

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Talonrakennustekniikka

Toni Nikkinen

## **Yhteen suuntaan kantavan teräsbetonilaatan mitoitus eurokoodin mukaan**

Opinnäytetyö 2019

## Tiivistelmä

Toni Nikkinen

Yhteen suuntaan kantavan teräsbetoni-laatan mitoitus eurokoodin mukaan, 31 sivua, 6 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, Saimaan ammattikorkeakoulu; suunnittelupäällikkö Marina Viitala, Sitowise Oy

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin yhteen suuntaan kantavan teräsbetoni-laatan mitoitusta eurokoodin mukaan. Työn tavoitteena oli luoda järjestelmä ja työkalut alustavan suunnittelun helpottamiseksi. Työkaluina tilaajayritykselle luotiin yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitukseen laskenta-alusta, sekä laatan momenttikapasiteettitaulukot. Työn tilaajana toimi Sitowise Oy.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin Eurokoodi 2:n määräysten mukaisia betonirakenteiden suunnittelun perusteita, käyttö- ja murtorajatilamitoitusta sekä laattoja koskevia mitoitussehtoja. Yhteen suuntaan kantavan teräsbetoni-laatan mitoituksen kulku käsiteltiin yksityiskohtaisesti ja otettiin huomioon suunnittelun kannalta oleelliset tekijät. Työn teoriaosuuden aineisto kerättiin rakennusalan kirjallisuus- ja internetlähteistä.

Lopputuloksena opinnäytetyössä saatiin aikaiseksi laatan momenttikapasiteettitaulukot ja Excel-pohjainen laskenta-alusta. Näitä työkaluja voidaan käyttää apuna tulevaisuudessa laattarakenteiden alustavassa suunnittelussa, määrittämään laatan paksuus ja vaadittava rauditus. Työ antaa tarvittavat lähtötiedot yhteen suuntaan kantavan laatan eurokoodin ja kansallisten liitteiden mukaiseen mitoitukseen.

Asiasanat: teräsbetoni-laatta, massiivilaatta, rauditus, eurokoodi

## **Abstract**

Toni Nikkinen

Designing one-way reinforced concrete slab using Eurocode, 31 Pages, 6 Appendices

Technology Lappeenranta

Construction and Civil Engineering

Structural Engineering

Bachelor's Thesis 2019

Instructor: Mr Petri Himmi, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Ms Marina Viitala, Planning Manager, Sitowise Oy

The objective of the study was to create a system and tools for predesigning a one-way concrete slab using Eurocode. An Excel-platform was created for designing the reinforced concrete slab. Also, four different moment capacity tables were created by using the platform. The work was commissioned by Sitowise Oy.

The theoretical part of this study consists of the basics of designing concrete structures, limit state methods and different designing terms of one-way slabs. The theoretical material of this study was gathered from literature and Internet sources in the construction industry.

The final results of this thesis were two products, a calculation platform for one-way slabs and moment capacity tables. These tools can help to determine the thickness and reinforcement of a concrete slab in predesigning. The work gives you necessary information for designing a one-way slab using Eurocode and the Finnish National Annex.

Keywords: reinforced concrete slab, massive slab, reinforcement, Eurocode

## Sisällys

1	Johdanto .....	5
2	Laattarakenteiden toiminta .....	6
2.1	Massiivilaatta .....	6
2.2	Yhteen suuntaan kantava laatta .....	6
2.3	Ristiin kantava laatta .....	7
3	Laatan mitoitusperusteet .....	8
4	Laatan mitoitukseen tarvittavat lähtötiedot .....	8
4.1	Rasitusluokat .....	9
4.2	Kuormat .....	9
4.3	Betonin valinta .....	10
5	Laatan rajatilamitoitus .....	11
5.1	Murtorajatilamitoitus .....	11
5.1.1	Taivutusraudoituksen mitoitus .....	12
5.1.2	Laatan taivutuskestävyyden laskenta .....	16
5.2	Leikkausmitoitus .....	17
5.3	Käyttörajatilamitoitus .....	20
5.4	Taipuma .....	21
5.5	Halkeilun rajoittaminen .....	23
6	Raudoituksen suunnittelu .....	25
6.1	Ankkurointimitoitus ja tukiraudoitus .....	26
6.2	Raudoituksen jatkaminen .....	28
6.3	Yksityiskohtien raudoittaminen .....	29
7	Palomitoitus .....	30
8	Yhteenvedo ja pohdinta .....	31
	Lähteet .....	33

# 1 Johdanto

Laattarakenteet ovat rakennuksen kantavan rakenteen hyvin olennainen osa. Laattojen avulla siirtyy suuria kuormia, joten niiden suunnittelu ja optimointi on tärkeää. Laattarakenteita tehdään sekä paikallavalurakenteisina että elementteinä eli valmisosina. Teollinen valmisosarakentaminen on tulevaisuudessa kasvava ilmiö, jonka avulla rakentamisessa päästään parempaan tuottavuuteen ja laatuun. Elementtirakentaminen on Suomessa yleisin tapa rakentaa asuin- tai liikerakennuksia ja tavallisesti laattarakenteet tehdään ontelolaatoilla, jotka ovat kustannuksiltaan halvin vaihtoehto (Betoniteollisuus ry a). Myös massiivilaattarakenteet ovat yleisesti käytössä asuin- ja liikerakentamisessa välipohjarakenteena ja varsinkin porrashuoneissa, joissa tarvitaan rakenteelta ja liitoksilta kantavuuden lisäksi ääneneristävyyttä.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Sitowise Oy ja työn tarkoitus on tuottaa tilaajalle Excel-laskenta-alusta, jonka avulla voidaan mitoittaa yhteen suuntaan kantava teräsbetonilaatta. Tarkoitus on myös laatia laskenta-alustan avulla taulukot eri laattapaksumuksien momenttikapasiteeteista, joita voidaan käyttää alustavan suunnittelutyön apuna.

Sitowise Oy on suomalaisomisteinen rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto, jossa työskentelee noin 1400 infra- ja talonrakennusalan ammattilaista. Yritys toimii 19 eri paikkakunnalla Suomessa sekä yrityksellä on tytäri- ja osakkuusyhtiöitä Norjassa, Virossa, Latviassa ja Puolassa. (Sitowise Oy.)

Aloitin työt Sitowisella Lappeenrannassa kesällä 2018. Toimin harjoittelijana rakennesuunnittelutehtävissä. Syksyllä 2018 jatkoimme sopimustani ja samalla sain toimistomme projektipäällikön puolesta ehdotuksen opinnäytetyönaiheesta. Loppuvuodesta alkoi olla opinnäytetyön kokonaisuus selvillä ja aloitin työn tekemisen vuoden 2019 alussa.

Päätimme opinnäytetyön aloituspalaverissa rajata aiheen pelkästään yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitukseen, jotta saisin aiheesta mahdollisimman yksityiskohtaisen ja selkeän kuvan. Sovimme, että teen Excel-pohjaisen laskenta-alustan, joka mitoittaa yleisillä lähtötiedoilla laatan taivutus- ja leikkauskestävyyden sekä taipuman. Laskenta-alustan avulla voidaan mitoittaa halutun paksuinen

laattarakenne ja näin tilaaja voi antaa halutut lähtöarvot momenttikapasiteettitaulukoiden tekemiseen. Laatan lävistysmitoitus on jätetty työstä kokonaan pois, mitoituksen laajuuden vuoksi.

## **2 Laattarakenteiden toiminta**

Teräsbetoni-laatat toimivat yleisesti rakennusten vaakasuuntaisina kuormia välittävinä tasoina, ylä-, ala- ja välipohjina. Laattaan kohdistuu pääsääntöisesti kohtisuoria kuormia, jotka siirtyvät laattaa pitkin palkeille, pilareille, seinille tai muille kantaville rakenteille. Laattarakenteet toimivat yleensä myös rakennuksen jäykistävinä osina, jotka siirtävät vaakakuormia jäykistäville pystyrakenteille. (Nykyri 2015b, 7.)

Suomessa asuin- ja liikerakentamisessa käytetään vaakarakenteina paljon betonielementtejä. Valmisosilla saavutetaan paljon etuja paikallavalurakenteisiin verrattuna esim. muottityön pieneneminen ja aikataulujen lyheneminen. Yksi tyypillisimpiä laattatyyppejä on massiivilaatta, jonka mitoitusta tässä opinnäytetyössä käydään läpi. Paikallavalettavan massiivilaatan lisäksi rakentamisessa käytetään hyvin paljon laattaelementtejä, joita on ontelo-, kuori- ja TT-laatat. (Betoniteollisuus ry b.)

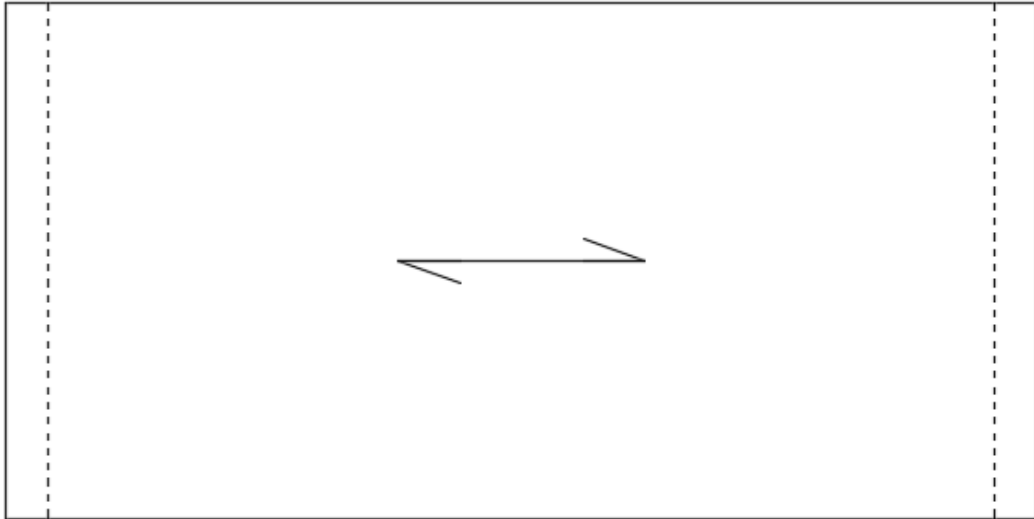
### **2.1 Massiivilaatta**

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tarkastella yhteen suuntaan kantavaa massiivilaattaa. Rakennesosaa kutsutaan laataksi, kun siinä on kaksi sivua  $L_x$  ja  $L_y$  sekä paksuus  $h$ , laatan lyhyemmän sivun mitta  $L_x > 5h$  ja kuormitus on laatan pään tasoa kohtisuorassa suunnassa. Laattaa, joka on tasapaksu ilman erikoisia kevennyksiä, onteloita tai vahvistuksia, kutsutaan massiivilaataksi. Yleisesti kaikkia paikallavalettuja laattoja nimitetään massiivilaataksi. Laattarakenteilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia ja massiivilaatalla ongelmaksi pitkällä jänneväleillä tulee laatan liian suureksi kasvava omapaino. (Nykyri 2015b, 7.)

### **2.2 Yhteen suuntaan kantava laatta**

Yhteen suuntaan kantavassa laatassa taivutusrasitukset siirretään yleensä viivamaisille tuille vain laatan jänteen suunnassa ja laatan voidaan ajatella toimivan

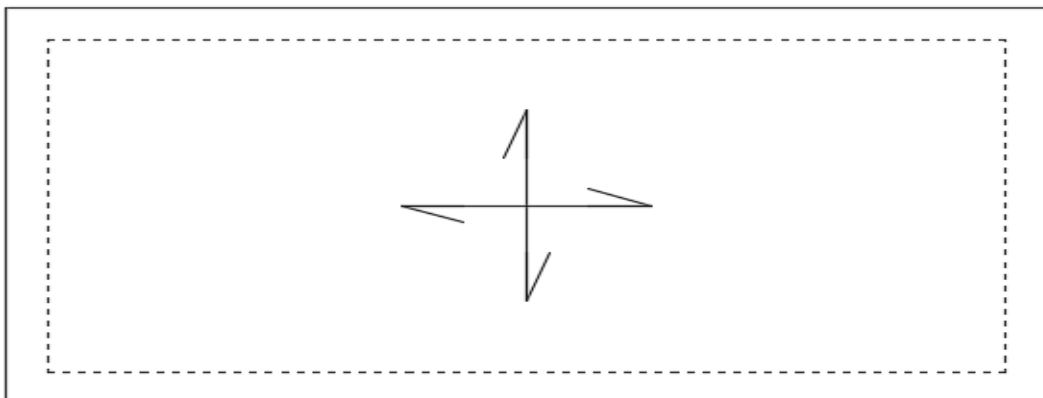
samalla tavalla kuin taivutettu palkki (kuva 1). Laatan ja palkin erottaminen toisistaan on kuitenkin tärkeää, koska leveässä palkissa esiintyy poikittaisia rasituksia ja laatoissa poikittaiset rasitukset hoidetaan riittävällä poikittaisraudoituksella. (Nykyri 2015b, 9.)



Kuva 1. Kuormien jakautuminen yhteen suuntaan kantavassa laataassa

### 2.3 Ristiin kantava laatta

Ristiin kantavat laatat on pääsääntöisesti neljältä sivulta tuettuja ja ne siirtävät kuormaa kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa (kuva 2). Kuormien jakautuminen riippuu laatan jännemittojen ja taivutusjäykkyyksien suhteesta. Mikäli laatan sivumittojen keskinäinen suhde on yli 2 ( $L_y/L_x > 2$ ), voidaan olettaa laatan keskialueen toimivan yhteen suuntaan kantavana ja laatan päätyjen toimivan ristiin kantavana. (Nykyri 2015b, 9.)



Kuva 2. Kuormien jakautuminen ristiin kantavassa laataassa

### **3 Laatan mitoitusperusteet**

Massiivilaatan suunnittelussa on otettava huomioon rakenteelle asetetut vaatimukset, jotta lopputulokseksi saadaan mahdollisimman taloudellinen ja toimiva rakenne. Laatan paksuudella on mitoituksessa suuri merkitys, koska paksuudella vaikutetaan ratkaisevasti rakenteen ääneneristävyyteen, palonkestävyyteen, taivutuskestävyyteen ja taipumaan. (Nykyri 2015b, 11.)

Asuinrakennuksen välipohjissa laatan paksuus on vähintään 260 mm, jotta huoneistojen väliset ääneneristävyysvaatimukset täyttyvät. Laatan paksuus määräytyy usein muulla perusteella kuin palovaatimuksen mukaan, joten sen tarkastelu ei ole yleensä oleellisin osa mitoitusprosessia. (Nykyri 2015b, 11.)

Laattarakenteissa yleensä mitoittava tekijä on laatan käyttörajatilamitoituksessa tutkittava taipuma. Taipumaa voidaan pienentää helpoiten laatan paksuutta kasvattamalla. Jännevälillä kasvaessa riittävän pitkäksi, ei voida enää laatan paksuutta kasvattaa pienentämään taipumaa, koska laatan omapaino kasvaa niin suureksi, että taipuma vain suurenee. Mikäli laattaan täytyy saada lisää kantavuuskapasiteettia, täytyy siirtyä jännitettyihin teräsbetonilaattoihin. (Nykyri 2015b, 11.)

### **4 Laatan mitoitukseen tarvittavat lähtötiedot**

Yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitus aloitetaan voimasuureiden laskennalla, joka tehdään vastaavalla tavalla kuin suorakaidepalkeille. Laatalle tuleva kuormitus on yleisesti tasaisesti jakautunutta, joten taivutusmomenttia tulee vain laatan kantosuunnassa. Pistekuormat laatasta aiheuttavat poikittaisia rasituksia, jotka huomioidaan laatan toiminnassa vähimmäisraudoitussäännöillä. Mahdollisia vääntörasituksia ei yleensä oteta mitoituksessa huomioon, mutta tarvittaessa ne voidaan laskea soveltuvilla FEM-pohjaisilla laskentaohjelmilla. (Nykyri 2015b, 13.)

Suunnittelun alussa rakenteille on määriteltävä erilaisia lähtötietoja, joiden perusteella saadaan rakenteen suunnitteluun tarvittavat lähtöarvot. Rakennuskohteen perusteella saadaan selville suunniteltu käyttöikä, seuraamusluokka, toteutus- ja



toleranssiluokka, kuormat, materiaaliosavarmuusluvut ja betonin lujuusrajoitukset. Taulukossa 1 on esitetty betonirakenteiden toteutusstandardin SFS-EN 13670/21/ mukainen toteutusluokan valinta. Toteutusluokkia on kolmea eri tasoa, joista 1 luokassa tarkastustaso on alhaisin ja 3 luokassa vaativin. (Nykyri 2015a, 24.)

Seuraamusluokka	Toleranssiluokka	Materiaaliosavarmuus	Toteutusluokka	Betoniluokat
CC1	1	perus	1	≤ C20/25
	1	perus	2	≤ C50/60
	1	perus	3	≤ C90/105
	2	pienennetty	3	≤ C90/105
CC2	1	perus	2	≤ C50/60
	1	perus	3	≤ C90/105
	2	pienennetty	3	≤ C90/105
CC3	1	perus	3	≤ C90/105
	2	pienennetty	3	≤ C90/105

Taulukko 1. Toteutusluokan valinta (Nykyri 2015a, 25)

#### 4.1 Rasitusluokat

Betonirakenteille määritetään suunnittelun alussa rasitusluokka, jonka avulla rakenneosaan kohdistuvat ympäristön rasitukset otetaan huomioon. Rasitusluokan perusteella betonin laadulle ja betonipeitteelle asetetaan vaatimukset. Rasitusluokka on riippuvainen rakenneosasta ja rakenneosan sijainnista rakennuksessa. Rasitusluokat jaetaan kuuteen eri ryhmään, mutta yksi rakenneosa voi kuulua useampaan rasitusluokkaan. Mikäli rakenneosa kuuluu eri rasitusluokkiin, on sen täytettävä tietysti kaikkien rasitusluokkien asettamat vaatimukset. Rakenteiden rasitusluokat on esitetty Eurokoodi 2:n osassa 1. (Nykyri 2015a, 64.)

#### 4.2 Kuormat

Rakenteiden eri kuormat on määritetty Eurokoodi 1:ssä, jossa kuormat on jaettu kahteen ryhmään: pysyviin kuormiin ja muuttuviin kuormiin. Pysyvät kuormat pitävät sisällään rakenteiden omat painot ja muuttuvia kuormia ovat hyöty-, tuuli-, lumikuormat. Rakenteen omapaino pystytään määrittämään hyvin tarkasti jo suunnittelun alussa, käytettävien materiaalien tiheyksien avulla. Muuttuvista kuormista hyötykuormat, pitävät sisällään rakennuksen irtaimiston ja kevyet väliseinät. Hyötykuormien arvot saadaan rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisen

kuorman oletetun tilastollisen jakauman ominaisarvojen perusteella. Lumi- ja tuuli-kuormat ovat myös muuttuvia kuormia, joiden määrittämisessä käytetään myös tilastollisen jakauman ominaisarvoja. Tuuli- ja lumikuormat ovat luonnonkuormia ja on muistettava, että näiden määrittämisessä on suurimmat epävarmuudet. (Nykyri 2015a, 26.)

### 4.3 Betonin valinta

Materiaaliominaisuuksia ohjaa rakenteelle asetetut säilyvyys-, palonkesto- ja tartuntavaatimukset. Suomessa betonirakenteille täytyy tehdä käyttöikämitoitus, jossa määritetään käytettävän betonin vähimmäislujuusluokka ja raudoituksen betonipeitteen vähimmäisarvo. Laattarakenteet ovat rakennuksen rungon osia, joten yleisesti niiden suunnittelukäyttöikä on korkeampi, kuin rakennuksen ei kantavien osien. Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä on tavallisesti 50 tai 100 vuotta, joka määräytyy rakennuksen ja rakenneosan mukaan. (Nykyri 2015a, 62.)

Betonin pitää kestää pakkasen ja kemikaalien aiheuttamia rasituksia, jonka perusteella rakenteelle määrätään kestävyys. Betonin kestävyys vaikuttaa lujuusluokkaan, huokoisuuteen ja sementtimäärään. Eurokoodi määrää rakenteelle vain vähimmäislujuusluokan (taulukko 2), mutta Suomen kansallisessa liitteessä on betonirakenteille asetettu myös lisää vaatimuksia koostumuksen osalta. (Nykyri 2015a, 62.)

Vähimmäislujuusluokka SFS-EN 206 NA-FI	Rasitusluokka						
	X0	XC1 XC2	XC3 XC4	XS1	XS2 XS3	XD1 XD2	XD3
	C12/15	C20/25	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45

Taulukko 2. Betonin vähimmäislujuusluokat eri rasitusluokissa (Nykyri 2015a, 65)

Laattojen suunnittelussa on mietittävä käytettävän betonin lujuus suunniteltavalle rakenneosalle sopivaksi. Tavallisimmin teräsbetonilaattojen betonilujuutena käytetään C25/30, C30/37 tai C35/45, huomioiden tietysti rakenneosan rasitusluokka. Betonilaadun valinta vaikuttaa lujuudenkehitysnopeuteen, joten ala-, ylä- ja välipohjissa on syytä käyttää lujuuskehitykseltään nopeaa betonia. Tämä nopeuttaa muottikiertoa ja päällystettävyyttä.

## 5 Laatan rajatilamitoitus

Rakenteiden suunnittelussa rakenneosille tehdään kahden eri rajatilan mitoituksia, jotka ovat murto- ja käyttörajatilat. Murtorajatilassa mitoitetaan kaikki rajatilat, jotka liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Käyttörajatilassa mitoitetaan rajatilat, jotka liittyvät ihmisten mukavuuteen, rakenneosan tai rakenteen toimintaan normaalikäytössä tai rakennuksen ulkonäköön. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2006, 52–54.)

Rajatilamitoituksessa käytetään osavarmuuslukumenetelmää, jonka tarkoitus on varmistaa, että mikään rajatila ei ylittyisi rakennuksen käyttöiän aikana. Käyttörajatilassa mitoitettavien rakenteiden kuormitukset ovat ominaiskuormia, mutta murtorajatilamitoituksessa kuormia korotetaan kuormaosavarmuusluvulla ja materiaalien lujuuksia pienennetään materiaaliosavarmuusluvulla. Rakennuksessa vaikuttaa koko käyttöiän aikana erilaiset kuormat usein myös samaan aikaan. Rajatilamitoituksessa etsitään eri kuormituksia yhdistelemällä määräävin kuormitus, jonka avulla rakenne mitoitetaan, mutta kuormien vaikutuksia ei lasketa kuitenkaan täysimääräisinä yhteen. Muuttuville kuormille käytetään kuormitusyhdistelyissä pienennyskertoimia, koska on hyvin epätodennäköistä, että kaikki kuormat esiintyisivät samanaikaisesti ja varsinkaan täysimääräisenä. (Nykyri 2015a, 21.)

Materiaali- ja kuormaosavarmuusluvut sekä kuormitusyhdistelyiden pienennyskertoimet esitetään standardissa SFS-EN 1990. Materiaaliosavarmuusluvut  $\gamma_c$  ja  $\gamma_s$  vaihtelevat materiaalista ja toleranssiluokasta riippuen. Perusarvot ovat betonille  $\gamma_c = 1,50$  ja teräkselle  $\gamma_s = 1,15$ , mutta toleranssiluokassa 2 käytetään pienennettyjä arvoja  $\gamma_c = 1,35$  ja  $\gamma_c = 1,10$ . (Nykyri 2015a, 25.)

### 5.1 Murtorajatilamitoitus

Yhteen suuntaan kantavan laatan murtorajatilamitoituksessa tarkastellaan laatan taivutus- ja leikkausmitoitus. Murtorajatilan taivutus- ja leikkauskestävyydet eivät yleensä tule laatan mitoituksessa määrääviksi, koska ne saadaan yleensä jo hyvin pienellä raudoituksella hallittua ( $\omega < 0,25$ ) (Nykyri 2015b, 11). Murtorajatilassa laatalle tehdään myös lävistysmitoitus, mikäli laatatassa voi tapahtua paikallinen

murtuma jonkin pistemäisen kuormituksen ympärillä. Lävistysmurto voi tulla määrääväksi murtomekanismiksi pilarilaatoissa tai pilarianturoissa (Nykyri 2015b, 64).

### 5.1.1 Taivutusraudoituksen mitoitus

Yhteen suuntaan kantavan laatan taivutusmitoitus tehdään laatan kantosuunnassa (pääsuunnassa) ja laatan oletetaan olevan vapaasti päistään tuettu viivamaisilla tuilla. Todellisuudessa laatta on tuettu osittain jäykästi, mutta mitoitus on aina varmallalla puolella, kun laatan kiinnityksen oletetaan olevan vapaasti tuettu. Toisessa suunnassa taivutusmitoitusta ei tarvitse tehdä, vaan raudoitus määritellään rakenteellisten ohjeiden perusteella. (Nykyri 2015b, 48.)

Laatan taivutusrasitukset hoidetaan laatan alapinnan taivutusraudoituksella. Ennen taivutusraudoituksen mitoitusta on laskettu ulkoisten kuormien aiheuttamat rasitukset, arvioitu laatan paksuus ja valittu käytettävät materiaalit. Näiden perusteella tiedetään laatan tehollinen korkeus  $d$ , mitoitusmomentti  $m_{Ed}$  ja materiaalien laskentalujuudet. Laatan taivutusmitoituksessa laskennan selkeyttämiseksi tarkasteltavaksi leveydeksi  $b$  valitaan 1 metri, joten laskennan tulokset saadaan aina leveysyksikköä kohden. Mitoitusyhtälössä poikkileikkauksen taivutuskestävyyden pitää olla suurempi kuin kuormien aiheuttaman taivutusrasituksen (kaava 1). (Nykyri 2015b, 48.)

$$m_{Rd} \geq m_{Ed} \quad (1)$$

Ensimmäiseksi taivutusmitoituksessa on selvitettävä poikkileikkauksen suhteellinen momentti  $\mu$  (kaava 2), joka saadaan mitoitusmomentin  $m_{Ed}$ , tehollisen lujuiden kertoimen  $\eta$ , tehollisen korkeuden  $d$  ja betonin laskentalujuuden  $f_{cd}$  avulla. (Nykyri 2015b, 48.)

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

Teräsbetonirakenteiden mitoituksessa käytetään eurokoodin mukaista yksinkertaistettua suorakaiteen muotoista jännitys jakaumaa mitoituksen yksinkertaistamiseksi. Laatan puristetun pinnan tehollisen korkeuden ja lujuuden määrittelevä kerroin saadaan alla olevasta kuvasta (kuva 3). Eurokoodissa on annettu vakioarvot kaikille alle C50/60 lujuusluokan betoneille, mutta korkealujuusbetonille pitää arvot laskea taulukossa annetuilla kaavoilla. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 36–37.)

$\eta = 1,0$	kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200$	kun $50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$

Kuva 3. Tehollisen lujuuden määrittelevät kertoimet (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 37)

Poikkileikkauksen suhteellisen momentin on oltava pienempi kuin tasapainoraidoituksen mukainen suhteellinen momentti, jotta poikkileikkaus voi ottaa momentin vastaan. Tasapainoraidoituksen mukaisen suhteellisen momentin suurimmat arvot on määritelty eurokoodissa (taulukko 3), mutta suunnittelija voi halutessaan asettaa rajan pienemmäksi, mikäli halutaan rakenteelle suurempaa muodonmuutoskykyä. Eurokoodin asettamia raja-arvoja ei laatoilla yleensä saavuteta, mutta on kuitenkin syytä aina tarkistaa myös kyseinen ehto. (Nykyri 2015a, 99.)

Osavar- muus	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$		$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$		$f_{yk} = 700 \text{ MPa}$	
	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$
$\gamma_s = 1,15$	0,493	0,372	0,458	0,353	0,428	0,336
$\gamma_s = 1,10$	0,485	0,367	0,450	0,349	0,419	0,331

Taulukko 3. Tasapainoraidoituksen mukaiset  $\beta_{bd}$  ja  $\mu_{bd}$  (Nykyri 2015a, 99)

Jos poikkileikkauksen suhteellinen momentti jää alle yläraja-arvon, voidaan rakenne mitoittaa normaaliraidoitettuna ja ratkaista puristuspuunnan suhteellinen korkeus  $\beta$  (kaava 3).

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (3)$$

Mekaaninen raudoitussuhde  $\omega$  ja poikkileikkauksen suhteellinen momentti  $\beta$  ovat yhtä suuret (kaava 4).

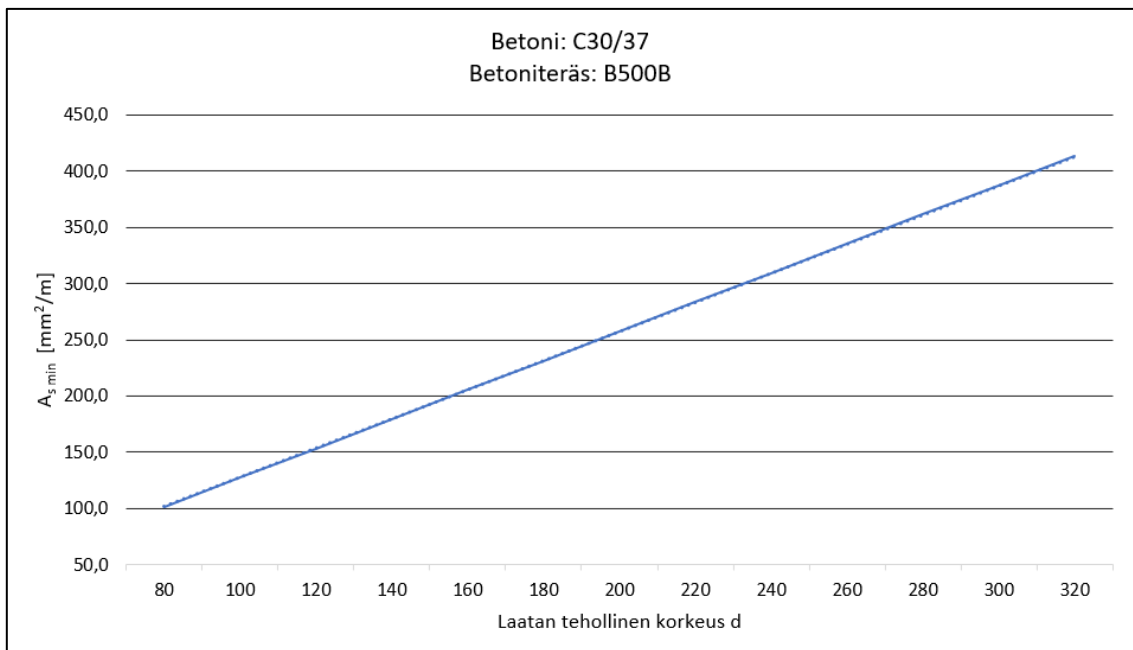
$$\omega = \beta \quad (4)$$

Vaadittava vetoraudoituksen määrä leveysyksikköä kohti  $A_{s,vaad}$  (kaava 5) saadaan materiaalien laskentalujuuksien, mekaanisen raudoitussuhteen  $\omega$  ja tehollisen korkeuden  $d$  avulla.

$$A_{s,vaad} = \omega d \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5)$$

Lasketun vetoraudoituksen määrän on oltava suurempi kuin laatan vähimmäisraudoitusvaatimus  $A_{s,min}$  (kaava 6), joka voidaan laskea samalla tavalla kuin suorakaidepalkeille. Laattojen vähimmäisraudoitusvaatimus voi kohota kohtuuttoman suureksi, esimerkiksi jos laatan paksuus on määrätynyt muulla kuin kuormituksen perusteella ja kuormitus on pieni. Mikäli haurasuroriski on pieni, voidaan minimiraudoituksena käyttää Eurokoodissa esitettyä 1,2 -kertaista murtorajtilan taivutusraudoitusta. (Nykyri 2015b, 80.) Kuvassa 4 on esitetty laatan vähimmäisvetoraudoituksokuvaaja raudoituksen tehollisen korkeuden suhteen, kun käytetään betonilaatua C30/37 ja raudituslaatua B500B.

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} db \\ 0,0013db \end{cases} \quad (6)$$



Kuva 4. Laatan vähimmäisvetoraudotus

Kun ollaan tarkastettu minimiraudotusehtojen täytyminen  $A_{s,vaad} \geq A_{s,min}$ , valitaan raudoituksen tankopaksuus  $\emptyset$ . Lasketaan valittua tankoa vastaava tankoväli  $k$  (kaava 7) ja merkitään yhden tangon poikkipinta-alaa  $A_s(\emptyset)$ .

$$k = \frac{A_s(\emptyset)}{A_{s,vaad}} \quad (7)$$

Tarkastetaan raudoituksen maksimitankoväli eurokoodissa määritettyjen maksimiarvojen mukaan. Maksimivälit on annettu erikseen pääraudoitukselle ja jakorauoitukselle. Maksimitankovälit on annettu myös erikseen maksimimomentin alueelle ja muille alueille. Maksimitankovälit on esitetty taulukossa 4, josta kahdesta arvosta pienempi on määräävä. (Nykyri 2015b, 81.)

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

Taulukko 4. Tankovälisäännöt (Nykyri 2015b, 81)

Yhteen suuntaan kantaville laatoille pitää lisätä pääraudoituksen päälle laatan alapintaan jakoraudotus, joka asennetaan pääraudoitukseen nähden poikittain.

Jakoraudoituksen määrä pitää olla vähintään 20 % pääraudoituksesta ja jakoväli saadaan taulukosta 3. Tukialueilla jakoraudoituksen voi jättää pois, mikäli tuen sunnassa ei esiinny taivutusrasitusta. (Nykyri 2015b, 81.)

### 5.1.2 Laatan taivutuskestävyyden laskenta

Mikäli entuudestaan tunnetulle laatalle halutaan laskea taivutuskestävyys, tehdään sen vastaavasti kuin suorakaide palkeille. Tunnetaan poikkileikkauksen mitat ja käytetyt materiaalit, joten tunnetaan myös laatan tehollinen korkeus, materiaalien laskentalujuudet, raudoituksen poikkipinta-ala sekä tankoväli. Laskennan lopputuloksena saadaan laatan taivutuskestävyys  $m_{Rd}$ . (Nykyri 2015b, 54.)

Ensimmäiseksi pitää saada jakautuneen raudoituksen määrä (kaava 8) selville pääraudoituksen poikkipinta-alan ja jakovälin avulla.

$$A_s = \frac{A_s(\emptyset)}{k} \quad (8)$$

Lasketaan laatan mekaaninen raudoitussuhde  $\omega$  (kaava 9) jakautuneen raudoituksen määrän  $A_s$ , tehollisen korkeuden  $d$ , tehollisen lujuuden kertoimen  $\eta$  ja materiaalien laskentalujuuksien avulla.

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{d \eta f_{cd}} \quad (9)$$

Mekaaninen raudoitussuhde  $\omega$  ja poikkileikkauksen suhteellinen momentti  $\beta$  ovat yhtä suuret (kaava 10).

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

Tarkistetaan raudoituksen myötöehto (kaava 11), että raudoituksen jännitys saavuttaa myötöjännityksen, eli raudoitus myötää murtorajatilassa (Nykyri 2015b, 54). Taulukossa 2 on esitetty tasapainoraudoituksen  $\beta_{bd}$  raja-arvot.

$$\beta \leq \beta_{bd} \quad (11)$$

Lasketaan suhteellinen momentti  $\mu$  (kaava 12), tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellisen korkeuden  $\beta$  avulla.

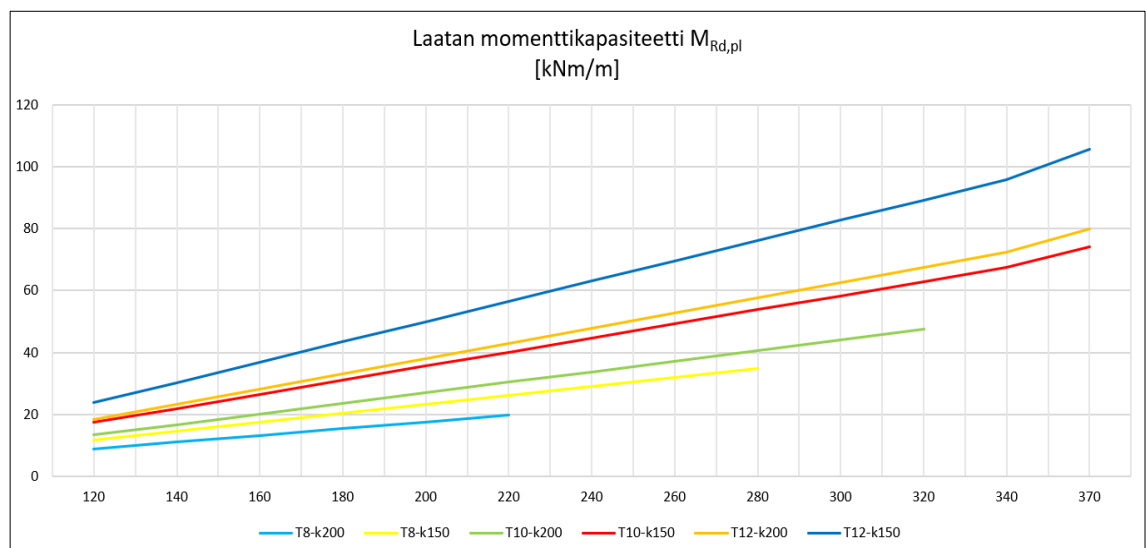


$$\mu = \beta \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (12)$$

Lopuksi voidaan laskea poikkileikkauksen momenttikestävyys  $m_{Rd}$  (kaava 13) edellä lasketun suhteellisen momentin  $\mu$ , tehollisen korkeuden  $d$ , tehollisen lujouden kertoimen  $\eta$  ja betonin puristuslaskentalujuuden  $f_{cd}$  avulla.

$$m_{Rd} = \mu d^2 \eta f_{cd} \quad (13)$$

Kuvassa 5 on esitetty laatan momenttikapasiteetti eri raudoituksilla, laatan paksuuden funktiona. Kaaviosta huomataan miten laattojen vähimmäisraudoitusvaatimus rajoittaa raudoitusten käytön paksuimmilla laatoilla. Huomataan myös, että pelkästään laatan paksuutta kasvattamalla 20 mm saadaan noin 10-20 % lisää taivutuskestävyyttä. Kaavion tulosten laskennassa on käytetty betonilaatuna C30/37 ja betonipeitepaksuutena 30 mm.



Kuva 5. Laatan momenttikapasiteetti

## 5.2 Leikkausmitoitus

Teräsbetonilaatat suunnitellaan yleensä leikkausraudoittamattomina. Leikkausrasituksia kuitenkin syntyy viivamaisille tuille, oli tuki vapaasti kiertyvä tai jäykästi kiinnitetty. Usein riittää laatan leikkauskestävyyden tarkastelu tuella, jossa on suurin leikkausrasitus ja kun käytetään samaa raudoitusta kaikilla tuilla. Laskennassa käytettävät kuormitukset ja kestävyudet esitetään jakautuneina suureina, niin kuin taivutusmitoituksessakin. (Nykyri 2015b, 58.)

Leikkausmitoituksen alussa tunnetaan murtorajatilan leikkausvoima ja betonin puristuslujuus, sekä tunnetaan myös poikkileikkauksen mitat ja tehollinen korkeus. Laatan leikkausmitoituksessa tarkastetaan, että leikkausrasitukset ovat pienemmät kuin leikkauskestävyys (kaava 14). Mikäli mitoitusehto ei toteudu, voidaan ensisijaisesti lisätä vetoraudoituksen määrää ja parantaa ankkurointia leikkauskestävyyden kasvattamiseksi. Vetoraudoituksen lisäys kasvattaa suhteellista raudoitusala  $\rho_L$ , jonka avulla voidaan leikkauskestävyyttä kasvattaa enintään kaksinkertaiseksi alkuperäisestä. Muut vaihtoehdot leikkauskestävyyden parantamiseksi on laatan paksuuden tai betonin lujuuden kasvattaminen. (Nykyri 2015b, 59.)

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed} \quad (14)$$

Laatan leikkauskestävyyden vähimmäisarvo (kaava 15) saadaan apusuure  $k$ :n, tehollisen korkeuden  $d$  ja betonin ominaislujuuden  $f_{ck}$  avulla.

$$V_{Rd,c,min} = 0,035 d k^{2/3} \sqrt{f_{ck}} \quad (15)$$

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvon laskentaan tarvittava apusuure  $k$  (kaava 16) rajataan maksimiarvoon 2.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} \leq 2,0 \quad (16)$$

Mikäli leikkausrasitukset ylittävät leikkauskestävyyden vähimmäisarvon, lasketaan laatan leikkauskestävyys todellisen vetoraudoituksen avulla. Ensimmäiseksi pitää selvittää vetoraudoituksen määrä leveysyksikköä kohti  $A_{sL}$  (kaava 17) ja laskennassa otetaan huomioon vain vetoraudoitus, joka on täysin ankkuroitu kriittisessä poikkileikkauksessa. Mikäli kaikki vetoraudoituksen tangot eivät ole täysin ankkuroitu tuella, pienennetään raudituksen määrää ankkurointipituuksien suhteessa. (Nykyri 2015b, 59.) Ankkurointipituuden  $l_b$  määrittäminen käsitellään luvussa 6.1.

$$A_{sL} = A_{sL0} \frac{l_{bd}}{l_{b0}} \quad (17)$$

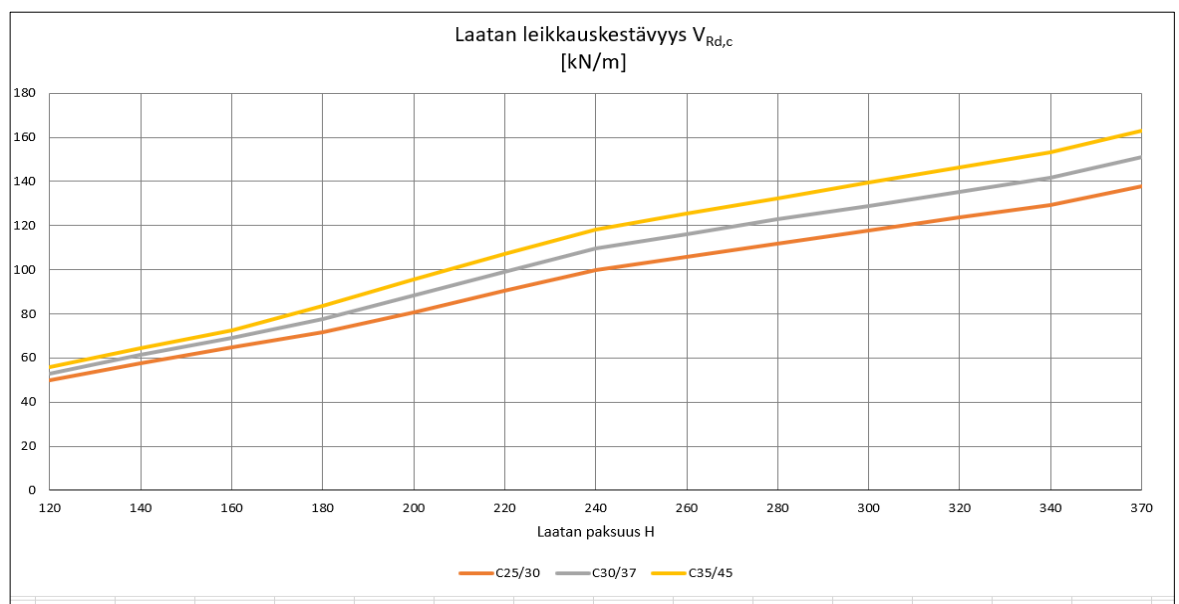
Todellisen vetorausoituksen ja tehollisen korkeuden avulla saadaan laskettua suhteellinen raudoitusala  $\rho_L$  (kaava 18).

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{d} \quad (18)$$

Lopuksi laatan leikkauskestävyys  $V_{Rd,c0}$  (kaava 19) lasketaan tehollisen korkeuden  $d$ , apusuureen  $k$ , suhteellisen raudoitusalan  $\rho_L$  ja betonin puristuslujuuden  $f_{ck}$  avulla.

$$V_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} d k (100 \rho_L f_{ck})^{1/3} \quad (19)$$

Kuvassa 6 on esitetty leikkausraudoittamattoman laatan leikkauskestävyys, laatan paksuuden funktiona. Betonilaaduksi on valittu laatoissa yleisimmin käytetyt laadut C20/25, C30/37 ja C35/45. Kaavion arvojen laskennassa on käytetty raudoituksena T10-k200, betonipeitepaksuutena 30 mm ja apusuure  $k$ :n arvona 2,0. Kaaviosta huomataan, että ohuilla laatoilla leikkauskestävyys pysyy eri betonilaatujen välillä tasaisena, koska laattojen leikkauskestävyys määrittyy vähimmäisarvon  $V_{Rdc,min}$  mukaan. Kun laatan paksuutta kasvatetaan, laatan leikkauskestävyyden vähimmäisarvo ei enää riitä, joten laskennassa käytetään kaavaa 19. Leikkauskestävyys  $V_{Rd,c0}$  huomioi laatan suhteellisen raudoitusalan ja näin saadaan kestävyyttä kasvatettua ja eri betonilaatujen välille syntyy suurempia eroja.



Kuva 6. Leikkausraudoittamattoman laatan leikkauskestävyys

Leikkausraudoittamattoman laatan leikkauskestävyys voidaan myös tarkastaa suoraan alla olevasta taulukosta (taulukko 5) suhteellisen raudoituksen ja tehollisen korkeuden avulla. Taulukkoarvojen laskennassa on käytetty betonin lieriölujuuden ominaisarvona  $f_{ck}$  30 N/mm<sup>2</sup>.

$\rho_l = \frac{A_s}{bd}, \%$	Tehollinen korkeus, d (mm)										
	≤200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	750
0,25	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36
0,50	0,59	0,57	0,56	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45
0,75	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,59	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51
1,00	0,75	0,72	0,71	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57
1,25	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,63	0,61
1,50	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,75	0,73	0,71	0,70	0,67	0,65
1,75	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68
≥2,00	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,77	0,74	0,71
k	2,000	1,943	1,894	1,853	1,816	1,756	1,707	1,667	1,632	1,577	1,516

Taulukkoarvot on laskettu kaavasta:  $v_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5}$   
jossa  $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2$  ja  $\rho_l = A_s/(bd) \leq 0,02$  ja  $\gamma_c = 1,5$

**Huomautus**  
1 Tässä taulukossa  $f_{ck} = 30$ .  
2 Kun  $\rho_l$  on yli 0,40 %, käytetään seuraavia kertoimia:

$f_{ck}$	25	28	32	35	40	45	50
Kerroin	0,94	0,98	1,02	1,05	1,10	1,14	1,19

Taulukko 5. Leikkausraudoittamattomien rakenteiden leikkauskestävyys  $V_{Rd,c}$  (N/mm<sup>2</sup>) (Rakennusteollisuus RT ry, 6)

### 5.3 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilamitoituksessa rajoitetaan laatan taipumaa, halkeamaleveyttä ja betonin sekä terästen jännityksiä. Käyttörajatilassa raudoituksen jännitys jää reilusti myötölujuutta pienemmäksi ja betonin puristusjännitys jää selvästi murtolujuutta pienemmäksi. Vaikka betonissa jännitykset jäävät sallittua pienemmiksi, betonin pitkäaikaiset rasitukset aiheuttavat rakenteelle muodonmuutosta. Tämä muodonmuutos on viruma, joka otetaan huomioon taipumamitoituksessa viruman aiheuttamana lisätaipumana. Teräsbetonirakeiden halkeamaleveyden tarkastelut jaetaan halkeamattoman ja haljenneen tilan tarkasteluihin. Betonirakenteissa halkeaman synty, jos betonin vetojännitys ylittää vetolujuuden. (Nykyri 2015a, 205.)

## 5.4 Taipuma

Taipuma on usein laatoilla määrävä rajatila, joten sitä on syytä rajoittaa. Laatan taipumaa rajoitetaan käyttörajatilamitoituksessa, jotta siitä ei aiheudu ulkonäöllistä eikä toiminnallista haittaa. Liiallinen taipuma voi aiheuttaa pinnoitteiden tai laatalle tukeutuvien herkkien rakenneseosien vaurioitumista. Eurokoodi ei anna taipumalle ehdotonta ylärajaa, mutta taipumarajan maksimiarvoksi (kaava 20) suositellaan arvoa  $a_{max}$ . (Nykyri 2015a, 225.)

$$a_{max} = \frac{L}{250} \quad (20)$$

Laatan taipumaa voidaan myös pienentää esikorotuksella, joka saa Eurokoodin mukaan olla maksimissaan  $L/250$ . Mikäli laattaan liittyvät rakenneseosat tai laitteet ovat herkkiä muodonmuutoksille, voidaan taipumaa rajoittaa  $L/500$  (Nykyri 2015a, 225). Nämä kaikki taipumien raja-arvot ovat kuitenkin vain ohjeellisia, joten suunnittelijan on kohteen mukaan itse mietittävä sopivat taipuman raja-arvot.

Taipuman rajoittaminen tehdään palkeille ja laatoille samalla tavalla, mutta laattojen voimasuureiden ja halkeilutilan arvioiminen on hankalaa. Käyttörajatilan kuormitukset ovat huomattavasti pienemmät kuin murtorajatilassa, joten laatta jää usein halkeamattomaan tilaan ja laatan jäykkyysuhteet eri kohdissa ovat erilaiset. Eurokoodin mukaan taipumaa voidaan rajoittaa laskennallisesti tai käyttämällä likimääräismenettelyä, josta saadaan rajatilaehdon hyväksymä tehollisen korkeuden vähimmäisarvo. On myös olemassa erilaisia taulukoita ja käyrästöjä, joiden avulla laatan taipumaa voidaan arvioida. Mikäli laatalle halutaan tarkempia taipuman arvoja, on syytä käyttää soveltuvia FEM -pohjaisia tietokoneohjelmia. (Nykyri 2015b, 88–89.)

### Taipuman rajoittaminen

Jos laatan jännemitan ja tehollisen korkeuden suhde jää pienemmäksi kuin alla olevien kaavojen (kaava 21 ja 22) antamat arvot, voidaan katsoa taipuman pysyvän sallituissa rajoissa. Jos raudoitussuhteen vertailuarvo  $\rho_0$  on pienempi kuin raudoitussuhde  $\rho$ , käytetään kaavaa 21, muuten käytetään kaavaa 22. (Nykyri 2015a, 226.)

$$\frac{L}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad (21)$$

$$\frac{L}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad (22)$$

Kaavojen 21 ja 22 laskennassa käytetyt raudoitussuhteen vertailuarvo  $\rho_0$  (kaava 23) vetoraudoitussuhde  $\rho$  (kaava 24) ja puristusraudoitussuhde  $\rho'$  (kaava 25) voidaan laskea alla olevilla kaavoilla:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} \quad (23)$$

$$\rho = \frac{A_{s, veto}}{d} \quad (24)$$

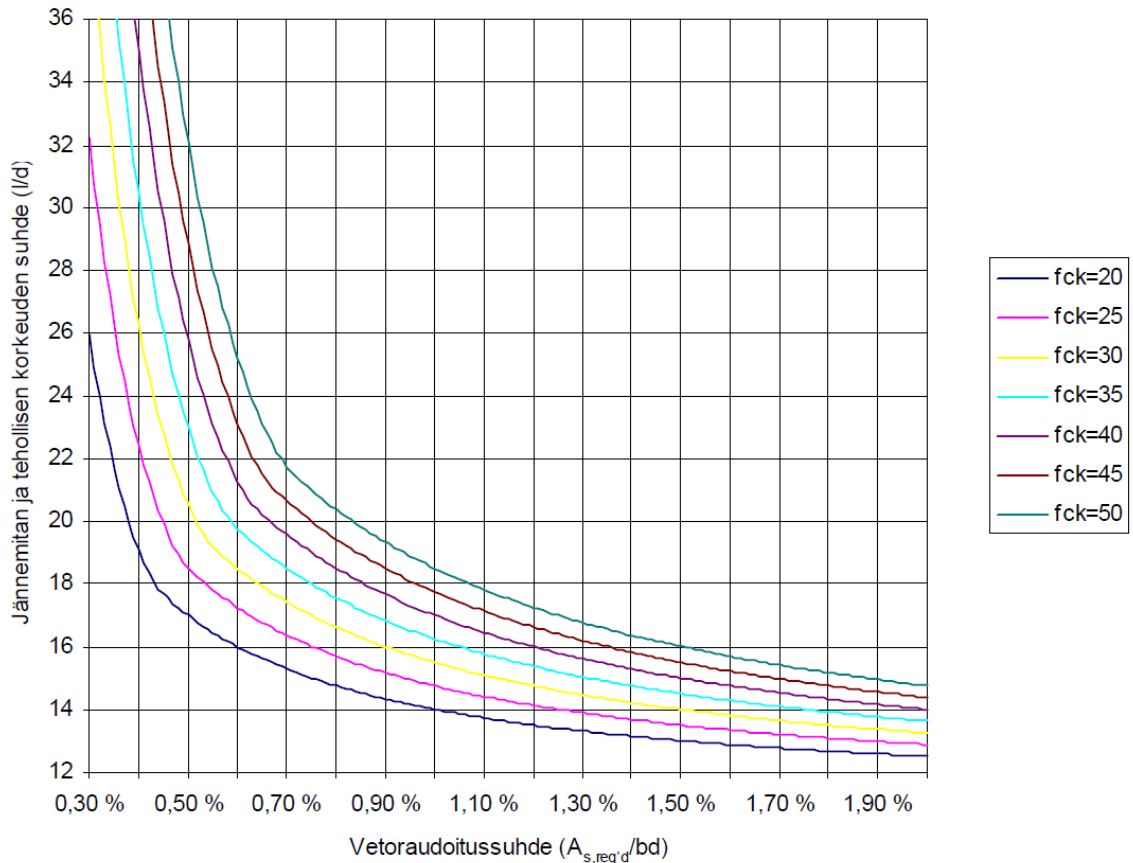
$$\rho' = \frac{A_{s, puristus}}{d} \quad (25)$$

K-kertoimen arvot riippuvat rakennejärjestelmästä, joka on esitetty Eurokoodi 2:n taulukossa 7.4N. K-kertoimen arvot on myös listattu alla olevassa taulukossa 6.

Rakennejärjestelmä	K -kerroin
Vapaasti tuettu laatta	0,8
Jatkuvan laatan reunakenttä	1,0
Jatkuvan laatan keskikenttä	1,2
Uloke	0,3

Taulukko 6. K-kertoimen arvot rakennejärjestelmän mukaan (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 127)

Jännemitan ja tehollisen korkeuden rajasuhde eri betonilaaduille voidaan likimääräisesti myös tarkastaa alla olevasta kaaviosta (kuva 7). Kaavion käyrät perustuvat edellä mainittuihin L/d-suhteen kaavoihin, joissa puristusraudoitussuhde  $\rho'$  arvo on 0 ja K-kertoimen arvo on 1. (Rakennusteollisuus RT ry, 6.)



Kuva 7. Jännemitan ja tehollisen korkeuden rajasuhde (Rakennusteollisuus RT ry, 6)

Taipuman rajoittaminen likimääräismenettelyllä voidaan tehdä annetuilla kaavoilla, jos käytetty betoniteräs on ominaislujuudeltaan 500 MPa ja terästen jännityksen oletetaan kehittyvän likimain täyteen arvoon. Mikäli betoniterästen lujuustaso on jotain muuta, voidaan kaavojen  $L/d$  suhdetta korjata (kaava 26) käyttörajatilassa teräksissä vaikuttavalla jännityksellä  $\sigma_s$ , käytetyn raudoituksen pinta-alalla  $A_{s,prov}$  ja murtorajatilassa vaadittavalla raudoituksen pinta-alalla  $A_{s,req}$ . (Nykyri 2015a, 227.)

$$\left(\frac{L}{d}\right)_{korj} = \frac{310 \text{ N/mm}^2}{\sigma_s} \left(\frac{L}{d}\right) \approx \frac{500 \text{ N/mm}^2}{f_{yk}} \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \left(\frac{L}{d}\right) \quad (26)$$

## 5.5 Halkeilun rajoittaminen

Teräsbetonirakenteiden halkeamia on rajoitettava siten, että halkeamat eivät aiheuta haittaa rakenteen toimintaan, säilyvyyteen tai ulkonäköön. Halkeamat syn-

tyvät, kun betonin vetojännitys ylittää vetolujuuden taivutus- leikkaus- tai vääntö- rasituksen aiheuttamana. Halkeamia voi syntyä myös muistakin syistä, kuten kovettuneen betonin estetystä plastisesta kutistumasta tai lämpöliikkeistä. Rakenteissa voidaan sallia halkeamien syntyminen ilman rajoitustoimia, mikäli niistä ei ole haittaa rakenteelle. Eurokoodissa on määritetty halkeamaleveyden  $w_{max}$  maksimiarvoksi 0,3 mm pitkäaikaisella käyttörajatilan kuormitusyhdistelyllä. Rasitusluokissa X0 ja XC1 halkeamaleveyden arvoksi voidaan asettaa 0,4 mm pelkästään ulkonäöllisistä syistä, koska näissä rasitusluokissa säilyvyyteen halkeamaleveydellä ei ole vaikutusta. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 118.) Suomalainen kansallinen liite asettaa kuitenkin rasitusluokissa XD2, XD3, XS2 ja XS3 halkeamaleveyden raja-arvoksi 0,2 mm (Nykyri 2015a, 211.)

Laattojen halkeamaleveyden tarkka määrittäminen käsin laskennalla on mahdollonta, koska laatan jäykkyysuhteet eri kenttien välillä vaihtelevat suuresti ja tuen jäykkyyden todellinen määrittäminen on hyvin vaikeaa. FEM-pohjaisilla tietokoneohjelmilla voidaan määrittää halkeamaleveys tarkasti. (Nykyri 2015b, 93.)

Halkeamaleveys voidaan laskea Eurokoodi 2:n kohdan 7.3.4 mukaisesti, mutta yksinkertaisempaa on käyttää poikkipinta-alaltaan pieniä tankoja ja tiheämpää tankojakoa. Taulukosta 7 löytyy tankojen enimmäishalkaisijat ja taulukosta 8 löytyy tankojakojen enimmäisarvot eri jännityksien mukaan. Eurokoodin mukaan raudoitetuille teräsbetonilaatoille ei tarvitse tehdä halkeamaleveyden rajoitustoimia, mikäli laatan kokonaispaksuus on enintään 200 mm, laatta on taivutettu ilman merkittäviä vetäviä normaalivoimia ja laatta täyttää Eurokoodi 2:n luvun 9.3 rakenteelliset ehdot. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 121–122.)



Teräsjäännitys [MPa] (ks. Huom. 2)	Suurin tankokoko [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	–

Taulukko 7. Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämät tankojen enimmäishalkaisijat (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 122)

Teräsjäännitys [MPa] (ks. Huom. 2)	Tankojaon enimmäisarvo [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	–
360	100	50	–

Taulukko 8. Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämät tankojaon enimmäisarvot (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a, 122)

## 6 Raudituksen suunnittelu

Laatoilla raudituksen laatuna käytetään hitsattujen verkkojen valmistukseen soveltuvaa kylmämuovattua harjaterästä B500A. Mikäli rakenteelle halutaan tavalista suurempaa muodonmuutoskykyä, voidaan betoniteräksenä käyttää kuuma-valsattua harjaterästä (B500B). (Nykyri 2015b, 11.)

Paikallavalettavien massiivilaattojen suunnittelussa raudoitustapa vaikuttaa suuresti laatan lopullisiin kustannuksiin. Raudoitustavalla voidaan vaikuttaa suoraan asennustyön kustannuksiin, betoniteräksen kilomääriin, materiaalin kuljetuksiin ja siirtoihin. Laattojen rauditus voidaan toteuttaa irtotangoilla, verkoilla ja kaistauradoitteilla. Irtotangoilla voidaan toteuttaa kaikkien laattojen rauditukset, mutta on usein kallis asennustyön takia. Verkkoraudoitus on yleisesti käytetty raudoite

säännöllisen muotoisissa laatoissa, joka helpottaa asentamista ja on monesti edullisempi vaihtoehto. Irtotangoilla voidaan laatan raudoitusta optimoida tarkemmin kuin verkkoraidoiteilla ja saada etu sitä kautta. Verkkoraidoiteiden limitykset on syytä huomioida suunnittelussa, jotta tankonippujen paksuudet eivät kasva liian suuriksi. Kaistaraidoitteet tai toiselta nimeltään matoraidoitteet, ovat yhteen suuntaan kantavia raudoitteita, joiden pituus valitaan koko jänteen mitaiseksi ilman jatkoksia. Kaistaraidoiteiden päätangot on sidottu sidetangoilla noin 1 metrin levyisiksi kaistoiksi, jotta niiden siirtely ja asentaminen olisi helppoa. Mikäli laatan vähemmän kuormitetuilla alueilla halutaan käyttää kevyempää raudoitusta, voidaan kaistaraidoitteita tehdä näille alueille kevyempinä. (Nykyri 2015b, 80.)

## 6.1 Ankkurointimitoitus ja tukiraidoitus

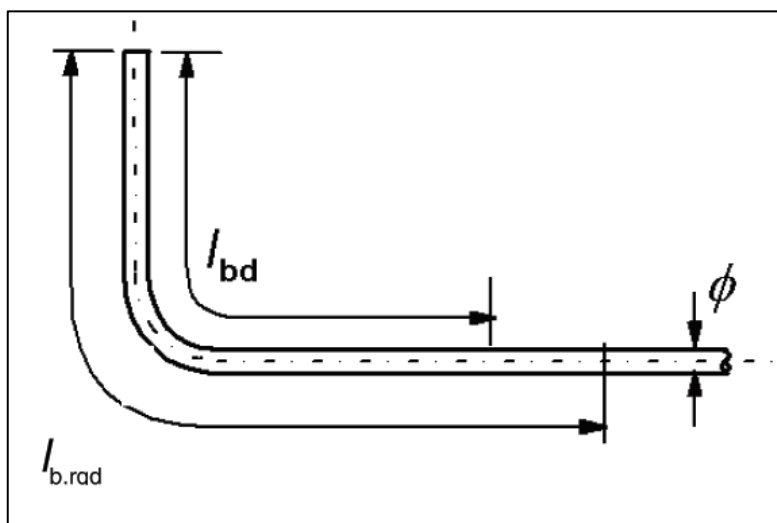
Teräsbetonirakenteissa raudoitus on aina ankkuroitava tuelle, jotta raudoitukseen voi kehittyä taivutuksesta aiheutuva vetovoima. Taivutusmomentin maksimikohdassa teräksessä vaikuttaa suurin voima ja voima pienenee tukea kohti mentäessä. Ankkurointi voidaan toteuttaa suorilla tangoilla, joka perustuu raudoituksen ja betonin väliseen tartuntajännitykseen tai käyttämällä taivutettuja koukuja tai hitsattuja poikittaistankoja (Nykyri 2015a, 154–155.)

Ankkurointipituus  $l_b$  määräytyy teräksen halkaisijan, tartuntalujuuden ja ankkuroitavan voiman  $F_{Ed}$  (kaava 20) mukaan.

$$F_{Ed} = V_{Ed} \frac{a_L}{z} = V_{Ed} \frac{d}{z} \approx 1,1 V_{ed} \quad (20)$$

Ankkurointipituuden perusarvo  $l_{b,rqd}$  (kaava 21) saadaan terästen halkaisijan  $\emptyset$ , teräksissä vaikuttavan jännityksen  $\sigma_{sd}$  ja tartuntalujuuden mitoitusarvon  $f_{bd}$  avulla. Ankkurointipituuden perusarvoa voidaan vielä pienentää eurokoodin mukaisesti mahdollisilla edullisten vaikutusten aiheuttamilla kertoimilla ja näin saadaan ankkurointipituuden mitoitusarvo  $l_{bd}$  (kuva 8). (Nykyri 2015a, 155–159.)

$$l_{b,rqd} = \frac{F_{Ed}}{\mu_s f_{bd}} = \frac{\emptyset \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad (21)$$



Kuva 8. Ankkurointipituus keskiviivaa pitkin mitattuna (6, s. 132)

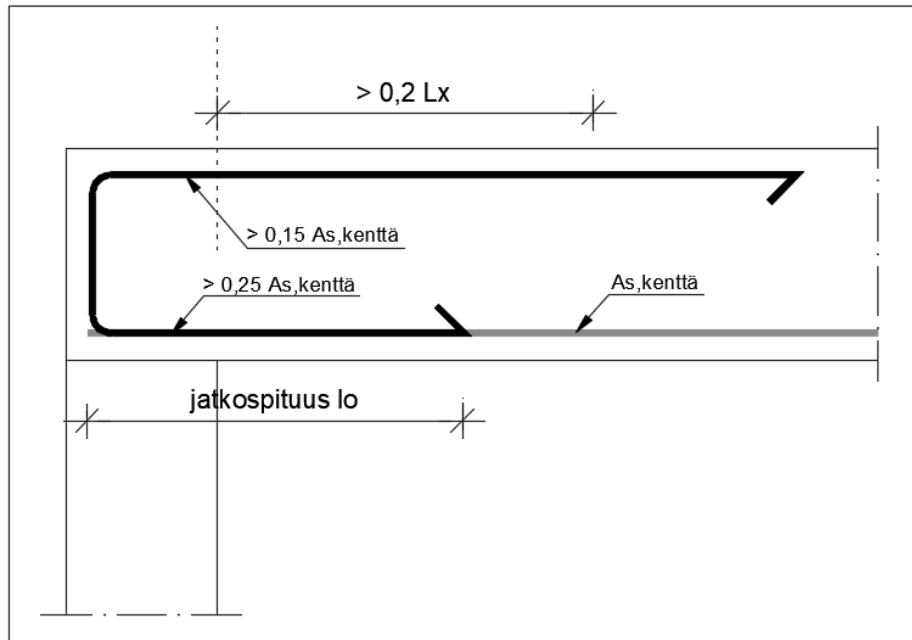
Ankkurointipituuden mitoitusarvon on täytettävä ehto  $l_{bd} \geq l_{b,min}$ , tai muuten on käytettävä ankkurointipituutena vähimmäisarvoa  $l_{b,min}$  (kaava 22), joka määräytyy alla olevista kolmesta arvosta.

$$l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,3l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100mm \end{cases} \quad (22)$$

Vapaasti tuetuissa laatoissa suurimman kenttämomentin raudoituksesta vähintään 50% on tuotava vapaalle tuelle ja jatkuvalla tuelle vähintään 25 % (kuva 6). Yleisesti kenttäraudoituksesta tuodaan tuelle kaikki tangot, jotta voidaan varmistua ankkurointivaatimuksen täyttymisestä, mutta jatkuvalla tuella raudoituksesta voidaan myös katkaista puolet teräksistä momenttipintojen mukaisesti. Eurokoodin mukaan ankkurointipituuden pitää olla jatkuvalla tuella vähintään 10 kertaa raudoituksen halkaisija. (Nykyri 2015b, 82–83.)

Mikäli reunatuella on mahdollista syntyä osittainen kiinnitys, on reunatuelle tuleva raudoitus mitoitettava kiinnitysmomentille. Kiinnitysmomentin arvona voidaan käyttää 15 %:a laatan suurimmasta kenttämomentistä. Kiinnitysmomentin raudoitus sijoitetaan laatan yläpintaan kuvan 9 mukaisesti. Raudoitus on vietävä 20 %

laatan kentän lyhyemmän jännemitan pituudelle tuen reunasta. Reunatuilla raudoituksen tankoväli voi enintään olla pienempi arvoista  $3h$  tai  $400$  mm. (Nykyri 2015b, 83.)



Kuva 9. Vapaan reunatuen rauditus (Nykyri 2015b, 83)

## 6.2 Raudituksen jatkaminen

Raudoituksia voidaan jatkaa limittämällä teräkset, hitsaamalla tai erikoisjatkoksilla. Raudituksen jatkaminen limittämällä on yleisimmin käytetty jatkostapa teräsbetonirakenteissa, joka on helposti toteutettavissa myös laatoissa. Raudoitukseen kohdistuvat voimat siirtyvät tangolta toiselle betonin välityksellä, kun tangot asennetaan mahdollisimman lähelle toisiaan. Tangossa vaikuttavan voiman, tartuntaolosuhteiden ja jatkettavien tankojen määrällä samassa poikkileikkauksessa, vaikuttavat limityspituuteen. Limityspituus  $l_0$  (kaava 27) voidaan laskea ankkurointipituuden perusarvon  $l_{b,rqd}$  ja ankkurointiin vaikuttavien pienennyskerroimien  $\alpha_i$  avulla. (Nykyri 2015a, 200–201.)

$$l_0 = \max \begin{cases} \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \\ l_{0,min} \end{cases} \quad (27)$$

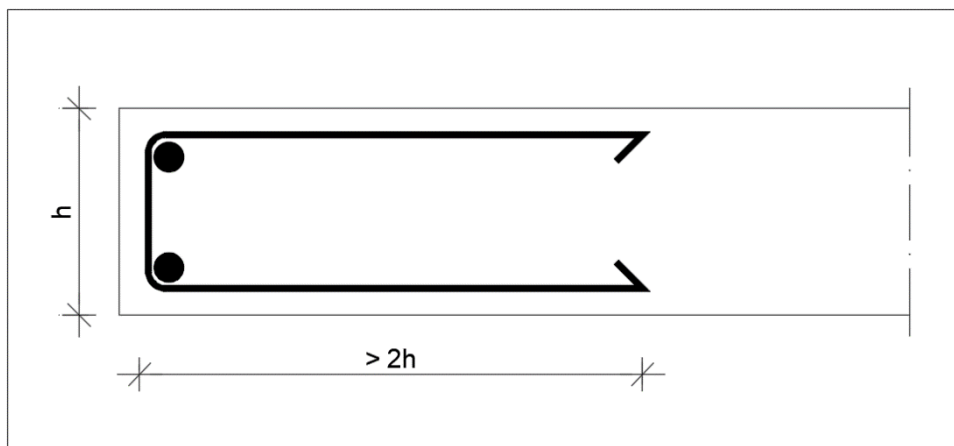
Limityspituudelle on eurokoodissa annettu myös vähimmäisarvo  $l_{0,min}$  (kaava 28), joka saadaan alla olevien ehtojen mukaan.

$$l_{0,min} = \max \begin{cases} 0,3 \alpha_6 l_{b,rqd} \\ 15 \varnothing \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (27)$$

Raudoituksen limittämistä samassa poikkileikkauksessa tulisi välttää, eikä jatkoksia pidä sijoittaa laatan maksimimomenttien kohdalle. Tankojen limittämisestä annetaan eurokoodissa ohjeita, joilla varmistetaan liitosten toimivuus. Esimerkiksi jatkettavien tankojen tankoväli saa olla enintään  $4\varnothing$  ja 50 mm, mikäli limityspituutena käytetään limityspituuden  $l_0$  arvoa. Eurokoodi 2:n luvussa 8.7 annetaan lisää tarkennuksia limityksen käytöstä raudoituksen jatkamistapana. (Nykyri 2015a, 200–201.)

### 6.3 Yksityiskohtien raudoittaminen

Laatan vapaat reunat täytyy muistaa raudoittaa pitkittäis- ja poikittaisraudoituksella (kuva 10). Vapaan reunan raudoitukseen valitaan vähintään 8 mm paksut tangot ja poikittaissuuntaisen raudoituksen tankojako saa olla enintään pienempi arvoista  $4h$  ja 600 mm. (Nykyri 2015b, 85.)



Kuva 10. Laatan vapaan reunan raudoitus

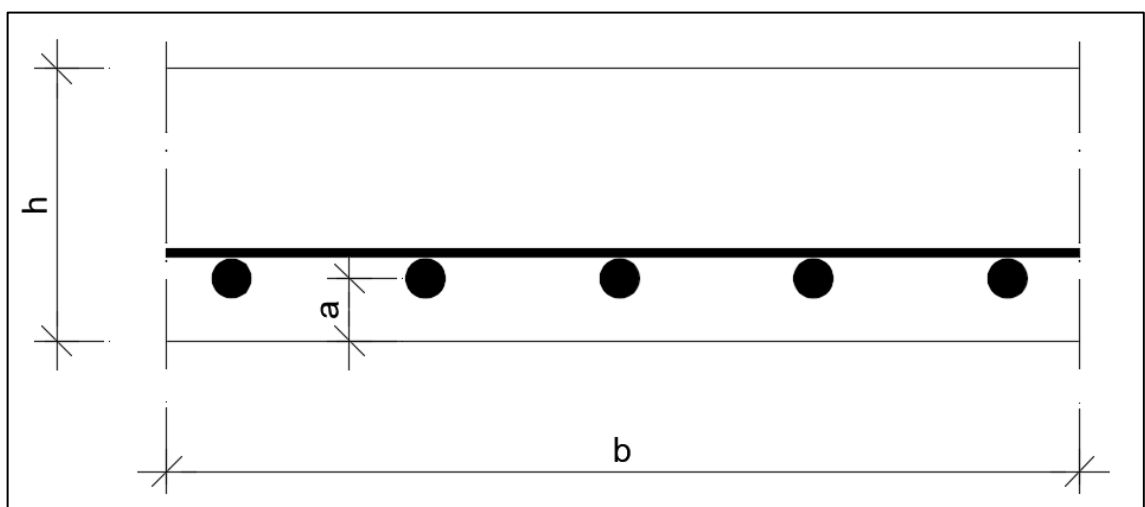
Laatassa olevien reikien huomioiminen on tärkeää, jotta niiden vaikutus laatan toimintaa voidaan huomioida. Yksinkertaisilla raudoitussäännöillä voidaan huomioida pienet reiät, mutta isojen reikien vaikutus laatan mitoitukseen pitää aina erikseen tutkia. Pienenä reikää pidetään, jos reiän suurempi sivumitta on enintään 20 % laatan lyhyemmästä sivumitasta. Pienet reiät voidaan raudoittaa siirtämällä reiän kohdalla oleva raudoitusmäärä molemmille puolille reikää aukon

pieliin ja pieliteräkset ankkuroidaan vähintään ankkurointipituuden  $l_{b,rqd}$  verran reiän ohi. (Nykyri 2015b, 86.)

## 7 Palomitoitus

Palomitoitus tehdään rakenteille, joilta vaaditaan palotilanteessa mekaanista kestävyyttä. Rakenteiden täytyy säilyttää palonaltistusajan kantavuus (R) suunnittelussa määriteltä aika. Rakenteille voidaan myös asettaa tiiveys (E) ja eristävyys (I) vaatimuksia, joilla estetään esimerkiksi savun ja lämmön leviäminen rakenteen läpi. Laattarakenteiden pitää aina täyttää kaikki kolme tehtävää, kuin taas palkkeille ja pilareille asetetaan vain kantavuusvaatimus. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015b, 13.)

Betonirakenteiden palonkestovaatimusten täytyminen hoidetaan antamalla rakenteille riittävät rakennepaksuudet ja asettamalla pääraudoitus riittävän kauas palolle alttiista pinnasta. Kuvassa 11 on esitetty raudoituksen keskiöetäisyys palkolle alttiista pinnasta. Yleisin ja yksinkertaisin tapa laatan palomitoitukselle on käyttää taulukkomitoitusta, jossa on esitetty laatan paksuuden ja raudoituksen keskiöetäisyyden vähimmäisarvot (taulukko 9). Palomitoituksessa laatan paksuutta määrittäessä, palamattomat pintakerroksetkin voidaan laskea mukaan paksuuteen. (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015b, 48–49.)



Kuva 11. Pääraudoituksen keskiöetäisyys [a]

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	laatan paksuus $h_s$ (mm)	keskiöetäisyys $a$		
		yhteen suuntaan kantava	ristiin kantava	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_x$  ja  $l_y$  ovat ristiin kantavan laatan jännemitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä  $l_y$  on pitempi jännemitta.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiöetäisyys  $a$  ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

\* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudoituksen betonipeite on määräävä.

Taulukko 9. Vapaasti tuettujen, yhteen suuntaan kantavien ja ristiin kantavien teräsbetoni- tai jännebetoniumpilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyksien vähimmäisarvot (Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015b, 49)

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä teräsbetonilaatan mitoitukseen eurokoodin mukaan. Työn lopputuloksena laadittiin Excel-pohjainen laskenta-alusta ja laatan momenttikapasiteetti taulukot, joiden avulla voidaan mitoittaa yhteen suuntaan kantava teräsbetonilaatta. Taulukot ja laskenta-alusta on tilaajan omaisuutta ja jätetään tulosten osalta salattavaksi tiedoksi.

Laskenta-alustan avulla voidaan mitoittaa laatan taivutus- ja leikkauskestävyys, sekä määrittää laatan taipuma. Laatan lähtöarvojen ja valitun raudoituksen avulla saadaan tulokseksi laatan momenttikapasiteetti, leikkauskapasiteetti ja taipuman suuruus. Laskenta-alusta jää tilaajaryityksen omaan käyttöön, ja sitä voidaan tilaajan tarpeiden mukaan muokata haluttuun muotoon.

Taulukoista saadaan laatan momenttikapasiteetti eri laatan paksuuksilla ja raudoituksilla. Tilaaja määritteli taulukoihin 13 eri laattapaksuutta, jotka ovat paikallalaulaatoissa yleisimmin käytetty ja taulukoita luotiin neljä erilaista, joissa on eri betonilaadut ja betonipeitepaksuudet. Taulukoista tehtiin paperiversiot sekä PDF-tiedostot tilaajayrityksen Lappeenrannan toimiston yleiseen käyttöön.

Hyvin monesti laattarakenteet ovat enemmän tai vähemmän ristiin kantavia, joten mitoittamalla laatta yhteen suuntaan kantavana se antaa rakenteelle kestävyyskannalta lisävarmuutta. Laatan optimoinnin kannalta tämä ei ole paras ratkaisu ja saattaa johtaa rakenteen ylimitoitukseen. Myös laatan käyttörajatilatarkastelu käsin laskemalla on hankalaa ja tulokset saattavat olla harhaanjohtavia, joten on tärkeää ymmärtää laskennan ajatus ja kulku. Tänä päivänä on kehittyneitä tietokoneohjelmia, joiden avulla voidaan määrittää laatan halkeilu ja taipuma hyvin tarkasti, kunhan vain on ymmärtää mitä ohjelmalla laskee. Suunnittelijan on kuitenkin osattava mitoittaa laatta myös perinteisin menetelmin, joten opinnäytetyön teoriaosuus antaa käsin laskentaan tarvittavat tiedot.

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteeseen suunnitellussa aikataulussa ja kaikki osapuolet olivat lopputulokseen tyytyväisiä. Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään yksityiskohtaisesti yhteen suuntaan kantavana laatan mitoitus, joten kaikki yleinen betonirakenteiden suunnitteluun tarvittava tieto pyrittiin tiivistämään lyhyiksi tietopaketeiksi. Insinöörikoulutuksessa jo opitut asiat betonirakenteiden mitoituksesta tukivat hienosti työn tekemistä ja työn edetessä huomasin, miten paljon helpompi on sisäistää uusia asioita, kun perusteet on hallinnassa.



## Lähteet

Betoniteollisuus ry a. Talonrakentaminen. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/talonrakentaminen>. Luettu 03.04.2019.

Betoniteollisuus ry b. Laatat. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat>. Luettu 14.02.2019.

Nykyri, P. 2015a. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013, osa 1. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Nykyri, P. 2015b. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014, osa 2. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Rakennusteollisuus RT ry. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Laatat. [http://eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet\\_3\\_Laatat.pdf](http://eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_3_Laatat.pdf). Luettu 16.03.2019.

Sitowise Oy. <https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>. Luettu 12.03.2019  
Suomen standardoimisliitto SFS ry 2006. SFS-EN 1990. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.

Suomen standardoimisliitto SFS ry 2015a. SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2015b. SFS-EN 1992-1-2. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus.