



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

PETRA PITKÄNEN

Paikallavaletun teräsbetonilaatan raudoitusten detajiiikka

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka
2020

Tekijä Pitkänen, Petra	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2020
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Paikallavaletun teräsbetoni­laatan raudoitusten detaljiikka		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin paikallavaletun teräsbetoni­laatan raudoituksen suunnittelua. Opinnäytetyössä keskityttiin yksityiskohtien raudoittamiseen, kuten jako-raudoitukseen, raudoituksen jatkoksiin, ankkurointiin, reikiin, aukkoihin ja työsaumoihin. Työn tavoitteena oli päivittää teräsbetonirakenteiden raudoituksen yleisohje. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi A-Insinöörit Oy.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin teräsbetoni­laatan mitoitusta ja raudoituksen suunnittelua. Teoriaosuudessa käytiin läpi kaikki teräsbetoni­laatan suunnitteluun liittyvät oleelliset tekijät sekä perehdyttiin yksityiskohtaisemmin raudoituksen yksityiskohtien suunnitteluun. Teoriaosuuden avulla luotiin pohjaa teräsbetonirakenteiden raudoituksen yleisohjeelle. Työn teoriaosuuden aineisto kerättiin rakennusalan kirjallisuudesta, internetlähteistä ja yrityksen sisäisistä materiaaleista.</p> <p>Työ toteutettiin perehtymällä etenkin aiheen kirjallisuuteen sekä erityisesti Eurokoodin betonirakenteiden suunnittelua koskeviin määräyksiin. Työssä hyödynnettiin myös yrityksen kehittämiä materiaaleja.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin aikaiseksi päivitetty ja laajempi versio teräsbetonirakenteiden raudoituksen yleisohjeesta. Tämän jälkeen tieto löytyy yhdestä paikasta, ja suunnittelijoiden laatimat suunnitelmat ovat yhtenäisempiä.</p>		
Asiasanat Paikallavalettu, teräsbetoni­laatta, raudoitus		

Author Pitkänen, Petra	Type of Publication Bachelor's thesis	Date September 2020
	Number of pages 49	Language of publication: Finnish
Title of publication Details of reinforcements of cast-in-place reinforced concrete slab		
Degree program Construction and civil engineering		
Abstract <p>In this Bachelor's thesis, the design of the reinforcement of a cast-in-place reinforced concrete slab was examined. The thesis focused on the reinforcement of details, such as distribution-bar reinforcement, reinforcement extensions, anchoring, holes, openings and construction joints. The aim of the thesis was to update the general instructions for the reinforcement of reinforced concrete structures. The thesis was commissioned by A-Insinöörit Oy.</p> <p>The theoretical part of thesis dealt with the dimensioning and reinforcement design of reinforced concrete slabs. In the theoretical part, all the essential factors related to the design of the reinforced concrete slab were reviewed and the design of the reinforcement details was studied in more detail. The theoretical part was used to create the basis for the general instructions for the reinforcement of reinforced concrete structures. The material of the theoretical part of the thesis was collected from the construction industry literature, internet sources and the company's internal materials.</p> <p>The work was carried out by reading the literature on the subject and the provisions of the Eurocode on the design of concrete structures. The materials developed by the company were also utilized in the work.</p> <p>As a result of the thesis, an updated and more extensive version of the general instructions for the reinforcement of reinforced concrete structures was obtained. After that, the information can be found in one place, and the plans made by the designers are more coherent.</p>		
<u>Key words</u> Cast-in-place, reinforced concrete slab, reinforcement		

SISÄLLYS

SYMBOLIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO.....	8
2 TERÄSBETONILAATAT.....	9
2.1 Laattarakenteiden toiminta	9
2.1.1 Laattatyypit	9
2.1.2 Teräsbetonilaattojen rakenteellinen toiminta.....	10
2.1.3 Laatan mitoitusperusteet	12
2.2 Laatan voimasuureiden laskenta	13
2.2.1 Yhteen suuntaan kantavat laatat.....	13
2.2.2 Ristiin kantavat laatat	14
2.3 Murtorajatilamitoitus.....	17
2.3.1 Taivutusmitoitus.....	17
2.3.2 Leikkausmitoitus	19
3 LAATAN RAUDOITUKSEN SUUNNITTELU.....	22
3.1 Suunnitteluperiaatteet.....	22
3.2 Taivutusraudoituksen suunnittelu	23
3.3 Raudoituksen jakaminen vähemmän rasitetuille alueille	24
3.4 Yksityiskohtien raudoittaminen	26
3.4.1 Betonipeite	26
3.4.2 Tankojen väliset etäisyydet.....	27
3.4.3 Raudoitusten taivutukset	28
3.4.4 Raudoitusten jatkaminen.....	29
3.4.5 Raudoitusten ankkuroiminen	32
3.4.6 Vapaan reunan raudoittaminen	35
3.4.7 Reiät ja aukot.....	35
3.4.8 Työsaumat.....	36
4 LAATAN RAUDOITTAMISEN PERIAATTEET.....	37
4.1 Laatan raudoitus.....	37
4.2 Minimiraudoitusmäärä	39
4.3 Tankojen taivutustelojen sallitut halkaisijat	40
4.4 Jatkaminen	41
4.5 Ankkurointi.....	43
4.6 Reiät ja aukot	46
4.7 Työsauma.....	46
4.8 Laatan vapaa reuna ja tuettu reuna.....	47

5 YHTEENVETO.....	49
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLIT JA LYHENTEET

A	poikkileikkausala
A_c	betonipoikkileikkauksen ala
A_s	betonin vetoraidoituksen poikkileikkausala
$A_{s,min}$	vähimmäisraudoituksen poikkileikkausala
A_{sw}	leikkausraudoituksen poikkileikkausala
EI	taivutusjäykkyys
F_d	kuorman mitoitusarvo (myös p_d , q_d , g_d , jne.)
F_k	kuorman ominaisarvo (myös p_k , q_k , g_k , jne.)
G_k	oman painon ja pysyvän kuorman ominaisarvo
L	pituus, jännemitta
L_x	etäisyys laatan reunasta x-akselin suhteen
M	taivutusmomentti
M_{Ed}	mitoitustaiivutusmomentti
M_x	taivutusmomentti x-akselin suhteen
N	normaalivoima
N_{Ed}	mitoitusnormaalivoima
V	leikkausvoima
V_x	leikkausvoima x-akselin suhteen
V_{Ed}	mitoitusleikkausvoima
M_{Rd}	taivutuskestävyys, mitoitusarvo
$M_{pl,Rd}$	plastinen taivutuskestävyys, mitoitusarvo
V_{Rd}	leikkauskestävyys yleensä, mitoitusarvo
$V_{Rd,c}$	leikkausraudoittamattoman rakenteen leikkauskestävyys, mitoitusarvo
$V_{Rd,s}$	leikkausraudoitetun rakenteen leikkauskestävyys, raudoituksen myötäämiseen perustuva kestävyys, mitoitusarvo
b	leveys
b_{ef}	puristuslaipan mitoitusleveys (tai b_{cd})
b_w	uuman leveys
d	tehollinen korkeus
f_{cd}	betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

f_{ck}	betonin lieriölujuuden ominaisarvo
f_{sk}	raudoituksen ominaislujuus
f_y	rakenneteräksen myötölujuus
f_{swd}	hakojen ja leikkausraudoituksen mitoituslujuus
f_{yd}	betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo
h	korkeus
k	kerroin, tekijä, luku
x	neutraaliakselin etäisyys poikkileikkauksen puristetusta reunasta
x, y, z	koordinaatit
z	poikkileikkauksen sisäisten voimien momenttivarsi
q	tasainen hyötykuormitus
β	puristetun poikkileikkauksen suhteellinen korkeus, kerroin
γ	materiaaliosavarmuusluku
γ_c	betonin materiaaliosavarmuusluku
γ_s	raudoituksen materiaaliosavarmuusluku
λ	hoikkuus, suhdeluku
μ	suhteellinen momentti, kitkakerroin
ν	leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin
ρ	raudoitussuhde = A_s/A_c
ρ_l	vetorausoitussuhde = A_s/bd
ρ_w	leikkausraudoitussuhde
ϕ	betoniterästangon tai jänneteräksen suojaputken halkaisija
ϕ_n	nippuraudoitteen ekvivalentti halkaisija
ω	mekaaninen raudoitussuhde = $\rho \frac{f_{sd}}{f_{cd}}$
η	tehollisen lujuuden kerroin

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on teräsbetoni-laatan raudoituksen suunnittelu. Tarkoituksena on keskittyä yksityiskohtien raudoittamiseen, kuten pääraudoitukseen, jakoraidoitukseen, raudoituksen jatkoksiin, ankkurointiin, reikiin, aukkoihin ja työsaumoihin. Edellä mainituista raudoituksista on tavoite suunnitella tyypilliset detaljit.

Toimeksiantaja työlle on A-Insinöörit Oy. Yritys on ennakkoluuloton rakentamisen suunnittelu- ja konsulttitalo. A-Insinöörit työllistää noin 800 henkilöä ja sen toiminta keskittyy rakennuttamisen, rakennesuunnittelun ja infrarakentamisen hankkeissa 10 toimipisteessä Suomessa ja kansainvälisesti. Tässä opinnäytetyössä toiminta painottuu rakennesuunnitteluun.

Opinnäytetyö lähti liikkeelle tarpeesta päivittää käytössä oleva teräsbetonirakenteiden raudoituksen yleisohje. Olemassa oleva raudoituksen yleisohje on suppea ja näin ollen sitä pitäisi laajentaa ja ajantasaistaa tämänhetkisten vaatimusten mukaiseksi. Tarkoitukseni on muokata palkkiin ja laattaan liittyvät tiedot raudoituksen yleisohjeeseen. Ohjetta on tarkoitus laajentaa seuraavanlaisesti: laattojen reikien piilien raudoitus, leikkauspituudet, jatkospituudet, ankkurointipituudet, tankojen sisäpuolisten minitaitutussäteet, teräslatukoodit, taivutustyyppit sekä minimi terästys . Opinnäytetyössä keskitytään vain teräsbetoni-laatan raudoitukseen.

Myös tavoitteena on, että tieto löytyy yhdestä paikasta ja eri suunnittelijoiden laatimat suunnitelmat ovat yhtenäisiä, päivitetyn raudoituksen yleisohjeen myötä. Teräsbetoni-laatan raudoitusta käsittelevä teoriaosuus toimii pohjana raudoituksen yleisohjeelle.

2 TERÄSBETONILAATAT

2.1 Laattarakenteiden toiminta

2.1.1 Laattatyypit

Laatat ovat yleensä rakennusten vaakasuoria tasorakenteita, ala-, ylä- ja välipohjia. Laatat välittävät laattaan kohdistuvat kuormat ja oman painon sitä kantaville seinille, palkeille ja pilareille. Laatat ovat myös usein samalla rakennuksen jäykistävä levyrakente, joka ohjaa vaakakuormia jäykistäville pystyrakenteille.

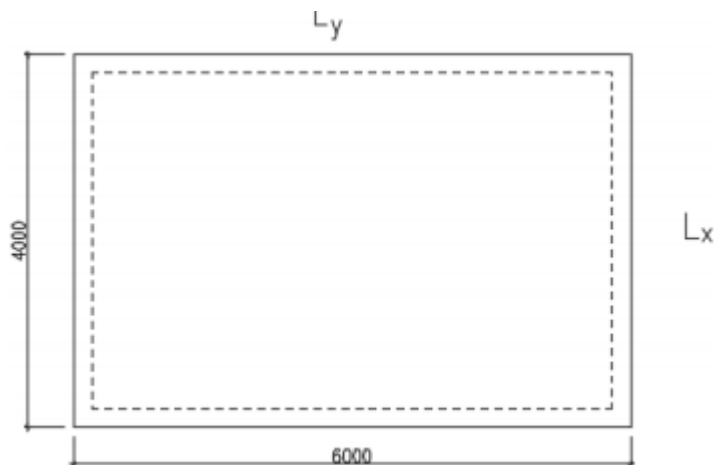
Laattarakente pystytään tekemään eri tavoilla, yleisiä laattarakenteita:

- massiivilaatta
- ripalaatta
- arinalaatta
- kuorilaatta
- ontelolaatta
- liittolaatta

Massiivilaataksi kutsutaan tasapaksua, eheää laattaa, jossa ei ole erillisiä kevennyksiä tai vahvennuksia. Massiivilaatta on yleisin paikallavalurakenne. Massiivilaatan isoimmaksi ongelmaksi muodostuu pitkillä jänneväleillä suureksi kasvava laatan oma paino. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 7)

2.1.2 Teräsbetonilaattojen rakenteellinen toiminta

Laatat ovat rakenteita, joissa sivumitat L_x ja L_y ovat merkittävästi suuremmat kuin laatan paksuus h .

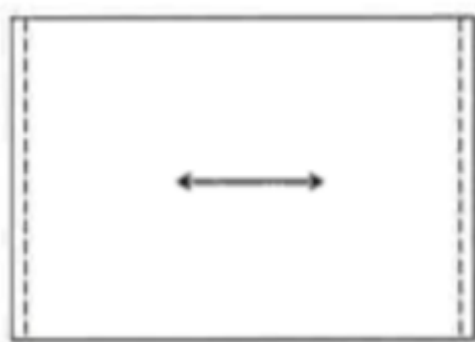


Kuva 1. Esimerkki laatan sivumitoista L_x ja L_y (mitat mm).

Tuentatavan mukaan laatat jaetaan:

- yhteen suuntaan kantaviin
- ristiin kantaviin

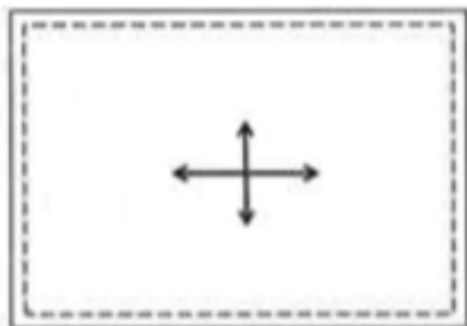
Yhteen suuntaan kantavassa laatussa taivutusrasitukset kuljetetaan viivamaisille tuille pituussuunnassa ja laatta toimii samalla tavalla kuin palkki. Laatta ja palkki eroavat toisistaan leveyden ja poikkileikkauksen korkeuden perusteella. Leveässä palkissa on poikkittaisia rasituksia ja laatoissa poikkittaiset rasitukset hoidetaan tarvittavalla poikkittaisraudoituksella.



Kuva 2. Yhteen suuntaan kantavan laatan kuormien siirtyminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 10).

Ristiin kantavat laatat ovat yleensä neljältä sivulta tuettuja. Ristiin kantavat laatat kuljettavat kuormia kahdessa tosiinsa vastaan kohtisuorassa kulkevassa suunnassa. Kuormien ja taivutusmomentin jakautuminen johtuu laatan jännemitoista sekä taivutusjäykkyyksien suhteesta. Kun sivumittojen suhde on iso ($L_y/L_x > 2$), oletetaan laatan keski-alueen käyttäytyvän yhteen suuntaan kantavana ja päätyjen käyttäytyvän ristiin kantavina.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 9)



Kuva 3. Ristiin kantavan laatan kuormien siirtyminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 10).

2.1.3 Laatan mitoitusperusteet

Massiivilaatan suunnittelussa sekä mitoituksessa tulee huomioida rakenteelle määrätyt vaatimukset, näin kokonaisuudesta tulee niin taloudellinen, että toimiva rakenne. Laatoilla raudoituksena käytetään hitsattuja verkkoja, joiden valmistukseen soveltuu kylmämuovattu harjateräs (B500A). Kun laatalle tarvitaan normaalia suurempaa muodonmuutoskykyä, pystytään hyödyntämään kuumavalssattua harjaterästä (B500B).

Laatan paksuudenvalinta on oleellisimpia mitoitustehtäviä, koska paksuus vaikuttaa merkittävästi äänieristykseen, palokestävyyteen, taivutuskestävyyteen ja taipumaan.

Laatan paksuuden ollessa ainakin 260...280 mm, toteutuvat huoneistojen väliset äänieristysvaatimukset. Laatan palonkestävyys määrittää harvoin laatan paksuuden, näin ollen sen tarkastaminen ei ole olennaisinta mitoituksessa.

Murtorajatila ei tule tavallisesti määrääväksi laatanpaksuuden mitoituksessa, koska taivutus- ja leikkauskestävyys pystytään hallitsemaan pienellä raudoituksella ($\omega < 0,25$).

Laatan murtorajatilassa huomioidaan lisäksi lävistysmitoitus. Laatan paksuus määräytyy yleensä taipumarajatilan mukaan. Taipumaa saadaan rajoitettua kasvattamalla laatan paksuutta.

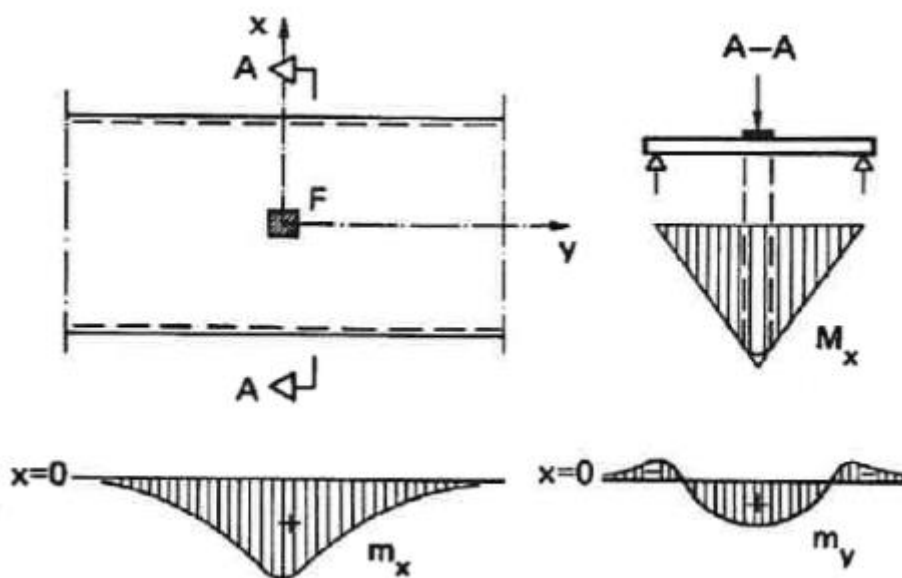
(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 11)

2.2 Laatan voimasuureiden laskenta

2.2.1 Yhteen suuntaan kantavat laatat

Mikäli laattaan kohdistuu kuormitusta, joka on tasaisesti jakautunutta kuormaa, esiintyy laatta sen seurauksena taivutusmomenttia ainoastaan pääsuunnassa. Jos taas kuormana toimii pistemäisiä kuormia, esiintyy taivutusrasituksia myös laatan poikittaisessa suunnassa, jota on kuvattu kuvassa 4. Laatan toiminta poikittaisessa suunnassa varmistetaan käyttämällä vähimmäisraudoitus ohjeistuksia.

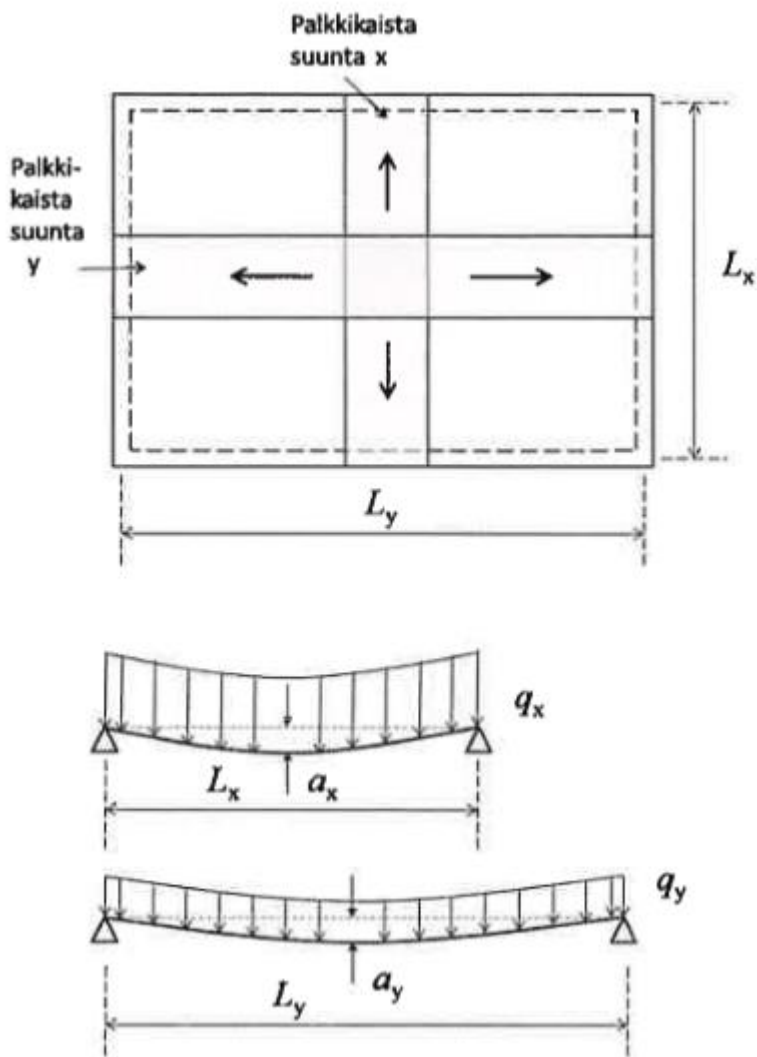
(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 13)



Kuva 4. Yhteen suuntaan kantavan laatan rasituksia (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 13).

2.2.2 Ristiin kantavat laatat

Ristiin kantavat ovat kolmelta tai neljältä sivulta tuettuja laattoja, jolloin niissä syntyy toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa taivutusrasituksia. Laatan käyttäytymistä voidaan kuvata likimääräisesti mallintamalla ristikkäin toisiaan vastaan kohtisuorissa suunnissa olevat palkkikaistat kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Ristiin kantavan laatan mallintaminen risteävien palkkikaistojen avulla (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 14).

Laatassa tunnetaan jännemitat L_x ja L_y , sekä tasainen kuorma q .

Tutkitaan taipuman yhtälöitä risteävien palkkikaistojen risteyskohdissa.

$$\begin{array}{ll} \text{x-suuntainen palkki} & \text{y-suuntainen palkki} \\ a_x = \frac{5}{384} \frac{q_x}{(EI)_x} L_x^4 & a_y = \frac{5}{384} \frac{q_y}{(EI)_y} L_y^4 \end{array} \quad (1)$$

Ehdon avulla, voidaan x- ja y-suuntaisten palkkikaistojen taipumat merkitä yhtä suureksi, jolloin saadaan kuormien välinen suhde q_x ja q_y .

$$\frac{q_x}{q_y} = \frac{(EI)_x L_y^4}{(EI)_y L_x^4} \quad \text{kun } a = a_x = a_y \quad (2)$$

Kokonaiskuorman saadaan laskettua

$$q = q_x + q_y \quad (3)$$

Kuormat, jotka aiheuttavat maksimimomentit

$$m_x = \frac{1}{8} q_x L_x^2 \quad m_y = \frac{1}{8} q_y L_y^2 \quad (4)$$

Taivutusmomenttien suhteet saadaan laskettua

$$\frac{m_x}{m_y} = \frac{(EI)_x}{(EI)_y} \left(\frac{L_y}{L_x} \right)^2 \quad (5)$$

Edellä esitetyn tarkastelun avulla havaitaan, että taivutusmomentit ovat suoraan verrannollisia taivutusjäykkyyteen ja kääntäen verrannollisia jännemittojen toiseen potenssiin. Ristiin kantavassa laatassa momenttijakauma on riippuvainen jännemitoista. Oleellinen huomio on, että taivutusmomentti on suurempi lyhyemmän jännevälän suunnassa.

Edellä esitetty tarkastelu on likimääräinen, koska se ei ota huomioon sitä, että todellisessa laatassa palkkikaistat ovat kiinteästi kiinnitetty toisiinsa. Sen vuoksi todellisen

laatan jäykkyys on suurempi kuin edellä esitetyssä tarkastelussa. Lisäksi raudoitusmäärän kasvattaminen muuttaa jäykkyyttä ja siten jäykkyys voi olla erilainen eri suunnissa.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 13-15)

2.3 Murtorajatilamitoitus

2.3.1 Taivutusmitoitus

Kun laatta on yhteen suuntaan kantava, toteutetaan taivutusmitoitus pääsuunnassa. Toisessa suunnassa vaadita taivutusmitoituksen tekemistä, sillä raudoitus määritellään rakenteellisten ohjeiden mukaan. Edellä mainittua raudoitusta kutsutaan jakoraudoitukseksi. Ristiin kantavissa laatoissa molemmat suunnat ovat pääsuuntia ja raudoitus määräytyy taivutusmitoituksen mukaan.

Ennen kuin aletaan mitoittamaan taivutusraudoitusta, tulee mitoittaa ulkoisten kuormien rasitukset, päättää laatan paksuus ja valita käytettävät materiaalit.

Näiden perusteella tunnetaan:

- ulkoisten kuormien aiheuttama mitoitusmomentti m_{Ed}
 - poikkileikkauksen tehollinen korkeus d
 - betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd}
- (sekä tehollisen lujuuden kerroin η)

Mitoitusyhtälö

$$m_{Rd} \geq m_{Ed} \quad (6)$$

Suhteellinen momentti

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{\eta f_{cd} d^2} \quad (7)$$

Poikkileikkauksen suhteellinen momentti tulee olla pienempi kuin tasapainoraudoituksen mukainen suhteellinen momentti, jotta poikkileikkaus on kykeneväinen ottamaan momentin vastaan. Laatoilla kyseinen raja ei yleensä tule vastaan, mutta tämä ehto on siitä huolimatta hyvä tarkastaa.

$$\mu \leq \mu_{bd} \quad (8)$$

Mikäli poikkileikkauksen suhteellinen momentti pysyy raja-arvoissa, pystytään rakenne mitoittamaan normaaliraudoitettuna.

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (9)$$

Mekaaninen raudoitussuhde

$$\omega = \beta \quad (10)$$

Vaadittu raudoitusala

$$A_{s,vaad} = \omega d \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}} \quad (11)$$

Tarkastetaan vähimmäisraudoitusala ($A_{s,min}$). Tarkastetaan minimiraudoitus vaatimukset ja tankovälivaatimukset.

$$A_{s,vaad} \geq A_{s,min} \quad (12)$$

Valittua tankoa vastaava tankoväli

$$k = \frac{A_s(\phi)}{A_{s,vaad}} \quad (13)$$

Tarkistetaan maksimitankoväli ($s_{max,slab}$)

$$k \leq s_{max,slab} \quad (14)$$

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 48-49)

2.3.2 Leikkausmitoitus

Laatat suunnitellaan yleensä leikkausraudoittamattomina. Leikkausmitoitusta suoritetaan viivamaisille tuille, tuki voi olla vapaasti kiertyvä tai kiinnitetty. Yleensä riittää leikkauskestävyyden tarkastelu tuella, jossa on isoin leikkausrasitus. Laatoille kuormitus ja kestävyys mitoitetaan jakautuneina suureina.

Leikkauskestävyys

$$v_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} dk (100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa})^{1/3} MPa \quad (15)$$

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvo

$$v_{Rc,cmin} = 0,035 dk^{3/2} \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} MPa \quad (16)$$

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvon apusuure

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d}} \leq 2,0 \quad (17)$$

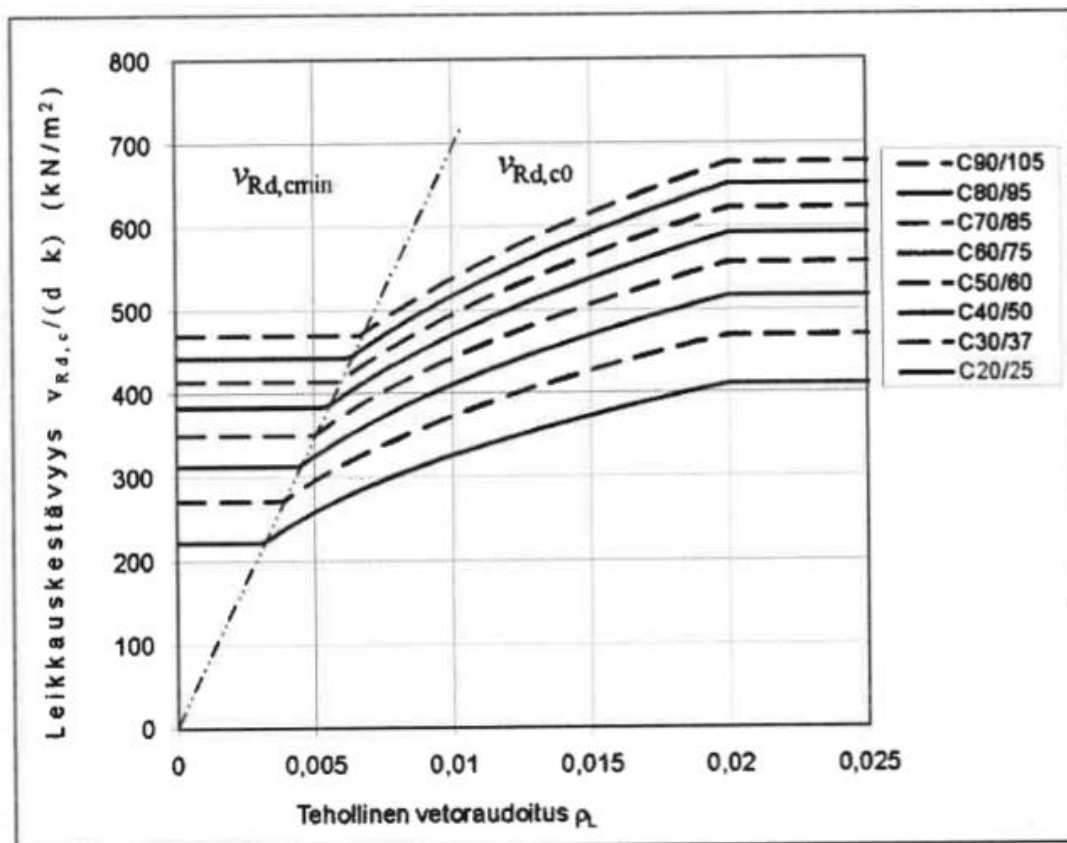
Suhteellinen raudoitusala

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{d} \leq 0,02 \quad (18)$$

Lopullinen leikkauskestävyys

$$v_{Rd,c} = \max\{v_{Rd,c0}, v_{Rd,cmin}\} \quad (19)$$

Leikkauskestävyys saadaan aikaiseksi betonin lujuusluokan ja suhteellisen raudoitusalan kautta, jota kuvaa kuvan 6 apukäyrästä. Edellä mainitussa kuvassa 6 on sovellettu kertoimelle k arvoa 2,0, joka vaikuttaa vähäisesti vähimmäiskestävyyteen.



Kuva 6. Laatan leikkauskestävyys tehollisen, suhteellisen vetorausoituisalan funktiona (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 59).

$$\gamma_c = 1,5, \gamma_s = 1,15 \quad (20)$$

Vetorausoituisen määrä (A_{sL}) tulee selvittää ja mitoituksessa huomioidaan ainoastaan vetorausoituis, joka on ankkuroitu kriittisessä poikkileikkauksessa. Mikäli kaikkia raudoituksia ei ole kokonaan ankkuroitu poikkileikkaukseen, pienennetään raudoituksien määrää (A_{sL0}) ankkurointipituuksien kanssa samassa suhteessa.

Vetorausoituisen lukumäärä

$$A_{sL} = A_{sL0} \frac{L_{bd}}{L_{b0}} \quad (21)$$

Mitoitus ehto

$$v_{Rd,c} \geq v_{Ed} \quad (22)$$

Mikäli mitoitusehto ei täyty, pystytään leikkauskestävyyttä parantamaan lisäämällä pääraudoituksen määrää ja parantamalla raudoituksen ankkurointia. Pääraudoituksen lisääminen kasvattaa leikkauskestävyyttä, mutta sitä pystytään kasvattamaan enimmillään vain 1,5...2-kertaiseksi alkuperäiseen arvoon nähden.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 58–59)

3 LAATAN RAUDOITUKSEN SUUNNITTELU

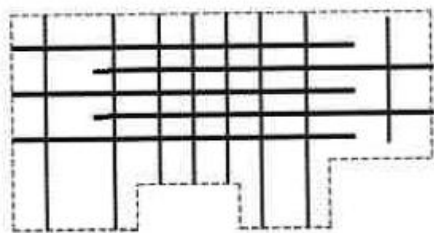
3.1 Suunnitteluperiaatteet

Laattojen suunnittelussa raudoitustavan valinta vaikuttaa oleellisesti laatasta muodostuviin kustannuksiin. Raudoitustavan valinnalla pystytään vaikuttamaan esimerkiksi betoniterästen määrin ja asennustöistä aiheutuviin kustannuksiin. Laattojen raudoittamiseen voidaan käyttää irtotankoja, verkkoja, kaistarauδοitteita tai edellä mainittujen yhdistelmiä.

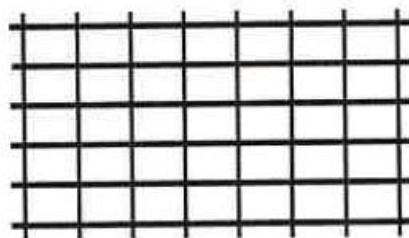
Irtotangoilla pystyy raudoittamaan kaikki laatat, mutta on monesti kallis asennustyön vuoksi. Verkkoraudoitusta käytetään yleensä säännöllisen muotoisille laatoille, joka tekee helpoksi asentamisen ja on usein myös halvempi vaihtoehto. Verkkoraudoituksella ei voida optimoida laatan raudoitusmäärää yhtä tarkasti kuin irtotangoilla. Suunniteltaessa verkkoraudoituksien limityksiä tulee huomioida, että verkkonippujen pak-suudet eivät kasva kovin suuriksi. Kaistarauδοitteet toimivat yhteen suuntaan toimivina raudoitteina, joiden pituus valitaan ulottumaan koko jänteen mitalle, silloin ei tarvita jatkoksia. Kaistarauδοilla päätangot sidotaan sidetangoilla noin metrin leveiksi kaistoiksi, että asentaminen olisi vaivatonta. Laatan vähemmän kuormitetuilla alueilla voidaan hyödyntää kevyempää raudoitusta.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 79-80)

a) irtotankoraudoitus



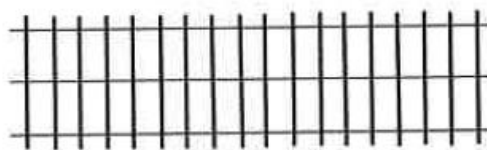
b) verkkoraudoite



c) kaistarauδοite (kenttä)



d) kaistarauδοite (tuki)



Kuva 7. Laatan raudoitteita (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 80).

3.2 Taivutusraudoituksen suunnittelu

Laattojen vähimmäisraudoitusmäärä voi nousta todella suureksi, esimerkiksi kun laatan paksuus on määritelty muun kuin kuormituksen mukaan ja kuormitus on pieni. Kun haurastumisen riski on pieni, on mahdollista hyödyntää Eurokoodissa näytettyä 1,2-kertaista murtorajatilan raudoitusta.

Vähimmäisraudoitusmäärä lasketaan seuravanlaisella kaavalla.

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} d \\ 0,0013d \end{array} \right. \quad (23)$$

Raudoitustankojen maksimitankovälit on määritetty Eurokoodissa, annettuja maksimiarvoja ($S_{max,slabs}$) ei tule ylittää. Maksimivälit on määritetty erikseen pääraudoitukselle ja jakoraudoitukselle. Maksimitankovälit on määritetty lisäksi erikseen maksimimomenttien alueille ja muille alueille. Taulukossa 1 on näytetty maksimitankovälit.

Taulukko 1. Tankovälisäännöt, kahdesta arvosta pienempi on määrävä (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 81).

$S_{max,slabs}$ (pienempi arvoista)	pääraudoitus	jakoraudoitus
maksimimomentin ja pistekuormien alueet	2h 250 mm	3h 400 mm
muut alueet	3h 400 mm	4h (3,5h) 600 mm (450 mm)

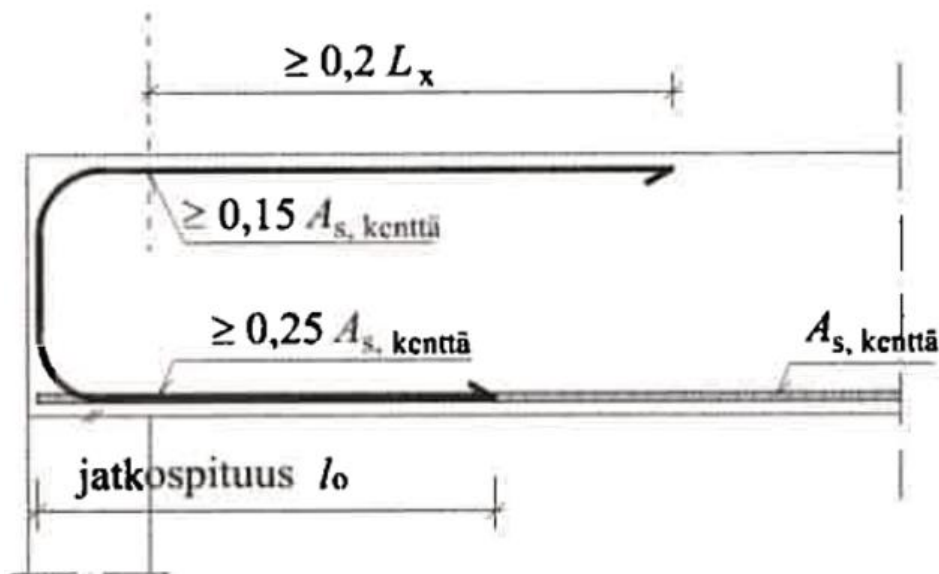
Ristiin kantavilla laatoilla tulee huomioida vähimmäisraudoitussääntö kenttäraudoituksen kummassakin suunnassa. Yhteen suuntaan kantaville laatoille tulee asentaa jakoraudoitus, joka toimii poikittaisessa suunnassa. Jakoraudoituksen määrä tulee olla ainakin 20% pääraudoituksen määrästä. Tukialueilla jakoraudoitus voidaan jättää pois, jos tuen suunnassa ei ole taivutusmomenttia.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 80-81)

3.3 Raudoituksen jakaminen vähemmän rasitetuille alueille

Laatan keskialueella sijaitsee kenttämomentin maksimi-arvo, jonka mukaa mitoitetaan raudoitus. Momenttien arvo pienenee kummassakin suunnassa tukien suuntaan. Jänteen suunnassa olevaa raudoitusta on mahdollista katkaista ennen tukea. Poikittaiseen suuntaan laatan reunaan pystytään muodostamaan kevennyskaista vähentämällä raudoituksen määrää koko jänteen mitalla. Kevennyskaista on leveydeltään $\frac{1}{4}$ laatan lyhyemmän sivun mitasta, sekä raudoituksen määrää pystytään vähentämään puoleen maksimimomentin edellyttämästä raudoituksesta. Tukiraudoitus täytyy asentaa tuen leveydelle täysimittaisena.

Vapaasti tuettu reunatuki tulee mitoittaa kiinnitysmomentille, se on ainakin 15% suurimmasta kenttämomentista. Tukiraudoitus tulee ylittää tuen reunasta etäisyydelle $0,2 \times$ lyhyempi sivumitta. Tukiraudoituksen tankoväli voi olla enintään pienempi arvoista $3h$ ja 400 mm .



Kuva 8. Vapaan tuenraudoitus (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 83).

Jatkuvan tai kiinnitetyn tuen raudoituksen katkaiseminen määritellään momenttipinnan mukaan. Momentin nollakohtien määrittäminen pystytään suorittamaan likimääräisesti seuraavanlaisella menettelyllä:

- kentän vastakkaisia tukia merkitään i :llä ja j :llä ja kyseisien tukien momenteja m_i :llä ja m_j :llä sekä kenttämomenttia suunnassa i - j m_{i-j} :llä
- lasketaan momenttien suhteet

$$k_i = \frac{m_i}{m_{i-j}} \text{ ja } k_j = \frac{m_j}{m_{i-j}} \quad (24)$$

- momentin nollakohdan etäisyys tuelta i on

$$a_{0i} = \frac{\sqrt{1+k_i}-1}{\sqrt{1+k_i}+\sqrt{1+k_j}} L_x,$$

kun i-j on lyhyemmän jänteen suuntaan (L_x)

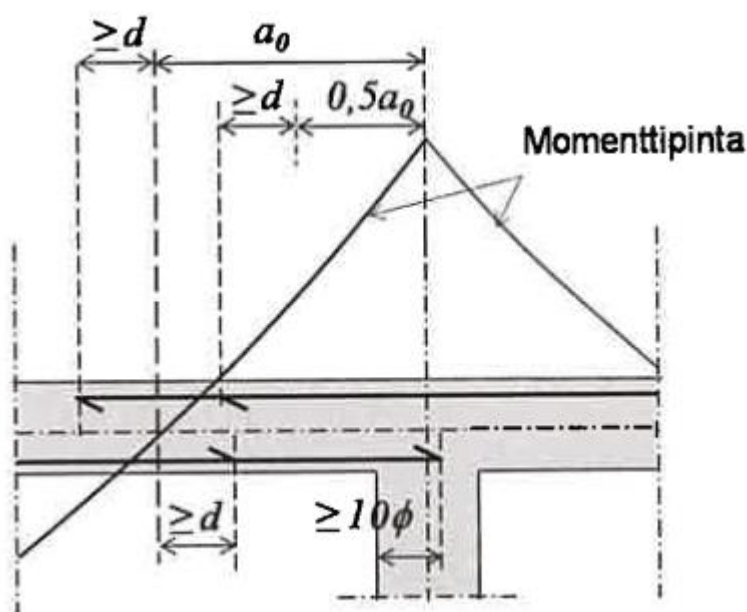
$$a_{0i} = \frac{\sqrt{1+k_i}-1}{\sqrt{1+k_i}+\sqrt{1+k_j}} \sqrt{L_x L_y},$$

kun i-j on pitemmän jänteen suuntaan (L_y)

Yllä olevaan momenttipintaa levitetään mitalla $a_L=d$. Tukiraudoitus pystytään katkaisemaan tuen keskilinjalta etäisyydeltä $a_0 + d$. Tukiraudoituksesta voidaan tarvittaessa puolet katkaista etäisyydellä $0,5 a_0 + d$.

Laatan jatkuessa jatkuvan tuen yli tai reunatuella tulee aina asentaa ainakin vähimmäisraudoitus, tai vaihtoehtoisesti laatan betoni tulee katkaista tuelta.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 81, 83–85)



Kuva 9. Raudoituksen katkaisukohdat jatkuvalla tuella (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 85).

3.4 Yksityiskohtien raudoittaminen

3.4.1 Betonipeite

Betonipeitteessä huomioidaan betonipinta ja sitä lähimpänä olevien raudoitusten pintojen välinen etäisyys. Betonipeitteen nimellisarvo c_{nom} esitetään piirustuksissa. Betonipeitteen nimellisarvo c_{nom} on summa peitteen vähimmäisarvosta c_{min} ja suunnittelussa huomioon otettavasta mittapoikkeamasta Δc_{dev} .

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (25)$$

Betonipeitteen vähimmäisarvo paikallavaletuissa rakenteissa on vähintään tangon halkaisija \varnothing tai $c_{min,dur}$ tai 10 mm. $c_{min,dur}$ tarkoittaa ympäristöolosuhteista riippuvaa betonipeitteen vähimmäisarvoa. Pienin sallittu betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{min,b}$ on 5 mm, kun kiviaines on yli 32 mm.

Taulukko 5. Betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{min,dur}$ (nimellisarvo – sallittu mittapoikkeama) säilyvyyden suhteen eri rasitusluokissa. Vaatimukset eivät koske XC-rasitusluokissa B600KX raudoitusta (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 22).

Rasitusluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm]		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm]	
	Betoniteräs	Jänneteräs	Betonirauditus	Jänneteräs
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

Taulukko 6. Standardin SFS-7022 mukainen pienin betonin lujuusluokka (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2011, 27).

Rasitusluokka taulukon 4.1 mukaan			
X0	XC1	XC2	XC4 XC3
C12/15	C20/25	C25/30	C30/37

Sallittu mittapoikkeaman Δc_{dev} on yleensä 10 mm. Epätasaisia pintoja vasten valettaessa betonipeitteen nimellisarvo mitoitetaan kaavoista:

$$c_{min} + 10mm \quad (\text{tasausbetoni tai kova eriste}) \quad (26)$$

$$c_{min} + (\Delta c_{dev})mm \quad (\text{muissa tapauksissa}) \quad (27)$$

(Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2011, 25, 27–28)

Taulukko 7. Δc_{dev} maata vasten valettaessa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2011, 28).

Alustan laatu	Δc_{dev}
Tasattu ja tiivistetty hiekka tai sora ja lineaariset raudoitusvälikkeet	20 mm
Tasattu ja tiivistetty hiekka tai sora ja pistemäiset raudoitusvälikkeet	30 mm
Tasattu, mutta tiivistämätön hiekka, tai sora ja lineaariset raudoitusvälikkeet (esim. paalulaatta)	30 mm
Tasattu, mutta tiivistämätön hiekka, tai sora ja pistemäiset raudoitusvälikkeet (esim. paalulaatta)	40 mm

3.4.2 Tankojen väliset etäisyydet

Raudoituksen vierekkäisten tankojen etäisyyksien tulee olla sellaiset, että betoni pystytään valamaan ja tiivistämään niin, että riittävä tartunta saavutetaan. Erillisten yhdensuuntaisten tankojen vapaan välin ja vierekkäisten tankojen vaakakerrosten välin tulee olla vähintään suurin seuraavista arvoista:

- tangon halkaisija
- $d_g + 3$ mm, missä d_g on kiviaineksen suurin raekoko
- 20 mm

Mikäli tankoja asetetaan päällekkäin, asetetaan kaikki kerroksen tangot päällekkäin. Silloin betoni saadaan tiivistettyä hyvin. Jatketut tangot voivat olla kiinni toisissaan jatkospituuden verran.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 99)

3.4.3 Raudoituksien taivutukset

Taivutetuilla raudoitustangoilla perinteisesti parannetaan ankkurointia. Rajoitetun tilan takia tangot tulisi taivuttaa mahdollisimman tiukasti. Taivutussäteeseen asettaa rajoituksia raudoitustangon kestävyys taivutettaessa ja betonin kestävyys raudoitustangon sisäpuolella kuormitettaessa. Pieniä taivutusteloja pystytään käyttämään seuraavien ehtojen toteutuessa:

- taivutuksen sisäpuolella on ainakin ankkuroitavan tangon kanssa yhtä paksu poikittaistanko
- betonipeite on taivutustasoa nähden kohtisuorassa suunnassa ainakin 3ϕ
- ankkurointia varten riittää taivutuskohdan takana 5ϕ

Yllä esitetyistä ehdoista viimeisin rajoittaa pienten telojen käyttöä yleensä vain haka-tangoilla. Mikäli edellä mainitut ehdot eivät toteudu, lasketaan taivutustelan halkaisija alla olevalla kaavalla.

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right) \quad (28)$$

missä F_{bt} on taivutuskohdan alkuun kohdistuva voima
 a_b on taivutustason keskiöetäisyys betonin pinnasta tai puolet vierekkäisten taivutustasojen keskiöetäisyydestä
 f_{cd} betonin lujuutena käytetään enintään lujuusluokan C55/65 arvoja
 (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 196–198)

Taulukko 8. Tankojen taivutustelan vähimmäishalkaisijalle $\phi_{m,min}$ käytetään seuraavia arvoja (Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2, 74).

Tangon halkaisija	Haat, koukut ja lenkit	Pääraudoitus
$\Phi \leq 10 \text{ mm}$	4 Φ	24 Φ
$10 < \Phi \leq 20 \text{ mm}$	5 Φ	24 Φ
$\Phi > 20 \text{ mm}$	7 Φ	24 Φ

Taulukko 9. Pienimmät sallitut taivutustelan halkaisijat teräksen vaurioitumisen välttämiseksi (SFS-EN 1992-1-1, 23).

a) Tangot ja langat

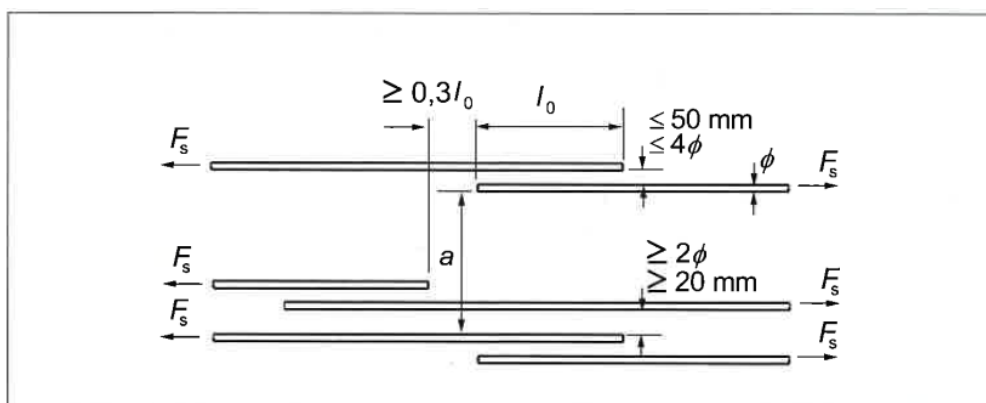
Tangon halkaisija	Taivutustelan vähimmäishalkaisija taivutuksille, koukuille ja lenkeille (ks. kuvaa 8.1)
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	$4,5\phi$
$\phi > 16 \text{ mm}$	9ϕ

Huomautus. Taivutustelan vähimmäishalkaisijana voidaan käyttää vaihtoehtoisesti arvoja, jotka ovat vähintään 2 kertaa kyseisen teräsluokan taivutuskokeessa käytettävän tuunan halkaisija.

3.4.4 Raudoituksien jatkaminen

Raudoituksia pystytään jatkamaan limittämällä, hitsaamalla tai erikoisliitoksilla. Yksinkertaisinta toteuttaa raudoituksen jatkaminen limijatkoksilla. Limijatkoksissa voimat siirtyvät tangosta toiseen betonin avulla, kunhan tangot asennetaan limittäin limityspituuden (l_0) verran ja mahdollisimman liki toisiaan. Limijatkokset tulisi sijoittaa porrastettuina ja tämän lisäksi niitä ei tule sijoittaa maksimimomenttien alueille.

Limittäin asennettujen tankojen väli saa olla enintään 4ϕ tai 50 mm, jos arvot ylittyvät limityspituutta kasvatetaan tankovälin verran. Vierekkäisten limijatkettavien tankojen väli on vähintään 2ϕ tai 20 mm. Yhteen tasoon asennetut tangot saa jatkaa 100%, mikäli vierekkäin asennetut jatkokset on porrastettu tankojen pituussuunnassa vähintään $0,3l_0$ verran. Kahteen tasoon asennetut tangot saa jatkaa vain 50-prosenttisesti. Kaikki puristusraudoitus tangot pystytään jatkamaan samassa poikkileikkauksessa.



Kuva 10. Limijatkokset tankovälit ja jatkosten väli (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 201).

Limityspituus

$$l_0 = \max \begin{cases} \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \\ l_{0,min} \end{cases} \quad (29)$$

missä $l_{b,rqd}$ ankkurointipituuden perusarvo
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5$ ovat raudoituksen ankkurointiin vaikuttavia kertoimia
 α_6 kerroin, joka huomioi samassa poikkileikkauksessa jatkettavien tankojen määrän

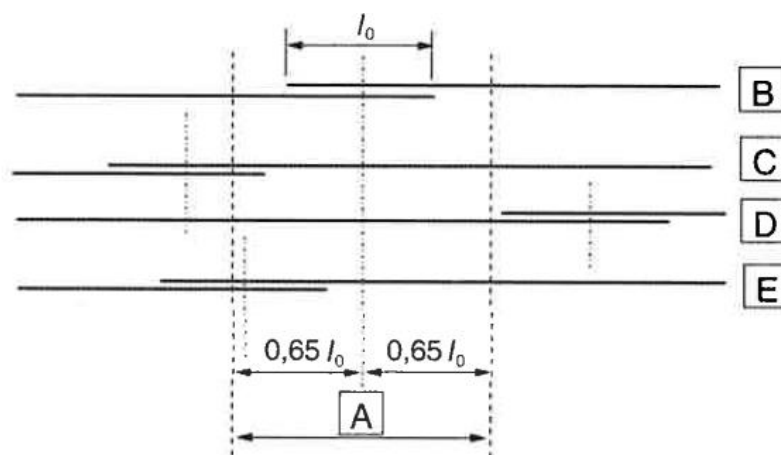
Limityspituuden vähimmäisarvo

$$l_{0,min} = \max \begin{cases} 0,3\alpha_6 l_{b,rqd} \\ 15\phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (30)$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{\rho_1}{25\%}} \quad (31)$$

$$1,0 \leq \alpha_6 \leq 1,5 \quad (32)$$

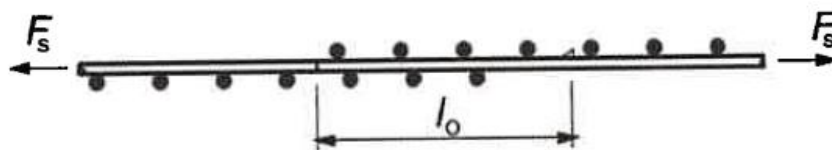
missä ρ_1 on samassa poikkileikkauksessa jatkettavien tankojen osuus
 Kun jatkosten keskikohdat ovat lähempänä kuin $0,65l_0$ toisiaan, ajatellaan niiden olevan samassa poikkileikkauksessa. Jatkoksien sijoittuminen samaan poikkileikkaukseen on käytännössä työlästä selvittää, jonka vuoksi on suositeltavaa laskea kaikkien jatkoksien olevan samassa poikkileikkauksessa, näin ollen α_6 arvoksi saadaan 1,5.
 (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 200–202)



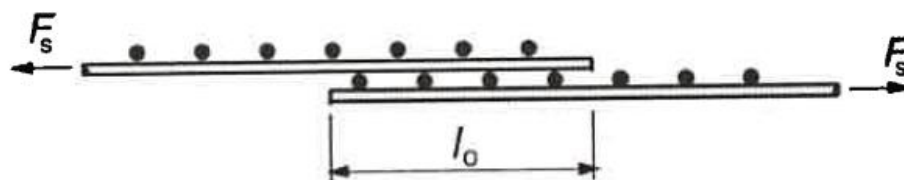
A Tarkasteltava poikkileikkaus **B** Tanko I **C** Tanko II **D** Tanko III **E** Tanko IV

Kuva 11. Samassa poikkileikkauksessa jatkettavien tankojen määrittely. Tangot I ja IV ovat samassa poikkileikkauksessa $\rho_1=50\%$ (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 202).

Verkkoja voidaan limittää kahdella tapaa limittyvillä verkoilla tai päällekkäisillä verkoilla.



a) limittyvät verkot (pituussuuntainen poikkileikkaus)



b) päällekkäiset verkot (pituussuuntainen poikkileikkaus)

Kuva 12. Verkkojen limijatkostyyppit (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 87).

Limittyvien verkkojen jatkokset mitoitetaan myös kaavan 29 mukaan. Päällekkäisiä verkkoja ei tule sijoittaa rasitetuimmille alueille. Jos kuitenkin verkkoja on jatkettava tällaisissa kohdissa asettaa Eurokoodi rajoituksia ja lisäohjeita. Kyseisiä sääntöjä käytetään mitoittaessa ristiin kantavien laattojen pääraudoituksia, jotka kulkevat kumpaankin suuntaan. Eurokoodi asettaa erilliset ohjeet jakorautoituksen jatkamiselle, kun kyseessä on yhteen suuntaan kantava laatta. Yhteen suuntaan kantavilla laatoilla

jakoraidoitus jatketaan samassa poikkileikkauksessa. Limityspituuteen vaikuttaa jatkettavan tangon paksuus, kuten alla olevasta taulukosta 10 voidaan huomata.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 87)

Taulukko 10. Jakoraidoituksen limityspituus (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 88).

Jakoraidoituksen tankopaksuus (mm)	Limityspituus
$\phi \leq 6$	≥ 150 mm, vähintään 1 verko silmäväli
$6 < \phi \leq 8,5$	≥ 250 mm, vähintään 2 silmäväliä
$8,5 < \phi \leq 12$	≥ 350 mm, vähintään 2 silmäväliä

3.4.5 Raudoitusten ankkuroiminen

Laatan kenttäraudoitusta tulee tuoda tuelle vähintään 25%. Kenttäraudoitus pystytään katkaisemaan laatan kentässä. Tuen ollessa jatkuva ankkurointipituus tulee olla vähintään 10ϕ . Laatan kenttäraudoitus vapaalla tuella tulee ankkuroida vähintään alla olevasta kaavasta saatavalle voimalle.

$$F_{Ed} = v_{Ed} \frac{a_L}{z} = v_{Ed} \frac{d}{z} \approx 1,1 v_{Ed} \quad (33)$$

missä v_{Ed} on leikkausvoima tuella kN/m

F_{Ed} on tuelle ankkuroitava voima huomioon ottaen tuen pituus kN/m

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 82)

Laattojen raudoitus ankkuroidaan tuelle, jotta ankkuroitavaan raudoitukseen muodostuisi taivutusrasituksesta aiheutuva voima. Laatan raudoitukseen vaikuttaa suurin voima maksimimomentin alueella, mutta voima pienenee tuille päin siirryttäessä. Ankkuroinnin toteuttaminen suorilla tangoilla perustuu raudoitustangon ja betonin välille kehittyvään tartuntajännitykseen. Muita vaihtoehtoja ankkuroinnin toteuttamiseen ovat koukut ja hitsatut poikittaistangot.

Tartuntalujuuden mitoitusarvo

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \quad (34)$$

missä η_1 on tartuntaolosuhteista johtuva kerroin, jossa

1,0 on hyvät tartuntaolosuhteet

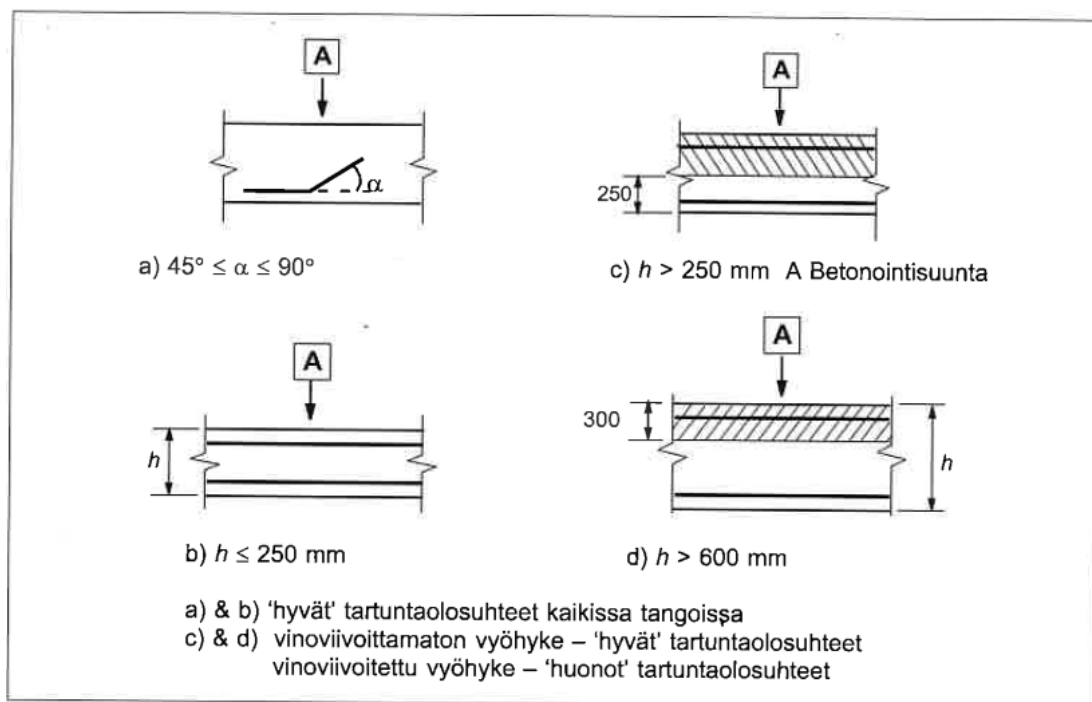
0,7 on muissa olosuhteissa

η_2 on tankopaksuudesta ϕ johtuva kerroin

$$= \begin{cases} 1,0 & , \text{ kun } \phi \leq 32 \text{ mm} \\ \frac{132 - \phi}{100} & , \text{ kun } \phi > 32 \text{ mm} \end{cases}$$

f_{ctd} on betonin lujuutena saa käyttää enintään C60/75 lujuutta

Tartuntaolosuhteet näytetään alla olevassa kuvassa 13. Kuvassa alueilla, joissa ei ole viivoitusta vallitsee hyvät tartuntaolosuhteet, kun taas viivoitetuilla alueilla huonot tartuntaolosuhteet.



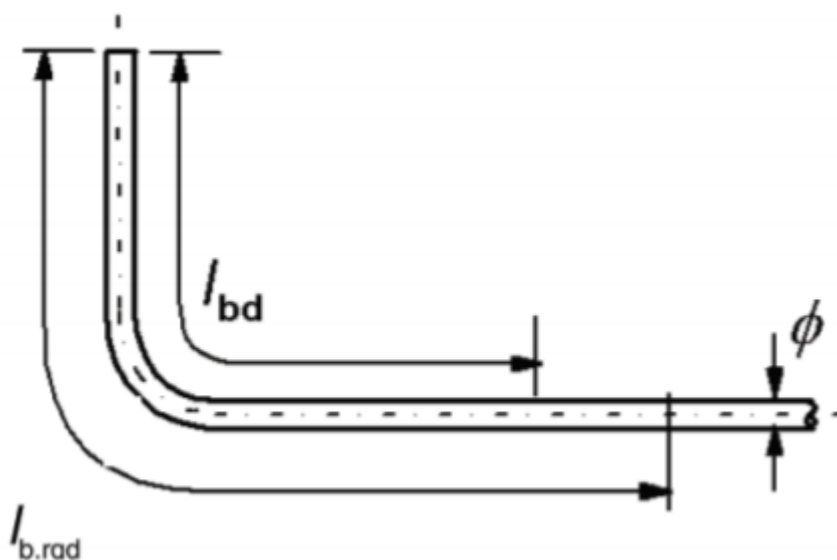
Kuva 13. Tartuntaolosuhteiden kuvaus (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2011, 64).

Ankkurointi pituudenperusarvo

$$l_{b.rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad (35)$$

missä ϕ on tankopaksuus
 σ_{sd} on tangossa vaikuttava normaalijännitys
 f_{bd} on tartuntalujuus

Ankkurointipituuden perusarvoa pystytään pienentämään Eurokoodin asettamalla pienennyskertoimilla, joilla selviää ankkurointipituuden mitoitusarvo l_{bd} .



Kuva 14. Muodosta riippumaton vetovoiman ankkuroinnin peruspituus $l_{b,rad}$ mitattuna keskiviivaa pitkin (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 161).

Ankkurointipituuden mitoitusarvon tulee toteuttaa mitoitusehto $l_{bd} \geq l_{b,min}$. Mikäli ehto ei toteudu tulee käyttää vähimmäisarvoa $l_{b,min}$ ankkurointipituutena. Vähimmäisarvo määritellään veto- ja puristusraudoitukselle alla olevilla kaavoilla ja niistä valitaan maksimiarvot.

Vetorausdoitukselle

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,3l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100mm \end{cases} \quad (36)$$

Puristusraudoitukselle

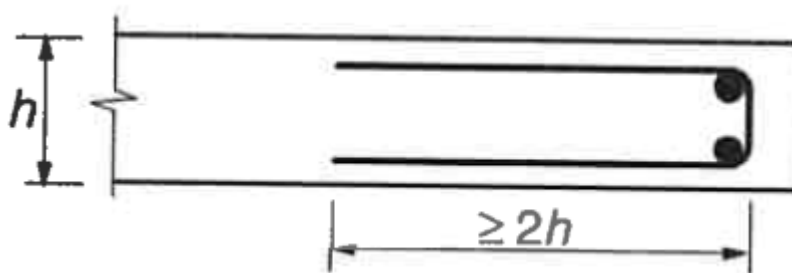
$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,6l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100mm \end{cases} \quad (37)$$

(Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 154–157, 159)

3.4.6 Vapaan reunan raudoittamien

Laatan vapaat reunat tulee raudoittaa pitkittäis- ja poikittaisraudoituksella kuvan 14 mukaisesti. Pitkittäis- ja poikittaisraudoituksille valitaan ainakin 8 mm tangot ja poikittaissuuntaisen raudoituksen jakovälin tulee olla enintään pienempi arvoista $4h$ ja 600 mm.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 85)

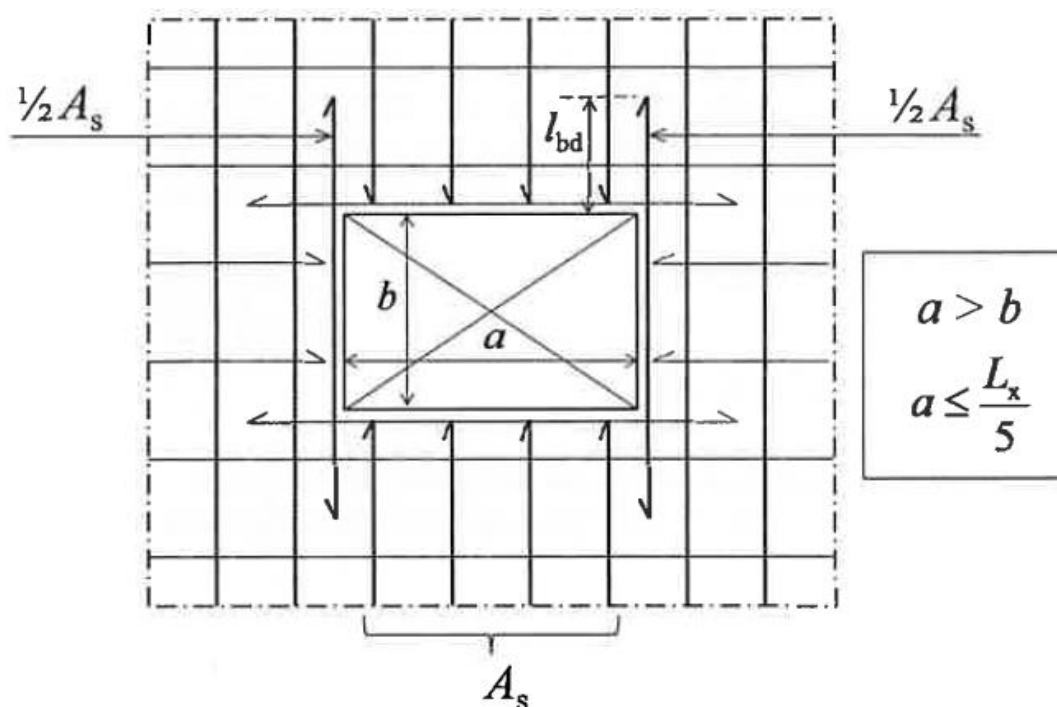


Kuva 15. Vapaan reunan raudoittaminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 86).

3.4.7 Reiät ja aukot

Laatassa sijaitsevien reikien huomioon ottaminen on oleellista, koska ne vaikuttavat laatan toimintaan. Yksinkertaisilla raudoitussäännöillä otetaan huomioon pienet reiät, kun taas isot reiät ja aukot vaativat aina erillisen mitoittamisen. Laatassa olevaa reikää pidetään pienenä, kun reiän suurempi sivumitta on alle $\frac{1}{5}$ laatan lyhyemmästä sivumittasta. Laatassa olevat pienet reiät pystytään raudoittamaan siirtämällä reiän paikalla katkeavaa raudoitusmäärää kummallekin puolelle reikää sen pieliin ja peiliteräkset tulee ankkuroida ainakin ankkurointipituuden (l_{bd}) verran reiän yli.

(Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 86)



Kuva 16. Raudoituksen järjestely pienen reiän ympärillä (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 86).

3.4.8 Työsaumat

Työsaumoja käytetään laatussa silloin kun ei ole mahdollista tehdä valutyötä alusta loppuun kerralla. Työsaumat ovat saumoja, jotka eivät anna sauman avautua tai kulman muuttua. Laatan työsaumat voivat olla pestyjä, karhennettuja tai sileitä. Työsauman läpi sijoitettavan raudoituksen vetokestävyys pitää olla hyödynnetyn betonin vetolujuutta suurempi, näin ollen sauman aukeneminen on estetty. Laatoissa tulisi hyödyntää työsaumoja niin, että ne osuisivat liikuntasaumojen kohdalle, silloin yksi sauma toimisi kahteen tarkoitukseen.

(Suomen betonin www-sivut 2020)

4 LAATAN RAUDOITTAMISEN PERIAATTEET

Laatan mitoitusmenettely:

1. Määritellään suunniteltu käyttöikä
2. Määritellään laattaan kohdistuvat kuormat
3. Määritellään kuormayhdistelmät
4. Määritellään kuormituskaaviot
5. Asetetaan säilyvyysvaatimukset ja määritellään betonin lujuusluokka
6. Tutkitaan betonipeitevaatimukset palonkestoajan perusteella
7. Mitoitetaan vähimmäisbetonipeite säilyvyys-, tartunta- ja palonkesto-vaatimusten kannalta
8. Tutkitaan rakenne kriittisten momenttien ja leikkausvoimien löytämiseksi
9. Lasketaan taivutusraudoitus
10. Tutkitaan taipuma
11. Tutkitaan leikkauskestävyys
12. Tutkitaan tankojako
13. Tutkitaan halkeamaleveys

(Rakennusteollisuus RT ry, 2)

4.1 Laatan raudoitus

Alapinnan pääraudoituksen peruslähtökohtana alempi teräs sijoitetaan pääkantosuuntaan. Maksimijakovälit näytetään taulukossa 1 kohdassa pääraudoitus. Laatan alapintaan tulee valita selkeä perusraudoitus, joka pystyy kattamaan merkittävän osan laatan raudoitustarpeesta. Välttämättä maksimimomentin mukainen raudoitus ei ole järkevä valinta, vaan maksimikohtiin sijoitetaan sopiva lisäraudoitus.

Yläpinnan pääraudoituksen peruslähtökohtana ylempi teräs sijoitetaan pääkantosuuntaan. Maksimijakovälit näytetään taulukossa 1 kohdassa jakoraudoitus. Tavallisissa holveissa yläpinnan raudoitustarve on usein vain tukialueilla, jolloin tapauskohtaisesti

on mietittävä, että jätetäänkö yläpinnasta perusraudoitus kokonaan pois ja raudoitetaan vain tukialueet. Usein yläpintaan valikoituu automattisesti järeämpää raudoitusta, sillä välituella yläpinnan raudoitustarve voi olla merkittävä.

Laatan pääraudoitus voidaan toteuttaa myös valmiilla verkkoraudoituksilla. Myös itse suunniteltuja verkkoja on mahdollista käyttää. Sillä on mahdollista harventaa esimerkiksi jakoraudoitusta. Verkkoja suunniteltaessa on hyvä huomata, ettei suunnitella liian painavia verkkoja. Verkkojen sijoittelu holville kannattaa suunnitella siten, että maksimissaan kolme verkkoa limittyy päällekkäin samassa kohdassa.

Lähtökohtaisesti laatan paksuus tulisi valita niin, että laataan ei tarvita leikkausraudoitusta. Laatat voivat tarvita vahvistusta lävistymistä vastaan pistemäisien tukien ympäristössä. Tällaisia pistemäisiä tukia ovat esimerkiksi pilarit, seinien päädyt ja kulmat. Lävistyskestävyyden ylittyessä, pystytään laatan lävistyskestävyyttä parantamaan tekemällä laatasta tuen kohdalla paksumman tai käyttämällä lävistysteräksiä. Jos mitoitettava leikkausvoima ei kasva liian suureksi, silloin ei tule ongelmia laatan leikkauskestävyyden kanssa. Huomioon otettavaa on, että laatan leikkauskestävyys paranee vain hiukan, vaikka pituussuuntainen teräsmäärä kasvaisi kaksinkertaiseksi. Samoin betonin lujuuden kasvattaminen on aika hyödytöntä. Leikkauskestävyyttä saadaan kasvatettua tehokkaasti lisäämällä tehollista korkeutta ja leikkausraudoituksella.

4.2 Minimiraudoitusmäärä

Laatassa minimiraudoituksella tarkoitetaan raudoituksen pinta-alaa, jota normit edellyttävät vähintään hyödynnettäväksi. Normien ohjeet pohjautuvat vaatimukseen, että raudoituksen pitää vastaanottaa taivutusmomentin aiheuttama voima. Laatalla vaatimus on, että pääraudoitusta täytyy olla kentissä isoimpien momenttien kohdalla sekä ulokkeiden tuilla vähintään minimiraudoituksen verran. Laatan minimiterästyksen on näytetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Minimiterästys laatassa.

Betoni C25/30		Teräsjako k (max. 1:3h≤400 mm; 2:2h≤250 mm)			
d (mm)	Asmin (mm ² /m)	T8	T10	T12	T16
125	169	250	-	-	-
150	202	200	350	-	-
175	237	200	300	-	-
200	270	150	250	-	-
225	304	150	250	350	-
250	338	125	200	300	-
275	372	125	200	300	-
300	406	100	150	250	-
350	473	100	150	200	-
Betoni C30/37		Teräsjako k (max. 1:3h≤400 mm; 2:2h≤250 mm)			
d (mm)	Asmin (mm ² /m)	T8	T10	T12	T16
125	189	250	-	-	-
150	226	200	350	-	-
175	264	150	250	-	-
200	302	150	250	350	-
225	339	125	200	300	-
250	377	125	200	300	-
275	415	100	150	250	-
300	452	100	150	250	-
350	528	75	125	200	350
Betoni C35/45		Teräsjako k (max. 1:3h≤400 mm; 2:2h≤250 mm)			
d (mm)	Asmin (mm ² /m)	T8	T10	T12	T16
125	208	200	350	-	-
150	250	200	300	-	-
175	291	150	250	350	-
200	333	150	200	300	-
225	374	125	200	300	-
250	416	100	150	250	-
275	458	100	150	200	-
300	499	100	150	200	-
350	582	75	125	150	300

Taulukoiden arvot laskettu seuraavilla kaavoilla:

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} d \times 1000 \\ 0,0013d \times 1000 \end{cases} \quad \text{ja} \quad k = \frac{1000}{\pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2} \frac{A_{s,min}}{A_{s,min}}$$

4.3 Tankojen taivutustelojen sallitut halkaisijat

Tankoa taivutettaessa käytettävän vähimmäishalkaisijan tulee olla sellainen, että välttään tangon taivutushalkeamilta ja betonin vahingoittumiselta tangon taivutuskohdan sisäpuolella. Tankojen taivutustelan sallitut halkaisijat on näytetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Tankojen sisäpuoliset minimitaivutussäteet.

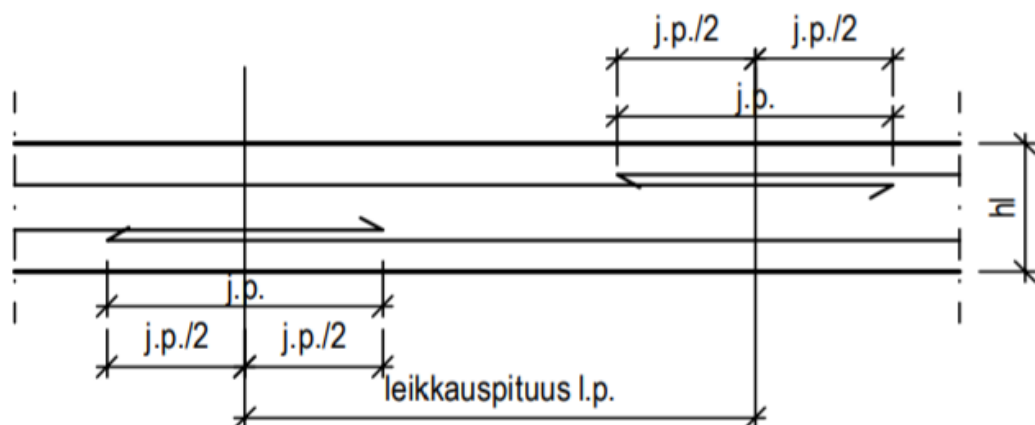
Pääraudoitus		Haat ja lenkit	
Teräs Ø	mm	Teräs Ø	mm
8	96	8	20
10	120	10	25
12	144	12	30
16	192	16	40
20	240	20	90
25	300	25	120
32	384	32	150

Taulukoiden arvot laskettu seuraavilla kaavoilla:

Pääraudoitus	$\frac{24\phi}{2}$	
Haat ja lenkit	$\phi \leq 16mm$	$\frac{4,5\phi}{2}$
	$\phi > 16mm$	$\frac{9\phi}{2}$

4.4 Jatkaminen

Raudoitusjatkoksilla voimaa siirretään tangolta toiselle tankoja limittämällä, taivutuksia, koukkuja käyttämällä, hitsaamalla tai mekaanisilla välineillä. Tankojen välisten limijatkosten yksityiskohdat pitää suunnitella siten, että voimat siirtyvät luotettavasti tangolta toiselle, betoni ei lohkeile jatkosten läheisyydessä tai ei synny suuria rakenteen toimintakykyyn vaikuttavia halkeamia. Limijatkokset sijoitetaan tankojen kesken normaalisti porrastettuina, eikä niitä sijoiteta suurten momenttien tai voimien alueille sekä kuhunkin poikkileikkaukseen symmetrisesti. Limityspituus riippuu limijatkettujen tankojen suhteellisesta osuudesta poikkileikkauksen tankojen kokonaisalaan. Vedettyjen tankojen edellyttämä poikittaisraudoitus, sitä ei tarvita, jos tankokoko on 6...16mm. Poikittaisraudoitus tarvitaan, jos tankoko on 20...32mm. Tarvittava poikittaisraudoitus muodostetaan käyttämällä hakoja tai U-tankoja, jotka ankkuroidaan poikkileikkaukseen. Pysyvästi puristettujen tankojen edellyttämä sideraudoitus, tällöin vetotankoja koskevien sääntöjen lisäksi poikittaisraudoituksen yksi tanko sijoitetaan limityspituuden kummankin pään ulkopuolelle. Laattaterästen leikkaus- ja jatkospituudet on näytetty taulukossa 13 ja 14. Harjalankaverkkojen limijatkokset (pääraudoituksen limijatkokset) pystytään tekemään joko limittyvästi tai asettamalla verkot päällekkäin. Limittyvät verkot ovat toiminnaltaan parempia kuin päällekkäiset verkot. Harjalankaverkkojen limijatkokset (jakoraudoituksen limijatkokset) pystytään jatkamaan kokonaan samassa kohdassa. Jakoraudoituksen limityspituuden vähimmäisarvot on näytetty taulukossa 10.



Kuva 17. Laatan raudoituksen jatkaminen samassa leikkauksessa.

Taulukko 13. Laattaterästen leikkauspituudet.

Laattaterästen leikkauspituudet			
Teräs Ø	lp		
	C25/30	C30/37	C35/45
8	650	600	550
10	800	700	650
12	950	850	800
16	1300	1150	1050
20	1600	1350	1300
25	2000	1750	1600
32	2550	2250	2050

Taulukko 14. Laattaterästen jatkospituudet.

Laattaterästen jatkospituudet			
- alapinnan teräokset			
- yläpinnan teräokset, kun laatan paksuus on ≤ 250 mm			
Teräs Ø	jp		
	C25/30	C30/37	C35/45
8	500	450	400
10	650	550	500
12	750	650	600
16	1000	900	800
20	1250	1100	1000
25	1550	1350	1250
32	1950	1750	1550

Laattaterästen jatkospituudet			
- yläpinnan teräokset, kun laatan paksuus on > 250 mm			
Teräs Ø	jp		
	C25/30	C30/37	C35/45
8	700	650	600
10	900	800	700
12	1050	950	850
16	1400	1250	1150
20	1750	1550	1400
25	2200	1950	1750
32	2800	2500	2250

Taulukoiden arvot laskettu seuraavilla kaavoilla:

$$l_0 \times 1,3$$

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b.rqd}$$

$$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 = 1,0$$

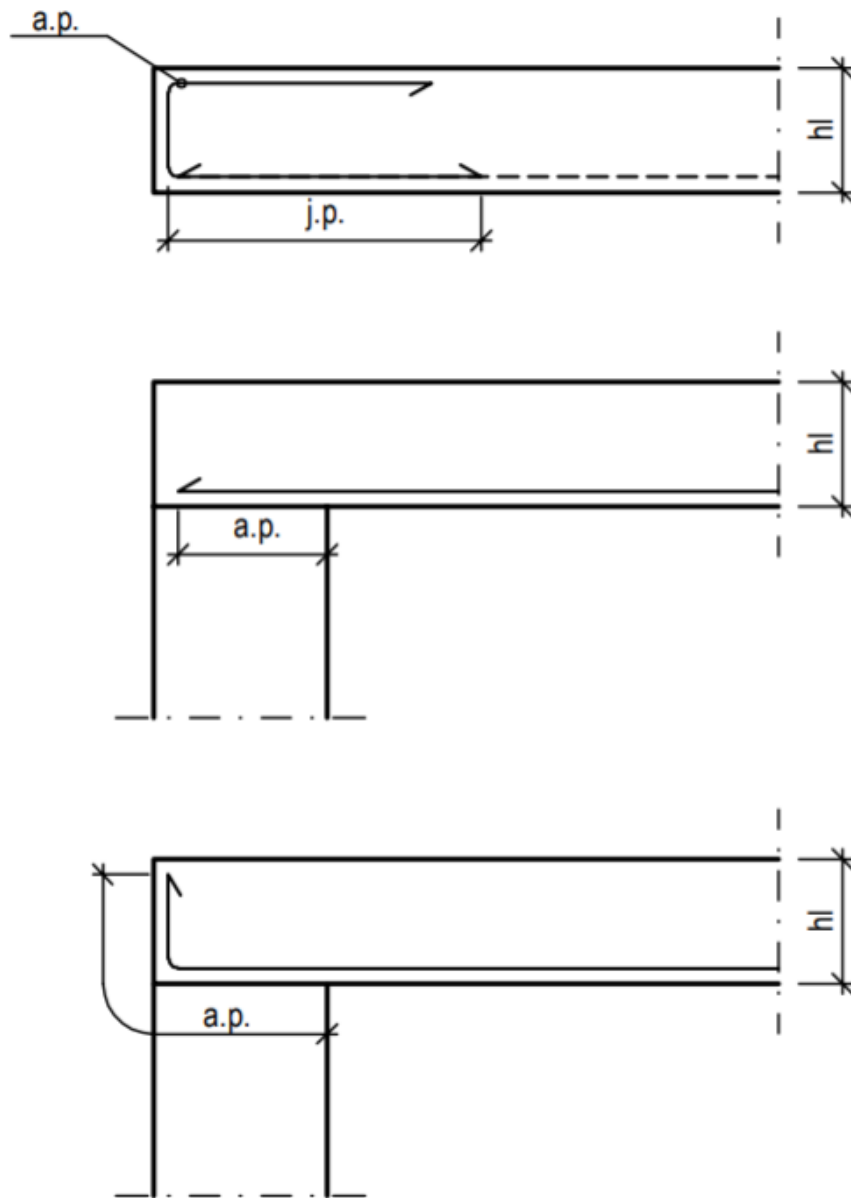
$$\alpha_6 = 1,5$$

$$l_{b.rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$$

$$\sigma_{sd} = 435 MPa$$

4.5 Ankkurointi

Pääraudoituksen raudoitustangot, -langat tai hitsatut verkot pitää ankkuroida siten, että tartuntavoimat siirtyvät luotettavasti betonille tangon suuntaista halkeilua tai lohkeilua aiheuttamatta. Tarvittaessa pitää käyttää poikittaisraudoitusta. Taivutukset ja koukut eivät paranna puristusvoiman ankkurointia. Hakojen ja leikkausraudoituksen ankkurointi tehdään yleensä taivutusten ja koukkujen avulla tai hitsatun poikittaisraudoituksen avulla. Koukun tai taivutuksen sisäpuolelle sijoitetaan tanko. Ankkurointi hitsattujen poikittaistankojen avulla, niillä voidaan lisätä sekä pääraudoituksen että hakojen ankkurointikestävyyttä. Laattaterästen ankkurointipituudet on näytetty taulukossa 15.



Kuva 18. Laatan raudoituksen ankkurointeja.

Taulukko 15. Laattaterästen ankkurointipituudet

Laattaterästen ankkurointipituudet			
- alapinnan teräkset			
- yläpinnan teräkset, kun laatan paksuus on ≤250 mm			
Teräs Ø	ap		
	C25/30	C30/37	C35/45
8	350	300	300
10	450	400	350
12	500	450	400
16	650	600	550
20	850	750	650
25	1050	900	850
32	1300	1150	1050

Laattaterästen ankkurointipituudet			
- yläpinnan teräkset, kun laatan paksuus on >250 mm			
Teräs Ø	ap		
	C25/30	C30/37	C35/45
8	500	450	400
10	600	550	500
12	700	650	600
16	950	850	750
20	1200	1050	950
25	1450	1300	1200
32	1850	1650	1500

Taulukoiden arvot laskettu seuraavilla kaavoilla:

$$l_{b.rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$$

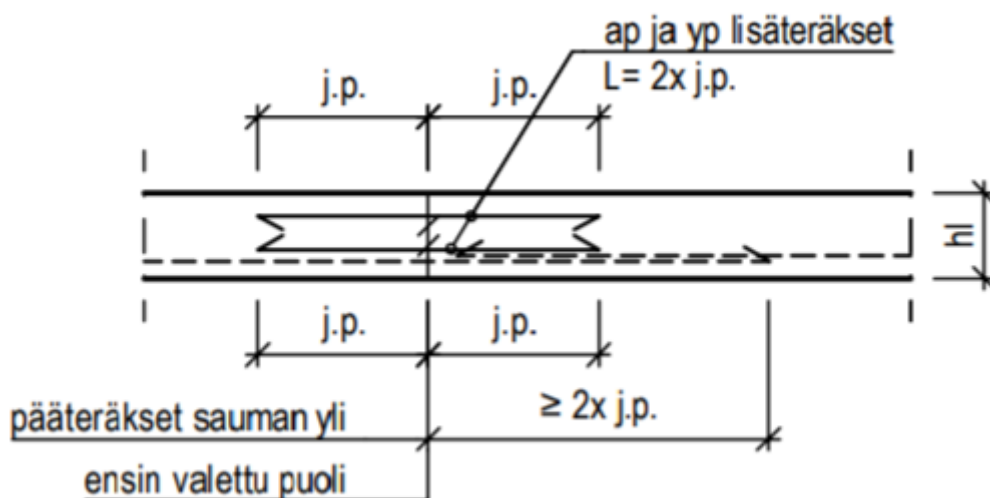
$$\sigma_{sd} = 435 \text{ MPa}$$

4.6 Reiät ja aukot

Laattaan tulee lähes aina erikokoisia reikiä, kuten talotekniikan läpiviennit, viemärit ja sähköputket. Tämän lisäksi laattoihin tulee suurempia aukkoja hormeille ja kanaville. Laattaan tehtävät reiät ja aukot tulee suunnitella niin, että niistä tulee mahdollisimman vähän haittaa rakenteen toiminnalle. Pienet reiät ovat kooltaan $\frac{1}{5}$ laatan jännevälistä ja tätä isommat reiät luokitellaan suuriksi. Pienten reikien pielet tulee varustaa sopivalla lisäraudoituksella. Pienissä reissä laatan teräksiä ei katkota, vaan tihentetään teräsväliä reiän pielissä niin, että kokonaisteräsmäärä pysyy samana. Jos reikä on keskikoinen katkaistaan reiän kohdalle osuvat alapinnan (yläpinnan) teräkset ja vaihdetaan ne puolet suuremmalla teräsmäärällä reiän kumpaankin pieleen. Reunaan lisätään lisäksi haat. Kun reiät ovat suuria ne tulee aina tutkia ja mitoittaa erikseen.

4.7 Työsauma

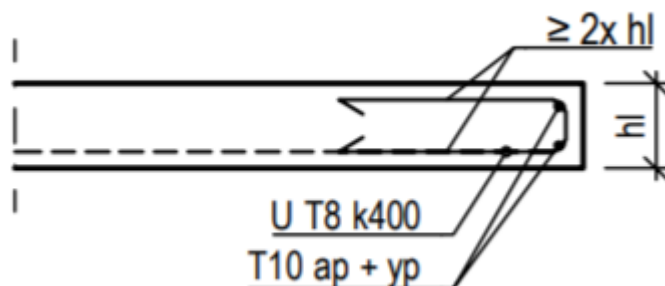
Laattojen työsaumassa pääteräkset jatketaan sauman yli ehjänä. Lisäterästen määrä on puolet pääterästen määrästä ja koko sama kuin pääterästen. Lisäteräksiä lisätään alaja yläpintaan. Laattaan tulee lisätä yläpintaan teräksiä, jos työsauma kohdassa ei ole pääteräksiä. Työsauman kohdalle asennetaan lisähaat sauman molemmin puolin. Mikäli työsauma on tukilinjalla, tulee työsaumarauotteiden lisäksi työsauman viereisiin kenttiin asentaa lisäteräkset.



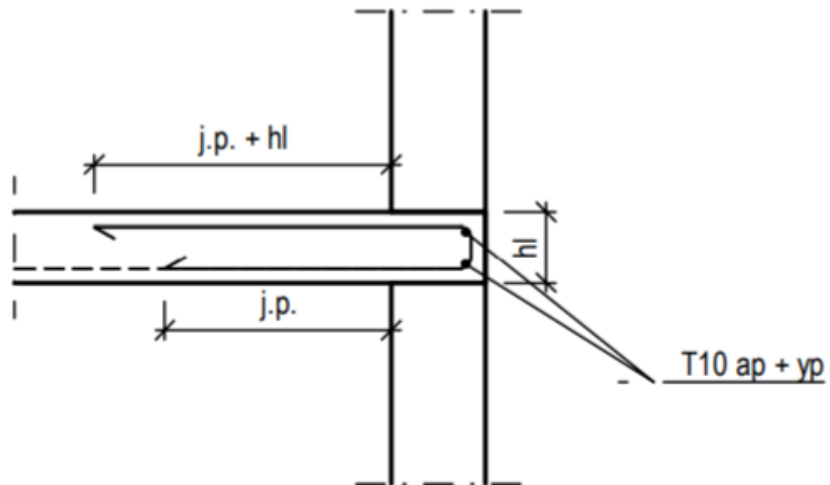
Kuva 19. Laattojen työsaumat.

4.8 Laatan vapaa reuna ja tuettu reuna

Laatan pääraudoituksesta pitää viedä vapaalle tuelle vähintään puolet teräspinta-alasta. Hyvä on toisaalta tuoda kaikki kentän päätangot tuelle. Välituella raudoitus viedään jatkuvana tuen yli ja sen täytyy kestää ainakin $\frac{1}{4}$ tukeen liittyvästä kentän suurimmasta momentista. Vapaalla reunatuella kiinnitys momentin vuoksi laatan yläpintaan täytyy asettaa poikittainen raudoitus. Reunatuella raudoitus ankkuroidaan ja raudoituksen täytyy kestää 15% maksimimomentista. Laatan vapaan tuen raudoitus järjestetään kuvan 8 mukaisesti. Jatkuvalle tuella tai momenttijäykällä tuella taivutusraudoitus katkaistaan momenttipinnan mukaisesti. Raudoituksen katkaisukohtat pystytään määrittämään kuvan 9 mukaisesti. Laatan vapaaseen reunaan täytyy asentaa kuvan 15 mukainen pitkittäis- ja poikittaisraudoitus. Raudoituksen tankopaksuus kummassakin tapauksessa tulisi olla ainakin 8mm. Poikittaisen hakarraudoituksen jako väli voi olla enintään pienempi arvoista 4h ja 600mm.



Kuva 20. Laatan vapaa reuna.



Kuva 21. Laatan reuna tuella.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön varsinaisena tavoitteena oli laatia päivitetty versio teräsbetonirakenteiden raudoituksen yleisohjeesta. Lisäksi tarkoituksena oli tiedon löytyminen yhdestä paikasta sekä suunnitelmien yhtenäisyys päivitetyn raudoituksen yleisohjeen myötä. Teoriaosuus, joka käsittelee teräsbetonilaatan raudoitusta, toimii pohjana raudoituksen yleisohjeelle. Kaikkea tietoa ei ole hyödynnetty suoraan raudoituksen yleisohjeeseen, vaan tekijän oman ammattitaidon ja tiedon kehittämiseen.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin raudoituksen yleisohje, jota suunnittelijat voivat käyttää muiden suunnitteluasiakirjojen lisäksi. Myös saatiin aikaiseksi ankkurointi-, jatko- ja minimiterästystaulukot laatalle nopeuttamaan suunnittelijan työtä.

Raudoittamisen teorian muokkaaminen yksinkertaistettuun ja selkeään muotoon raudoituksen yleisohjeeseen oli opinnäytetyön vaativin osuus. Pohjana yleisohjeelle toimi vanha ohje, jota päivitettiin ja laajennettiin vastaamaan tämänhetkisiä vaatimuksia. Toimeksiantajan ohjaajiltani saatu palaute oli tärkeää ohjeen hiomisessa ja viemisessä sopivaan haluttuun muotoon. Raudoituksen yleisohjetta pystytään muokkaamaan, kehittämään ja laajentamaan tulevaisuudessa, jos sille on tarvetta. Lisäksi haastavaa opinnäytetyössä oli kokonaisuuden pitäminen rajattuna, koska aiheesta löytyy paljon tietoa.

Opinnäytetyön kirjoittaminen oli olennainen prosessi eri suunnitteluohjeiden oppimisen kannalta. Tietoa on olemassa runsaasti ja tarvittavan tiedon etsimiseen sekä sisäistämiseen tarvitsi käyttää aikaa. Tämän työn teoriaosuuteen on koottu kaikki teräsbetonilaatan suunnitteluun liittyvät oleelliset tekijät useista eri lähteistä ja sen vuoksi opinnäytetyö on tärkeä työkalu työn tekijälle itselleen myös tulevaisuudessa rakennesuunnittelijan työssä. Eri suunnitteluohjeisiin perehtyminen on ollut ammatillisen kasvun kannalta todella tärkeää ja hyödyllistä, koska suunnittelijan velvollisuus on suunnitella rakenteet määräysten mukaisesti.

Lopuksi haluan kiittää A-Insinöörit Oy:n ohjaajiani ja muita mukana olleita tahoja sekä Satakunnan ammattikorkeakoulun ohjaavaa opettajaani, jotka tekivät mahdolliseksi opinnäytetyön läpiviennin ja sen myötä työn valmistumisen.

LÄHTEET

Suomen Betoniyhdistys ry. By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2, 2014. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Suomen Betoniyhdistys ry. By 65. Betoninormit, 2016. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 202-2011/By 61. Betonirakenteiden suunnitteluohje, 2011. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.

Suomen Betoniyhdistys ry. By 60. Suunnitteluohje EC2 osat 1–1 ja 1–2, 2009. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.

Suomen Betoniyhdistys ry. By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1, 2013. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Liikennevirasto. Liikenneviraston ohjeita, Eurokoodin soveltamisohje. 2017. Helsinki: Liikennevirasto. Viitattu 14.8.2020
<https://julkaisut.vayla.fi/>

SFS-EN 1992-1-1. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet. 2019. Ympäristöministeriö. Helsinki: SFS. Viitattu 21.7.2020
<https://www.eurocodes.fi/>

Suomen betonin www-sivut 2020. Viitattu 18.9.2020.
<https://betoni.com>

Rakennusteollisuus RT ry. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Laatut. Viitattu 20.8.2020
<https://www.eurocodes.fi>