede izračun ojačitev.

2.4.3 Število palic

Število palic (N) se razlikuje od primera do primera, vendar se za izračun povsod uporabi naslednji izraz.

$$N \geq \max \begin{cases} \frac{u_{a,\text{red}}}{p_6} \\ \frac{u_{iR,\text{red}}}{p_5} \end{cases} \quad (22)$$

Možno število palic je prilagojeno posameznemu primeru. Tako program z upoštevanjem zgornjega izraza izbere prvo vrednost, ki ustreza območju števil, določenem v posameznih primerih. Prav tako so pri posameznih primerih navedene vse potrebne enačbe, ki se navezujejo na zgornji izraz.

2.4.4 Število moznikov

Število moznikov (n_{st}) program izračuna v dveh delih. Prvi del vključuje število moznikov od stebra do vključno u_{iR} , drugi del pa od tu naprej. Skupno število moznikov je torej:

$$n_{\text{st}} = n_{\text{in}} + n_{\text{out}} \quad (23)$$

Število moznikov v prvem delu (n_{in}) se izračuna po spodnjem izrazu, kjer se vrednost na desni strani izraza zaokroži na prvo naravno število.

$$n_{\text{in}} \geq \frac{(p_1 - p_2 - p_3)}{p_4} + 1 \quad (24)$$

V drugem delu je račun nekoliko kompleksnejši in sicer:

$$n_{\text{out}} = \max (n_{\text{geom}}, n_{\text{stat}}, n_{\text{dyn}}) \quad (25)$$

2.4.4.1 Izračun n_{geom}

Če naslednji izraz ne velja, je potrebno levo stran izraza zaokrožiti navzgor na naravno število. Tako dobimo pravo vrednost n_{geom} :

$$\frac{\frac{l_s}{d} - \frac{p_2}{d} - (n_{in} - 1) \cdot \frac{b}{d}}{\frac{p_4}{d}} < 0,0001, \quad (26)$$

kjer je

$$l_s \leq p_7, \quad (27)$$

$$b = \frac{p_1 - p_2 - p_3}{n_{in} - 1} \cdot d, \quad (28)$$

kar pomeni razdaljo med notranjimi mozniki.

2.4.4.2 Izračun n_{stat}

Izraz za izračun n_{stat} je ravno tako potrebno zaokrožiti navzgor na naravno število.

$$n_{stat} = \frac{F \cdot V_{Ed}}{N_{Rd} \cdot N} \quad (29)$$

$$F = \min \left\{ \max \left(\begin{array}{c} \left(\frac{l_s - p_1}{d} \right) \\ 2,5 \\ 0 \end{array} \right), 1 \right\} \cdot \frac{p_1}{d} \quad (30)$$

za prvi primer in

$$F = \min \left\{ \max \left(\begin{array}{c} \left(\frac{l_s - 1,5}{d} \right) \\ 2,5 \\ 0 \end{array} \right), 1 \right\} \cdot 0,75 \quad (31)$$

za vse ostale primere.

$$N_{Rd} = \varnothing_{st}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{f_{vk}}{1000} \text{ (kN)}, \quad (32)$$

kjer je \varnothing_{st} premer moznika v mm (v nadaljevanju).

2.4.4.3 Izračun n_{dyn}

V primeru, da velja naslednji izraz, se za izračun n_{dyn} uporabi enačba, ki mu sledi (če je dinamična obtežba V_{dyn} v vhodnih podatkih različna od nič), sicer pa je vrednost n_{dyn} enaka 0. Vrednost omenjene enačbe se tudi zaokroži navzgor na naravno število.

$$\max \left\{ \begin{matrix} n_{\text{geom}} \\ n_{\text{stat}} \end{matrix} \right\} > 0 \quad (33)$$

$$n_{\text{dyn}} = \frac{A_{\text{sv,dyn}}}{A_{\text{st}} \cdot N} \quad (34)$$

$$A_{\text{sv,dyn}} = \frac{V_{\text{dyn}}}{\frac{e}{10}} \quad (\text{cm}^2); \quad e = 60 \quad (35)$$

e napetost v MPa, ki v primeru dinamične obtežbe (V_{dyn}) predstavlja maksimalno vrednost nihanja napetosti v mozniku.

$$A_{\text{st}} = \frac{\pi \cdot r_{\text{st}}^2}{4} \quad (\text{cm}^2) \quad (36)$$

$$r_{\text{st}} = \frac{\varnothing_{\text{st}}}{2} \quad (37)$$

2.4.5 Razmak med mozniki

Program tudi razmak med mozniki izračuna ločeno za notranje in zunanje moznike. Razmak med notranjimi mozniki, t.j. do vključno obsega u_{IR} se izračuna po naslednji enačbi.

$$e_{\text{in}} = \frac{p_1 - p_2 - p_3}{(n_{\text{in}} - 1)} \cdot d \cdot 10 \quad (\text{mm}) \quad (38)$$

Če velja, da je n_{geom} enako nič, potem je razmak med zunanjimi mozniki prav tako nič, sicer se pa izračuna po enačbi:

$$e_{\text{out}} = \frac{l_s - p_2 - (n_{\text{in}} - 1) \cdot e_{\text{in}}}{n_{\text{out}}} \cdot d \cdot 10 \text{ (mm)} \quad (39)$$

2.4.6 Kontrolna obsega

Kontrolna obsega določa razdalja $2 \cdot d$ od oboda stebra oziroma od zadnjega moznika. Ker jih program v različnih situacijah različno označuje, veljata spodnji enakosti.

$$u1 = u_{i, \text{red}} \quad (40)$$

$$u2 = u_a = u_{a1} \quad (41)$$

Vrednost $u_{i, \text{red}}$ je pojasnjena v poglavju 2.4.2, vrednost u_a pa v poglavju 2.2.7.

2.4.7 Premer moznikov

Premer moznika (\varnothing_{st}) program izbere med vrednostmi 0, 10, 12, 14, 16, 20 ali 25 mm. Minimalni premer moznika je določen z vrednostjo $\varnothing_{\text{st, min}}$. Če je $\varnothing_{\text{st, min}}$ enak \varnothing_{st} , je premer moznika določen s $\varnothing_{\text{st, min}}$, sicer pa program za \varnothing_{st} vzame prvo večjo vrednost znotraj zgoraj omenjenih vrednosti.

$$\varnothing_{\text{st, min}} = \sqrt{\frac{A_{\text{st, min}} \cdot 4}{\pi}} \cdot 10 \text{ (mm)} \quad (42)$$

$$A_{\text{st, min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{\text{st, min1}} \\ A_{\text{st, min2}} \end{array} \right\} \text{ (cm}^2\text{)}, \quad (43)$$

kar pomeni potreben prerez enega moznika.

$$A_{\text{st, min1}} = \frac{A_{\text{sv, ew}}}{N} \cdot 10 \% \quad (44)$$

$$A_{\text{st, min2}} = \frac{\max \left(\begin{array}{l} A_{\text{sv, ew}} \\ A_{\text{sv, dyn}} \end{array} \right)}{N \cdot n_{\text{in}}} \quad (45)$$

$$A_{sv,ew} = \max \left(\begin{array}{l} A_{sv,erfd} \\ A_{sv,min} \end{array} \right) \quad (46)$$

$$A_{sv,erfd} = \frac{V_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c}}{1,5 \cdot \left(\frac{d}{e_{in}} \right) \cdot \frac{\min \left(250 + 0,25 \cdot d \cdot 10 \right)}{10}}, \quad (47)$$

kar pomeni skupen potreben prerez moznikov do vključno u_{iR}

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_s} \quad (\text{MPa}) \quad (48)$$

$$A_{sv,min} = 1,0 \quad (\text{cm}^2) \quad (49)$$

2.4.8 Skupen dejanski prerez moznikov do vključno obsega u_{iR}

$$A_{sv,vorth} = \frac{N \cdot n_{in} \cdot \varnothing_{st}^2}{100} \cdot \frac{\pi}{4} \quad (\text{cm}^2) \quad (50)$$

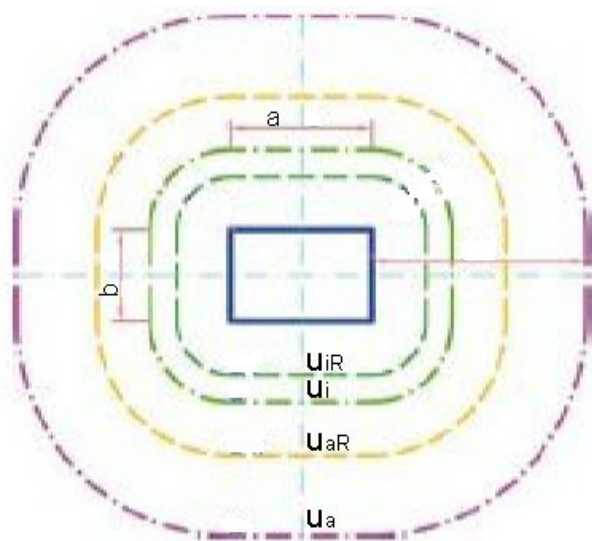
2.4.9 Nosilnost moznikov in betona do vključno obsega u_{iR}

$$V_{Rds,vorth} = 0,75 \cdot V_{Rd,c} + 1,5 \cdot \left(\frac{d}{e_{in}} \right) \cdot \min \left(250 + 0,25 \cdot d \cdot 10 \right) \cdot \frac{A_{sv,vorth}}{10} \quad (\text{kN}) \quad (51)$$

Razmerje $\frac{V_{Rds,vorth}}{V_{Ed}}$ nam pove, koliko rezerve imamo pri preboju, ko dodamo moznike. Če pogledamo zgornjo enačbo, lahko ugotovimo, da je prispevek nosilnosti betona upoštevan s faktorjem 0,75. K ostali nosilnosti prispevajo mozniki. Tako lahko v primeru na koncu naloge ugotovimo, da je nosilnost betona skupaj z vzdolžno armaturo približno 23%, nosilnost moznikov pa 77%. (Glej tudi enačbo 257.)

Na koncu program izračuna še maso vseh ojačitev in preveri, ali v primeru dinamične obtežbe maksimalna vrednost nihanja napetosti v mozniku ne presega 60 MPa.

2.4.10 Primer 1 - pravokoten steber v notranjosti plošče



Pravokoten steber v notranjosti plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.6.)

2.4.10.1 Vhodni podatki

$$\beta = 1 + 1,8 \cdot \sqrt{\left| \frac{e_x}{b + 2 \cdot p_1} \right|^2 + \left| \frac{e_y}{a + 2 \cdot p_1} \right|^2} \quad (52)$$

2.4.10.2 Rezultati

$$u_i = 2 \cdot (a+b) + 2 \cdot p_1 \cdot \pi \quad (53)$$

$$u_0 = 2 \cdot a + 2 \cdot b \quad (54)$$

Število palic je mogoče izbrati med sodimi števili od 8 do 28.

$$u_{a,\text{red}} = 2 \cdot (a+b) + 2 \cdot l_s \cdot \pi \quad (55)$$

$$l_s = \max \left\{ \frac{(l_{s,\text{max}} - l_{s_1}) \cdot (u_{a1} - u_{a1,\text{neu}})}{(u_{a2,\text{neu}} - u_{a1,\text{neu}})} + l_{s_1} - p_1, p_1 - p_3 \right\}, \quad (56)$$

kar pomeni dolžino palic.

$$l_{s,\text{max}} = p_6 + p_1 \quad (57)$$

$$l_{s_1} = \max \left\{ x_1 \cdot d, p_1 - p_3 \right\} \quad (58)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - 2 \cdot (a+b)}{2 \cdot d \cdot \pi} \quad (59)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rdc,w}} \cdot d} \cdot 10 \quad (60)$$

$$u_{a1,\text{neu}} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (61)$$

$$\alpha_1 = 360^\circ \quad (62)$$

$$u_{a2,\text{neu}} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (63)$$

$$\alpha_2 = 360^\circ \quad (64)$$

$$u_{a2} = 2 \cdot (a+b) + 2 \cdot l_{s,\text{max}} \cdot \pi \quad (65)$$

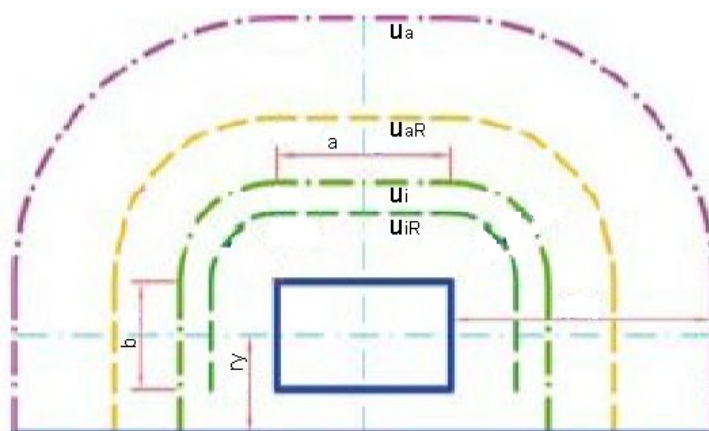
$$u_{iR,\text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (66)$$

$$u_{iR} = 2 \cdot (a+b) + 2 \cdot (p_1 - p_3) \cdot \pi \quad (67)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta\alpha \quad (68)$$

$$\alpha_3 = 360^\circ \quad (69)$$

2.4.11 Primer 2 - pravokoten steber ob horizontalnem robu plošče



Pravokoten steber ob horizontalnem robu plošče (Povzeto po: Schöck Bole® Bemessung, 2004, str.6.)

2.4.11.1 Vhodni podatki

Poleg obeh dimenzij prereza a in b , kjer je stranica a vzporedna robu plošče, je pomemben še podatek o vertikalni oddaljenosti središča prereza od roba plošče (r_y). Pozoren uporabnik programa lahko opazi, da je vrednost ekscentričnosti obtežbe (e_y) v tem primeru sicer določljiva, vendar ne igra nobene vloge pri izračunu faktorja ekscentričnosti obtežbe (β). Glavno vlogo ima seveda vrednost e_x .

$$\beta = \frac{u_{i,\text{red}}}{u_i^*} + k^* \frac{u_{i,\text{red}}}{W_1} \cdot |e_x| \quad (70)$$

$$u_i^* = u_{i,\text{red}} - 2 \cdot \left[r_y + \left| \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot d - 0,5 \cdot b \\ 0 \end{array} \right\} \right| \right] \quad (71)$$

$$W_1 = \frac{b^2}{4} + a \cdot b + 4 \cdot a \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot b \quad (72)$$

$$k^* \text{ (EC: } k^* = k) \dots \text{odvisen od razmerja } \frac{b}{2 \cdot a} \quad (73)$$

2.4.11.2 Rezultati

$$u_i = a + b + 0,5 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot \pi + 2 \cdot r_y \quad (74)$$

$$u_0 = \min \begin{cases} a + 3 \cdot d \\ a + 2 \cdot b \end{cases} \quad (75)$$

Število palic je mogoče izbrati med števili od 5 do 12.

$$u_{a,red} = a + 2 \cdot b + ls \cdot \pi \quad (76)$$

$$ls = \max \begin{cases} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,neu})}{(u_{a2,neu} - u_{a1,neu})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (77)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (78)$$

$$ls_1 = \max \begin{cases} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (79)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - (a + b) - 2 \cdot r_y}{d \cdot \pi} \quad (80)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{Ed}}{v_{Rdc,w}} \cdot d \quad (81)$$

$$u_{a1,neu} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (82)$$

$$\alpha_1 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + ls_1}{r_y} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (83)$$

$$u_{a2,neu} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (84)$$

$$\alpha_2 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + ls, \max}{r_y} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (85)$$

$$u_{a2} = a + b + 2 \cdot r_y \cdot ls, \max \cdot \pi \quad (86)$$

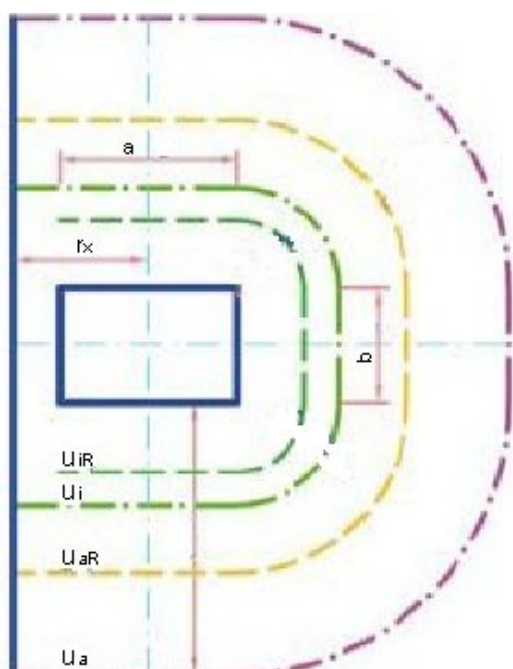
$$u_{iR,red} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (87)$$

$$u_{iR} = a + 2 \cdot b + 0,5 \cdot (p_1 - p_3) \cdot 2 \cdot \pi \quad (88)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (89)$$

$$\alpha_3 = 360 - 2 \cdot \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{a}{2} + (p_1 - p_3)}{r_y} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (90)$$

2.4.12 Primer 3 - pravokoten steber ob vertikalnem robu plošče



Pravokoten steber ob vertikalnem robu plošče

(Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.6.)

2.4.12.1 Vhodni podatki

Ta primer je zelo podoben prejšnjemu, kar nakazujejo tudi naslednje enačbe. Stranica a je tokrat pravokotna na rob plošče, pomemben pa je podatek o horizontalni oddaljenosti središča prereza od roba plošče (r_x). Kljub določljivosti ekscentričnosti obtežbe v obeh smereh je pomembna le e_y .

$$\beta = \frac{u_{i,\text{red}}}{u_i^*} + k^* \frac{u_{i,\text{red}}}{W_1} \cdot |e_y| \quad (91)$$

$$u_i^* = u_{i,\text{red}} - 2 \cdot \left[r_x + \left| \min \left\{ 1,5 \cdot d - 0,5 \cdot a \right\} \right| \right] \quad (92)$$

W_1 ... enak kot v drugem primeru

k^* (EC: $k^* = k$) ... odvisen od razmerja $\frac{a}{2 \cdot b}$

2.4.12.2 Rezultati

$$u_i = a + b + 0,5 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot \pi + 2 \cdot r_x \quad (93)$$

$$u_0 = \min \begin{cases} b + 3 \cdot d \\ b + 2 \cdot a \end{cases} \quad (94)$$

Zaradi podobnosti prejšnjemu primeru je tudi tu število palic ena izmed vrednosti od 5 do 12.

$$u_{a,\text{red}} = b + 2 \cdot a + ls \cdot \pi \quad (95)$$

$$ls = \max \begin{cases} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,\text{neu}})}{(u_{a2,\text{neu}} - u_{a1,\text{neu}})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (96)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (97)$$

$$ls_1 = \max \begin{cases} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (98)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - (a + b) - 2 \cdot r_x}{d \cdot \pi} \quad (99)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rdc,w}} \cdot d} \cdot 10 \quad (100)$$

$$u_{a1,\text{neu}} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (101)$$

$$\alpha_1 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls_1}{r_x} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (102)$$

$$u_{a2,\text{neu}} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (103)$$

$$\alpha_2 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls, \max}{r_x} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (104)$$

$$u_{a2} = a + b + 2 \cdot r_x \cdot ls, \max \cdot \pi \quad (105)$$

$$u_{iR,red} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (106)$$

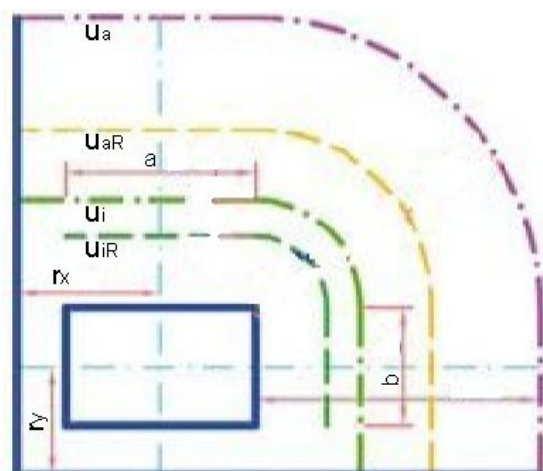
$$u_{iR} = b + 2 \cdot a + 0,5 \cdot (p_1 - p_3) \cdot 2 \cdot \pi \quad (107)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (108)$$

$$\alpha_3 = 360 - 2 \cdot \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{b}{2} + (p_1 - p_3)}{r_x} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (109)$$

2.4.13 Primer 4 - pravokoten steber v vogalu plošče

Da gre tu za neko združitev prejšnjih dveh primerov, je že na prvi pogled opaziti pri enačbah v nadaljevanju.



Pravokoten steber v vogalu plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.6.)

2.4.13.1 Vhodni podatki

Tu sta za razliko od prejšnjih primerov pomembni obe oddaljenosti središča prereza od robov plošče (r_x) in (r_y). Posledično pride do spremembe že pri izračunu faktorja β .

$$\beta = \frac{u_{i,red}}{u_i^*} \quad (110)$$

$$u_i^* = u_{i,red} - \left(r_x + \left| \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot d - 0,5 \cdot a \\ 0 \end{array} \right\} \right| \right) - \left(r_y + \left| \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot d - 0,5 \cdot b \\ 0 \end{array} \right\} \right| \right) \quad (111)$$

$u_{i,red}$ se izračuna enako, kot je bilo navedeno v poglavju 2.4.2, kjer za u_i upoštevamo enačbo v poglavju 2.4.13.2.

2.4.13.2 Rezultati

$$u_i = \frac{a}{2} + \frac{b}{2} + 0,25 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot \pi + r_x + r_y \quad (112)$$

$$u_0 = \min \begin{cases} 3 \cdot d \\ a + b \end{cases} \quad (113)$$

Število palic je lahko med vrednostmi od 3 do 9.

$$u_{a,\text{red}} = a + b + 0,5 \cdot ls \cdot \pi \quad (114)$$

$$ls = \max \begin{cases} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,\text{neu}})}{(u_{a2,\text{neu}} - u_{a1,\text{neu}})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (115)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (116)$$

$$ls_1 = \max \begin{cases} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (117)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - \frac{a+b}{2} - r_x - r_y}{0,25 \cdot d \cdot 2 \cdot \pi} \quad (118)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rdc},w}} \cdot d \cdot 10 \quad (119)$$

$$u_{a1,\text{neu}} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (120)$$

$$\alpha_1 = 360 - 90 - \left\{ \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + ls_1}{r_y} \right) \right] - \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls_1}{r_x} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (121)$$

$$u_{a2,\text{neu}} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (122)$$

$$\alpha_2 = 360 - 90 - \left\{ \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + ls, \max}{r_y} \right) \right] - \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls, \max}{r_x} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (123)$$

$$u_{a2} = 0,5 \cdot (a+b) + r_x + r_y \cdot 0,5 \cdot l_{s,\max} \cdot \pi \quad (124)$$

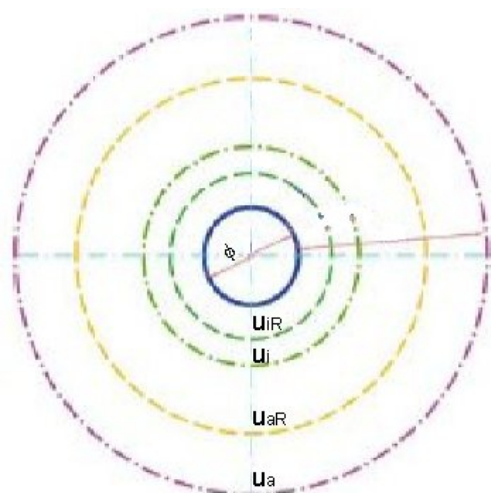
$$u_{iR,\text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (125)$$

$$u_{iR} = a + b + 0,25 \cdot (p_1 - p_3) \cdot 2 \cdot \pi \quad (126)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (127)$$

$$\alpha_3 = 360 - 90 - \left\{ \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + (p_1 - p_3)}{r_y} \right) \right] - \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + (p_1 - p_3)}{r_x} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (128)$$

2.4.14 Primer 5 – okrogel steber v notranjosti plošče



Okrogel steber v notranjosti plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.7.)

2.4.14.1 Vhodni podatki

$$\beta = 1 + 0,6 \cdot \pi \cdot \left| \frac{e_x}{\varnothing + 4 \cdot d} \right| \quad (129)$$

V enačbi za izračun faktorja β nastopa tudi ekscentričnost obtežbe. Vhodni podatki omogočajo vnos ekscentričnosti v obeh smereh, vendar je v tem primeru pomembna le ekscentričnost e_x .

2.4.14.2 Rezultati

$$u_i = \pi \cdot (\varnothing + 2 \cdot p_1) \quad (130)$$

Izračun $V_{Rds,max}$ ostane enak kot do sedaj, kjer je vrednost u_0 enaka obsegu stebra (U). Število palic je pa lahko med sodimi vrednostmi od 6 do 28.

$$u_{a,\text{red}} = \pi \cdot (\emptyset + 2 \cdot ls) \quad (131)$$

$$ls = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{(ls, \text{max} - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,\text{neu}})}{(u_{a2,\text{neu}} - u_{a1,\text{neu}})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (132)$$

$$ls, \text{max} = p_6 + p_1 \quad (133)$$

$$ls_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (134)$$

$$x_1 = \frac{\frac{u_{a1}}{\pi} - \emptyset}{2 \cdot d} \quad (135)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rdc},w} \cdot d} \cdot 10 \quad (136)$$

$$u_{a1,\text{neu}} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (137)$$

$$\alpha_1 = 360^\circ \quad (138)$$

$$u_{a2,\text{neu}} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (139)$$

$$\alpha_2 = 360^\circ \quad (140)$$

$$u_{a2} = \pi \cdot (\emptyset + 2 \cdot ls, \text{max}) \quad (141)$$

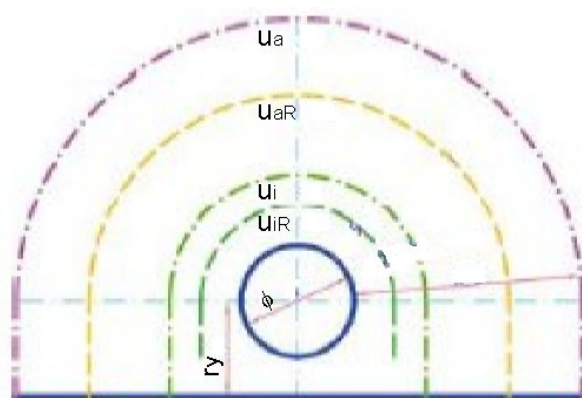
$$u_{iR,\text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (142)$$

$$u_{iR} = \pi \cdot (\emptyset + 2 \cdot (p_1 - p_3)) \quad (143)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta\alpha \quad (144)$$

$$\alpha_3 = 360^\circ \quad (145)$$

2.4.15 Primer 6 – okrogel steber na robu plošče



Okrogel steber na robu plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.7.)

2.4.15.1 Vhodni podatki

Gre za primer, ko je poleg premera stebra (\emptyset) potrebno določiti še oddaljenost njegovega središča od roba plošče (r_x).

Enačba za izračun faktorja β je še najbolj podobna tisti v drugem primeru. Razlika je samo v izračunu u_i^* in koeficientu k^* (EC: $k^* = k$), ki je v tem primeru kar 0,45.

$$\beta = \frac{u_{i,\text{red}}}{u_i^*} + 0,45 \cdot \frac{u_{i,\text{red}}}{W_1} \cdot |e_x| \quad (146)$$

$$u_i^* = u_{i,\text{red}} - 2 \cdot r_y \quad (147)$$

$$W_1 = \frac{\emptyset^2}{4} + \emptyset^2 + 4 \cdot \emptyset \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot \emptyset \quad (148)$$

Če primerjamo izračun W_1 v tem in v drugem primeru, lahko ugotovimo, da gre za isti izraz, saj pride samo do zamenjave premera okroglega prereza (\emptyset) z obema dimenzijama pravokotnega prereza a in b . Za izračun $u_{i,\text{red}}$ je potreben u_i , ki sledi v nadaljevanju.

2.4.14.2 Rezultati

$$u_i = 2 \cdot r_{x,spec} + 0,5 \cdot \pi \cdot (2 \cdot p_1 + \emptyset) \quad (149)$$

$$r_{x,spec} = r_x \cdot 0,1 \quad (\text{mm}) \quad (150)$$

$$u_0 = 0,75 \cdot \emptyset \cdot \pi \quad (151)$$

Število palic je lahko med vrednostmi od 5 do 13.

$$u_{a,red} = \pi \cdot (ls + \frac{\emptyset}{2}) + \emptyset \quad (152)$$

$$ls = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,neu})}{(u_{a2,neu} - u_{a1,neu})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (153)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (154)$$

$$ls_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (155)$$

$$x_1 = \frac{\frac{u_{a1} - 2 \cdot r_{x,spec}}{\pi} - \frac{\emptyset}{2}}{d} \quad (156)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{Ed}}{v_{Rdc,w} \cdot d} \cdot 10 \quad (157)$$

$$u_{a1,neu} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (158)$$

$$\alpha_1 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + ls_1}{r_{x,spec}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (159)$$

$$u_{a2,neu} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (160)$$

$$\alpha_2 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + ls, \max}{r_{x,spec}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (161)$$

$$u_{a2} = 2 \cdot r_{x,spec} + \pi \cdot \left(\frac{\emptyset}{2} + ls, \max \right) \quad (162)$$

$$u_{iR,red} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (163)$$

$$u_{iR} = \pi \cdot \left((p_1 - p_3) + \frac{\emptyset}{2} \right) + \emptyset \quad (164)$$

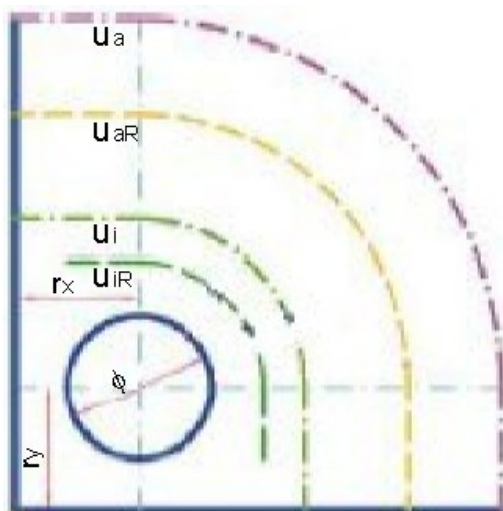
$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (165)$$

$$\alpha_3 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + (p_1 - p_3)}{r_{x,spec}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (166)$$

Napaka:

V enačbi za izračun u_i^* vidimo da nastopa r_y , pri izračunu števila palic pa r_x , kar smatram za napako. Če smo pozorni, lahko ugotovimo, da nam program omogoča spremembo tako r_x kot r_y , čeprav je na prvi pogled možna le sprememba r_x . Glede na to, da v tem primeru ne gre za vogalni steber, bi bilo po mojem mnenju logično, da je pomemben samo eden izmed omenjenih podatkov. Tukaj nastane problem, saj program narekuje spremembo r_x , čeprav bi bila v tem primeru logična sprememba r_y . Sicer pa za obe vrednosti ponovno veljajo enake omejitve kot v ostalih primerih.

2.4.16 Primer 7 – okrogel steber v vogalu plošče



Okrogel steber v vogalu plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.7.)

2.4.16.1 Vhodni podatki

Ker imamo opravka z vogalnim stebrom, moramo poleg premera stebra določiti še njegovo oddaljenost od obeh robov (r_x) in (r_y). Izračun faktorja β je enak kot v primeru 4, le da je enačba za izračun u_i nekoliko drugačna.

$$\beta = \frac{u_{i,red}}{u_i^*} \quad (167)$$

$$u_i^* = u_{i,red} - r_x - r_y \quad (168)$$

Pri izračuni $u_{i,red}$ je potreben u_i , ki sledi v nadaljevanju.

2.4.16.2 Rezultati

$$u_i = r_{x,spec} + r_{y,spec} + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot p_1 + \emptyset) \quad (169)$$

$$r_{x,spec} = \min \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \end{pmatrix} \quad (170)$$

$$r_{y,spec} = \max \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \end{pmatrix} \quad (171)$$

$$u_0 = 0,50 \cdot \emptyset \cdot \pi \quad (172)$$

Število palic določa ena izmed vrednosti od 3 do 10.

$$u_{a,red} = 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot l_s + \emptyset) + \emptyset \quad (173)$$

$$l_s = \max \begin{cases} \frac{(l_{s,max} - l_{s_1}) \cdot (u_{a1} - u_{a1,neu})}{(u_{a2,neu} - u_{a1,neu})} + l_{s_1} - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (174)$$

$$l_{s,max} = p_6 + p_1 \quad (175)$$

$$l_{s_1} = \max \begin{cases} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (176)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - 2 \cdot r_{x,spec} - r_{y,spec} - 0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset}{0,25 \cdot \pi \cdot d} \quad (177)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{Ed}}{v_{Rdc,w}} \cdot 10 \quad (178)$$

$$u_{a1,neu} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (179)$$

$$\alpha_1 = 360 - 90 - \left\{ \left[\arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + l_{s_1}}{r_{x,spec}} \right) \right] - \left[\arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + l_{s_1}}{r_{y,spec}} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (180)$$

$$u_{a2,neu} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (181)$$

$$\alpha_2 = 360 - 90 - \left\{ \arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + ls, \max}{r_{x, \text{spec}}} \right) \right\} - \left\{ \arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + ls, \max}{r_{y, \text{spec}}} \right) \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (182)$$

$$u_{a2} = r_{x, \text{spec}} + r_{y, \text{spec}} + 0,25 \cdot \pi \cdot (\emptyset + 2 \cdot ls, \max) \quad (183)$$

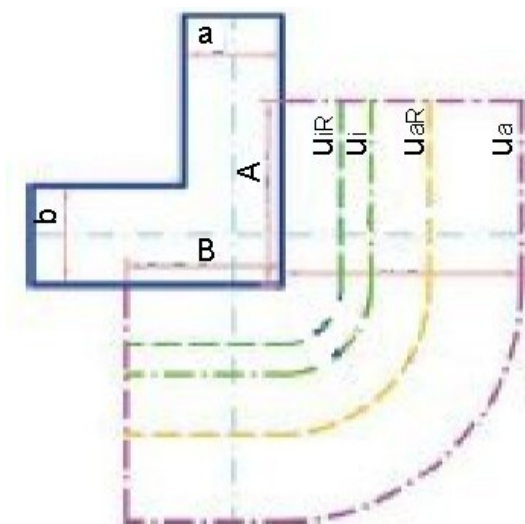
$$u_{iR, \text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (184)$$

$$u_{iR} = 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot (p_1 - p_3) + \emptyset) \quad (185)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (186)$$

$$\alpha_3 = 360 - 90 - \left\{ \arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + (p_1 - p_3)}{r_{x, \text{spec}}} \right) \right\} - \left\{ \arctg \left(\frac{\frac{\emptyset}{2} + (p_1 - p_3)}{r_{y, \text{spec}}} \right) \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (187)$$

2.4.17 Primer 8 – medsebojno pravokotne stene v vogalu plošče



Medsebojno pravokotne stene v vogalu plošče (Povzeto po: Schöck Bole[®] Bemessung, 2004, str.7.)

2.4.17.1 Vhodni podatki

Poleg podatka o širini obeh sten (a) in (b) se v tem primeru prvič srečamo s podatkom o faktorju vplivne širine (F_{reach}), katerega vrednost je po EC 2 enaka 1,0. Če izključimo možnost računa po EC 2, je lahko F_{reach} poljubna vrednost med 1,0 in 2,0.

$$A = F_{\text{reach}} \cdot a \quad (188)$$

$$B = F_{\text{reach}} \cdot b \quad (189)$$

Zanimivo je, da ta primer ne pozna nobenega posebnega izraza za izračun faktorja β . Namesto tega program določi konstantno vrednost 1,40, ki je v tem primeru enaka standardni in privzeti vrednosti.

2.4.17.2 Rezultati

Faktor vplivne površine vpliva tudi na izračun u_i , in sicer:

$$u_i = e_{ck,a} + e_{ck,b} + 0,25 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot \pi \quad (190)$$

$$e_{ck,a} = \max \left(\frac{b}{F_{reach} \cdot a} \right) \quad (191)$$

$$e_{ck,b} = \max \left(\frac{a}{F_{reach} \cdot b} \right) \quad (192)$$

Zadnji dve enačbi pa vplivata na izračun u_0 , kjer velja:

$$u_0 = e_{ck,a} + e_{ck,b} \quad (193)$$

Število palic je v tem primeru lahko najmanj 3 in največ 9.

$$u_{a,red} = e_{ck,a} + e_{ck,b} + 0,5 \cdot \pi \cdot ls \quad (194)$$

$$ls = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1,neu})}{(u_{a2,neu} - u_{a1,neu})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (195)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (196)$$

$$ls_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{array} \right. \quad (197)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - e_{ck,a} - e_{ck,b}}{0,5 \cdot \pi \cdot d} \quad (198)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{Ed}}{v_{Rdc,w}} \cdot 10 \quad (199)$$

$$u_{a1,neu} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (200)$$

$$\alpha_1 = 360 - 90 - \left\{ \left[\arctg \left(\frac{\frac{a}{2} + ls_1}{e_{ck,a} - \frac{b}{2}} \right) \right] - \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls_1}{e_{ck,b} - \frac{a}{2}} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (201)$$

$$u_{a2,neu} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (202)$$

$$\alpha_2 = 360 - 90 - \left\{ \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{a}{2} + ls, \max}{e_{ck,a} - \frac{b}{2}} \right) \right] - \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{b}{2} + ls, \max}{e_{ck,b} - \frac{a}{2}} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (203)$$

$$u_{a2} = e_{ck,a} + e_{ck,b} + 0,5 \cdot \pi \cdot ls, \max \quad (204)$$

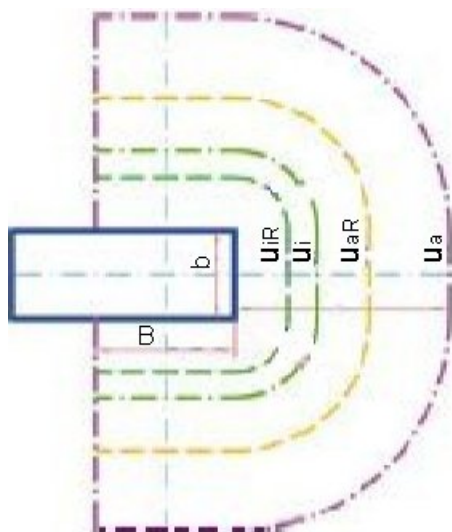
$$u_{iR, \text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (205)$$

$$u_{iR} = e_{ck,a} + e_{ck,b} + 0,25 \cdot (p_1 - p_3) \cdot 2 \cdot \pi \quad (206)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta \alpha \quad (207)$$

$$\alpha_3 = 360 - 90 - \left\{ \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{a}{2} + (p_1 - p_3)}{e_{ck,a} - \frac{b}{2}} \right) \right] - \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{b}{2} + (p_1 - p_3)}{e_{ck,b} - \frac{a}{2}} \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (208)$$

2.4.18 Primer 9 – stena na robu plošče



Stena na robu plošče

(Povzeto po: Schöck Bole® Bemessung, 2004, str.7.)

2.4.18.1 Vhodni podatki

Tudi v tem primeru je poleg debeline stene (b) pomemben podatek o vplivni širini (F_{reach}), ki ima po EC 2 ponovno vrednost 1,0. Poleg prejšnjega primera tudi ta ne pozna nobenega posebnega izraza za izračun faktorja β in je zato tudi tu njegova vrednost konstantna 1,40.

2.4.18.2 Rezultati

$$u_i = b + 2 \cdot e_{\text{ck},b} + p_1 \cdot \pi \quad (209)$$

$$u_0 = b + 2 \cdot e_{\text{ck},b} \quad (210)$$

$$e_{\text{ck},b} = b \cdot F_{\text{reach}} \quad (211)$$

V zadnjem primeru program lahko izbere število palic med 5 in 13.

$$u_{\text{a,red}} = b + 2 \cdot e_{\text{ck},b} + l_s \cdot \pi \quad (212)$$

$$ls = \max \begin{cases} \frac{(ls, \max - ls_1) \cdot (u_{a1} - u_{a1, \text{neu}})}{(u_{a2, \text{neu}} - u_{a1, \text{neu}})} + ls_1 - p_1 \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (213)$$

$$ls, \max = p_6 + p_1 \quad (214)$$

$$ls_1 = \max \begin{cases} x_1 \cdot d \\ p_1 - p_3 \end{cases} \quad (215)$$

$$x_1 = \frac{u_{a1} - (b + 2 \cdot e_{\text{ck}, b})}{\pi \cdot d} \quad (216)$$

$$u_{a1} = u_a = \frac{V_{\text{Ed}}}{v_{\text{Rdc}, w} \cdot d} \cdot 10 \quad (217)$$

$$u_{a1, \text{neu}} = \frac{u_{a1}}{\alpha_1} \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \quad (218)$$

$$\alpha_1 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls_1}{\frac{e_{\text{ck}, b}}{2}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (219)$$

$$u_{a2, \text{neu}} = \frac{u_{a2}}{\alpha_2} \cdot (\alpha_2 - \Delta\alpha) \quad (220)$$

$$\alpha_2 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + ls, \max}{\frac{e_{\text{ck}, b}}{2}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (221)$$

$$u_{a2} = \frac{b}{2} + 2 \cdot e_{\text{ck}, b} + \pi \cdot ls, \max \quad (222)$$

$$u_{iR, \text{red}} = u_{iR} - \Delta u_{iR} \quad (223)$$

$$u_{iR} = b + 2 \cdot e_{\text{ck}, b} + (p_1 - p_3) \cdot \pi \quad (224)$$

$$\Delta u_{iR} = \frac{u_{iR}}{\alpha_3} \cdot \Delta\alpha \quad (225)$$

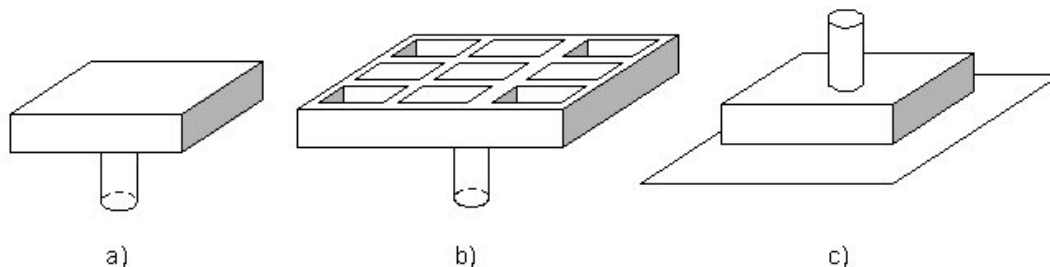
$$\alpha_3 = 360 - 2 \cdot \left[\arctg \left(\frac{\frac{b}{2} + (p_1 - p_3)}{\frac{e_{\text{ck}, b}}{2}} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad (226)$$

3 PRIMERJAVA SCHÖCK BOLE[®] Z EN 1992-1-1

3.1 Splošno

Ko se je predstandardom iztekel rok veljavnosti, so bili sprejeti evropski standardi (EN), ki se lahko v primerjavi s predstandardi precej vsebinsko razlikujejo. Osnovni principi in enačbe zapisane v programu Schöck BOLE[®] temeljijo na evropskem predstandardu prEN 1992-1-1. Ker je bil pred kratkim sprejet evropski standard EN 1992-1-1, se bom v nadaljevanju posvetil možnim primerjavam med programom Schöck BOLE[®] in evropskim standardom EN 1992-1-1. V kolikor med njima obstajajo določene razlike, lahko primerjava služi tudi kot osnova za določene popravke v programu.

EN 1992-1-1 med drugim obravnava tudi preboj zaradi striga. S tem problemom se srečamo pri polnih ploščah, rebričastih ploščah (polne nad stebri) in temeljnih ploščah (Slika 9).



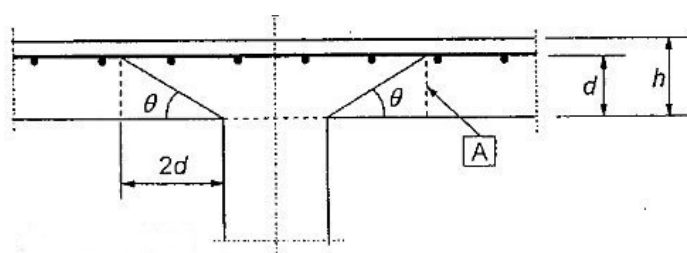
Slika 9: Različni primeri nevarnosti preboja plošče

Program Schöck BOLE[®] je namenjen računu plošč konstantne debeline in obtežbe, zato je primerjava z evropskimi standardi seveda možna. Prvi problem pri sami primerjavi nastane, ko se srečamo z različnimi oznakami, tudi ko primerjamo iste stvari. Da bi se takim težavam izognil, v nadaljevanju govorim o zahtevah evropskega standarda (v nadaljevanju EC), ko pa gre za primerjavo s programom, to posebej poudarim. Tako bo v nalogi ves čas jasno, o čem govori program Schöck BOLE[®] in o čem EC.

3.2 Možne primerjave

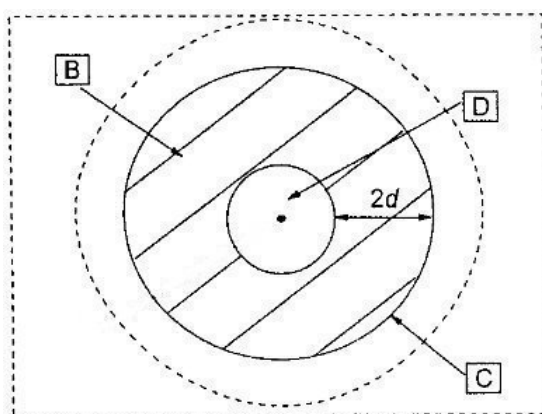
3.2.1 Kontrolni obsegi

Preboj plošče zaradi striga je posledica koncentrirane obtežbe ali reakcije, ki deluje na relativno majhni površini. Ta površina je v EC označena z A_{load} , ki je prikazana na spodnji sliki. Strižni odpor proti preboju mora biti preverjen v prerezu, ki ga določata obod stebra in osnovni kontrolni obseg (u_1).



A - osnovni kontrolni prerez

a) prerez



B - osnovna kontrolna površina A_{cont}

C - osnovni kontrolni obseg u_1

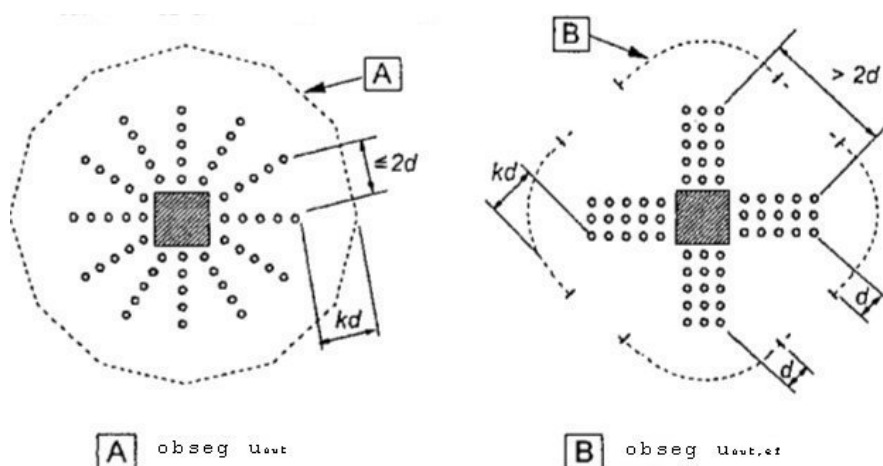
D - obremenilna površina A_{load}

b) tloris

Model za kontrolo strižnega preboja

(Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.97.)

Če se izkaže, da je strižna ojačitev potrebna na večji oddaljenosti od oboda stebra, je potrebno določiti kontrolni obseg, kjer strižna ojačitev ni več potrebna. Ta obseg je po EC pri notranjih stebrih označen glede na razporeditev palic z u_{out} oziroma $u_{out,ef}$, kar je prikazano na naslednji sliki.



Kontrolna obsega u_{out} oziroma $u_{out,ef}$

(Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.106.)

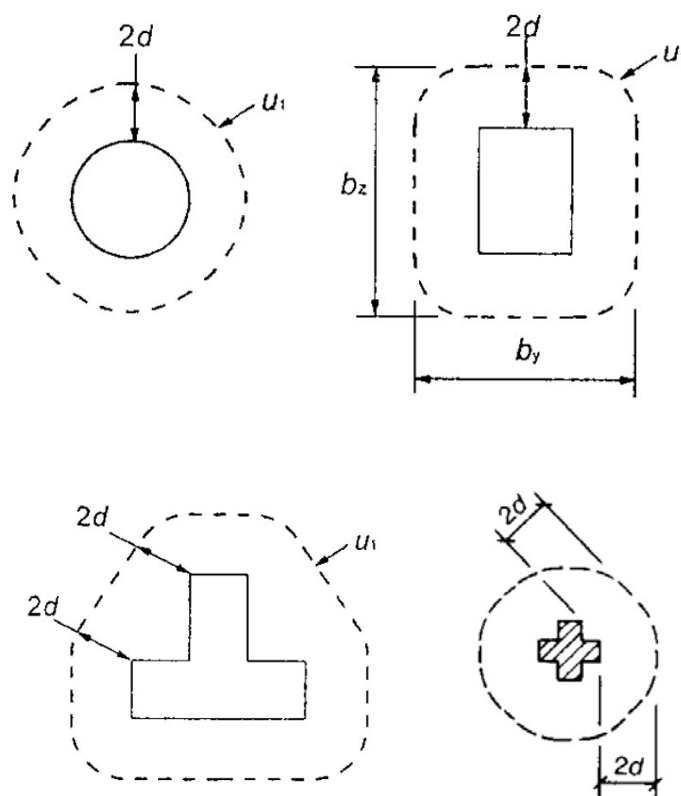
$$u_{out,ef} = \beta \cdot V_{Ed} / (v_{Rd,c} \cdot d) \quad (227)$$

Najbolj zunanji obseg strižne ojačitve mora biti postavljen v razdalji ne več od $k \cdot d$ znotraj u_{out} oziroma $u_{out,ef}$. Koeficient k je določen v nacionalnem standardu, njegova priporočljiva vrednost po EC je pa 1,5.

Tudi v programu Schöck BOLE[®] se z večanjem prečnega prereza stebra zmanjšuje nevarnost preboja plošče. V programu sta posebej definirana kontrolna obsega u_i in u_a . Kontrolni obseg u_i je primerljiv z u_1 , kontrolni obseg u_a , pa z u_{out} , saj program ne razlikuje kontrolnih obsegov glede na razporeditev palic, vendar je potrebno upoštevati, da je lega u_{out} odvisna od omenjenega koeficienta k , česar program ne pozna.

3.2.1.1 Osnovni kontrolni obseg v notranjosti plošče

Po EC se osnovni kontrolni obseg (u_1) nahaja na razdalji $2 \cdot d$ od konture stebra. Konstruiran je tako, da ima minimalno dolžino, kot kaže naslednja slika.



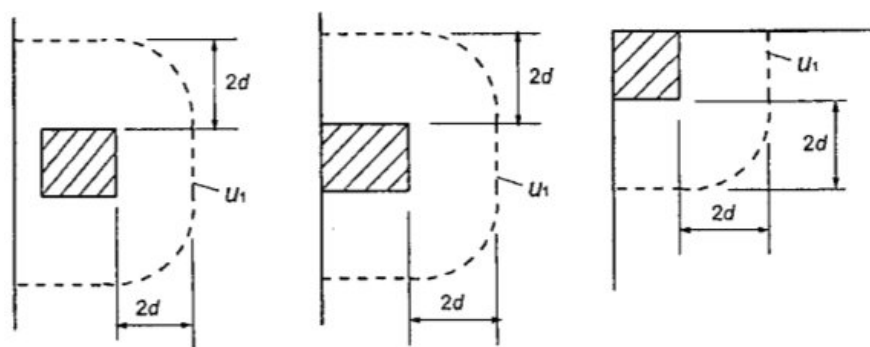
Osnovni kontrolni obseg u_1 (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.98.,
Comité Euro-International du Béton, 1993, str.180.)

Kjer je koncentrirana obtežba nasprotna velikemu pritisku (npr. zemeljski pritisk na temelj) ali učinku obtežbe oziroma reakcije znotraj razdalje $2 \cdot d$ od oboda stebra, določimo nov kontrolni obseg u (Poglavje 3.2.6.2).

V programu Schöck BOLE[®] je kontrolni obseg pri etažnih ploščah določen na enak način kot v EC. Do razlike pride pri izračunu kontrolnega obsega temeljnih plošč, kjer se pritisk zemljine znotraj kontrolnega obsega ravno tako odšteje, vendar novi kontrolni obseg ni določen na enak način kot v EC (Slika 5).

3.2.1.2 Osnovni kontrolni obseg robnih in vogalnih plošč

Pri izračunu kontrolnega obsega robnih ali vogalnih stebrov med EC in programom ni razlike. Če je kontrolni obseg (izključujoč nepodprte robove) manjši, kot je zahtevano v začetku poglavja 3.2.1, mora biti določen na način, kot kaže naslednja slika.

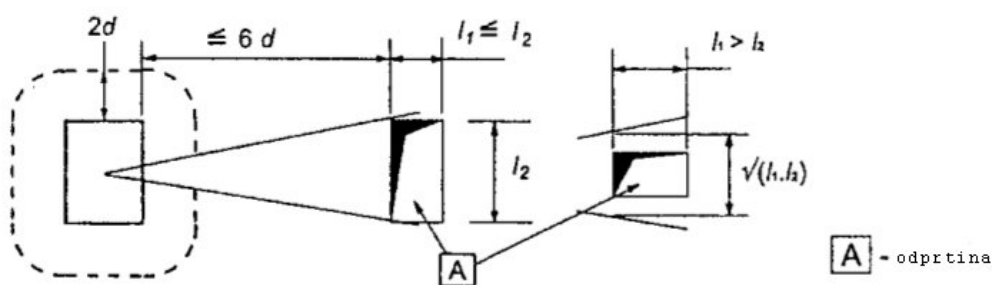


Osnovni kontrolni obseg u_1 pri robnih in vogalnih stebrih (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.99.)

Če stebri ležijo blizu roba ali vogala (t.j. v razdalji manjši od d), mora biti po EC vedno dodana posebna robna ojačitev, kar v programu ni posebej omenjeno.

3.2.1.3 Redukcija osnovnega kontrolnega obsega

V kolikor najkrajša razdalja med obodom stebra in robom odprtine ne presega $6 \cdot d$, je v obeh primerih potrebno del površine znotraj kontrolnega obsega smatrati za neefektivnega. Ta del določata tangenti iz centra stebra do zunanjega dela odprtine, kar prikazuje spodnja slika.



Redukcija osnovnega kontrolnega obsega u_1 zaradi odprtin (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.98.)

3.2.2 Statična višina

Če imamo armaturo položeno v dveh ortogonalnih smereh se po EC statično višino (d_{eff}) izračuna po naslednji enačbi:

$$d_{\text{eff}} = \frac{(d_y + d_z)}{2}. \quad (228)$$

Če primerjamo izračun statične višine, lahko ugotovimo, da program v primerjavi z EC ne pozna ločenega vhodnega podatka o statični višini (d_y) in (d_z). Če armatura leži v obeh smereh, moramo v programu pri določanju statične višine (d) upoštevati zgornjo enačbo.

3.2.3 Bistvene kontrole

Po EC so vzdolž kontrolnih prerezov definirane naslednje strižne napetosti (MPa):

$v_{Rd,c}$	računska vrednost strižnega odpora proti preboju plošče brez strižne armature (Poglavje 3.2.6)
$v_{Rd,cs}$	računska vrednost strižnega odpora proti preboju plošče s strižno armaturo (Poglavje 3.2.7)
$v_{Rd,max}$	računska vrednost maksimalne strižne odpornosti proti preboju

Bistveni kontroli, ki jih zahteva EC, sta naslednji:

- v prerezu vzdolž oboda stebra mora veljati naslednji izraz:

$$v_{Ed} < v_{Rd,max} \quad (229)$$

Napetost $v_{Rd,max}$ je določena v nacionalnem standardu, njena priporočljiva vrednost pa je $0,5 \cdot v_{fcd}$, kjer za vrednost v velja:

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250). \quad (230)$$

V programu je napetost $v_{Rd,max}$ označena z $v_{Rds,max}$, vendar gre za popolnoma enako omejitev.

- Če velja naslednji izraz, armatura proti preboju ni potrebna, v nasprotnem primeru pa je potrebno dodati strižno armaturo proti preboju.

$$v_{Ed} < v_{Rd,c} \quad (231)$$

Zelo podobne kontrole srečamo tudi v programu Schöck BOLE[®], le da v tem primeru kontrolo napetosti nadomesti kontrola sil, pri prvi zahtevi pa tudi nekoliko drugačne oznake. Tako se v programu srečamo z naslednjima izrazoma, ki sta primerljiva zgornjima zahtevama.

$$V_{Ed} \leq V_{Rds,max} \quad (232)$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \quad (233)$$

3.2.4 Račun maksimalne strižne napetosti

Kjer je podporna reakcija oziroma sila ekscentrična glede na kontrolni obseg, maksimalno strižno napetost po EC določa naslednja enačba:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} \quad (234)$$

d srednja statična višina plošče ki je enaka $(d_y + d_z)/2$ pri čemer sta d_y in d_z statični višini plošče v y in z smeri kontrolnega prereza

u_i dolžina osnovnega kontrolnega obsega (Poglavje 3.2.1)

V primeru kontrole ob obodu stebra (Enačba 229), se pa za izračun u_i uporabljajo naslednji izrazi:

za notranje stebre: $u_i = \text{dolžina oboda stebra (mm)}$

za robne stebre: $u_i = c_2 + 3 \cdot d \leq c_2 + 2 \cdot c_1$ (mm)

za kotne stebre: $u_i = 3 \cdot d \leq c_1 + c_2$ (mm)

c_1, c_2 dimenziji stebra, ki ju kaže naslednja slika

β faktor ekscentričnosti obtežbe (poglavje 3.2.5)

Če torej želimo določiti strižno napetost, zgornja enačba zahteva porazdelitev sile po celotnem kontrolnem obsegu plošče z določeno statično višino. Ekscentričnost obtežbe upoštevamo tako, da obtežbo povečamo s faktorjem β , ki je za različne primere določen v nadaljevanju. Če pa hočemo upoštevati simetričnost obtežbe, je vrednost faktorja β enaka 1.

Program Schöck BOLE[®] v primeru ekscentričnosti obtežbe ponovno izpostavi sile namesto napetosti, posledica tega pa je naslednja enačba. Izračun $V_{Ed,0}$ se pri etažni oziroma temeljni plošči nekoliko razlikuje, kar posebej razlagam v poglavju 2.2.5.

$$V_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed,0} \quad (235)$$

Izračun maksimalne strižne napetosti v primeru temeljnih plošč glej v poglavju 3.2.6.2.

3.2.5 Izračun koeficienta β za različne primere

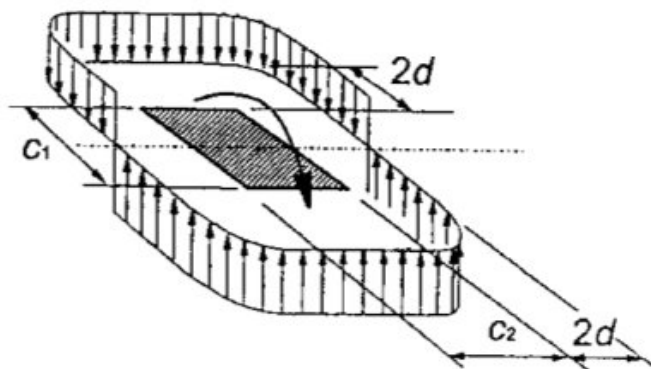
3.2.5.1 Notranji steber - enojna ekscentričnost

Program v primerjavi z EC primera enojne ekscentričnosti pri notranjem stebru eksplicitno ne pozna. To lahko v programu načeloma dosežemo tako, da eni izmed ekscentričnosti pripišemo nično vrednost. Splošna enačba za izračun faktorja β se po EC glasi takole:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}, \quad (236)$$

kjer

- u_1 dolžina osnovnega kontrolnega obsega
- k koeficient, odvisen od razmerja med dimenzijami stebra c_1 in c_2 , kot sta definirani na naslednji sliki.



Strižna napetost zaradi delovnjaja momenta

(Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.102.)

Vrednosti koeficienta k so določene v naslednji preglednici:

Vrednosti koeficienta k (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.102.)

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

W_1 ustreza taki porazdelitvi striga, kot je prikazano na zgornji sliki, in je funkcija osnovnega kontrolnega obsega u_1 .

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl, \quad (237)$$

kjer

dl dolžinski prirastek obsega

e ekscentričnost od osi okrog katere učinkuje moment M_{Ed}

V primeru pravokotnega prereza lahko po EC namesto splošne uporabimo tudi naslednjo enačbo:

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (238)$$

3.2.5.2 Notranji steber okroglega prereza – enojna ekscentričnost

Za steber krožne oblike s premerom D velja po EC naslednja enačba:

$$\beta = 1 + 0,6 \cdot \pi \cdot \frac{e}{D + 4 \cdot d} \quad (239)$$

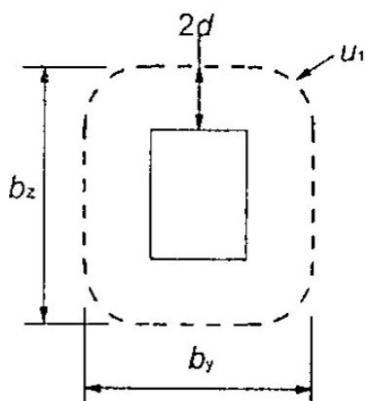
Zgornja enačba je primerljiva tisti v petem primeru programa (Enačba 129). Ugotovimo lahko, da z izjemo nekaterih oznak ni popolnoma nobene razlike.

3.2.5.3 Notranji steber pravokotnega prereza – dvojna ekscentričnost

Za notranje stebre pravokotnega prereza, kjer je obtežba ekscentrična v obeh oseh, velja po EC naslednji približni izraz za izračun faktorja β :

$$\beta = 1 + 1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2} \quad (240)$$

- e_y in e_z ekscentričnosti M_{Ed}/V_{Ed} vzdolž vsake osi (y in z) posebej; e_y je posledica momenta okoli osi z , e_z pa momenta okoli y osi.
 b_y in b_z dimenziji kontrolnega obsega, ki ju kaže naslednja slika

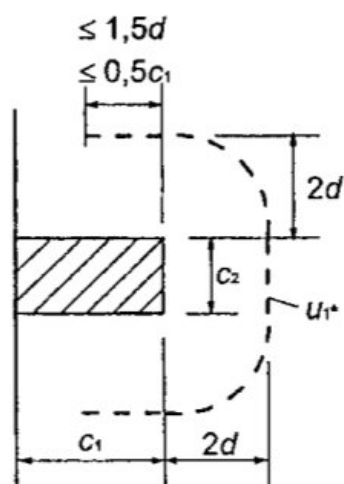


Razdalja b_y in b_z (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.98.)

V programu Schöck BOLE[®] podobno enačbo srečamo v prvem primeru (Enačba 52). Na prvi pogled sta pod korenem različna izraza, vendar gre ponovno le za igro oznak.

3.2.5.4 Robni steber – enojna ekscentričnost

Kjer je obtežba pri robnih stebrih ekscentrična samo v smeri proti notranjosti plošče pravokotno na rob (posledica momenta okoli osi, vzporedne robu plošče), mora biti sila preboja po EC konstantno razporejena vzdolž reduciranega kontrolnega obsega u_{1*} . Ta je manjši od osnovnega kontrolnega obsega u_1 , kar kaže tudi naslednja slika.



Kontrolni obseg u_1^* pri robnem stebru (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.103.)

Izračun faktorja β je v tem primeru glede na ekscentričnost e_x oziroma e_y enak kot v programu, in sicer:

- ekscentričnost v smeri x:

$$\beta = \frac{u_1}{u_1^*} + k \frac{u_1}{W_1} e_x \quad (241)$$

- ekscentričnost v smeri y:

$$\beta = \frac{u_1}{u_1^*} + k \frac{u_1}{W_1} e_y \quad (242)$$

Program ekscentričnosti v obeh ortogonalnih smereh ne pozna, po EC se pa faktor β določi po naslednjem izrazu:

$$\beta = \frac{u_1}{u_1^*} + k \frac{u_1}{W_1} e_{\text{par}}, \quad (243)$$

kjer je

- u_1 osnovni kontrolni obseg
- u_1^* reduciran osnovni kontrolni obseg
- e_{par} ekscentričnost, vzporedna robu plošče, kot posledica momenta okoli osi

pravokotno na os, ki jo določa rob plošče.

- k določen s pomočjo prejšnje tabele, kjer c_1/c_2 nadomestimo s $c_1/2c_2$
 W_1 izračunan za osnovni kontrolni obseg u_1

Za pravokotni prerez velja po EC naslednji izraz, ki je prav tako enak kot v programu, le da slednji uporablja nekoliko drugačne oznake.

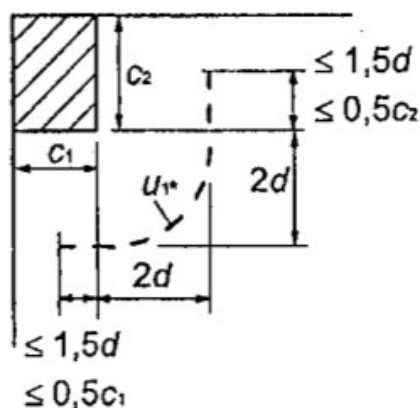
$$W_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_1 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_2 \quad (244)$$

Če ekscentričnost obtežbe pravokotno na rob plošče ni proti notranjosti, se za izračun faktorja β po EC upošteva enačba v prvem primeru. Pri tem je pri splošni enačbi za izračun W_1 ekscentričnost e merjena od centra kontrolnega obsega.

V programu Schöck BOLE[®] se s podobnimi enačbami za izračun faktorja β srečamo v drugem, tretjem in šestem primeru. V primerjavi z EC so imenovalci povsod popolnoma primerljivi, v števcih pa pride do določenih razlik. To je posebej očitno v šestem primeru, ko je tudi koeficient k^* (EC: $k^* = k$) že kar določen. Če v primeru odprtin namesto osnovnega kontrolnega obsega (u_1) upoštevamo v enačbah po EC reduciran kontrolni obseg, dobimo enačbe, enake tistim, ki so zapisane v programu, z izjemo omenjenega koeficienta.

3.2.5.5 Vogalni steber

Za vogalne stebre, kjer je ekscentričnost proti notranjosti plošče, se po EC dopušča, da je sila preboja konstantno razporejena vzdolž reduciranega kontrolnega obsega u_{1*} , kot je prikazano na naslednji sliki.



Kontrolni obseg u_{1*} pri vogalnem stebri (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.103.)

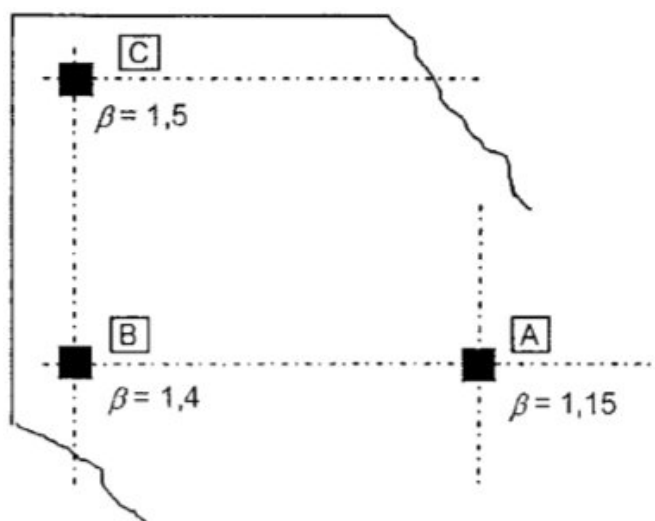
Vrednost β se v tem primeru določi po naslednji enačbi:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} \quad (245)$$

Če ekscentričnost ni proti notranjosti plošče, se pri izračunu faktorja β po EC ponovno upošteva enačba iz primera enojne ekscentričnosti notranjega stebra, sicer se pa v programu s podobnimi enačbami srečamo v četrtem in sedmem primeru.

3.2.5.6 Standardne vrednosti faktorja β

Za konstrukcije, kjer prečna stabilnost ni odvisna od sile med stebrom in prečko in kjer se sosednji razponi po dolžini ne razlikujejo za več kot 25%, so uporabljene standardne vrednosti za ekscentričnost obtežbe (β). Te vrednosti so določene v nacionalnem standardu, priporočljive vrednosti po EC pa so prikazane na spodnji sliki. Vrednosti, ki jih v tem primeru privzame program, so podane v preglednici 1 (Poglavje 2.2.3) in so v primerjavi z EC enake.



Standardne vrednosti faktorja β

(Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.104.)

3.2.6 Odpor proti preboju plošč in stebrov brez strižne ojačitve

3.2.6.1 Etažne plošče

Strižni odpor proti preboju plošč mora biti določen na mestu osnovnega kontrolnega prereza in se po EC izračuna po naslednji enačbi:

$$v_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \quad (\text{MPa}) \quad (246)$$

f_{ck} ...trdnost v MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad d \text{ v mm} \quad (247)$$

Izračun ρ_l temelji na vrednostih ρ_{ly} in ρ_{lz} , ki ju določimo glede na prerez natezne armature v vsaki smeri posebej. Vrednosti ρ_{ly} in ρ_{lz} predstavljata srednji vrednosti, ki upoštevata širino plošče, enako širini stebra, in dodatno razdaljo $3 \cdot d$ na vsako stran.

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02 \quad (248)$$

Vrednost σ_{cp} je odvisna od normalnih napetosti betona v smeri y (σ_{cy}) in smeri z (σ_{cz}) osnovnega kontrolnega prereza (MPa - če gre za tlak je vrednost pozitivna).

$$\sigma_{cp} = \frac{(\sigma_{cy} + \sigma_{cz})}{2} \quad (249)$$

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad (250)$$

$$\sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}} \quad (251)$$

N_{Edy}, N_{Edz} osni sili preko celega polja za notranje stebre in osni sili preko osnovnega kontrolnega prereza za robne stebre. Sila je lahko posledica osne obremenitve ali prednapetja.
 A_{cy}, A_{cz} površina betona glede na definicijo N_{Ed}

Vrednosti $c_{Rd,c}$, v_{min} in k_1 najdemo v nacionalnem standardu. Priporočljiva vrednost za $c_{Rd,c}$ je $0,18 / \gamma_c$, za k_1 pa 0,1. Za izračun v_{min} uporabimo naslednji izraz.

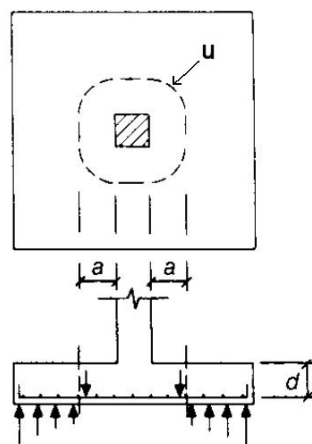
$$v_{min} = 0,0035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (252)$$

Ker program Schöck BOLE[®] operira s silami namesto z napetostmi, se v programu srečamo s silo V_{Rdc} namesto z napetostjo $v_{Rd,c}$. Če se v programu osredotočimo na napetost $v_{Rd,c,w}$ (Enačba 11), ugotovimo, da ta v primerjavi z EC normalnih napetosti ne upošteva. Zato je zgornja enačba za izračun napetosti $v_{rd,c}$ nekoliko drugačna, saj v programu odpade tisti del enačbe, ki zajema vpliv osnih napetosti, sicer pa je izračun enak in vrednost ravno tako kot v EC omejena navzdol.

3.2.6.2 Temeljne plošče

Odpor proti preboju temelja stebra mora biti dokazan na mestu kontrolnega obsega u , na razdalji a od oboda stebra, ki je manjša od $2 \cdot d$. EC te razdalje ne določa neposredno. Določiti

jo je potrebno tako, da bo napetost v_{Ed} vzdolž kontrolnega obsega u najmanjša. Pri izračunu napetosti v_{Ed} sodeluje reducirana sila $V_{Ed,red}$. Ta je posledica pritiska (npr. zemeljski pritisk) znotraj kontrolnega obsega u , ki zmanjšuje nevarnost preboja in ga zato pri računski strižni napetosti odštejemo.



Kontrolni obseg u (Povzeto po: Comité Euro-International du Béton, 1993, str.184.)

Izračun reducirane strižne sile ($V_{Ed,red}$) se po EC za koncentrično in ekscentrično obremenitev nekoliko razlikuje, in sicer:

- koncentrična obremenitev

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad (253)$$

V_{Ed} dodana strižna sila

ΔV_{Ed} rezultanta navzgor usmerjenega pritiska zemljine in lastne teže temelja znotraj kontrolnega obsega

Če hočemo izvesti kontrole napetosti (Poglavje 3.2.3), moramo reducirano strižno silo razporediti po ploskvi z obsegom u , tako da dobimo napetosti (Enačba 254):

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \quad (254)$$

- ekscentrična obremenitev

Izračun reducirane strižne sile je popolnoma enak kot pri koncentrični obremenitvi, napetost v_{Ed} pa je pomnožena s faktorjem β .

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \cdot \left[1 + k \frac{M_{Ed} \cdot u}{V_{Ed,red} \cdot W} \right] \quad (255)$$

Vidimo, da v oglatih oklepajih nastopa izraz za β , s katerim smo se že srečali (Enačba 235). Ker v enačbi nastopa kontrolni obseg u namesto u_1 , je tudi parameter W določen za kontrolni obseg u .

Strižni odpor proti preboju temeljne plošče se za obe vrsti obremenitve izračuna po naslednji enačbi:

$$v_{Rd} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq v_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \quad (256)$$

Določanje $c_{Rd,c}$, v_{min} in koeficienta k je enako kot pri enačbi 246, vrednost a pa pomeni razdaljo od oboda stebra do izbranega kontrolnega obsega, kot to kaže prejšnja slika.

Program Schöck BOLE[®] upošteva dodano strižno silo po istem principu kot EC, vendar je potrebno izbrati temeljno ploščo. Razlika je le v tem, da imamo ponovno opravka z napetostmi namesto s silami.

3.2.7 Strižni odpor proti preboju plošč in stebrov s strižno ojačitvijo

Kjer je zahtevana strižna ojačitev, mora ta biti izračunana po naslednji enačbi:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d / s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot (1 / (u_1 \cdot d)) \cdot \sin \alpha \quad (257)$$

A_{sw}	površina strižne ojačitve okoli stebra (mm^2) v enem izmed obsegov
s_r	radialni razmak obsegov strižne ojačitve [mm]
$f_{ywd,ef}$	efektivna računsko trdnost strižne ojačitve proti preboju, glede na $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$ (MPa)
d	je srednja vrednost statične višine v obeh ortogonalnih smereh (mm)
α	je kot med strižno ojačitvijo in ravnino plošče

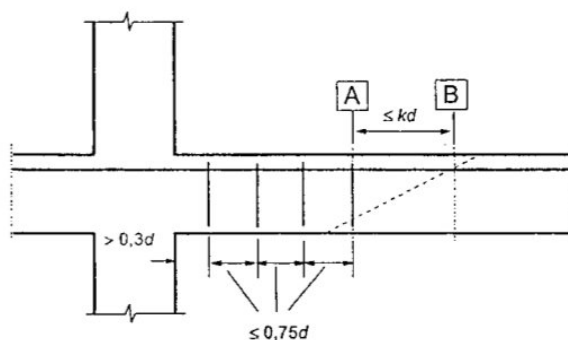
Če zgornjo enačbo pomnožimo z $u_1 \cdot d$ in upoštevamo, da je α pravi kot, postane enaka enačbi za izračun $V_{Rds,vorth}$ (Enačba 51) v programu Schöck BOLE[®].

Če so uporabljeni lastni produkti za strižno ojačitev, mora biti $v_{Rd,cs}$ določen s testiranjem v povezavi z ustreznim evropskim standardom.

3.2.8 Strižna ojačitev proti preboju (detajlne zahteve)

3.2.8.1 Razmak med mozniki

Kjer je po EC zahtevana strižna ojačitev proti preboju, mora le-ta ležati med obodom stebra in med obsegom, ki ga določa razdalja $k \cdot d$. Ta je merjena od kontrolnega obsega proti notranjosti in določa mejo, kjer strižna ojačitev ni več potrebna. Ojačitev morata sestavljati vsaj dva moznika, razmak med njima pa ne sme presežati $0,75 \cdot d$, kar je prikazano na naslednji sliki:



A - zadnji kontrolni obseg z ojačitvijo

B - prvi kontrolni obseg brez ojačitve

Razmak med mozniki in razdalja $k \cdot d$ (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.161.)

Tako za EC kot za program velja, da je razmak med mozniki sosednjih palic omejen. Po EC velja omejitev na mestu prvega kontrolnega obsega ($2 \cdot d$ od konture stebra), kjer medsebojna razdalja ne sme presegati $1,5 \cdot d$. Če gre za obsege zunaj prvega kontrolnega obsega (kjer predpostavljamo, da del obsega prispeva k strižni odpornosti), pa ne sme presegati razdalje $2 \cdot d$. Program zadnji dve omejitvi zajame s parametroma p_5 in p_6 (Slika 7). Razdalja med obodom stebra in prvim moznikom tako v programu kot po EC ne sme presegati $d/2$.

3.2.8.2 Prerez moznikov

Kjer je zahtevana strižna ojačitev, je po EC minimalni prerez moznikov $A_{sw,min}$ določen z naslednjo enačbo:

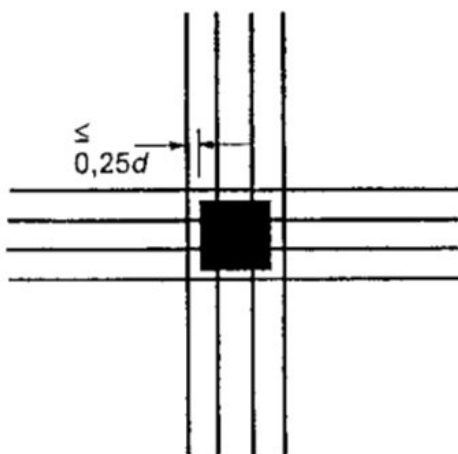
$$A_{sw,min} = (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} \quad (258)$$

- α kot med strižno ojačitvijo in glavno armaturo
- s_r razmak med mozniki v radialni smeri
- s_t razmak med mozniki v tangencialni smeri
- f_{ck} trdnost v MPa

Minimalni prerez moznikov v programu je določen v poglavju 2.4.7 (Enačba 43).

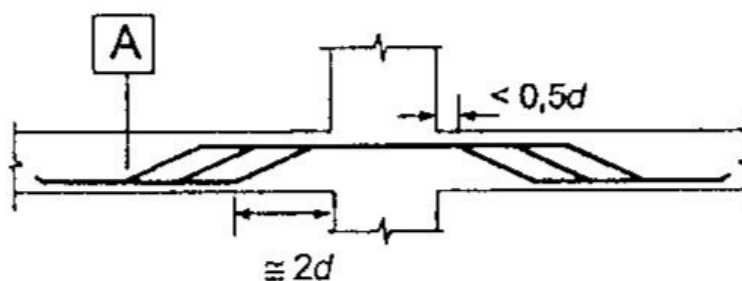
3.2.8.3 Navzgor krivljene palice in prednapeti kabli

Po EC lahko odpor proti preboju namesto z mozniki dosežemo tudi s krivljenimi palicami. V poštev pridejo tiste palice, ki se nahajajo znotraj obremenilne površine (omejena z obodom stebra) ali v razdalji, ki ne presega $0,25 \cdot d$ od te površine, kar je prikazano na naslednji sliki.



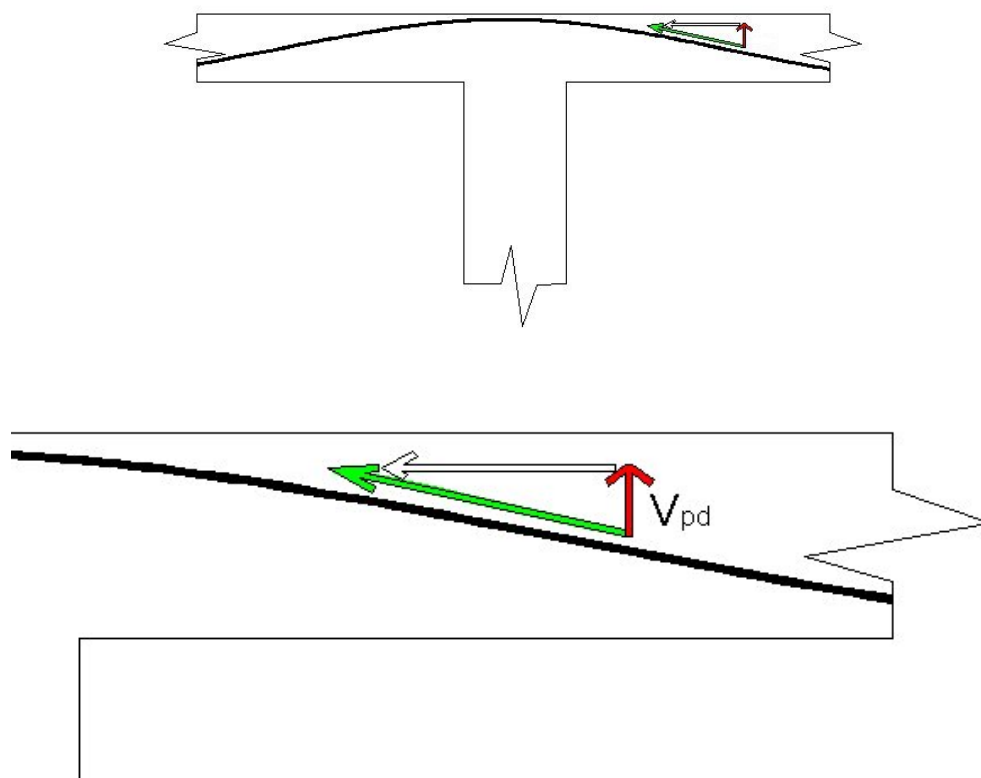
Območje navzgor krivljenih palic Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.161.)

V tem primeru je dovolj le en kontrolni obseg. Ta je na naslednji sliki označen s črko A. Razdalja najbližje ojačitve tudi tu ne sme presegati $d/2$. Kjer je samo ena linija navzgor krivljenih palic, je njihov nagib po EC lahko reduciran na 30° glede na nivo natezne armature. Tako se zelo približamo razdalji $2d$ od oboda stebra, ki je prikazana na naslednji sliki.



Kontrolni obseg pri krivljenih palicah Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.161.)

Vertikalna komponenta V_{pd} (Slika 10), ki je posledica nagnjenosti prednapetih kablov nad kontrolnim prerezom (nahaja se največ na oddaljenosti $0,5 \cdot d$ od oboda stebra), je po EC lahko upoštevana kot ugodna, medtem ko program prednapetih kablov ne upošteva.



Slika 10: Vertikalna komponenta prednapetih kablov

4 RAČUN MOMENTOV Z METODO NADOMESTNIH OKVIRJEV

4.1 Splošno

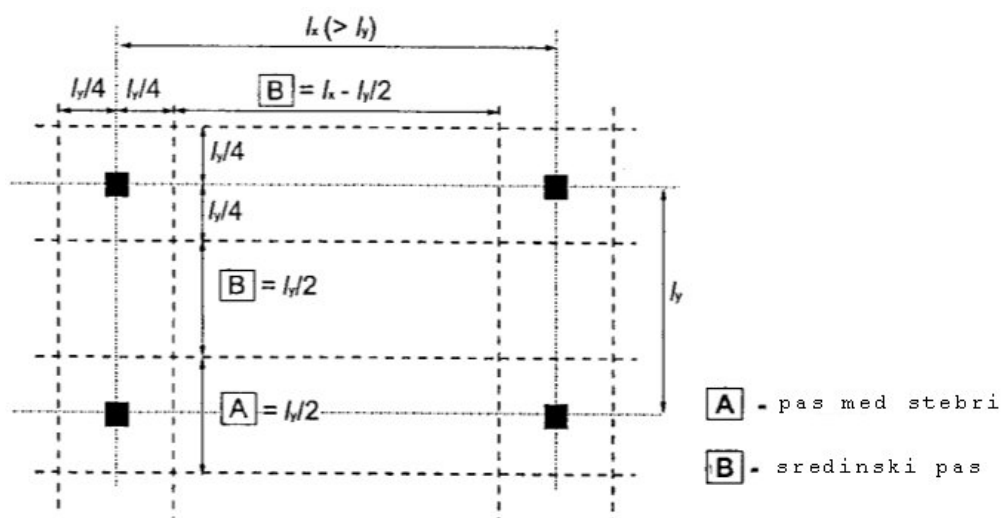
Plošče, podprte s stebri, zahtevajo poseben pristop pri analizi notranjih sil v plošči. Poznamo različne metode, ki se ukvarjajo s tem problemom. Na trgu je več računalniških programov, ki nam z metodo končnih elementov pomagajo pri iskanju notranjih sil. Programi so posebej primerni predvsem za neenakomerno razporejene stebre po prostoru, kjer nekatere metode odpovejo pri svoji nalogi. Zaradi različnih dejavnikov se največkrat srečamo s primeri, kjer so stebri enakomerno razporejeni po prostoru. Te primere lahko obravnavamo tudi po drugih metodah. Med najbolj znanimi je vsekakor metoda nadomestnih okvirjev, s katero lahko določimo vrednost upogibnih momentov v plošči.

Metoda nadomestnih okvirjev je našla mesto v številnih starejših predpisih. Po večjih predstandardih, ki metode niso obravnavali, je dobila mesto tudi v evropskih standardih EN 1992-1-1. Vsi predpisi zahtevajo delitev konstrukcije na okvirje, vendar med njimi obstajajo določene razlike. Za podroben prikaz razlik bi bilo potrebno narediti primerjavo med različnimi predpisi. Ker v sedanjem času glavno vlogo prevzemajo evropski standardi, me bo v nadaljevanju zanimal predvsem njihov pristop.

4.2 Metoda nadomestnih okvirjev

4.2.1 Delitev panelov na pasove

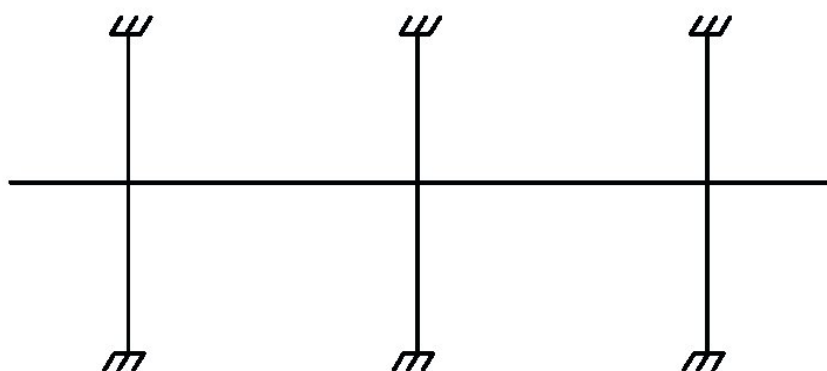
Metoda nadomestnih okvirjev zahteva delitev 3D konstrukcije na vzdolžne in prečne 2D okvirje. Te poleg stebrov sestavljajo še prerezi plošč v liniji med stebri. Linije med stebri hkrati določajo tudi meje med sosednjimi paneli dimenzij l_x in l_y . Posamezne panele je potrebno razdeliti še na sredinske pasove (B) in na pasove med stebri (A), kot kaže naslednja slika:



Delitev posameznih panelov na pasove (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.218.)

4.2.2 Model okvirne konstrukcije

Togost posameznih elementov se izračuna glede na velikost njihovih celotnih oziroma neoslabljenih prečnih prerezov. Račun togosti pri vertikalni obremenitvi temelji na celotni širini panelov, pri horizontalni obremenitvi se pa upošteva le 40 % vrednosti širine panela. To je posledica vpliva povečane upogljivosti v vozlišču stebel - plošča v primerjavi z vozliščem stebel - greda.



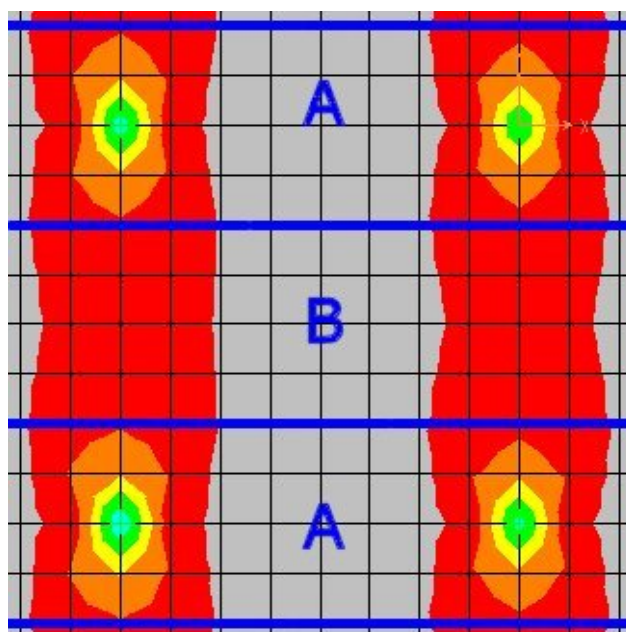
Slika 11: Model okvirja

4.2.3 Upogibni momenti

Ko je model okvirja določen, ga je potrebno obtežiti. Pri analizi okvirja sodeluje obtežba celotnega panela v obeh smereh. Upogibne momente, ki jih dobimo pri analizi okvirja, je potrebno razporediti po celotni širini plošče. To naredimo s pomočjo spodnje preglednice, ki prikazuje deleže negativnih oziroma pozitivnih momentov preko sredinskega pasu (B) in pasu med stebri (A) (Slika 12). Negativni momenti so pri elastični analizi skoncentrirani proti liniji stebrov. Pomembno je, da je vsota negativnih oziroma pozitivnih momentov vedno 100%.

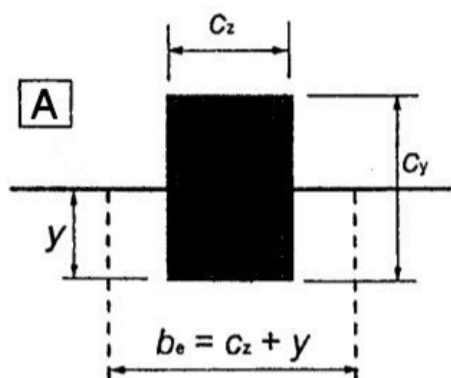
Delež upogibnih momentov preko pasov A in B (Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.219.)

	negativni momenti	pozitivni momenti (siva barva)
pas med stebri - A	60 - 80%	50 - 70%
sredinski pas - B	40 - 20%	50 - 30%



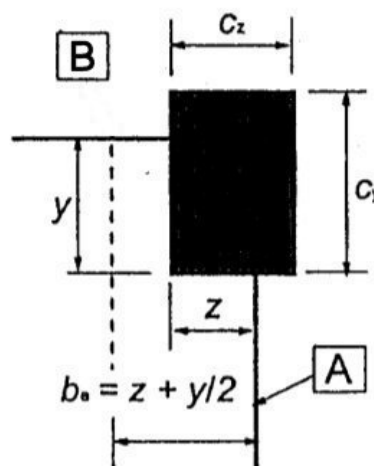
Slika 12: Delitev panela na pasove A in B

Če so plošče tudi na svojih robovih in vogalih podprte s stebri, je potrebno omejiti negativne momente, ki se prenašajo s plošče na stebri. Ti so navzgor omejeni z vrednostjo $0,17 \cdot b_e \cdot d^2 \cdot f_{ck}$, glede na to vrednost pa je potrebno prilagoditi še pozitivne momente.



Opomba: y lahko > c_y

Definicija razdalje b_e



Opomba: z lahko > c_z in y lahko > c_y

Povzeto po: EN 1992-1-1, 2004, str.160.)

4.3 Neenakomerna razporeditev stebrov

V primeru neenakomerne razporeditve stebrov metoda nadomestnih okvirjev ne pride v poštev. Takrat se moramo odločiti za modeliranje konstrukcije z brano ali kako drugo elastično analizo.

4.4 Armiranje plošče, podprte s stebri

- notranji stebri:

Največja količina armature gre preko stebrov. A_t predstavlja prerez zgornje armature v panelu, ki je potreben za prevzem celotnih negativnih momentov nad stebrom. Polovica te armature mora ležati na vsako stran stebra v razdalji ene osmine širine panela.

Spodnjo armaturo pa morata sestavljati po vsaj po dve palici v obeh ortogonalnih smereh nad stebrom.

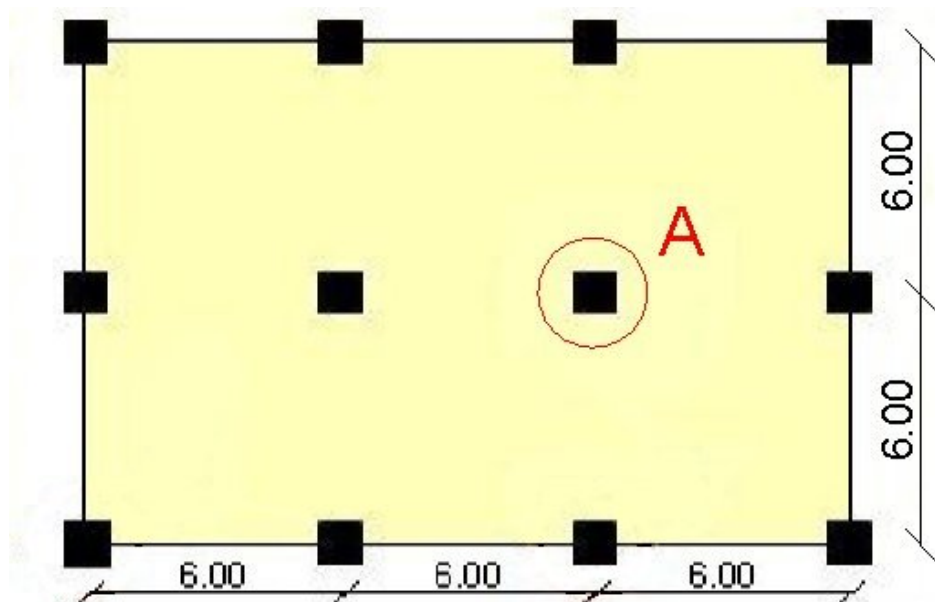
- robni in vogalni stebri

V primeru robnega ali vogalnega stebra je potrebno postaviti armaturo znotraj efektivne širine b_e , kot to kaže prejšnja slika.

5 PRAKTIČEN PRIMER

5.1 Splošno

V sklopu izvedbe neke večetažne montažne industrijske hale se izvede lito armiranobetonsko ploščo debeline 35 cm. Ker je plošča podprta s stebri, je med drugim potrebna tudi kontrola preboja plošče. Kontrolo bom izvedel s programom Schöck BOLE[®] nad stebrom A (Slika 13). Če se bo izkazalo, da sam betonski prerez ne zagotavlja varnosti proti preboju plošče, bom z istim programom dimenzioniral še strižno armaturo proti preboju.



Slika 13: Položaj stebra A v plošči

Pri kontroli preboja plošče je pomemben podatek o prerezu tiste natezne vzdolžne armature v plošči, ki prečka stebel. Če hočemo določiti prerez natezne vzdolžne armature, je potrebno določiti upogibne momente v plošči. Te bom izračunal s pomočjo metode nadomestnih okvirjev.

5.2 Podatki

Plošča je podprta s stebri kvadratnega prečnega prereza s stranico 50 cm na medsebojni razdalji 6,00 m. Obtežena je z lastno in koristno obtežbo, in sicer:

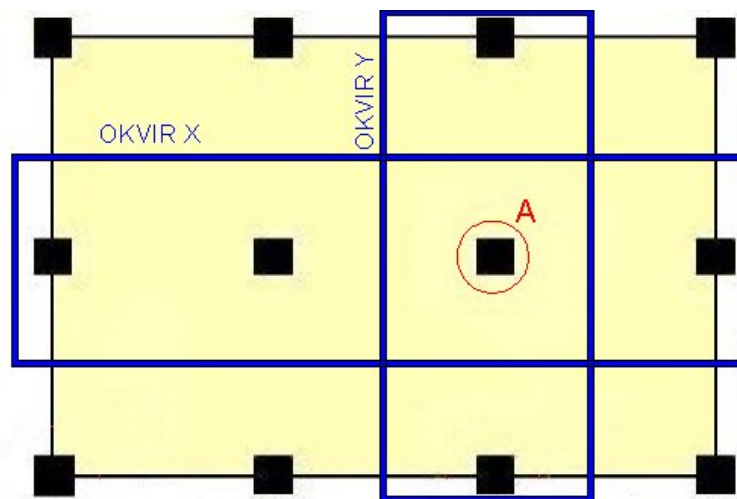
- lastna teža: $g = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.35 \text{ m} = 8,75 \text{ kN/m}^2$
- koristna obtežba: $q = 20,00 \text{ kN/m}^2$

Beton je kvalitete C30/37.

5.3. Določanje upogibnih momentov po metodi nadomestnih okvirjev

5.3.1 Delitev konstrukcije na okvirje

Metoda nadomestnih okvirjev zahteva delitev konstrukcije na okvirje. Pri določanju upogibnih momentov nad stebrom A je potrebno določiti okvir v smeri X in Y, na mestih, ki jih prikazuje spodnja slika.

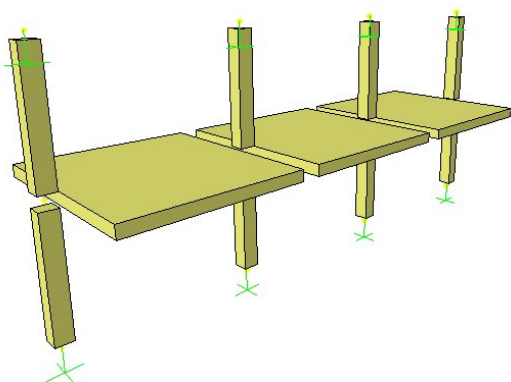


Slika 14: Delitev konstrukcije na okvirje

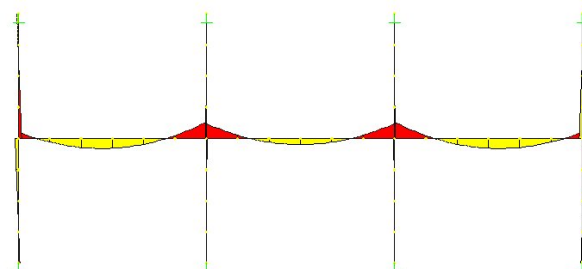
Z analizo okvirja X dobimo upogibne momente M_x , z analizo okvirja Y pa upogibne momente M_y .

5.3.2 Izračun upogibnih momentov okvirja

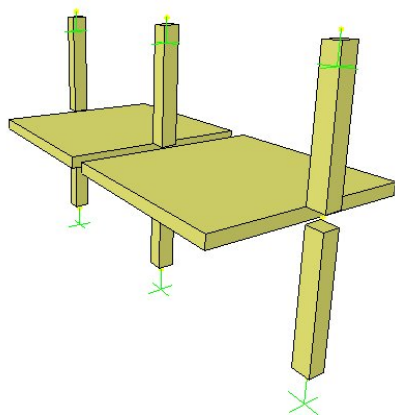
Pri določanju upogibnih momentov okvirja bi moral določiti več obtežnih kombinacij. Tako bi lahko določil ovojnico upogibnih momentov, kar bi bila čisto prava rešitev. Ker pa hočem s primerom pokazati le osnovne principe, je dovolj, če vzamem le katerokoli obtežno kombinacijo. Tako sem za lastno težo uporabil varnostni faktor 1,35, za koristno obtežbo pa 1,50 in s tako obtežbo obtežil gredne elemente okvirja.



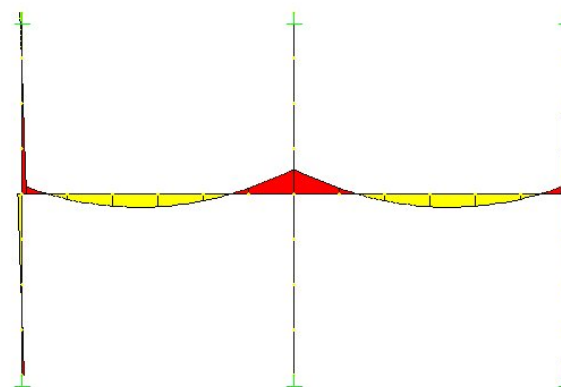
Slika 15: 3D model okvirja X



Slika 16: Upogibni momenti M_x



Slika 17: 3D model okvirja Y

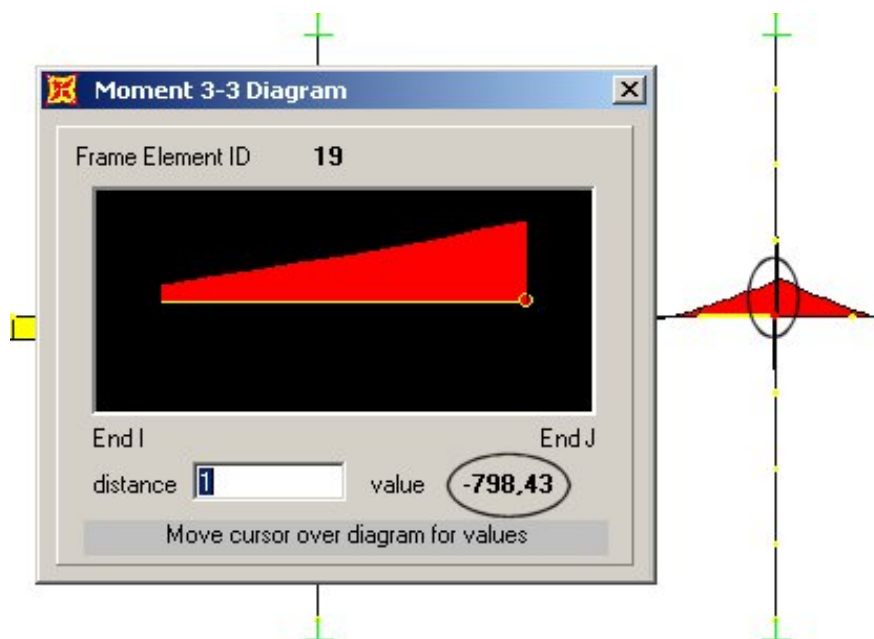


Slika 18: Upogibni momenti M_y

5.3.3 Določanje negativnih upogibnih momentov v plošči

- okvir X

Upogibni moment za celotno širino panela l_y oziroma grede (Slika 19):



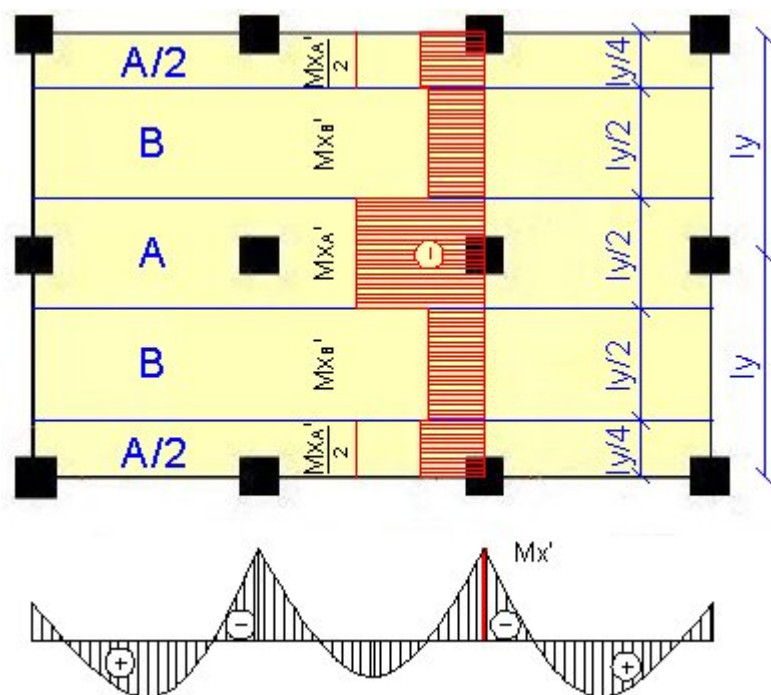
Slika 19: Upogibni momenti $M_{x'}$ nad s tebrom A

$$M_{x'} = 798,43 \text{ kNm}$$

Upogibni moment za območje A ($l_y/2$) oziroma območje B ($l_y/2$) (Slika 20):

$$M_{x_A}' = 0,7 \cdot 798,43 \text{ kNm} = 558,90 \text{ kNm}$$

$$M_{x_B}' = 0,3 \cdot 798,43 \text{ kNm} = 239,52 \text{ kNm}$$



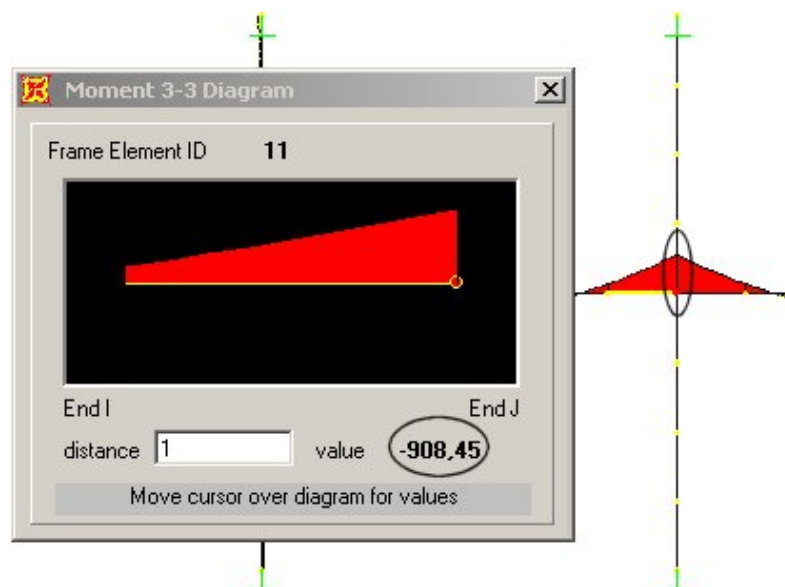
Slika 20: Upogibni momenti $M_{x_A'}$ oziroma $M_{x_B'}$

Upogibni moment za območje A ($ly/2$) oziroma območje B ($ly/2$) na tekoči meter:

$$M_{x_A} = \frac{558,90}{ly/2} = \frac{558,90}{6/2} = 186,30 \text{ kNm/m}' = 18630 \text{ kNcm/m}'$$

$$M_{x_B} = \frac{239,52}{ly/2} = \frac{239,52}{6/2} = 79,84 \text{ kNm/m}' = 7984 \text{ kNcm/m}'$$

- okvir Y (v tem primeru: $l_x = l_y$)



Slika 21: Upogibni momenti $M_{y'}$ nad stebrom A

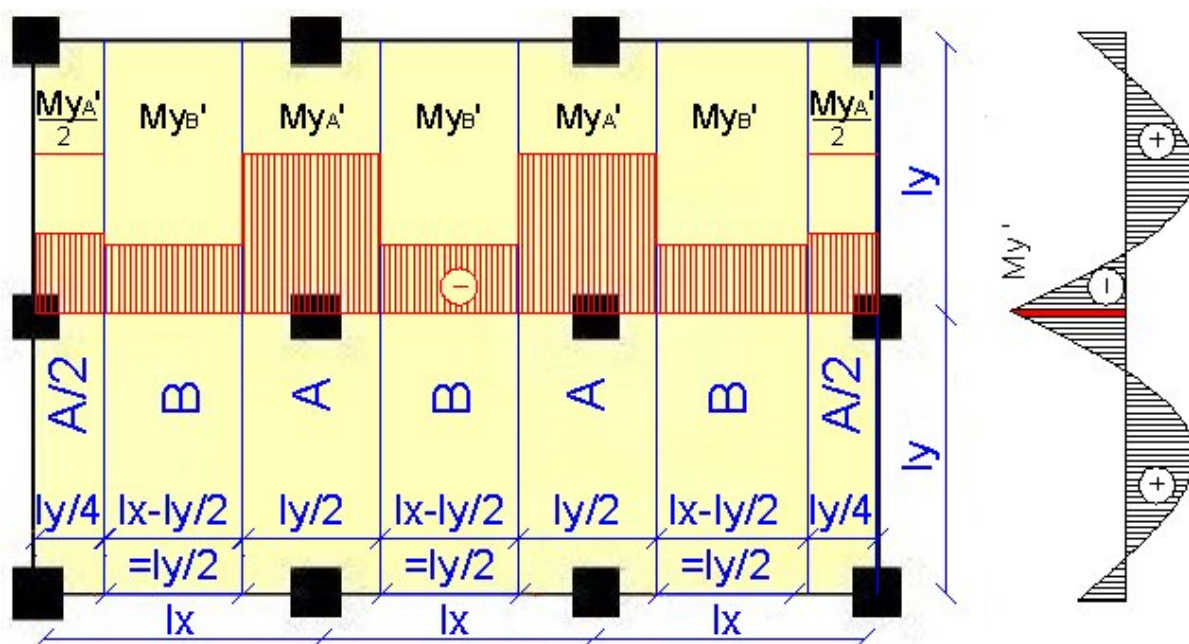
Upogibni moment za celotno širino panela l_x oziroma grede:

$$M_{y'} = 908,45 \text{ kNm}$$

Upogibni moment za območje A ($l_y/2$) oziroma območje B ($l_x - l_y/2 = l_y/2$)(Slika 22):

$$M_{y_A'} = 0,7 \cdot 908,45 \text{ kNm} = 635,91 \text{ kNm}$$

$$M_{y_B'} = 0,3 \cdot 908,45 \text{ kNm} = 272,53 \text{ kNm}$$



Slika 22: Upogibni momenti My_A' oziroma My_B'

Upogibni moment za območje A ($l_y/2$) oziroma območje B ($l_y/2$) na tekoči meter:

$$My_A = \frac{635,91}{l_y/2} = \frac{635,91}{6/2} = 211,97 \text{ kNm/m}' = 21197 \text{ kNcm/m}'$$

$$My_B = \frac{272,53}{l_y/2} = \frac{272,53}{6/2} = 90,84 \text{ kNm/m}' = 9084 \text{ kNcm/m}'$$

5.4 Izračun prečnega prereza armature

- prerez armature za prevzem upogibnega momenta nad stebrom A v smeri x:

$$k_d = \frac{M_{x_A}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{18630}{0,85 \cdot \frac{3}{1,5} \cdot 100 \cdot 32^2} = 0,107$$

izberem deformacije: $-\epsilon_1 / \epsilon_s = -2,0 \text{ ‰} / 10 \text{ ‰}$, $k_s = 1,073$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{50}{20000} = 0,0025 = 0,25 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$
$$A_s = k_s \cdot \frac{M_{x_A}}{d \cdot \sigma_s} = k_s \cdot \frac{M_{x_A}}{d \cdot f_{yd}} = 1,073 \cdot \frac{18630}{32 \cdot \frac{50}{1,15}} = \underline{14,36 \text{ cm}^2}$$

- prerez armature za prevzem upogibnega momenta nad stebrom A v smeri y:

$$k_d = \frac{M_{y_A}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{21197}{0,85 \cdot \frac{3}{1,5} \cdot 100 \cdot 32^2} = 0,121$$

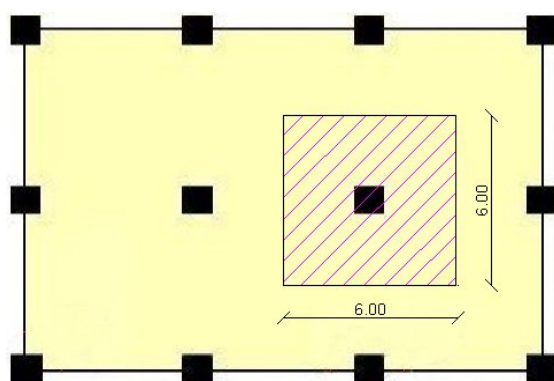
izberem deformacije: $-\varepsilon_1 / \varepsilon_s = -2,25 \text{ ‰} / 10 \text{ ‰}$, $k_s = 1,076$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{50}{20000} = 0,0025 = 2,5 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_{x_A}}{d \cdot \sigma_s} = k_s \cdot \frac{M_{x_A}}{d \cdot f_{yd}} = 1,076 \cdot \frac{21197}{32 \cdot \frac{50}{1,15}} = \underline{16,39 \text{ cm}^2}$$

5.5 Približen izračun reakcije na mestu stebra A



Slika 23: Vplivna površina za določitev reakcije stebra A

$$V_G = 8,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 36 \text{ m}^2 = 315,00 \text{ kN}$$

$$V_Q = 20,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 36 \text{ m}^2 = 720,00 \text{ kN}$$

5.6 Kontrola preboja na mestu stebra A s programom Schöck BOLE®

5.6.1 Vhodni podatki

Concrete quality =	C 30/37	$\gamma_c =$	1,50
Steel grad of slab reinforcement =	RSt 500	$\gamma_s =$	1,15
Steel grade of BOLE =	RSt 500		

Concrete quality	C 30/37	
$f_{ck} =$	30,0	
$f_{ck,cube} =$	37,0	
$f_{cm} =$	38,0	
$f_{ctm} =$	2,9	
$f_{ctk,0,05} =$	2,0	
$E_c =$	32.000	
Steel grade of slab reinforcement	RSt 500	
$f_{yk} =$	500	
$f_{yd} =$	435	
$E_s =$	200.000	
Steel grade of BOLE	RSt 500	
$f_{yk} =$	500	
$f_{yd} =$	435	
$E_s =$	200.000	
	inner control perimeter $u_1 = d * 2,0$	
	inner distance in $u_1 = d * 0,40$	
	outer distance in $u_1 = d * 0,50$	
	max. distance of studs = $d * 0,75$	
	max. distance of bars in $u_1 = d * 1,5$	
	max. distance of bars in $u_2 = d * 2,0$	
	max. length of bar $l_s = d * 4,0$	
	<input checked="" type="radio"/> β standard	
	<input type="radio"/> β constant (selectable)	
	<input type="radio"/> β variable (calculated)	$\beta = 1,15$

Type of slab:	Structural slab
Thickness of slab $h =$	350 mm
Concrete cover $c =$	30 mm
Effective height $d =$	320 mm
Support:	
Length towards x - $a =$	500 mm
Length towards y - $b =$	500 mm

<input type="checkbox"/> Direct input of reinforcement ratio?	$as_x =$	14,36 cm^2/m	Reinforcement ratio
	$as_y =$	16,39 cm^2/m	0,479 %

Permanent load $V_G =$	315 kN
Variable load $V_Q =$	720 kN
Dynamical part of load $V_{dyn} =$	0 kN
Design value of soil pressure =	kN/m^2
Partial safety factors γ_G $\gamma_Q =$	1,35 1,50
Design value of shear force $V_{Ed,0} =$	1.505,3 kN

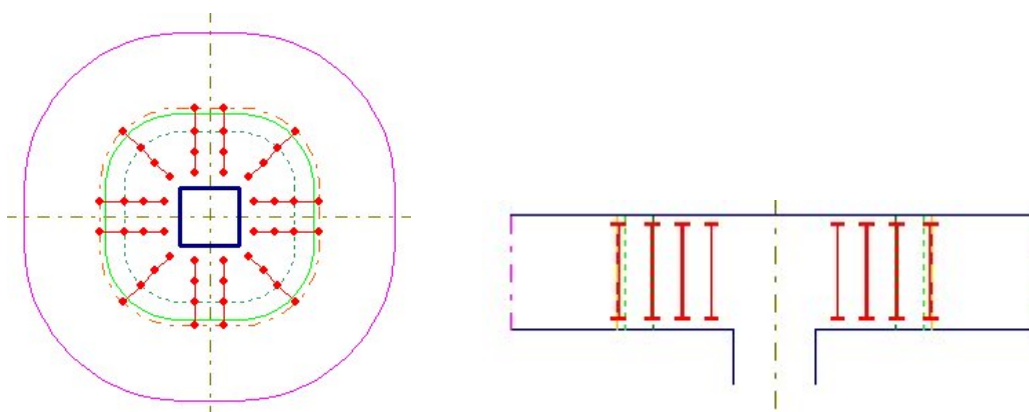
5.6.2 Rezultati

V_{Ed} =	1.730,80 kN	
β =	1,15	
V_{Rdc} =	1.007,70 kN	
$V_{Rds,max}$ =	3.379,20 kN	
Ratio V_{Ed} / V_{Rdc}	$V_{Ed} / V_{Rds,max}$ =	1,72 0,51
Number of bars =	12 pcs	
Number of studs per bar	inside	outside = 3 1 pcs
Spacing of studs per bar	inside	outside = 176 208 mm
	u1	u2 = 6.021 10342 mm
Diameter of studs =	10 mm	
Length of bar =	688 mm	
Ratio length of bar to effective depth l_s/d =	2,15	
$A_{sv,erfd}$ =	1.080 mm ²	
$A_{sv,min}$ =		
$A_{sv,vorth}$ =	2.830 mm ²	
$V_{rds,vorth}$ =	3.300,10 kN	
Ratio $V_{rds,vorth} / V_{Ed}$ =	1,91	
Partial area of soil-pressure =	1,44	
Overall weight of arms =	18,10 kg	
Width of oscillation of inner studs =	0,00 N/mm ² < 60 N/mm ²	
Width of oscillation of outer studs =	0,00 N/mm ² < 60 N/mm ²	

(število palic x premer moznikov – dolžina moznikov – število moznikov vzdolž palice)

12 x Schöck BOLE 10 - 290 - 4

$l_s = 688$ (128 / 176 / 176 / 208) mm



Slika 24: Tloris in pogled položaja moznikov

5.7 Praktičen primer v sliki



(Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.24.) (Povzeto po: Internet)



(Povzeto po: Schöck Bole[®], 2004, str.25.)



(Povzeto po: Internet)

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem se ukvarjal s problemom preboja plošče, kjer bi izpostavil predvsem tri poglavja.

Pravi projektant bo nekaj časa namenil tudi interpretaciji rezultatov. Smiselnost rezultatov je mogoče preveriti le s poznavanjem enačb. Zato bi najprej izpostavil bistvene enačbe po katerih program Schöck Bole[®] določi ustrezno ojačitev proti preboju. Pri enačbah sem naletel tudi na nekatere nejasnosti, ki sem jih posebej poudaril.

Ker večina projektantov pri projektiranju uporablja novejšje standarde sem primerjal program Schöck Bole[®] (temelji na starejši verziji evropskih standardov) z novejšimi evropskimi standardi. Pri ključnih kontrolah nisem ugotovil posebnih razlik, vendar sem tako v programu kot v EC naletel na nekatere posebnosti, ki sem jih omenil.

Zadnja stvar, ki bi jo rad poudaril je izračun upogibnih momentov v plošči po metodi nadomestnih okvirjev. Metoda je primerna za plošče podprte s stebri, ki so enakomerno razporejeni po prostoru. Izračun upogibnih momentov v plošči po tej metodi zahteva od izkušenega projektanta zelo malo časa. Zato je zelo primerna za morebitno primerjavo rezultatov.

Vsa tri poglavja so pomembno prispevala k izračunu praktičnega primera na koncu naloge. Gre za primer pravokotnega stebra v notranjosti plošče. Program po znanih enačbah najprej izračuna vrednosti sil V_{Ed} (standardna vrednost β), $V_{Rds,max}$ in $V_{Rd,c}$. Nato po izrazih v poglavju 3.2.3 ugotovi ali je potrebna dodatna ojačitev proti preboju. Ker je odpor betona proti preboju v osnovnem kontrolnem obsegu pemajhen v primerjavi z vrednostjo V_{Ed} , je potrebno namestiti dodatno armaturo. Program predlaga 12 palic dolžine 688 mm. Na vsaki so v določeni medsebojni razdalji štirje mozniki dolžine 290 mm in premera 10 mm. Ker pri izračunu nisem upošteval nobenih odprtín, so palice razporejene tako, kot je prikazano v poglavju 5.6.2 (Slika 24).

VIRI

Uporabljeni viri

Comité Euro-International du Béton. 1993. Concentrated loads on slabs/slab-column connections. V: Ceb-fip model code 1990, London, Thomas Telford: 180-187.

Schöck Bole[®], Manual for calculation program Schöck Bole[®] according to Eurocode 2 – prEN 1992-1-1: 36 str.

Schöck Bole[®], Technical information Schöck Bole[®]: 25 str.

Schöck Bole[®], Technische information bemessungsprogramm gemäß ÖNORM B 4700: 34 str.

http://images.google.com/imgres?imgurl=http://nisee.berkeley.edu/thumbnail/6257_3021_0647/IMG0080.jpg&imgrefurl=http://nisee.berkeley.edu/elibrary/getpkg%3Fid%3DGoddenF76-80&h=128&w=192&sz=15&tbnid=1A-w--82Dv2GPM:&tbnh=65&tbnw=98&hl=sl&start=4&prev=/images%3Fq%3Dpunching%2Bflat%2Bslab%26svnum%3D10%26hl%3Dsl%26lr%3D%26sa%3DG (21.1.2006).

<http://www.schoeck.de/Products,13.html> (21.1.2006).

Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. EN1992-1-1, 2004.

Ostali viri

Radosavljević Ž., Bajić D. 1988. Armirani beton, knjiga 3, Elementi armiranobetonskih konstrukcija, Beograd, IRO Gradjevinska knjiga: 406 str.