

V primeru obtežb, ki povzročajo lezenje, se lahko celotna deformacija, vključno z vplivom lezenja, izračuna z uporabo učinkovitega modula elastičnosti betona $E_{c,eff}$ po izrazu (2-104):

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad (2-104)$$

Ukrivljenost elementa konstrukcije zaradi krčenja betona $1/r_{cs}$ se lahko določi z uporabo izraza (2-105):

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}, \quad (2-105)$$

kjer je ε_{cs} deformacija neoviranega krčenja betona, S statični moment prereza armature glede na težišče prereza, I vztrajnostni moment prereza, $\alpha_e = E_s/E_{c,eff}$ pa učinkovito razmerje elastičnih modulov armature in betona.

8 DETAJLIRANJE ARMATURE IN PREDNAPETIH KABLOV

Pravila, navedena v tem poglavju, veljajo za rebrasto armaturo, mreže in prednapete kable, ki so izpostavljeni pretežno statični obtežbi. Uporabljajo se za običajne stavbe in mostove. Ne zadoščajo pa za:

- elemente, izpostavljene dinamični obtežbi, ki jo povzročajo učinki potresa ali vibracije strojev, udarna obtežba,
- elemente, ki imajo vgrajene posebej pobarvane ali z epoksidno smolo oziroma s cinkom prevlečene palice.

Za palice z velikimi premeri so podana dodatna pravila.

Glede najmanjše debeline krovne sloja betona je treba izpolniti tudi zahteve iz točke 4.4.1.2 standarda SIST EN 1992-1-1.

Dodatna pravila za beton iz lahkega agregata so podana v 11. poglavju standarda SIST EN 1992-1-1, pravila za konstrukcije, izpostavljene utrujanju, pa so podana v točki 6.8 standarda SIST EN 1992-1-1.

8.1 Medsebojne oddaljenosti armaturnih palic

Najmanjša svetla horizontalna oziroma vertikalna medsebojna oddaljenost a_{min} posameznih vzporednih palic ali leg vzporednih palic s premerom ϕ je določena z izrazom (2-106):

$$a_{min} = \max \begin{cases} \phi \\ d_g + 5\text{mm} \\ 20\text{mm} \end{cases} \quad (2-106)$$

pri čemer je d_g premer največjega zrna agregata.

S prekrivanjem stikovane palice se znotraj dolžine prekrivanja lahko dotikajo druga druge brez vmesnega presledka.

8.2 Najmanjši premer vretena za krivljenje palic in varjenih armaturnih mrež

Z ustrezno spodnjo mejo premera vretena za krivljenje armature ϕ_m se preprečijo upogibne poškodbe armature in lokalne poškodbe betona v območju krivin palic zaradi drobljenja betona ali cepilnih sil, ki se pojavijo prečno na ravnino krivitve.

Za preprečitev upogibnih razpok armature podaja standard SIST EN 1992-1-1 naslednje omejitve:

- Najmanjši premer vretena, okrog katerega se krivi armaturna palica znaša:
 - za palice s premerom $\phi \leq 16 \text{ mm}$ $\phi_{m,min} = 4\phi$,
 - za palice s premerom $\phi > 16 \text{ mm}$ pa $\phi_{m,min} = 7\phi$.
- Premer vretena za krivljenje varjenih mrež v splošnem znaša 5ϕ palic vzdolžne armature mrež ($\phi_{m,min} = 5\phi$), strožja omejitev najmanjšega premera vretena na 20ϕ palic vzdolžne armature mrež ($\phi_{m,min} = 20\phi$) pa velja v primeru, da se v območju krivitve ali znotraj oddaljenosti $d < 3\phi$ od konca krivitve nahajajo prečne palice privarjene z zunanje strani krivine.

Če premer vretena ustreza predhodno navedenim minimalnim premerom po enačbah (2-107), ki preprečujejo poškodbe armature, lahko brez dodatnih dokazov smatramo, da so s tem preprečene tudi poškodbe betona, če:

- za zagotovitev sidranja od konca krivitve ni potrebna večja dolžina kot 5ϕ (to pomeni, da so v območju krivine vzdolžne napetosti v palici in s tem tudi kontaktne napetosti betona razmeroma omejene) in
- obravnavana palica ni ob robu oziroma če ravnina krivitve palice ni blizu površine betona, znotraj krivitve pa se nahaja prečna palica s premerom $\geq \phi$.

V drugih primerih pa je za preprečitev poškodb betona v območju krivin palic glede najmanjšega premera vretena za krivljenje palic potrebno upoštevati še dodatno zahtevo, ki je določena z izrazom (2-108):

$$\phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right). \quad (2-108)$$

Pri tem je F_{bt} natezna sila v palici ali svežnju palic na začetku krivitve pri mejni obtežbi, a_b pa polovična medosna oddaljenost notranjih palic ali svežnjev palic v smeri pravokotno na ravnino krivljenja oziroma debelina krovne sloja c , povečana za $\phi/2$ pri zunanjih palicah ali svežnjih palic ob površini betonskega elementa. Za vrednost f_{cd} se v izrazu (2-108) tudi pri visokotrdnih betonih ne sme upoštevati več od vrednosti f_{cd} za beton C55/67.

Še posebej moramo paziti na najmanjši premer vretena, ki je določen z izrazom (2-108), takrat, kadar gre za krivljenje polno izkoriščenih palic ($F_{bt} = A_s \cdot f_{yd}$), kot npr. pri strižni armaturi v obliki poševnih palic. V tem primeru moramo izpolniti pogoj (2-109), ki je običajno bistveno strožji od osnovnega pogoja (2-107), ki zagotavlja preprečitev upogibnih razpok armature:

$$\frac{\phi_{m,min}}{\phi} \geq 0,39 \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \left(1 + \frac{2\phi}{a_b} \right). \quad (2-109)$$

8.3 Sidranje vzdolžne armature

Sidranje armaturnih palic, žic ali varjenih mrež mora zagotoviti varen prenos njihovih sil na beton in preprečiti vzdolžno razpokanje ter cepljenje elementa. Kadar je potrebno, se v ta namen namesti ustrezno prečno armaturo.

Mejna sprijemna napetost f_{bd} pri rebrastih palicah je določena z izrazom (2-110):

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd}. \quad (2-110)$$

Pri tem sta η_1 in η_2 koeficienta, ki sta odvisna od pogojev sidranja (η_1) in premera palic (η_2):

$\eta_1 = 1,0$	pri dobrih pogojih sidranja,	$\eta_2 = 1,0$	za $\phi \leq 32 \text{ mm}$,
$\eta_1 = 0,7$	za vse druge primere,	$\eta_2 = (132 - \phi)/100$	za $\phi > 32 \text{ mm}$.

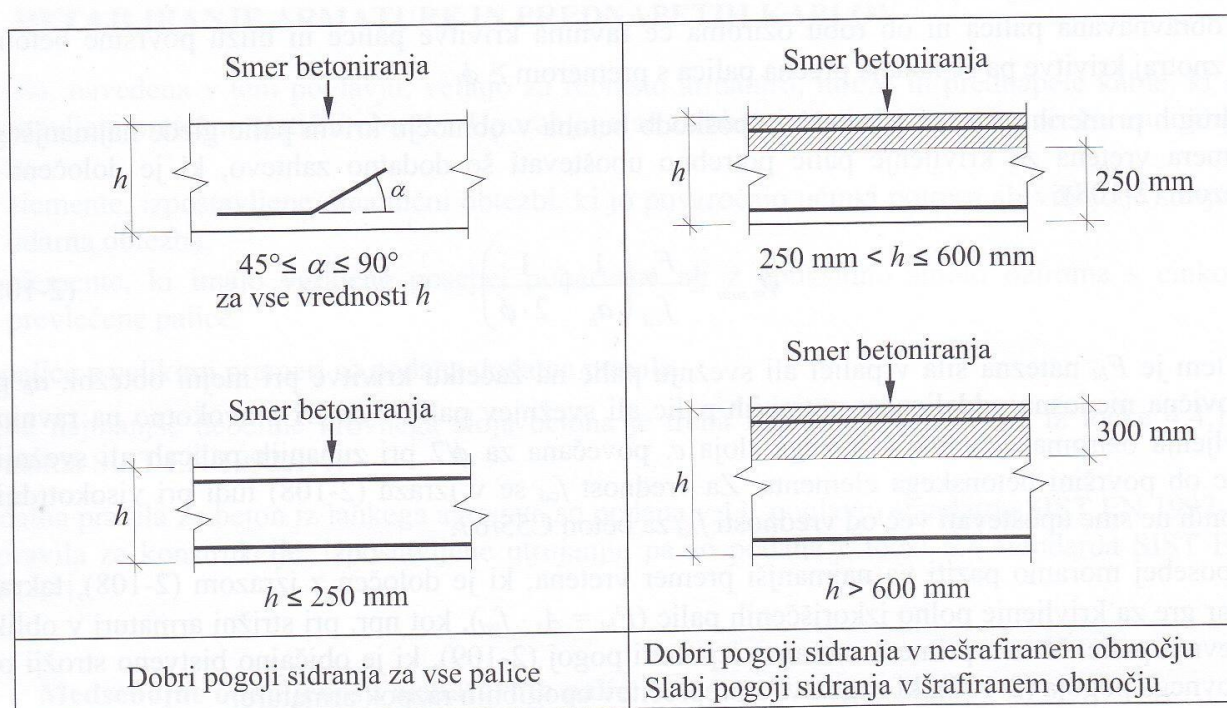
Vrednosti mejnih sprijemnih napetosti f_{bd} za palice premera $\phi \leq 32\text{ mm}$ so v odvisnosti od trdnostnega razreda betona podane v preglednici Pr. 2-19.

Pr. 2-19. Mejne sprijemne napetosti f_{bd} [kN/cm²] za rebraste palice s premerom do 32 mm

Beton	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	≥C60/70
Dobri pogoji sidranja	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,38	0,41	0,44	0,45	0,47
Slabi pogoji sidranja	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33

Opomba: Vrednosti f_{bd} [kN/cm²] veljajo za palice $\phi \leq 32\text{ mm}$, pri večjih premerih jih je potrebno pomnožiti s faktorjem $\eta_2 = (132 - \phi)/100$.

Opredelitev dobrih in slabših pogojev sidranja armature glede na lego armature v betonskem elementu, je razvidna s slike Sl. 2-48.



Sl. 2-48. Opis pogojev sidranja v odvisnosti od lege armaturene palice v elementu

Osnovna sidrna dolžina ravne palice $l_{b,rqd}$ je določena z izrazom (2-111):

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}, \quad (2-111)$$

pri čemer je σ_{sd} projektna napetost armature v mejnem stanju nosilnosti na tistem mestu, od katerega merimo sidrno dolžino, f_{bd} pa sprijemna napetost. Izraz (2-111) lahko zapišemo tudi s pomočjo osnovne sidrne dolžine $l_{b,rqd}^*$ polno izkoriščene palice, pri kateri velja $\sigma_{sd} = f_{yd}$, in nivoja projektnih napetosti σ_{sd}/f_{yd} :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} = l_{b,rqd}^* \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}}. \quad (2-112)$$

Osnovne sidrne dolžine $l_{b,rqd}^*$ polno izkoriščenih rebrastih palic iz jekla S500 v dobrih pogojih sidranja so podane v preglednici Pr. 2-20 za premere palic, ki so predvideni za posamezne palice in za izdelavo varjenih mrež. Nivo projektnih napetosti lahko zapišemo s pomočjo razmerja prereza dejansko nameščene armature $A_{s,prov}$ in prereza računsko potrebne armature $A_{s,rqd}$:

$$\frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} = \frac{A_{s,prov}}{A_{s,rqd}} \quad (2-113)$$

Projektna sidrna dolžina vzdolžne armature elementov betonskih konstrukcij l_{bd} , ki se meri v osi palic, je določena z izrazom (2-114):

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd}^* \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}}, \quad (2-114)$$

pri čemer mora biti izpolnjen pogoj $\alpha_1 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0,7$.

Projektna sidrna dolžina l_{bd} ne sme biti manjša od minimalne sidrne dolžine $l_{b,min}$, ki znaša:

$l_{b,min} = \max(0,3l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm})$ za sidranje palic v natezni coni,

$l_{b,min} = \max(0,6l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm})$ za sidranje palic v tlačni coni.

Koeficienti α_1 do α_5 v izrazu (2-114), ki zajamejo vpliv oblike palic v področju sidranja (α_1) in ugoden učinek prečnih tlačnih napetosti, ki jih zagotavlja beton z ustrezno debelino krovnega sloja (α_2), neprivarjene (α_3) ali privarjene prečne palice (α_4) ali pa so posledica drugih vplivov (α_5), kot npr. pri kontaktnih napetostih v območju podpor (sidranje horizontalnih zank), so podani v preglednici Pr. 2-21.

Pr. 2-20. Osnovne sidrne dolžine $l_{b,rqd}^*$ [cm] za polno izkoriščene rebraste palice ($\sigma_{sd} = f_{yd}$) iz jekla S500 pri dobrih pogojih sidranja

ϕ [mm]	Beton									
	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	$\geq C60/70$
5	28	24	20	18	16	14	13	12	12	12
6	33	29	24	22	20	17	16	15	14	14
7	39	34	28	25	23	20	19	17	17	16
8	45	39	32	29	26	23	21	20	19	19
9	50	43	36	33	30	26	24	22	22	21
10	56	48	40	36	33	29	27	25	24	23
12	67	58	48	43	40	35	32	30	29	28
14	78	68	56	51	46	41	38	35	34	33
16	89	77	64	58	53	46	43	40	39	37
20	111	97	81	72	66	58	54	50	48	47
25	139	121	101	91	82	72	67	62	60	58
28	156	135	113	101	92	81	75	70	68	65
32	178	155	129	116	105	93	86	80	77	75
40	242	210	175	158	143	126	117	109	105	102

- Pri slabih pogojih sidranja je potrebno podane vrednosti deliti z 0,7.
- Premeri 5, 7 in 9 mm se uporabljajo le za palice varjenih armaturnih mrež.
- Pri polno izkoriščenih palicah velja $l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^*$, sicer dobimo osnovne sidrne dolžine palic s korekcijo podanih vrednosti glede nivoja projektnih napetosti jekla: $l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^* \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}}$.

Pr. 2-21. Vrednosti koeficientov α_i

α_i	Vpliv parametra	Način sidranja	Obremenitev palice	
			Natezna	Tlačna
α_1	Oblika palic	Ravna palica	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
		Druge razen ravnih (glej Sl. 2-51 b, c in d)	$\alpha_1 = 0,7$, če je $c_d > 3\phi$, sicer $\alpha_1 = 1,0$ (za c_d glej Sl. 2-49)	$\alpha_1 = 1,0$
α_2	Krovni sloj betona	Ravna palica	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ in $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
		Druge razen ravnih (glej Sl. 2-51 b, c in d)	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$ in $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$ (za c_d glej Sl. 2-49)	$\alpha_2 = 1,0$
α_3	Objetje z neprivarjeno prečno armaturo	Vse vrste palic	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ in $0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
α_4	Objetje s privarjeno prečno armaturo	Vse vrste (pogoje glej na sl. 8.1(e) SIST EN1992-1-1)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
α_5	Objetje s prečnimi tlaki	Vse vrste	$\alpha_5 = 1 - 0,04 p$ in $0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	-

V preglednici Pr. 2-21 je:

c_d koeficient krovne plasti betona določen po sliki Sl. 2-49,

K koeficient lege neprivarjene prečne armature, ki je podan s sliko Sl. 2-50,

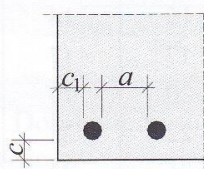
$$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$$

ΣA_{st} skupen prerez prečne armature vzdolž projektne sidrne dolžine l_{bd} ,

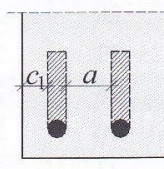
$\Sigma A_{st,min}$ najmanjša prečna armatura: $\Sigma A_{st,min} = 0,25 A_s$ za nosilce in $\Sigma A_{st,min} = 0$ za plošče,

A_s prerez sidrane palice z največjim premerom,

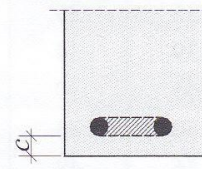
p prečna tlačna napetost [MPa] vzdolž sidrne dolžine l_{bd} v mejnem stanju nosilnosti.



a) Ravne palice
 $c_d = \min(a/2; c_1; c)$

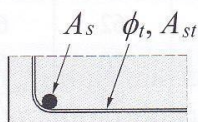


b) Palice s krivinami ali kljukami
 $c_d = \min(a/2; c_1)$

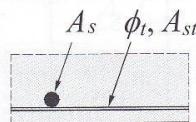


c) Palice z zankami
 $c_d = c$

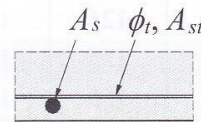
Sl. 2-49. Vrednosti koeficienta krovne plasti c_d za nosilce in plošče



$K = 0,1$



$K = 0,05$



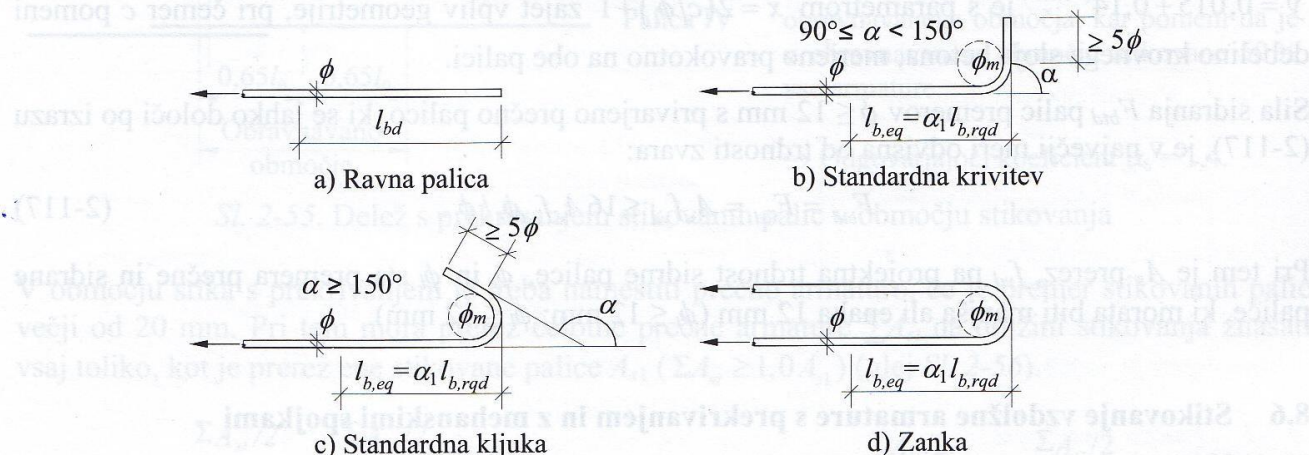
$K = 0$

Sl. 2-50. Vrednosti koeficienta K za nosilce in plošče

Krivitve in kljuke ne izboljšajo sidranja tlačnenih palic in pri takšnih palicah niso zaželeni. Če pri tlačni palici na dolžini sidranja niso privarjene prečne palice, znaša produkt $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 = 1$, kar pomeni, da je pri takšnih palicah projektna sidrna dolžina l_{bd} enaka osnovni sidrni dolžini $l_{b,rqd}$:

$$l_{bd} = l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^* \frac{|\sigma_{sd}|}{f_{yd}} \quad (2-115)$$

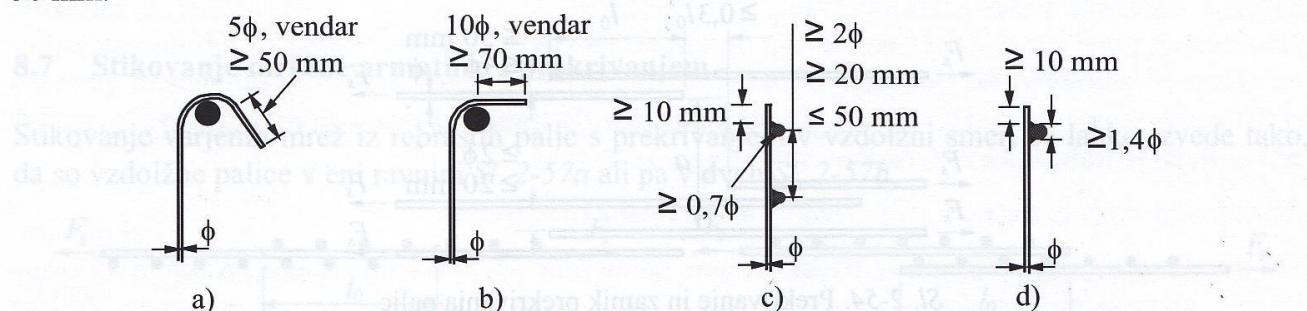
V primeru sidranja krivljenih palic in palic s kljukami ali zankami, ki ustrezajo pogojem na Sl. 2-51, se namesto s projektno sidrno dolžino l_{bd} , merjeno po osi palice, sidranje lahko preveri oz. zagotovi tudi z ustrezno ekvivalentno projektno sidrno dolžino $l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd}$ fiktivne ravne palice. Koeficient α_1 je odvisen od koeficienta krovne plasti betona c_d po Sl. 2-49 in znaša $\alpha_1 = 0,7$, če je $c_d > 3\phi$, drugače pa znaša $\alpha_1 = 1$. Ta poenostavitev je konzervativna, saj velja $l_{b,eq} \geq l_{bd}$.



Sl. 2-51. Projektna sidrna dolžina l_{bd} ravnih palic in ekvivalentna sidrna dolžina $l_{b,eq}$ pri ukrivljenih palicah

8.4 Sidranje stremen in druge prečne armature

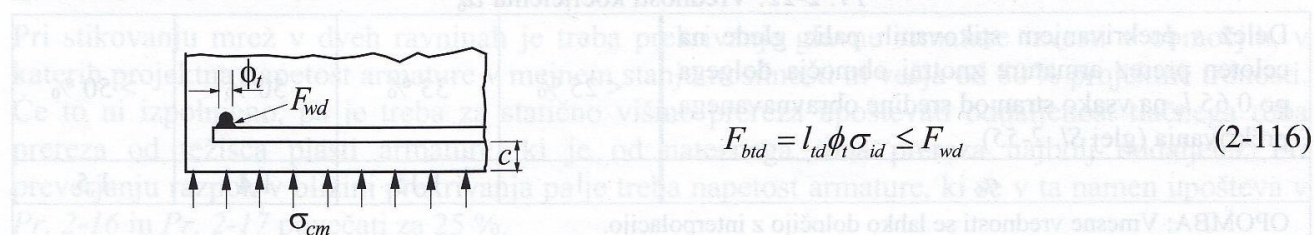
Sidranje stremen in druge strižne armature se običajno zagotavlja s kljukami in kavliji oziroma s privarjenimi prečnimi palicami. Sidranje mora ustrezati Sl. 2-52. Zvari morajo biti izvedeni v skladu s standardom EN ISO 17660, njihova nosilnost pa mora zadoščati zahtevam iz točke 8.6(2) standarda SIST EN 1992-1-1. Kljuke in kavliji morajo biti izvedeni v skladu s Sl. 2-51. V primeru varjenih prečnih palic (glej Sl. 2-52 c in d) mora debelina krovne sloja znašati vsaj 3ϕ oziroma 50 mm.



Sl. 2-52. Sidranje stremen oziroma strižne armature

8.5 Sidranje armature s privarjeno prečno palico

Pri sidranju armaturnih palic z eno, na notranji strani sidrane palice privarjeno prečno palico (premera 14 do 32 mm), se sila sidranja F_{btd} lahko določi z uporabo izraza (2-116).



Sl. 2-53. Sidranje armature s prečno privarjeno palico

Pri tem je $F_{wd} = 0,5 A_s f_{yd}$ strižna trdnost zvara, pri čemer je A_s prerez, f_{yd} je projektna trdnost sidrne palice, $l_{td} = 1,16 \phi_l (f_{yd} / \sigma_{id})^{0,5} \leq l_t$ je projektna dolžina prečne palice, ki ne sme biti večja od medsebojne oddaljenosti sidranih palic. ϕ_l je premer prečne palice, $\sigma_{id} = (f_{cd} + \sigma_{cm}) / y \leq 3 f_{cd}$ je napetost betona, σ_{cm} pa tlačna napetost betona, ki deluje pravokotno na obe palici. V funkciji $y = 0,015 + 0,14^{(-0,18x)}$ je s parametrom $x = 2(c/\phi_l) + 1$ zajet vpliv geometrije, pri čemer c pomeni debelino krovnega sloja betona, merjeno pravokotno na obe palici.

Sila sidranja F_{btd} palic premerov $\phi \leq 12$ mm s privarjeno prečno palico, ki se lahko določi po izrazu (2-117), je v največji meri odvisna od trdnosti zvara:

$$F_{btd} = F_{wd} = A_s f_{yd} \leq 16 A_s f_{cd} \phi_l / \phi_l. \quad (2-117)$$

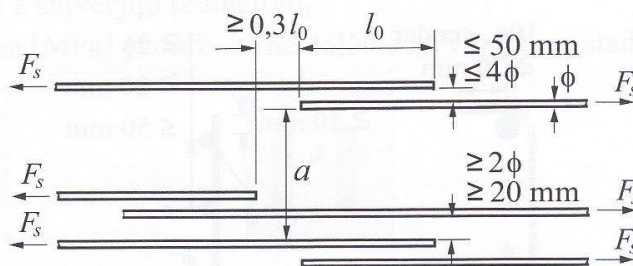
Pri tem je A_s prerez, f_{yd} pa projektna trdnost sidrne palice, ϕ_l in ϕ_l sta premera prečne in sidrane palice, ki morata biti manjša ali enaka 12 mm ($\phi_l \leq 12$ mm; $\phi_l \leq 12$ mm).

8.6 Stikovanje vzdolžne armature s prekrivanjem in z mehanskimi spojkami

Vzdolžne palice armature se lahko stikujejo s prekrivanjem palic z ali brez krivitev oziroma kljuk, z varjenjem ali pa z mehanskimi napravami (spojkami), ki zagotavljajo prenos nateznih in tlačnih sil ali pa samo tlačnih sil.

Stikovanje palic s prekrivanjem mora zagotoviti varen prenos sile iz ene palice na drugo, pri tem pa v okolici spoja ne sme priti do cepljenja betona niti se ne smejo pojaviti razpoke, ki bi vplivale na lastnosti konstrukcije.

Svetla medsebojna razdalja stikovanih palic ne sme biti večja od 4ϕ ali 50 mm, vzdolžni zamik sosednjih, s prekrivanjem stikovanih palic, pa ne sme biti manjši od 0,3-kratne dolžine prekrivanja l_0 (glej Sl. 2-54).



Sl. 2-54. Prekrivanje in zamik prekrivanja palic

Dolžina prekrivanja palic l_0 je določena z izrazom (2-118):

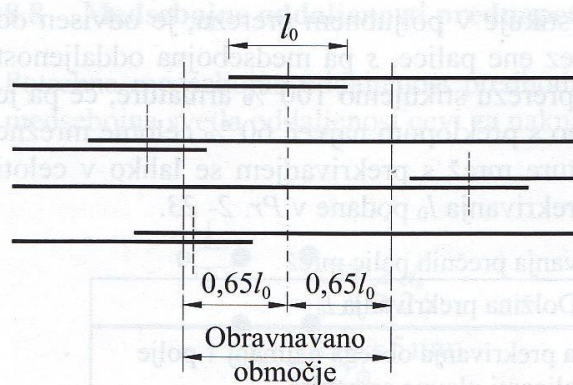
$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}, \quad (2-118)$$

pri tem so koeficienti α_1 do α_5 podani v Pr. 2-21, koeficient α_6 pa v preglednici Pr. 2-22.

Pr. 2-22. Vrednosti koeficienta α_6

Delež s prekrivanjem stikovanih palic glede na celoten prerez armature znotraj območja dolgega po $0,65 l_0$ na vsako stran od sredine obravnavanega prekrivanja (glej Sl. 2-55)	< 25 %	33 %	50 %	> 50 %
α_6	1	1,15	1,4	1,5

OPOMBA: Vmesne vrednosti se lahko določijo z interpolacijo.



Palica I

Delež stikovanih palic za določitev potrebne dolžine prekrivanja se ugotavlja za palico I:

Palica II

Palica III

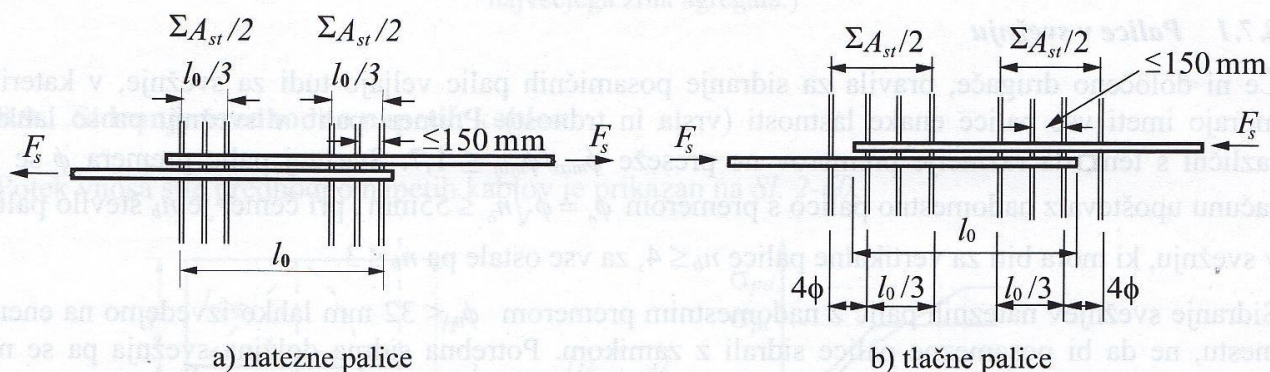
Palica IV

Palici II in III sta stikovani izven obravnavanega območja, kar pomeni da je v obravnavanem območju stikovane 50 % vse armature.

→ Odgovarjajoči koeficient $\alpha_6 = 1,4$.

Sl. 2-55. Delež s prekrivanjem stikovanih palic v območju stikovanja

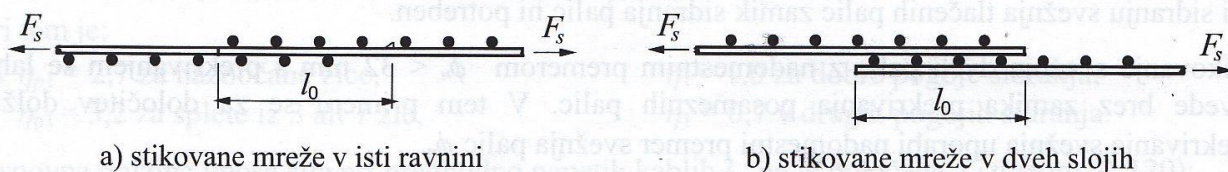
V območju stika s prekrivanjem je treba namestiti prečno armaturo, če je premer stikovanih palic večji od 20 mm. Pri tem mora prerez celotne prečne armature ΣA_{st} na dolžini stikovanja znašati vsaj toliko, kot je prerez ene stikovane palice A_{s1} ($\Sigma A_{st} \geq 1,0 A_{s1}$) (glej Sl. 2-56).



Sl. 2-56. Prečna armatura v območju stikovanja armature s prekrivanjem

8.7 Stikovanje mrežne armature s prekrivanjem

Stikovanje varjenih mrež iz rebrastih palic s prekrivanjem v vzdolžni smeri se lahko izvede tako, da so vzdolžne palice v eni ravnini Sl. 2-57a ali pa v dveh Sl. 2-57b.



Sl. 2-57. Prečna armatura v stikih s prekrivanjem

Pri stikovanju mrež s prekrivanjem, pri katerem so vzdolžne palice v eni ravnini, mora biti prekrivanje vzdolžnih palic izvedeno v skladu z zahtevami iz predhodne točke 8.6. Ugodne učinke prečnih palic je treba pri tem zanemariti tako, da se vzame $\alpha_3 = 1,0$.

Pri stikovanju mrež v dveh ravninah je treba prekrivanje glavne armature izvesti v območjih, v katerih projektna napetost armature v mejnem stanju nosilnosti ni večja od 80 % projektne trdnosti. Če to ni izpolnjeno, pa je treba za statično višino prereza upoštevati oddaljenost tlačnega roba prereza od težišča plasti armature, ki je od nateznega roba prereza najbolj oddaljena. Pri preverjanju razpok v bližini prekrivanja pa je treba napetost armature, ki se v ta namen upošteva v Pr. 2-16 in Pr. 2-17 povečati za 25 %.

Glede deleža stikovanja armature v enem prerezu in ustrezne dolžine prekrivanja mrež v primeru, da se vzdolžne palice preklaplajo v eni ravnini, veljajo zahteve iz Pr. 2-22.

Delež mrežne armature, ki se s preklapljanjem lahko stikuje v poljubnem prerezu, je odvisen od prereza mreže na enoto širine A_s/s . Pri tem je A_s prerez ene palice, s pa medsebojna oddaljenost palic mreže. Če je $A_s/s \leq 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$, lahko v enem prerezu stikujemo 100 % armature, če pa je $A_s/s > 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$, pa lahko v enem prerezu stikujemo s preklopom največ 60 % celotne mrežne armature. Stikovanje prečne oziroma razdelilne armature mrež s prekrivanjem se lahko v celoti izvede na enem mestu, pri čemer so potrebne dolžine prekrivanja l_0 podane v Pr. 2- 23.

Pr. 2- 23. Potrebna dolžina prekrivanja prečnih palic mrež

Premer prečnih palic [mm]	Dolžina prekrivanja l_0
$\phi \leq 6$	$\geq 150 \text{ mm}$; dolžina prekrivanja obsega najmanj 1 polje med palicami glavne armature
$6 < \phi \leq 8,5$	$\geq 250 \text{ mm}$; najmanj 2 polji med palicami glavne armature
$8,5 < \phi \leq 12$	$\geq 350 \text{ mm}$; najmanj 2 polji med palicami glavne armature

8.7.1 Palice v svežnju

Če ni določeno drugače, pravila za sidranje posamičnih palic veljajo tudi za svežnje, v katerih morajo imeti vse palice enake lastnosti (vrsta in trdnost). Premeri palic v svežnju pa so lahko različni s tem, da razmerje premerov ne preseže $\phi_{\max}/\phi_{\min} \leq 1,7$. Sveženj palic premera ϕ se v računu upošteva z nadomestno palico s premerom $\phi_n = \phi \sqrt{n_b} \leq 55 \text{ mm}$, pri čemer je n_b število palic v svežnju, ki mora biti za vertikalne palice $n_b \leq 4$, za vse ostale pa $n_b \leq 3$.

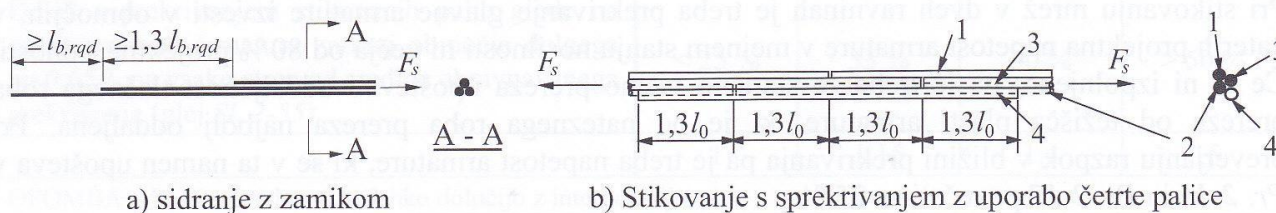
Sidranje svežnjev nateznih palic z nadomestnim premerom $\phi_n < 32 \text{ mm}$ lahko izvedemo na enem mestu, ne da bi posamezne palice sidrali z zamikom. Potrebna sidrna dolžina svežnja pa se na podlagi nadomestnega premera ϕ_n določi kot za posamezno palico.

Svežnje nateznih palic z nadomestnim premerom $\phi_n \geq 32 \text{ mm}$ je treba sidrati z zamikom posameznih palic v vzdolžni smeri kot je prikazano na sliki Sl. 2-58 a. Kadar so posamezne palice zasidrane z zamikom, ki je večji od $1,3 l_{b,rqd}$ (kjer je $l_{b,rqd}$ določen z upoštevanjem premera posamezne palice (glej Pr. 2-20)), se za določitev l_{bd} lahko uporabi premer palice, v drugih primerih pa je treba uporabiti nadomestni premer svežnja ϕ_n .

Pri sidranju svežnja tlačnih palic zamik sidranja palic ni potreben.

Stikovanje svežnja dveh palic z nadomestnim premerom $\phi_n < 32 \text{ mm}$ s prekrivanjem se lahko izvede brez zamika prekrivanja posameznih palic. V tem primeru se za določitev dolžine prekrivanja svežnja uporabi nadomestni premer svežnja palic ϕ_n .

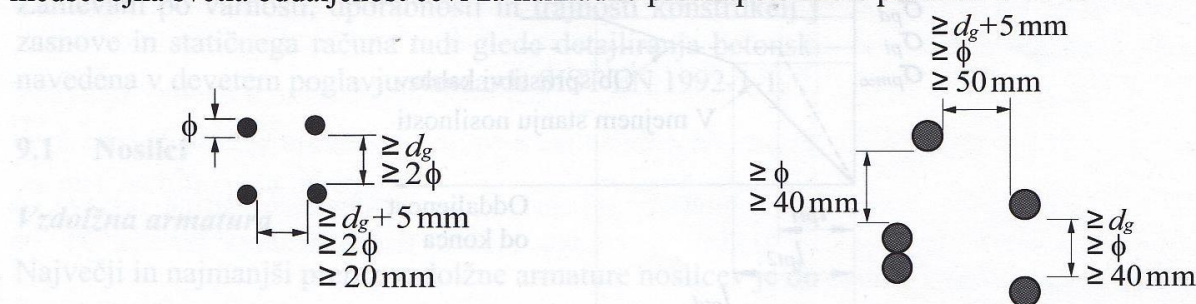
Stikovanje svežnjev, iz dveh palic z nadomestnim premerom $\phi_n \geq 32 \text{ mm}$, ali svežnjev iz treh palic, s prekrivanjem se izvede z uporabo četrte palice z zamikom stikovanja posameznih palic svežnja v vzdolžni smeri za najmanj $1,3 l_0$, kot je prikazano na sliki Sl. 2-58 b. Pri tem je dolžina prekrivanja l_0 določena na podlagi premera posamezne palice. Svežnji z več kot tremi palicami se ne stikujejo s prekrivanjem.



Sl. 2-58. Sidranje in stikovanje svežnjev palic

8.8 Medsebojne oddaljenosti prednapetih kablov

Potrebna medsebojna oddaljenost predhodno napetih kablov je podana na Sl. 2-59 a, najmanjša medsebojna svetla oddaljenost cevi za naknadno prednapete kable pa na Sl. 2-59 b.



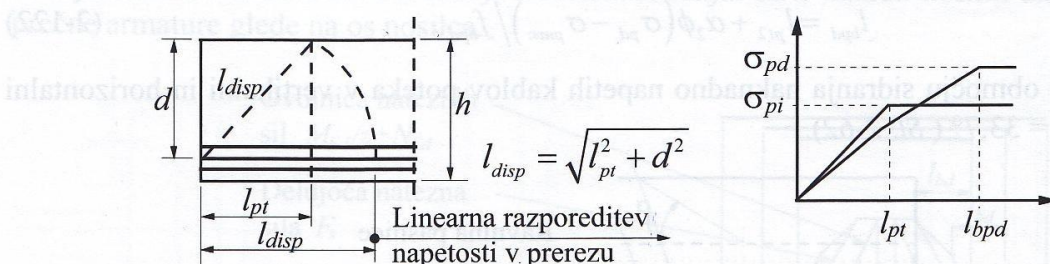
a) najmanjša svetla oddaljenost kablov

b) najmanjša svetla oddaljenost cevi za naknadno napete kable

Sl. 2-59. Najmanjša svetla razdalja med predhodno napetimi kabli in cevmi za naknadno napete kable (Pri tem je: ϕ premer predhodno prednapetega kabla oziroma cevi za naknadno napete kable, d_g pa premer največjega zrna agregata.)

8.9 Sidranje predhodno napetih kablov

Potek vnosa sile predhodno napetih kablov je prikazan na Sl. 2-60.



Sl. 2-60. Vnos prednapetosti v prednapeti element; dolžinski parametri

Sprijemna napetost za predhodno napete kable je določena z izrazom (2-119):

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t), \quad (2-119)$$

pri tem je:

$$\eta_{p1} = 2,7 \text{ za nazobčane žice,}$$

$$\eta_{p1} = 3,2 \text{ za splete iz 3 ali 7 žic,}$$

$$\eta_1 = 1,0 \text{ za dobre pogoje sidranja,}$$

$$\eta_1 = 0,7 \text{ v drugih pogojih sidranja.}$$

Osnovna dolžina vnosa sile pri predhodno napetih kablilih l_{pt} pa je določena z izrazom (2-120):

$$l_{pt} = \alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0} / f_{bpt}, \quad (2-120)$$

pri tem vrednosti koeficientov α_i znašajo:

$$\alpha_1 = 1,0 \text{ za postopno sproščanje,}$$

$$\alpha_1 = 1,25 \text{ za trenutno sprostitev,}$$

$$\alpha_2 = 0,25 \text{ za kable s krožnim prerezom,}$$

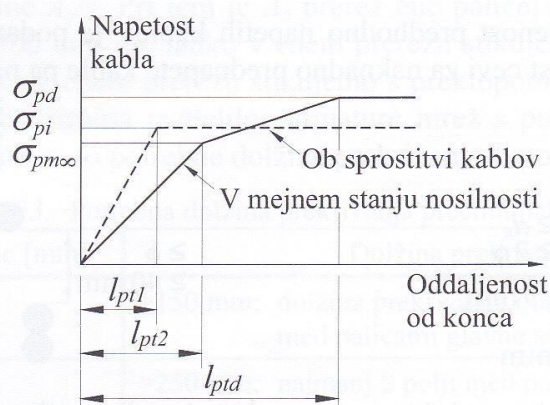
$$\alpha_2 = 0,19 \text{ za splete iz 3 ali 7 žic.}$$

Za projektno dolžino vnosa l_{pt} je treba upoštevati bolj neugodno izmed naslednjih dveh vrednosti:

$$l_{pt1} = 0,8 l_{pt} \quad \text{ob sprostitvi,}$$

$$l_{pt2} = 1,2 l_p \quad \text{v mejnem stanju nosilnosti.}$$

Sidranje kablov v mejnem stanju nosilnosti je prikazano na Sl. 2-61.



Sl. 2-61. Napetosti kablov v območju sidranja pri predhodno napetih elementih:

Sprijemna napetost kablov v mejnem stanju nosilnosti je določena z izrazom (2-121):

$$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd}, \quad (2-121)$$

pri tem je:

$\eta_{p2} = 1,4$ za nazobčane žice,

$\eta_1 = 1,0$ za dobre pogoje sidranja,

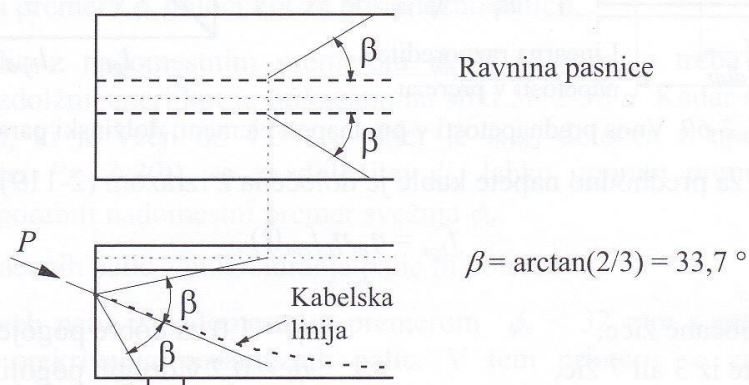
$\eta_{p2} = 1,2$ za splete iz 7 žic,

$\eta_1 = 0,7$ v drugih pogojih sidranja.

Celotna dolžina sidranja kablov l_{pt} v mejnem stanju nosilnosti pa je določena z izrazom (2-122):

$$l_{bpd} = l_{pt2} + \alpha_2 \phi (\sigma_{pd} - \sigma_{pm\infty}) / f_{bpd}. \quad (2-122)$$

Raznos napetosti v območju sidranja naknadno napetih kablov poteka v vertikalni in horizontalni smeri pod kotom $\beta = 33,7^\circ$ (Sl. 2-62).



Sl. 2-62. Raznos napetosti v območju sidranja naknadno napetih kablov

9 DETAJLIRANJE ELEMENTOV BETONSKIH KONSTRUKCIJ

Zahtevam po varnosti, uporabnosti in trajnosti konstrukcij je zadoščeno le, če se poleg ustrezne zasnovne in statičnega računa tudi glede detajliranja betonskih konstrukcij upošteva pravila, ki so navedena v devetem poglavju standarda SIST EN 1992-1-1.

9.1 Nosilci

Vzdolžna armatura

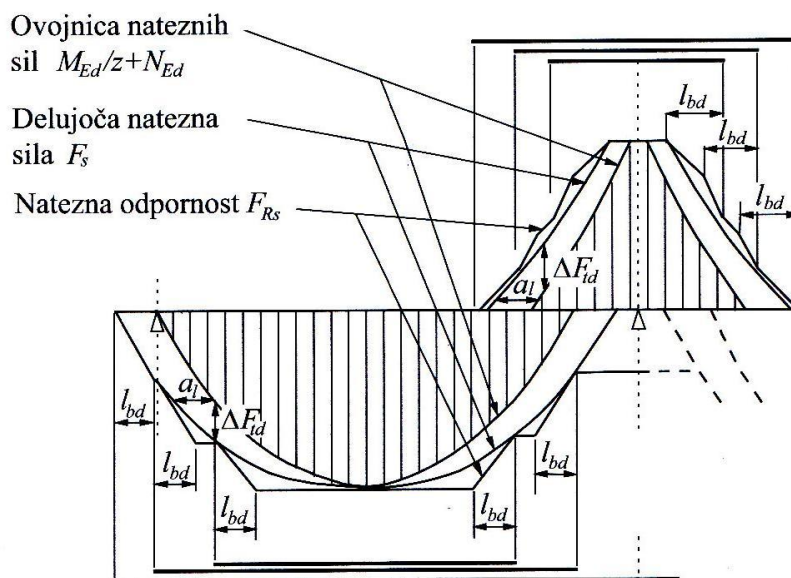
Največji in najmanjši prerez vzdolžne armature nosilcev je določen z izrazoma (2-123) in (2-124):

$$A_{s,max} = 0,04A_c, \quad (2-123)$$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d. \quad (2-124)$$

Pri tem je A_c betonski prerez, f_{ctm} natezna trdnost betona, f_{yk} karakteristična meja elastičnosti armature, b_t oziroma d pa širina oziroma statična višina prereza.

Premaknitev črte upogibnih momentov za $a_l = z(\cot \theta - \cot \alpha)/2$, s katero zajamemo dodatne natezne sile v vzdolžni armaturi, ki izhajajo iz delovanja Mörschevega paličja, ki prevzame prečne sile, je razvidna iz Sl. 2-29. Pri tem je z ročica notranjih sil θ naklon tlačnih diagonal, α pa naklon prečne armature glede na os nosilca.



Sl. 2-63. Stopničenje vzdolžne armature z upoštevanjem učinkov poševnih razpok in odpornosti armature znotraj sidrskih dolžin

Ob podporah je potrebno vzdolžno armaturo dimenzionirati na silo F_{Ed} po izrazu (2-125):

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| a_l / z + N_{Ed}. \quad (2-125)$$

Ne glede na predhodno zahtevo pa je treba vsaj 25 % vzdolžne armature grede, ki je potrebna na mestu največjega upogibnega momenta v polju, vleči do podpor in jo tam zasidrati s sidrno dolžino l_{bd} .

Stremenska armatura

Stopnja armiranja s stremensko armaturo ρ_w je določena z izrazom (2-126):

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha), \quad (2-126)$$

najmanjša stopnja stremenske armature pa z izrazom (2-127):

$$\rho_{w,\min} = (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}. \quad (2-127)$$

Pri tem je A_{sw} prerez enega stremena, s medsebojna oddaljenost stremen, b_w širina prereza, α naklonski kot stremen glede na os grede, f_{ck} karakteristična tlačna trdnost betona, f_{yk} pa karakteristična meja elastičnosti armature.

Največja medsebojna oddaljenost stremen je določena z izrazom (2-128):

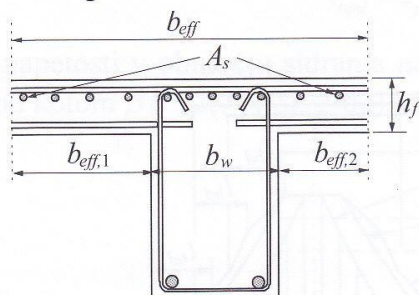
$$s_{l,\max} = 0,75d(1 + \cot \alpha), \quad (2-128)$$

največja medsebojna oddaljenost poševno krivljenih palic pa z izrazom (2-129):

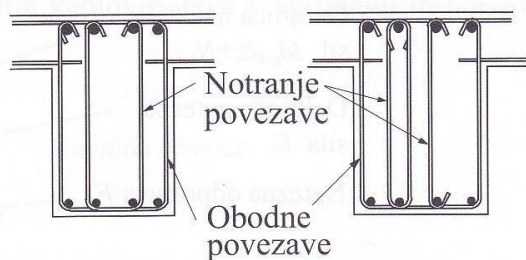
$$s_{b,\max} = 0,6d(1 + \cot \alpha). \quad (2-129)$$

Pri tem je d statična višina prereza, α pa naklon prečne armature.

Približno polovico zgornje armature ($0,50 A_s$) nad vmesnimi podporami neprekinjenih nosilcev s prečnim prerezom T -oblike razporedimo v območju rebra, približno četrtino ($0,25 A_s$) pa v sodelujoči del plošče na vsaki strani rebra (Sl. 2-64).



Sl. 2-64. Razporeditev zgornje armature prečnega prereza T -oblike



Sl. 2-65. Primer strižne armature

9.2 Polne enosmerno in dvosmerno nosilne plošče

Za določitev najmanjše in največje armature v glavni smeri plošče veljata izraza (2-123) in (2-124). Pri prostoležečih ploščah je treba vsaj polovico armature, ki je potrebna v polju, vleči do podpore in jo tam ustrezno zasidrati (glej točko 8.4.4 v standardu SIST EN 1992-1-1).

Pri ploščah, ki so nosilne v eni smeri, je treba v drugi smeri namestiti prečno armaturo, ki ni manjša od 20 % glavne armature. V območju blizu podpor prečna armatura ni potrebna, če tam ni upogibnega momenta v prečni smeri.

Medsebojna oddaljenost armaturnih palic za glavno armaturo ne sme prekoračiti $3h \leq 400$ mm, za razdelilno armaturo pa $3,5h \leq 450$ mm, pri čemer je h celotna debelina plošče.

V območjih koncentriranih obtežb oziroma v območjih z največjim upogibnim momentom se medsebojne oddaljenosti palic pri glavni armaturi zmanjšajo na $h \leq 250$ mm, pri razdelilni armaturi pa na $h \leq 400$ mm.

Pravila, navedena v točkah 9.2.1.3, 9.2.1.4 in 9.2.1.5 v standardu SIST EN 1992-1-1, veljajo tudi za plošče, pri tem pa se za a_l upošteva $a_l = d$.

Strižna armatura plošč

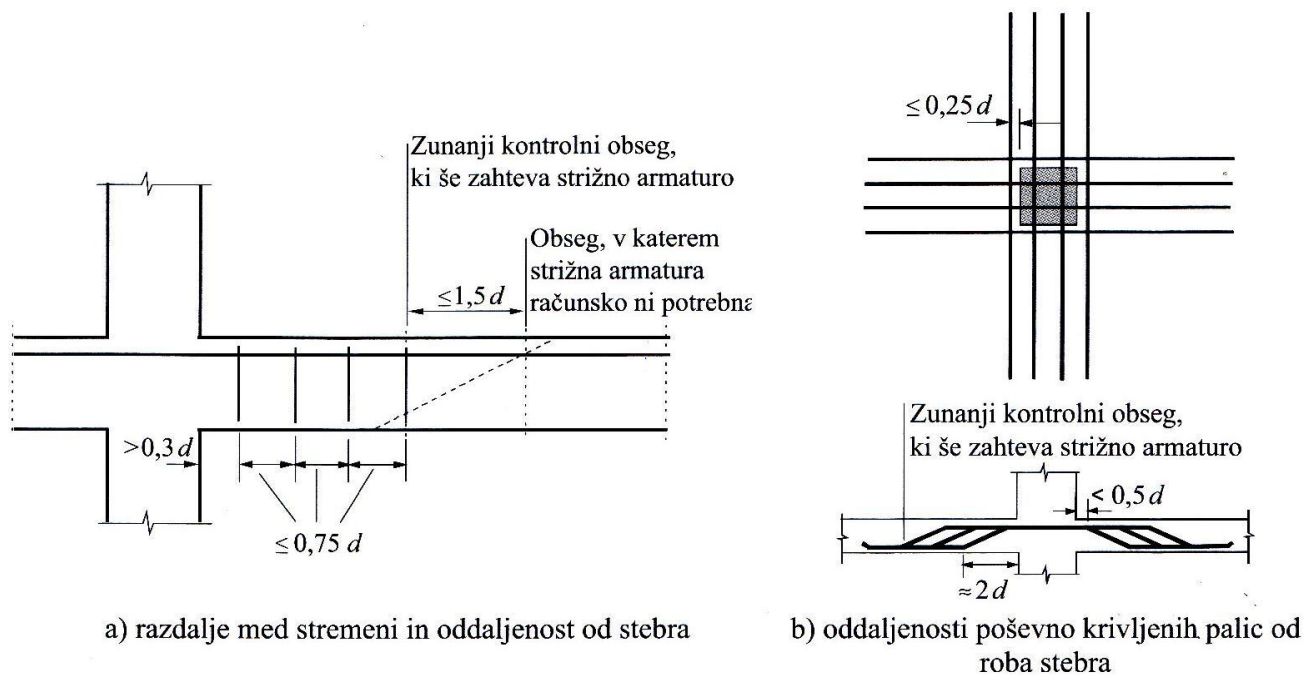
Debelina plošče, pri kateri se uporabi strižna armatura, mora znašati najmanj 200 mm.

Če je pri ploščah $|V_{Ed}| \leq 1/3 V_{Rd,max}$ (glej 6.2 v SIST EN 1992-1-1), je strižna armatura lahko v celoti sestavljena iz poševno krivljenih palic ali iz posebnih elementov za izvedbo prečne armature.

Največja vzdolžna medsebojna oddaljenost zaporednih vrst stremen je $s_{max} = 0,75d(1 + \cot \alpha)$, kjer je α naklon strižne armature, največja vzdolžna medsebojna oddaljenost poševno krivljenih palic pa ne sme biti večja od $s_{max} = d$. Največja prečna medsebojna oddaljenost strižne armature ne sme prekoračiti $1,5d$.

9.3 Gladke plošče na stebrih

Pri gladkih ploščah na stebrih je odločilnega pomena zlasti izvedba zgornje armature nad stebri. Če ni natančnejše analize, je treba ob notranjih stebrih na vsaki strani stebrov na širinah, ki so enake 0,125-kratnikom širin stebrov priležnih polj, namestiti zgornjo armaturo s prerezo $A_s = 0,5 A_t$. A_t je pri tem prerez upogibne armature, potrebne za prevzem celotne vsote negativnih upogibnih momentov, ki pripadajo polovičnim širinama stebra priležnih plošč. Nad vmesnimi stebri je treba vsaj po 2 palici spodnje armature v vsaki izmed med seboj pravokotnih smeri voditi preko stebrov.



Sl. 2-66. Strižna armatura proti preboju

Kadar je za zagotavljanje varnosti proti preboju potrebna strižna armatura, je potrebni prerez enega kraka stremena (ali nadomestni prerez) $A_{sw,min}$ določen z izrazom (2-130):

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}, \quad (2-130)$$

kjer je α kot med strižno in upogibno armaturo plošče (za vertikalna stremena je $\alpha = 90^\circ$ in $\sin \alpha = 1$), s_r razdalja med strižnimi stremenami v radialni smeri, s_t razdalja med strižnimi stremenami v tangencialni smeri, f_{ck} karakteristična tlačna trdnost betona, f_{yk} pa karakteristična meja elastičnosti stremenske armature v MPa (Sl. 2-52).

9.4 Stebri

Stebri so nosilni pretežno tlačni elementi, katerih večja dimenzija prečnega prereza ne preseže 4-kratnika manjše dmenzije. Najmanjši prerez vzdolžne armature stebrov mora biti vsaj $A_{s,min}$, ki je določen z izrazom (2-131):

$$A_{s,min} = \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0,003 A_c. \quad (2-131)$$

Pri tem je N_{Ed} projektna osna sila, f_{yd} pa projektna meja elastičnosti armature. Največji dovoljeni prerez vzdolžne armature stebrov $A_{s,max} = 0,04 A_c$ na mestih stikovanja armature s preklopom pa znaša $A_{s,max} = 0,08 A_c$.

Najmanjši premer palic vzdolžne armature je $\phi_{min} = 12$ mm. Najmanjši premer stremen je $\phi_{min} = 6$ mm. Največja medsebojna oddaljenost $s_{cl, tmax}$ stremen pa je najmanjša vrednost izmed 12 kratnika najmanjšega premera vzdolžnih palic ($12 \phi_{v,min}$), 300 mm in manjše dimenzije prečnega prereza. V območjih prekrivanja vzdolžne armature in v območjih pod in nad gredami in ploščami je treba na dolžini, ki je enaka večji dimenziji prereza stebra, predhodno podane medsebojne razdalje stremen zmanjšati za 40 %.

9.5 Stene

Stene so elementi, pri katerih je razmerje med dolžino in debelino najmanj štiri ali več.

Najmanjša vertikalna armatura znaša $A_{s,vmin} = 0,002 A_c$, največja pa $A_{s,vmax} = 0,04 A_c$ s tem, da damo na vsako stran stene polovico.

Prerez najmanjše horizontalne armature $A_{s,hmin}$ stene mora biti vsaj 0,1 % prereza betona, vendar ne manj od četrtnine prereza vertikalne armature A_{sv} ($A_{sh,min} = 0,001 A_c \geq 0,25 A_{sv}$) s tem, da je na vsaki strani stene nameščena polovica te vrednosti.

Razdalja med sosednjimi vertikalnimi palicami je lahko največ trikratna debelina stene oziroma 40 cm ($e_{max} = 3 d \leq 400$ mm). Medsebojna oddaljenost horizontalnih palic ne sme biti večja od 40 cm.

9.6 Stenasti nosilci

Stenaste nosilce je treba izvesti z mrežo ortogonalne armature v bližini obeh površin z najmanjšim prerezom $A_{s,dbmin} = 0,001 A_c$, vendar ne manj kot $150 \text{ mm}^2/\text{m}$ na vsaki strani in v vsaki smeri.

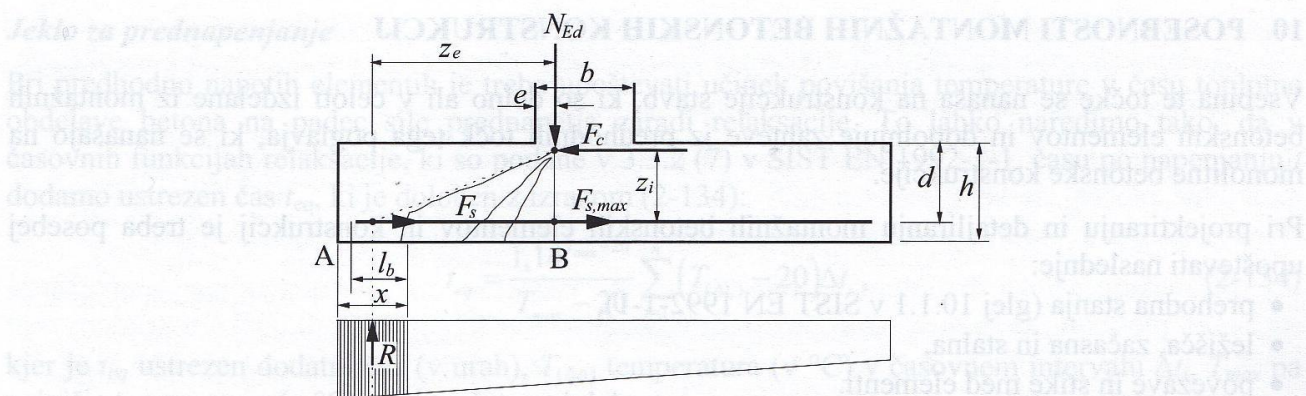
Razdalja med dvema sosednjima palicama ne sme prekoračiti manjše izmed vrednosti dvakratne debeline stenastega nosilca oziroma 300 mm.

Armature, ki prevzame sile nateznih vezi upoštevanih računskih modelov, je treba zasidrati za celotno silo, ki zagotavlja ravnotežje v vozlišču, glej 6.5.4 v SIST EN 1992-1-1, s krivljenjem palic, z uporabo U-zank ali s posebnimi napravami za sidranje, razen če je na razpolago zadostna dolžina med vozliščem in koncem nosilca, ki omogoča sidrno dolžino l_{bd} .

9.7 Temelji

Armature temeljev je zaradi razpornega učinka na koncih temeljev potrebno zasidrati na silo, ki je določena z izrazom (2-132).

$$F_s = R \cdot z_e / z_i \quad (2-132)$$



Sl. 2-67. Model za določitev natezne sile F_s glede na nagnjene razpoke

Posebne zahteve za armiranje uvrtenih kolov pa so podane v preglednici Pr. 2-24.

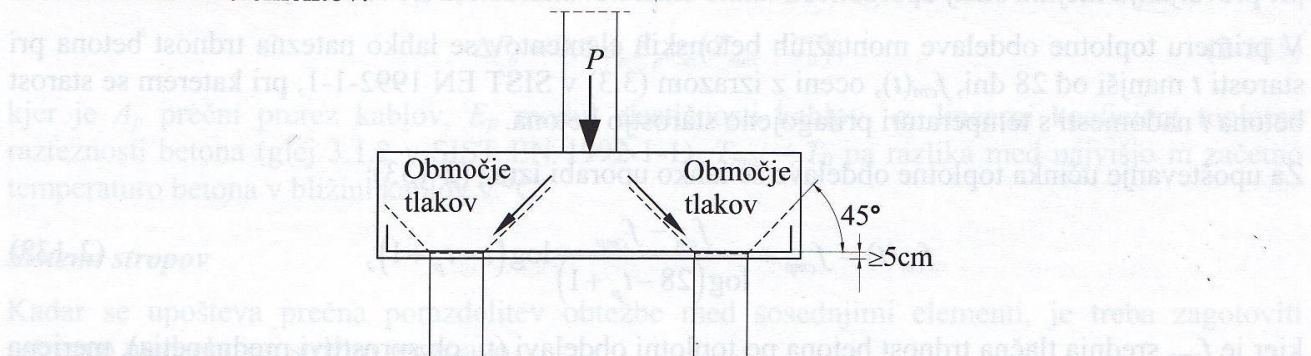
Najmanjši premer palic vzdolžne armature ne sme biti manjši od 16 mm, $\phi_v \geq 16$ mm. Koli morajo biti armirani z najmanj 6 vzdolžnimi palicami, $n \geq 6$. Svetla razdalja med armaturnimi palicami ne sme prekorati 200 mm, merjeno po obodu kola.

Pr. 2-24. Priporočen najmanjši vzdolžni prerez armature na mestu betoniranih uvrtenih kolov

Prečni prerez kola A_c	Najmanjši prerez vzdolžne armature $A_{s,bpmin}$
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,005 A_c$
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 A_c$

Temeljne blazine na kolih

Temeljne blazine pri globokem temeljenju s koli obravnavamo kot debele plošče. Običajno jih računamo na podlagi mehanskega modela s tlačnimi razporami in nateznimi vezmi, lahko pa tudi z metodo končnih elementov.



Sl. 2-68. Shema temeljne blazine na kolih

Armature blazine v glavnem namestimo v območjih oziroma ob ravninah kolov, kjer se pojavijo natezne sile. Raznos napetosti znotraj blazine oziroma za naklon tlačnih diagonal lahko privzamemo $\alpha = 45^\circ$. Vzdolžno armaturo je treba na koncih zasidrati za celo natezno silo v skladu s točko 8.3.

9.8 Območja nezveznosti geometrije ali vplivov

Območja nezveznosti geometrije in vplivov na konstrukcije se ponavadi dimenzionira na podlagi modela z razporami in vezmi v skladu s podglavjem 6.5 v SIST EN 1992-1-1 in detajlira v skladu s pravili, ki so navedena v poglavju 8 v SIST EN 1992-1-1.

Armature nateznih vezi je treba polno zasidrati s sidrno dolžino l_{bd} v skladu s točko 8.3.