

**RAUDBETOONELEMENTIDE PÕIKJÕU- JA
LÄBISURUMISKANDEVÕIME ARVUTAMINE
VASTAVALT EN 1992-1-1:2004 JA
prEN 1992-1-1:2021**

CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE SHEAR AND
PUNCHING RESISTANCE ACCORDING TO EN 1992-1-
1:2004 AND prEN 1992-1-1:2021

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jegor Tšulkov

Üliõpilaskood 153909

Juhendaja: Johannes Pello, lektor

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (*autori nimi*) (sünnikuupäev:)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Raudbetoelementide põikjõukandevõime vastavalt EN 1992-1-1:2004 ja prEN 1992-1-1:2021

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on lektor Johannes Pello

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jegor Tšulkov, 153909

Õppekava, peeriala: EAEI02/15 – Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

Juhendaja(d): lektor Johannes Pello

Konsultant: (nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

Raudbetoonelementide põikjõu- ja läbisurumiskandevõime arvutamine vastavalt EN 1992-1-1:2004 ja prEN 1992-1-1:2021

Calculation of reinforced concrete shear and punching resistance according to EN 1992-1-1:2004 and prEN 1992-1-1:2021

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.Selgitada , milline on põikjõuarvutus uues standardis prEN 1992-1-1:2021
- 2.Selgitada , milline on läbisurumisarvutus uues standardis prEN 1992-1-1:2021
- 3.Teostada kehtiva ja uue standardi võrdlusarvutused

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Selgitada ja kirjeldada põikjõukandevõime arvutamist prEN 1992-1-1:2021 järgi	1.märts
2.	Selgitada ja kirjeldada läbisurumiskandevõime arvutamist prEN 1992-1-1:2021 järgi	15.märts
3.	Teostada ja vormistada võrdlusarvutused kehtiva ja uue Eurokoodeksi järgi	30.aprill

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 23. mai 2022

Üliõpilane: 1.veebruar 2022

/allkiri/

Juhendaja: 1.veebruar 2022

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....201....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	12
1 PÕIKJÕUKANDEVÕIME ARVUTAMINE prEN 1992-1-1:2021 [1] järgi	14
1.1 Kontrolli üldmetoodika.....	14
1.2 Arvutuslikku põikarmatuuri mittevajavate elementide täpsem kontroll.....	18
1.3 Arvutuslikku põikarmatuuri vajavad elemendid	22
2 LÄBISURUMISKANDEVÕIME ARVUTAMINE prEN 1992-1-1:2021 [1] järgi	29
2.1 Kontrolli üldmetoodika.....	29
2.2 Läbisurumise kasuskõrgus, kontrollperimeeter ja nihkepinge.....	29
2.3 Põikarmeermata tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime	34
2.4 Arvutusliku põikarmatuuriga tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime.....	36
3 NÄIDISARVUTUSED	40
3.1 Materjali iseloomustatavad näitajad	40
3.2 Tasapinnaliste põikarmeermata elementide põikjõukandevõime	42
3.2.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi.....	42
3.2.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi.....	43
3.2.3 Järeldused	44
3.3 Lineaarse põikarmeermata elemendi põikjõukandevõime.....	48
3.3.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi.....	49
3.3.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi.....	50
3.3.3 Järeldused	51
3.4 Tasapinnalise põikarmeermata elemendi läbisurumiskandevõime	54
3.4.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi.....	55
3.4.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi.....	56
3.4.3 Järeldused	58
3.4.4 Kinniste rangidega tasapinnalise elemendi läbisurumiskandevõime	60
3.4.5 Laiapealiste põikvarrastega tasapinnalise elemendi läbisurumiskandevõime	67
3.4.6 Järeldused	73
3.4.7 Läbisurumisarmatuuri konstrueerimismõuete muudatused.....	74
KOKKUVÕTE	76
SUMMARY.....	80
KASUSTATUD KIRJANDUSE LOETELU	84
LISAD	86

EESSÕNA

Sooviks avaladada tänu kõigile, kes toetas mu õpinguit TalTechis ja tänu kellele on valmis käesolev magistritöö. Eriti tahan tänada oma juhendajat, lektorit Johannes Pello, kes pakkus välja huvitava lõputöö teema ja igakülselt aitas kaasa lõputöö valmimisele. Olen juhendaja valikuga väga rahul – küsimuste ja kahtluste korral saan alati kiireid vastuseid ja tagasisidet.

Magistritöös analüüsitakse raudbetoon elementide põikjõukandevõime ja läbisurumiskandevõime arvutusmeetodeid vastavalt uue põlvkonna Eurokoodeks 2 standardi EN 1992-1-1:2021 eelstandardile, mis anti välja septembris 2021. Töö eesmärkideks oli kirjeldada põikjõukandevõime ja läbisurumiskandevõime arvutusmetoodikat ning võrrelda arvutuslikult määratud näidiselementide põikjõu- ja läbisurumiskandevõimeid kehtiva standardi EN 1992-1-1:2004 järgi arvatud kandevõimetega.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Ladina suurtähed:

A_c	betoonristlõike pindala
A_{cc}	paindesurvevöö pindala
A_s	pikiarmatuuri ristlõike pindala
A_{sc}	pikiarmatuuri ristlõikepindala paines surutud vöös
A_{st}	pikiarmatuuri ristlõikepindala paines tõmmatud vöös
$A_{s,min}$	armatuuri ristlõike miinimumpindala
A_{sw}	põikarmatuuri ristlõikepindala
A_p	Eelpingestatud armatuuri ristlõikepindala
$C_{Rd,c}$	tegur (EN 1992-1-1:2004)
D	täitematerjali jämedaim fraktsioon
D_i	täitematerjali fraktsiooni ülemise sõela ava
D_{lower}	täitematerjali jäme fraktsiooni D vaikseim väärtus
E_{cm}	betooni deformatsioonimoodul
E_c	betooni elastsusmoodul
E_s	armatuuri elastsusmoodul
F_{td}	tõmmatud vöös esineva tõmbejõu arvutuslik väärtus
F_{cd}	surutud vöös esineva survejõu arvutuslik väärtus
M_{Ed}	elemendis esinev paindemomendi arvutuslik väärtus
$M_{Ed,max}$	maksimaalne paindemomendi arvutuslik väärtus elemendi ulatuses
$M_{td,max}$	serva- ja nurgapostidele üle kantud moment
N_{Ed}	elemendis esinev pikijõu arvutuslik väärtus
N_{Vd}	põikjõust tingitud lisapikijõu arvutuslik väärtus
P_d	eelpingestusjõu arvutuslik väärtus
V_{bcd}	arvutuslik alumise vöö põikjõukandevõime
V_{Ed}	elemendis esineva põikjõu arvutuslik väärtus
$V_{Rd,c}$	põikarmeerimata elemendi arvutuslik põikjõukandevõime (EN 1992-1-1:2004)
$V_{Rd,s}$	voolavusallas oleva põikarmatuuriga vastuvõetav arvutuslik põikjõud (EN 1992-1-1:2004)

$V_{Rd,max}$ surutud betoonkaldvarda kandevõimega määratud suurim elemendi poolt vastuvõetav põikjõud (EN 1992-1-1:2004)

Ladina väiketähed:

a_{cs}	elemendi efektiivne lõikeava
a_q	vastandsuunaliste punktokoormuste ekstsentrilisus
b	ristlõike kogulaius; T-, I- või L-ristlõikege tala plaadi (vöö) tegelik laius
b_0	posti servas asuva kontrollperimeetri pikkus (prEN 1992-1-1:2021)
$b_{0,5}$	kontrollperimeetri pikkus (prEN 1992-1-1:2021)
$b_{0,5,out}$	väline kontrollperimeetri pikkus, kus põikarmatuur ei ole enam nõutav (prEN 1992-1-1:2021)
b_b	kontrollperimeetri väikseima ja suurima laiuse geomeetriline keskmine
b_w	T-, I- või L-tala ristlõikega tala seinlaius, tala ribi laiuse (paksus)
c	kaitsekihi paksus
$c_{A_{s1}}$	tõmbearmatuurvarraste grupi massikeskme kaugus tõmmatud vöö pinnast
Δc_{dev}	armatuuri lubatud paigaldushälve
$\Delta c_{dur,abr}$	minimaalne kaitsekihi suurendamise suurus hõõrdumise tagamiseks
$\Delta c_{dur,red}$	minimaalse kaitsekihi vähendamise suurus
c_{min}	minimaalse kaitsekihi paksus
$c_{min,b}$	minimaalse kaitsekihi paksus ülekatte tagamiseks
$c_{min,dur}$	minimaalse kaitsekihi paksus vastavalt keskkonningimustele
d	ristlõike kasuskõrgus
d_{A_s}	vöös asuva armatuuri läbimõõt
d_{dg}	täitematerjali terasuuruse parameeter
d_i	täitematerjali fraktsiooni alumise sõela ava
d_{sw}	põikarmatuuri läbimõõt
e_b	nihkejõu resultandi ekstsentrilisuse komponent kontrollperimeetri keskpunkti suhtes
e_p	on pingearmatuuri ekstsentrilisus ristlõike raksuskeskme suhtes
f_{ck}	betooni survetugevuse normatiivne väärtus
f_{cd}	betooni survetugevuse arvutuslik väärtus
f_{cm}	t_{ref} vanuse betooni survetugevuse keskmine normatiivne väärtus

f_{pd}	Eelpingestusarmatuuri voolavustugevuse arvutuslik väärtus
f_{yk}	armatuurterase voolavustugevuse normatiivne väärtus
f_{yd}	armatuurterase voolavustugevuse arvutuslik väärtus
f_{ywd}	põikarmatuuri voolavustugevuse arvutuslik väärtus
$f_{ywd,ef}$	põikarmatuuri efetiivne voolavustugevuse arvutuslik väärtus läbisurumisel (EN 1992-1-1:2004)
h	ristlõige kogukõrgus
k	tegur
k_{tc}	tegur, mis arvestab suurte püsivate koormuste ja koormuste kestvuse mõju betooni survetugevusele
k_{pb}	läbisurumiskandevõime gradiendi suurendamise tegur
k_{pp}	tegur, mis arvestab plaatide pikikoormusi või eelpingestuse olemasolu välise kontrollperimeetri, kus põikarmatuur ei ole enam nõutav, kaugus posti servast
l_{out}	
n_{sw}	põikarmatuuri lõigete arv
p_k	ühtlaselt jaotatud koormuse normatiivne väärtus
p_d	ühtlaselt jaotatud koormuse arvutuslik väärtus
u_0	posti servas asuva kontrollperimeetri pikkus (EN 1992-1-1:2004)
u_i	kontrollperimeetri pikkus (EN 1992-1-1:2004)
u_{out}	väline kontrollperimeetri pikkus, kus põikarmatuur ei ole enam nõutav (EN 1992-1-1:2004)
s_r	radiaalne põikarmatuuri vahekaugus
s_{sw}	põikarmatuuri samm
s_t	uuritaval kontrollperimeetril mõõdetud põikarmeerimisperimeetrite keskmine tangentsiaalne vahekaugus
t_{ref}	betooni vanus päevades (tavaliselt 28 päeva, 28-91 päeva erinõuele vastavalt prEN 1992-1-1:2021 5.1.3(2) [1])
z	sisejõudude õlg

Kreeka väiketähed:

α	nurk, suhe
β	nurk, suhe

β_e	tegur, mis arvestab nihkejõudude kontsentratsiooni
γ_C	betooni osavarutegur
γ_S	Armatuuri osavarutegur
γ_V	põikjõudu ja läbisurumise osavarutegur
ϵ_x	keskmine deformatsioon surutud ja tõmmatud vöödes
ϵ_{xt}	deformatsioon tõmmatud vöös
ϵ_{xc}	deformatsioon surutud vöös
v	tegur
v_{Ed}	elemendis esineva nihkepinge arvutuslik väärtus
$v_{Rd,c}$	põikarmeermata läbisurumiskandevõime arvutuslik väärtus (EN 1992-1-1:2004)
$v_{Rd,cs}$	arvutuslikuga põikarmatuuriga läbisurumiskandevõime arvutuslik väärtus (EN 1992-1-1:2004)
$v_{Rd,max}$	Läbisurumiskandevõime maksimaalne arvutuslik väärtus (EN 1992-1-1:2004)
v_{min}	tegur
θ	nurk, suhe
η_c	vähendamistegur
η_{cc}	tegur, mis arvestab erinevust silindri häirimatu survetugevuse ja konstruktsioonelemendis saavutatava efektiivse survetugevuse vahel
η_{pb}	tegur, mis arvestab membraanmõju sisemiste postide läbisurumiskandevõime maksimumväärtuste määramisel
η_s	põikjõukandevõime vähendamistegur, mis arvestab põikarmatuuri panust
η_{sys}	tegur, mis arvestab kasutatavate läbisurumisarmatuuri süsteemide mõju
ρ_l	pikiarmeermistegur
ρ_w	põikarmeermistegur
$\sigma_{p\infty}$	pingearmatuuri pinge pärast pingekadusid
ϕ	armatuurvarda läbimõõt
τ_{Ed}	keskmise ristlõikes esineva nihkepinge arvutuslik väärtus
$\tau_{Rd,min}$	põikjõutugevuse (k.a. läbisurumisel) minimaalne väärtus, mis lubab detailse põikjõukontrolli ära jätta (prEN 1992-1-1:2021)

- $\tau_{Rd,c}$ arvutuslikku põikarmatuuri mittevajavate elementide põikjõutugevus (k.a. läbisurumisel) (prEN 1992-1-1:2021)
- $\tau_{Rd,cs}$ arvutuslikuga põikarmatuuriga elementide läbisurumise nihkepige kandevõime arvutuslik väärtus (prEN 1992-1-1:2021)
- $\tau_{Rd,sy}$ arvutuslikuga põikarmatuuriga elementide põikjõukandevõime arvutuslik väärtus (prEN 1992-1-1:2021).

SISSEJUHATUS

Ehitussektor toob ehitisi ja infrastruktuuri iga inimese jaoks, mis teeb seda üks tähtsaimatest mõjuriks Euroopa majandusele ja ühiskonnale. Ehitussektor esindab 6-7% Euroopa sisemajanduse kogutoodangust. 15-20 miljoni inimeste tööhõivega ehitussektor on suurim industriaalne tööandja Euroopas [2] [3]. EL Eurokoodeksid aitavad kaasa ehitustoodete ja inseneriteenuste reguleerimisele, kõrvaldades erinevuseid, mis takistavad nende toodete ja teenuste vaba liikumist ühiskonnas. Eurokoodeksite eesmärk on ehituse ühtsema ohutustaseme saavutamine Euroopas. Kuna kogum Eurokoodeksitest hõlmab peaaegu kogu ehitiste projekteerimist [4], on raske üle hinnata nende tähtsust Euroopa ehitusele. Ehitustööstuse arenguga peavad arenema ka nõuded ja nendele vastavuse tagavad standardid. Uue põlvkonna Eurokoodeksite tähtsamad eesmärgid on parandada selgust (saavutatav valemite lihtsustamisega ja uute „õigemate“ ja läbipaistvate ühiversaalsete meetodite väljatöötlemisega), Eurokoodeksite vaheliste seoste lihtsustamine, alternatiivsete lähenemiste limiteerimine, projekteerimisele väikese praktilise kasuga reeglite vähendamine või kustutamine ning rahvuslikult määratud parameetrite arvu vähendamine. Lisaks sellele, praegusi EN 1992-2 ja EN 1992-3 integreeritakse EN 1992-1-1 [5] [6].

Eurokoodeksi 2 põikjõu ja läbisurumise peatükid said kõige rohkem kommentaare liikmesriikide standardiorganisatsioonidest peale süstemaatilist ülevaadet aastal 2015, mil alustati Eurokoodeksite uue põlvkonna arengut. prEN 1992-1-1:2021 arvamusküsitluse staadium möödus 2022 a. alguses ning tänapäeval on see redigeerimisel, et võtta arvesse saadud kommentaare. Uue versiooni valmimist on oodata aastaks 2023, Rahvuslike Lisade valmimist aasta 2027 lõpuks [6].

Magistritöö teema pakkus välja lektor Johannes Pello. Teema valik on tingitud Eurokoodeksi 2 teise põlvkonna raudbetoonkonstruktsioonide projekteerimise üldreeglitele keskenduva standardi EN 1992-1-1:2021 mustandi ilmumisest 2021 a. septembris.

Vaadeldava töö eesmärgiks on esitada prEN 1992-1-1:2021 lineaar- ja tasapinnaliste elementide põikjõukandevõime ja läbisurumiskandevõime arvutusmeetodeid ning võrrelda neid Eurokoodeks 2 eelmise (kehtiva) põlvkonna standardi EN 1992-1-1:2004 arvutusmeetoditega näidiselementide põikjõu- ja läbisurumiskandevõime arvutustulemuste võrdlemise alusel.

Käesoleva töö teoreetiliseks osaks on prEN 1992-1-1:2021 eelstandardi põikjõu ja läbisurumise jaotiste originaalteksti tõlge muudatustega¹. prEN 1992-1-1:2021 ja EN 1992-1-1:2004 põikjõukandevõime ja läbisurumiskandevõime arvutusmeetodite võrdlemiseks on valitud põikarmeermata ja põikarmeeritud näidiselementide põikjõutugevuse ja läbisurumistugevuse arvutustulemuste võrdlemine.

Põikarmeermata elemendi põikjõukandevõime arvutus koosneb ühtlaselt koormatud erinevate kõrgustega ja pikiarmeermisteguritega vahelae raudbetoonplaatide põikjõukandevõime arvutamisest mõlema põlvkonna standardi järgi. Põikarmeeritud elemendi põikjõukandevõime arvutus koosneb ühtlaselt koormatud raudbetoonplaadi toetava tala põikjõukandevõime arvutamisest mõlema põlvkonna standardi järgi. Põikarmeermata elemendi läbisurumiskandevõime arvutus koosneb sisemisele postile toetava, sellega jäigalt ühendatud ja ühtlaselt koormatud vahelae raudbetoonplaadi osa läbisurumiskandevõime arvutamisest mõlema põlvkonna standardi järgi. Põikarmeeritud elemendi läbisurumiskandevõime arvutus koosneb sisemisele postile toetava, sellega jäigalt ühendatud, ühtlaselt koormatud ja erinevate põikarmatuuri tüüpidega armeeritud vahelae raudbetoonplaadi osa läbisurumiskandevõime arvutamisest mõlema põlvkonna standardi järgi.

Võtmesünad: põikjõud, põikjõukandevõime, läbisurumiskandevõime, Eurokoodeks 2, magistritöö.

¹ Originaalteksti jaotiste, valemite, tabelite ja jooniste numeratsioon on muudatud käesoleva töö struktuurile vastava numeratsioonile. Uue numeratsiooni vastavaus originaaltekstile on esitatud Lisades 1-6.

1 PÕIKJÕUKANDEVÕIME ARVUTAMINE

prEN 1992-1-1:2021 [1] JÄRGI

1.1 Kontrolli üldmetoodika

(1) Lineaarelementide põikjõutugevust ja tasandelementide tasandist-välja põikjõutugevust kontrollitakse järgmise metoodika kohaselt:

(i) Täpsema põikjõutugevuse kontrolli võib ära jätta, kui on täidetud tingimus

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$$

vastavalt punktile 1.1(3)

(ii) Arvutuslikku põikarmatuuri ei ole vaja nendes elemendi piirkondades, kus

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c}$$

vastavalt jaotistele 1.2 ja 2.3.

(iii) Muudel juhtudel tuleb ette näha põikarmatuur vastavalt jaotistele 1.3 ja 4.4.4 [1]

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd}$$

Kui põikjõuarvutuse alusel põikarmatuur ei ole vajalik, võib ikkagi olla vajalik minimaalne põikjõuarmaatuur vastavalt jaotisele 12 [1].

Statiliselt määratud lineaarelementides, mille $d > 500$ mm, peab olema ette nähtud minimaalne põikarmatuur. Erandjuhtumitel, kui see ei ole võimalik, tuleb kasutada kontrolli meetodid vastavalt punktile I.8.3.1(3) [1].

(2) Geomeetriliste katkestusteta elementide piirkondades on ristlõike keskmine nihkepinge τ_{Ed} on määratletud järgmiselt:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z} \quad (1.1)$$

või

$$\tau_{Ed} = \frac{v_{Ed}}{z} \quad (1.2)$$

kus

V_{Ed} on arvutuslik põikjõud lineaarelementides,

v_{Ed} on arvutuslik põikjõud ühiklaiuse kohta tasandelementides,

b_w on lineaarelementide ristlõike laius. Laius b_w muutuva laiusega ristlõigetele ning ümarristlõigetele on määratud punktis 1.3(9),

z on sisejõu õlg põikjõuarvutuses, määratletud kui $z = 0,9d$; kus d on vaadeldava ristlõike kasuskõrgus,

MÄRKUS 1 Kasuskõrguseks d võib kasutada nominaalset kasuskõrgust d_{nom} või arvutuslikku kasuskõrgust d_d (vt. punkt A(6)). d_d kasutamise juhiseid võib leida Rahvusliskus lisas [1].

(3) Põikjõukandevõime miinimumväärtus on määratud avaldisega:

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_V} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} \quad (1.3)$$

kus

γ_V on põikjõukandevõime osavarutegur vastavalt tabelile 4.3(NDP) või tabelile A.1 (NDP),

f_{yd} on paindearmatuuri projekteerimisel kasutatud armatuurterase arvutuslik voolavustugevus,

d on ristlõike kasuskõrgus (mm), eelpingestatud elementide korral vt 1.2(6),

d_{dg} on suuruse parameeter, mis kirjeldab purunemisala karedust, mis sõltub betooni tüübist ja selle täitematerjali omadustest. d_{dg} (mm) võib võtta:

- $16 \text{ mm} + D_{lower} \leq 40 \text{ mm}$ betooni korral, mille $f_{ck} \leq 60 \text{ Mpa}$,
- $16 \text{ mm} + D_{lower} (60/f_{ck})^4 \leq 40 \text{ mm}$ betooni korral, mille $f_{ck} \geq 60 \text{ MPa}$.

MÄRKUS 2 D määratlus standardi EN 12620 D_{lower} kaudu võib viia jämetäitematerjali terasuuruste erinevatele jagunemistele. Sarnaselt ei määra standard EN 206 minimaalset jämetäitematerjali terade sisaldust. Kirjeldatud mudel on kalibreeritud tüüpsete jämetäitematerjali terasuurustega tehtud katsete põhjal. Ebatüüpiliste täitematerjali fraktsioonide kasutamine, kus suuremate terade osakaal D_{lower} suhtes on väike, võib põhjustada teistsugust toimimist. Seda võib ära hoida terade suuruste parameetrite täpsustamisega lisaks D_{lower} .

Tavaarmeeringuta eelpingestatud elementide puhul võib f_{yd} avaldises (1.3) asendada $f_{pd} - \sigma_{p\infty}$, kus $\sigma_{p\infty}$ on pingearmatuuri pinge pärast pingekadusid.

(4) Tasapinnalistes elementides (nagu monoliitplaadid ja koorikud) pinnast välja mõjuvate põikjõudude $v_{Ed,x}$ ja $v_{Ed,y}$ korral, mis mõjuvad risti ristlõike x - ja y -suundadega, tuleks arvutuslik põikjõud pikkusühiku kohta v_{Ed} arvutada järgmiselt:

(7) Elementides, kus eelpingestuse staatiliselt määratud osa vaadeldakse sisejõuna (st vaadeldakse kandevõime osana ja seda eelpingese tulemit ei arvestata V_{Ed} määramise koormuskombinatsioonis):

- tala seinas mõjuv arvutuslik põikjõud peaks arvestama eelpingestusjõu põikikomponendiga vastavalt joonisele 1.1, asendades V_{Ed} suuruse $V_{Ed} - P_d \cdot \sin \beta_p$ suurusega,
- ja kui põikjõukandevõime sõltub mõjuvast paindemomendiga ja pikijõust tuleks pikijõu suurus N_{Ed} ja paindemomendi suurus M_{Ed} vastavalt asendada $N_{Ed} - P_d \cdot \cos \beta_p$ ja $M_{Ed} - P_d \cdot e_p \cdot \cos \beta_p$ suurustega.

(8) Kui koormus rakendatakse elemendi kõrguses (st. pea- ja abitalade ristumiskohas) või rakendatakse tõmbega elemendi pinnale (st. riputuskoormused), peab olema ette nähtud piisav armeering koormuse kandmiseks koormuse suunale vastupidise pinnale (st raskusjõu korral ülemisele küljele).

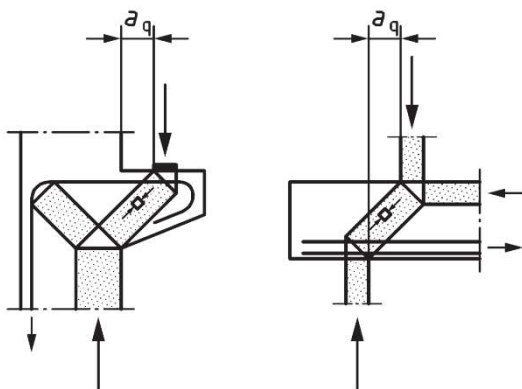
(9) Lineaarelementide geomeetriliste pidevuseta piirkondi tuleks projekteeritakse vastavalt jaotisele 8.5 [1]. Tasandelementides,

- muutuva ristlõikega piirkondi tuleks armeerida vastavalt 12.3.1(2) [1] või projekteerida vastavalt jaotisele 8.5 [1];
- ankrutega piirkondi tuleks kontrollida vastavalt 1.2(11) või projekteerida vastavalt jaotisele 8.5 [1].

(10) Piirkondi, kus olulise suurusega punktkoormusi rakendatakse toest kaugusel a_q , mis on väiksem, kui d (joonis 1.2), tuleks projekteerida pidevuseta piirkondadena, kasutades varrasmudelit või pingevälju, nagu joonisel 1.2, või kasutades τ_{Ed} vähendatud väärtust vastavalt punktile 1.2(9). Lineaarselt toetatud põikarmeeringuta tasandelementides võib täiendava nihkekontrolli koormuse ja toe vahel ($a_q - d$) ära jätta kui:

- $\tau_{Ed} \leq 2\tau_{Rdc,min}$ ja

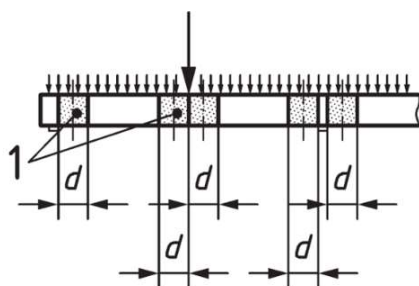
paindearmatuur on täielikult toe ja koormuse rakendamiskohta juures ankurdatud.



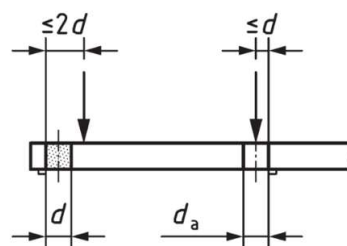
Joonis 1.2 – Tugede lähedaste jõudude näited

1.2 Arvutuslikku põikarmatuuri mittevajavate elementide täpsem kontroll

(1) Põikjõukandevõime täpsema kontrolli võib ära jätta lõigete korral, mis asuvad lähemal kui d toe esiküljest või olulisest punktkoormusest (vt joonis 1.3). Kui oluline punktkoormus on rakendatud toe esiküljele lähemal kui $2d$, tuleks kontrollida toe esiküljest kaugusel d asuvat kontrolllõiget.



a) jaotatud koormus



b) punktkoormused

Selgitus

1 piirkonnad, kus põikjõutugevuse täpsem kontroll võib ära jätta

Joonis 1.3 – Piirkonnad, kus põikjõutugevuse täpsem kontroll võib ära jätta (domineerivate koormuste juhtumid)

(2) Põikarmeerimata elemendi põikjõukandevõime arvutusväärtuse võiks leida:

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_V} \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{3}} \geq \tau_{Rdc,min} \quad (1.10)$$

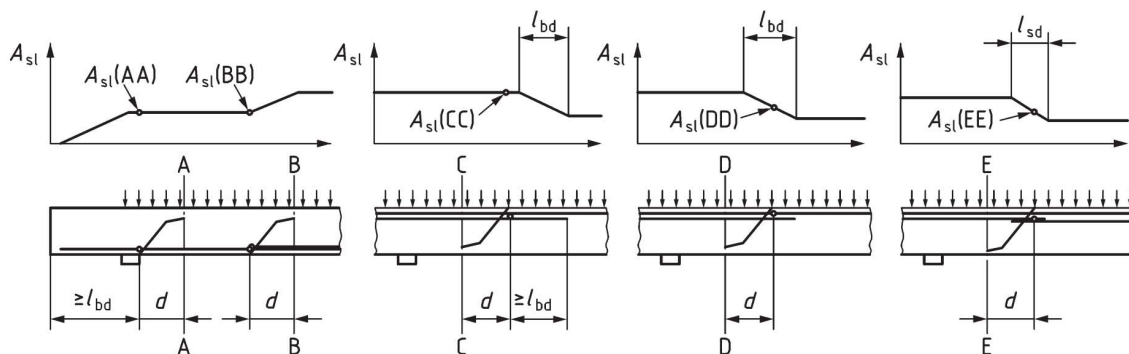
kus

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w d} \quad (1.11)$$

A_{s1} on tõmbearmatuuri efektiivne ristlõikepindala kaugusel d vaadeldavast lõikest (vt joonis 1.4);

d_{dg} on määratud punktis 1.1.1 (4);

d on nominaalne kasuskõrgus d_{nom} . d väärtust saab täpsustada vastavalt (3) ja (4) mittedaetate elementide ja pikisuunas koormatud elementide jaoks.



Seltus

- Kontrolllõiked A-A ja C-C: Juhtumid, kus ankurdatud ja katkestatud armatuuri võib täielikult arvesse võtta.
- Kontrollristlõige B-B: Juhtum, kus katkesetatud armatuuri ei saa arvesse võtta.
- Kontrollristlõiked D-D ja E-E: Juhtumid, kus katkestatud või ülekattega jätkatud armatuuri võib osaliselt arvesse võtta.

Joonis 1.4 – A_{s1} määratlus avaldises (1.9)

- (3) Elementides, kus efektiivne lõikeava a_{cs} on lühem kui $4d$, võib suuruse d_{nom} avaldises (1.10) asendada järgmisega:

$$a_v = \sqrt{\frac{a_{cs}}{4} \cdot d} \quad (1.12)$$

Kus a_{cs} on efektiivne lõikeava kontrollristlõike suhtes. Ilma pikijõuta raudbetoonristlõigete jaoks võib seda arvutada kontrollristlõike sisejõudude funktsioonina:

$$a_{cs} = \left| \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right| \geq d \quad (1.13)$$

Käsitleda tuleb vaid koormusjuhtumeid, mis tekitab vastavalt maksimaalse põikjõudu sellega koos mõjuva paindemomendiga, ja, mis annab maksimaalse paindemomendi koos sellega mõjuva põikjõuga.

- (4) Kontrollristlõikes mõjuva pikijõu N_{Ed} korral tuleks suurus d avaldises (1.8) või a_v avaldises (1.12) korrutada teguriga k_{vp} vastavalt avaldisele (1.14):

$$k_{vp} = 1 + \frac{N_{Ed}}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{d}{3 \cdot a_{cs}} \geq 0,1 \quad (1.14)$$

- (5) Alternatiivina avaldisele (1.10) kuni (1.14) võib kasutada lähenemist, mis arvestab pikisurvejõudude mõju vastavalt avaldisele (1.15):

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_V} \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{3}} - k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq \tau_{Rd,c,min} \quad (1.15)$$

kus

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,2 f_{cd} \text{ [MPa]};$$

N_{Ed} on koormusest või eelpingestamist tingitud pikisurvejõud ristlõikes;

A_c betoonristlõike pindala.

MÄRKUS 1 Teguri k_1 võib arvutada vastavalt avaldisele (1.16), kui Rahvuslikus lisas ei ole määratud teisiti.

$$k_1 = \frac{1,4}{\gamma_V} \cdot \left(0,07 + \frac{e_p}{4 \cdot d} \right) \leq 0,15 \cdot \frac{1,4}{\gamma_V} \quad (1.16)$$

kus

e_p on pingearmatuuri ekstsentrilisus ristlõike raksuskeskme suhtes, loetakse positiivseks tõmbevöös asuva pingearmatuuri jaoks. Staatiliselt määramatute elementide puhul eelpingest tingitud hüperstaatiliste momentide mõju tuleks arvesse võtta, muutes vastavalt pingearmatuuri ekstsentrilisust.

(6) 1.1.1(8) kohaseid eelpingestustulemeid tuleks käsitleda avaldises (1.16) kasutatavates M_{Ed} , V_{Ed} ja N_{Ed} väärtustes. Pingearmatuuri kimpudega eelpingestatud elementide korral võib kasuskõrguse d ja armeerimisteguri ρ_l arvutada järgmiselt:

$$d = \frac{d_s^2 \cdot A_s + d_p^2 \cdot A_p}{d_s \cdot A_s + d_p \cdot A_p} \quad (1.17)$$

$$\rho_l = \frac{d_s \cdot A_s + d_p \cdot A_p}{b_w \cdot d^2} \quad (1.18)$$

d ja ρ_l arvutamisel võib eelpingestatud armatuuri A_p ära jätta, kui pingearmatuuri mõju põikjõutugevusele muutub kasuliku kõrgus vähenemise tõttu ebasoodsaks.

MÄRKUS 2 Nakketa ja väliste pingearmatuuri mõju võetakse arvesse koormustes.

(7) Tasapinnalistes elementides, millel on mõlemas suunas erinevad armeerimistegurid, tuleks ρ_l arvutada põikjõudude suhte $v_{Ed,y}/v_{Ed,x}$ funktsioonina:

$$\rho_l = \rho_{l,x} \quad \text{kui } v_{Ed,y}/v_{Ed,x} \leq 0,5 \quad (1.19)$$

$$\rho_l = \rho_{l,x} \cdot \cos^4 \alpha_v + \rho_{l,y} \cdot \sin^4 \alpha_v \quad \text{kui } 0,5 < v_{Ed,y}/v_{Ed,x} < 2 \quad (1.20)$$

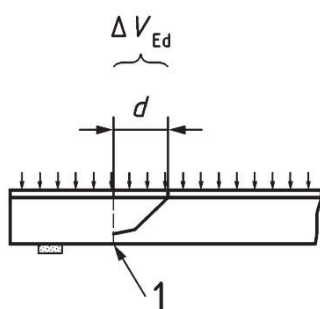
$$\rho_l = \rho_{l,y}$$

$$\text{kui } v_{Ed,y}/v_{Ed,x} \geq 2$$

$$(1.21)$$

kus α_v on määratud 1.1.1(5).

(8) Vastu elemendi tõmmatud võõd suruvate jaotatud koormuste (välja arvatud kõrge vee- või gaasisurve) korral (näit. jaotatud gravitatsioonilised koormused jätkuvate elementide pealispinnal vahetugede lähedal, vt joonis 1.5, või konsoolidel) võib arvutuslikku põikjõudu kontrolllõikes vähendada ΔV_{Ed} võrra. ΔV_{Ed} arvutatakse kontrollristlõike lähedal kui d asuvate jaotatud koormuste summana, kuid mitte suurem kui $1/4$ vastavast jaotatud koormusest tulenevast arvutuslikust põikjõust.



Selgitus

1 Kontrollristlõige

Joonis 1.5 - Elemendi tõmmatud võõle suruv jaotatud koormus, mille võõb lahutada arvutuslikust põikjõõ väärtusest V_{Ed} .

(9) Vastassuundades puhasvahekaugusega $d \leq a_q \leq 2d$ suruvate punktkoormuste korral (nt koormused ja toereaktsioonid, a_q määratlus vt. jooniselt 1.2) võõb nende jõõdude osa nendevahelises arvutuslikus põikjõõs korrutada väärtusega $0,5a_q/d$.

(10) Pikiarmatuuri arvutamiseks tuleks M_{Ed} -epüüri nihutada ebasoodsas suunas d võõra. Alternatiivina võõb paindemomenti suurendada $d \cdot |V_{Ed}|$ võõra.

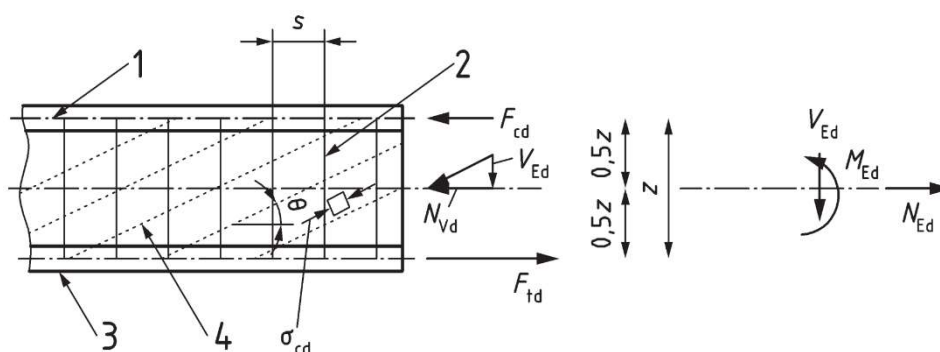
(11) Sissebetoneeritud torud, torude kimbud või plaadi paigaldatavad detailid elemendi pinnas, mis ei ole risti ristlõikega:

- võõb jätta tähelepanuta, kui nende laius ja kõõrgus on väiksemad kui $d/6$
- tuleks arvesse võtta, kui nende laius või kõõrgus on suuremad kui $d/6$. Sellisel juhul efektiivset põikjõõdu vastu võõtvat kõõrgust d tuleks vähendada nendest suurima kõõrguse ja laiuse väärtuse võõra.

Torude kimpe, mille vaba vahekaugus on väiksem kui $0,25d$, tuleks käsitleda üheavana.

1.3 Arvutuslikku põikarmatuuri vajavad elemendid

(1) Põikarmatuuriga elementide arvutamine peaks põhinema sõrestikskeemil (joonis 1.6). Survevarraste kaldenurga θ piirsuurused on toodud 1.3(3). Kaldse põikarmeeringu juhised on toodud punktis 1.3(13).



Selgitus

- 1 Surutud vöö
- 2 Põikarmatuur
- 3 Tõmmatud vöö
- 4 Survevardad (surveväli)

Joonis 1.6 - Põikarmeeringutud elementide arvutusmodel ja tähised

(2) Sisejõu öla z põikjõu arvutustes (joonis 1.6) võib eeldada nagu on kirjeldatud 1.1.1(3).

Väljaspool tõmbetsooni paiknevat pingearmatuuri võib tõmbearmatuuri keskme leidmisel mitte arvesse võtta, eeldusel, et tõmbevöös olev tõmbearmatuur on piisav tõmbejõu F_{td} vastuvõtmiseks vastavalt punktile (8).

(3) Survevälja kaldenurga põikjõudu vastu võtvas tala seinas võib valida järgmises vahemikus:

$$1 \leq \cot \theta \leq \cot \theta_{min} \quad (1.22)$$

kus survevälja minimaalse kaldenurga kootangens $\cot \theta_{min}$ peaks põikarmatuuri klassi B või C korral olema:

- $\cot \theta_{min} = 2,5$ tavaarmeeringuga ilma pikijõuta elementide korral.
- $\cot \theta_{min} = 3,0$ elementide puhul, mis on allutatud olulistele pikisurvele (keskmine pikisurvepinge $\geq |3 \text{ MPa}|$) ja tingimusel, et jaotiste 8.1.1 [1] ja 8.1.2 [1] kohase ristlõike arvutuse põhjal määratud survetsooni kõrgus x on väiksem kui $0,25d$.

Vahepealsetes olukordades võib kasutada interpoleeritud väärtusi vahemikus 2,5 – 3,0. Väga suurte survejõudude puhul ($x > 0,25d$) rakendub punkt 1.3(11).

– $\cot \theta_{min} = 2,5 - 0,1 \cdot N_{Ed} / |V_{Ed}| \geq 1,0$ pikitõmbele allutatud elementide korral.

A venivusklassiga armatuuri korral tuleb $\cot \theta_{min}$ vähendada 20% võrra.

(4) Arvutusliku põikarmatuuri voolamise korral elemendi põikjõukandevõime arvutatakse järgmiselt:

$$\tau_{Rd,sy} = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (1.23)$$

kus põikarmeeringimistegur on määratletud järgmiselt:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} \quad (1.24)$$

Kõikides ristlõigetes kontrollitakse survevälja pinget järgmiselt:

$$\sigma_{cd} = \tau_{Ed}(\cot \theta + \tan \theta) \leq v \cdot f_{cd} \quad (1.25)$$

MÄRKUS 1 Üheaegse põikarmatuuri voolamise ja survevälja purunemise korral tuleneb põikjõukandevõime avaldisete (1.15) ja (1.25) lahendusest järgmiselt:

$$\tau_{Rd} = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \leq \frac{v \cdot f_{cd}}{2} \quad (1.26)$$

kus $\cot \theta$ on võetud avaldisest:

$$\cot \theta_{min} \geq \cot \theta = \sqrt{\frac{v \cdot f_{cd}}{\rho_w \cdot f_{ywd}} - 1} \geq 1 \quad (1.27)$$

Üheaegsel tõmbearmatuuri voolamisel ja survevälja purunemisel tuleneb põikjõukandevõime avaldisete (1.23) ja (1.34) lahendusest, kus $F_{td} = A_{st} \cdot f_{yd}$.

(5) Väärtust $v = 0,5$ võib kasutada punktis 1.3(3) toodud kaldenurkade kasutamisel.

(6) Väiksemaid, kui θ_{min} elemendi survevälja kaldenurki või teguri v suuremaid väärtusi, kui punktis (5) toodud, võib kasutada tingimusel, et armatuuri venivusklass on B või C ja teguri v väärtus on arvutatud deformatsioonide alusel järgmiselt:

$$v = \frac{1}{1,0 + 110 \cdot (\varepsilon_x + (\varepsilon_x + 0,001) \cdot \cot^2 \theta)} \leq 1 \quad (1.28)$$

kus ε_x on alumise ja ülemise vöö keskmine deformatsioon, mis on arvutatud mitte lähemal kui $0,5 \cdot z \cdot \cot \theta$ toest või punktkoormusest asuva lõike kohta:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_{xt} + \varepsilon_{xc}}{2} \geq 0 \quad (1.29)$$

kus, eeldades elastset toimimist,

$$\varepsilon_{xt} = \frac{F_{td}}{A_{st}E_s} \quad (1.30)$$

Kus

$$\varepsilon_{xc} = \frac{F_{cd}}{A_{cc}E_c} \quad \text{kui paindesurvevöö on surves} \quad (1.31)$$

$$\varepsilon_{xc} = \frac{-F_{cd}}{A_{sc}E_s} \quad \text{kui paindetõmbevöö on tõmbes } (F_{cd} < 0) \quad (1.32)$$

kus

F_{td} ja F_{cd} on jõud vöödes vastavalt joonisele 1.6 ja avaldisetele (1.34) ja (1.35);

A_{st} ja A_{sc} on pikiarmatuuride pindalad vastavalt paindetõmbevöös ja paindesurvevöös;

A_{cc} on paindesurvevöö pindala.

Pikiarmatuuride pindalad A_{st} ja A_{sc} pingearmatuuri kimpudega eelpingestatud elementides võivad olla vastavalt suurendatud $A_p(1/2 + e_p/z)$ ja $A_p(1/2 - e_p/z)$ võrra, kus pingearmatuuri ekstsentrilisus e_p on positiivne tõmmatud vöö poolel.

MÄRKUS 2 Suurte $\cot \theta$ väärtuste korral võib elemendi seinaga pragunemine kasutusolukorras saada määravaks (vt 9.2.4 (6) [1]).

(7) Piirkondades, kus ei ole V_{Ed} katkestust (nt. ülaossa rakendatud ühtlaselt jaotatud koormuse korral), võib põikarmatuuri mis tahes pikkuses lõigus $l = z \cdot \cot \theta$ arvutada kasutades vähimat V_{Ed} väärtust selles lõigus (välja arvatud kõrge vee- või gaasirõhu all olevad elemendid).

(8) Põikjõust V_{Ed} tulenevat täiendavat pikitõmbejõudu N_{Vd} võib arvutada järgmiselt:

$$N_{Vd} = |V_{Ed}| \cdot \cot \theta \quad (1.33)$$

Selle jõu võib lisada mõlemale vööle, nii, et vööde jõud F_{td} ja F_{cd} (joonis 1.6) on:

$$F_{td} = \frac{M_{Ed}}{z} + \frac{N_{Vd} + N_{Ed}}{2} \leq \frac{M_{Ed,max}}{z} + \frac{N_{Ed}}{2} \quad (1.34)$$

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z} - \frac{N_{Vd} + N_{Ed}}{2} \quad (1.35)$$

kus $M_{Ed,max}$ on maksimaalne moment elemendi ulatuses ja sisejõud (N_{Ed}, V_{Ed} ja M_{Ed}) on rakendatud kõrgusega z elemendi seinaga keskpunkti, nagu on näidatud joonisel 1.6. Alternatiivselt, tõmmatud vöö võib arvutada nihutades M_{Ed} -epüüri vastavalt 12.3.3.

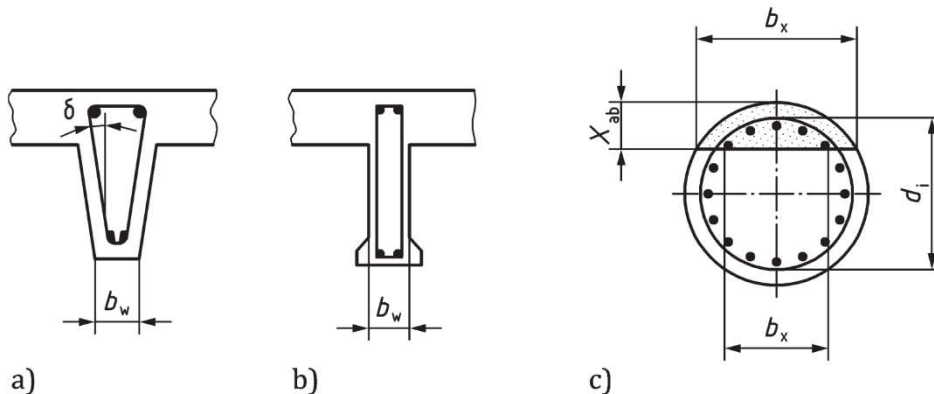
Jõudu N_{Vd} võib täielikult või osaliselt kanda ka seina pikiarmatuur. Sellisel juhul võib N_{Vd} väärtust avaldistes (1.34) ja (1.35) vastavalt vähendada.

(9) Muutuva laiusega ristlõigetes:

- b_w on ristlõike vähim laius tõmmatud vöö neutraaltelje vahel (joonised 1.7a) ja b))
- avaldises (1.24) kasutatavat pindala A_{sw} tuleb korrutada $\cos \delta$ (joonis 1.7a).

Ümarristlõigete puhul:

- pindala A_{sw} tuleks korrutada jagatisega b_w/D_h (joonis 1.7c)), kus D_h on ringi läbimõõt;
- z põhineb ristlõikel, mis on mahutatud ringristlõikesse, nagu näidatud joonisel 1.7c), kus ringi segment kõrgusega x_{sb} on survevöö pindala ja tõmbevardad laiusel b_w määravad tõmbevöö. Laiuse b_w saab vabalt valida, täites tasakaalu- ja kandevõime tingimusi, kuid mitte suurem kui D_h .



Joonis 1.7 – Laiuse b_w määratlus muutuva laiusega ristlõigete puhul

(10) Kui elemendi sein sisaldab kanaleid läbimõõduga $\phi_{duct} > \sum b_w/8$, tuleb pinge surveväljas vastavalt avaldisele (1.25) ja põikkandevõime τ_{Rd} vastavalt avaldisele (1.26) ja (1.27) arvutada elemendi nominaalse laiusega, mis on antud järgmiselt:

$$b_{w,nom} = b_w - k_{duct} \sum \phi_{duct} \quad (1.36)$$

kus ϕ_{duct} on kanali välisläbimõõt ja $\sum \phi_{duct}$ määratakse kõige ebasoodsama taseme jaoks. Teguri k_{duct} väärtust tuleks hinnata sõltuvalt kanali materjalist ja täitest järgmiselt:

- $k_{duct} = 0,5$ mördiga täidetud teraskanalite korral;
- $k_{duct} = 0,8$ mördiga täidetud plastkanalite korral, mille seinapaksus on $\leq \max(0,035\phi_{duct}; 2mm)$;

- $k_{duct} = 1,2$ täitmata kanalite korral ja täidetud plastkanalite korral, mille seinapaksus on $> \max(0,035\varphi_{duct}; 2mm)$ või pehme täitematerjaliga täidetud kanalite korral.

Põikarmatuurita põikjõukandevõime kontrollimisel ei saa kanalite kaasatöötamist arvestada, välja arvatud juhul, kui kanalid on mördiga täidetud.

(11) Pikisurvejõuga N_{Ed} koormatud elementide korral saab osa telgjõust, mis on tähistatud N_{Edw} , vastu võtta nihketsooniga (seinaga). Kui $-N_{Edw} \leq |V_{Ed} \cdot \cot \theta|$ ja $\cot \theta$ vastab punktis (3) toodud soovituslikele väärtustele, peaks nihketsoon olema arvutatud punktides (4) kuni (6) kirjeldatud viisil, kusjuures vööde jõudude arvutamiseks kasutavates avaldistes (1.34) kuni (1.35) tuleks avaldisega (1.33) arvutatav jõud asendada suurusega $N_{Vd} = V_{Ed} \cot \theta + N_{Edw}$. Muudel juhtudel tuleb nihketsooni jaoks kasutada Lisas G arvutusmeetodit kirjeldatud.

Suurtele pikijõududele allutatud elementide korral tuleks N_{Edw} valida nii, et $N_{Ed} + N_{Vd}$ ja M_{Ed} kandvate surutud vööde kõrgus (st. x_{sb}) ei oleks suurem kui $0,25d$.

(12) Juhtudel, kui punktkoormus rakendatakse toest kaugusel $a_v = z \cdot \cot \beta$, mis on väiksem kui $z \cdot \cot \beta$ (joonis 1.8), võib põikjõukandevõimet suurendada vastavalt:

$$\tau_{Rd} = v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta - \cot \beta}{1 + \cot^2 \theta} + \rho_w \cdot \cot \theta \cdot f_{ywd} \leq v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (1.37)$$

MÄRKUS 1 Maksimaalse põikjõutugevust saab arvutada optimeerimise teel, muutes $\cot \theta$. Konstantse v väärtuste korral punkti (5) järgi saadakse optimaalne väärtus järgmisega:

$$\cot \theta = \cot \beta + \sqrt{1 + \cot^2 \beta} \leq \cot \theta_{min}$$

Muutuva v väärtuste korral punkti (6) järgi saadakse mõistlik lähendus eeldades et:

$$\cot \theta = 1,3 \cdot a/z$$

kuid mitte suurem kui $\cot \theta$ vastavalt avaldisele (1.27).

Survevälja kalded $\cot \theta < 1$ on lubatud, kui voolavuspiir f_{ywd} avaldisetes (1.38) ja (1.40) on asendatud põikarmatuuri pingega σ_{ywd} vastavalt järgmisele:

$$\sigma_{ywd} = E_s [\cot^2 \theta \cdot (\varepsilon_x + 0,001) - 0,001] \leq f_{ywd} \quad (1.38)$$

kus pikideformatsiooni ε_x võib arvutada punkti (6) kohaselt toe ja koormuse vahekauguse keskel asuva ristlõike jaoks.

Lisaks pikitõmbejõule N_{Vd} , mis tuleneb põikjõust V_{Ed} vastavalt avaldisele (1.34), tuleb M_{Ed} väärtusele avaldisetes (1.35) kuni (1.36) kasutamisel lisada ka ΔM_{Ed} väärtus, mis arvutatakse järgmiselt:

$$\Delta M_{Ed} = \left(V_{Ed} - \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{wyd} \cdot \cot \theta \right) \left(\frac{a}{2} + x \right) \quad (1.39)$$

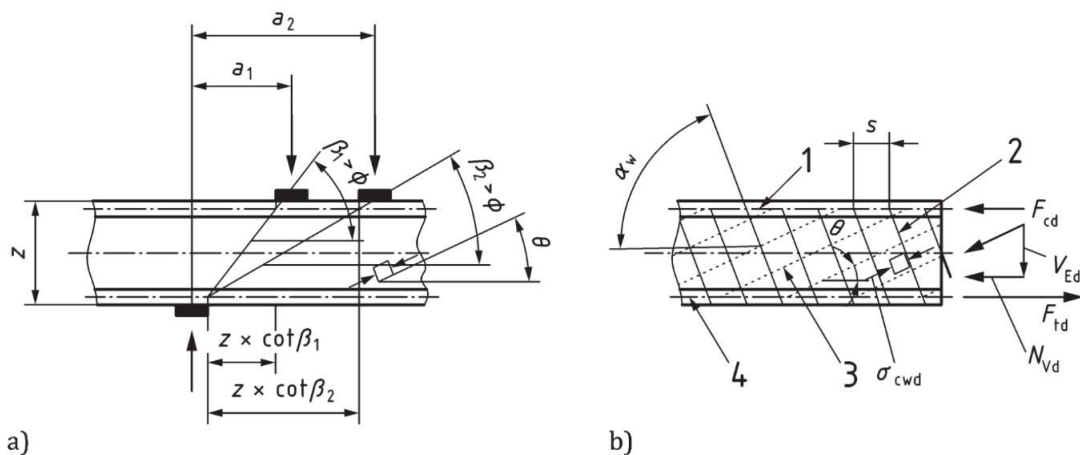
kus

a on kaugus toe telje ja punktkoormuse vahel (vt. joonis 1.8a));

x on kaugus toe ja vaadeldava ristlõike vahel.

MÄRKUS 1 Vööde jõudude F_{td} ja F_{cd} suurenemine põikjõu tõttu vastavalt avaldisetele (1.34) ja (1.40) põhineb eeldusel, et toepiirkonnas on surveväli konstantse kaldenurgaga θ . Muid tasakaalutingimusi järgivaid lahendusi saab kavandada vastavalt jaotisele 8.5 [1] (vt joonis 8.26b [1]).

Kahe või enama punktkoormuse korral kaugusel $z \cdot \cot \theta$ tuleb kontrollida kõiki võimalikke kriitilisi kaldeid β vastavalt joonisele 1.8a).



a) punktkoormuste olemasolul tugede läheduses

b) sõrestikmudel ja tähistus kaldse põikarmatuuriga elementide korral

Selgitused

- 1 Survevöö
- 2 Põikarmatuur
- 3 Survevarras (surveväli)
- 4 Tõmbevöö

Joonis 1.8 – Kaldenurkade β määratlus

(13) Kaldse põikarmatuuriga ($45^\circ \leq \alpha_w \leq 90^\circ$ kus α_w on positiivne, nagu näidatud joonisel 1.8b) elementide puhul avaldised (1.22), (1.23), (1.25) ja (1.33) tuleks vastavalt asendada avaldisetega:

$$\tan \frac{\alpha_w}{2} \leq \cot \theta \leq \cot \theta_{min} \quad (1.40)$$

$$\tau_{Rd,sy} = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha_w) \cdot \sin \alpha_w \quad (1.41)$$

$$\sigma_{cd} = \tau_{Ed} \frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta + \cot \alpha_w} \leq v \cdot f_{cd} \quad (1.42)$$

$$N_{Vd} = V_{Ed} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha_w) \quad (1.43)$$

Nurki $\alpha_w > 90^\circ$ tuleb vältida. Spiraalse armeerimise puhul võib α_w eeldada mõlema haru keskmise nurgana, eeldusel, et mõlema haru kalde erinevus ei ole suurem kui 20° .

Valem (1.37) tuleks asendada järgmise avaldisega:

$$\tau_{Rd} = v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta - \cot \beta}{1 + \cot^2 \theta} + \rho_w \cdot (\cot \theta + \cot \alpha_w) \cdot \sin \alpha_w \cdot f_{ywd} \leq v \cdot f_{cd} \frac{\cot \theta + \cot \alpha_w}{1 + \cot^2 \theta} \quad (1.44)$$

Survevälja kalded $\cot \theta < \tan(\alpha_w/2)$ on lubatud, kui voolavuspiir f_{ywd} avaldises (1.45) on asendatud põikarmatuuri pingega σ_{ywd} vastavalt avaldisele:

$$\sigma_{ywd} = E_s \left[(\varepsilon_x + 0,001) \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha_w)^2}{1 + \cot^2 \alpha_w} - 0,001 \right] \leq f_{ywd} \quad (1.45)$$

2 LÄBISURUMISKANDEVÕIME ARVUTAMINE

prEN 1992-1-1:2021 [1] JÄRGI

2.1 Kontrolli üldmetoodika

(1) Käesolevas jaotises toodud eeskirjad täiendavad jaotises 1 tooduid ja käsitlevad läbisurumist täisplaatides ning ribiplaatide kahesuunaliste talade toetumiskohtade täisalades (postid, kapiteelid, seinad). Edaspidi esitatud reeglid kehtivad analoogselt ka tasapinnaliste elementide ja (postaluste) vundamentide koormatud alade puhul.

(2) Läbisurumiskandevõimet tuleks kontrollida vastavalt järgmisele protseduurile:

(i) Läbisurumiskandevõime täpsem kontroll võib ära jätta, kui kontrollperimeetrist väljaspool on täidetud järgmine tingimus:

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,min} \quad (2.1)$$

vastavalt punktile 1.1(4)

(ii) Läbisurumisarmatuuri võib ära jätta, kui on täidetud järgmine tingimus:

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c} \quad (2.2)$$

vastavalt jaotisele 2.3

(iii) Piirkondades, kus läbisurumisarmatuur on vajalik ($\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c}$), peaks olema täidetud tingimus

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,max} \quad (2.3)$$

Vastavalt punktile 2.4(3)

(iv) Läbisurumisarmatuur peab olema projekteeritud nii, et oleks täidetud tingimus

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,cs} \quad (2.4)$$

vastavalt jaotisele 2.4 ning olema kooskõlas 12.4.2 [1] konstrueerimisjuhistega

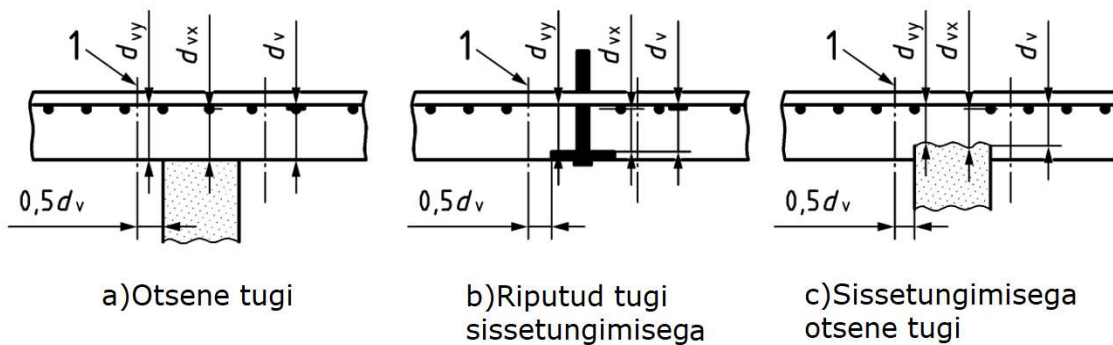
(v) Kui läbisurumisarmatuur on vajalik, siis välimine kontrollperimeeter, kus see armatuuri ei ole enam vajalik, peab olema kontrollitud vastavalt 2.4(4).

2.2 Läbisurumise kasuskõrgus, kontrollperimeeter ja nihkepinge

(1) Plaadi kasuskõrguse d_v võib võtta kaugusena toelast kuni armatuurikihtide keskmise tasemeni, vt joonis 2.1.

$$d_v = \frac{d_{vx} + d_{vy}}{2} \quad (2.5)$$

MÄRKUS 1 d_{vx} ja d_{vy} väärtusteks võib kasutada kasuskõrguse nominaalväärtust d_{nom} või arvutuslikku väärtust d_d (vt A(6)). Rahvuslik Lisa võib anda juhiseid d_d kasutamiseks.



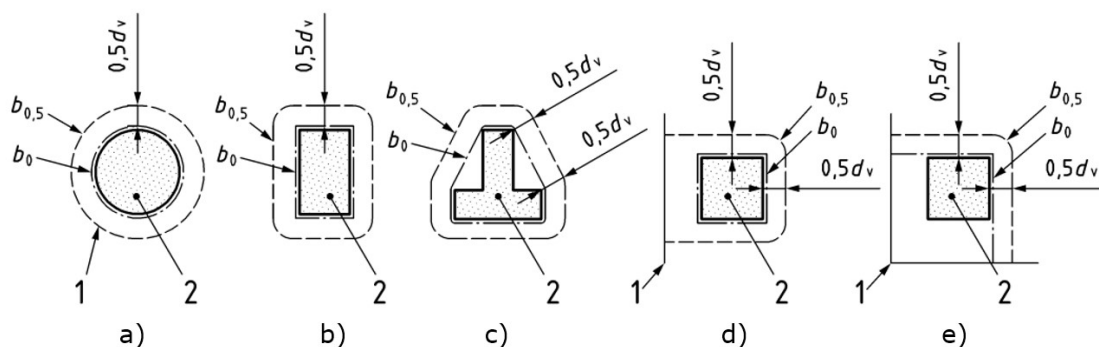
Selgitus

- 1 Kontrollperimeeter

Joonis 2.1 – Plaadi kasuskõrgus d_v arvestades koormatud ala efektiivset taset

MÄRKUS 2 Joonis 2.1c) näitab juhtumit, kus d_{vx} ja d_{vy} väärtusteks võib võtta kasuskõrguse nominaalväärtuse d_{nom} või arvutusliku väärtuse d_d (vt A(6)) d_d kasutamise juhendeid võib leida Rahvusliskus Lisas [1].

(2) Kontrollperimeetri võib tavaliselt võtta kaugusel $0,5d_v$ toela servast ja peaks olema konstrueeritud nii, et minimeerida $b_{0,5}$ (vt joonis 2.2). Läbisurumiskandevõime arvutamiseks posti serva kohal kasutatakse samuti minimaalset perimeetrit b_0 , vastavalt joonistele 2.2(c), (d) ja (e).



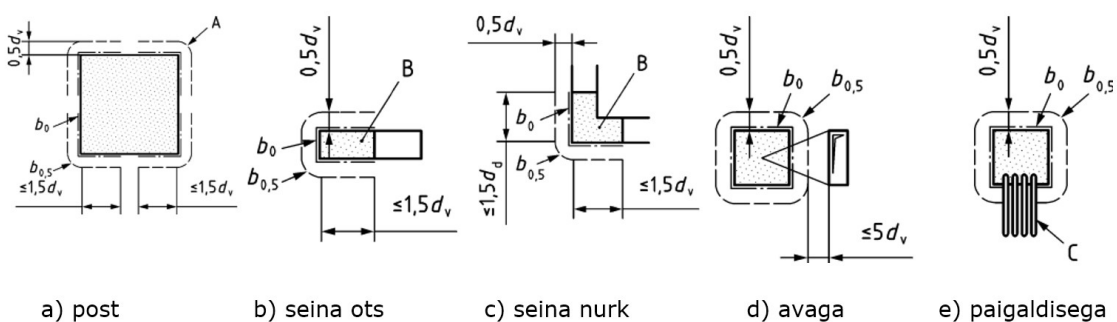
Selgitus

- 1 Kontroll perimeeter

- 2 Koormatud ala
- 3 Plaadi serv

Joonis 2.2 – Tüüpilised kontrollperimeetrid $b_{0,5}$ ja b_0 toetalade ümber

(3) Nihkejõudude kontsentreerumist suurte toetalade nurkades saab võtta arvesse kontrollperimeetri vähendamisega, eeldades, et selle sirged lõigud ei ületa ühelgi serval $3d_v$ (vähendatud kontrollperimeeter on näidatud joonisel 2.3a)). Ilma detailse analüüsita tuleks suurte postide korral arvestada ainult vähendatud kontrollperimeetriga. Seinte otste ja nurkade juures tuleks läbisurumiskandevõimet kontrollida joonistel 2.3a) ja 2.3b) määratletud toetaladele kantavate koormustega, kusjuures toetaldest väljaspool kantavat koormust peaks kontrollima nihkele vastavalt 1.1 ning 1.2.



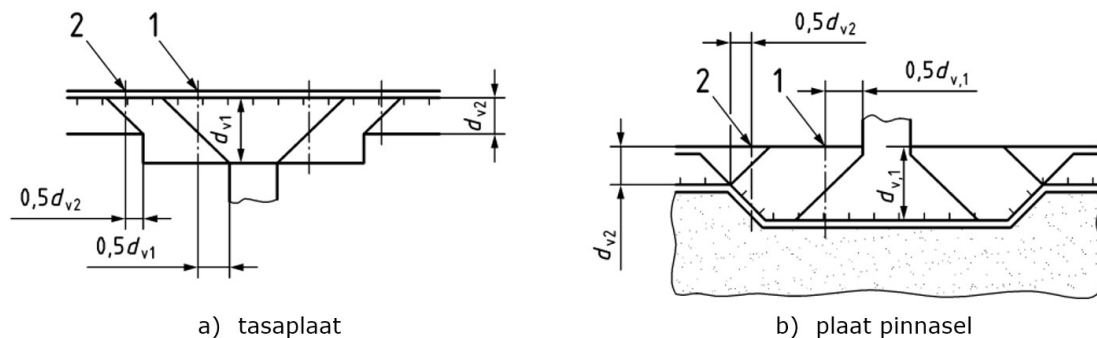
Selgitus

- A. Kontrollperimeeter
- B. Toeala
- C. Paigaldised

Joonis 2.3 – Kontrollperimeetri $b_{0,5}$ pikkus suurte koormatud alade ümber ning tühimikude ja sisestuse lähedal

(4) Avade ja paigaldiste mõju kontrollperimeetrist kaugusel $> 5d_v$ võib tähelepanuta jätta. Vastasel korral kontrollperimeetri osa, mis asub koormatud ala tsentrist ava kontuurile joonistatud kahe puutujate vahel, tuleks käsitleda ebaefektiivse alana (vt joonis 2.3(d) ja (e)).

(5) Muutuva kõrgusega plaatide korral tuleks kontrollida ka koormatud alast suuremal kaugusel asuvaid kontrollperimeetreid ja valida tuleks ainult väikseimat kandevõimet omav kontrollperimeeter. Vastava põikjõukandevõime kasuskõrguse d_v võib valida vastavalt joonisele 2.4.



Selgitus

- 1 kontrollperimeeter 1
- 2 kontrollperimeeter 2

Joonis 2.4 – Muutuva kõrgusega elementide kontrollperimeeter ja põikjõukandevõime kasuskõrgus

(6) Arvutuslik nihkepinge τ_{Ed} võib määrata järgmiselt:

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} \cdot d_v} \quad (2.6)$$

kus

$b_{0,5}$ on kontrollperimeetri pikkus

V_{Ed} on arvutuslik põikjõud vastaval kontrollperimeetril (arvutusliku põikjõu V_{Ed} arvutamiseks kontrollperimeetril võib kõik tasapinnalise elemendi tõmmatud poolel mõjuvad soodsad jõud, vundamentidele ja põhjaplaatidele mõjuvad pinnase reaktsioonid ning suunamuudujõud järelpingestatud plaatides toela keskel põikjõust maha arvata). Vundamentide või pinnasele toetuvate põikarmatuurita plaatide korral võib pinnase reaktsioon σ_{gd} maha arvata kuni kauguseni $0,67d_v$ postist;

β_e on tegur, mis arvestab nihkejõudude kontsentratsiooni, mida saab leida tabelis 2.1. Sisemiste, serva- ja nurgapostidele vastavaid ligikaudseid väärtusi saab kasutada ainult siis, kui on tagatud järgmised tingimused:

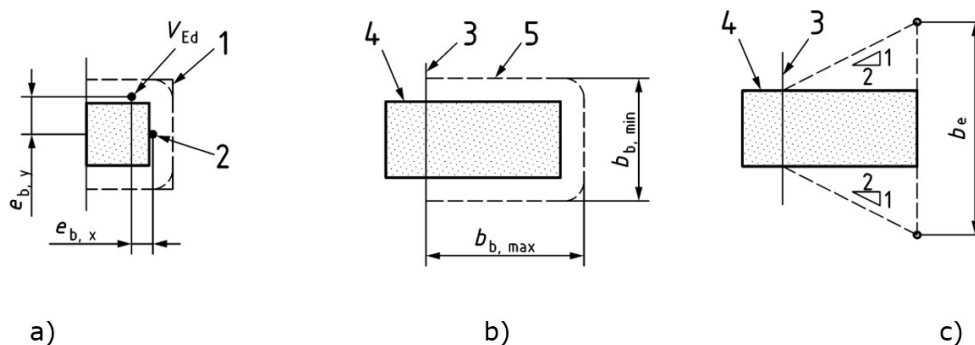
- külgstabiilsus ei sõltu postide ja plaatide raamina töötamisest,
- naabersillete pikkuserinevus on vähem kui 25%,
- plaadile mõjuvad ainult ühtlaselt jaotatud koormused,
- serva- ja nurgapostidele üle kantud moment ei ole suurem kui $M_{td,max} = 0,25b_e \cdot d^2 \cdot f_{cd}$, kus laius b_e on määratletud joonisel 2.5c)

Vastasel korral tuleks kasutada täpsustatud väärtusi. Täpsustatud väärtusi võib kasutada ka juhtudel, mis on kooskõlas ülalkirjeldatud tingimustega, et teha täpsemaid arvutusi.

Tabel 2.1 – Nihkejõudude kontsentratsiooni mõju arvestav tegur β_e

Tugi	Ligikaudne väärtus	Täpsustatud väärtus ^a
sisemised postid	$\beta_e = 1,15$	$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b}$ kus $e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$ kus $e_b = 0,5(e_{b,x} + e_{b,y})$ kus $e_b = 0,27(e_{b,x} + e_{b,y}) \leq 0,45 \cdot b_b$
servapostid	$\beta_e = 1,4$	
nurgapostid	$\beta_e = 1,5$	
seinte otsad		$\beta_e = 1,4$
seinte nurgad		$\beta_e = 1,2$

^a $e_{b,x}, e_{b,y}$ on nihkejõu resultandi eksentrilisuse komponendid kontrollperimeetri keskpunkti suhtes. mida saab lihtsustada, asendades ringi osi nurkadega (vt. joonis 2.5) ning mille sirged osad ei ole piiratud $3d_v$ vastavalt;
 b_b on kontrollperimeetri väikseima ja suurima laiuse geomeetiline keskmine, näidatud (b):

$$b_b = \sqrt{b_{b,min} \cdot b_{b,max}}$$


- a) eksentrilisuse e_b definitsioon
 b) kontrollperimeetri kogulaiuste $b_{b,min}$ ja $b_{b,max}$ definitsioon
 c) laiuse b_e definitsioon servapostide korral

Selgitus

- V_{Ed} nihkejõudude resultant
 1 lihtsustatud kontrollperimeeter keskpunkti arvutamiseks
 2 terve kontrollperimeetri keskpunkt
 3 plaadi serv
 4 post
 5 kontrollperimeeter

Joonis 2.5 – Servapostide eksentrilisus ja kontrollperimeeter tabelis 2.1

(7) Arvutusliku nihkepinget τ_{Ed} võib arvutada ka otseselt nihkepinge täpsemast jaotumisest mööda kontrollperimeetrit:

$$\tau_{Ed} = \frac{\vartheta_{Ed}}{d_v} \quad (2.7)$$

kus nihkejõudu laiuseühiku kohta ϑ_{Ed} saab keskmistada vastavalt 1.1(6).

MÄRKUS 1 d_v kohta vt 2.2(6).

(8) Juhtudel, kui märkimisväärsed punktroomused ($> 0,2V_{Ed}$) on rakendatud toela juures (lähemal, kui $3d_v$ kontrollperimeetrist) või juhtudel, mis ei ole käsitletud 2.2(6) ja 2.2(7), võib arvutusliku nihkepinge τ_{Ed} (keskmine väärtus läbi kõrguse) arvutada kontrollperimeetri asukohas, kasutades meetodit, mis arvestab plaadi tasakaalu- ja ühilduvustingimusi (näiteks lineaarlastne arvutus).

(9) Nihkejõudude kontsentratsiooni korral võib maksimaalväärtuse keskmistada üle mitte suurema laiuse, kui $2d_v$, nihkejõu tipust mõlemal pool.

2.3 Põikarmeerimata tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime

(1) Arvutuslik läbisurumiskandevõime arvutatakse järgmiselt:

$$\tau_{Ed} = \frac{0,6}{\gamma_V} \cdot k_{pb} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,6}{\gamma_V} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.8)$$

kus

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}} \quad (2.9)$$

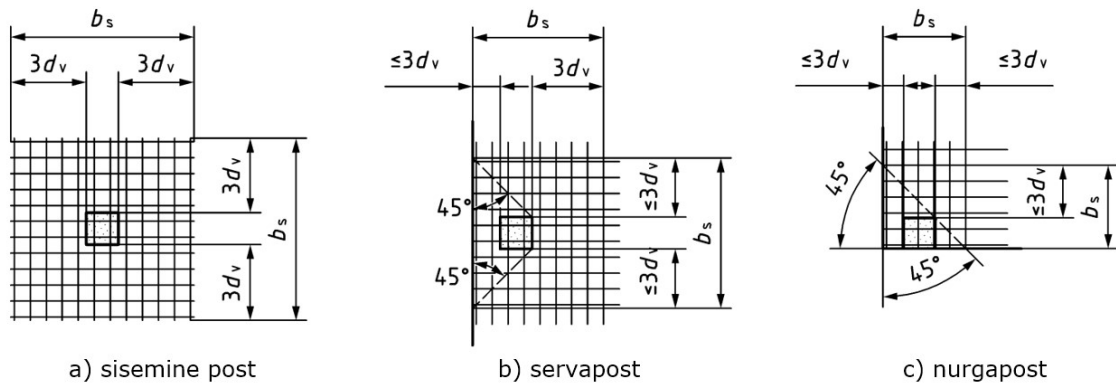
$\rho_{l,x}, \rho_{l,y}$ on nakkega paindearmatuuri armeerimistegurid x- ja y-suunas vastavalt. $\rho_{l,x}$ ja $\rho_{l,y}$ väärtused peaksid olema arvutatud kui keskmistatud väärtustena laiuse b_s ulatuses, määratletud joonisel 2.6;

d_{dg} on määratletud 1.1(4);

k_{pb} on läbisurumiskandevõime gradiendi suurenedamise tegur, mida saab arvutada:

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5 \quad (2.10)$$

d_v arvutatakse vastavalt 2.2(1).



Joonis 2.6 – Laiuse b_s määratlus

(2) Kauguste korral, mis on toela keskpunkti ja vaadeldava koormuskombinatsiooni nullmomendipunkti a_p vahel ja on väiksemad kui $8d$, võib d_v väärtuse avaldises (2.8) asendada:

$$a_{pd} = \sqrt{\frac{a_p}{8} \cdot d_v} \quad (2.11)$$

kus

$$a_p = \sqrt{a_{p,x} \cdot a_{p,y}} \geq d_v a_{pd} = \sqrt{\frac{a_p}{8} \cdot d_v} \quad (2.12)$$

$a_{p,x}, a_{p,y}$ on suurimad kaugused kontrollperimeetri tsentrist (mida saab lihtsustada vastavalt joonisele 2.5a)) kahe punktini (x- ja y-telgedel vastavalt), kus vastavad paindemomendid $m_{Ed,x}$ ja $m_{Ed,y}$ on nullid. Kaugusi $a_{p,x}$ ja $a_{p,y}$ saab arvutada vastavalt joonisele 2.5a) või kasutades elastset (pragunemata) mudelit. Lokaalne teljestiku (x,y) nullpunkt on toela tsentris ja langeb kokku armeerimise suunadega (peasuunad, kui kihid pole ortogonaalsed).

(3) Regulaarsete tasaplaatide korral, kus külgstabiilsus ei sõltu postide ja plaatide raamina koostöötamisest, ning mis täidavad tingimust $0,5 \leq L_x/L_y \leq 2$, võib a_p väärtuse ligikaudselt eeldada $a_{px} \approx 0,22L_x$ või $a_{py} \approx 0,22L_y$, vastavalt x- ja y-suunas. Erinevate sillete pikkustega jätkuvplaatides tuleks arvestada vaadeldava postiga külgnevate väljade suurimat sillet. Nurgapostide ja servaga risti olevate servapostide korral võib ohutu a_p väärtuse saada, arvestades silteid servavälja mõlemas suunas.

(4) Pikikoormusega või eelpingestatud plaatide puhul võib avaldise (2.10) k_{pb} väärtuse läbi korrutada teguriga k_{pp} :

$$k_{pp} = k_N \quad \text{pikisurve korral (nt. eelpingestatud)} \quad (2.13)$$

$$k_{pp} = 1/k_N \quad \text{pikitõmbe korral} \quad (2.14)$$

$$k_N = \sqrt{1 + 1,2 \cdot \frac{b_{0,5}}{\mu_p \cdot d_v} \frac{|\sigma_d|}{\sqrt{f_{ck}}}} \quad (2.15)$$

kus σ_d on keskmine pingeline laiusel b_s , määratletud joonisel 2.6.

Kahe suunas mõjuvate erinevate pingete puhul saab kasutada keskmist väärtust

$$k_{pp} = \sqrt{k_{pp,x} \cdot k_{pp,y}} \quad (2.16)$$

kus $k_{pp,x}$ ja $k_{pp,y}$ on tegurid, mis arvestavad pikipingete olemasolu x- ja y-suundadel.

Ekstsentriliste pingetrossidega eelpingestatud plaatide korral võib pingetrosside ekstsentrilisuse soodsa mõju tasandelemendi tõmbepoolel arvesse võtta teguriga:

$$k_N = \sqrt{1 + 1,2 \cdot \frac{b_{0,5}}{\mu_p \cdot d_v} \frac{|\sigma_d|}{\sqrt{f_{ck}}} \left(1 + 6 \frac{e_p}{d}\right)} \quad (2.17)$$

kus e_p on pingevarraste ekstsentrilisus toela teljel ristlõike raskuskeskme suhtes, positiivne tõmmatud poolel olevate pingetrossidele. Staatiliselt määramatutes plaatides tuleks eelpingestamise tõttu tekkivate hüperstaatiliste momentide mõju tuleks arvestada vähendades vastavalt pingetrosside ekstsentrilisust.

Nakkega pingearmatuuriga eelpingestatud plaatide puhul tuleks avaldises (2.8) kasutatavat kasuskõrgust d_v ja pikiarmeermistegurit ρ_l arvutada mõlemas suunas vastavalt 1.2(6) ning keskmistada kasutades avaldise (2.5) ja (2.9).

Arvesse tuleks võtta ka tõmbejõudude negatiivset mõju plaadis ($k_{pp} < 1$).

2.4 Arvutusliku põikarmatuuriga tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime

(1) Kui põikarmatuur on vajalik, tuleks see arvutada vastavalt:

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} \geq \rho_w \cdot f_{ywd} \quad (2.18)$$

kus

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}} \quad (2.19)$$

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{3/2} \leq 0,8 \quad (2.20)$$

kus

d_{dg} on määratud 1.1(4)

ρ_w on põikarmeermistegur uuritavas kontrollperimeetris $s_r \cdot s_t$ (2.21)

- A_{sw} on põikarmatuuri ühe lõike ristlõikepindala
- s_r on radiaalne põikarmatuuri vahekaugus ($s_r = s_1$ vt joonis 2.8); ühtlaselt jaotatud ja 12.4.2 tingimusi täitva põikarmatuuri korral võib ρ_w arvutada otseselt põikarmatuuride vahekauguste abil mõlemas suunas. Ühe rea ülespöõretega varraste kasutamisel võib võtta $s_r = 0,67d_v$.
- s_t on uuritaval kontrollperimeetril mõõdetud põikarmeermisperimeetrite keskmine tangentsiaalne vahekaugus, (kontrollperimeetri pikkus jagatud radiaalse või ristküjulisel asetusega põikarmatuuri ristuvate ridade arvuga).

(2) Kaldset põikarmatuuri kasutamisel:

- avaldises (2.19) kasutatavat suurust ρ_w võib korrutada teguriga $(\sin \alpha_w + \cos \alpha_w)$;
- avaldisega (2.21) arvutatud tegurit η_c võib korrutada teguriga $(\sin \alpha_w + \cos \alpha_w) \cdot \sin \alpha_w$ (arvestades, et $\eta_s \leq 0,8$)

(3) Läbisurumiskandevõime peab olema piiratud maksimumväärtusega:

$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c} \quad (2.22)$$

kus tegur η_{sys} vastavalt avaldisele (2.23) arvestab kasutatavate läbisurumisarmatuuri süsteemide mõju:

$$\eta_{sys} = 1,15 \frac{d_{sys}}{d_v} + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} - 0,85 \frac{s_0}{d_{sys}} \quad (2.23)$$

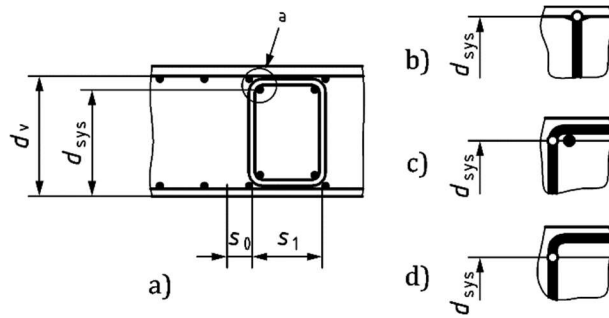
kus d_{sys} ja s_0 on määratletud joonisel 2.7. Muutuva vahekauguse s_0 korral tuleks avaldises (2.23) kasutada selle keskmist väärtust kontrollperimeetri ulatuses.

Kui põikarmeermiseks on kasutatud kindlad tooted, tuleb η_{sys} määrata katsetega vastavalt asjakohasele Euroopa hindamisdokumendile (EAD).

Sisemiste postide läbisurumiskandevõime maksimumväärtust $\tau_{Rd,max}$ saab korrutada teguriga η_{pb} võttes arvesse mebraanmõju, tingimusel, et:

- kontrollperimeetrist $b_{0,5}$ kaugusel mitte vähem kui $5d_v$ ei ole märkimisväärseid avasid, paigaldisi ega plaadi servasid; ning
- tegur η_{pb} ei ole juba arvestatud $\tau_{Rd,c}$ määramisel vastavalt I.8.5.1(1) [1].

MÄRKUS 1 Tegur $\eta_{pb} = 1,0$ uute konstruktsioonide puhul ja η_{pb} vastavalt I.8.5.1(1) [1] olemasolevate konstruktsioonide puhul, kui Rahvuslikus Lisa sei ole määratud teisiti.



- a) vt sõlmed b) kuni d)
 b) Varda ülemine ots
 c) Paindekoha sees oleva armatuuri kesktelje asukoht
 d) Painde algus

Joonis 2.7 - d_{sys} parameetri määratlus

(4) Välist kontrollperimeeterit, kus põikarmatuur ei ole enam vaja, (vt joonis 2.8) võiks arvutada järgmiselt:

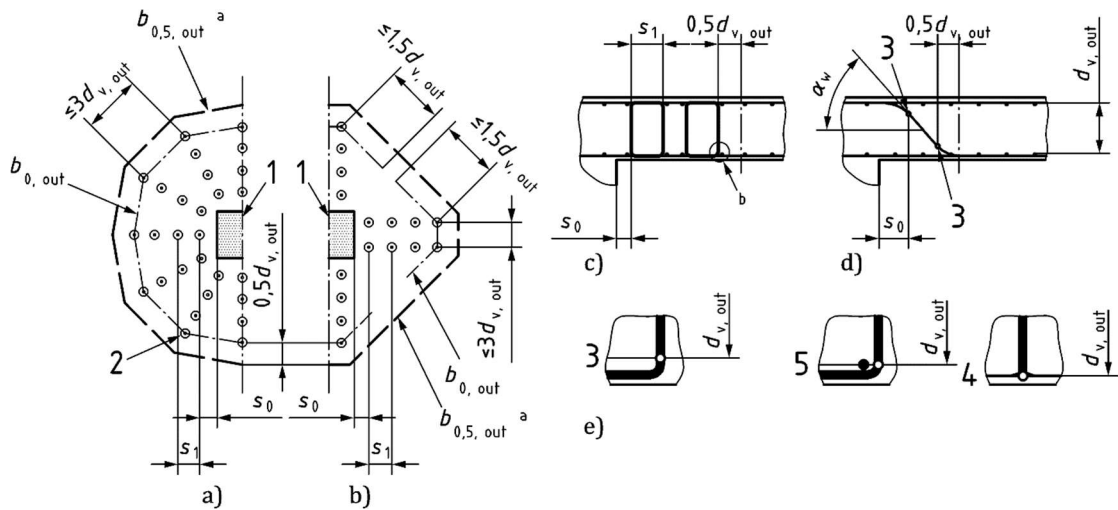
$$b_{0,5,out} = b_{0,5} \cdot \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.24)$$

kus

$d_{v,out}$ on põikjõu kandev välimine kasuskõrgus vastavalt joonisele 2.8

η_c on määratud valemis (2.19).

Väline põikarmeeringu preimeeter tuleks asetada mittekaugemale, kui $0,5d_{v,out}$ välimisest kontrollperimeetrist vastavalt joonisele 2.8



- a) radiaalne asetis
- b) ristikujuline asetis
- c) rangide või tüüblite kasuskõrgus
- d) ülespoorete põikjõukandevõime kasuskõrgus
- e) $d_{v, out}$ määratlus erinevates sõlmedes

Selgitus

- X. välimine kontrollperimeeter
- 1. toeala (post või sein ots)
- 2. põikiarmatuur
- 3. paindekoha piir
- 4. varda alumine ots
- 5. Paindekoha sees oleva armatuuri keskelje asukoht

Joonis 2.8 – Kontrollperimeetrid väljaspool põikarmeeritud piirkonda

3 NÄIDISARVUTUSED

3.1 Materjali iseloomustatavad näitajad

Näidiselementide arvutustes on kasutatud C25/30 betoon (XC1; XM1; XRC5), mille tähtsaimad näitajad on:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_C = 1,5$$

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

kus

$$\eta_{cc} = \text{Min} \left\{ \left(\frac{40}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} ; 1 \right\} = \text{Min} \left\{ \left(\frac{40}{25} \right)^{\frac{1}{3}} ; 1 \right\} = \text{Min}\{1,17; 1\} = 1 \quad (3.2)$$

$$k_{tc} = 1$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 25 + 8 = 33 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

$$E_{cm} = k_E \cdot f_{cm} = 9500 \cdot 33 = 30,5 \text{ GPa} \quad (3.4)$$

Kus kvartsiidi betoontäitematerjali puhul $k_E = 9500$ ja muudel juhtudel $k_E = 5000 \dots 13000$.

Näidiselementide armeerimiseks on kasutatud B500B armatuur, mille tähtsaimad näitajad on:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_S = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

1.1(3) märgib, et arvutuslikku armatuuri mittevajavate elementide kontrolli mudel on kalibreeritud tüüpiliste taitematerjali terade suurustega tehtud katsete jargi, sest EN 12620:2002+A1:2008 [7] ning EN 206:2013+A2:2021 [8] ei määra

täitematerjali teraosade suurus. Terakuju määramise standardi EN 933-4:2008 [9]

1. peatukk määrab:

$D_i \leq 63\text{mm}$ täitematerjali fraktsiooni ülemise sõela ava

$d_i \geq 4\text{mm}$ täitematerjali fraktsiooni alumise sõela ava

1.1(3) piirab suuruse parameetri $d_{dg,max} \leq 40\text{ mm}$ betooni kõikede surveklasside jaoks. Seega betooni C25/30 jaoks on piiratud ka jämedaima fraktsiooni D vaikseim väärtus $D_{lower,max} \leq 24\text{mm}$

Baasrida, mm	Baasrida pluss rida 1, mm	Baasrida pluss rida 2, mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

MÄRKUS Sulgudes toodud arve võib kasutada täitematerjali terasuuruse lihtsustatud kirjelduses

Tabel 3.1 – Täitematerjali terasuuruse määratlemisel kasutatavate sõelte avade mõõtmed [7].

Arvestades standardis EN 933-4:2008 määratud ülemise ja alumise sõelte avade suurus ja piiratud jämedaima fraktsiooni D vaikseim väärtust $D_{lower,max}$ saab järeldada, et tabelis 3.1 esitatud sõelte avade mõõtmetest sobilikud on

$$D = \{4; 8; 16\} \text{ mm}$$

Betooni fraktsioon esitatakse tähisega d/D , kus d on alumise sõela ava suurus. Vastavalt EN 933-4:2008 [9] d ei saa olla väiksem, kui 4mm, ning vastavalt 1.1(3)

D ei tohiks arvestada suuremaks, kui 16mm. Võttes arvesse Tabelis 3.1 Baasrida 1 sõelte avade suurusi, saab arvestada täitematerjali kahe fraktsiooniga 4/8mm ja 8/16mm, kust selgub et jamedaima fraktsiooni D vaikseimal väärtusel on kaks võimalikku väärtust

$$D_{lower,1} = 8 \text{ mm}$$

$$D_{lower,2} = 16 \text{ mm}$$

EVS-EN 206:2014+A2:2021 järgi D_{lower} väärtus peab olema esitatud betooni spetsifikatsioonis.

3.2 Tasapinnaliste põikarmeerimata elementide põikjõukandevõime

Tasapinnaliseks elemendiks käesolevas töös on põikarmeerimata raudbetoonist vahelaeplaat.

Arvutuses kasutatakse erinevate kasuskõrguskõrguste ja armeerimisteguritega raudbetoonplaate ning erinevate jamedaima fraktsiooni D vaikseimate väärtustega betooni.

Plaatide kasuskõrgused

$$d = \{70; 130; 160; 210\} \text{ mm}$$

Plaatide täitematerjali jamedaima fraktsiooni D vaikseimad väärtused:

$$D_{lower} = \{4; 8; 16\} \text{ mm}$$

Plaatide armeerimistegurid:

$$\rho_l = \{0,5; 0,75; 1,0\}\% = \{0,005; 0,0075; 0,01\}$$

3.2.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi

Plaadi kasuskõrgus ja pikiarmeerimistegur valitakse ette:

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$\rho_l = 0,5\% = 0,005$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 70 = 63 \text{ mm}$$

Tegur k :

$$k = \text{Min} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}; 2 \right\} = \text{Min}\{2,69; 2\} = 2 \quad (3.6)$$

Suurus ϑ_{min} :

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,49 \text{ MPa} \quad (3.7)$$

Arvutuslik põikjõukandevõime miinimumväärtus:

$$V_{Rdc,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,49 \cdot 1000 \cdot 70 = 34,65 \text{ kN} \quad (3.8)$$

Arvutuslik põikjõukandevõime:

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot 1000 \cdot 70 \\ &= 39 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.9)$$

kus vastavalt NA.6.4.4(1) [10]

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.10)$$

Arvutuslikule põikjõukandevõimele vastav nihkepingekandevõime:

$$v_{Rd,c} = \frac{V_{Rd,c}}{b_w \cdot d} = \frac{39}{1000 \cdot 70} = 0,56 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

3.2.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi

Plaadi kasuskõrgus, täitematerjali jämedaima fraktsiooni D vaikseim väärtus ja pikiarmeermistegur:

$$\begin{aligned} d &= 70 \text{ mm} \\ D_{lower} &= 24 \text{ mm} \\ \rho_l &= 0,5\% = 0,005 \end{aligned}$$

Täidematerjali terasuuruse parameeter arvestades valitud täitematerjali jämedaima fraktsiooni D vaikseima väärtusele:

$$d_{dg} = 16 \text{ mm} + D_{lower} = 16 + 8 = 24 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Põikjõutugevuse minimaalne väärtus:

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} = \frac{11}{1,4} \cdot \sqrt{\frac{25}{435} \cdot \frac{24}{70}} = 1,1 \text{ MPa} \quad (3.13)$$

Põikjõutugevus vastavalt valemile (1.10):

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_v} \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{0,66}{1,4} \cdot \left(100 \cdot 0,005 \cdot 25 \cdot \frac{24}{70}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,77 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

3.2.3 Järeldused

- (1) Põikjõukandevõime ühikud.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 elementide kandevõimed on väljendatud elemendi poolt vastuvõetavates nihkepingetes, standardis EN 1992-1-1:2004 elemendi poolt vastuvõetava põikjõuna. Tasapinnalise elemendi põikjõukindlus käesolevas töös otsustati võrrelda pingetes, seetõttu kehtiva standardi järgi jõu ühikutes saadud põikjõukandevõimed on väljendatud pinge ühikutes kasutades valemit (3.11).

- (2) Põikarmeerimata raudbetoonelemendi põikjõutugevuse miinimumväärtus.

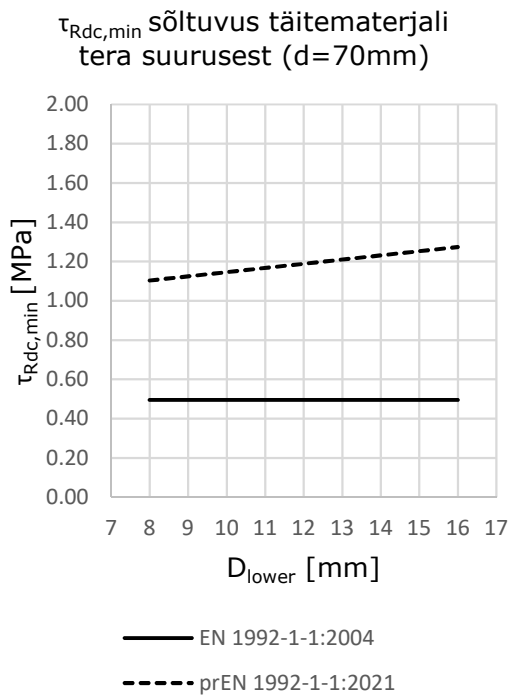
Standardis prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata raudbetoonelemendi põikjõutugevuse miinimumväärtuse arvutamisel loobutakse tegurite v_{min} ja k kasutamisest. Uue põlvkonna Eurokoodeksi valem lisaks standardisse EN 1992-1-1:2004 nende tegurite arvutamiseks kasutatud betooni survetugevuse normatiivsele väärtusele ning plaadi kasuskõrgusele võtab arvesse ka minimaalse vajalikku pikiarmatuuri voolavuspiiri ja betooni täitematerjali terade iseloomustavat suurust d_{dg} (d_{dg} määratlus jaotises 3.1). Lisaks sellele prEN 1992-1-1:2021 meetodit täiendatakse osavaruteguriga, millega kehtiv standard ei ole arvestatud. Need muudatused tõid endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud nihkepingekandevõime suurendamist vahemikus $\approx 31\ldots 157\%$ (sõltuvalt plaadi kasuskõrgusest ja d_{dg} suurusest) võrreldes väärtustega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

- (3) Põikarmeerimata raudbetoonelemendi põikjõutugevuse arvutuslik väärtus.

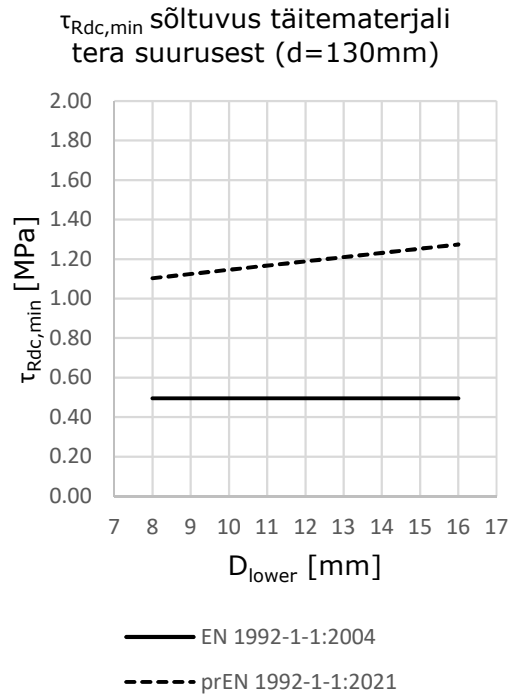
Standardi prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata raudbetoonelemendi põikjõutugevuse arvutusliku väärtuse arvutamise meetod kirjutab lahti tegurit $C_{Rd,c}$ ning suurndades selle numbrilise osa ka osavaruteguri väärtusi suurendab selle väärtust ≈ 4 korda. Uue põlvkonna Eurokoodeksi valemis loobutakse teguri k kasutamisest ning arvestatakse plaadi kasuskõrgusega otseselt valemis. Kasuskõrguse mõju põikjõukandevõimele selle muutumisega vähenes. prEN 1992-1-1:2021 võtab arvesse ka betooni täitematerjali terade iseloomustavat suurust d_{dg} (d_{dg} määratlus jaotises 3.1). Need muudatused tõid endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud nihkepingekandevõime suurendamist vahemikus $\approx -4\ldots 51\%$ (sõltuvalt plaadi kasuskõrgusest, d_{dg} suurusest ja pikiarmeerimistegurist) võrreldes väärtustega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

d [mm]	D_{lower} [mm]	$\tau_{Rdc,min}$ [MPa] EN 1992-1-1:2021	$v_{Rdc,min}$ [MPa] EN 1992-1-1:2004	ρ [%]	$\tau_{Rd,c}$ [MPa] EN 1992-1-1:2021	$v_{Rd,c}$ [MPa] EN 1992-1-1:2004
70	8	1,10	0,49	0,50	0,77	0,56
				0,75	0,88	0,64
				1,00	0,96	0,70
	16	1,27		0,50	0,84	0,56
				0,75	0,96	0,64
				1,00	1,06	0,70
130	8	0,81	0,49	0,50	0,62	0,56
				0,75	0,71	0,64
				1,00	0,87	0,70
	16	0,93		0,50	0,69	0,56
				0,75	0,78	0,64
				1,00	0,86	0,70
160	8	0,73	0,49	0,50	0,58	0,56
				0,75	0,67	0,64
				1,00	0,73	0,70
	16	0,84		0,50	0,64	0,56
				0,75	0,73	0,64
				1,00	0,81	0,70
210	8	0,64	0,49	0,50	0,53	0,55
				0,75	0,61	0,63
				1,00	0,67	0,69
	16	0,74		0,50	0,58	0,55
				0,75	0,67	0,63
				1,00	0,74	0,69

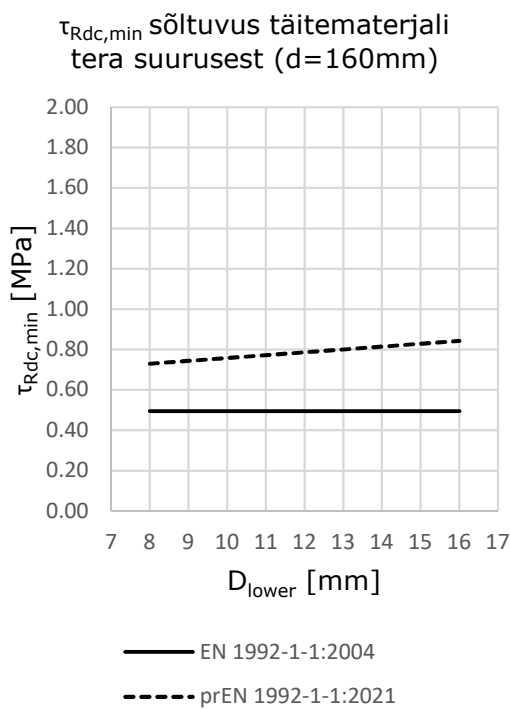
Tabel 3.2 – Plaatide põikjõukindluse arvutuste võrdlus



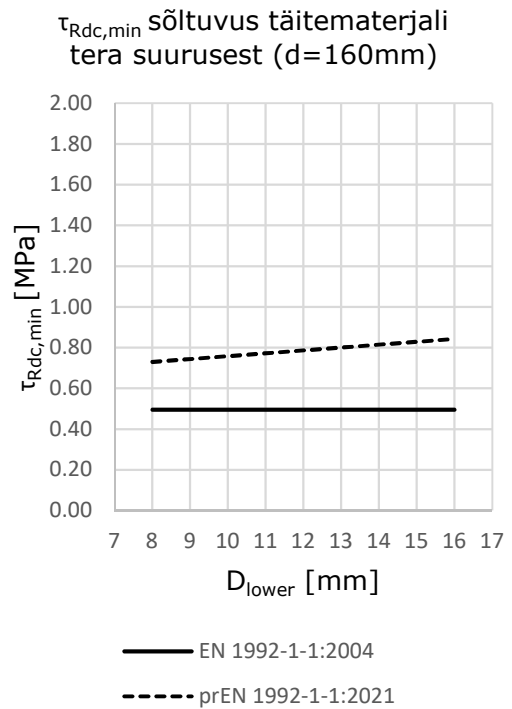
a)



b)

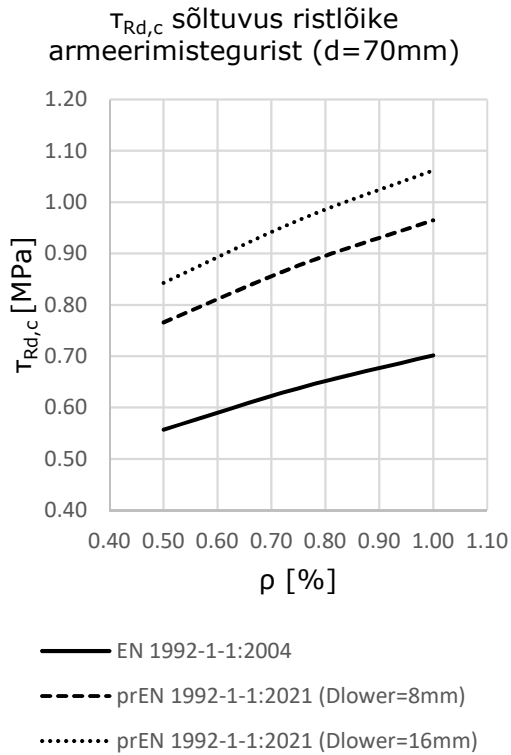


c)

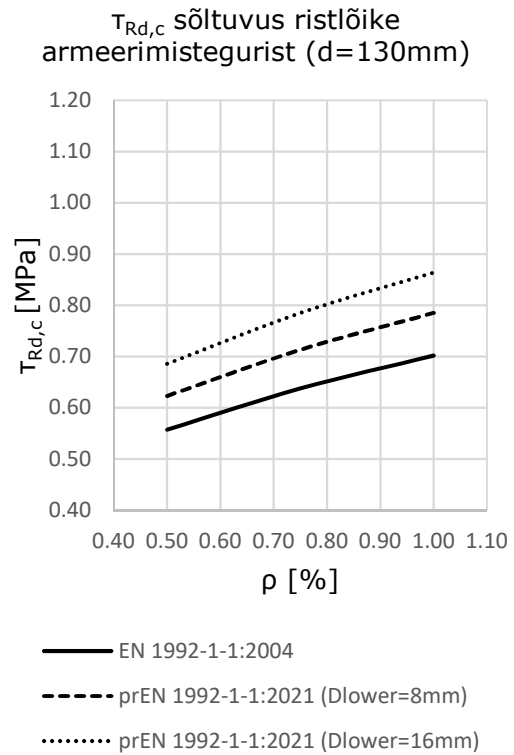


d)

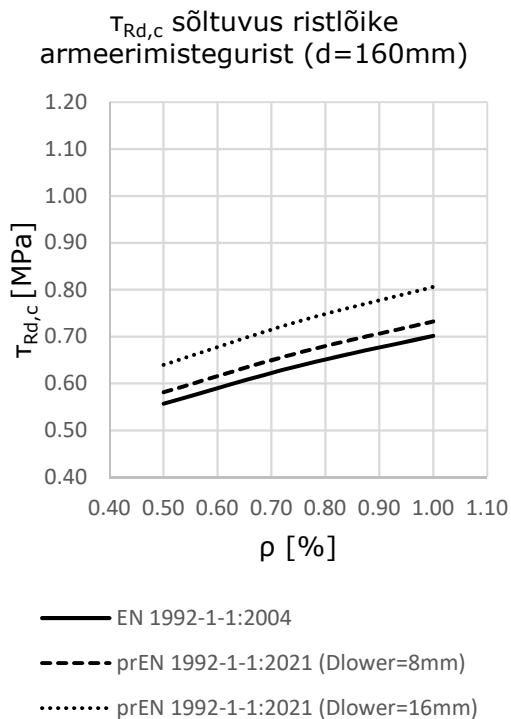
Joonis 3.1 – Põikjõutugevuse miinimumväärtuse sõltuvus täitematerjali terasuuruses



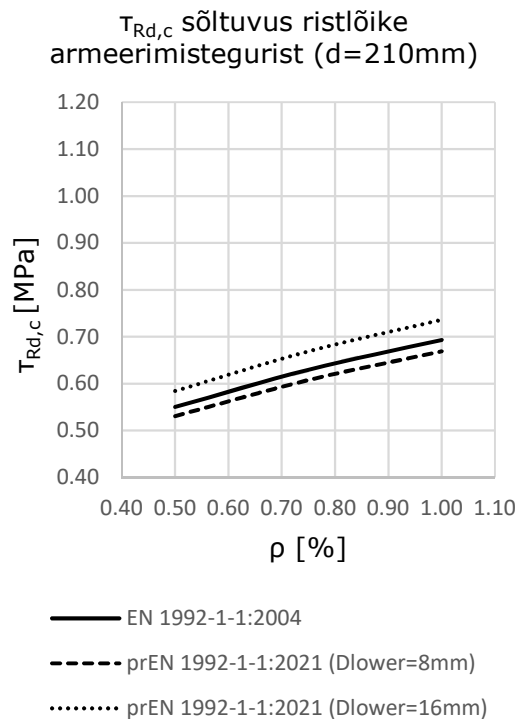
a)



b)



c)



d)

Joonis 3.2 – Põikjõutugevuse sõltuvus armeermistegurist

3.3 Linearse pöikarmeeritud elemendi pöikjõukandevõime

Lineaarsete elementideks käesolevas töös on jaotatud koormusega tala (betoonkarkasshoone vahelae abitala raudbetoonist milledle toetub raudbetoonplaat). Konstruktsiooni arvutus andis sisemise posti ja tala ühendussõlmes mõjuvaks arvutuslikuks toereaktsiooniks:

$$V_{Ed} = 201,2 \text{ kN}$$

Tala ristlõike mõõtmed:

$$b_w = 200 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

Pikiarmeeringu varraste läbimõõt:

$$\phi_{A_{s1}} = 22 \text{ mm}$$

Pöikarmeerimiseks on kasutatud kahelõikelised rangid läbimõõduga

$$\phi_{sw} = 8 \text{ mm}$$

mille $n_{sw} = 2$ lõige ristlõikepindala on

$$A_{sw} = n_{sw} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 100,5 \text{ mm}^2 \quad (3.15)$$

Selle armeerimisega tala pikiarmatuuri tsentri kaugus tala pinnast

$$c_{A_{s1}} = c + \phi_{sw} + \frac{\phi_{A_{s1}}}{2} = 30 + 8 + \frac{22}{2} = 49 \text{ mm} \quad (3.16)$$

mille puhul ristlõike kasuskõrgus

$$d = h - c_{A_{s1}} = 500 - 49 = 451 \text{ mm} \quad (3.17)$$

ning

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 451 = 405,9 \text{ mm} \quad (3.18)$$

Pöikarmatuuri samm:

$$s_{sw} = 200 \text{ mm}$$

Kaitsekiht:

$$c = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 10 = 30 \text{ mm} \quad (3.19)$$

Kus

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,dur} - \Delta c_{dur,red} + \Delta c_{dur,abr}; \\ c_{min,b}; \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 15 - 10 + 5 = 10 \text{ mm}; \\ 8 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right. = 10 \text{ mm} \quad (3.20)$$

kus

$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	betooni klassidega XRC5 ja XC1 puhul.
$\Delta c_{dur,red} = 10 \text{ mm}$	
$\Delta c_{dur,abr} = 5 \text{ mm}$	betooni hõõrdumisel mehaanilise rünnaku klassi XM1 puhul
$c_{min,b} = 8 \text{ mm}$	läbimõõduga $d_{sw} = 8 \text{ mm}$ põikarmatuuri puhul
$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	tavaline väärtus EN13670 Tolerantside klassi 1 tagamisel

3.3.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi

Põikjõust tingitud keskmine nihkepinge tala ristlõikes põhineb tingimusel (6.5) [10]:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot d} = \frac{201,2}{200 \cdot 451} = 2,23 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

Valemist (3.28) avaldatakse betoonkaldvarda kaldenurk θ :

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(2 \cdot \frac{V_{Rd,max}}{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}} \right) \quad (3.22)$$

kus vastavalt valemile (6.6N) [10]:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0,54 \quad (3.23)$$

Punktis 6.2.1(6) [10] esineva põikjõu väärtust piiratakse $V_{Rd,max}$ väärtusega. Kõige efektiivsem ristlõige on kasutatud siis, kui esinev põikjõud võrdub surutud betoonkaldvarda kandevõimega määratud suurim elemendi poolt vastuvõetava põikjõuga:

$$V_{Ed} = V_{Rd,max} \quad (3.24)$$

Tingimusest (3.24) avaldatakse betoonkaldvarda kaldenurk θ :

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}} \right) \quad (3.25) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(2 \cdot \frac{201,2}{1 \cdot 200 \cdot 405,9 \cdot 0,54 \cdot 16,67} \right) = 16,71^\circ \end{aligned}$$

seega

$$\cot \theta = 3,33 > 2,5 \quad (3.26)$$

Kuna betoonkaldvarda kaldenurga kootangensi väärtus ületab soovitatud piiri, kootangensi väärtuseks võetakse suurima lubatud piirväärtuse:

$$\cot \theta = 2,5$$

Voolavusallas oleva põikarmatuuriga vastuvõetav arvutuslik põikjõukandevõime:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = \frac{100,5}{200} \cdot 405,9 \cdot 435 \cdot 2,5 = 221,8 \text{ kN} \quad (3.27)$$

ning surutud betoonkaldvarda kandevõimega määratud suurim elemendi poolt vastuvõetav põikjõud on arvutatav valemiga ((6.9) [10]):

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 200 \cdot 405,9 \cdot 0,54 \cdot 16,67}{2,5 + 0,4} = 251,9 \text{ kN} \quad (3.28)$$

millele vastab nihkepinge

$$v_{Rd,max} = \frac{V_{Rd,max}}{b_w \cdot z} = \frac{251,9}{200 \cdot 405,9} = 3,10 \text{ MPa} \quad (3.29)$$

Vastavalt punktile NA.6.2.3(3) [10]:

$$\alpha_{cw} = 1$$

Tegelik ristlõige põikjõukandevõime määratakse vastavalt punktile 6.2.3(3) [10]:

$$V_{Rd} = \text{Min}\{V_{Rd,s}; V_{Rd,max}\} = \text{Min}\{221,8; 251,9\} = 221,8 \text{ kN} \quad (3.30)$$

millele vastab nihkepinge

$$v_{Rd} = \frac{V_{Rd}}{b_w \cdot z} = \frac{221,8}{200 \cdot 405,9} = 2,73 \text{ MPa} \quad (3.31)$$

kuna $V_{Rd} = 221,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 201,2 \text{ kN}$ tingimus 6.2.1(5) [10] on tagatud.

3.3.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi

Vastavalt valemitele (1.23) ja (1.26) põikjõukandevõime on arvutatav kui:

$$\tau_{Rd} = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

kus

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_{sw} \cdot b_w} = \frac{100,5}{220 \cdot 200} = 0,0025 \quad (3.32)$$

ning valemi (1.25) põhjal betoonkaldvarda survepinge:

$$\sigma_{cd} = \tau_{Ed}(\cot \theta + \tan \theta) \leq \vartheta \cdot f_{cd} \quad (3.33)$$

kus

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z} = \frac{201,2}{200 \cdot 405,9} = 2,48 \text{ MPa} \quad (3.34)$$

ning vastavalt 1.3(5)

$$v = 0,5$$

kui on täidetud punkti 1.3(3) tingimus.

Valemist (3.33) avaldatakse betoonkaldvarda kaldenurk θ :

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(2 \cdot \frac{\tau_{Ed}}{v \cdot f_{cd}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \text{asin} \left(2 \cdot \frac{2,48}{0,5 \cdot 16,67} \right) = 18,25^\circ \quad (3.35)$$

mille puhul

$$\cot \theta = 3,03 \quad (3.36)$$

Kuna betoonkaldvarda kaldenurga kootangensi väärtus ületab punkti 1.3(3) ülemist piiri, kootangensi väärtuseks võetakse suurim lubatud piirväärtus:

$$\cot \theta = 2,5$$

Arvutuslikuga põikarmatuuriga ristlõike põikjõukandevõime:

$$\tau_{Rd,sy} = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 0,0025 \cdot 435 \cdot 2,5 = 2,73 \text{ MPa} \quad (3.37)$$

Jaotise 1.3 valemis (1.26) esineva nihkepinge väärtust piiratakse $\frac{\theta \cdot f_{cd}}{2}$ väärtusega, mida käesolevas töös arvestatakse suurima elemendi poolt vastuvõetava pingega $\tau_{Rd,max}$:

$$\tau_{Rd,max} = \frac{v \cdot f_{cd}}{2} = \frac{0,5 \cdot 16,67}{2} = 4,17 \text{ MPa} \quad (3.38)$$

kuna $\tau_{Rd,sy} = 2,73 \text{ MPa} > \tau_{Ed} = 2,48 \text{ MPa}$ tingimus 1.1(1)(iii) on tagatud.

3.3.3 Järeldused

(1) Põikjõukandevõime ühikud.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 elementide kandevõimed on väljendatud elemendi poolt vastuvõetavates nihkepingetes, standardis EN 1992-1-1:2004 elemendi poolt vastuvõetava põikjõuna. Lineaarse elemendi põikjõukindlus käesolevas töös otsustati võrrelda pingetes, seetõttu kehtiva standardi järgi jõu ühikutes saadud põikjõukandevõimed on väljendatud pinge ühikutes kasutades valemit (3.31).

(2) Nihkepinge.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 esineva nihkepinge arvutamiseks põikjõu jagatakse elemendi laiuse ja sisejõudude õla korrutisega (1.1), standardis EN 1992-1-1:2004 tingimuse (6.5) [10] järgi põikjõu jagatakse elemendi laiuse ja kasuskõrguse

korruptisega. See muudatus tõi endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud esineva nihkepinge väärtuse suurusjärku suurendamist $\approx 11\%$ võrra võrreldes väärtusega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(3) Suurim elemendi poolt vastuvõetav pinge.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 suurima elemendi poolt vastuvõetava pinge arvutamisel üldkujul loobutakse teguri α_{cw} kasutamisest. Kaob surutud betoonkaldvarda kaldenurka mõju, mida asendatakse konstantse numbrilise väärtusega. Erihutumil 1.3(12) uue põlvkonna Eurokoodeks näeb ette kaldenurga mõju arvesse võtmist ja suurima elemendi poolt vastuvõetava pinge valem erineb oma eelkäiest ainult teguri α_{cw} kasutamisest loobumise poolt. Kuna näidisarvutuses vaadeldav olukord ei olnud erijuhtum, arvutustes oli kasutatud valem (3.38), mis tõi endaga kasa kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud suurima elemendi poolt vastuvõetava pinge väärtuse suurendamist $\approx 34\%$ võrra võrreldes väärtusega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(4) Teguri ν määratlus.

Mõlema põlvkonna standardites tegur ν on määratud täpsel ja lihtsustatud kujul. EN 1992-1-1:2004 üldjuhul kirjutab ette arvutada teguri ν väärtust põhinedes betooni survetugevuse normatiivsel väärtusel ($(6.6N)$ [10]). Esimese põlvkonna Eurokoodeks lubab kasutada teguri ν arvutamise lihtsustatud meetodikat põikarmatuuri arvutusliku pinge teatud väärtuse tagamisel (6.2.3 [10]). Standard prEN 1992-1-1:2021 üldjuhul lubab teguri ν lihtsustatud konstantse väärtuse kasutamist surutud betoonkaldvarda kaldenurka lubatud väärtuste tagamisel (1.3(5)). Kaldenurkade tingimuste täitmata jätmisel uue põlvkonna Eurokoodeks näeb ette teguri ν täpsel arvutust (1.3(6)), mis on võrreldes eelmise põlvkonna standardiga oluliselt keerulisem. Kuna näidisarvutustes betoonkaldvarda kaldenurka lubatud väärtuse tingimus sai täidetud, arvutustes kasutati lihtsustatud konstantset väärtust, mis tõi endaga kaasa teguri ν väärtuse suurendamist $\approx 9\%$ võrra võrreldes väärtusega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(5) Arvutuslikuga põikarmatuuriga raudbetoonelemendi põikjõukandevõime.

Põikjõukandevõime ühikute muutumise tõttu uue põlvkonna Eurokoodeksis lihtsustati arvutuslikuga põikarmatuuriga raudbetoonelemendi põikjõukandevõime valemi kuju, kuid väljendades nihkepingekandevõimet elemendi poolt vastuvõetavas jõus selgus, et sisuliselt valem ei ole muutunud. Sellepärast mõlema põlvkonna standardite järgi arvutatud arvutuslikuga põikarmatuuriga raudbetoonelemendi põikjõukandevõimed on võrdsed.

(6) Talade põikjõukandevõime arvutuste võrdlustulemused.

Kahe põlvkonna standardite arvutustulemused on esitatud tabelis Tabel 3.3.

	<i>EN 1992-1-1: 2004</i>	<i>prEN 1992-1-1: 2021</i>
Põikjõust tingitud nihkepinge	$v_{Ed} = 2,23 \text{ MPa}$	$\tau_{Ed} = 2,48 \text{ MPa}$
Suurim elemendi poolt vastuvõetav pinge	$v_{Rd,max} = 3,10 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,max} = 4,17 \text{ MPa}$
Tegur v	$v = 0,54$	$v = 0,50$
Arvutuslikuga põikarmatuuriga raudbetoonelemendi põikjõukandevõime	$v_{Rd,s} = 2,73 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,sy} = 2,73 \text{ MPa}$

Tabel 3.3 – Talade põikjõukindluse arvutuste võrdlus

Hoonele mõjuvad korisontaalkoormused võetakse vastu jäigastusseintega. Konstruktsiooniarvutus andis sisemise posti ja plaadi ühendussõlmes mõjuvaks arvutuslikuks toereaktsiooniks:

$$V_{Ed} = 590 \text{ kN}$$

3.4.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi

Plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime on vastavalt 6.4.5(3) [10]:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,54 \cdot 16,67 = 3,60 \text{ MPa} \quad (3.39)$$

kus

v on arvatud valemiga (3.23)

Plaadis esinev arvutuslik nihkepinge posti perimeetril on vastavalt valemile (6.38) [10]:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{590}{1400 \cdot 205} = 2,36 \text{ MPa} \quad (3.40)$$

kus

u_0 on sisemise posti puhul posti perimeeter:

$$u_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(400 + 300) = 1400 \text{ mm} \quad (3.41)$$

β on valitud joonise 6.21N [10] järgi sisemise posti jaoks $\beta = 1,15$

Kuna posti perimeetri kohal olevas kontrolllõikes $v_{Ed} = 2,36 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 3,6 \text{ MPa}$, siis tugevustingimus 6.4.3(2a) [10] on täidetud.

Plaadis esinev arvutuslik nihkepinge kontrollperimeetril vastavalt valemile (6.38) [10]:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{590}{3976 \cdot 205} = 0,83 \text{ MPa} \quad (3.42)$$

kus

u_i on vastavalt 6.4.2(1) [10] kaugusel $2,0d$ posti servast asuva kontrollperimeetri pikkus:

$$u_i = 2\pi \cdot 2,0d_v + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 2,0 \cdot 205 + 2(400 + 300) = 3976 \text{ mm} \quad (3.43)$$

Põikarmeerimata plaadi läbisurumiskandevõime arvutatakse valemiga (6.47) [10]:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,99(100 \cdot 0,00812 \cdot 25)^{1/3} = 0,65 \text{ MPa} \quad (3.44)$$

kus

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (3.45)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{205}} = 1,99 \quad (3.46)$$

Kuna põikarmeerimata plaadi läbisurumiskandevõime on väiksem, kui plaadis esinev nihkepinge $v_{Rd,c} = 0,65 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,83 \text{ MPa}$ tugevustingimus 6.4.3(2b) [10] ei ole täidetud elemendi lõpliku läbisurumiskandevõime määramisel tuleb arvestada ka põikarmatuuri.

3.4.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi

Plaadi põikjõukandevõime miinimumväärtus:

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_V} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d_v}} = \frac{11}{1,4} \sqrt{\frac{25}{435} \cdot \frac{24}{205}} = 0,64 \text{ MPa} \quad (3.47)$$

Plaadis esinev arvutuslik nihkepinge kontrollperimeetril vastavalt valemile (2.6):

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} \cdot d_v} = 1,15 \cdot \frac{590}{2044 \cdot 205} = 1,62 \text{ MPa} \quad (3.48)$$

kus

$b_{0,5}$ on vastavalt 2.2(2) kaugusel $0,5d_v$ posti servast asuva kontrollperimeetri pikkus:

$$b_{0,5} = 2\pi \cdot 0,5d_v + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 0,5 \cdot 205 + 2(400 + 300) = 2044 \text{ mm} \quad (3.49)$$

β_e on põikjõudude kontsentratsiooni arvesse võetav tegur, mida valitakse vastavalt tabelile 2.1 kuna kõik punktis 2.2(6) nõuded on tagatud.

$$\beta_e = 1,15$$

Kuna plaadis esinev nihkepinge on suurem, kui plaadi põikjõukandevõime miinimumväärtus $\tau_{Rdc,min} = 0,64 \text{ MPa} < \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, tingimus 2.1(2)(i) ei ole rahuldatud, seega täpsem kontroll ei tohi ära jätta.

Täpsem kontroll algab põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime arvutamisega vastavalt valemile (2.8):

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_V} \cdot k_{pb} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,6}{\gamma_V} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (3.50)$$

kus

d_{dg} on täidematerjali terasuurse parameeter arvestades valitud täitematerjali jämedaima fraktsiooni D väikseima väärtusele:

$$d_{dg} = 16 \text{ mm} + D_{lower} = 16 + \min \left\{ \frac{8}{16} = \frac{24}{32} \text{ mm} \right. \quad (3.51)$$

k_{pb} on läbisurumiskandevõime gradienti suurenemise koefitsient, mida arvutatakse vastavalt valemile (2.10):

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 3,6 \sqrt{1 - \frac{1400}{2044}} = 2,02 \leq 2,5 \quad (3.52)$$

kus b_0 on minimaalne kontrollperimeeter, mida vastavalt punktile 2.2(2) võetakse posti serval:

$$b_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(400 + 300) = 1400 \text{ mm} \quad (3.53)$$

Kuna ei ole teada, millise täitematerjali jämedaima fraktsiooni D väikseima väärtusega betooniga on tegemist, tagavara kasuks valitakse kahest saadud põikarmeerimata elemendi arvutuslikust läbisurumiskandevõimest väikseima:

$$\tau_{Rd,c} = \min \left\{ \begin{array}{l} \tau_{Rd,c,1} = 1,15 \text{ MPa} \\ \tau_{Rd,c,2} = 1,27 \text{ MPa} \end{array} \right. < \frac{0,6}{\gamma_V} \cdot \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,6}{1,4} \cdot \sqrt{25} = 2,14 \quad (3.54)$$

kus

$$\tau_{Rd,c,1} = \frac{0,6}{\gamma_V} k_{pb} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg,1}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{0,6}{1,4} \cdot 2,02 \left(100 \cdot 0,0082 \cdot 25 \cdot \frac{24}{205} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.55)$$

$$= 1,15 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd,c,2} = \frac{0,6}{\gamma_V} k_{pb} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg,2}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{0,6}{1,4} \cdot 2,02 \left(100 \cdot 0,0082 \cdot 25 \cdot \frac{32}{205} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.56)$$

$$= 1,27 \text{ MPa}$$

Kuna saadud põikarmeerimata elemendi arvutuslik läbisurumiskandevõime on väiksem, kui esinev nihkepinge $\tau_{Rd,c} = 1,15 \text{ MPa} < \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, 2.1(2)(ii) ei ole täidetud ning elemendi lõpliku läbisurumiskandevõime määramisel tuleb arvestada ka põikarmatuuri.

3.4.3 Järeldused

(1) Kontrollperimeeter.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 vähendatakse kontrollperimeetri kaugust koormatud ala servast 4 korda. See muudatus tõi endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud kontrollperimeetri pikkuse vähendamist $\approx 49\%$ võrra võrreldes väärtusega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(2) Esinev nihkepinge.

Mõlema standardi plaadis esineva arvutusliku nihkepinge valemid põhinevad kontrollperimeetri pikkuste väärtustel. Punktis 3.4.3(1) kirjeldatud kontrollperimeetrite pikkuste erinevus tõi endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud plaadis esineva nihkepinge väärtuse uuendamist $\approx 95\%$ võrra võrreldes väärtusega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(3) Põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime miinimumväärtus.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerita elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime miinimumväärtuse arvutamisel loobutakse tegurite v_{min} ja k kasutamisest. Uue põlvkonna Eurokoodeksi valem lisaks standardis EN 1992-1-1:2004 nende tegurite arvutamiseks kasutatud betooni survetugevuse normatiivsele väärtusele ning plaadi kasuskõrgusele võtab arvesse ka minimaalse vajalikku pikiarmatuuri voolavuspiiri ja betooni täitematerjali terade iseloomustavat suurust d_{dg} (d_{dg} määratlus jaotises 3.1). Lisaks sellele prEN 1992-1-1:2021 meetodit täiendatakse osavaruteguriga, millega kehtiv standard ei ole arvestatud. Need muudatused tõi endaga kaasa uue põlvkonna standardi järgi arvutatud nihkepingekandevõime suurendamist $\approx 31\%$ võrra võrreldes väärtustega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi. prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime miinimumväärtuse arvutus sisuliselt ei erine põikarmeerimata raudbetonelemendi põikjõutugevuse miinimumväärtuse arvutamisest.

(4) Põikarmeerimata elemendi arvutuslik läbisurumiskandevõime.

Standardi prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata raudbetonelemendi põikjõutugevuse arvutusliku väärtuse arvutamise meetod kirjutab lahti tegurit $C_{Rd,c}$ ning suurndades selle numbrilise osa ka osavaruteguri väärtusi suurendab selle väärtust ≈ 4 korda. Uue põlvkonna Eurokoodeksi valemis loobutakse teguri k kasutamisest ning arvestatakse plaadi kasuskõrgusega otseselt valemis. Kasuskõrguse mõju põikjõukandevõimele selle muutumisega vähenes. prEN 1992-1-

1:2021 võtab arvesse ka betooni täitematerjali terade iseloomustavat suurust d_{dg} (d_{dg} määratlus jaotises 3.1). Need muudatused tõid endaga kaasa uue põlvkonna järgi arvutatud põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime väärtuse suurendamist $\approx 78\%$ võrra võrreldes väärtustega arvutatud EN 1992-1-1:2004 järgi. prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime arvutus sisuliselt ei erine põikarmeerimata raudbetonelemendi põikjõutugevuse arvutamisest.

(5) Eelpingestatud põikarmeerimata elemendi arvutuslik läbisurumiskandevõime.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime arvutamisel loobutakse otsesest koormuse või eelpingestuse põhjustatud normaalpinge komponendi kasutamisest. Selle asemele uue põlvkonna Eurokoodeks näeb ette läbisurumiskandevõime gradiendi suurendamise teguri k_{pb} koefitsendiga k_{pp} korrutamist (2.3(4)). See muudatus võtab arvesse koormuse või eelpingestuse põhjustatud normaalpinget. Kuna käesoleva töö näidisarvutustes kasutatud näidiselement ei olnud eelpingestatud tegur k_{pb} jäi koefitsendiga k_{pp} korrutamata.

(6) Põikarmeerimata plaatide läbisurumiskandevõimete arvutuste võrdlustulemused.

Kahe põlvkonna standardite arvutustulemused on esitatud tabelis Tabel 3.4.

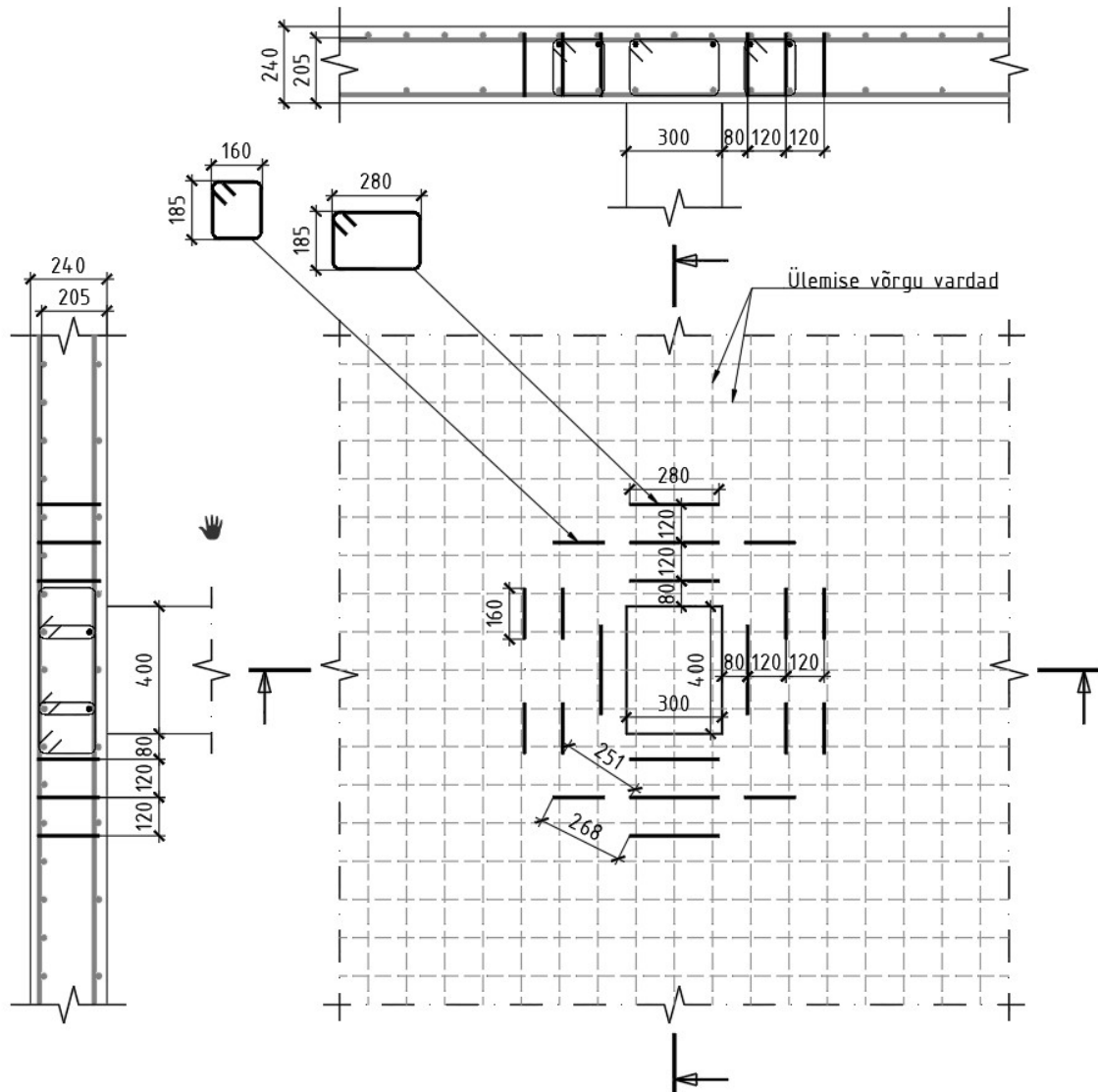
	EN 1992-1-1:2004	prEN 1992-1-1:2021
Kontrollperimeetri kaugus posti servast	$2,0d$	$0,5d_v$
Kontrollperimeetri pikkus	$u_i = 3976 \text{ mm}$	$b_{0,5} = 2044 \text{ mm}$
Põikjõust tingitud nihkepinge	$v_{Ed} = 0,83 \text{ MPa}$	$\tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$
Põikarmeerimata elemendi arvutusliku läbisurumiskandevõime miinimumväärtus	$v_{Rdc,min} = 0,49 \text{ MPa}$	$\tau_{Rdc,min} = 0,64 \text{ MPa}$
Põikarmeerimata elemendi arvutuslik läbisurumiskandevõime	$v_{Rd,c} = 0,65 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = 1,16 \text{ MPa}$

Tabel 3.4 – Põikarmeerimata plaatide läbisurumiskandevõimete arvutuste võrdlus

Tasapinnalise põikarmeeritud elemendi läbisurumiskandevõime

3.4.4 Kinniste rangidega tasapinnalise elemendi läbisurumiskandevõime

Läbisurumise vastu armeeritud elemendi näidiseks on jaotises 3.4 kirjeldatud vahelaeplaat, mis on armeeritud vastavalt joonisele 3.4.



Joonis 3.4 – Vahelaeplaadi armeerimine verikaalse põikarmatuuriga

Pikiarmatuurina on plaadis varras läbimõõduga:

$$\phi_{As2} = 16 \text{ mm}$$

Pikiarmatuuri ristlõike pindala on:

$$A_{s2} = \frac{\pi \cdot \phi_{As}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201 \text{ mm}^2$$

Plaadi pikiarmatuur on asetatud sammuga:

$$s_{As2} = 120 \text{ mm}$$

Plaadi pikiarmeering on mõlemas suunas sama, seega:

$$\rho_l = \rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{A_{s2}}{d_v \cdot s_{As2}} = \frac{201}{205 \cdot 120} = 0,0082 \quad (3.57)$$

Põikarmatuuriks on kasutatud erinevatega kujudega rangid läbimõõduga:

$$\phi_v = 8 \text{ mm}$$

Rangi ühe lõike ristlõikepindala:

$$A_{sw,\emptyset 8} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2 \quad (3.58)$$

Rangid on asetatud vertikaalselt, seega:

$$\alpha = 90^\circ$$

3.4.4.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi

Arvutuslikuga armatuuri elemendi läbisurumiskandevõime on arvutatav valemiga (6.52) [10]:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5(d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot [1/(u_i \cdot d)] \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,65 + 1,5(205/120) \cdot 402,4 \cdot 301 \cdot [1/(3976 \cdot 205)] \cdot 1 \\ &= 0,87 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3.59)$$

kus

s_r on põikarmatuuri radiaalne vahekaugus

$f_{ywd,ef}$ on põikarmatuuri efetiivne arvutustugevus läbisurumisel, mis on arvutatav vastavalt 6.4.5(1) [10] järgmiselt:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 250 + 0,25 \cdot 205 = 301 \text{ MPa} \leq f_{ywd} = 435 \text{ MPa} \quad (3.60)$$

A_{sw} on põikarmatuuri kogupind ühel posti ümbritseval perimeetril arvutatud järgmiselt:

$$A_{sw} = n \cdot A_{sw,\emptyset 8} = 8 \cdot 50,3 = 402,4 \text{ mm}^2 \quad (3.61)$$

Kus $n = 8$ on põikarmatuuri vertikaallõikede kogus posti ühel ümbritseval perimeetril vastavalt joonisele 4.2.

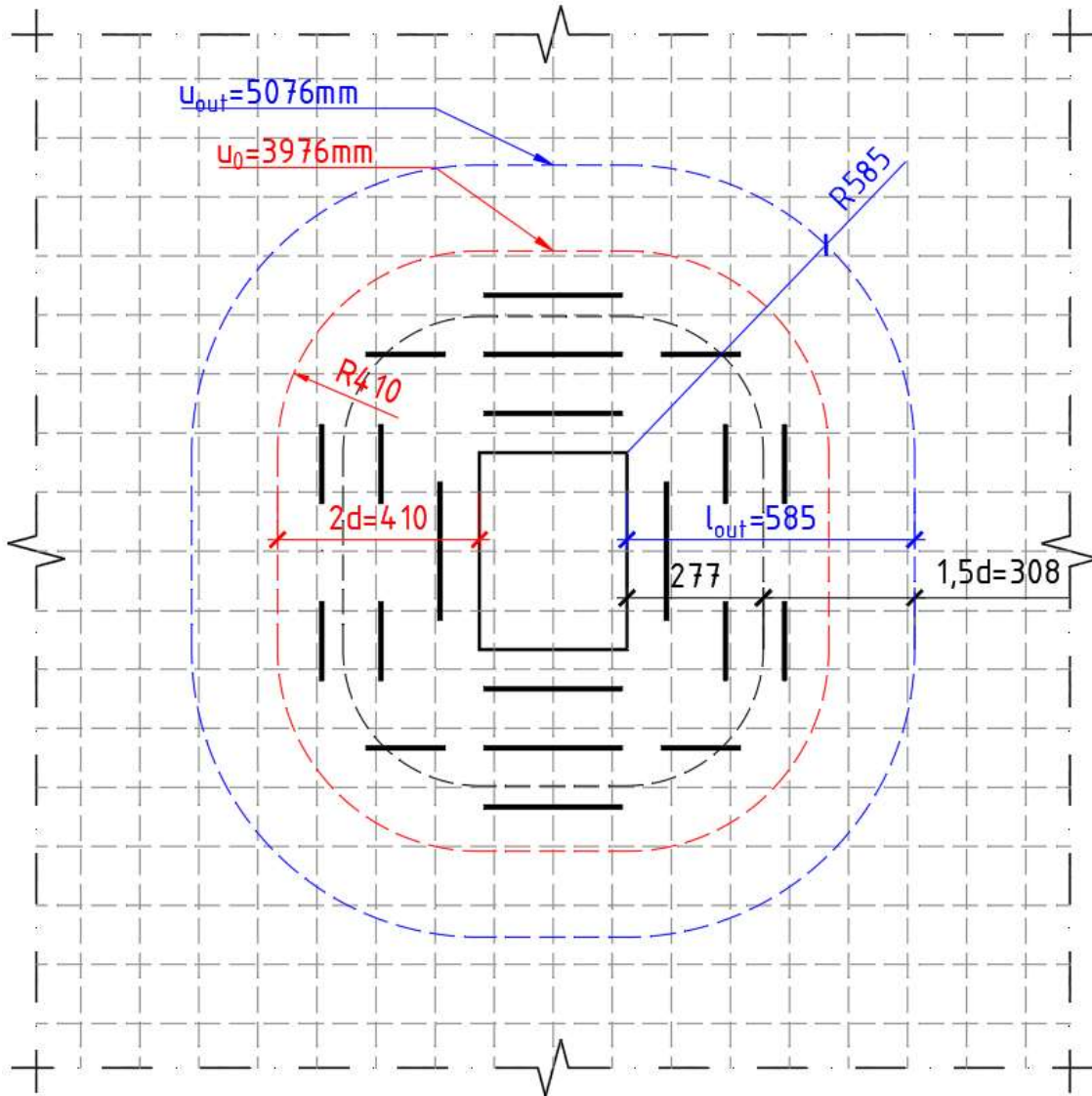
Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumise nihkepigeandevõime on kõrgem, kui plaadis esinev nihkepinge $v_{Rd,cs} = 0,87 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,83 \text{ MPa}$, seega tingimus 6.4.3(2c) [10] on täidetud.

Kontrollperimeetri pikkus, kuis põikarmatuur ei ole enam vajalik, on arvutatav valemiga (6.54) [10]:

$$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 590}{0,65 \cdot 205} = 5076 \text{ mm} \quad (3.62)$$

Kontrollperimeeter, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik, asub posti servast kaugusel

$$l_{out} = \frac{u_{out} - 2(c_1 + c_2)}{2\pi} = \frac{5076 - 2(400 + 300)}{2\pi} = 585 \text{ mm} \quad (3.63)$$



3.5 – Vahelaepplaadi läbisurumise kontrolllõiked EN 1992-1-1:2004 järgi (kinnine vertikaalne põikarmatuur)

3.4.4.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi

Arvutuslikuga põikarmatuuriga elementide läbisurumise nihkepige kandevõime arvutatakse vastavalt valemile (2.18)

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} = 0,72 \cdot 1,23 + 0,8 \cdot 0,0018 \cdot 435 = 1,44 \text{ MPa} \quad (3.64)$$

kus

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}} = \frac{1,15}{1,62} = 0,72 \quad (3.65)$$

ning vastavalt valemile (2.20):

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{3/2} = \frac{205}{150 \cdot 8} + \left(15 \frac{24}{205}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{0,72 \cdot 2,02}\right)^{3/2} = 0,93 \quad (3.66)$$

Arvutatud η_s väärtus ületab avaldises (2.20) määratud maksimumväärtust, seega

$$\eta_s = 0,87 > 0,8 \rightarrow \eta_s = 0,8 \quad (3.67)$$

Vastavalt valemile (2.21) plaadi põikarmeerimistegur:

$$\rho_w = \frac{A_{sw,08}}{s_r \cdot s_t} = \frac{50,3}{120 \cdot 238} = 0,0018 \quad (3.68)$$

kus

s_r on põikarmatuuride radiaalne vahekaugus,

s_t on põikarmatuuride tangentsiaalne vahekaugus, mida vastavalt 2.4(1) arvutatakse kui posti servast samal kaugusel kui rang asuva perimeetri pikkuse ja rangide lõigete koguse jagatist:

$$s_t = \frac{b_{rang}}{n_{rang}} = \frac{1902}{8} = 238 \text{ mm} \quad (3.69)$$

kus

$$b_{rang} = 2\pi \cdot l_{rang} + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 80 + 2(400 + 300) = 1902 \text{ mm} \quad (3.70)$$

$n_{rang} = 8$ on rangide lõikede kogus vaadeldavas perimeetris.

Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime on madalam, kui plaadis esinev nihkepinge $\tau_{Rd,cs} = 1,44 \text{ MPa} < \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, seega tingimus 2.1(2)(iii) ei ole täidetud.

Plaadi läbisurumiskandevõime maksimumväärtus on arvutatav valemiga (2.22):

$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c} = 1,84 \cdot 1,15 = 2,14 \text{ MPa} > \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa} \quad (3.71)$$

kus vastavalt valemile (2.23):

$$\eta_{sys} = 1,15 \frac{d_{sys}}{d_v} + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} - 0,85 \frac{s_0}{d_{sys}} = 1,15 \frac{194}{205} + 0,63 \left(\frac{1400}{205} \right)^{\frac{1}{4}} - 0,85 \frac{60}{194} = 1,84 \quad (3.72)$$

kus

kus $d_{sys} = 194 \text{ mm}$ ja $s_0 = 60 \text{ mm}$ on määratletud joonise 2.7 järgi.

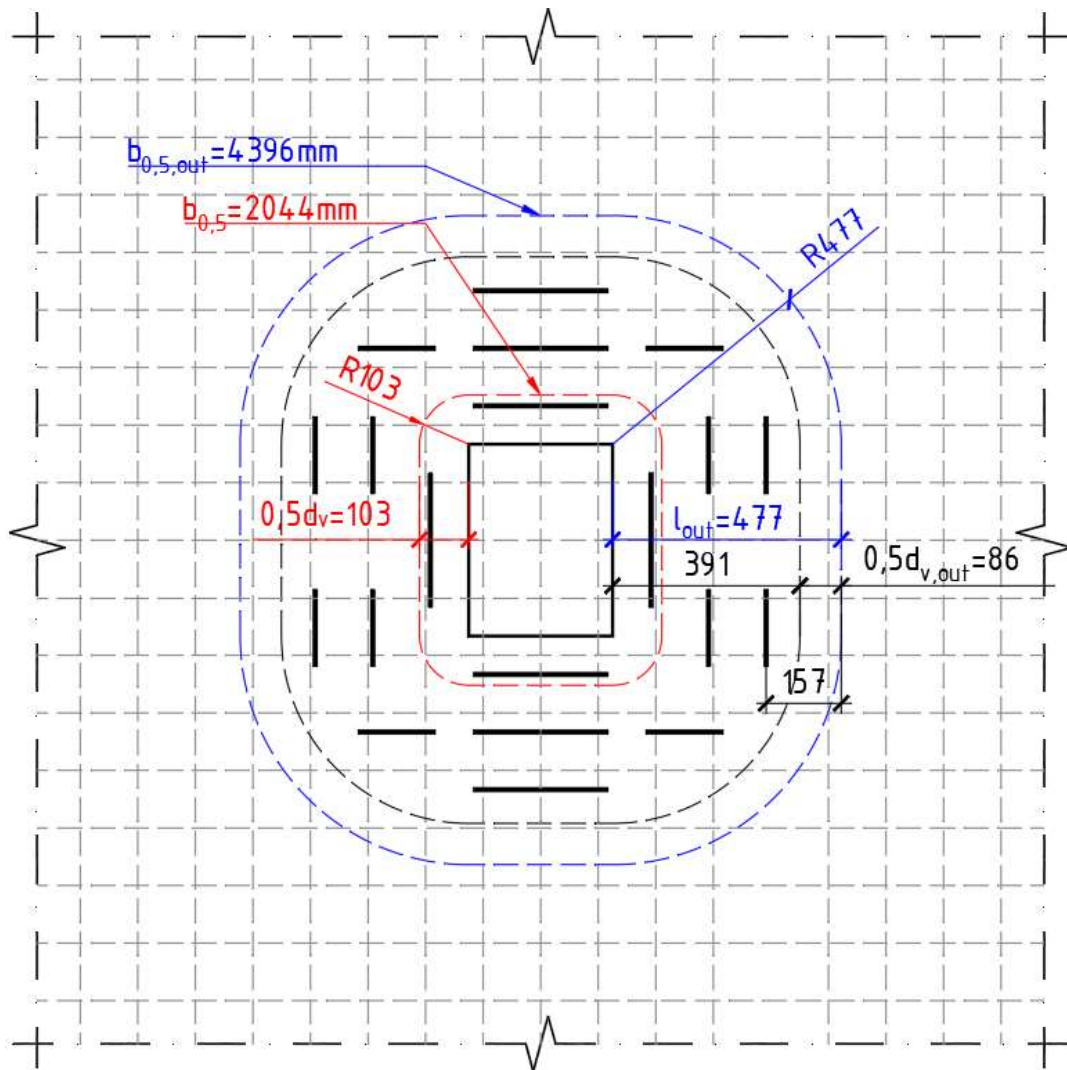
Kontrollperimeetri pikkus, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik on arvutatav valemiga (2.24):

$$b_{0,5,out} = b_{0,5} \cdot \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^{\frac{3}{2}} = 2044 \cdot \left(\frac{205}{172} \cdot \frac{1}{0,72} \right)^{\frac{3}{2}} = 4396 \text{ mm} \quad (3.73)$$

kus vastavalt 2.4(4) $d_{v,out} = 172 \text{ mm}$

Kontrollperimeeter, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik, asub posti servast kaugusel

$$l_{out} = \frac{b_{0,5,out} - 2(c_1 + c_2)}{2\pi} = \frac{4396 - 2(400 + 300)}{2\pi} = 477 \text{ mm} \quad (3.74)$$



Joonis 3.6 – Vaelaepaadi läbisurumise kontrolllõiked prEN 1992-1-1:2021 järgi (kinnine vertikaalne põikarmatuur)

Vaadeldavas plaadis välimine põikarmatuur asub $157\text{mm} = 0,9d_{v,out}$ välimisest kontrollperimeetrist, mis on suurem, kui $0,5d_{v,out}$, millega piiratakse välimise põikarmatuuri asukoha kaugus välimise kontrollperimeetrist punktis 2.4(4). Selle nõue tagamiseks, tuleb muuta armatuurimist vastavalt joonisele Joonis 3.7 (muutus esimese põikarmatuuri kaugus posti pinnast $80\text{mm} \rightarrow 100\text{mm} = 0,48d_v < 0,5d_v$, rangide radiaalne samm $120\text{mm} \rightarrow 146\text{mm} = 0,71d_v < 0,75d_v$, rangide vahekaugus piki perimeetrit $268\text{mm} \rightarrow 281\text{mm} = 1,4d_v < 1,5d_v$, muutus rangide läbimõõt $8\text{mm} \rightarrow 11\text{mm}$). Rangide asukoha muutumisega muutus ka plaadi läbisurumiskandevõime:

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} = 0,72 \cdot 1,23 + 0,8 \cdot 0,0026 \cdot 435 = 1,72 \text{ MPa} \quad (3.75)$$

kus

η_c on arvutatud valemiga (3.65)

η_s on arvutatud valemiga (3.66)

$$\rho_w = \frac{A_{sw, \phi 11}}{s_r \cdot s_t} = \frac{95,0}{146 \cdot 254} = 0,0026 \quad (3.76)$$

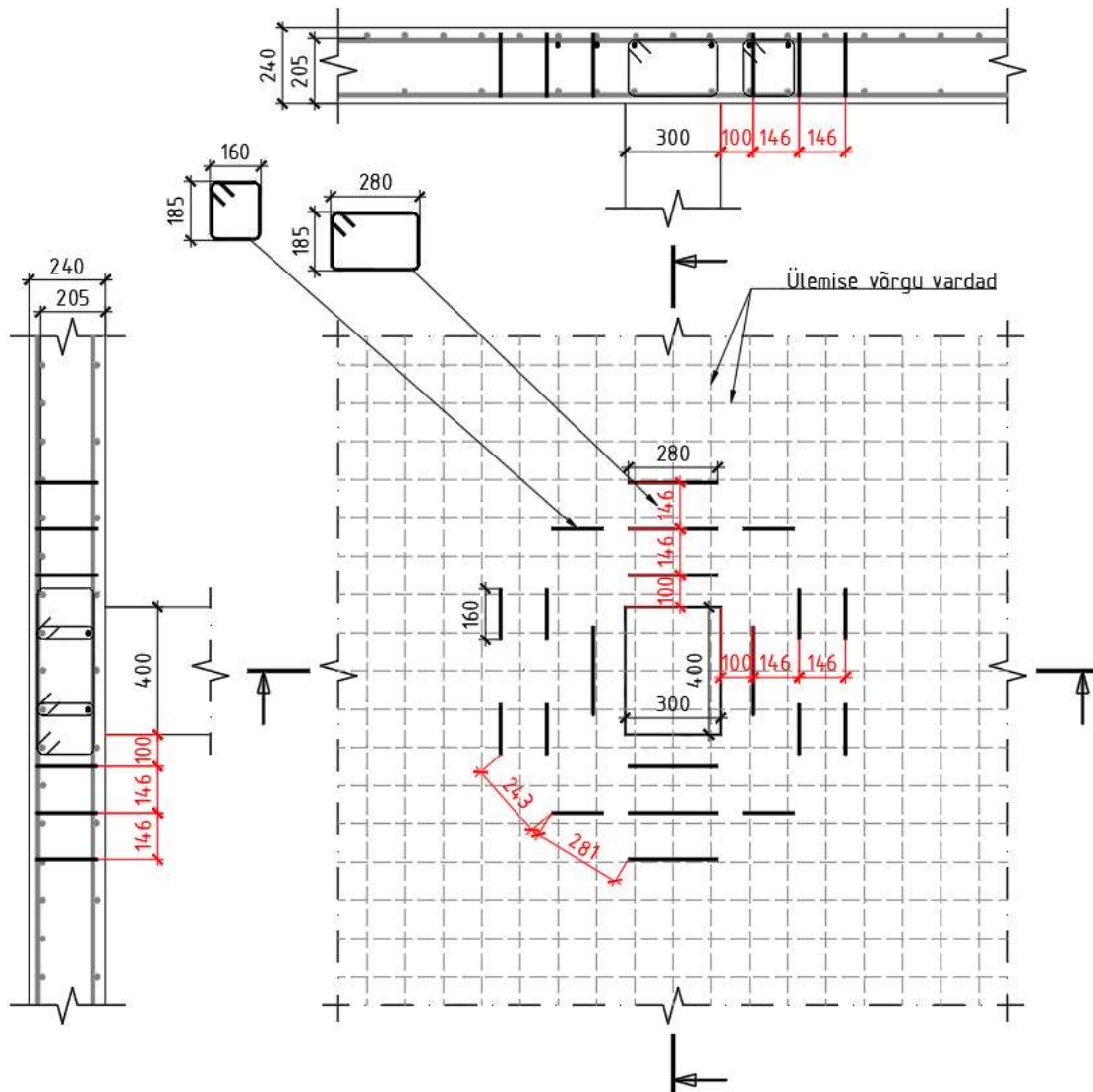
kus muudetud asukohaga rangide tangentsiaalne vahekaugus:

$$s_t = \frac{b_{rang}}{n_{rang}} = \frac{2028}{8} = 254 \text{ mm} \quad (3.77)$$

kus

$$b_{rang} = 2\pi \cdot l_{rang} + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 100 + 2(400 + 300) = 2028 \text{ mm} \quad (3.78)$$

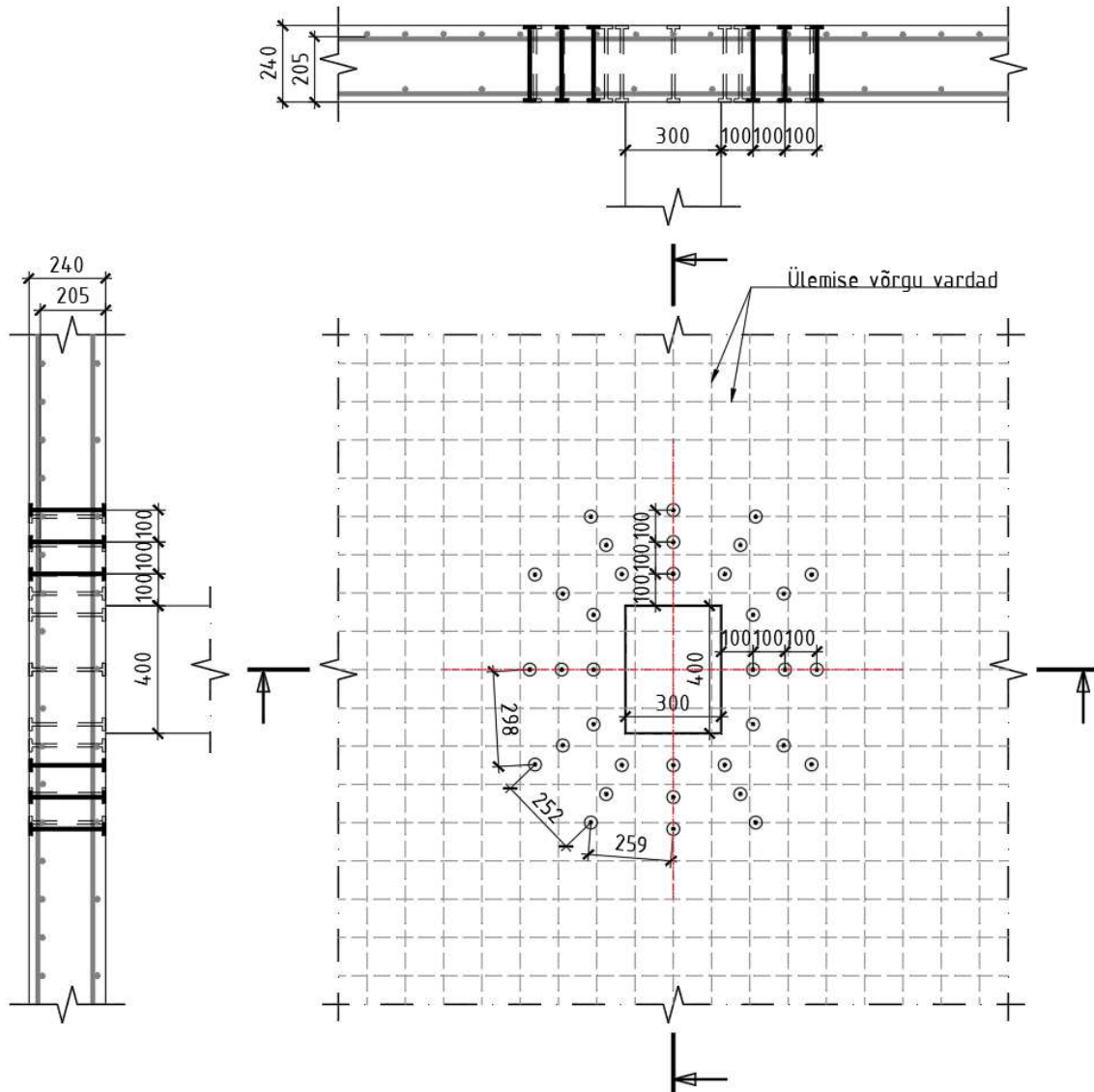
Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime on kõrgem, kui plaadis esinev nihkepinge $\tau_{Rd,cs} = 1,72 \text{ MPa} > \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, seega tingimus 2.1(2)(iii) on täidetud.



**Joonis 3.7 – Vaelaplaadi armeerimine vastavalt prEN 1992-1-1:2021
konstrueerimisnõuetele**

3.4.5 Laipealiste põikvarrastega tasapinnalise elemendi läbisurumiskandevõime

Läbisurumise vastu armeeritud elemendi näidiseks on jaotises 3.4 kirjeldatud vahelaeplaat, mis on armeeritud vastavalt joonisele 3.8.



Joonis 3.8 – Vahelaeplaadi armeerimine vertikaalse põikarmatuuriga

Plaadi pikiarmeering on kirjeldatud jaotises 3.4.4.

Põikarmatuuriks on kasutatud kahe peaga vardad (tüüblid) läbimõõduga:

$$\phi_v = 8 \text{ mm}$$

Rangi ühe lõike ristlõikepindala:

$$A_{sw, \phi 8} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2 \quad (3.79)$$

Rangid on asetatud vertikaalselt, seega:

$$\alpha = 90^\circ$$

3.4.5.1 Arvutus EN 1992-1-1:2004 järgi

Arvutuslikuga armatuuri elemendi läbisurumiskandevõime on arvutatav valemiga (6.52) [10]:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5(d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot [1/(u_i \cdot d)] \cdot \sin \alpha & (3.80) \\ &= 0,75 \cdot 0,65 + 1,5(205/100) \cdot 603,2 \cdot 301 \cdot [1/(3976 \cdot 205)] \cdot 1 \\ &= 1,17 \text{ MPa} \end{aligned}$$

kus

s_r on põikarmatuuri radiaalne vahekaugus

$f_{ywd,ef}$ on põikarmatuuri efektiivne arvutustugevus läbisurumisel (vt valem (3.60))

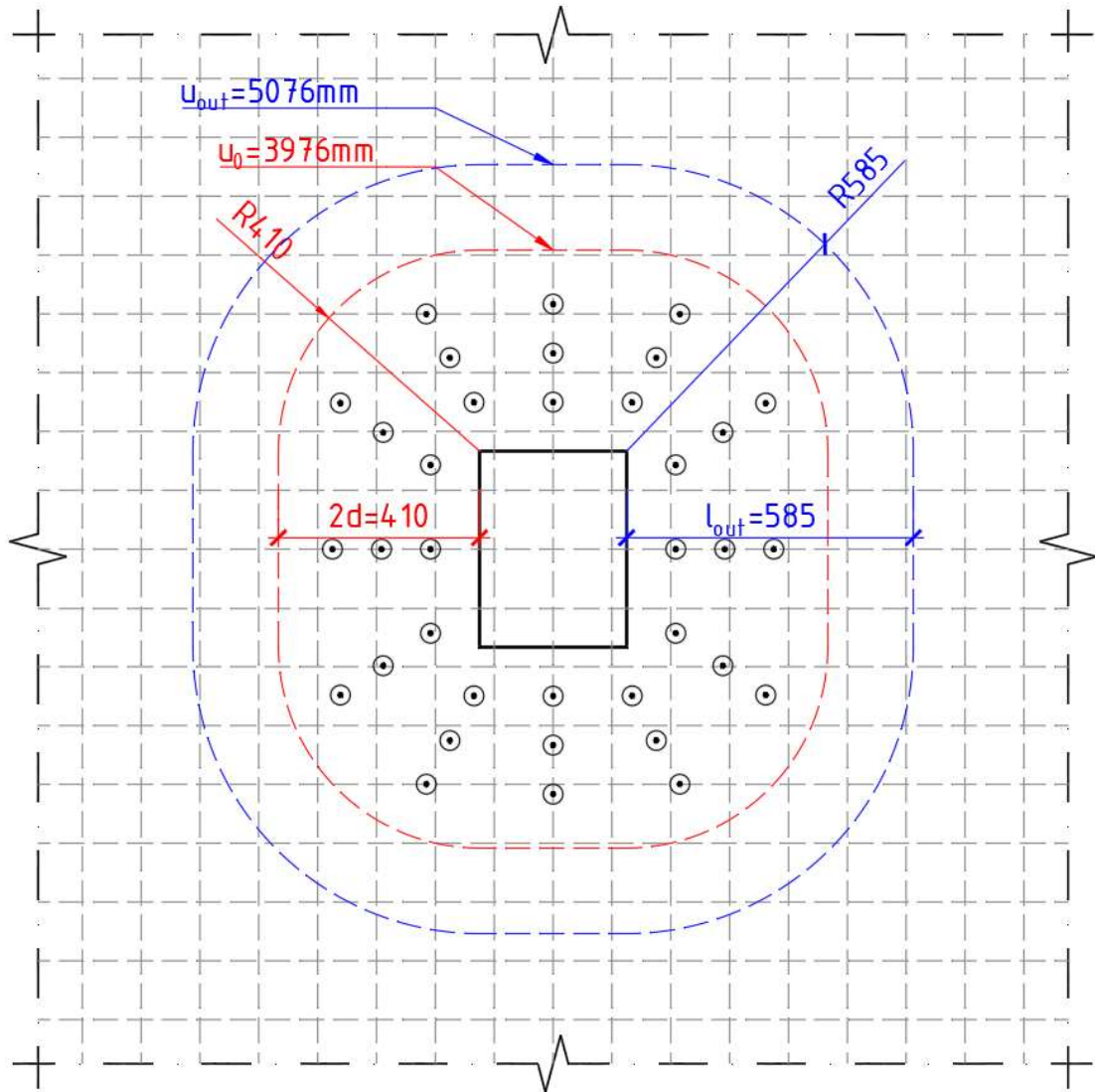
A_{sw} on põikarmatuuri kogupind ühel posti ümbritseval perimeetril arvutatud järgmiselt:

$$A_{sw} = n \cdot A_{sw,\emptyset 8} = 12 \cdot 50,3 = 603,2 \text{ mm}^2 \quad (3.81)$$

Kus $n = 12$ on põikarmatuuri vertikaallõikede kogus posti ühel ümbritseval perimeetril vastavalt joonisele 4.2.

Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime on kõrgem, kui plaadis esinev nihkepinge $v_{Rd,cs} = 1,21 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,83 \text{ MPa}$, seega tingimus 6.4.3(2c) [10] on täidetud.

Jaotises 3.4.4.1 arvutatakse kontrollperimeetri pikkust, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik (vt valem (3.62)), sest need näitajad samuti ei sõltu põikarmatuurist.



Joonis 3.9 – Vahelaeplaadi läbisurumise kontrollõiked EN 1992-1-1:2004 järgi (lahtine vertikaalne põikarmatuur)

3.4.5.2 Arvutus prEN 1992-1-1:2021 järgi

Arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime arvutatakse vastavalt valemile (2.18)

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} = 0,72 \cdot 1,15 + 0,8 \cdot 0,003 \cdot 435 = 1,86 \text{ MPa} \quad (3.82)$$

kus

η_c arvutatakse jaotises 3.4.4.2 valemiga (3.65)

ning vastavalt valemile (2.20):

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{3/2} = \frac{205}{150 \cdot 8} + \left(15 \frac{24}{205}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{0,72 \cdot 2,02}\right)^{3/2} = 0,93 \quad (3.83)$$

Arvutatud η_s väärtus ületab avaldises (2.20) määratud maksimumväärtust, seega

$$\eta_s = 0,87 > 0,8 \rightarrow \eta_s = 0,8 \quad (3.84)$$

Vastavalt valemile (2.21) plaadi põikarmeerimistegur:

$$\rho_w = \frac{A_{sw,08}}{s_r \cdot s_t} = \frac{50,3}{100 \cdot 169} = 0,003 \quad (3.85)$$

kus

s_r on põikarmatuuride radiaalne vahekaugus,

s_t on põikarmatuuride tangentsiaalne vahekaugus, mida vastavalt 2.4(1) arvutatakse kui posti servast samal kaugusel kui rang asuva perimeetri pikkuse ja rangide lõigete koguse jagatist:

$$s_t = \frac{b_{tüübel}}{n_{tüübel}} = \frac{2028}{12} = 169 \text{ mm} \quad (3.86)$$

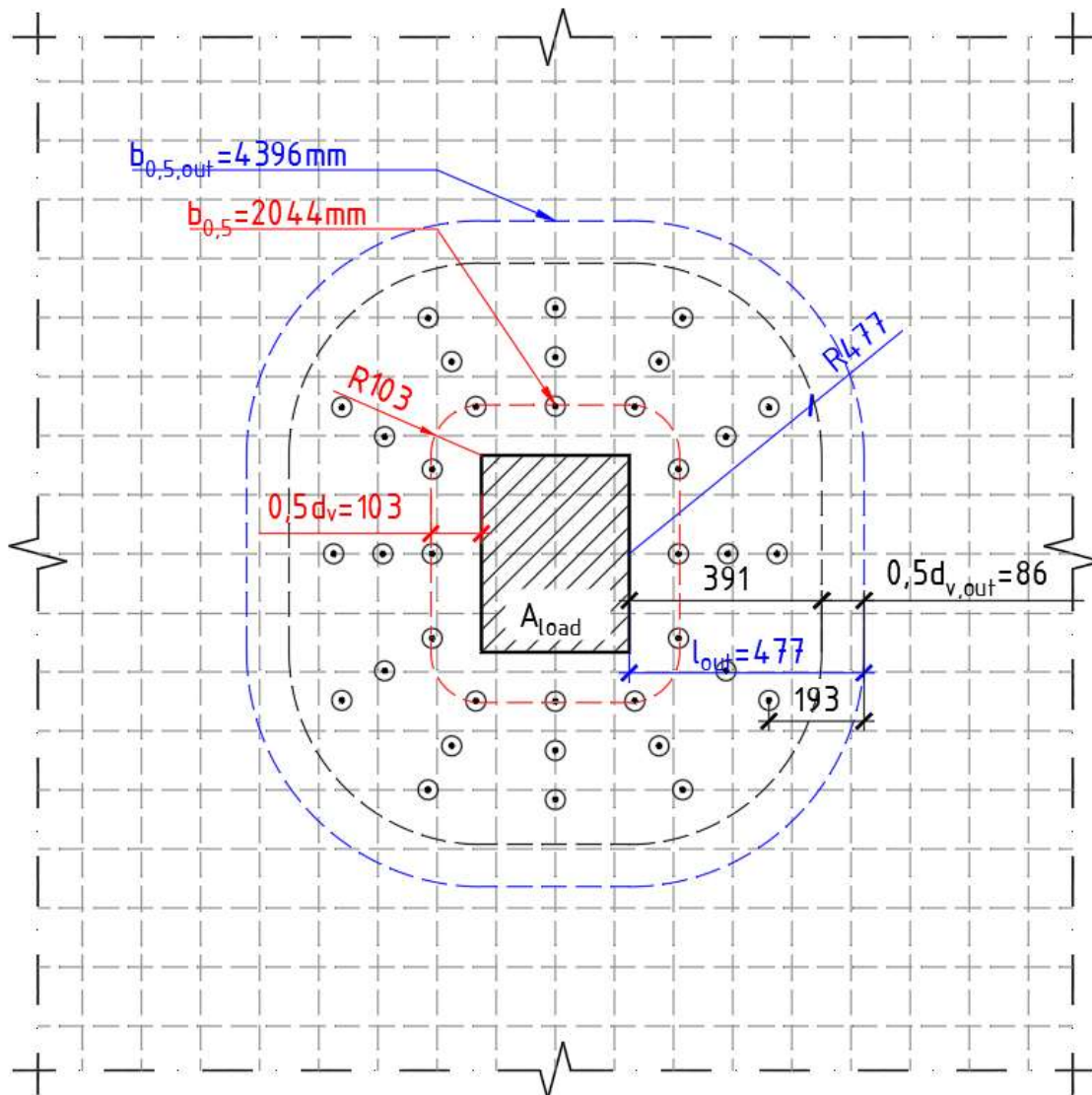
kus

$$b_{tüübel} = 2\pi \cdot l_{tüübel} + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 100 + 2(400 + 300) = 2028 \text{ mm} \quad (3.87)$$

$n_{tüübel} = 12$ on tüüblite lõikede kogus vaadeldavas perimeetris.

Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime on madalam, kui plaadis esinev nihkepinge $\tau_{Rd,cs} = 1,86 \text{ MPa} > \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, seega tingimus 2.1(2)(iii) on täidetud.

Jaotises 3.4.4.2 arvutatakse kontrollperimeetri pikkust, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik (vt valem (3.73)), sest need näitajad samuti ei sõltu põikarmatuurist.



Joonis 3.10 – Vaelaepaadi läbisurumise kontrolllõiked prEN 1992-1-1:2021 järgi (lahtine vertikaalne põikarmatuur)

Vaadeldavas plaadis välimine põikarmatuur asub $193\text{mm} = 0,94d_{v,out}$ välimisest kontrollperimeetrist, mis on suurem, kui $0,5d_{v,out}$, millega piiratakse välimise põikarmatuuri asukoha kaugus välimise kontrollperimeetrist punktis 2.4(4). Selle nõue tagamiseks, tuleb muuta armatuurimist vastavalt joonisele Joonis 3.11 (muutus tüüblite radiaalne samm $100\text{mm} \rightarrow 145\text{mm} = 0,71d_v < 0,75d_v$, tüüblite vahekaugus piki perimeetrit $298\text{mm} \rightarrow 303\text{mm} = 1,48d_v < 1,50d_v$ ning tüüblite kogus ühel perimeetril $12tk \rightarrow 14tk$). Tööblite asukoha muutumisega muutus ka plaadi läbisurumiskandevõime:

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} = 0,72 \cdot 1,23 + 0,8 \cdot 0,0024 \cdot 435 = 1,66 \text{ MPa} \quad (3.88)$$

kus

η_c on arvutatud valemiga (3.65)

η_s on arvatud valemiga (3.66)

$$\rho_w = \frac{A_{sw, \emptyset 8}}{s_r \cdot s_t} = \frac{50,3}{145 \cdot 145} = 0,0024 \quad (3.89)$$

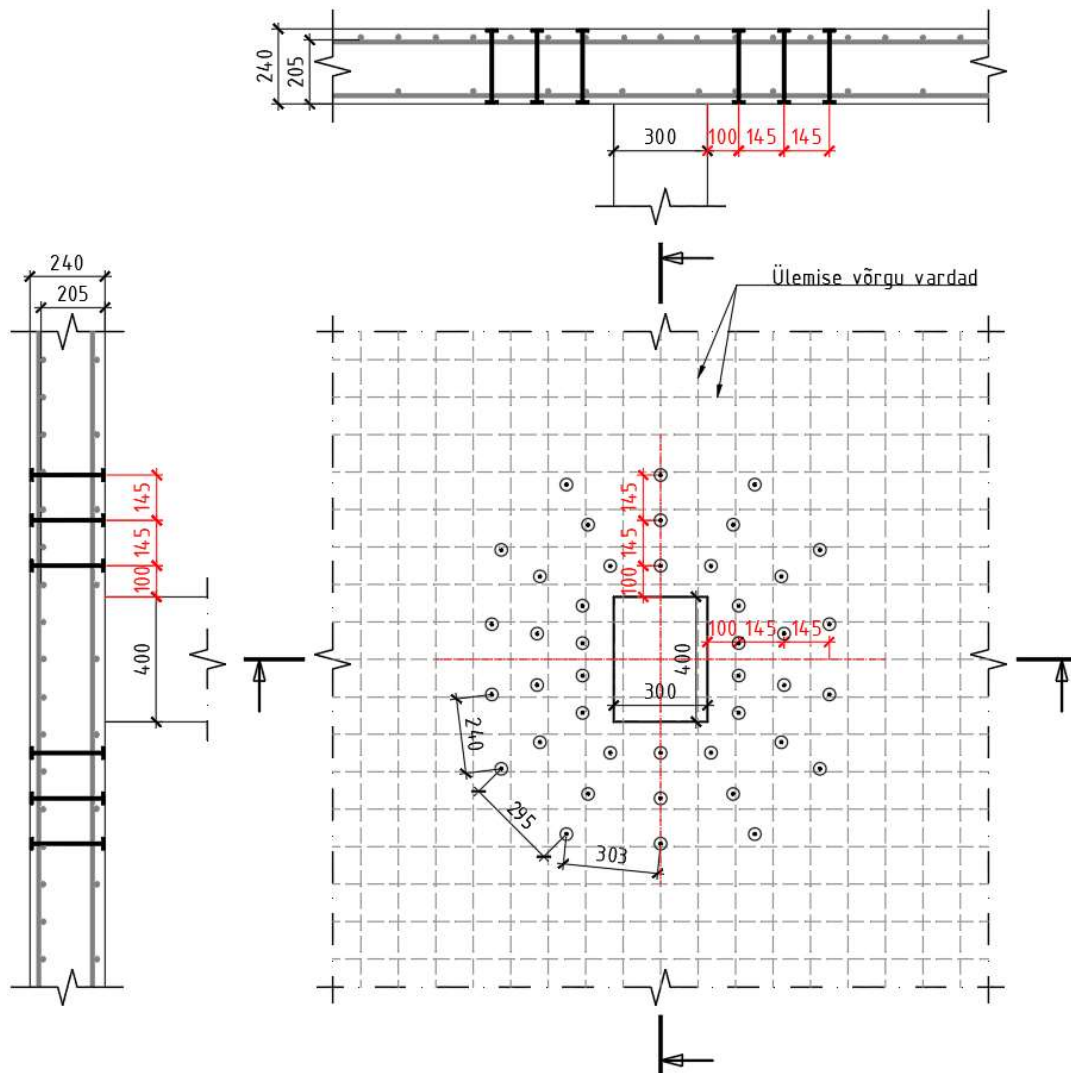
kus muudetud asukohaga tüüblite tangentsiaalne vahekaugus:

$$s_t = \frac{b_{tüübel}}{n_{tüübel}} = \frac{2028}{14} = 145 \text{ mm} \quad (3.90)$$

kus

$$b_{tüübel} = 2\pi \cdot l_{tüübel} + 2(c_1 + c_2) = 2\pi \cdot 100 + 2(400 + 300) = 2028 \text{ mm} \quad (3.91)$$

Arvutuslikuga põikarmatuuriga plaadi läbisurumiskandevõime on kõrgem, kui plaadis esinev nihkepinge $\tau_{Rd,cs} = 1,66 \text{ MPa} > \tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$, seega tingimus 2.1(2)(iii) on täidetud.



Joonis 3.11 – Vaelaepplaadi armeerimine vastavalt prEN 1992-1-1:2021 konstrueerimisnõuetele

3.4.6 Järeldused

(1) Erinevalt põikjõukandevõime väärtuste väljendamisest läbisurumiskandevõime mõlema põlvkonna standardites on väljendatud elemendi poolt vastuvõetavates nihkepingetes.

(2) Arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime.

Standardi prEN 1992-1-1:2021 arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime arvutamise meetod sarnaselt oma eelkäiaga näeb ette põikarmeermata elemendi läbisurumiskandevõime mõju, kuid kui kehtiv Eurokoodeks piirab selle mõju konstantse 75% väärtusega, siis uue põlvkonna Eurokoodeksis kasutusele võetud teguriga η_c konstantse kordajat asendatakse põikarmeermata elemendi läbisurumiskandevõime ja esineva nihkepinge jagatisega. Standardis prEN 1992-1-1:2021 arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime arvutamise põikarmatuuri mõju arvestatava valemi osa muutus keerulisemaks ning näeb ette teguri η_s kasutusele võtmist. Uue põlvkonna Eurokoodekstis põikarmatuuri instensiivsus on muutunud kompaktselt viides sisse põikarmeermisteguri ρ_w . Eelstandardis loobutakse põikarmatuuri efektiivse arvutustugevuse läbisurumisel kasutamisest ning asendatakse põikarmatuuri volavustugevuse arvutusliku väärtusega. Need muudatused tõid endaga kaasa arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime väärtuse suurendamist $\approx 66\%$ võrra kinnise põikarmatuuri kasutamisel ja $\approx 59\%$ võrra lahtise põikarmatuuri kasutamisel võrreldes väärtustega arvatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(3) Elemendi läbisurumiskandevõime maksimumväärtus.

Standardi prEN 1992-1-1:2021 elemendi läbisurumiskandevõime maksimumväärtuse arvutamisel tegurit k_{max} asendatakse teguriga η_{sys} . Kui EN 1992-1-1:2004 rahvuslik lisa lubas kasutada soovivat väärtust, siis uue põlvkonna standard näeb ette teguri η_{sys} arvutamist, mis põhineb plaadi kasuskõrguse, posti servas asuva kontrollperimeetri pikkuse väärtustel ning abisuurustel d_{sys} ja s_0 (määratlus vt Joonis 2.7). Need muudatused tõid endaga kaasa elemendi läbisurumiskandevõime maksimumväärtuse vähendamist $\approx 41\%$ võrra võrreldes väärtusega arvatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(4) Kontrollperimeetri pikkus, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik.

Kehtiva standardi põikarmatuuri mittevajava kontrollperimeetri pikkuse arvutus põhineb β teguri, esineva põikjõu, põikarmeermata elemendi läbisurumiskandevõime ning plaadi kasuskõrguse väärtustel. Eelstandardis nende mõju välise kontrollperimeetri pikkuse väärtusele suurendatakse. Standardis prEN

1992-1-1:2021 lisaks ülesmainitud tegurite väärtustele võetakse arvesse ka kontrollperimeetri pikkust ning välise kontrollperimeetri kasuskõrgust. Need muudatused tõid endaga kaasa välise kontrollperimeetri pikkuse vähendamist $\approx 13\%$ võrra võrreldes väärtusega arvatud EN 1992-1-1:2004 järgi.

(5) Tegur β_e .

Standardis prEN 1992-1-1:2021 teguri β_e arvutamisel loobutakse nihkejaotuse vastava baaskontrollperimeetri funktsiooni W_1 kasutusest. Punktis 2.2(6) laiendatakse teguri β_e ligikaudsete väärtuste kasutamist lubatavaid tingimuste nimekirja ning lubatakse kasutada teguri β_e ligikaudseid väärtusi ka seinte otste ja nurkade korral.

(6) Arvutusliku põikarmatuuriga plaatide läbisurumiskandevõimete arvutuste võrdlustulemused.

Kahe põlvkonna standardite arvutusliku põikarmatuuriga plaatide läbisurumiskandevõime arvutustulemused on esitatud tabelis Tabel 3.5.

	EN 1992-1-1:2004	prEN 1992-1-1:2021
Põikjõust tingitud nihkepinge	$v_{Ed} = 0,83 \text{ MPa}$	$\tau_{Ed} = 1,62 \text{ MPa}$
Kinniste rangidega plaatide läbisurumiskandevõime	$v_{Rd,cs} = 0,87 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,cs} = 1,44 (1,72)^a \text{ MPa}$
Laiapealiste põikvarrastega plaatide läbisurumiskandevõime	$v_{Rd,cs} = 1,17 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,cs} = 1,86 (1,66)^a \text{ MPa}$
Elemendi läbisurumiskandevõime maksimumväärtus	$v_{Rd,max} = 3,60 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,max} = 2,14 \text{ MPa}$
Kontrollperimeetri pikkus, kus põikarmatuur ei ole enam vajalik	$u_{out} = 5076 \text{ mm}$	$b_{0,5,out} = 4396 \text{ mm}$
^a näidiselemendi armeerimine ei vasta prEN 1992-1-1:2021 konstrueerimisnõuetele. Muudatused armeerimises olid esitatud ning sulgudes olev arv väljendab parandatud armeerimisega elemente kandevõimeid.		

Tabel 3.5 – Kinniste rangidega plaatide läbisurumisarvutustulemuste võrdlus.

3.4.7 Läbisurumisarmatuuri konstrueerimisnõuete muudatused

(1) Põikarmatuuri samm piki perimeetrit.

Kui kehtivas standardis vastavalt 9.4.3(1) [10] põikarmatuuride samm piki perimeetrit ei tohiks väljaspool esimest kontrollperimeetrit ületada $2,0d$, siis uue põlvkonna standardi järgi vastavalt 12.5.1(2) [1] põikarmatuuride samm piki

perimeetrit kaugusel $2,0d$ toalast asuva perimeetri väljases alas ei tohiks olla suurem, kui $3,0d$.

(2) Läbisurumisarmatuuri konstrueerimisala.

Kui kehtivas standardis vastavalt 9.4.3(1) [10] äärmine põikarmatuur ei tohiks olla lähem, kui $1,5d$ välimisest kontrollperimeetrist, kus läbisurumisarmatuur ei ole enam vajalik, siis uue põlvkonna standardi järgi vastavalt 12.5.1(2) [1] viimane põikarmatuuri tuleks panna mitte lähem, kui $0,5d_{v,out}$ väliskontrollperimeetrist.

(3) Ülespöörega armatuuride ülespööre lõpp toela suhtes.

Kui kehtivas standardis vastavalt 9.4.3(1) [10] ülespööre lõpp ei tohiks olla toalast kaugem, kui $2,0d$, siis uue põlvkonna standardi järgi vastavalt 12.5.1(2) [1] ülespööre lõpp ei tohiks olla toalast kaugem, kui $1,5d$.

(4) Standardis prEN 1992-1-1:2021 täiendatakse põikarmatuuri radiaalsete vahekaugustre reegleid postide põhjade armeerimisel vastavalt 12.5.1(2) [1].

(5) Standardis prEN 1992-1-1:2021 piiratakse läbisurumisarmatuuri ühe lõige maksimaalset läbimõõdu sõltuvalt armatuuri tüübist vastavalt 12.5.1(3) [1].

KOKKUVÕTE

Hetkel on käimas ettevalmistused EN 1992-1-1 uue versiooni välja andmiseks. Käesolev töö annab ülevaadet teise põlvkonna Eurokoodeks 2 standardi EN 1992-1-1:2021 mustandi põikjõukandevõime ja läbisurumiskandevõime arvutusmeetodite erinevustest võrreldes standardis EN 1992-1-1:2004 kirjeldatud meetoditega.

Töös on arvatud 4 erineva kõrgusega, 2 erineva täitematerjali jämedaima fraktsiooni väikseima väärtuse ja 3 erineva pikiarmeermisteguriga põikarmeermata tasapinnalise plaadi põikjõukandevõimed. On arvatud arvutusliku põikarmatuuriga ühtlaselt koormatud ristkülikukujulise tala põikjõukandevõimed, põikarmeermata plaadi läbisurumiskandevõime ning 2 erineva tüübi läbisurumisarmatuuriga armeeritud plaadi läbisurumiskandevõimed. Kõik arvutustulemusi võrreldakse EN 1992-1-1:2004 järgi arvatud tulemustega ning nende tulemuste võrdlus on esitatud. Töö käigus vaadeldi ka teise põlvkonna Eurokoodeksi 2 läbisurumisarmatuuri konstrueerimisnõudeid ning lisati lühike ülevaade muudatustest ja uuendustest.

Esimese põlvkonna Eurokoodeksis betooni survetugevuse arvutuslikku väärtuse määramiseks kasutatud tegur α_{cc} asendatakse teguri η_{cc} ja k_{tc} kombinatsiooniga. η_{cc} teguri eesmärk on kajastada betooni arvutusliku tugevuse suurenemise aeglustumist normtugevuse suurendamisel ja k_{tc} arvestab betooni vanust koormuse rakendamisel. Nende tegurite kasutusele võtmine eemaldab deformatsioonide piiramist kõrge tugevusega betooni kasutamisel [6].

Standardis prEN 1992-1-1:2021 elementide kandevõimeid väljendatakse elemendi poolt vastuvõetavates nihkepingetes, standardis EN 1992-1-1:2004 aga jõududes. Elementide põikjõukandevõime ühe ühikute teisendamisel teise vastu mõlema põlvkonna standardid annavad sarnased tulemused. Põikjõust tingitud nihkepinge määramisel teise põlvkonna Eurokoodeksis esitatud valemi järgi põikjõud jagatakse elemendi laiuse ja sisejõudude õla korrutisega. Eelmise põlvkonna standard otseselt ei määra nihkepinge arvutamist, kuid tingimuse (6.5) [10] põhjal saab teha järeldust, et põikjõud jagatakse elemendi laiuse ja kasuksõrguse korrutisega. Selle muudatusega standardis prEN 1992-1-1:2021 suureneb põikjõust tingitud nihkepinge väärtus.

	Põikjõust tingitud nihkepinge
EN 1992-1-1:2004	$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot d}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z}$

Uue põlvkonna Eurokoodeksis täpsustatakse põikarmeerimata elementide põikjõukindluse arvutusmeetodit, võttes arvesse rohkem betooni iseloomustavaid näitajaid (terasuurus). Väikeste kõrguste puhul eelstandardi arvutus andis tunduvalt suuremaid põikjõutugevuse väärtusi. Kõrguse suurendamisega prEN 1992-1-1:2021 põikjõukandevõime väärtused lähenesid EN 1992-1-1:2004 põikjõukandevõime väärtustele ning teatud piirilt alates olid ka väiksemad. See piir oli suhteliselt suurte elementide kõrguste juures.

	Põikarmeerimata elementide põikjõutugevus
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_V} \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{3}}$

Teise põlvkonna Eurokoodeksis suurendatakse põikjõu kandva survevälja kaldenurka kootangensi lubatud ülemist piiri väärtusest 2,5 väärtuseni 3, kuid ainult eeltingestatud elementide konstrueerimisel.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 lihtsustatakse surutud betoonkaldvarda kandevõimega määratud suurima elemendi poolt vastuvõetava põikjõu arvutusvalemit. Kaob surutud betoonkaldvarda kaldenurka mõju, mida asendatakse konstantse numbrilise väärtusega. Erihutumil uue põlvkonna Eurokoodeks näeb ette kaldenurga mõju arvesse võtmist ja suurima elemendi poolt vastuvõetava pingi valem erineb oma eelkäiest ainult teguri α_{cw} kasutamisest loobumise poolt. Eelstandardi järgi kandevõime arvutus andis tunduvalt paremaid tulemusi, võrreldes EN 1992-1-1:2004 väärtustega.

	Surutud betoonkaldvarda kandevõimega määratud elemendi põikjõukandevõime maksimumväärtus
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,max} = \frac{v \cdot f_{cd}}{2}$

Kehtivas standardis üldjuhul soovitatakse arvutada teguri v väärtust ning erijuhtumitel kasutada teguri v lihtsustatud arvutusmeetodikat. Teise põlvkonna Eurokoodeksis üldjuhul lubatakse kasutada teguri v lihtsustatud väärtusi 0,5 ning erijuhtumitel kasutada teguri v keerulisemaks muutunud täpset arvutamismetoodikat.

Armeeritud elemendi põikjõutugevuse arvutus sisuliselt ei ole standardis prEN 1992-1-1:2021 muutunud, kuid arvutusvalem sai lihtsustatud kuju. Põikjõust tingitud nihkepinge väärtus suurenemise ning kandevõime väärtuse muutumatuse

taustal uue standardi kandevõimetingimus on karmim ning näeb ette tugevamate elemente konstrueerimist võrreledes eelmise põlvkonna Eurokoodeksiga.

	Armeeritud elemendi põikjõukandevõime
EN 1992-1-1-:2004	$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$
prEN 1992-1-1:2021	$\left. \begin{aligned} \tau_{Rd,sy} &= \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \\ \rho_w &= \frac{A_{sw}}{s_{sw} \cdot b_w} \\ V_{Rd,sy} &= \tau_{Rd,sy} \cdot b_w \cdot z \end{aligned} \right\} V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$

Eelstandardis läbisurumiskandevõime arvutuses tunduvalt vähendatakse kontrollperimeetri kaugust toelast. See muutus põhjendas uue põlvkonna standardi järgi arvatud nii esineva kui ka kandevõime nihkepingete suuruste olulist muutumist. Kandevõime väärtuse kasv toimub nihkepinge väärtuse kasvuga sõltumatult, seega kandevõimetingimus ei pruugi eelstandardi järgi olla täidetud isegi kui eelmise Eurokoodeks 2 tingimus oli täidetud.

Standardis prEN 1992-1-1:2021 arvutusliku põikarmatuuriga elementide läbisurumiskandevõime arvutamisel võetakse arvesse rohkem betooni ja elemendi ristlõike näitajaid ning kontrollperimeetri pikkuse vähendamisega annab kõrgemat kandevõimet võrreldes eelmise põlvkonna Eurokoodeks 2.

	Armeeritud elemendi läbisurumiskandevõime
EN 1992-1-1-:2004	$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5(d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot [1/(u_i \cdot d)] \cdot \sin \alpha$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd}$ <p style="text-align: center;">kus</p> $\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}} = \frac{1,15}{1,62} = 0,72$ $\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{3/2}$ $\rho_w = \frac{A_{sw,08}}{s_r \cdot s_t}$

Elementide läbisurumiskandevõime maksimumväärtuse arvutus EN 1992-1-1:2004 piirab nihkepinget kontrollperimeetril, mis asub posti pinnas, mis tegelikult ignoreerib mõnesid tähtsaid parameetreid ja sellega võib viia kahtlastele tulemustele eriti põikarmeeritud elementide puhul [11]. Uue põlvkonna Eurokoodeks võtab arvesse põikarmeerimist ja annab tunduvalt madalama läbisurumiskandevõime väärtuse.

	Läbisurumiskandevõime maksimumväärtus
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c}$ <p style="text-align: center;">kus</p> $\eta_{sys} = 1,15 \frac{d_{sys}}{d_v} + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} - 0,85 \frac{s_0}{d_{sys}}$

Standardis prEN 1992-1-1:2021 välimise kontrollperimeetri pikkuse arvutamisel võetakse arvesse rohkem betooni ja elemendi ristlõike näidajaid, mis asetab välimise kontrollperimeetri viiendiku võrra lähemale postile.

	Välimise kontrollperimeetri pikkus
EN 1992-1-1:2004	$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$
prEN 1992-1-1:2021	$b_{0,5,out} = b_{0,5} \cdot \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^{\frac{3}{2}}$

Eelstandard laiendas teguri β_e kasutamist seintele ning karmistas teguri ligikaudsete väärtuste kasutamist, piirates serva ja nurgapostidele lubatud rakendatavat momenti.

Uue põlvkonna Eurokoodeksis esitatakse armatuuri läbimõõtu piiratud tingimus. Eelstandardi konstrueerimisnõuded on täiendatud radiaalsete vahekauguste reeglitega postidealuste vundamentide armeerimisel.

Vaadeldava töö läbisurumiskandevõime arvutamisel ei olnud arvesse võetud tasapinnalise plaadi saledust, kuna mõlema põlvkonna Eurokoodeksid (samuti kui ka ACI 318 [12]) ei määra saledust kui parameetrit läbisurumiskandevõime võrrandites [11]. Mitmed katsed [11] [13] [14] aga tõestavad, et plaadi saledus avaldab tähtsast mõju selle sõlme toimimisele. Mõjutades pragude laiust, saledus avaldab mõju ka läbisurumiskandevõimele. See mõju on suurem põikarmeeritud elementide puhul ning peaks olema arvestatud läbisurumiskandevõime määramisel [11].

SUMMARY

The thesis was written during the revision of the new version of Eurocode 2 EN 1992-1-1. This work aims to provide an overview of the differences in shear and punching resistance calculation methods between draft standard EN 1992-1-1:2021 and valid standard EN 1992-1-1:2004.

Two different aggregate grain sizes and three different reinforcement ratios were chosen to calculate the shear capacity of non-reinforced plates with four different heights. The shear capacity of the reinforced linear element was calculated on the example of an evenly loaded beam with a rectangular cross-section and vertical shear reinforcement. The punching resistance of the elements without punching reinforcement was calculated on the example of an evenly loaded slab part that is supported by interior columns. The slab and column connection is rigid. The same slab with two different punching reinforcement types was chosen as an example for reinforced slab punching capacity calculation.

For a value of the design compressive strength calculation in the previous generation of Eurocode 2 used factor α_{cc} is replaced by the combination of factors η_{cc} and k_{tc} . The η_{cc} factor is effectively a brightness factor that reflects the fact that as concrete gets stronger its brittleness increases. The k_{tc} factor is related to the effect of high sustained load [6].

The shear resistance is expressed as a stress in the draft of the standard EN 1992-1-1:2021 and as the load that cross-section is capable of bearing. Shear capacity unit conversion is the same in both generations of the Eurocode 2. The average stress over the cross-section in the second generation of the Eurocode 2 is expressed as a division of the design shear force per unit width and the lever arm of internal forces. The previous generation of the Eurocode 2 does not give instructions for stress calculation directly, but based on clause 6.5 [10], the stress may be expressed as a division of the design shear force per unit width and the effective depth of flexural reinforcement. As the value of the lever arm is $\approx 10\%$ less than the effective depth of the flexural reinforcement this update increases average stress over the cross-section.

	Average stress over the cross-section
EN 1992-1-1:2004	$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot d}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z}$

The non-reinforced elements' shear capacity calculation method was changed in a new generation of the Eurocode 2 by considering more concrete characteristic indicators (the size of the aggregate grain). In the case of slabs with low height, the calculation according to the pre-standard gave significantly higher results. With height increase, the values of the shear capacity calculated according to the prEN 1992-1-1:2021 approach the values calculated according to the EN 1992-1-1:2004 and starting from the slab certain height were even lower. This boundary is in case of the relatively high slabs.

	The non-reinforced elements' shear capacity
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_V} \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{ag}}{d} \right)^{\frac{1}{3}}$

The top allowed value of the inline of the compression field in the web was increased from 2,5 to 3 for the prestressed elements in the second generation of the Eurocode 2.

Limited by the compression field capacity the maximum value of the shear resistance is simplified in the standard prEN 1992-1-1:2021. The impact of the incline of the compression field disappears. This impact is replaced by the constant number value. In the specific cases, the new Eurocode 2 provides the specified calculation method that takes into consideration the impact of the incline of the compression field. The only difference is in the withdrawal of the factor α_{cw} . The shear resistance values calculated according to the pre-standard gave significantly higher values in comparison with the values calculated according to the EN 1992-1-1:2004.

	Limited by the compression field capacity the maximum value of the shear resistance
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,max} = \frac{v \cdot f_{cd}}{2}$

The valid standard recommends to accurate factor v value calculation method in general cases and a simplified calculation method in specific cases. The second generation of the standard allows to use simplified factor v value 0,5 and to calculate more complex accurate value in specific cases.

The calculation of the shear capacity of the elements with shear reinforcement is not changed, but the shape of the equation became simpler. As the value of

average stress over the cross-section increased and shear capacity did not the requirement of the shear capacity assurance became more demanding. This update forces to design more shear-strong elements in comparison with the previous generation of the Eurocode 2.

	The shear capacity of the elements with shear reinforcement
EN 1992-1-1:2004	$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$
prEN 1992-1-1:2021	$\left. \begin{aligned} \tau_{Rd,sy} &= \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \\ \rho_w &= \frac{A_{sw}}{s_{sw} \cdot b_w} \\ V_{Rd,sy} &= \tau_{Rd,sy} \cdot b_w \cdot z \end{aligned} \right\} V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$

The distance of the control perimeter from the face of the column is significantly reduced in the pre-standard. This update justifies the increase of the values of the average punching stress over the cross-section and punching capacity. The increase of the average shear stress is independent from the punching capacity therefore the shear capacity requirement may not be secured even if it was according to the previous generation of the Eurocode 2.

The calculation of the punching shear resistance of the elements with punching reinforcement consider more concrete and element cross-section characteristic indicators and with reduction of the value of the length of the control perimeter gave a higher result in comparison to the previous generation Eurocode 2.

	Punching shear resistance of the elements with punching reinforcement
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5(d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot [1/(u_i \cdot d)] \cdot \sin \alpha$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd}$ <p style="text-align: center;">kus</p> $\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}} = \frac{1,15}{1,62} = 0,72$ $\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{\frac{3}{2}}$ $\rho_w = \frac{A_{sw,08}}{s_r \cdot s_t}$

The verification of the maximum value of the punching capacity of the element that limits the shear stress at a control perimeter located at the column face neglects the influence of several important parameters and therefore may lead to very

conservative results in the case of slabs with shear reinforcement [11]. The calculation of the new generation of the Eurocode 2 considers reinforcement and gave much lower results.

	The maximum value of the punching resistance
EN 1992-1-1:2004	$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$
prEN 1992-1-1:2021	$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c}$ <p style="text-align: center;">kus</p> $\eta_{sys} = 1,15 \frac{d_{sys}}{d_v} + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} - 0,85 \frac{s_0}{d_{sys}}$

The calculation of the length of the outer control perimeter where punching reinforcement is no longer necessary considers more concrete and element cross-section characteristic indicators and places the outer control perimeter by one-fifth closer to the face of the column.

	The length of the outer control perimeter where punching reinforcement is no longer necessary
EN 1992-1-1:2004	$u_{out} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$
prEN 1992-1-1:2021	$b_{0,5,out} = b_{0,5} \cdot \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^{\frac{3}{2}}$

Pre-standard expanded usage of the factor β_e also on the wall ends and corners. The list of requirements that allow the use of factor β_e approximate values was supplemented with the limitation of the momentum applied on the edge and corner columns.

A new generation of the Eurocode 2 presents clause that limits the maximum diameter of the punching reinforcement. Pre-standard clause of detailing of members and particular rules was supplemented by the radial spacing requirements for the column bases.

Punching capacity calculations were not considering slab slenderness in this thesis. The reason is that both Eurocode generations (as well as ACI 318 [12]) neglect the effect of the slab slenderness [11]. Several experiments [11] [13] [14] show that slenderness of a specimen influences the stiffness of its load-rotation response. Through influencing the crack widths, it also affects the punching strength. This effect is especially significant in the slabs with shear reinforcement and has to be considered when selecting the specimen size in the design of punching tests [11].

KASUSTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] European Committee for Standardization, DRAFT prEN 1992-1-1:2021; Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules - Rules for buildings, bridges and civil engineering structures, Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2021.
- [2] G. Breitschaft, Kirjanik, *Present and Future of the Eurocodes*. [Performance]. European Commission, 2013.
- [3] F. Biasoli, G. Mancini, M. Just, M. Curbach, J. Walraven, S. Gmeiner, J. Arrieta, R. Frank, C. Morin ja F. Robert, Eurocode 2: Background & applications design of concrete buildings Worked examples, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.
- [4] Joint Research Centre, „About the EN Eurocodes,” European Commission, 08 02 2008. [Vörgumaterjal]. Available: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=1>. [Kasutatud 02 28 2022].
- [5] S. J. Hicks, Kirjanik, *Second Generation of the Structural Eurocodes*. [Performance]. The University of Warwick, 2020.
- [6] C. Giaccio, T. Jones ja A. Truby, Kirjanikud, *fibUK: Key updates in the second generation Eurocode 2*. [Performance]. IStructE, 2022.
- [7] European Committee for Standardization, EN 12620:2004+A1:2008 Aggregates for concrete, Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2004.
- [8] European Committee for Standardization, EN 206:2013+A1:2016/AC:2019 Concrete, performance, production and conformity, Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2013.
- [9] European Committee for Standardization, EN 933-4:2008 Tests for geometrical properties of aggregates, Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2008.
- [10] European Committee for Standardization, EN 1992-1-1:2004; Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules - Rules for buildings, bridges and civil engineering structures, Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2004.
- [11] J. Einpaul, J. Bujnak, M. F. Ruiz ja A. Muttoni, „Study on Influence of Column Size and Slab Slenderness,” *ACI Structural Journal*, kd. 113, nr S13, pp. 135-145, 2016.

- [12] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14), Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2014.
- [13] S. Lips, A. Muttoni ja M. F. Ruiz, „Experimental investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs,“ *ACI Structural Journal*, kd. 109, nr 6, pp. 889-900, 2012.
- [14] P. E. Regan, „Symmetric Punching of Reinforced Concrete Slabs,“ *Magazine of Concrete Research*, kd. 38, nr 136, pp. 115-128, 1986.

LISAD

Lisa 1 – käesolevas töös muudetud peatükkide numeratsiooni vastavus prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioonile

Jaotise kirjeldus	Numeratsioon käesolevs töös	prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioon
PÕIKJÕUKANDEVÕIME ARVUTAMINE prEN 1992-1-1:2021	1	8.2
Kontrolli üldmetoodika	1.1	8.2.1
Arvutuslikku põikarmatuuri mittevajavate elementide täpsem kontroll	1.2	8.2.2
Arvutuslikku põikarmatuuri vajavad elemendid	1.3	8.2.3
LÄBISURUMISKANDEVÕIME ARVUTAMINE prEN 1992-1-1:2021	2	8.4
Kontrolli üldmetoodika	2.1	8.4.1
Läbisurumise kasuskõrgus, kontrollperimeeter ja nihkepinge	2.2	8.4.2
Põikarmeerimata tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime	2.3	8.4.3
Arvutusliku põikarmatuuriga tasapinnaliste elementide läbisurumiskandevõime	2.4	8.4.4

Lisa 2 – käesolevas töös muudetud tabelite numeratsiooni vastavus prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioonile

Tabeli kirjeldus	Numeratsioon käesolevs töös	prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioon
– Nihkejõudude kontsentratsiooni mõju arvestav tegur β_e	Tabel 2.1	Table 8.3

**Lisa 3 – käesolevas töös muudetud valemite numeratsiooni vastavus prEN
1992-1-1:2021 originaalnumeratsioonile**

Valemi kirjeldus	Numeratsioon käesolevas töös	prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioon
Ristlõike keskmine nihkepinge	(1.1)	(8.10a)
	(1.2)	(8.10b)
Põikjõukandevõime miinimumväärtus	(1.3)	(8.11)
Arvutuslik põikjõud pikkusühiku kohta	(1.4)	(8.12)
Kasuskõrgus $v_{Ed,y}/v_{Ed,x}$ funktsioonina	(1.5)	(8.13a)
	(1.6)	(8.13b)
	(1.7)	(8.13c)
Kasuskõrguse alternatiivne määratlus	(1.8)	(8.14)
Nurk peapõikjõu ja x -telje vahel	(1.9)	(8.15)
Põikarmeermata elemendi põikjõukandevõime arvutuslik väärtus	(1.10)	(8.16)
Pikiarmeermistegur ρ_l	(1.11)	(8.17)
α_v määratlus d_{nom} asendamiseks	(1.12)	(8.18)
α_{cs} määratlus α_v arvutamiseks	(1.13)	(8.19)
Tegur k_{vp}	(1.14)	(8.20)
Põikarmeermata elemendi põikjõukandevõime alternatiivne määratlus	(1.15)	(8.21)
Tegur k_1	(1.16)	(8.22)
Eeltingestatud elementide kasuskõrgus d	(1.17)	(8.23)
Eeltingestatud elementide pikiarmeermistegur ρ_l	(1.18)	(8.24)
Pikiarmeermistegur $v_{Ed,y}/v_{Ed,x}$ funktsioonina	(1.19)	(8.25a)
	(1.20)	(8.25b)
	(1.21)	(8.25c)
Survevälja kaldenurga piirid	(1.22)	(8.6)
Arvutuslikuga põikarmatuuriga elemendi põikjõukandevõime	(1.23)	(8.7)
Põikarmeermistegur ρ_w	(1.24)	(8.8)
Survevälja pinge σ_{cd}	(1.25)	(8.9)
Arvutuslikuga põikarmatuuriga elemendi põikjõukandevõime üheaegse põikarmatuuri voolamise ja survevälja purunemise korral	(1.26)	(8.30)
Survevälja kaldenurga kootangens $\cot \theta$	(1.27)	(8.31)
Tegur θ , kui 1.3(3) ei ole tagatud	(1.28)	(8.32)
Alumise ja ülemise vöö keskmine deformatsioon ε_x	(1.29)	(8.33)
Deformatsioon ε_{xt}	(1.30)	(8.34)
Deformatsioon ε_{xc}	(1.31)	(8.35a)
Deformatsioon ε_{xc} , $F_{cd} < 0$	(1.32)	(8.35b)
Täiendav pikitõmbejõud N_{Vd}	(1.33)	(8.36)
Tõmmatud vöö jõud F_{td}	(1.34)	(8.37)
Surtunud vöö jõud F_{cd}	(1.35)	(8.38)
Elemendi nominaalne laius $b_{w,nom}$	(1.36)	(8.39)
Arvutuslikuga põikarmatuuriga elemendi põikjõukandevõime erijuhtm	(1.37)	(8.40)

Lisa 4 – käesolevas töös muudetud valemite numeratsiooni vastavus prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioonile

Valemi kirjeldus	Numeratsioon käesolevs töös	prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioon
Läbisurumisekandevõime deetailse kontrolli ärajätmist lubatav tingimus	(2.1)	(8.71)
Läbisurumisarmatuuri ärajätmist lubatav tingimus	(2.2)	(8.72)
Läbisurumisekandevõime maksimumväärtuse tagamistingimus	(2.3)	(8.73)
Arvutuslikuga läbisurumisarmatuuriga elemendi põikjõukandevõime	(2.4)	(8.74)
Kasuskõrgus läbisurumisel	(2.5)	(8.75)
Ristlõike keskmine nihkepinge läbisurumisel	(2.6)	(8.76)
Ristlõike keskmine nihkepinge τ_{Ed} alternatiivne määratlus läbisurumisel	(2.7)	(8.77)
Põikrmeerimata elementide põikjõukandevõime läbisurumisel	(2.8)	(8.78)
Pikiarmeerimistegur ρ_l läbisurumisel	(2.9)	(8.79)
Läbisurumisekandevõime gradiendi suurendamise tegur	(2.10)	(8.80)
α_{pb} määratlus d_v asendamiseks	(2.11)	(8.81)
α_p määratlus α_{pb} arvutamiseks	(2.12)	(8.82)
Tegur k_{pp}	(2.13)	(8.83)
	(2.14)	(8.84)
Tegur k_N	(2.15)	(8.85)
Tegur k_{pp}	(2.16)	(8.86)
Tegur k_N	(2.17)	(8.87)
Arvutuslikuga läbisurumisarmatuuriga elementide põikjõukandevõime	(2.18)	(8.88)
Tegur η_c	(2.19)	(8.89)
Tegur η_s	(2.20)	(8.90)
Põikarmeerimistegur ρ_w läbisurumisel	(2.21)	(8.91)
Läbisurumisekandevõime maksimumväärtus	(2.22)	(8.92)
Tegur η_{sys}	(2.23)	(8.93)
Väline kontrollperimeeter, kus põikarmatuur ei ole enam vaja	(2.24)	(8.94)

Lisa 5 – käesolevas töös muudetud jooniste numeratsiooni vastavus prEN 1992-1-1:2021 originaalnumeratsioonile

- Muutuva kõrgusega ja/või eelpingestusega elementide põikjõu komponendid
- Tugede lähedaste jõudude näited
- Piirkonnad, kus põikjõutugevuse täpsem kontroll võib ära jätta (domineerivate koormuste juhtumid)
- A_{s1} määratlus avaldises (1.9)
- Elemendi tõmmatud vööle suruv jaotatud koormus, mille võib lahutada arvutuslikust põikjõu väärtusest V_{Ed} .
- Põikarmeeritud elementide arvutusmudel ja tähised
- Laiuse b_w määratlus muutuva laiusega ristlõigete puhul
- Kaldenurkade β määratlus
- Plaadi kasuskõrgus d_v arvestades koormatud ala efektiivset taset
R
- Kontrollperimeetri $b_{0,5}$ pikkus suurte koormatud alade ümber ning tühimikude ja sisestuse lähedal
- Muutuva kõrgusega elementide kontrollperimeeter ja põikjõukandevõime kasuskõrgus
- Servapostide eksentrilisus ja kontrollperimeeter tabelis 2.1
- Laiuse b_s määratlus
- d_{sys} parameetri määratlus
- Kontrollperimeetrid väljaspool põikarmeeritud piirkonda