



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

## **Porrasaukollisen massiivilaatan mitoitus**

Markus Siitonen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2015  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka

SIITONEN, MARKUS:

Porrasaukollisen massiivilaatan mitoitus

Opinnäytetyö 84 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Joulukuu 2015

---

Opinnäytetyössä perehdytään aukkojen mitoittamiseen teräsbetonisissa, yhteen suuntaan sekä ristiin kantavissa, massiivilaatoissa. Pääpainona on tutkia porraskon ja portaan vaikutuksia massiivilaataan.

Porraskon laatta on helppo toteuttaa aukkoa ympäröivien palkkikaistojen avulla. Palkkikaistojen taivutusmitoitus tehdään aivan samalla tavalla kuin perinteisen suora-kaidepalkin mitoitus taivutukselle murtorajatilassa.

Portaiden ja kaiteiden tyypillisiä tapauksia sekä kiinnitystapoja on käyty läpi niiltä osin kuin on katsottu tarpeelliseksi. Portaat ja kaiteet vaativat yleensä laataan jonkinlaisia lisäraudoitteita, jotta niiden oikeanlainen yhteistoiminta laatan kanssa saadaan taattua.

Yhteen suuntaan kantavien laattojen tukireaktiot, momentit ja taipumat lasketaan perinteisin statiikan keinoin, eikä niitä tässä työssä käydä tarkemmin läpi. Ristiin kantavien laattojen voimasuureiden määrittämiseksi työssä esitetään kolme menetelmää: MBP-menetelmä, myötöviivateoria sekä kaistamenetelmä.

Yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitus tehdään laatan pääsuunnassa. Ristiin kantavalla laattalla kumpikin suunta on ”pääsuunta”. Taivutusmitoitus tehdään laskemalla saatujen maksimimomenttien perusteella. Tarvittava pääraudoitus määritetään taivutusmitoituksen perusteella.

Työssä on myös käsitelty laatoissa esiintyvien yksityiskohtien, esimerkiksi laatan vapaan reunan, tai laataan vaikuttavien piste- ja viivakuormien, vaatimia raudoituksia.

Jälkiosassa on esitetty porraskon laatan palkkikaistojen taivutusmitoituslaskelmat sekä FEM-Designilla tehdyt taipumakuvaajat.

---

Asiasanat: porraskon laatta, palkkikaista, MBP-menetelmä, myötöviivateoria, kaistamenetelmä

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Construction Engineering  
Building construction

SIITONEN, MARKUS:  
Reinforced concrete slab with a stair opening

Bachelor's thesis 84 pages, appendices 2 pages  
December 2015

---

This thesis studies the effects of openings in, one-way and cross bearing, reinforced concrete slabs. The main focus is to study the effects of stairs and stair openings.

Slabs with stair opening are easy to produce using internal beams around the opening. Bending stiffness of internal beams is determined the same way as in conventional rectangular beams, in ultimate limit state.

In the thesis is explained some typical instances of stairs and railings, as well as some methods of their fastening. Stairs and railings usually require some kind of auxiliary reinforcement to ensure correct functioning with the slab.

Reactions of support, torque and bending can be calculated using means of traditional statics. There are three different means to determine the internal forces of cross bearing slabs: the MBP-method, the yield line method and the strip method.

One-way slabs are designed in the load bearing direction of the slab. With cross bearing slab, both directions are load bearing. Bending design is made with the obtained maximum torques. The required main reinforcement is then determined based on the bending design.

This thesis also deals with some details occurring in the slabs, like the required reinforcement for free edges or point and line loads.

There are example calculations of the internal beams at the end of this thesis. There is also the bending graphs of the internal beams that are made with FEM-Design.

---

Key words: slab with a stair opening, internal beam, MBP-method, yield line method, strip Method

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	Laattarakenne .....	8
2.1	Yhteen suuntaan kantavat laatat.....	9
2.2	Ristiin kantavat laatat.....	11
2.3	Palkkikaistat.....	13
2.4	Reikien vaikutus .....	13
2.5	Pilarilaatat .....	19
3	Palkkikaistoitettun porraskokkeollisen laatan rakenne ja kuormat .....	20
3.1	Primäärripalkit (laattapalkki) .....	21
3.2	Sekundäärripalkki (poikkipalkki).....	21
3.3	Kuormat .....	22
3.4	Portaat .....	24
3.5	Kaiteiden kiinnitys .....	30
4	Taivutusmitoitus .....	31
4.1	Laatan paksuuden arviointi .....	31
4.2	Vähimmäisraudoitus .....	31
4.3	Raudoituksen maksimivälit tangoille.....	32
4.4	Ehto jäykkyydelle .....	32
4.5	Yhteen suuntaan kantava laatta.....	33
4.6	Ristiin kantava laatta.....	35
4.6.1	MBP eli Massiva Betongplattor-menetelmä .....	38
4.6.2	Myötöviivateoria .....	41
4.6.3	Kaistamenetelmä .....	46
4.6.4	Kahdelta ja kolmelta reunalta tuetut laatat.....	52
5	Leikkausmitoitus .....	56
5.1	Palkkikaistan leikkausmitoitus .....	57
6	Käyttörajatilamitoitus .....	58
6.1	Taipumat .....	58
6.2	Halkeamien rajoittaminen .....	64
7	Yksityiskohtien raudoittaminen .....	65
7.1	Laattojen raudoitus tukien lähellä.....	65
7.2	Vapaan reunan raudoitus .....	67
7.3	Piste- ja viivakuormat .....	67
8	Laskuesimerkki: Porraskokkeon palkkikaistojen kestävyys .....	74
8.1	Laskuesimerkki: sekundäärripalkki.....	75
8.2	Laskuesimerkki: primäärripalkki .....	78

8.3 Laskuesimerkki: Palkkikaistojen taipumat (FEM-Design).....	79
9 POHDINTA.....	80
LÄHTEET.....	81
LIITTEET .....	83
Liite 1. MBP-menetelmän mukaisten momenttikerrointen mitoitustaulukot..	83

## KÄSITTEET

MBP-menetelmä	Massiva Betongplattor-metod on Ruotsissa kehitelty ristiin kantavien laattojen voimasuureiden laskemiseen tarkoitettu taulukkoihin perustuva menetelmä.
Murtorajatila	Tila jossa rakenne tai rakenneosa menee pysyvästi käyttökelvottomaksi. Murtorajatilassa mitoitettaessa käytetään osavarmuuskertoimia.
Käyttörajatila	Rajatila, jossa rakenne lakkaa täyttämästä sille käytössä asetetut vaatimukset
Myötöraja	Taivutus laatassa kasvaa niin suureksi että rauditus alkaa myödetä.
Myötöviiivat	Halkeamat, jotka syntyvät laatan myötäämisestä johtuen viivamaisesti laattaan.
FEM-Design	(FEM=Finite Element Method) Suunnitteluohjelma, jolla voidaan mitoitaa kantavia betoni, puu ja teräsrakenteita elementtimenetelmän mukaan.

## 1 JOHDANTO

Paikalla valettava holvi on yleinen ratkaisu kerrostaloissa, sekä useampikerroksisissa pientaloissa. Laattaan joudutaan usein tekemään aukotuksia käyttötärpeen, hormien tai putkien takia. Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääsääntöisesti porraskellisen holvin toimintaa.

Pääpainona on porraskellisen holvin mitoittamiseen tarvittavien tietojen ja ohjeistusten jakaminen. Työssä ei ole sen tarkemmin käsitelty betonia tai terästä materiaaleina, eikä niiden yhteistoimintaa. Myöskin yhtälöt joista käytetyt kaavat on johdettu, on jätetty yleensä kertomatta.

Portaan aiheuttamien lisäkuormitusten vaikutukset on otettava huomioon porrashuoneen laattaa mitoittaessa. Portaan omapaino ja hyötykuorma, sekä porraskellko laatassa vaikuttavat laatan kantokykyyn. Tässä työssä pyritään antamaan tarvittava ohjeistus jolla porraskellkollinen laatta saadaan mitoitettua kansallisten ohjeiden ja hyvän rakennustavan mukaan turvalliseksi sekä kestäväksi.

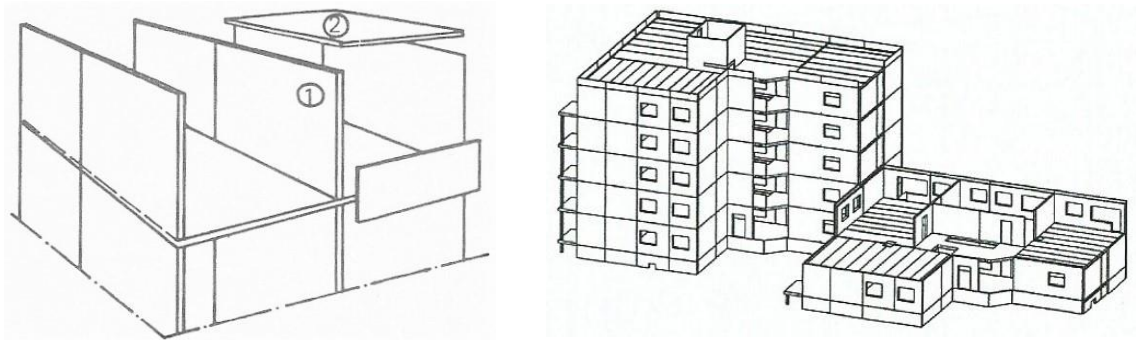
Työn ohjeistus on suurimmalta osin tehty eurokoodin EC2 suunnittelustandardin mukaista, joiltain osin työssä on myös sovellettu rakentamismääräyskokoelman RakMk B4 mukaisia ohjeistuksia, niiltä osin kuin se on nähty järkeväksi.

Laattarakenteissa reiät jaetaan pieniin ja iso reikiin, porraskellkon ollessa kokonsa puolesta lähes aina iso reikä. Porraskellkollisen laatan yleisin toteutustapa on toteuttaa se jäykkien palkkikaistojen avulla. Palkkikaistojen käsin mitoitukselta on esitetty esimerkkilaskelmat työn lopussa.

Opinnäytetyössä kerrotaan ristiin kantavan laatan voimasuureiden laskentatavoista MBP-menetelmän, myötöviivateorian ja kaistamenetelmän avulla. Yhteen suuntaan kantavien rakenteiden voimasuureet määritetään perinteisesti kimmoteorian mukaisin tavoin, joita ei ole erikseen tässä käyty läpi.

## 2 Laattarakenne

Laatat ovat tyypillisesti rakennusten vaakasuoria tasorakenteita, ala-, ylä- ja välipohjia. Laatat siirtävät siihen kohdistuvat kuormat ja oman painon sitä tukeville seinille, palkeille ja pilareille. Ne toimivat usein samalla myös rakennusten jäykistävänä levyrakenteena siirtäen vaakakuormia jäykistäville pystyrakenteille.



KUVA 1 Kantava seinä-laatta runko. Vasemmalla perusratkaisu (1=seinä, 2=laatta). Oikealla nykyaikainen versio ontelolaatoilla tehtynä. [8][17]

Laattarakenne voidaan toteuttaa eri tavoilla. Tyypillisiä laattarakenteita ovat:

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

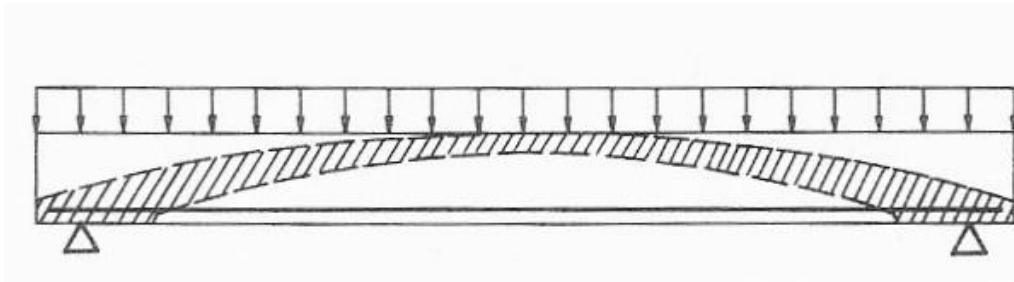
Tässä työssä keskitytään yhteen suuntaan-, sekä ristiin kantaviin massiivilaattoihin.

Massiivilaatta on tasapaksu, yhtenäinen laatta, jossa ei ole erillisiä kevennyksiä tai vahvennoksia. Massiivilaatta on tyypillinen paikallavalurakenne ja useimmat suunnitteluohjeet käsittelevät juuri massiivilaattoja. Massiivilaatan ongelma on pitemmällä jänneväleillä suureksi kasvava oma paino. Jos laatan läpileikkautuminen on estetty, normaalisti murtuminen tapahtuu aina taivutusmurtona. [1]



Normaaleissa talonrakennuskohteissa massiivilaatoissa syntyy käyttötilassa ns. holvivaikutus, joka on sitä suurempi, mitä paksumpi laatta on. Ristiin kantavassa laatussa holvivaikutus on kaareva laatan molempiin suuntiin. Holvivaikutus laatussa on yleensä pieni, mutta se kuitenkin parantaa jonkin verran laatan varmuutta. Rakenteen mennessä murto-rajatilaan, holvivaikutus häviää ja laatussa alkaa vaikuttaa ns. kalvovaikutus. Kalvovaiikutuksen ansiosta laatalle on suhteessa enemmän lujuutta palkkiin verrattuna myötöväihteessä.

Porrashuoneiden massiivilaatat voidaan tehdä esivalmistettuina elementteinä betonielementtiportaiden asennuksen helpottamiseksi. Porrashuoneissa laatat toimivat yksiaukkoina, ja tarvittaessa ne voidaan tukea viereiseen laattaan. Elementtilaattojen jännemitta on yleensä pidempi kuin paikallavalulaatoilla. [7][10]



KUVA 2 Teräsbetonilaatassa esiintyvä holvivaikutus [16]

## 2.1 Yhteen suuntaan kantavat laatat

Laatta on yhteen suuntaan kantava silloin kun laatan kuormat siirtyvät, joko yhdelle tai useammalle yhdensuuntaiselle viivamaiselle tuelle ja kuormitus on tasaisesti jakautunut.

Yhteen suuntaan kantavan laatan toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin palkilla, rakenne on vain litteämpi. Eurokoodin mukaan raja-arvona laatan ja palkin väliselle määritelmälle on  $b/h \geq 5$ . Eli poikkileikkauksen leveyden ollessa yli 5 kertaa suurempi, kuin sen korkeus, on kyseessä laattarakente. Tämä vaikuttaa mm. hakojen määräytymiseen.

Laatan yhteen suuntaan kantavuus toteutetaan sijoittamalla maksimimomentin tarvittava pääraudoitusmäärä halutun kantosuunnan mukaisesti. Yhteen suuntaan kantavaan laattaan tulee lisätä päärautojen lisäksi poikittainen raudoitus (jakoraudoitus), jonka teräspinta-alan tulee olla vähintään 20 % pääraudoituksen alasta. Poikittainen raudoitus voidaan jättää pois tukien lähellä, jos laattaan ei kohdistu poikittaista taivutusta.

Rakennetyyppi	Geometria	Kuormituksen suunta (pääasiallinen)
Palkki	- "sauvamainen" 2 lyhyttä sivua (b, h), 1 pitkä sivu (L) - jännemitta $L \geq 3 \times$ palkin korkeus (h) lyhyempi on seinämäinen palkki - leveys $b < 5 h$ leveämpi on laatta	sauvan akselia vastaan kohtisuorassa
Laatta	- "laatta- / levymäinen" 1 lyhyt sivu (h) = paksuus, 2 pitkää sivua ( $L_x, L_y$ ) - pienempi sivumitta $L_x \geq 5 h$	pitkien sivujen muodostamaa laatan tasoa vastaan kohtisuora
Pilari	- "sauvamainen" 2 lyhyttä sivua (b, h), merkitään $h > b$ 1 pitkä sivu (L) - suurempi sivu $h \leq 4$ pienempi sivu b	sauvan akselin suuntainen
Seinä	- "laatta- / levymäinen" 1 lyhyt sivu (h) = paksuus, 2 pitkää sivua (L, b) - suurempi sivu $b > 4$ pienempi sivu h	pitkien sivujen muodostaman seinän tason suuntainen

TAULUKKO 1 Rakennetyyppien määritelmät

Laatan kuormituksen ollessa tasan jakautunutta, laattaan syntyy taivutusrasitusta ainoastaan pääsuunnassa. Jos mukana on pistemäisiä kuormia, taivutusrasitusta syntyy myös poikkisuunnassa. Poikkisuuntaisista rasituksista ei tarvitse välittää, kuorman rajallisuudesta johtuen, normaaleissa talonrakennuskohteissa, sillä ne huomioidaan vähimmäisraudoitusehtojen mukaisella poikittaisraudoituksella.

Laatan poikkileikkauksen suhteen epäkeskisesti kohdistuvat kuormat aiheuttavat laattaan vääntöä. Vääntörasituksia ei kuitenkaan yleensä tarvitse massiivilaatoissa erikseen huomioida. Joissain vaativammissa kohteissa vääntörasituksen tarkastaminen voi kuitenkin olla tarpeellista. [1 ,s13]

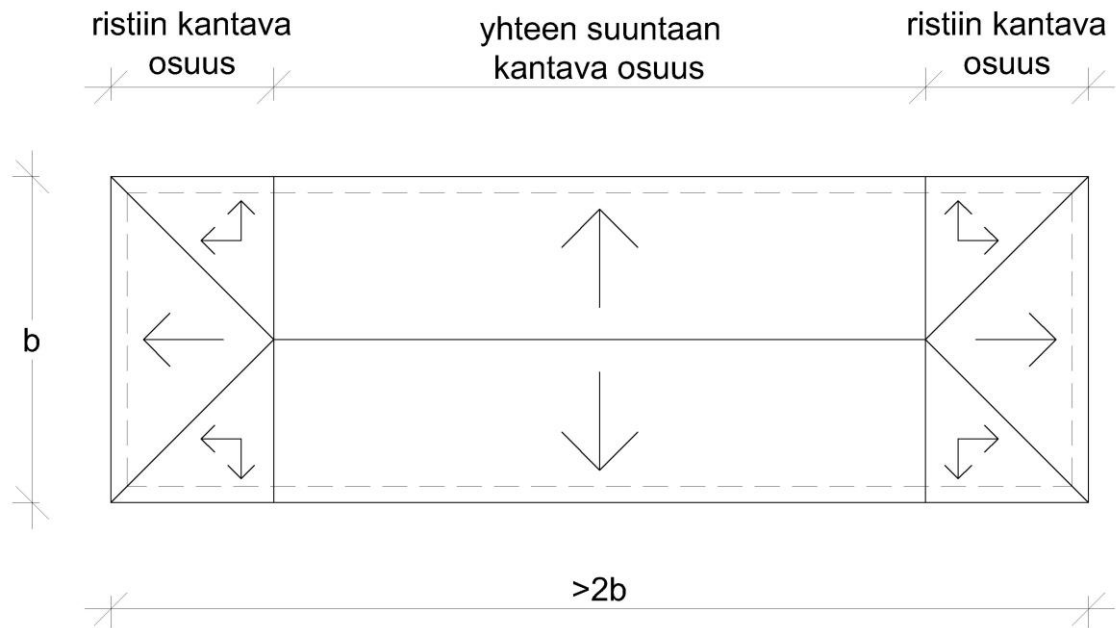
Yhteen suuntaan kantava laatta on usein selkeydessään kannattava vaihtoehto verrattuna ristiin kantavaan laattaan, koska laatan mitoitus on helpompaa ja nopeampaa. Yhteen suuntaan kantavan laatan ja ristiin kantavan laatan tarvittava teräsmäärä on yleensä kilogrammoissa lähes sama. Yhteen suuntaan kantavilla laatoilla taloudellisesti edullisin lopputulos saadaan, kun mekaanisen raudoitussuhde  $\omega \approx 0,20 \dots 0,25$ .

Mikäli mekaaninen raudoitussuhde on  $\omega > 0,25$ , täytyy laatan taipuma tarkastaa. Massiivilaatan taipuman tarkka määrittäminen on kuitenkin varsin haasteellista. Tästä johtuen onkin yleensä parempi vaihtoehto valita tehollinen korkeus niin suureksi, että taipumatarkastelua ei tarvitse tehdä. [8]

## 2.2 Ristiin kantavat laatat

Ristiin kantava laatta on yleisimmin neljältä sivulta tuettu, kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa toimiva taivutettu rakenne. Ristiin kantavalla laattalla on suurempi jäykkyys, kuin vastaavat sivusuhteet omaavalla yhteen suuntaan kantavalla laattalla, koska laatta pyrkii muodostamaan pallopinnan, jonka taivutuskapasiteetti on suurempi kuin sylinterimäisen pinnan. Laatta voidaan olettaa kokonaan ristiin kantavaksi, kun laatan sivujen suhde  $L_y/L_x$  on korkeintaan 2. Sivumittojen eron ollessa suurempi, keskiosa toimii yhteen suuntaan kantavana ja ainoastaan laatan päädyt toimivat ristiin kantavina (KUVA 3).

Ristiin kantavan laatan taipumat ovat pienemmät, kuin yhteen suuntaan kantavilla laatoilla. Ristiin kantavan laatan tapauksessa laatan taipuma ei yleensä tule ongelmaksi ja sen tarkistus voidaan useimmiten jättää tekemättä esimerkiksi nykyisellä kerrostalon 250 mm paksulla holvilla, tavanomaisilla jännemitoilla ja edes osittain jatkuvalla rakenteella.



KUVA 3 Pitkän ristiin kantavan laatan toimintasuunnat ( $L_y/L_x > 2$ ).

Voimasuureiden määrittämisessä voidaan hyödyntää jotain seuraavista menetelmistä:

- Massiivilaatta menetelmä, eli MBP-menetelmä (Massiva Betongplattor)
- Myötöviiivateoria
- Kaistamenetelmä
- Kimmoteoria

Näistä lisää myöhemmin kohdassa 4. Taivutusmitoitus. Kalvovaikutuksen ansiosta laatan todellinen momenttikapasiteetti on yleensä suurempi, kuin mitä millään yleisesti tunnetulla käsinlaskumenetelmällä saatava arvo. [15]

Ristiin kantava laattaa on taloudellisesti järkevä vaihtoehto laatan ollessa neliömäinen, eli kun laatan sivut ovat lähes yhtä pitkät ja tuet ovat seinien mittaisia. Taloudellinen mekaaninen raudoitussuhde ristiin kantavilla laatoilla on  $\omega \approx 0,10 \dots 0,15$  sivusuhteesta riippuen, kumpaankin taivutussuuntaan nähden. [6]

### 2.3 Palkkikaistat

Palkkikaistojen käyttö on selkein tapa toteuttaa porraskollinen laatta. Palkkikaistalla tarkoitetaan vahvasti raudoitettua kaistaa laatan sisällä, joka toimii taivutettaessa palkin tavoin. Palkkikaistojä käyttämällä voidaan toteuttaa laattoja jossa on suuria aukkoja, tuettomia reunoja tai pilaritukia. Kaistat siirtävät näistä johtuvat kuormitukset laatan tuille. Kaistamenetelmä toimii myös vinoissa ja kolmion muotoisissa laatoissa.

Palkkikaistan leveys määräytyy kuormituksen mukaan. Taloudellisesti järkevää on valita kaistan dimensiot niin, että tarvittava teräsmäärä jää mahdollisimman pieneksi. Tasaisella kuormituksella tyypillinen kaistaleveys on 2 – 3 kertaa tehollinen korkeus. Laatta voidaan tarpeen mukaan tehdä paksumpana palkkikaistan kohdalta, jos palkin poikkipinta-ala leveydellä  $3 \times d$  ei muuten riitä. Pitkillä palkkikaistoilla ( $L > 25 \dots 30 \cdot d$ ) taipuma täytyy ottaa huomioon, koska se saattaa tulla määrääväksi.

Palkkikaistassa tulee huomioida tartunnan vaatimat pääterästen väliset minimietäisyydet. Eurokoodien mukaan rinnakkaisten tankojen vapaan välin tulee olla vähintään suurin arvo seuraavista:

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

### 2.4 Reikien vaikutus

Reikä vaikuttaa laatan kantokykyyn sen koon, muodon ja sijainnin perusteella. Reikien edullisin sijoituspaikka on laatan keskialue. Reiät jaetaan koon perusteella pieniin ja suuriin reikiin.

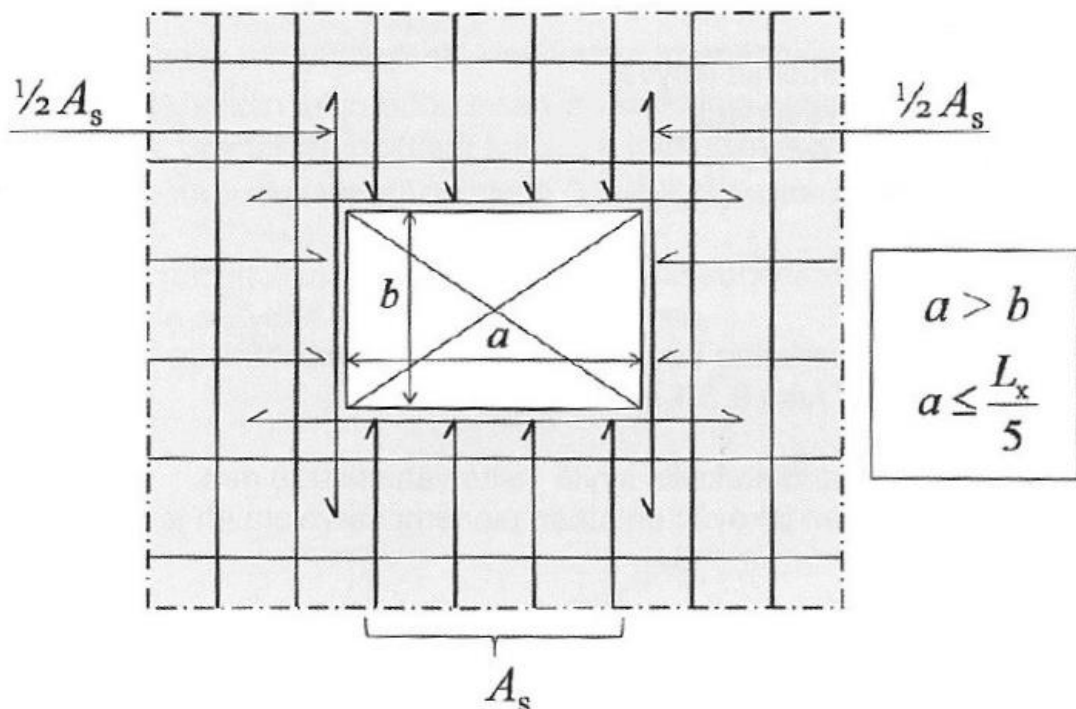
Suorakaiteenmuotoisten reikien nurkkiin muodostuu jännityshuippu, joka pyrkii aiheuttamaan halkeamia. Jännityksen vuoksi ja halkeamien rajoittamiseksi reikien pieliin on aina lisättävä sopiva pielirauditus. Pyöreisiin reikiin näitä jännityshuippuja ei pääse syntymään, mistä syystä pyöreitä reikiä tulisi suosia, jos mahdollista.

## Pienet reiät

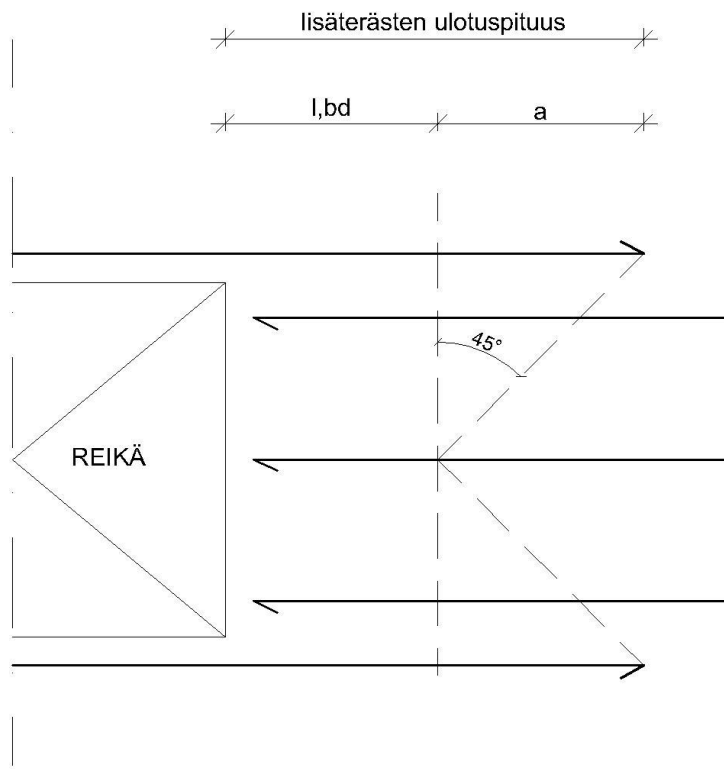
Laatassa olevaa reikää voidaan pitää pienenä, mikäli sen mitat eivät ylitä 1/5 laatan jännevälistä. Pyörät reiät voidaan käsitellä pienenä, kun niiden halkaisija on alle 1/5 laatan jännevälistä. Pienellä reiällä riittää, että aukon katkaisemat pääteräkset jaetaan aukon molempiin peliin. Myös poikittaisraudoituksen suunnassa toimitaan samalla tavalla. (KUVA 4). [9]

Pääterästen jako reiän molemmin puolin on erityisen tärkeää tapauksissa, jossa reikiä on monta vierekkäin samassa laattakentässä. Tällöin reiät saattavat katkaista jopa suurimman osan pääteräksistä, laskien laatan kantokykyä huomattavasti (KUVA 6).

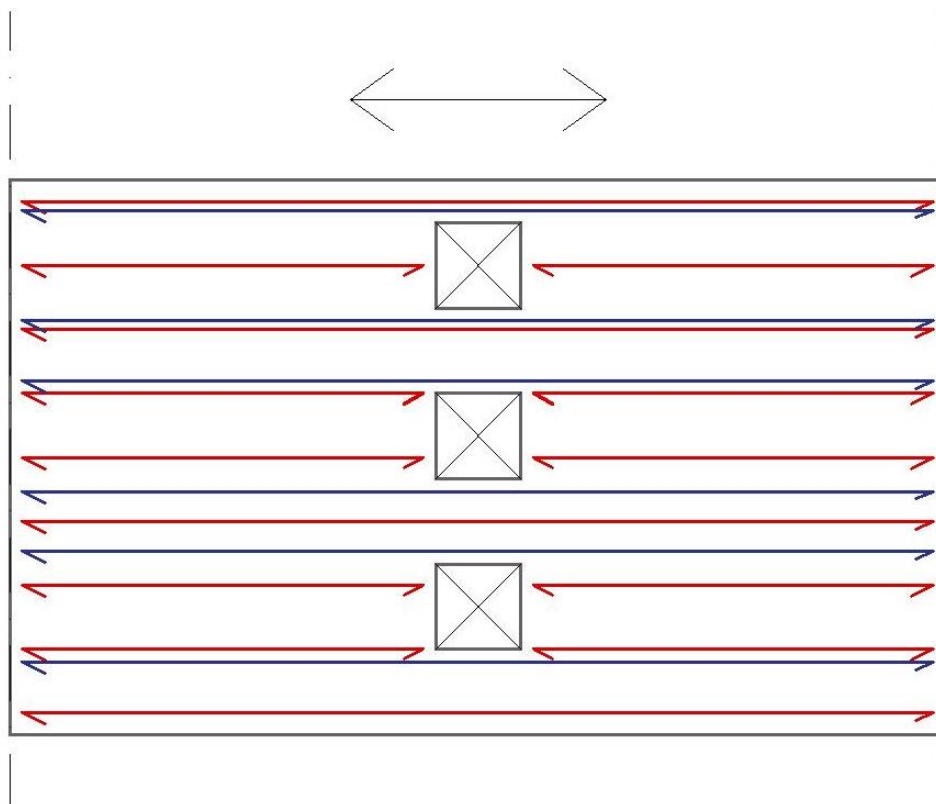
Aukon peliin tulevat lisäteräkset kannattaa yleensä ulottaa varmuuden vuoksi tuelle. Jos lisäteräksiä ei kuitenkaan haluta viedä tuelle asti tulee ne ulottaa aukon reunan yli vähintään KUVAN 5 mukaisesti.



KUVA 4 Pienen reiän vaatima lisäraudoitus[1]. Raudoituksen ankkurointi KUVASSA 5.

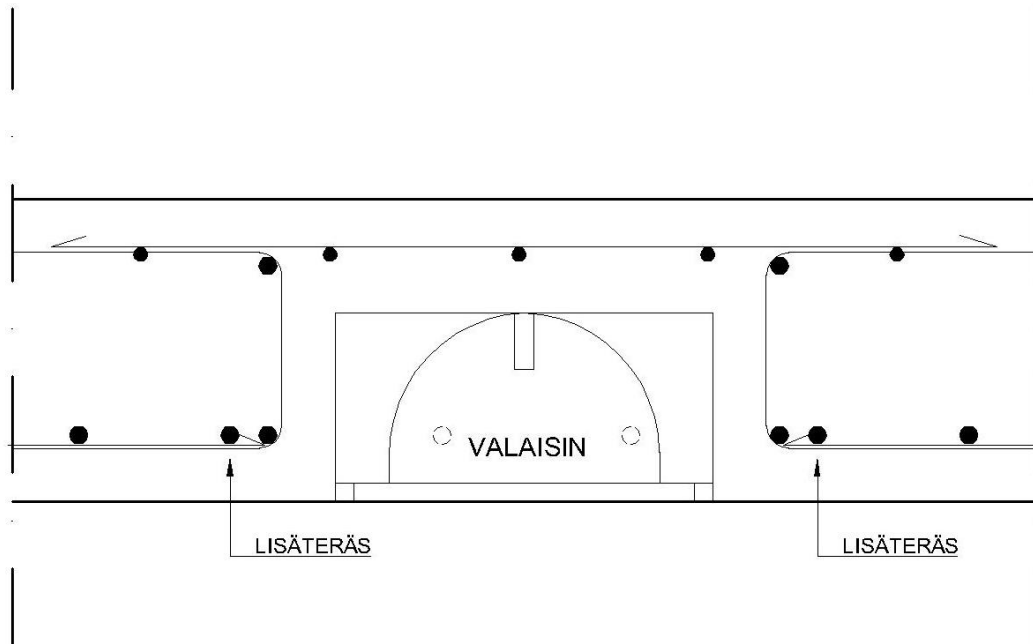


KUVA 5 Reiän lisäterästen vähimmäisulotuspituus  $l_{bd} + a$ , jossa  $l_{bd}$  = tangon ankkurointipituus ja  $a$  = mitta joka lisätään ankkurointipituuteen kuvan mukaisella tavalla.



KUVA 6 Esimerkki laatasta, jossa on monta pientä reikää vierekkäin. Kuvassa punaiset tangot ovat pääraudoituksen tangot ja siniset tangot ovat reikien vaatimat lisätangot pääraudoituksen suunnassa.

Jos laatan alapinnassa on upotettu valaisin, voidaan sen kohdalla ajatella olevan pieni valaisimen kokoinen reikä, ja raudoittaa valaisinkotelon ympärys KUVAN 7 mukaan. Valaisimen yläpuolelle laatan yläpintaan tulee sijoittaa tarpeellinen raudoitus, jotta ohut betonikaista sen yläpuolella varmasti kestää.



KUVA 7 Esimerkki raudoituksesta laatussa upotettavan valaisimen kohdalla. Kotelon katkaisemat teräkset siirretään kotelon sivuille lisäteräksinä.

### Isot reiät

Reiän koon ollessa suurempi kuin  $1/5$  laatan jännevälistä, on kyseessä iso reikä. Tällaisessa tapauksessa aukon reunoille tuleva lisäraudoitus pitää aina mitoittaa erikseen. Kuorituksen kannalta edullisin paikka aukolle on laattakentän keskellä.

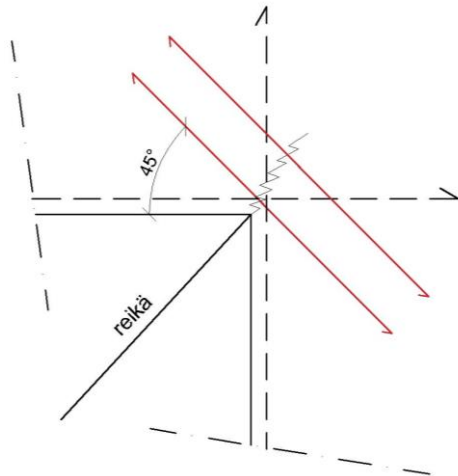
Yhteen suuntaan kantavan portaallisen laatan tapauksessa kannattaa porraskaukon reunoihin tehdä vahvemmin raudoitettut tukikaistat, jotka toimivat laatan sisäisinä palkkeina, ja siirtävät porraskaukosta aiheutuvat lisäkuormat laatan tuille.

Ristiin kantavilla laatoilla voidaan laatta jakaa suorakaiteen muotoisiin osiin reiän kohdalla. Laatan vapaaseen reunaan tulee reunan suuntainen raudoitus ylä- ja alapintaan. Reiän jakamat laattakaistat ajatellaan olevan tuella kolmelta reunalta ja reikää vasten on vapaa reuna. Tämän jälkeen osien kuormat voidaan määrittää kolmelta reunalta tuetun laatan likimääräismenetelmän mukaan (Esitetty kohdassa 4.5.4).

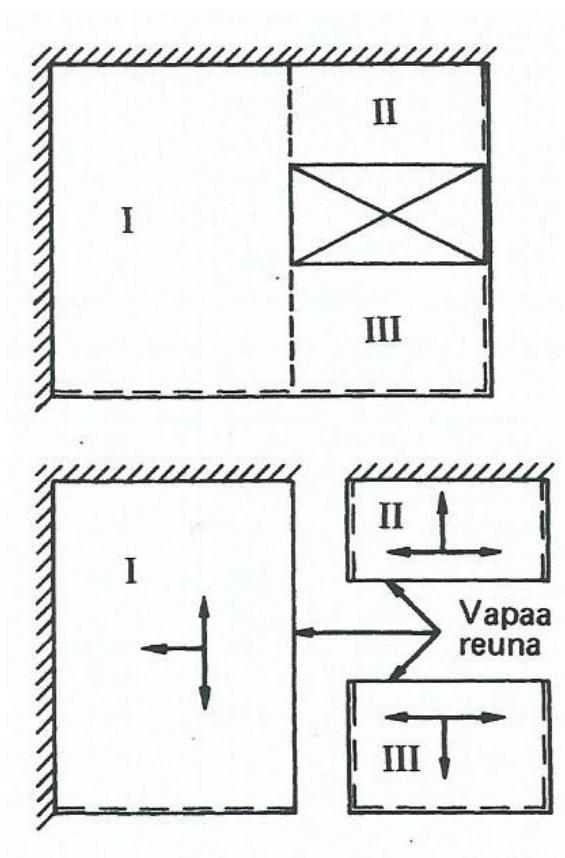


Jos aukko sijaitsee pitkän ristiin kantavan laatan keskialueella, jossa laatta on yhteen suuntaan kantava, voi olla kannattavaa tehdä laattaan palkkikaistat reiän ympärille.

Suorakulmaisen reiän nurkkiin pyrkii aina syntymään halkeama, jonka leveyttä voidaan halutessa rajoittaa sijoittamalla terästangot laatan ylä- ja alapintaan aukon nurkkaan  $45^\circ$  kulmaan (KUVA 8).



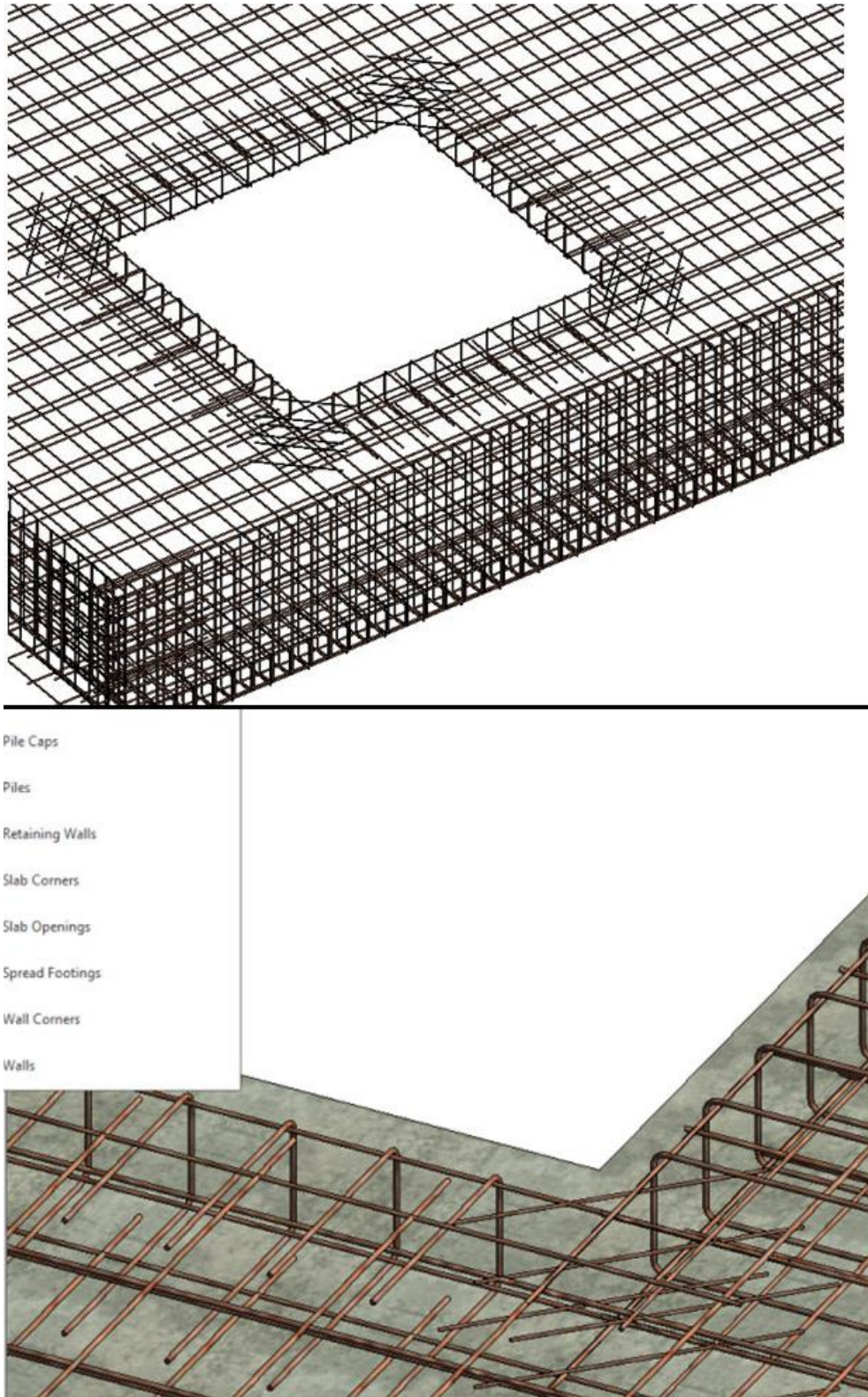
KUVA 8 Nurkan halkeaman estävät vinoteräket



KUVA 9 Osiin jaettu laatta

## Reunahaat

Suurten aukkojen reunoihin tulee tarvittavat reunahaat osan 6 kohdan ”Vapaan reunan raudoitus” mukaan.

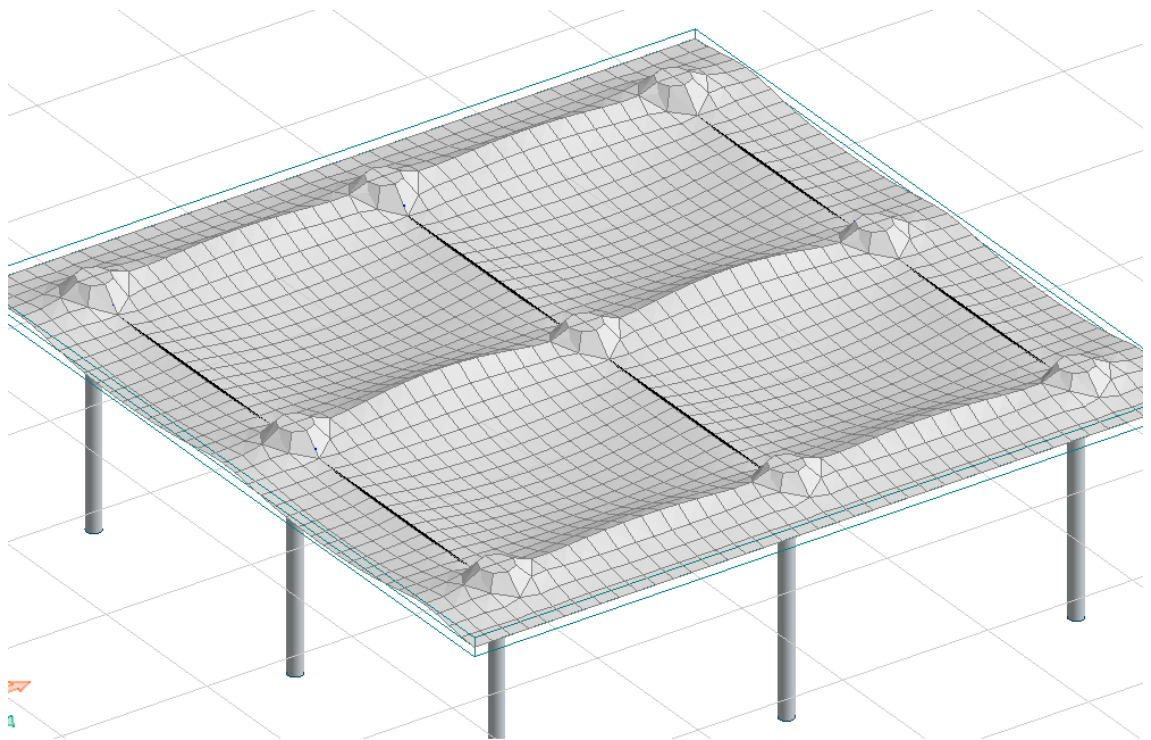


KUVA 10 Havainnekuva aukon reunoja ympäröivästä raudoituksesta [3]

## 2.5 Pilarilaatat

Pilarilaatat ovat ristiin kantavia laattoja, jotka tukeutuvat pistemäisesti pilareihin. Ne voidaan tehdä massiivilaattoina tai kevennettyinä laattoina. Niiden mitoituksessa on tärkeää huomioida laatan lävistyskapasiteetin riittävyys. Rinnakkaisten pilarien välillä kulkee palkkikaistat, joiden avulla saadaan laatalle riittävä taivutuskestävyys.

Nykyrakentamisessa pilarilaattojen käyttö on erittäin harvinaista. Pilarilaattoja on käytetty lähinnä toimitilarakentamisessa, jossa sisätilojen muunneltavuus on tärkeää. Pilarilaattojen käyttö rakentamisessa on kuitenkin jäänyt vähemmälle leukapalkkien yleistyttyä.



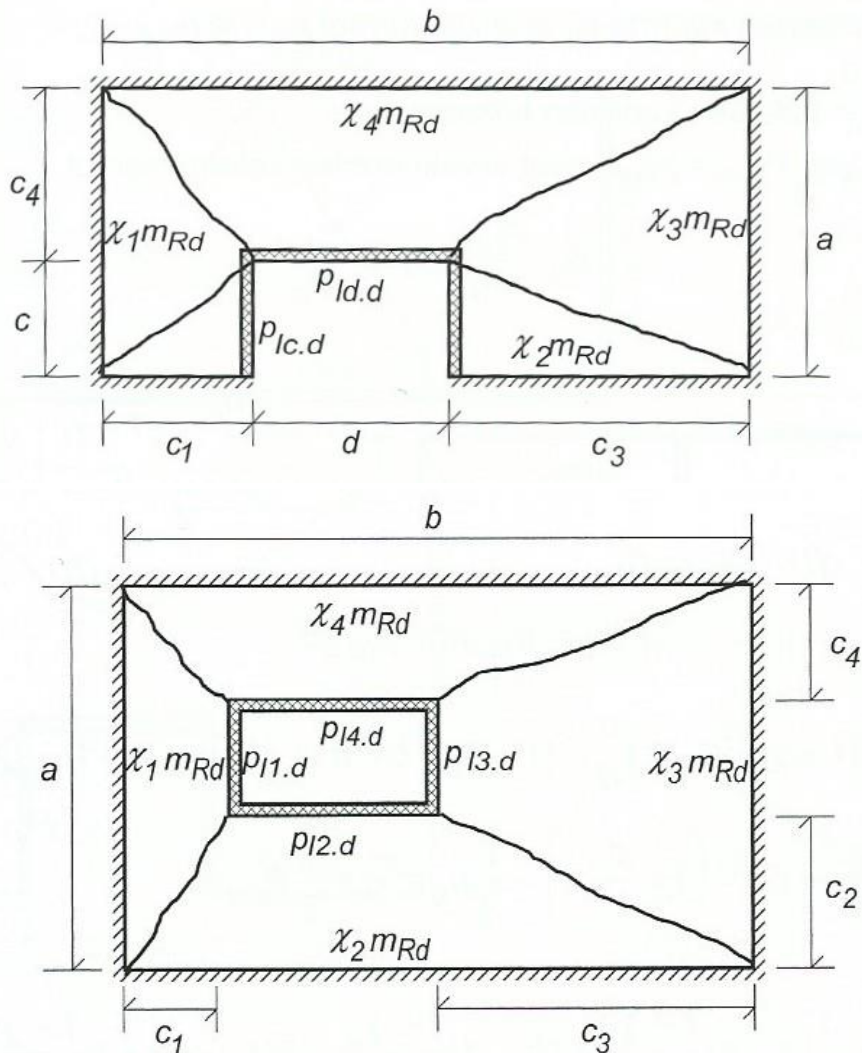
KUVA 11 Taivutusmomentin jakautuminen pilarilaatoilla.

### 3 Palkkikaistoitettun porraskuollisen laatan rakenne ja kuormat

Porrashuoneen holviin tehtävät palkkikaistat ovat hyvä tapa kuljettaa aukon ja portaan aiheuttamat kuormat turvallisesti tuille. Aukon sivujen pituuden ollessa yli 1/5 laatan jännevälisestä, palkkikaistojen kapasiteetti tulee tarkistaa erikseen.

Porraslaatan mitoituksessa tulee huomioida lisäksi portaan aiheuttamat kuormat. Palkkikaistoja mitoittaessa tulee ottaa huomioon mihin kohtaan aukon reunaa porrastukeutuu, ja miten siitä aiheutuvat kuormat aiheuttavat jännityksiä kaistoille.

Murtuessaan porraskuollisen laatan murtuma kulkee yleensä aukon reunasta laatan lähimpään reunaan myötöviivateoriaa mukaillen.



KUVA 12 Esimerkkejä aukollisen laatan murtumatavoista [9]



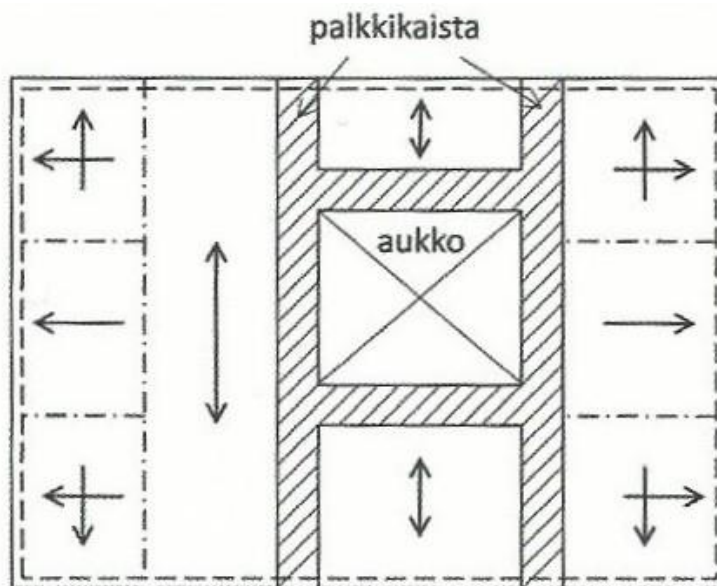
### 3.1 Primääripalkit (laattapalkki)

Primääripalkiksi kutsutaan sitä laatan osaa, joka ottaa porrasaukosta aiheutuvat jännitykset, sekä sekundääripalkin kuormat ja siirtää ne laatan tuille.

Primääripalkin pääraudat tulee aina sijoittaa sekundääripalkin päärautojen alle, muutoin sekundääripalkilta tulevat rasitukset eivät siirry oikein ja rakenne ei välttämättä kestä. Rauditus tulee ulottaa vähintään ankkurointipituuden  $l_{bd}$  verran aukon reunaa pidemmälle (KUVA 14).

Portaan yläpään tukeutuessa laatan vapaaseen reunaan, tehdään vapaaseen reunaan koko reunan pituinen palkkikaista.

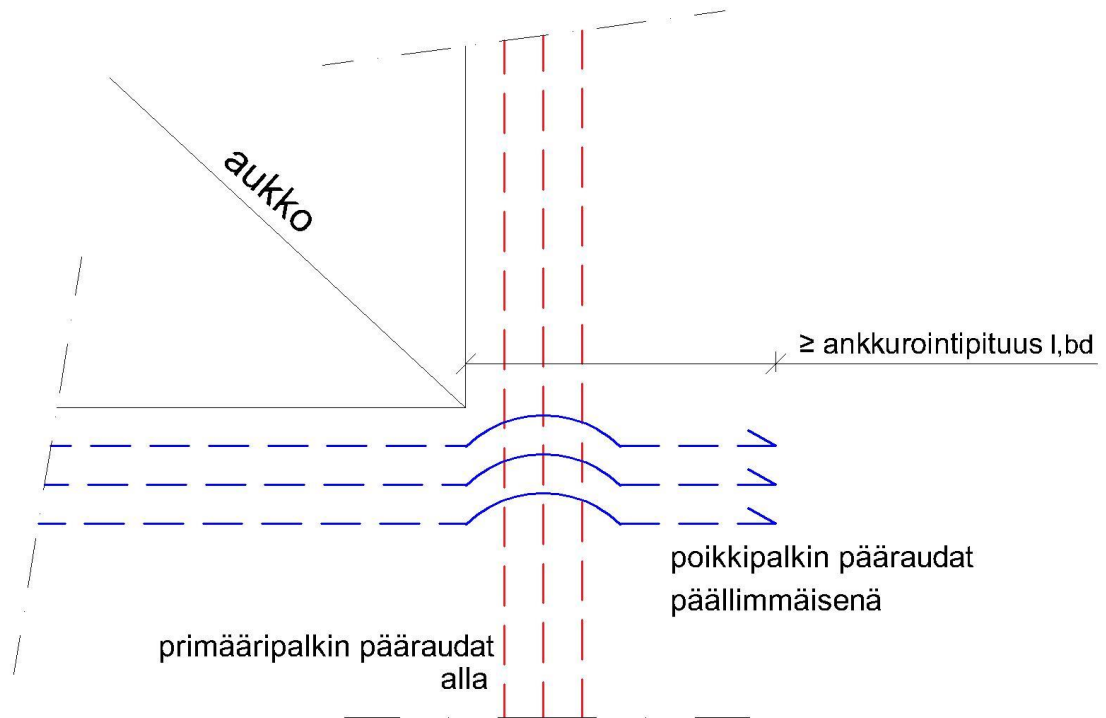
Normaalitapauksessa palkin yläpintaan, reiän viereen, riittää raudoitukseksi  $\emptyset 10$ .



KUVA 13 Pitkän ristiin kantavan laatan palkkikaistat aukon kohdalla [1 s.28]

### 3.2 Sekundääripalkki (poikkipalkki)

Sekundääripalkki toimii laatan ei-kantavassa suunnassa ja sen tehtävänä on siirtää kuormaa primääripalkille. Sekundääripalkki ottaa osan laatan hyötykuormasta ja omasta painosta. Jos portaan liitos sijaitsee sekundääripalkin kohdalla, siitä syntyvät kuormat on otettava huomioon palkin mitoituksessa. Sekundääripalkin pääraudat tulee aina sijoittaa primääripalkin pääterästen päälle.



KUVA 14 Palkkikaistojen pääraudoitusten kulku

### 3.3 Kuormat

#### Omapaino

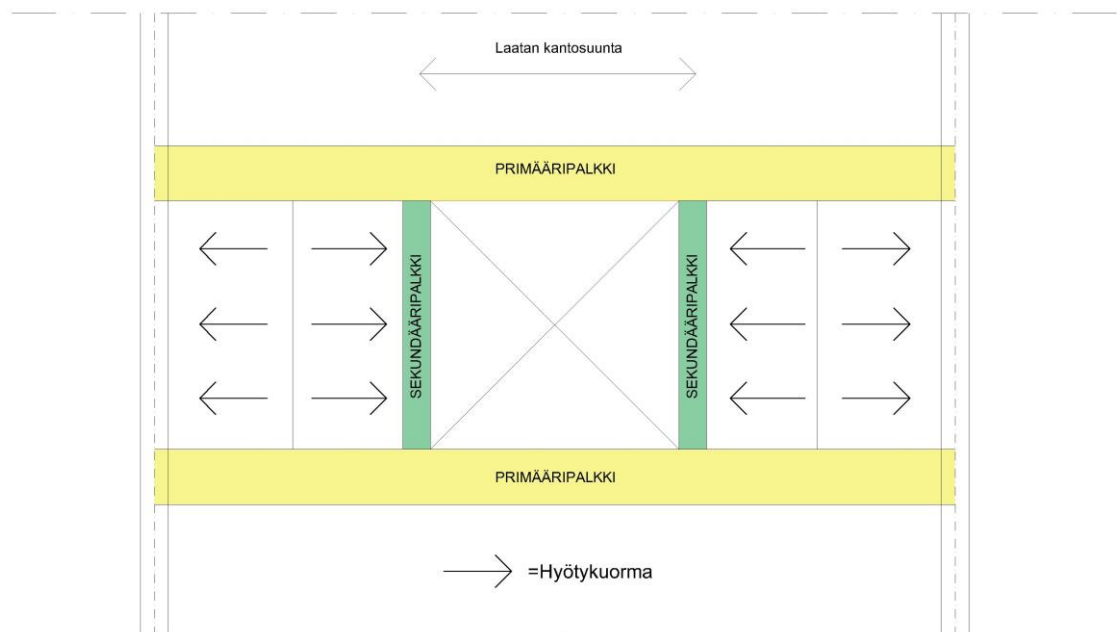
Palkkikaistan oman painon saa laskettua kertomalla sen poikkileikkausala teräsbetonin tilavuuspainolla ( $25 \text{ kN/m}^3$ ). Sekundääripalkille tuleva laatan omapaino tulee myös huomioida laskuissa.

#### Hyötykuorma

Eurokoodi EN1991-1-1 luokittelee vähimmäishyötykuormat luokkiin A-D, riippuen kuormitetun tilan käyttötarkoituksesta. Välipohjalle ja portaalle on määritetty eurokoodissa eri hyötykuormat. Esimerkiksi Luokassa B, eli toimistotilassa, välipohjan hyötykuorma on  $2,5 \text{ kN/m}^2$ , kun taas portaalla se on  $3,0 \text{ kN/m}^2$  (TAULUKKO 2).

Kuormitettujen tilojen luokat	q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]			Q <sub>k</sub> [kN]
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A (asuin ja majoitustilat)	2,0	2,0	2,5	2,0
Luokka B (toimistotila)	2,5	3,0	2,5	2,0
Luokka C (kokoontumistilat)				
- C1 (tilassa pöytiä)	2,5	3,0	2,5	3,0
- C2 (tilassa kiinteät istuimet)	3,0	3,0	3,0	3,0
- C3 (ei liikkumista raj. esteitä)	4,0	3,0	4,0	4,0
- C4 (liikuntatilat)	5,0	3,0	5,0	4,0
- C5 (tungoskuorma yleisötilassa)	6,0	6,0	6,0	4,0
Luokka D (myymälätilat)				
- D1 (vähittäiskaupat)	4,0	3,0	4,0	4,0
- D2 (tavaratalot)	5,0	6,0	5,0	7,0

TAULUKKO 2 Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden vähimmäishyötykuormat

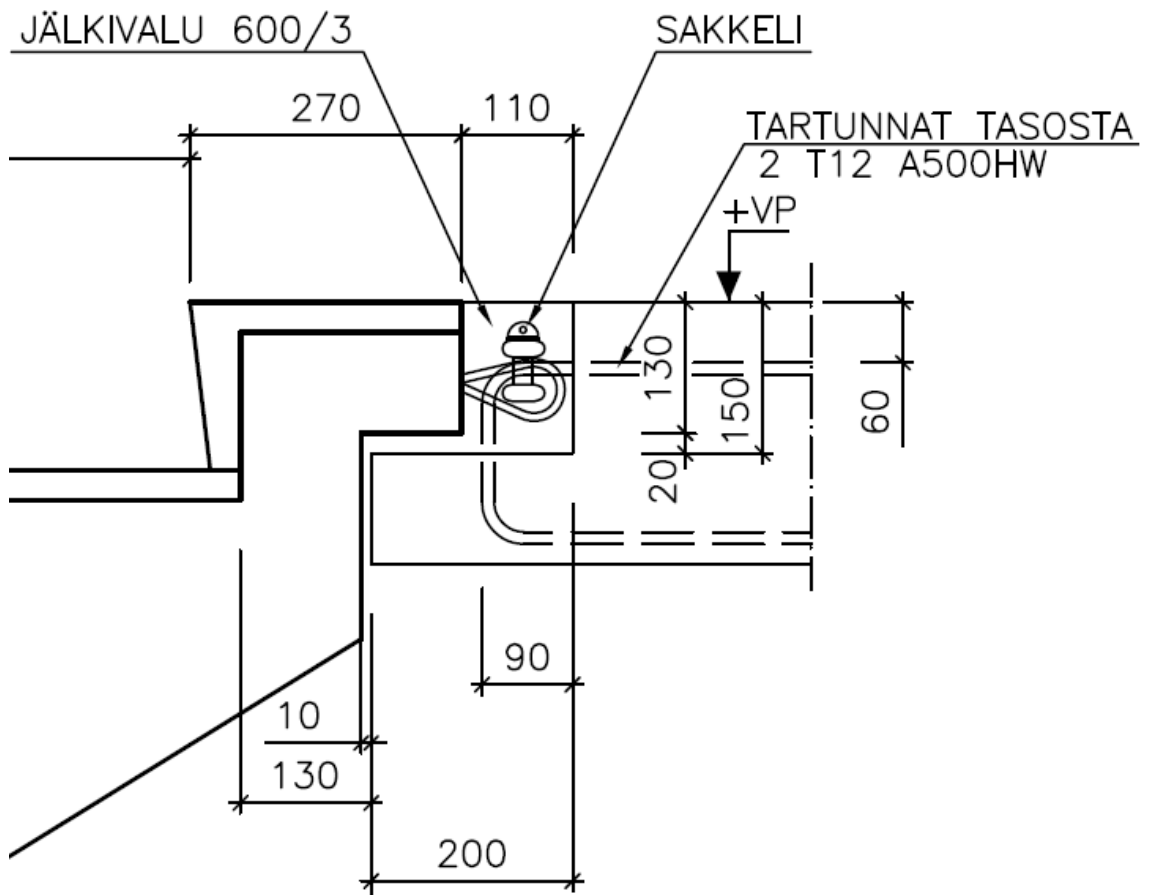


KUVA 15 Esimerkki hyötykuormien jakautumisesta aukon kohdalla yhteen suuntaan kantavassa porraslaatassa

### 3.4 Portaat

Laattaan tulee usein jättää riittävä porravarauksen portaalille. Varauksen koko vaihtelee porrastyyppin ja valmistajan mukaan. Palkkikaistan mitoituksessa tulee ottaa huomioon porravarauksen vaikutus palkkikaistan teholliseen korkeuteen.

Laattaan täytyy yleensä laittaa lisäteräksiä portaan kiinnityksestä ja porraskuormista johtuen. Kiinnityksen vaatimat lisäteräket ja tartunnat löytyvät yleensä porrastoimittajan porraskuvista. KUVISTA 16, 22 ja 23 löytyy esimerkkejä lisäraudoituksista.



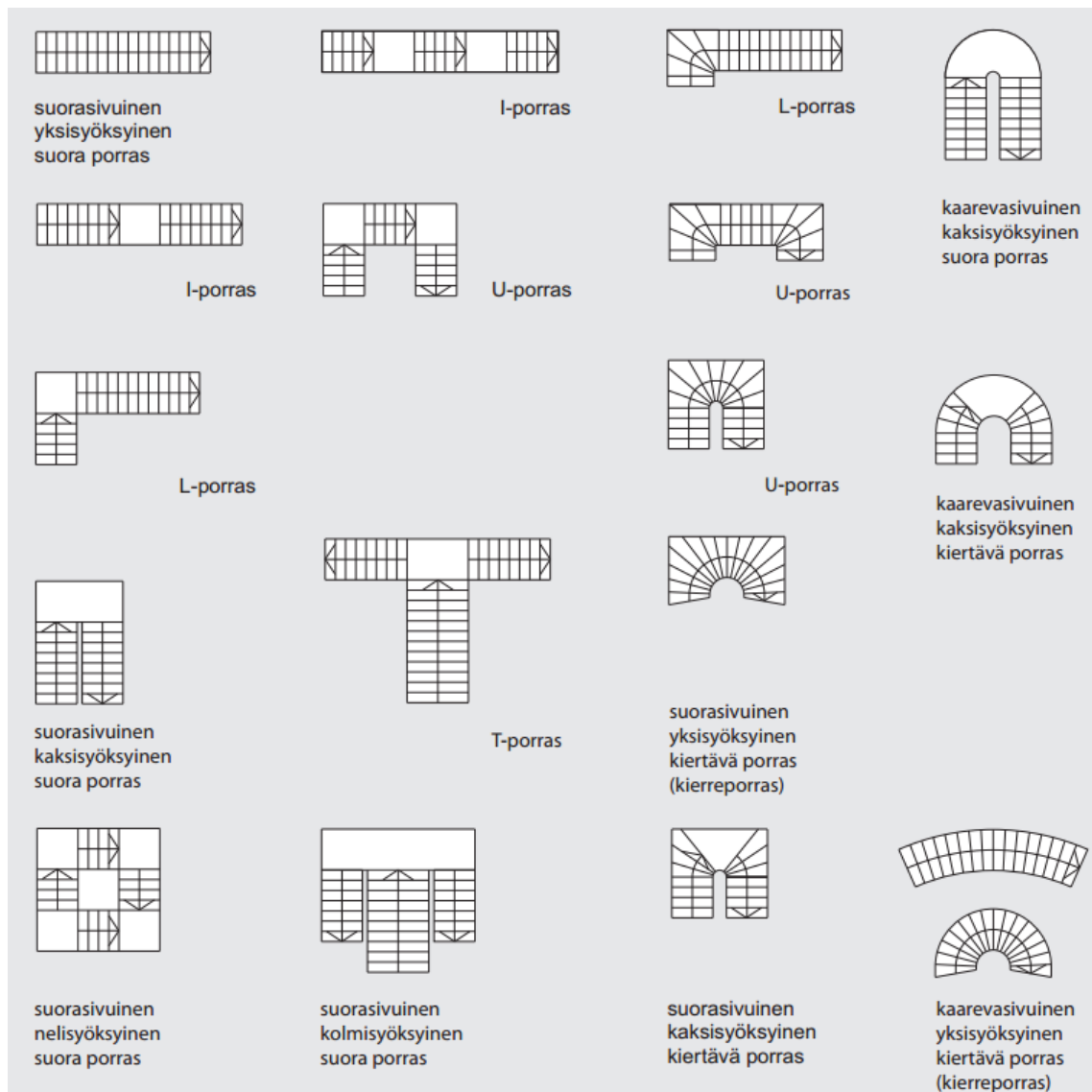
KUVA 16 Rudus Elemento 9 portaan yläpään liitos laattaan, pystyleikkaus. Kuvasta nähdään laatan porravarauksen syvyys on 150 mm ja leveys 200 mm.



## Suorat portaat

Suora porttas voi olla yksi-, kaksi-, kolmi-, tai nelivartinen, jonka kantavana rakenteena toimii joko askelmat, porraskaatta tai palkit. Suoran portaan tuentatapoja:

- yksinkertaisesti tuettu
- molemmista- tai toisesta päästä kiinnitetty palkki
- ulokkeellinen



KUVA 17 Esimerkkejä suorista portaista, kiertävistä portaista ja kierrepортаista

HB-betonin RT-kortin (RT 38628) mukaan yleisimmät suoran portaan leveydet ovat 1200mm ja 1600mm. Portaan ja laatan väliin tulee jättää molemmin puolin ainakin 20mm asennusvara, jolloin aukon leveydeksi tulee vähintään 1240mm tai 1640mm. [5]

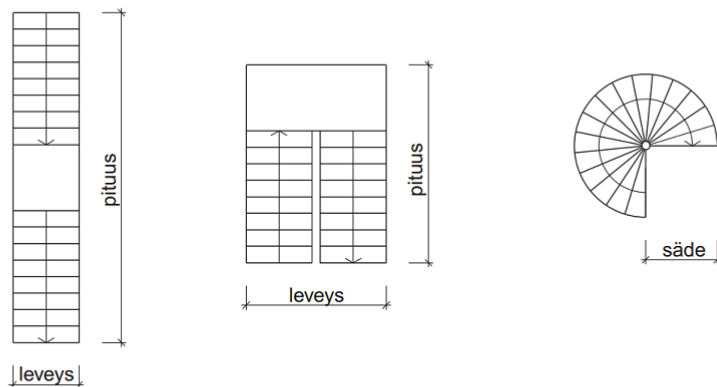
Kaksisyöksyisten portaiden yleisiä leveyksiä ovat 890mm ja 1000mm. Tulevan ja lähtevän portaan väliin jätetään tila kaidetta varten. Alla olevassa esimerkkidetaljissa tilaa portaiden väliin on jätetty 100mm.

Esimerkkidetaljin mukaisen kaksisyöksyisen portaan vaatiman aukon leveys (KUVA 18):

$$b=890\text{mm}: 890\text{mm} * 2 + 100\text{mm} + 40\text{mm} = 1920\text{mm}$$

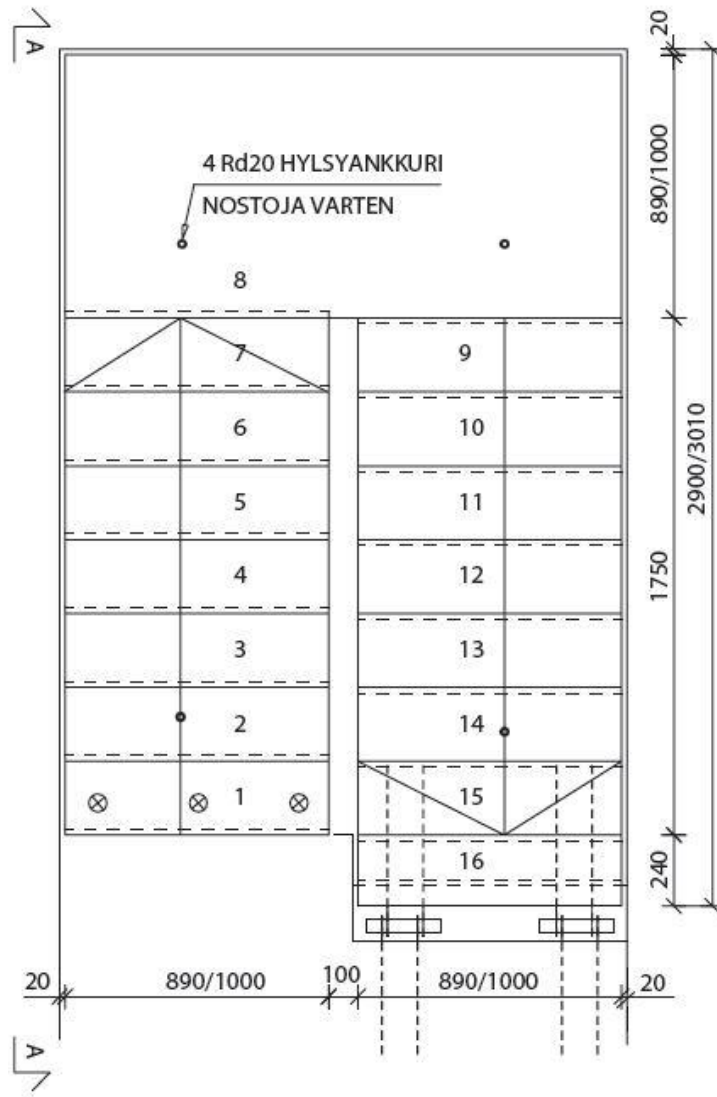
$$b=1000\text{mm}: 1000\text{mm} * 2 + 100\text{mm} + 40\text{mm} = 2140\text{mm}$$

porrastyyppi	suora porras ja lepotaso	kaksisyöksyinen porras	kierreporras
--------------	--------------------------	------------------------	--------------



	pituus mm	leveys mm	pituus mm	leveys mm	säde mm	nousu enintään (lkm)/etenemä vähintään mm
• vähimmäismitoitus/jyrkkä	3600	800	2100	1800	1050	190 (14 kpl)/250
• normaalimitoitus	4600...4800	800...900	2700...2800	1800...2100	1400	180 (16 kpl)/270
• väljä mitoitus/loiva	5800	1200	3600	2600...2700	1700	160 (18 kpl)/300

TAULUKKO 3 Asunnon sisäisen portaan mittaesimerkkejä [10]



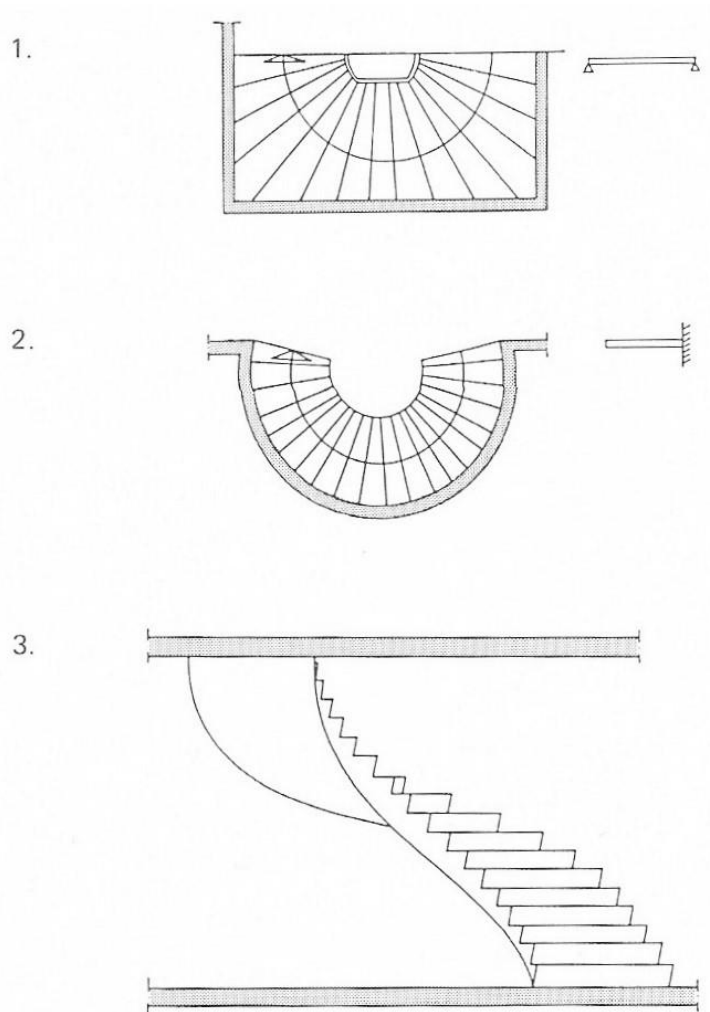
KUVA 18 HB-ASPO, Asuntoportaan detaljit [5]

## Kierreportaat

Kierreportaiden tarkka mitoittaminen käsin on lähes mahdotonta, koska ne ovat staattisesti erittäin monimutkaisia. Mitoittamista varten on olemassa tietokoneohjelmia, mutta taloudellisista ja työteknisistä syistä on järkevää käyttää elementtirakenteisia kierreportaita.

Kierreportaiden tavallisia tuentatapoja ovat: (KUVA 19)

- askelmien toiminta kantavina rakenteina
- porrassyöksyn tuenta vain toisesta reunasta
- tasoihin tukeutuva, vapaasti kantava kierreportas



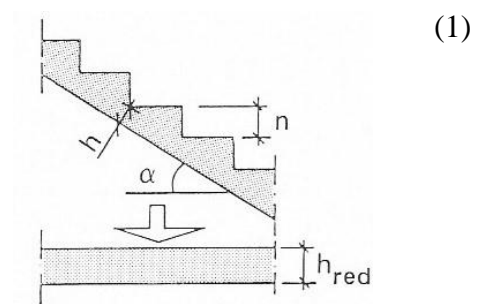
KUVA 19 Kierreportaan tuentatapoja: 1. Askelmat palkkina, 2. askelmat ulokkeena, 3. vapaasti kantava [12 ,s546]

### Portaiden painot

Betonisen porraselementin paino vaihtelee riippuen nousujen määrästä ja kerroskorkeudesta. Normaalityypisessä portaassa paino vaihtelee välillä 1500kg - 6000kg. Porrassyökösyn omapaino voidaan tarvittaessa laskea muuttamalla porraskaltevuus vaakatasoiseksi laataksi kaavalla:

$$h_{red} = \frac{h}{\cos \alpha} + \frac{n}{2}$$

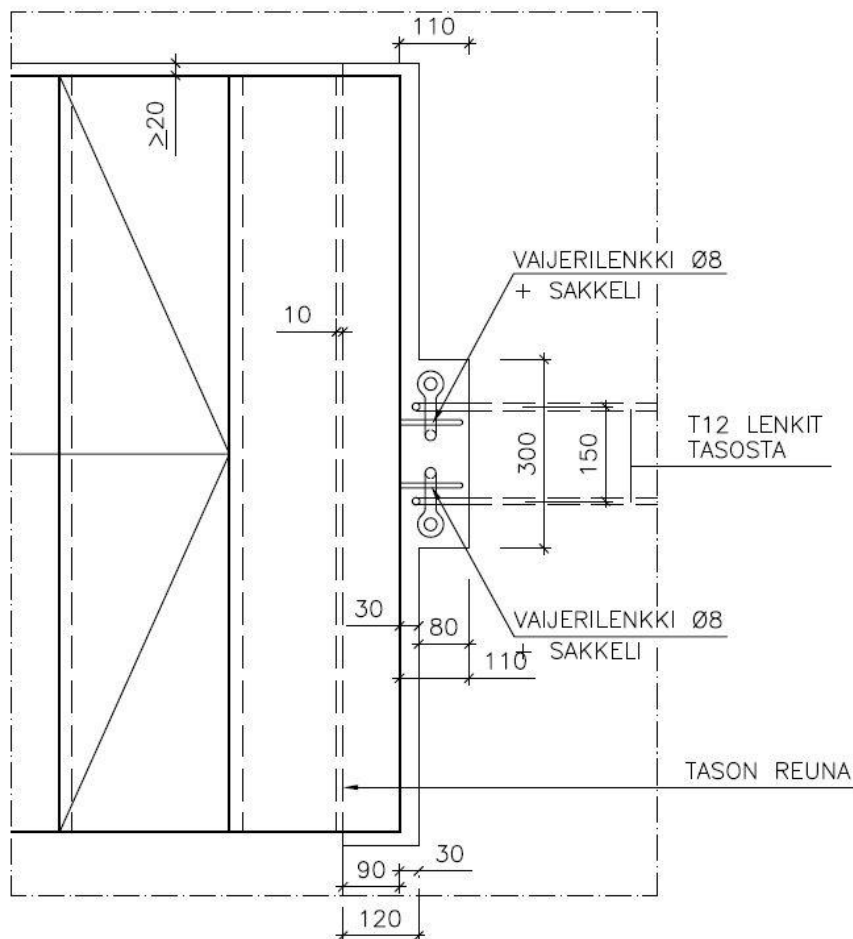
, jossa  $h$  = porraskalteen paksuus  
 $\alpha$  = portaan kaltevuus  
 $n$  = portaan nousu



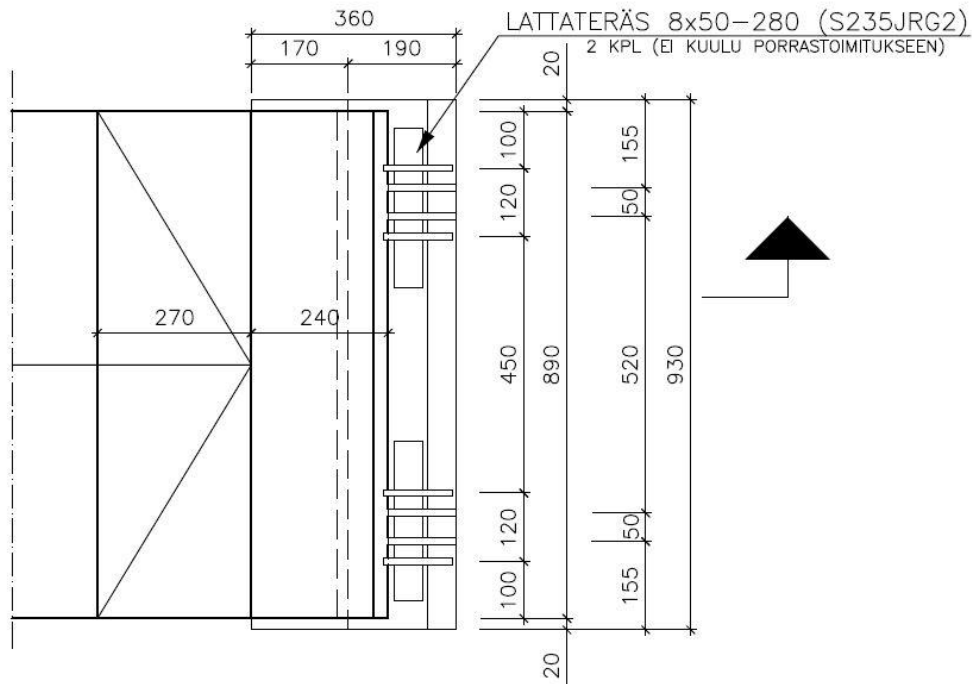
KUVA 20  $h_{red}$  [12 ,s.547]

Portaan kannatustavalla on vaikutusta siihen, miten portaalta tulevat kuormat rasittavat porraskaattaa. Portaalta tuleva kuorma voidaan ajatella kiinnitystavasta riippuen olevan, joko viiva- tai pistemäistä. Kuormitukseksi kannattaa kuitenkin valita yleensä pistemäinen rasitus, koska se antaa pahimman mahdollisen maksimitaivutusrasituksen, jolloin päästään laskuissa varmalle puolelle.

Yleinen kannatustapa on tukea porrasta ylä- ja alapäästään laattaan, jolloin portaalta tuleva kuorma jakautuu puoliksi ylemmälle ja alemmalle laatalle. Kun portaalla aiheuttamaa kuormitusta laatalle halutaan pienentää, voidaan valita pilarillinen porraskäytävä. Tällöin vertikaalikuormat siirtyvät pilarin kautta ja laatan rasitus pienenee. Porraskäytävässä voi olla myös välitukia, jotka tukevat portaalla seinään ja siirtävät osan portaalla kuormasta seinälle.



KUVA 21 Portaan tartunnat keskellä porrasta. Portaan kuorma tulee laatalle pistekuormana keskeisesti (Rudus Oy – Elemento 9 portaalla yläpään liitos)

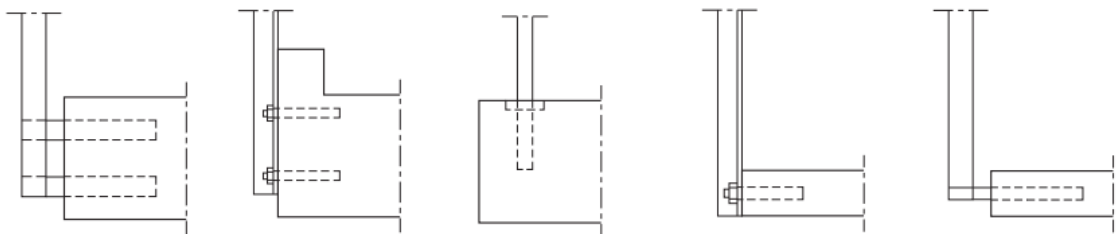


KUVA 22 Portaan tartunnat molemmin puolin porrasta. Portaon kuorma tulee laatalle kahtena pistekuormana (Rudus Oy)

### 3.5 Kaiteiden kiinnitys

Kaide voidaan kiinnittää askelman, reunapalkin tai tasanteen reunaan tai päälle välittömästi tai siten, että kaiteen ja alustan väliin jää rako. Esimerkkejä teräsrunkoisista porraskaiteista ja niiden kiinnittämisestä tasanteisiin ja syöksyihin esitetään KUVA 23.

Kaiteiden jäykistämiseksi voidaan kaide kiinnittää tasanteeseen, seuraavan porrassyöksen reunaan tai seinään esimerkiksi pyörö-, neliö-, latta- tai U-tankoteräksillä. [11]



KUVA 23 Esimerkkejä porraskaiteiden kiinnityksistä [10 ,s7]

## 4 Taivutusmitoitus

### 4.1 Laatan paksuuden arviointi

#### Yhteen suuntaan kantava laatta

Arvioitu tehollinen korkeus  $d$ :

$d \approx L/30$  jatkuvalla laatalle,

$d \approx L/25$  vapaasti tuetulle laatalle ja

$d \approx L/10$  ulokelaatalle.

Kun teholliseen korkeuteen  $d$ , lisätään suojabetonin paksuus  $c_{nom}$  ja puolet päätangon arvioidusta halkaisijasta, saadaan tätä kautta laatalle määriteltyä alustavasti korkeus  $h$ .

#### Ristiin kantava laatta

Ristiin kantavan laatan teholliselle korkeuden arvioinnissa voidaan käyttää ohjearvoa [6]

(2)

$$d \geq 3 \sqrt{\frac{m_d}{f_{cd}}}$$

### 4.2 Vähimmäisraudoitus

Laatan laskennallinen pääraudoitus voi jäädä liian pieneksi tapauksessa jossa laatan kuormitus ja jänneväli ovat pienet verrattuna laatan paksuuteen. Tästä voi seurata, että laatta murtuu lähestulkoon saman tien, kun siihen syntyy halkeama. Ristiin kantavilla laatoilla vähimmäisraudoitusehto koskee molempien suuntien raudoituksia. Laattojen eurokoodien (EC2) mukainen vähimmäisraudoitusehto:

(3)

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t d \\ 0,0013 \cdot b_t d \end{cases}$$

,jossa  $b_t$  = laatan laskentaan käytettävä leveys (yleensä 1m)

$d$  = tehollinen korkeus

### 4.3 Raudoituksen maksimivälit tangoille

Laattojen raudoitustankojen välille on eurokoodissa (EC2) määrätty maksimiarvot  $s_{max,slabs}$  pää- ja jakoraudoitukselle. Tankoväliksi valitaan pienempi kahdesta arvosta.

#### Pääraudoitus

- Max. momentin tai pistekuorman kohdalla:  $s_{max,slabs} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2h \\ 250mm \end{array} \right.$
- Muilla alueilla:  $s_{max,slabs} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3h \\ 400mm \end{array} \right.$

#### Jakoraudoitus

- Max. momentin tai pistekuorman kohdalla:  $s_{max,slabs} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3h \\ 400mm \end{array} \right.$
- Muilla alueilla:  $s_{max,slabs} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4h \\ 450mm \end{array} \right.$

### 4.4 Ehto jäykkyydelle

Laattaa tukevan palkin tulee olla tarpeeksi jäykkä jotta laatan voimasuureet pystytään määrittämään taulukkomenetelmien avulla. Tuki voidaan olettaa painumattomaksi, kun tukena on seinä tai riittävän jäykkyyden omaava palkki. Palkin jäykkyys on riittävä, kun seuraava ehto toteutuu:

#### Yhteen suuntaan kantavalle laatalle

(4)

$$\frac{h_b}{L_b} \geq \frac{5 h_s}{3 L_s}$$

- , missä
- $h_b$  = palkin korkeus
  - $L_b$  = ko. palkin jännemitta
  - $h_s$  = laatan paksuus
  - $L_s$  = laatan jännemitta



### Ristiin kantavalle laatalle

(5)

$$\frac{h_b}{L_b} \geq 2,5 \frac{h_s}{L_s}$$

, missä  $L_s$  = laatan jännemitta palkin suunnassa, kuitenkin enintään  $1,5 \cdot L_{s,min}$   
 $L_{s,min}$  = laatan lyhempi jännemitta

Jos edellinen ehto ei toteudu, täytyy tuen painuminen ottaa voimasuureiden määrittämisessä huomioon. Painumattomien tukien mukaan laskettuun taipumaan täytyy tällöin lisätä tuen painuma.

### 4.5 Yhteen suuntaan kantava laatta

Tasaisesti rasitetun yhteen suuntaan kantavan laatan ja suorakaiteen muotoisen palkin taivutusmomentin laskennassa voidaan käyttää samaa laskumenetelmää. Laskennan helpottamiseksi kannattaa laskettavan poikkileikkauksen leveydeksi valita 1 metri. Kuormista aiheutuvan taivutusmomentin mitoitusarvon pitää olla pienempi kuin poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Mitoittava taivutusmomentti piste- tai viivakuorman kohdalla käsitellään myöhemmin kohdassa 7.3.

### Taivutusmitoituksen kulku EN1992-2: Eurokoodi 2:n mukaan

Voidaan laskea kun tunnetaan seuraavat arvot:

- mitoitusmomentti  $M_{Ed}$
- betonin lujuuden mitoitusarvo  $f_{cd}$
- poikkileikkausmitat leveys  $b$  (1m) ja tehollinen korkeus  $d (\approx 0,9h)$

Aloitetaan ratkaisemalla suhteellinen momentti  $\mu$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (6)$$

Verrataan suhteellista momenttia tasapainoraidoituksen mukaiseen suhteelliseen momenttiin  $\mu_d$ . Jos  $\mu < \mu_d$ , poikkileikkaus voidaan mitoittaa normaaliraidoitettuna ja tehollisen puristuspuunnan korkeus  $\beta$  voidaan ratkaista yhtälöstä:

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (7)$$

Kun  $\beta$  on ratkaistu, päästään käsiksi sisäiseen momenttivarteen kaavalla:

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (8)$$

Ratkaistaan pääraidoituksen pinta-ala  $A_s$ :

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \quad (9)$$

Lopuksi täytyy vielä tarkastaa ylittääkö laskettu pääraidoituksen pinta-ala raidoituksen vähimmäisvaatimuksen  $A_{s,min}$ . (kts. kohta 4.1)

Paikallavalukohteissa pääraidoituksen tankojen halkaisijan tulisi olla vähintään  $\emptyset = 8mm$ .

#### 4.6 Ristiin kantava laatta

Pääraudoituksen mitoitus tehdään pitkälti samalla tavalla kuin yhteen suuntaan kantavilla laatoilla. Ristiin kantavassa laatasta täytyy huomioida, että tehollinen korkeus  $d$  on pienempi heikommassa suunnassa ja suurempi vahvemmassa suunnassa.

Ristiin kantavan laatan taivutusmomentti jakautuu laatan sivusuhteiden ja sivujen kiinnitystavan perusteella. Likimääräinen taivutusmomentti voidaan laskea yksinkertaistetulla kaavalla, kun ristiin kantava laatta ajatella koostuvan palkeista. Tätä laskutapaa voidaan käyttää seuraavien ehtojen toteutuessa:

- laatta on kaikilta neljältä reunalta tuettu
- palkit ovat yhdensuuntaiset
- palkit sijaitsevat ristikkäin
- oletetaan palkkien liittyvän nivelisesti toisiinsa risteyskohdassa
- risteyskohdassa  $x$ - ja  $y$ -suuntaisten palkkien taipumat ovat yhtä suuret
- $x$ - ja  $y$ -suuntaisilla palkeilla sama taivutusjäykkyys (EI)

Tutkittaessa kuorman jakautumista metrin levyiselle kaistalle, saadaan seuraavat yhtälöt:

(10)

$$q = q_x + q_y$$

$$\kappa_x q_x L_x^4 = \kappa_y q_y L_y^4$$

, missä  $q_x, q_y$  = kuorma  $x$ - ja  $y$ -suunnassa

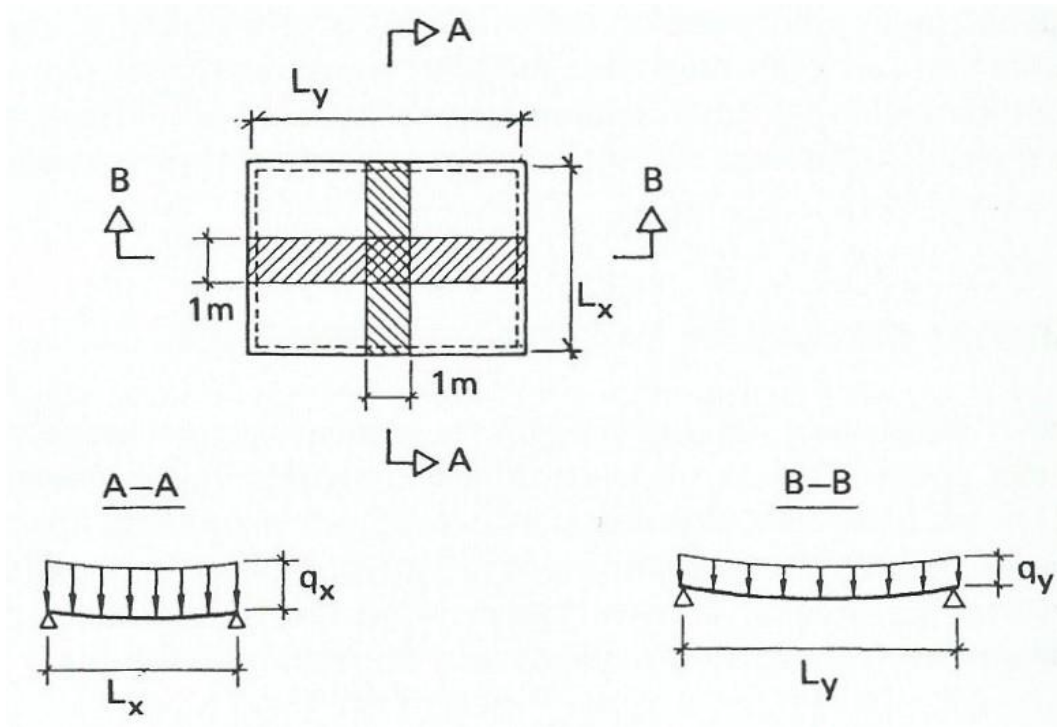
$\kappa_x, \kappa_y$  = tukemistavasta johtuva kerroin

$L_x, L_y$  = laatan jännemitat  $x$ - ja  $y$ -suunnassa

(11)

Kuormien suhteeksi saadaan:

$$\frac{q_x}{q_y} = \frac{\kappa_y L_y^4}{\kappa_x L_x^4}$$



KUVA 24 Ristiin kantavan laatan mallinnus ristikkäisten kaistojen avulla [6 ,s300]

Maksimimomentit x- ja y-suuntaan saadaan seuraavista kaavoista:

(12)

$$m_x = \alpha_x \cdot q_x L_x^2$$

$$m_y = \alpha_y \cdot q_y L_y^2$$

, missä  $\alpha_x, \alpha_y =$  tukemistavasta aiheutuva kerroin

Aiemmin tehtiin oletus, että risteävät palkit liittyvät toisiinsa nivelisesti. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole, vaan ne liittyvät toisiinsa vääntöjäykästi. Todellisuudessa samansuuntaiset palkkikaistat ovat kiinni toisissaan ja niiden liitos välittää leikkausvoimia. Tästä johtuen laattaan syntyy vääntörasituksia, joita laatan sisäinen jäykkyys tasoittaa ja pienentää.

Tästä syystä edellisellä kaavalla laskettuna saadut momentin arvot ovat vahvasti yläkanttiin, josta johtuen kaavan käyttö lopullisessa mitoituksessa ei ole järkevää taloudelliselta kannalta ajateltuna, mutta sen avulla saa jonkinlaisen käsityksen ristiin kantavan laatan toiminnasta. Kohdissa 4.5.1–4.5.3 on kerrottu käyttökelpoisista taulukkomenetelmistä jotka antavat laatalle tarkemmin voimasuureet.

## Piste- ja viivakuormat

Laatan päälle tulevat kevyet väliseinät ja pilarit aiheuttavat laatalle keskittyneitä kuormia. Jotta momentit saadaan laskettua taulukkomenetelmillä, täytyy piste- ja viivakuormat muuntaa tasaisiksi ekvivalenttikuormiksi. Tällöin keskittyneitä kuormia saa olla laattakentässä enintään 20 % tasaisen kuorman kokonaismäärästä. Tukireaktiot lasketaan kuitenkin aina todellisen jakautuman mukaisesti.

(13)

- Pistekuorman muuntaminen:

$$p_{d,ekv} = 50 \frac{F_d a (L_x - a)}{L_y L_x^2 (L_y - 3L_x)} \quad [kN/m^2]$$

(14)

- Viivakuorman muuntaminen:

$$p_{d,ekv,l} = \frac{6(2 \sum P_{\ell d1} + \sum P_{\ell d2})}{L_y (L_y + 3L_x)} \quad [kN/m^2]$$

, missä  $F_d$  = pistekuorma (kN)

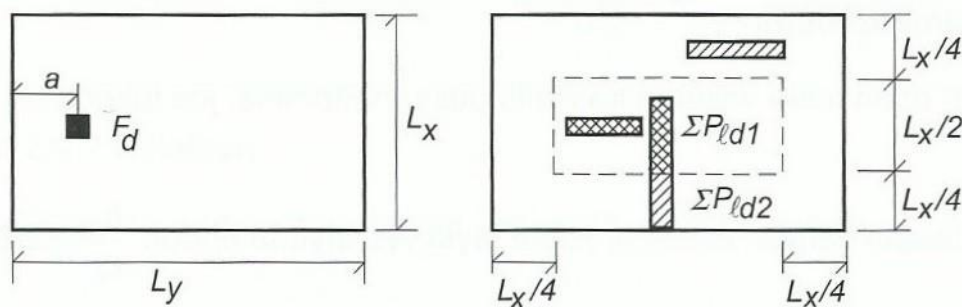
$a$  = pistekuorman etäisyys lähimmästä tuesta (m)

$L_x$  = laatan lyhempi sivumitta (m)

$L_y$  = laatan pidempi sivumitta (m)

$\sum P_{\ell d1}$  = laatan keskiosan viivakuormien summa (kN), KUVA 25

$\sum P_{\ell d2}$  = laatan reunaosilla olevien viivakuormien summa (kN), KUVA 25



KUVA 25 Piste- ja viivakuormat laattakentässä, reunaosan leveys =  $L_x/4$ .

#### 4.6.1 MBP eli Massiva Betongplattor-menetelmä

Tasaisesti kuormitettujen ristiin kantavien laattojen voimasuureiden laskemiseen voidaan käyttää ruotsalaisten kehittälemää massiivilaattamenetelmää. Menetelmässä hyödynnetään valmiiksi laskettuja taulukoita. Taulukoilla voidaan laatan voimasuureet, kun laatta täyttää seuraavat ehdot:

- tasaisesti kuormitettu
- kaikilta sivuilta tuettu joko vapaasti tai täysin kiinnitettynä
- suorakaiteen muotoinen

#### Perustapaus

Perustapauksella laskettu momentti vastaa suurin piirtein lineaarisen kimmoteorian mukaisia keskimääräisiä momentteja. Laattakentän suurimmat momentit saadaan kaavalla:

(15)

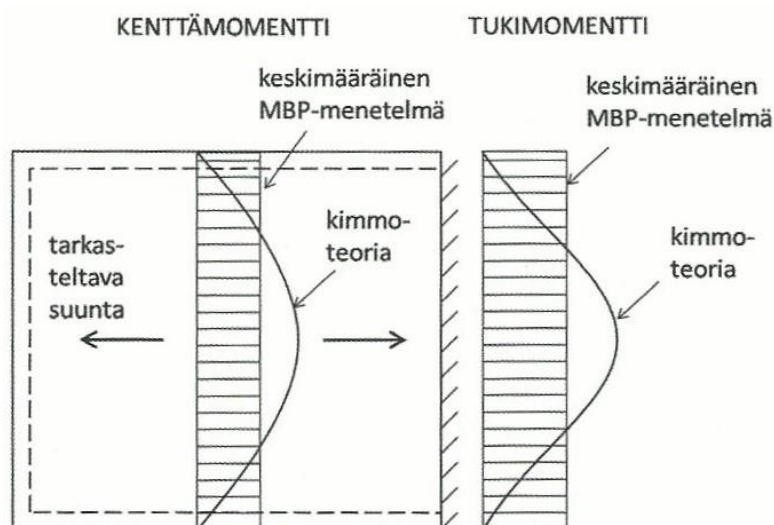
$$m = \alpha p_d L_x^2$$

, missä  $p_d = g_d + q_d =$  laattakentän tasainen mitoituskorma

$L_x^2 =$  kentän lyhempi jännemitta

$\alpha =$  taulukosta saatava momenttikerroin (liite 1)

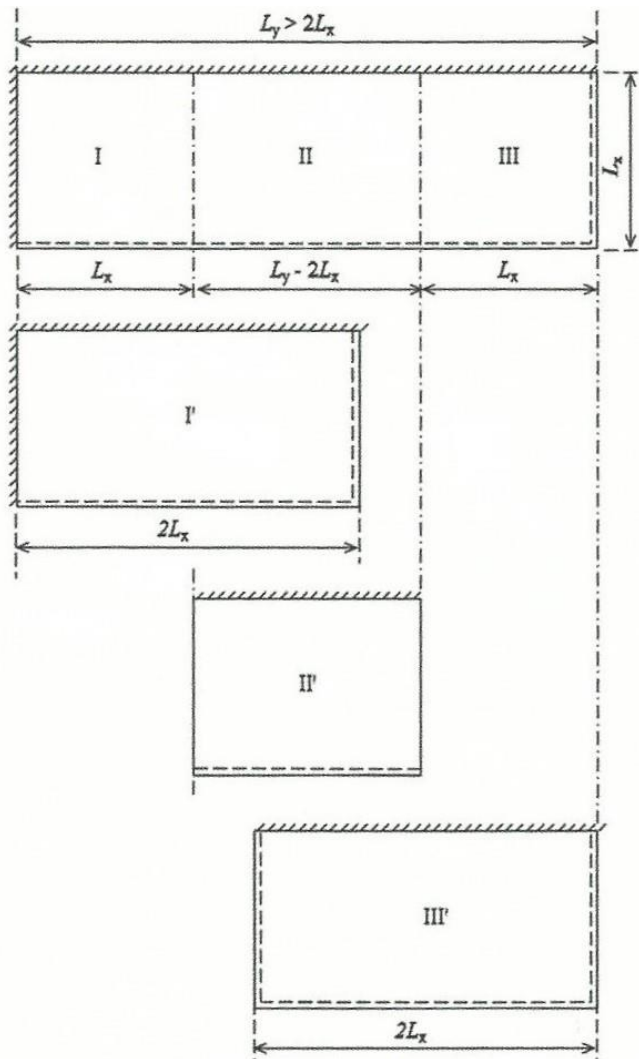
Momenttikerroimen  $\alpha$  arvo riippuu tuentatapauksesta ja  $L_y/L_x$  sivusuhteesta.  $L_x$  on aina laatan lyhempi sivumitta. Taulukoista löytyvät arvot tapauksille joiden sivusuhte on välillä 1,0 - 2,0.



KUVA 26 Momenttijakautuma MBP-menetelmän ja kimmoteorian mukaan [1 ,s17]

### Pitkät laatat

Laattakentän sivusuhteiden ollessa  $L_y/L_x > 2$  laatta täytyy jakaa kolmeen osaan KUVA 27 osoittamalla tavalla. Päätyjen täydennetyille alueille I' ja III' saadaan taivutusmomentit kenttään kummassakin suunnassa. Keskialue II raudoitetaan yhteen suuntaan kantavana laattana.



KUVA 27 Laatan jako osiin [1 ,s18]

### Jatkuvat laatat

MBP – menetelmän taulukoilla on mahdollista laskea myös jatkuvia kenttiä. Laskennassa tuet oletetaan täysin jäykiksi. Niille saadaan yleensä kaksi erisuuruista momenttia, jotka aiheuttavat laatan kiertymistä suuremman momentin suuntaan. Tästä seuraa suuremman momentin pieneminen ja pienemmän kasvaminen, eli tukimomenttien tasoittuminen.

Tukimomenttien muutoksesta johtuen kentän ja muiden tukien momentit muuttuvat. MBP – menetelmään kuuluu kolme eri tapaa laskea tästä johtuvat vaikutukset. Menetelmät ja niissä käytettävät taulukot on kokonaisuudessaan esitetty esimerkiksi lähteessä ”By202 osa 2” tai vanhoista rakentajain kalentereista.

### **Menetelmä A**

A menetelmä antaa kaikkein likimääräisimmät arvot. Tässä menetelmässä tuen mitoituksessa käytetään suurinta tukimomenttia ja kentät mitoitetaan perustapausten momenttien perusteella.

Menetelmää A saadaan käyttää ainoastaan sisärakenteissa, muuttuvan kuorman ollessa  $q_k \leq 2,5g_k$ . Lisäksi tukimomenttien erojen tulee olla pienet.

### **Menetelmä B**

B menetelmän tarkkuus on A ja C menetelmän väliltä. Menetelmässä käytetään yksinkertaistettua momenttien tasausta, jolla saadaan kullekin tukimomentille yksi arvo. Lisäksi kenttämomenteihin tehdään tukimomenttien tasausta vastaavat korjaukset. Menetelmän mukaan tukimomentti tasoitetaan laattojen jäykkyyksien suhteen.

Menetelmää B voidaan käyttää sisärakenteiden laskemiseen, kun  $q_k \leq 2,5g_k$  ja ulkorakenteiden laskemiseen, kun  $q_k \leq 0,8g_k$ .

### **Menetelmä C**

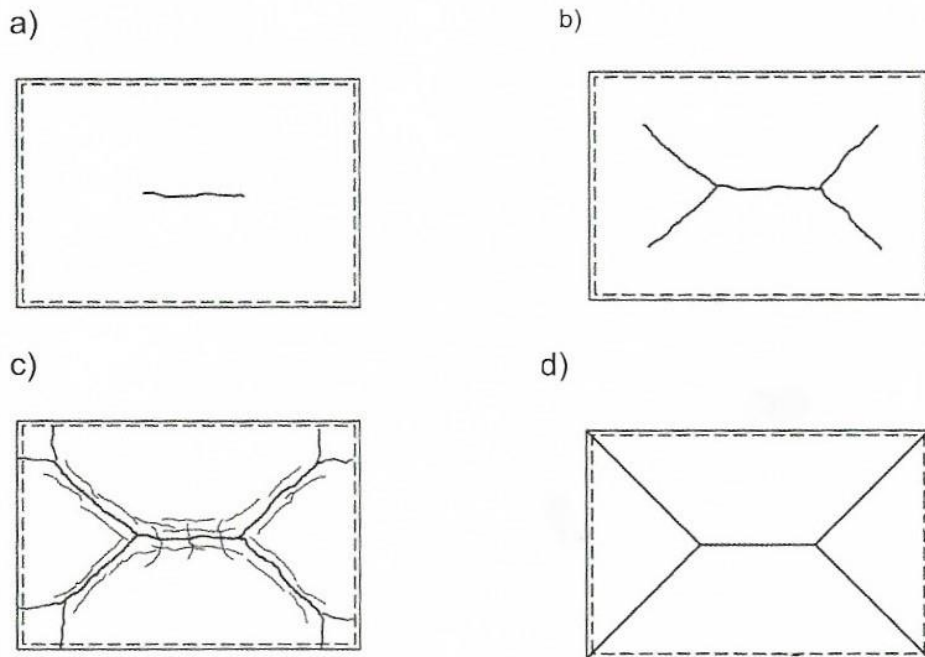
Menetelmä C on kaikkein tarkin ja sillä voidaan tehdä laskelmia vaativampiin kohteisiin. Sen käyttö ei kuitenkaan ole nykypäivänä enää erityisen perusteltua. Menetelmän vaatima työmäärä on selvästi suurin, eikä tarkkuus ole kuitenkaan välttämättä tarpeeksi hyvä aivan kaikkein vaativimpien rakenteiden ratkaisemiseen, vaan ne kannattaa mitoittaa tarkoituksenmukaisella laskentaohjelmalla.



#### 4.6.2 Myötöviivateoria

Kuormitettaessa laattaa kasvavalla voimalla murtoon asti sen toiminnassa voidaan havaita seuraavat vaiheet:

- laatta on pienillä kuormilla ( $m_k < m_r$ ) halkeamaton
- kuormitusmomentin  $m_k$  ylittäessä halkeamakapasiteetin  $m_r$ , alkaa syntymään halkeamia suurimman taivutusmomentin alueelle
- taivutusjäykkyys pienenee alueilla johon syntyy halkeamia ja muodonmuutos kasvaa
- muu osa laatasta on halkeamattomassa tilassa joten sen jäykkyys on suurempi ja muodonmuutokset pieniä
- halkeamien muodostuminen jatkuu ja taivutusmomentti eniten rasitetuissa kohdissa kasvaa niin suureksi, että rauditus menee myötöön ( $m_k = m_y$ )
- halkeilualueille syntyy myötövyöhykkeet, eli ns. myötöviivat
- myötöviivat jakavat laatan osiin siten, että laatasta muodostuu mekanismi
- myötökuvion ollessa täysin kehittynyt laatta ei ota enää kuormaa



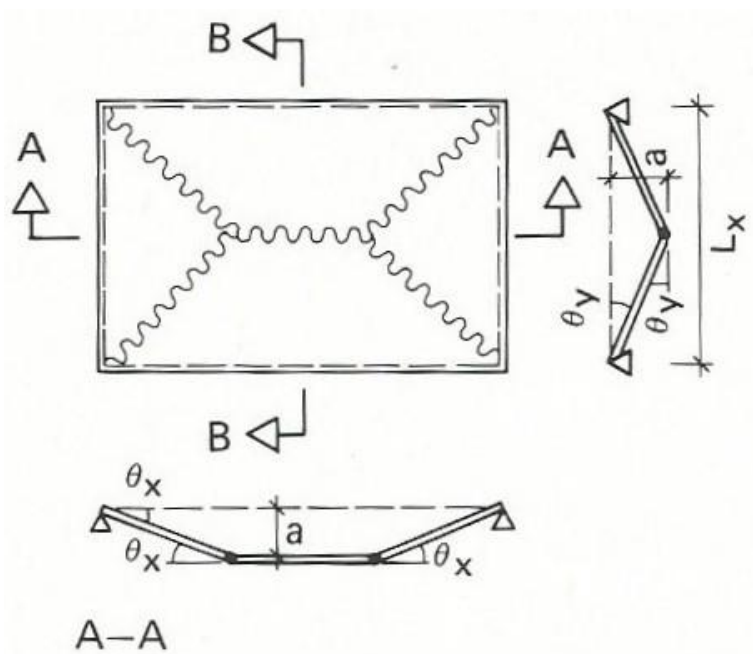
KUVA 28 a..c) Myötökuvion kehittyminen, d) lopullinen myötökuvio [1 ,s32]

Laatassa tapahtuu myös kimmoisia muodonmuutoksia mutta ne ovat verrattain pieniä plastisiin muodonmuutoksiin verrattuna joten niitä ei tarvitse ottaa huomioon laatan kantokykyä laskettaessa.

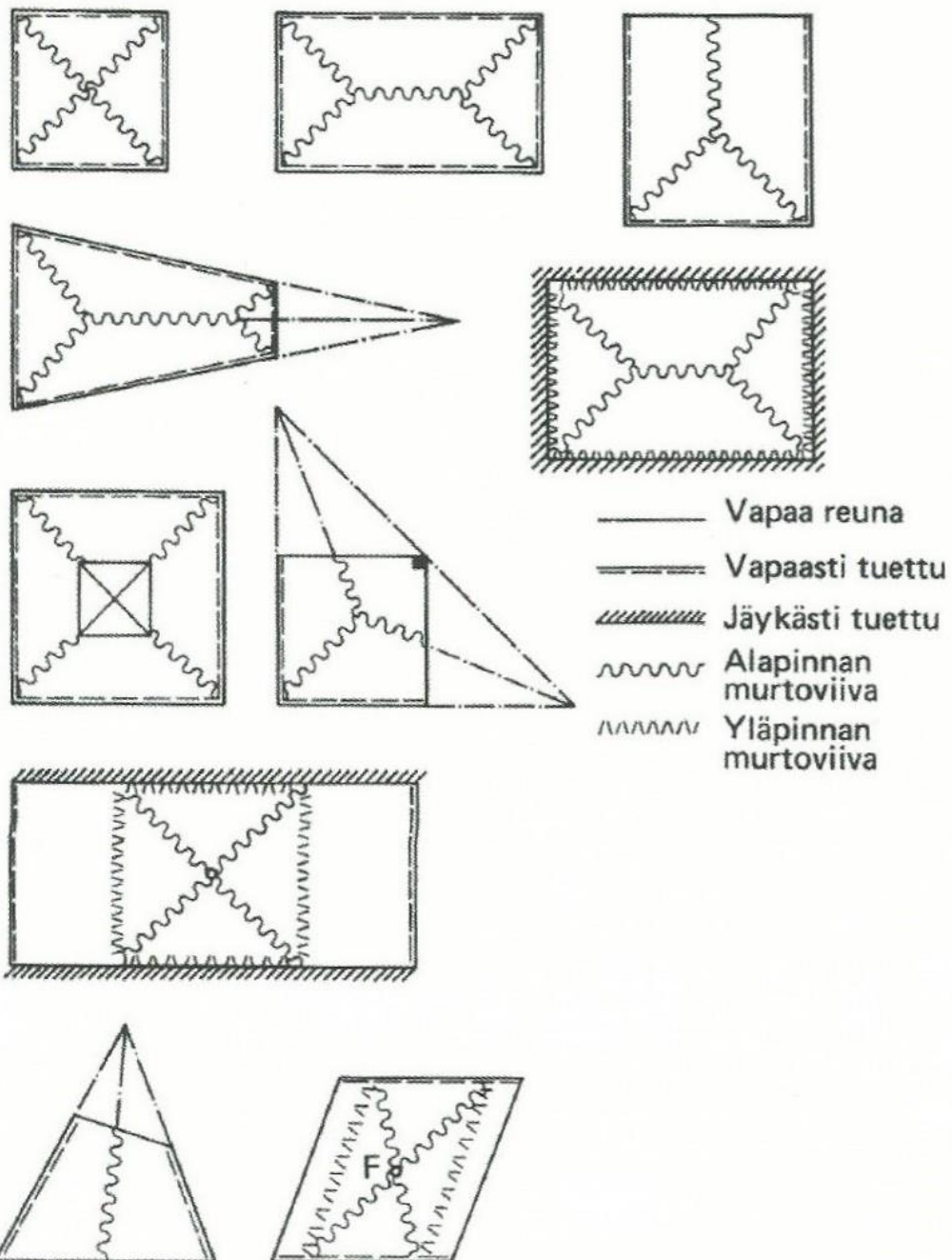
Laatan muodonmuutoskyvyn on oltava tarpeeksi suuri jotta myötöviivat muodostuvat. Muodonmuutoskyvyn voidaan ajatella olevan riittävä, kun mekaaninen raudoitussuhde  $\omega \leq 0,1$ . Laatalle on mahdollista syntyä useita mahdollisia myötökuvioita, joista määräävä on se joka syntyy pienimmällä kuormalla.

Helpoin tapa laskea kuormankantokyky on laskea se työyhtälön avulla. Kun tiedetään määräävä myötökuvio, saadaan ratkaistua murtokuorman ja myötömomentin välinen riippuvuus. Aluksi kannattaa hahmotella myötökuvion yleinen muoto seuraavien periaatteiden avulla:

- myötöviivat ovat suoria ja toimivat laatan eri osien välisinä kiertymäakseleina
- myötöviivat päättyvät laatan reunaan
- jatkuvalla laatalle tuen kohdalle syntyy yläpintaan tuen suuntainen myötöviiva
- pistemäisen tuen kohdalla kiertymäakselit kulkevat tukipisteen kautta
- vapaasti tuetuilla ja kiinnitetyillä sivuilla kiertymäakselit kulkevat tukipisteiden kautta
- pistemäisten tukien tukemien laatanosien kohdalla



KUVA 29 Myötöviivat ja murtomekanismi [12 ,s488]



KUVA 30 Esimerkkejä myötökuvioiden kulusta laatassa [1 ,s34]

### Työyhtälön muodostaminen

Alla on esitetty yleisen työyhtälön kaava vektorimuodossa. Kaavan vasen puolisko on ulkoisen kuorman tekemä virtuaalinen siirtymätyö. Kaavan oikea puolisko on taas sisäinen muodonmuutostyö (KUVA 31).

(16)

Yleinen työyhtälö:  $\sum \bar{F} \cdot \bar{a} = \sum \bar{M} \cdot \bar{\theta}$

, missä  $\bar{F}$  = ulkoinen kuorma  
 $\bar{a}$  = kuorman siirtymä  
 $\bar{M} = m_x L_x \bar{i} + m_y L_y \bar{j}$   
 $L_x$  = myötöviivan x-akselin suuntainen osa  
 $L_y$  = myötöviivan y-akselin suuntainen osa  
 $\bar{\theta}$  = kiertymävektori

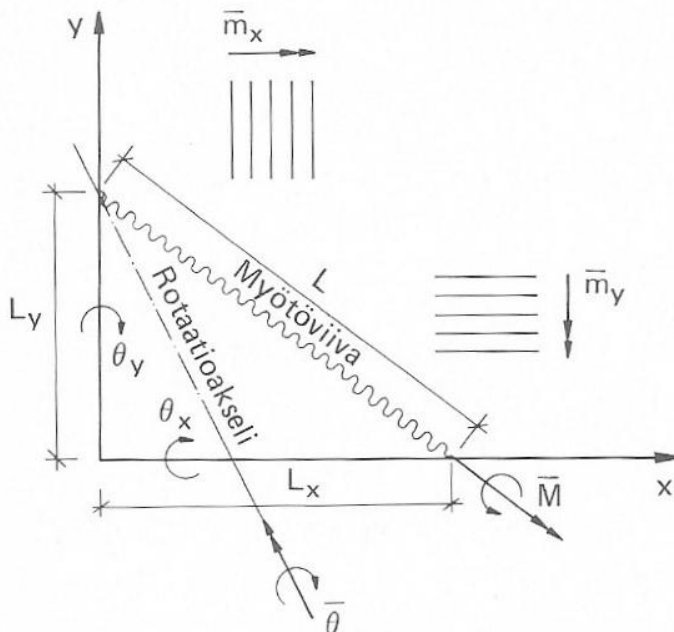
Kun oletetaan että laatan tarkasteltavan osan rotaatioakselin suunta on KUVA 31 mukainen, saadaan laatan muodonmuutostyön kaavaksi

(17)

$$\bar{M} \cdot \bar{\theta} = m_x L_x \theta_x + m_y L_y \theta_y$$

, missä  $\theta_x, \theta_y$  = kiertymävektorin skalaarikomponentit x- ja y-akseleille.  
 $m_x, m_y$  = momenttivektorin x- ja y-akselin suuntaiset komponentit

Teoksessa By202 – osa 3 on esitetty myötöviivateorian mukainen sovellusesimerkki, josta selviää tarkemmin teorian mukaiset laskutoimitukset.

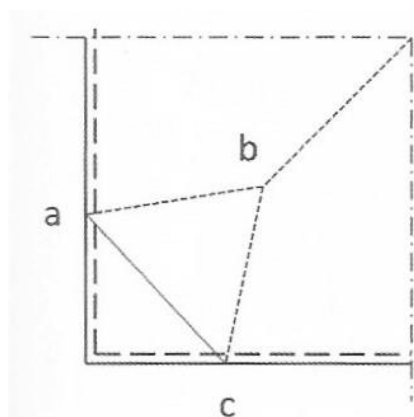


KUVA 31 Sisäinen muodonmuutostyö myötöviivalla [12 ,s491]

## Myötöviiva laatan nurkassa

Todellisuudessa myötöviiva ei kulje suorana laatan nurkkaan, kuten aiemmissa laskelmissa oletettiin, vaan oikeasti myötöviiva jakautuu kahteen osaan KUVA 32 mukaan. Tästä seuraa, että nurkka pyrkii nousemaan. Jos nurkan nousua ei ole estetty, alapintaan syntyy myötöviivat ab ja bc. Nurkan ollessa ankkuroitu (=nousu estetty) muodostuu välille ac yläpintaan myötöviiva.

Nurkkavaikutuksen takia todellinen murtokuorma on pienempi kuin yksinkertaisen myötökuvion avulla laskettu. Suorakaiteen muotoisella ja neljältä sivulta tuetulla laatalle jaetun rasituksen aiheuttama nurkkarasitus on enintään 10 % pienempi kuin suoraan nurkkaan menevällä myötökuvion avulla. Laatan kalvovaikutuksen (membrane action) ansiosta murtovarmuus on kuitenkin riittävä, vaikka nurkkakuvion vaikutus jätetään mitoituksessa huomioimatta.



KUVA 32 Myötöviivat laatan nurkassa [1, s39]

## Pistemäisten kuormien vaikutus

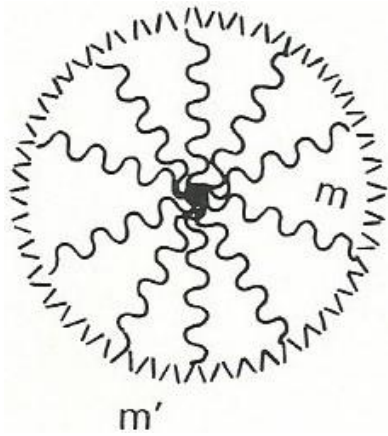
Pistemäisten kuormien kohdalla laattaa voi muodostua paikallista myötöä KUVA 33 mukaisesti. Jos pistekuorman lisäksi laatalle esiintyy pelkästään vähäistä tasaista kuormaa, myötömomentit toteuttavat ehdon

(18)

$$m + m' = \frac{F_d}{2\pi}$$

, jossa  $m$  = alapinnan raudituksen myötömomentti

$m'$  = yläpinnan raudituksen myötömomentti



KUVA 33 Paikallinen myötökuvio. ( $m$  = alap. myötöviivat;  $m'$  = yläp. myötöviivat) [12, s495]

### 4.6.3 Kaistamenetelmä

Kaistamenetelmässä laatan ajatellaan muodostuvan ristikkäisistä, yhteen suuntaan kantavista kaistoista. Kaistojen oletetaan toimivan seuraavilla tavoilla:

- kaistat toimivat kuten palkit
- kaistat ottavat pituussuunnassa taivutus- ja leikkausrasituksia
- samansuuntaisten kaistojen välillä ei esiinny leikkausvoimia

Kaistoille tulevat kuormat jaetaan sopivassa suhteessa jännemittojen ja tukiehtojen mukaan. Kuorman jako eri suuntiin vaikuttaa taivutusmomenteihin ja rauditusmääriin. Käytännön mitoituksessa rauditusmäärää ei tarvitse yleensä mitoittaa mahdollisimman pieneksi, vaan kuormasuhteet voidaan valita seuraavien kolmen eri tavan mukaan:

- Vapaasti tuettu suorakaiteen muotoinen laatta
- Suorakaidelaatta, jossa jäykkä tuki
- Palkkikaistat

## Vapaasti tuettu suorakaiteen muotoinen laatta

Tässä menetelmässä laatta jaetaan kaistoihin KUVA 34 mukaan, niin että laattaan syntyy kaistat A-D. Kuorma jakautuu kaistoille seuraavasti:

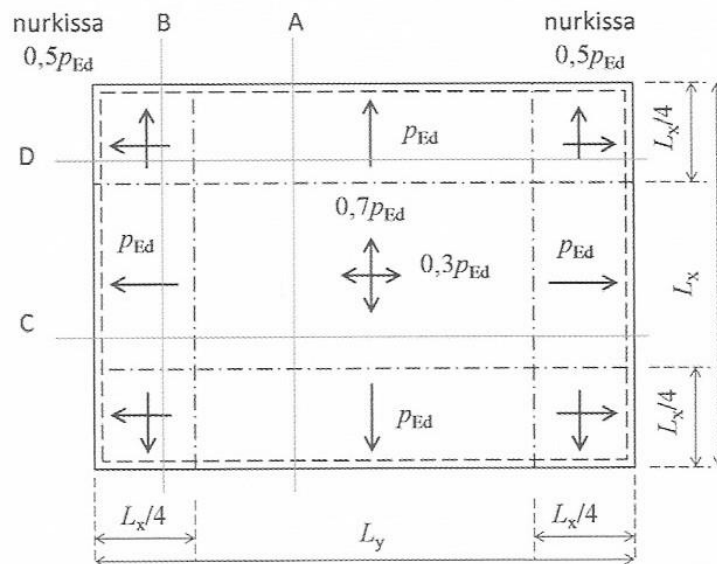
### Reunakaista

- laatan nurkissa puolet kuormasta ( $0,5p_{Ed}$ )
- ei kuormaa keskiosalle
- 

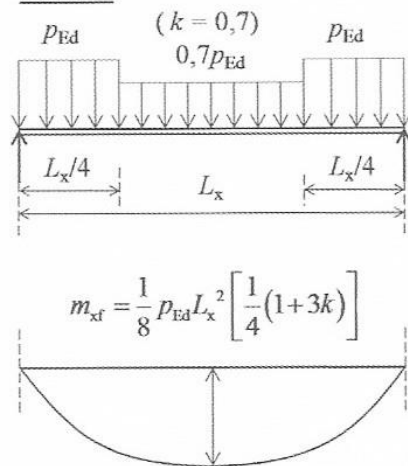
### Keskikaista

- päädyissä täysi kuorma ( $p_{Ed}$ )
- keskiosan kuorma jaetaan sopivassa suhteessa laatan sivusuhteiden mukaan, lyhemmässä suunnassa  $0,5...1,0p_{Ed}$  ja pidemmässä  $0,0...0,5p_{Ed}$
- kun  $L_y/L_x > 1,3$ , sijoitetaan kuorma kokonaan lyhemmälle kaistalle

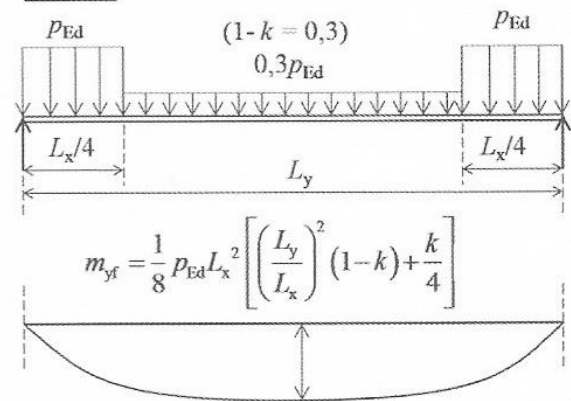
Saaduilla kuormilla voidaan kaistat mitoittaa murtorajatilassa taivutukselle ja leikkaukselle. Kaistamenetelmää ei voida käyttää käyttörajan tarkasteluihin. Kaistamenetelmää käytettäessä täytyy varoa ettei lyhemmän suunnan kaistalle anneta liian pientä kuormitusta, jolloin lasketut arvot saattavat jäädä epävarmalle puolelle.



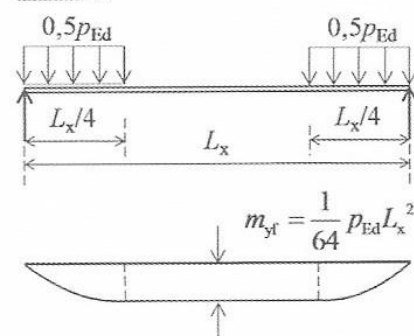
Kaista A



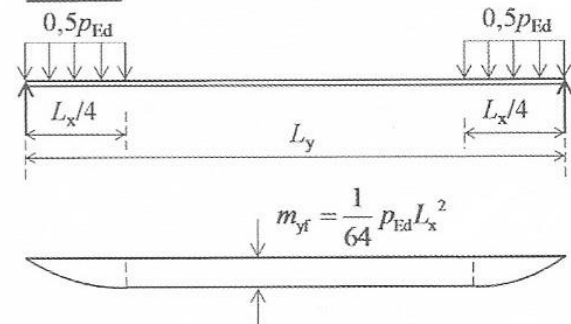
Kaista C



Kaista B



Kaista D



KUVA 34 Esimerkki ristiin kantavan laatan kaistajaosta ja kuormituksista [1 ,s25]



## Suorakaidelaatta, jolla on jäykkä tuki

Laatta jaetaan kaistoihin samalla periaatteella, kuin edellisessä kohdassa mutta jäykän tuen suuntaisen kaistan leveys määritetään eri tavalla. Jäykälle tuelle tulee enemmän kuormaa kuin vapaalle, josta johtuen kaistan leveys täytyy olla suurempi. (KUVA 35). Jäykän tuen tukimomentti saadaan laskettua tuki- ja kenttämomenttien suhteen avulla. Suhde täytyy valita niin että rakenteella on riittävä sitkeys momenttijakautuman toteutumiselle.

EC2 mukaan kiertymäkykyä ei tarvitse erikseen tarkistaa seuraavien ehtoja noudatettaessa:

- puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus ( $X/d$ ) murtotilassa on
  - $\leq 0,25$  betonin lujuusluokille  $\leq C50/60$
  - $\leq 0,15$  betonin lujuusluokille  $\leq C55/67$
- raudoituksen sitkeysluokkana B tai C
- jatkuvan tuen tukimomentin ja kenttämomentin suhde joka jänteessä välillä 0,5...2,0

Momenttien suhde valitaan niin, että laatan keskialueella leikkausvoima on nolla. Tuki- ja kenttämomenttien suhde:

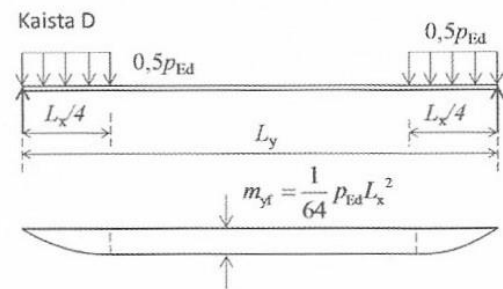
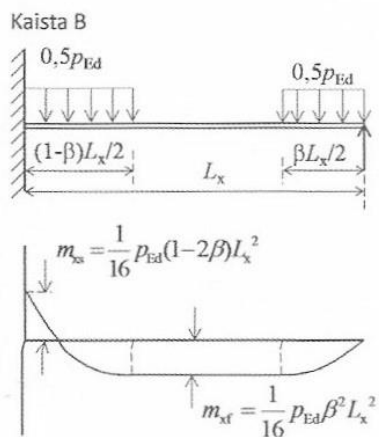
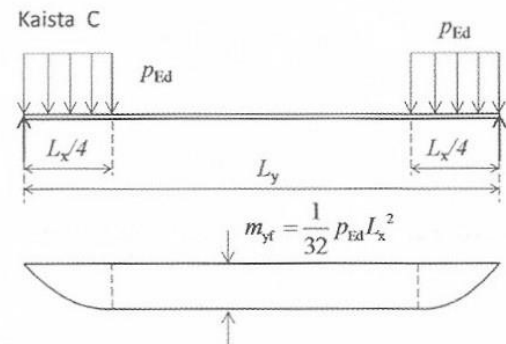
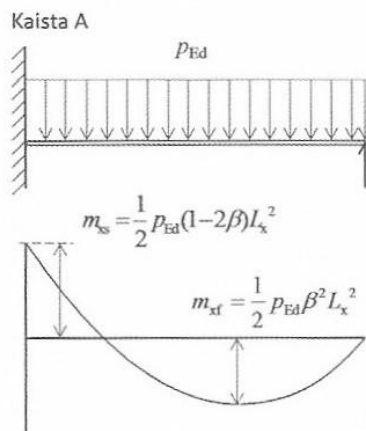
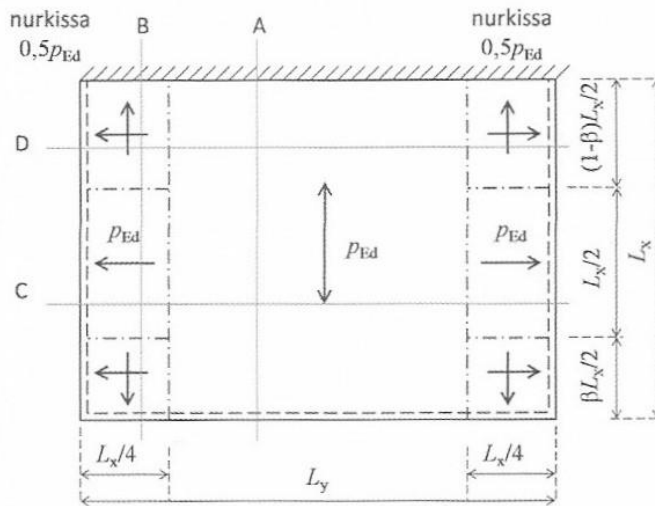
(19)

$$\frac{m_{xs}}{m_{xf}} = R_m = \frac{1 - 2\beta}{\beta}$$

(20)

$$\beta = \frac{1}{R_m} (-1 + \sqrt{1 + R_m})$$

Parametrin  $\beta$  arvo 0,366 vastaa tuki- ja kenttämomenttien suhdetta 2,0, arvo 0,40 suhdetta 1,25 ja arvo 0,45 suhdetta 0,5.

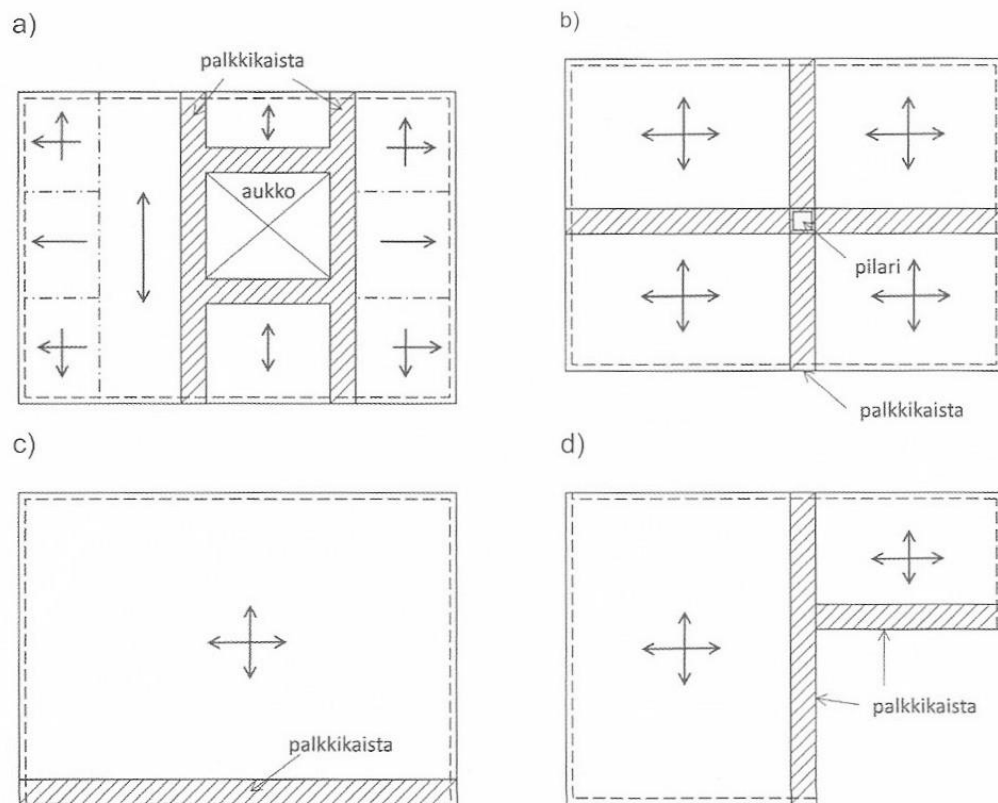


KUVA 35 Esimerkki kaistajaosta laatasta, jossa on jäykkä tuki [1, s27]

## Palkkikaistat

Jos laatussa on aukkoja, sisään pistäviä nurkkia tai pilaritukia, täytyy laattaan lisätä lujia, palkkien tavoin toimivia kaistoja, eli palkkikaistoja. Palkkikaistaa voidaan käyttää myös esimerkiksi vahvistamaan laatan vapaata reunaa. Esimerkkejä palkkikaistoista alempana olevassa kuvassa.

Palkkikaistan taivutusmitoittaminen tapahtuu samalla tavalla kuin palkilla ja yhteen suuntaan kantavalla laattalla, vrt. kohta 4.1. Leveytenä  $b$  käytetään palkkikaistalle arvioitua leveyttä. Palkkikaistan mitoitus voidaan aloittaa valitsemalla kaistan leveydeksi esim. 2 kertaa laatan korkeus. Tarpeen mukaan kaistan leveyttä voidaan pienentää tai suurentaa. Leveyden tulee olla sellainen, että se pystyy kantamaan laatalta tulevat kuormat ja että raudoitukset pysyvät mahdollisimman pieninä.



KUVA 36 Esimerkkejä palkkikaistoista laatussa [1 ,s28]

#### 4.6.4 Kahdelta ja kolmelta reunalta tuetut laatat

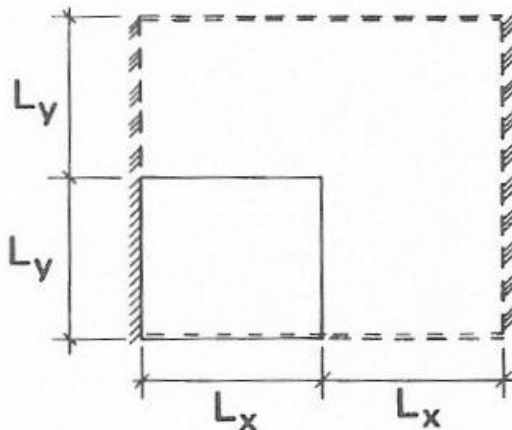
Tässä kohdassa esitettävät kahdelta ja kolmelta reunalta tuetun laatan laskentatavat antavat ainoastaan likimääräisen tuloksen. Niiden tarkkuus on usein kumminkin riittävä tavanomaisissa talonrakennuskohteissa. Tarkkojen voimasuureiden laskemiseksi voidaan käyttää myötöviiivateoriaan perustuvia ratkaisuja ja taulukoita.

Mitoitusmomentit voidaan ratkaista MBP-menetelmän perustapauksella (ks. kohta 4.6.1) alla olevia likimääräismenetelmiä hyödyntäen.

##### Kahdelta reunalta tuettu laatta

Seuraavia likimääräismenetelmiä voidaan käyttää kahdelta viereiseltä reunalta tuetulla laattalla, kun laatta on neliön muotoinen tai lähes neliön muotoinen, eli sivusuhte  $L_x/L_y \approx 1$ . Kahdelta reunalta tuetun laatan yläpintaan tarvitaan aina raudoitus koko kentän alueelle.

Tapauksessa jossa ainakin toinen tuettu reuna on momenttijäykkä, voidaan laatta mitoittaa 1/4 osa kokoisena ja vastaavasti neljältä sivulta tuettuna (KUVA 37).



KUVA 37 Kahdelta reunalta tuetun laatan rakennemalli likimääräismitoitusta varten [12, s328]

Jos taas laatta on kahdelta reunalta vapaasti tuettu, täytyy laatan tuettu nurkka ankkuroida voimalle:

[6]

(21)

$$F_d = 0,42p_dL^2$$

### Kolmelta reunalta tuettu laatta

Likimääräistä mitoittamista varten suorakaiteen muotoiset kolmelta reunalta tuetut laatat jaetaan seuraaviin tapauksiin:

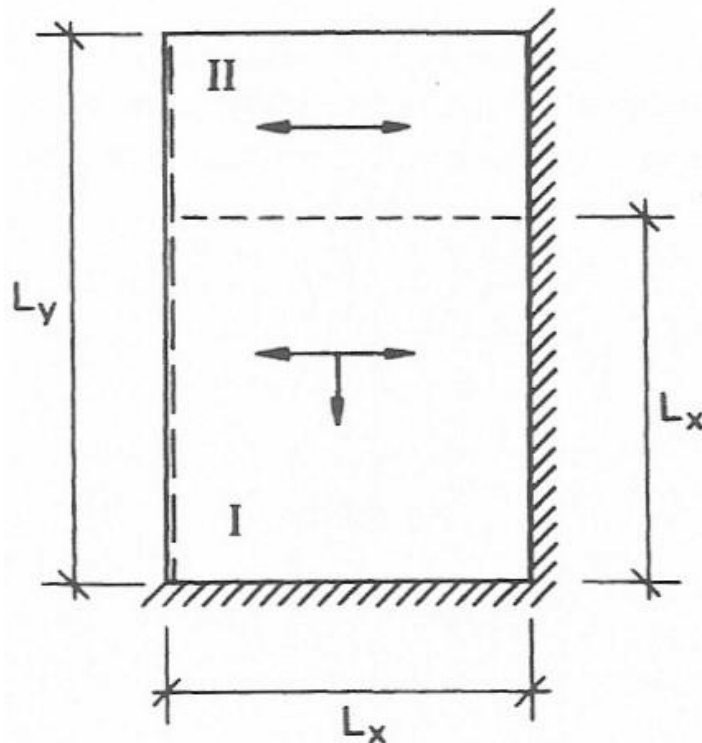
1.  $L_y > L_x$
2.  $0,5L_x < L_y \leq L_x$
3.  $L_y < 0,5L_x$

, jossa  $L_x$  = laatan jänneväli vapaan reunan suunnassa

$L_y$  = jänneväli toisessa suunnassa

Tapaus 1:  $L_y > L_x$  (KUVA 38)

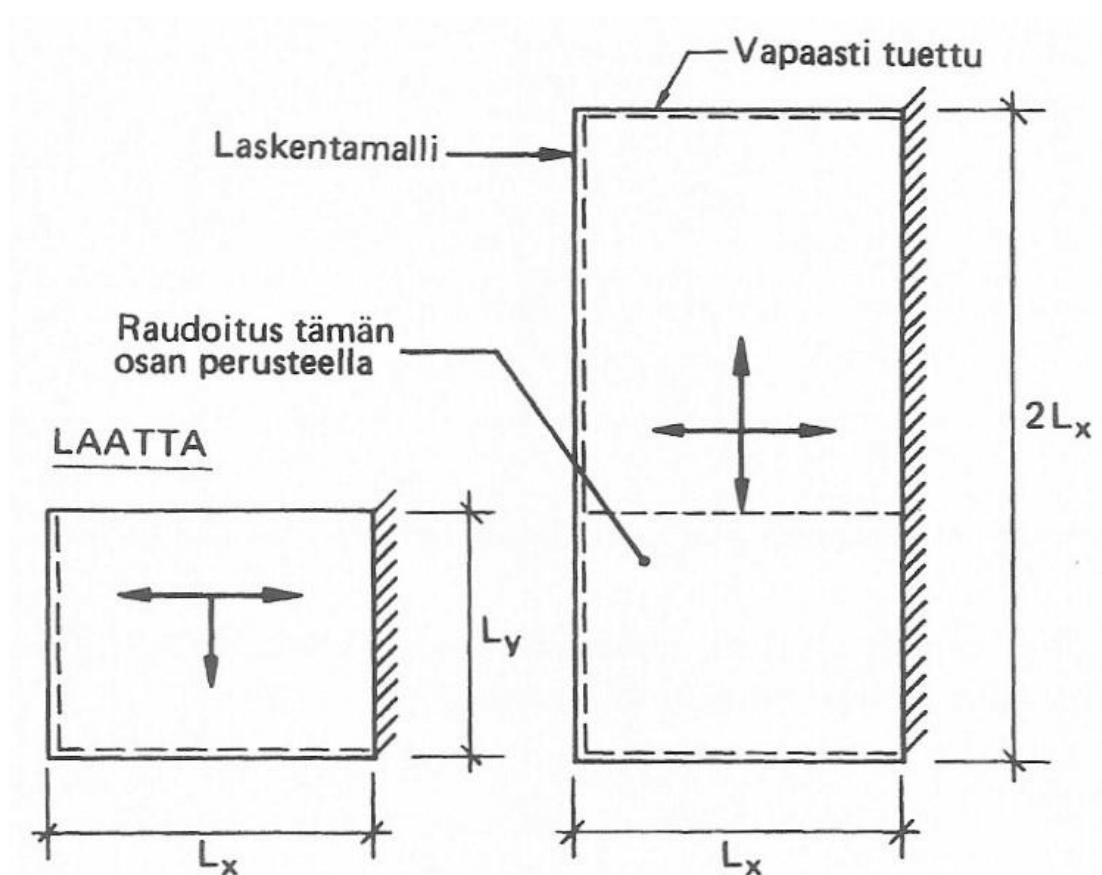
Laatta jaetaan kahteen osaan kuvan mukaisesti. Osa I mitoitetään kuten neljältä reunalta tuetun ristiin kantavan laatan toinen puolisko. Osa II toimii yhteen suuntaan kantavana.



KUVA 38 Kolmelta reunalta tuettu laatta, jossa  $L_y \geq L_x$  [12, s327]

Tapaus 2:  $0,5L_x < L_y \leq L_x$  (KUVA 40)

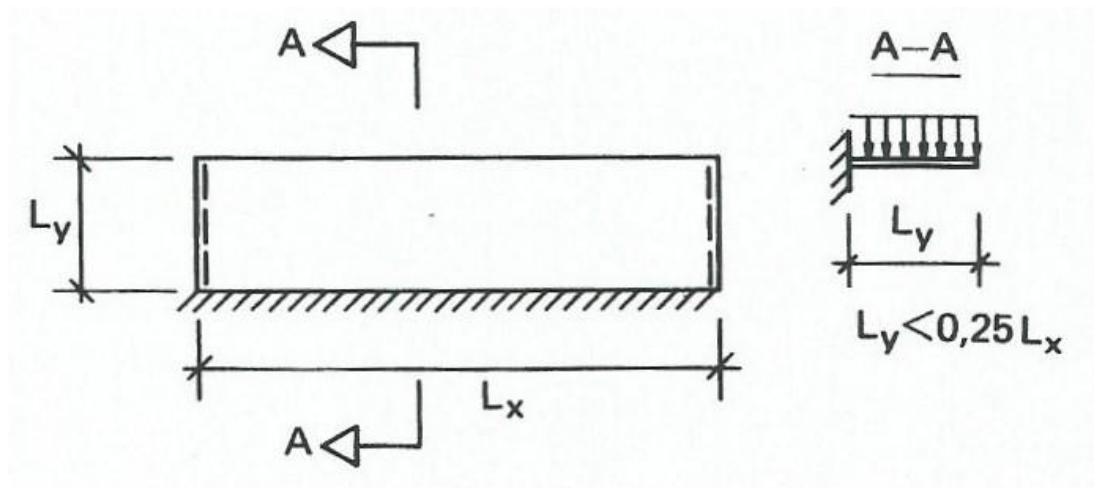
Laatan  $L_y$  suuntaisen jännemitan pituudeksi vaihdetaan  $2L_x$  ja vapaa reuna muutetaan vapaaksi tueksi. Ratkaisu on tällöin aina varmallalla puolella ja sitä tarkempi mitä lähempänä laatan kenttä on neliötä.



KUVA 39 Kolmelta reunalta tuettu laatta, jossa  $0,5L_x < L_y \leq L_x$  [12 ,s327]

Tapaus 3:  $L_y < 0,5L_x$

Laatan jännevälien suhteen ollessa  $L_y < 0,25L_x$ , voidaan laatan mitoitus suorittaa KUVAN 41 mukaisesti. Jänneväliden suhteen ollessa  $0,25L_x \leq L_y < 0,5L_x$ , tulee likimääräis- menetelmällä laskettu virhe niin suureksi, että on suositeltavaa tehdä mitoitus myötöviiveteoriaa tai taulukoita käyttäen.



KUVA 40 Kolmelta reunalta tuettu laatta, jonka  $L_y < 0,25L_x$  ja vapaan reunan vastainen tuki on jäykkä [12 ,s328]

## 5 Leikkausmitoitus

Laatan leikkauskapasiteettia ei yleensä tarvitse tarkastaa kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- laatan paksuus  $h \leq 400\text{mm}$
- suhteellinen teräspinta-ala  $\rho_l < 0,6 \%$
- kuorma on suurimmaksi osaksi tasaisesti jakautunutta
- betonin kiviaines on lujuudeltaan kelpollista

Yllä olevat ehdot täyttyvät normaalisti aina Suomessa perinteisissä talonrakennuskoh-teissa ja näin ollen laatan leikkauskestävyyttä ei käytännössä henkilöhyötökuormilla tar-vitse tutkia. Laatoille ei ole määrätty vähimmäisleikkausraudoitusta. Laattaan kohdistu-essa suuria pistekuormia, laatan läpileikkauskapasiteetin tarkastus voi olla järkevää.

Leikkausraudoittaman laatan leikkauskestävyys  $V_{Rd,c}$  voidaan tarvittaessa tarkastaa kaa-valla:

$$V_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} \cdot d \quad (\text{EC2}) \quad (22)$$

, jossa  $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{d} \leq 0,02$$

$f_{ck}$  = betonin ominaislujuus (MPa)

$A_{sl}$  = pääraudoituksen pinta-ala (mm<sup>2</sup>)

$A_c$  = betonipoikkileikkauksen pinta-ala (mm<sup>2</sup>)

$d$  = tehollinen korkeus

Leikkauskestävyyden  $V_{Rd,c}$  tulee olla kuitenkin vähintään

$$V_{Rd,c,min} = 0,035 \cdot d \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (23)$$

Jos mitoittava leikkausvoima  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ , täytyy leikkauskapasiteettia kasvattaa esimer-kiksi pääraudoitusta lisäämällä. Muita vaihtoehtoja on betonin lujuuden tai laatan korkeu-den kasvattaminen.



## 5.1 Palkkikaistan leikkausmitoitus

Palkkikaista toimii osana laattaa leikkausmitoituksen näkökannalta ja tästä syystä sen leikkauskestävyyttä tarvitsee harvoin erikseen tarkastaa. Palkkikaistalle pätee kuitenkin sama kuin laatoille, eli suurten pistekuormien kohdalla voi olla syytä lisätä leikkausraudoitetta.

Jos halutaan varma ratkaisu, voidaan palkkikaistaan laittaa esimerkiksi eurokoodien mukainen palkin leikkausraudoituksen minimiraudoitusmäärän  $A_{sw,min}$  mukainen haka-raudoitus.

(24)

$$A_{sw,min} = 0,08 \cdot b_w \cdot s \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \geq 0,0013 b_t d.$$

## 6 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilan voimasuureiden laskemiseen voidaan käyttää MBP-menetelmää tai kais-tamenetelmää. Myötöviivateoria ei sovellu käyttörajatilatarkasteluihin.

### 6.1 Taipumat

Taipumien haitallisia vaikutuksia voidaan rajoittaa seuraavin tavoin:

- Suositeltavin ja helpoin tapa on valita laatan tehollinen korkeus riittävän suureksi
- Annetaan laatalle esikorotus
- Sallitaan mahdollisimman suuren osan taipumasta tapahtua jo rakentamisvai-heessa, jolloin pintakäsittelyihin tulee vähemmän näkyviä vaurioita
- Rajoitetaan kutistumista huolellisella betonin jälkihoidolla
- Puretaan muotit mahdollisimman myöhään, jotta viruminen jää pieneksi
- Ratkaistaan tuenta edes osin momenttijäykäksi
- Lisätään raudoitusta taivutusjäyhyyden kasvattamiseksi

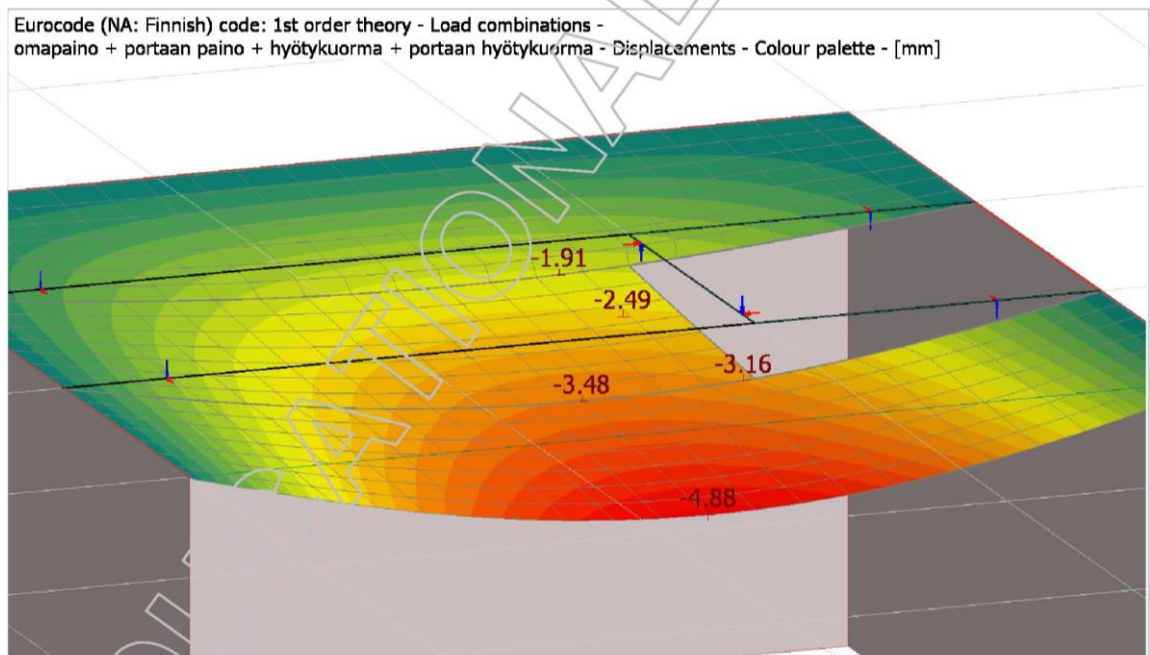
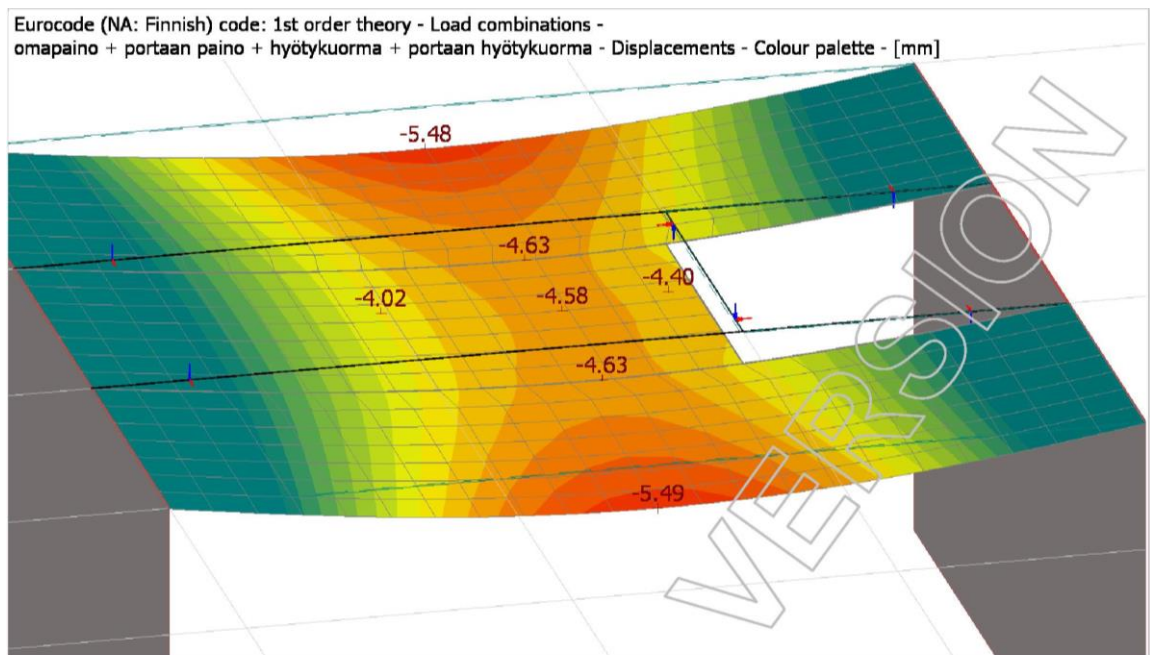
Laatalle määritellyt kokonaistaipuman  $a$  enimmäisarvot ovat:

- Normaalitapauksessa  $a = L/250$
- Jos rakenteelle annetaan omapainosta johtuvaa taipumaa vastaava esikorotus, eikä taipumasta ole haittaa muille rakenteille  $a = L/200$
- Jos rakenne kantaa helposti halkeilevia seiniä tai lasirakenteita yms.  $a = L/500$

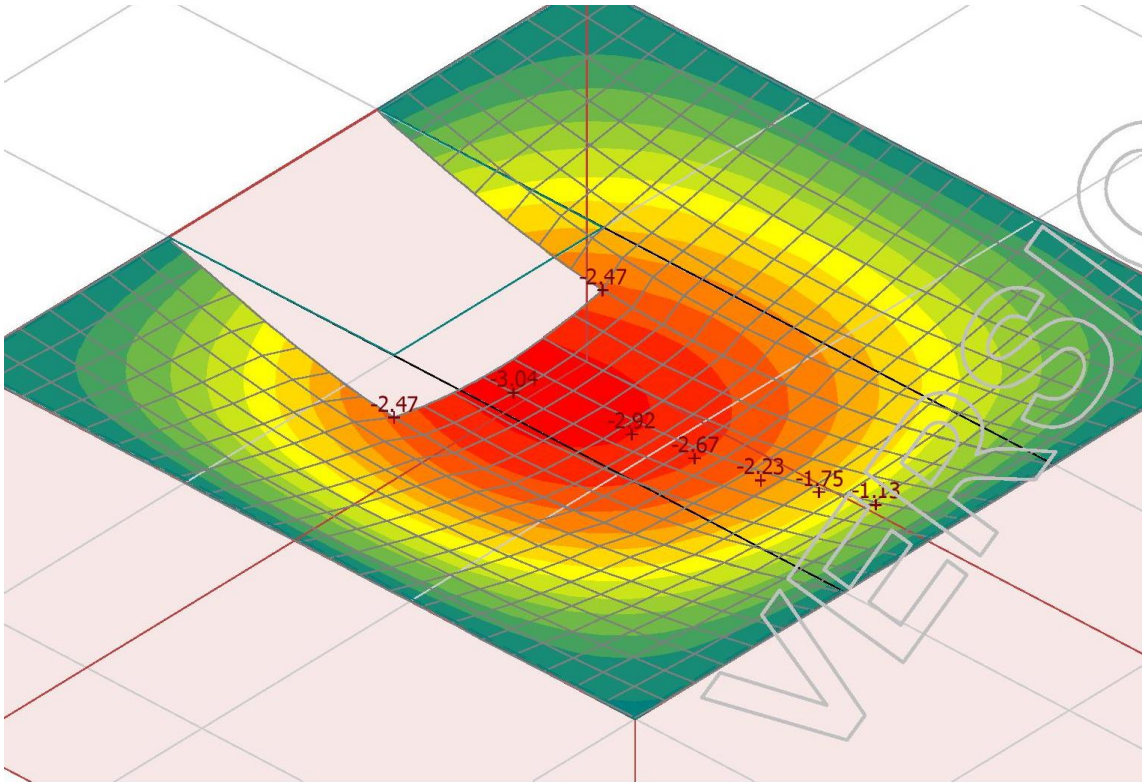
Laatan taipuma on mahdollista tarkastaa laskemalla, mutta voimasuureiden ja halkeiluti-lan arvioiminen on hankalaa. Tästä johtuen nykyisin käytännöllisempi vaihtoehto onkin laskea taipuma jollain sopivalla mitoitusohjelmalla.

Käsin laskettaessa on helpointa käyttää eurokoodeissa tai rakentamismääräyskokoel-massa esitettäviä jännemitan ja tehollisen korkeuden suhteelle annettuja sallittuja enim-mäisarvoja. Molemmilla vaihtoehdoilla on paras tapa varmistaa rakenteen taipumien jää-minen sallittuihin rajoihin valitsemalla tehollinen korkeus tarpeeksi suureksi.

Aukollisen laatan taipuman määrittäminen on äärimmäisen vaikeaa, ja siitä syystä mak-simitaipumat kannattaakin aina määrittää jollain laskentaohjelmalla.







KUVA 41 Porrasaukollisen laatan taipumaesimerkkejä. Laatan mitat 6 x 6m ja aukko 2 x 2m. Ylemmässä kuvassa yhteen suuntaan kantava laatta ja sivuilla vapaat reunat. Alemmassa kuvassa kolmelta sivulta tuettu laatta ja yksi vapaa reuna. Portaan kuorma tulee sekundääriripalkille.



KUVA 42 Neljältä sivulta tuetun porraskollisen laatan taipumaesimerkki. Laatan mitat 6 x 6m ja aukko 2 x 2m. Portaan kuorma tulee sekundääripalkille.

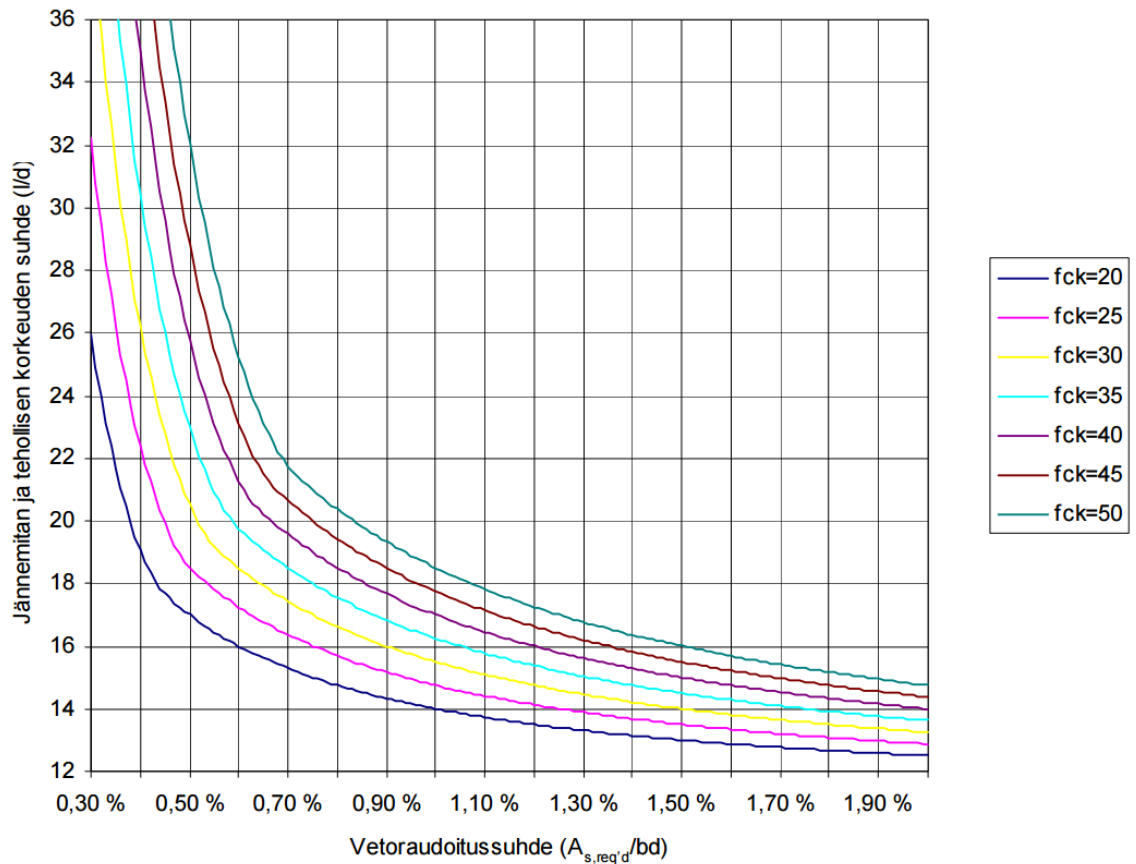
## Eurokoodin mukaiset taipumarajatilat

Eurokoodissa laatan ja palkin taipumille annetaan seuraavan alla olevan taulukon mukaiset enimmäisarvot. Taulukossa  $l/d$  = jännevälin suhde teholliseen korkeuteen ja  $K$  = tuentatavasta riippuva kerroin.

Rakennejärjestelmä	$l/d$	$K$
1. Vapaasti tuettu palkki, vapaasti tuettu yhteen tai molempiin suuntiin kantava laatta 	13	0,8
2. Jatkuvan palkin reunakenttä tai yhteen suuntaan kantavan jatkuvan laatan tai molempiin suuntiin kantavan laatan reunakenttä, kun laatta on yhden pitkän sivun yli jatkuva 	17	1,0
3. Palkin tai yhteen suuntaan tai molempiin suuntiin kantavan laatan keskikenttä 	20	1,2
4. Uloke 	5	0,3

KUVA 43 Eurokoodi 2:n mukaiset jännemitan ja tehollisen korkeuden sallitut enimmäisarvot (EC2)

Edellä mainittu tapa ei ole tarkoin mahdollinen, koska se ei ota teräsmääriä huomioon millään tavalla. EC2:ssa olevalta käyrästöltä saadaan tarvittaessa tarkemmat taipumien raja-arvot joissa on otettu raudoitussuhde huomioon (KUVA 44). Laattojen raudoitussuhde on tavallisesti välillä 0.1...0.6 %.



KUVA 44 Jännemitan ja tehollisen korkeuden rajasuhde (EN 1992-1-1). Huom.  $A_{s,req}$  on laskennallisesti saatu tarvittava teräsmäärä, eikä valittu teräsmäärän.

Käyrästä käytettäessä ristiin kantavalle laatalle, valitaan lyhempi jännemitta. Kuvan käyrät vastaavat tuentatavan kerrointa  $K=1,0$ . Muille tuentatavoille saadaan arvot kertomalla käyrästä saatu arvo kyseisen tuentatavan kertoimella  $K$  (KUVA 43).

Käyrästä saatu arvo tulee vielä kertoa kertoimilla  $F1$ ,  $F2$  ja  $F3$ . Kertoimet  $F1$  ja  $F2$  ovat porraslaatan tapauksessa yleensä aina ykkösiä ja ainoa tarvittava kerroin on  $F3$ .

(25)

$$F3 = \frac{500 \text{ MPa} \cdot A_s}{f_{yk} \cdot A_{s,req}}$$

, jossa  $A_s$  = Valittu teräsmäärä

$A_{s,req}$  = Tarvittava teräsmäärä

### Betoninormien mukainen taipumatarkastelu (B4)

RakMk B4 mukaisen tarkastelun mukaan taipumaa ei tarvitse tarkastaa, jos rakenteen tehollinen korkeus täyttää seuraavan ehdon:

(26)

$$\frac{d}{L} \geq \frac{k_m k_\rho}{a\beta} \epsilon_{yk} L$$

, jossa  $L$  = jännemitta

$$k_m = \frac{1,3M_d}{\gamma_s M_u} \leq 1,0$$

$M_d = M_k$  = käyttörajatilan mukainen momentti

$M_u$  = murtorajatilan mukainen momentti

$k_\rho$  = kerroin, valitaan TAULUKOSTA 4

$a$  = rakenteen suurin sallittu taipuma

$\beta$  = kerroin, valitaan TAULUKOSTA 5

$\epsilon_{yk}$  = teräksen myötövenymä

Rakennetyyppi	$\beta$
Uloke	8
Vapaasti tuettu	20
Jatkuva	
– reunakenttä	24
– keskikenttä	28

TAULUKKO 4 Kerroin  $\beta$  (RakMk B4)

$\rho$ (%)  $(\rho = \frac{A_s}{b_w d})$	$k_\rho$	
	K20	K $\geq$ K40
0,2	1,2	1,0
0,3	2,1	1,2
0,5	2,9	2,4
1,0	3,7	3,7
2,0	–	4,5

TAULUKKO 5 Kerroin  $k_\rho$ . Lujuusluokka K20 vastaa eurokoodissa luokkaa C16/20. K40 luokkaa ei ole eurokoodissa, mutta voidaan ajatella sen olevan C35/45 jolloin pysytään varmallalla puolella. Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti arvojen välistä tarvittaessa (RakMk B4)

## 6.2 Halkeamien rajoittaminen

Jos rakenteelta vaaditaan erityisen hyvää tiiviyttä (esim. vedenpitävät ja korroosiolle alttiit rakenteet), täytyy halkeilu estää kokonaan. Porraslaatoilta ei siis yleensä vaadita täydellistä halkeilemattomuutta.

Halkeilutarkastelut tulevat ensisijaisesti kysymykseen laattarakenteissa, joissa raudoituksen vaikutus poikkileikkauksen taivutukseen on vähäinen. Halkeilua pystytään rajoittamaan käyttämällä raudoituksessa ohuita tankoja ( $\leq \text{Ø}10$ ) ja pieniä välejä ( $\leq 150$  mm).

Eurokoodin EC2 mukaan laatoissa halkeamaleveyttä ei tarvitse rajoittaa seuraavien ehtojen täytyessä:

- laatan kokonaispaksuus  $h \leq 200$  mm
- laattaan vaikuttaa taivutusmomentti ilman merkittävää vetävää normaalivoimaa
- laatta täyttää EC2:n luvun 9.3 rakenteelliset ehdot
- rasitusluokan ollessa X0

Tarvittaessa taivutetun rakenteen halkeilukapasiteetti  $M_r$  voidaan tarkastaa kaavasta, jolloin halkeilukapasiteetin  $M_r$  tulee olla suurempi kuin mitoittava momentti käyttörajatilassa  $M_{Ek}$ .

(27)

$$M_r = 1,7Wf_{ctk}$$

, jossa  $W$  = poikkileikkauksen kimmainen taivutusvastus



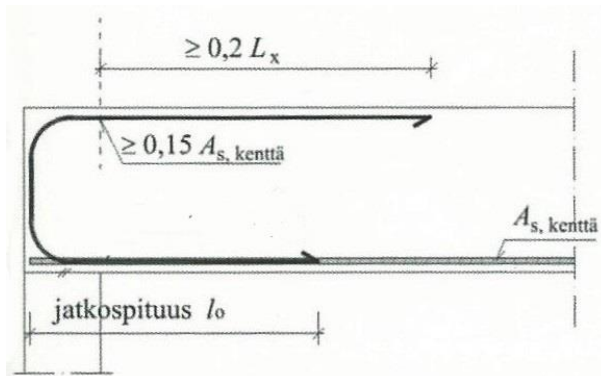
## 7 Yksityiskohtien raudoittaminen

### 7.1 Laattojen raudoitus tukien lähellä

Laatan pääraudoituksesta täytyy vapaalle tuelle viedä vähintään 50 % teräspinta-alasta. Suositeltavaa on kuitenkin tuoda kaikki kentän päätangot tuelle. Välituella raudoitus ulotetaan jatkuvana tuen yli ja sen tulee kestää vähintään 25 % tukeen liittyvän kentän suurimmasta momentista.

Vapaalla reunatuella laatan yläpintaan tulee sijoittaa poikittainen raudoitus kiinnitysmomentin vuoksi. Reunatuella raudoitus ankkuroidaan ja sen tulee kestää 15 % maksimimomentista. Raudoituksen pituus tuen reunasta tulee olla vähintään  $0,2 \cdot L_x$  ( $L_x$  = kentän lyhyempi jänneväli). Tankoväli  $s$  saa olla enintään pienempi seuraavista:

$$s = \min \begin{cases} 3h \\ 400\text{mm} \end{cases}$$



KUVA 45 Vapaan reunatuen raudoitus [1 ,s83]

Jatkuvan tuen kohdalla tai momenttijäykällä tuella taivutusraudoitus katkaistaan momenttipinnan mukaan (KUVA 46).

#### Momentin 0-kohta

(28)

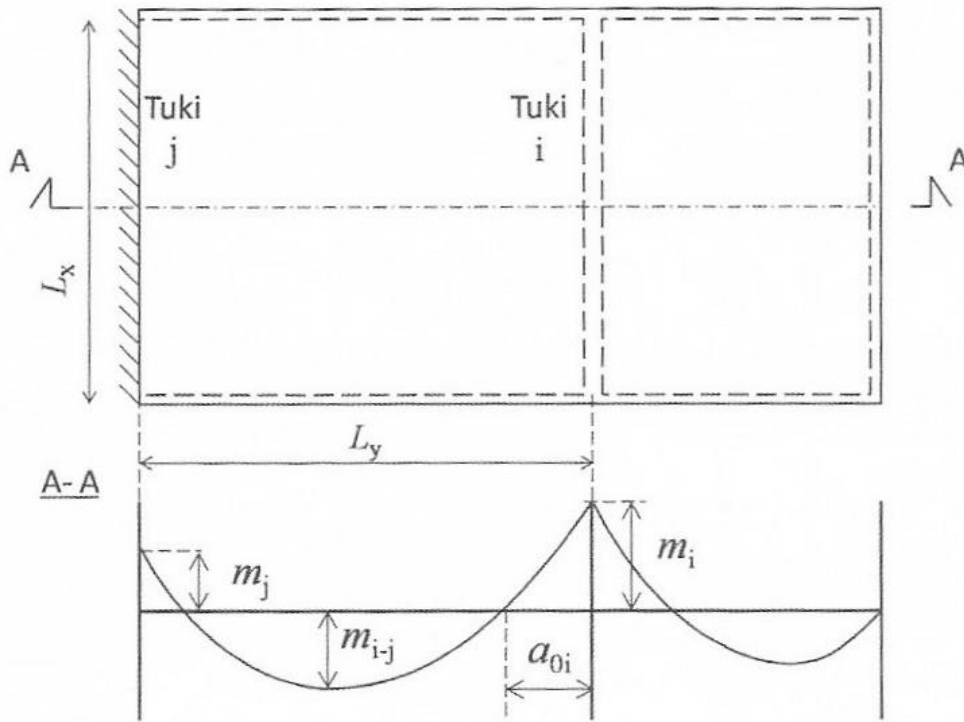
Laatan lyhemmällä jännevälillä:

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

Laatan pidemmällä jännevälillä:

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

, jossa  $k_i = \frac{m_i}{m_{i-j}}$  ja  $k_j = \frac{m_j}{m_{i-j}}$

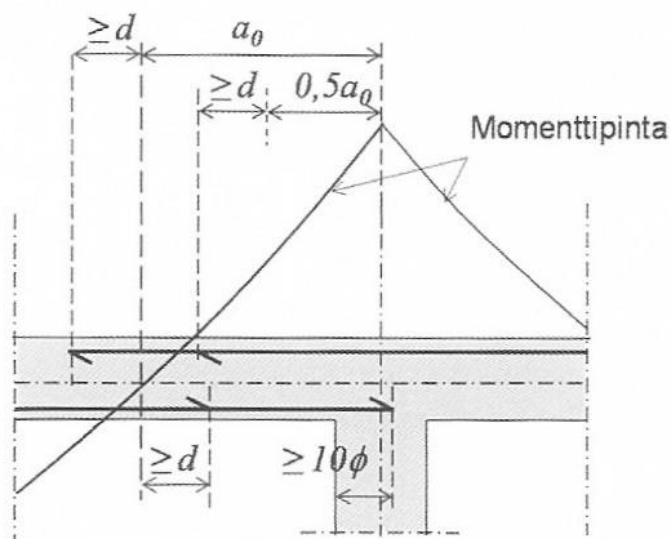


KUVA 46 Momentin nollakohta likimääräisesti [1 ,s84]

Raudoituksen katkaisukohtat voidaan määrätä seuraavasti: (KUVA 47)

- Puolet yläpinnan teräksistä katkaistaan tuen keskilinjalta lukien etäisyydeltä  $0,5 \cdot a_0 + d$
- Loput teräkset katkaistaan etäisyydellä  $a_0 + d$
- Puolet kenttäteräksistä katkaistaan etäisyydellä  $a_0 - d$

Yläpinnan tankojen tulisi olla vähintään  $\phi = 8mm$ , asennusteknisistä syistä.

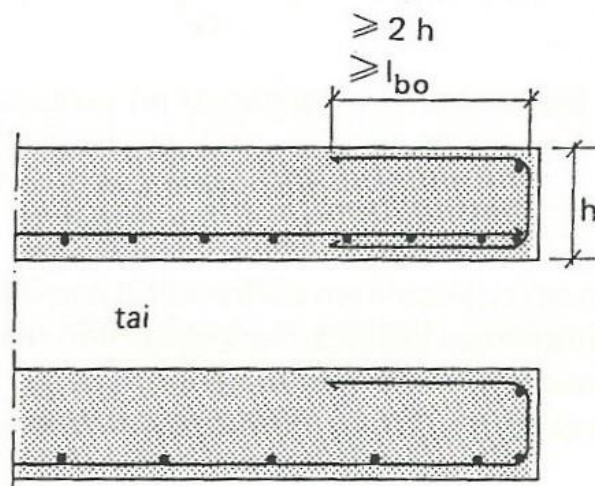


KUVA 47 Katkaisukohtat jatkuvalla tuella [1 ,s85]

## 7.2 Vapaan reunan raudoitus

Laatan vapaaseen reunaan tulee asentaa KUVA 48 mukainen pitkittäis- ja poikittaisraudoitus. Raudoituksen tankopaksuus molemmissa tapauksissa tulisi olla vähintään  $\varnothing 8$ . Poikkisuuntaisen hakaraudoituksen jakoväli saa olla enintään pienempi seuraavista arvoista:

- 4h
- 600mm



KUVA 48 Vapaan reunan raudoitus [8 ,s140]

Jos laatan aukon reunoille tai vapaalle reunalle tulee kaiteiden tai portaan vaatimia kiinnikkeitä, teräslattoja, isompia lyöntiankkureita jne., kannattaa niiden molemmin puolin lisätä ylimääräiset U-haati.

## 7.3 Piste- ja viivakuormat

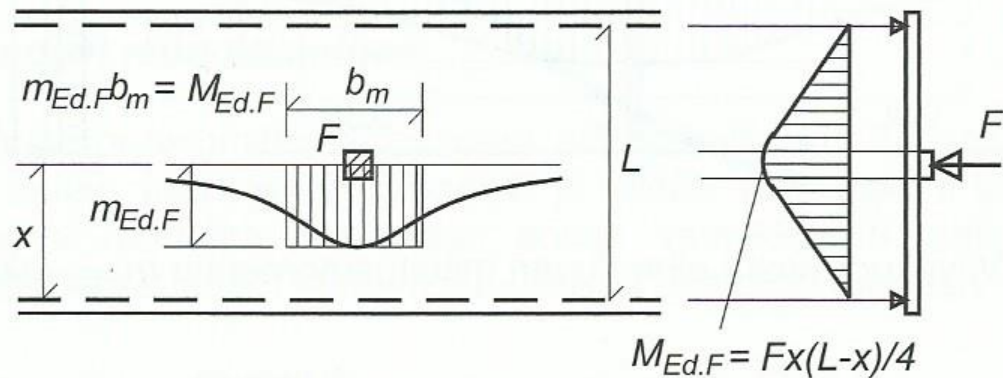
### Pistekuormat yhteen suuntaan kantavilla laatoilla

Kun laataan kohdistuu suuria viiva- tai pistekuormia, täytyy niiden aiheuttama taivutusmomentti ottaa huomioon. Likimääräinen taivutusmomentti  $m_{Ed}$ , joka on yleensä riittävän tarkka tavanomaisiin talonrakennuskohteisiin, voidaan laskea kaavasta:

(29)

$$m_{Ed} = \frac{M_{Ed,F}}{b_m} + m_{Ed,g+q}$$

, missä  $M_{Ed,F}$  = viiva- tai pistekuorman aiheuttama taivutusmomentti  
 $b_m$  = kuorman jakautumisleveys  
 $m_{Ed,g+q}$  = tasaisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti



KUVA 49 Pistekuorman jakaantumisleveys  $b_m$  [9]

Kenttämomenttia määritettäessä jakautumisleveys  $b_m$  voidaan laskea kaavalla:

(30)

$$b_m = b_F + \alpha_1 x \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$

Tukimomentille jakautumisleveys  $b_m$  lasketaan kaavoilla:

(31)

- ulokkeille:  $b_m = b_F + 1,5x$
- muissa tapauksissa:  $b_m = b_F + \frac{x}{2} \left(2 - \frac{x}{L}\right)$

, missä  $b_F = b_0 + 2h_g + h_s$  (KUVA 51)

$b_0$  = kuormitetun pinnan leveys

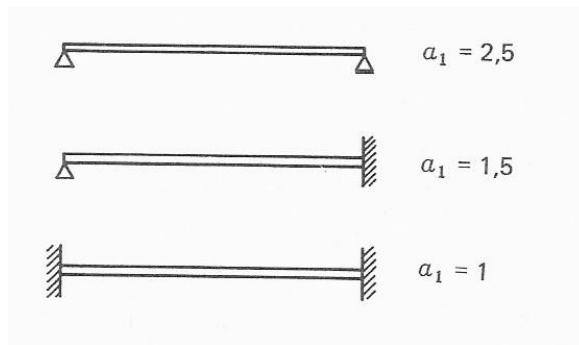
$h_g$  = tasauskerroksen paksuus

$h$  = laatan paksuus

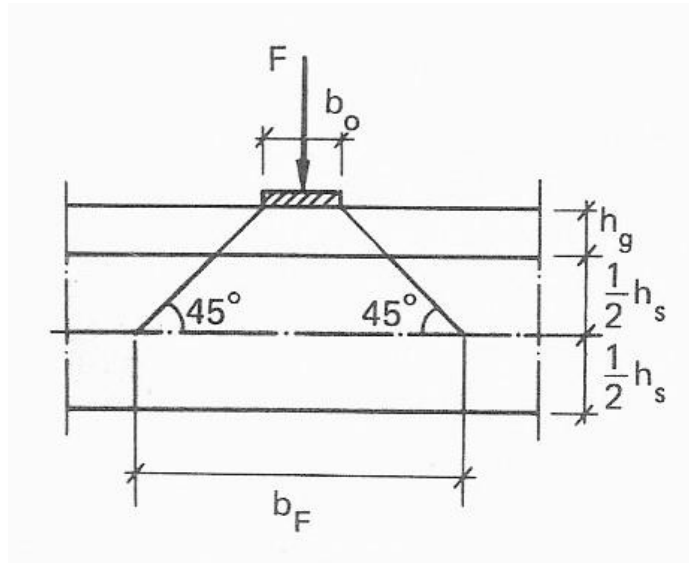
$x$  = kuorman etäisyys tuelta

$L$  = jännemitta

$\alpha_1$  = laatan tukemistavasta riippuva kerroin (KUVA 50)



KUVA 50 Kerroin  $\alpha_1$  [14 ,s405]



KUVA 51 Pistekuorman jakautuminen [9]

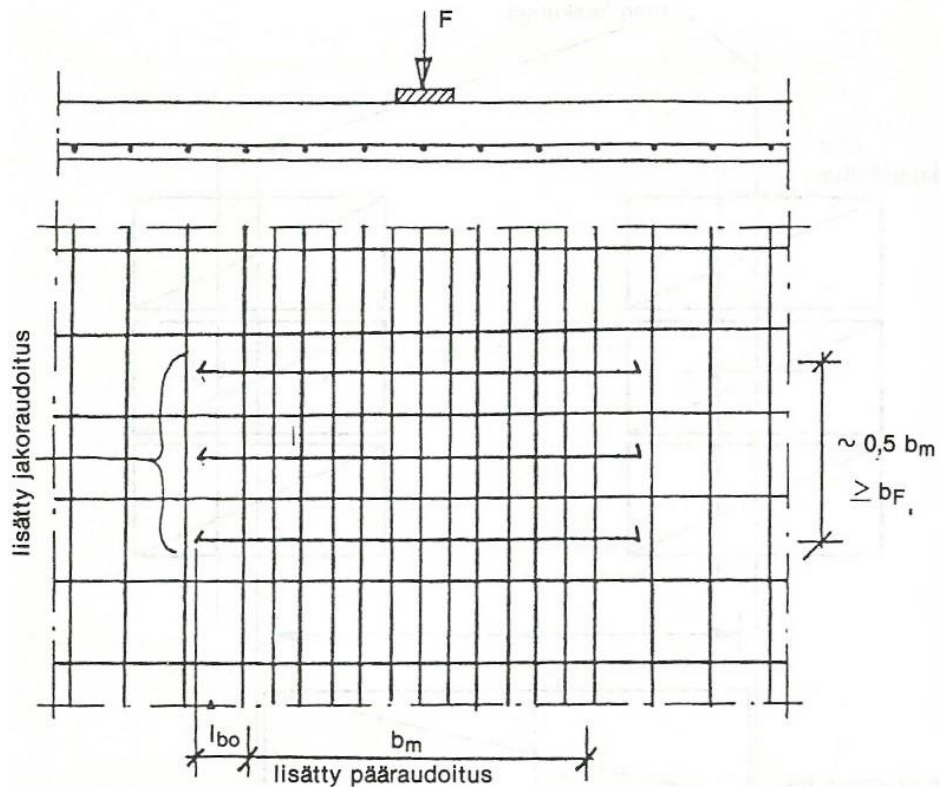
Pistekuorman vaatima jakoraidoitus sijoitetaan pistekuorman suhteen symmetrisesti

KUVA 52 mukaan. Jakoraidoituksen vaadittava pinta-ala saadaan kaavasta:

(32)

$$A_{st} \geq 0,6 \cdot A_s$$

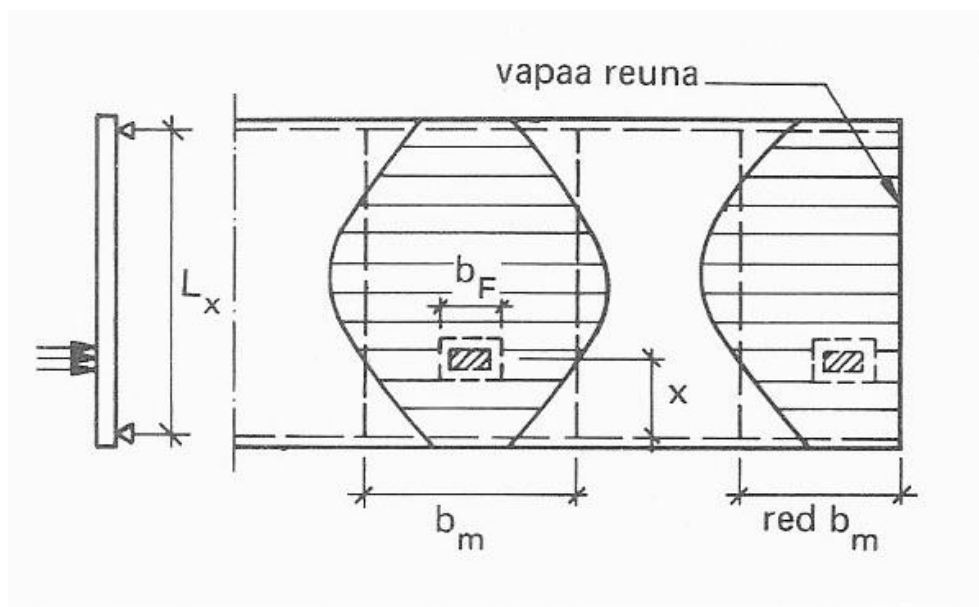
, jossa  $A_s$  = momentin  $M_{Ed,F}$  edellyttämä raidoitus



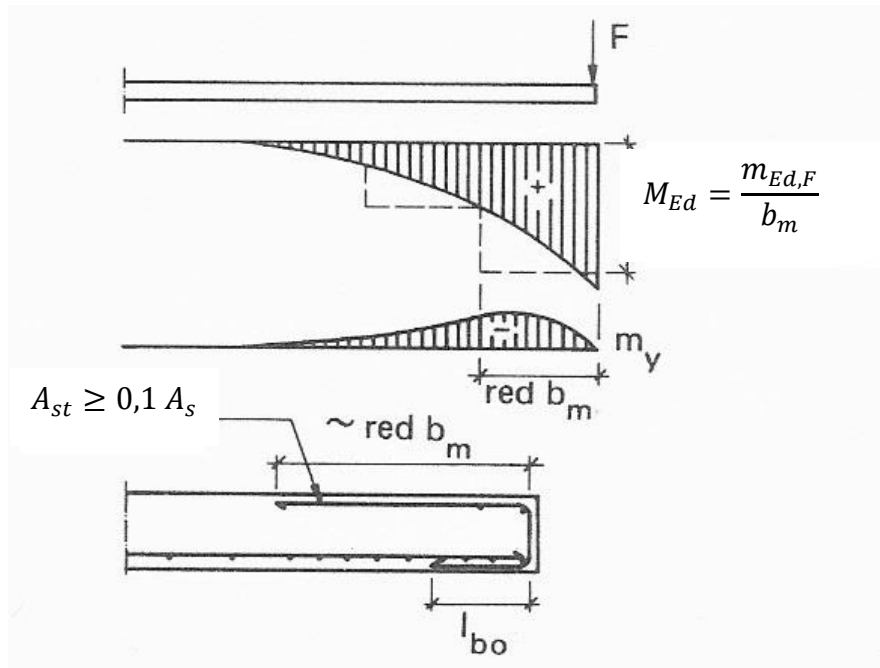
KUVA 52 Pistekuorman vaativa lisäraidoitus [14 ,s412]

### Pistekuorma vapaalla reunalla

Pistekuorman ollessa etäisyydellä  $y < b_m/2$  laatan vapaasta reunasta, käytetään redusoitua jakautumislevyyttä  $b_{m,red}$ . Jakautumisleveys  $b_{m,red} = y + b_m/2$  (KUVA 53). Lisäksi yläpintaan tulee jakoraidoitus, joka tehdään kiertävinä U-teräksinä. (KUVA 54)



KUVA 53 Pistekuorman jakautumisleveys  $b_m$  ja redusoitu jakautumisleveys [16 ,s233]



KUVA 54 Pistekuorman aiheuttama taivutusmomentti ja tarvittava raudoitus vapaalla reunalla [15 ,s609]

### Viivakuormat yhteen suuntaan kantavilla laatoilla

Vapaasti tuetulla laotalla viivakuorman aiheuttama mitoitusmomentti laatan leveysyksikölle pääsuunnassa saadaan kaavalla:

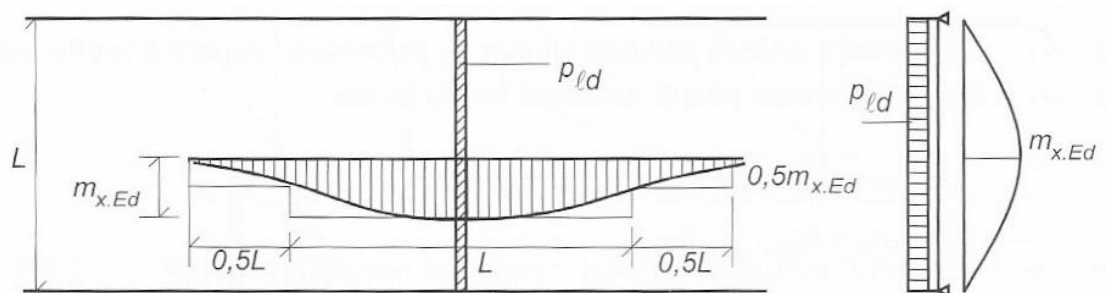
$$m_{x,Ed} = 0,093 p_{\ell d} \cdot L$$

(34)

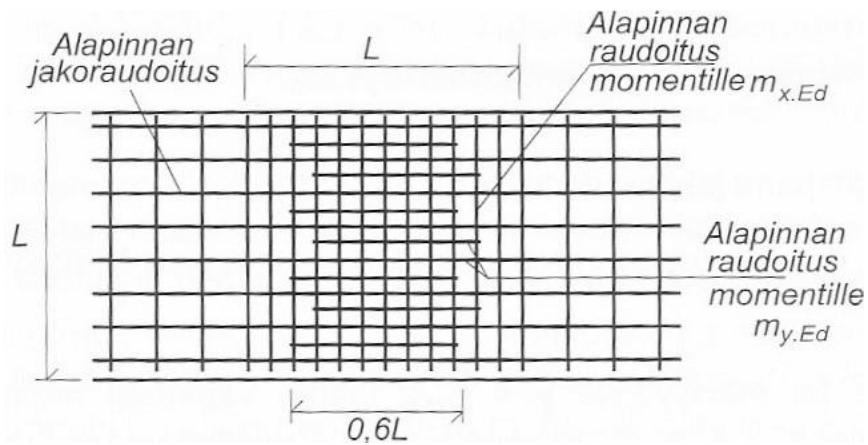
Ja poikittaissuunnassa kaavalla:

$$m_{y,Ed} = 0,9 p_{\ell d} \cdot L$$

(35)



KUVA 55 Viivakuorman aiheuttama momentti

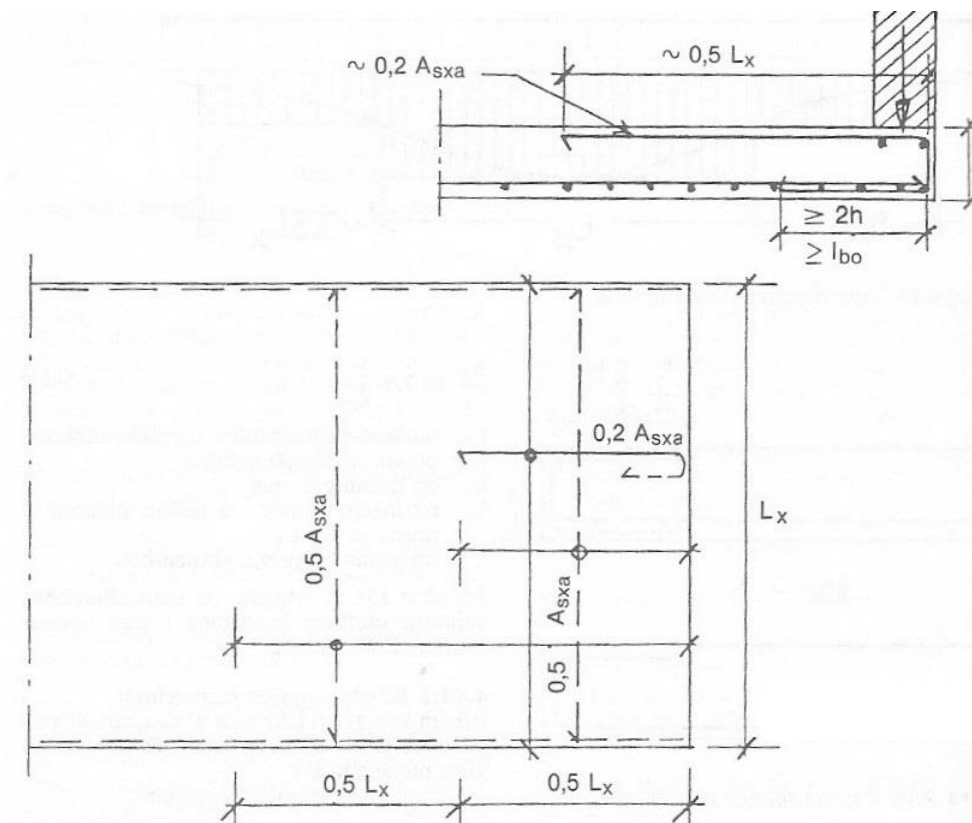


KUVA 56 Viivakuorman aiheuttama lisäraudoitus.

### Viivakuorma vapaalla reunalla

Viivakuorman sijaitessa laatan vapaalla reunalla, momenttia laskettaessa käytetään jakautumislevytenä  $b_{m,red} = 0,5L_x$ . Rautoitus KUVA 57 mukaan.

Mikäli viivakuormana on laatan yläpuolinen tiiliseinä, kuten KUVASSA 58, tulee seinän kaksi alinta saumaa rautoittaa esim. 2+2T8 rautoitteella. Tällöin seinä saadaan toimimaan palkkimaisesti laatan tukien välillä.



h

KUVA 57 Viivakuormasta aiheutuva rautoitus vapaalla reunalla [14 ,s414]



## Vapaa nurkka

Kahden vapaasti tuetun sivun yhtymäkohtaa laatan nurkassa kutsutaan vapaaksi nurkaksi. Nurkkaan syntyy laatan sivujen vääntömomenteista johtuva nostovoima  $H_{Ed}$ , joka pyrkii nostamaan nurkkaa. Tämä voidaan estää ankkuroimalla nurkka nostovoimalle  $H_{Ed}$ :

(36)

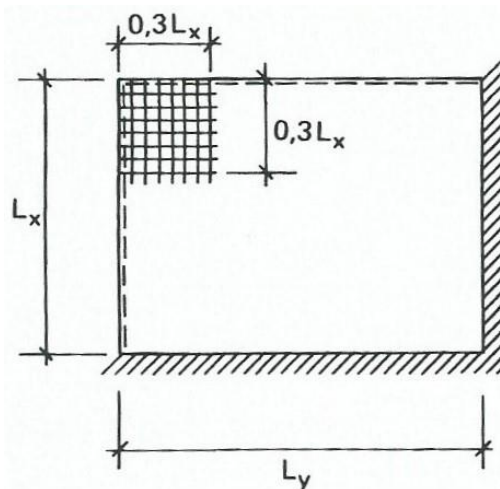
$$H_{Ed} = \frac{p_d L_x^2}{10} \sqrt{\frac{L_y}{L_x}}$$

, jossa  $p_d = g_d + q_d$

Ankkuroinnista aiheutuu vetoa yläpintaan laatan lävistäjää kohtisuoraan suuntaan, joka otetaan huomioon KUVA 58 mukaisella lisäraudoituksella momentille  $m_{rd}'$ :

(37)

$$m_{rd}' = \frac{p_d L_x L_y}{40}$$



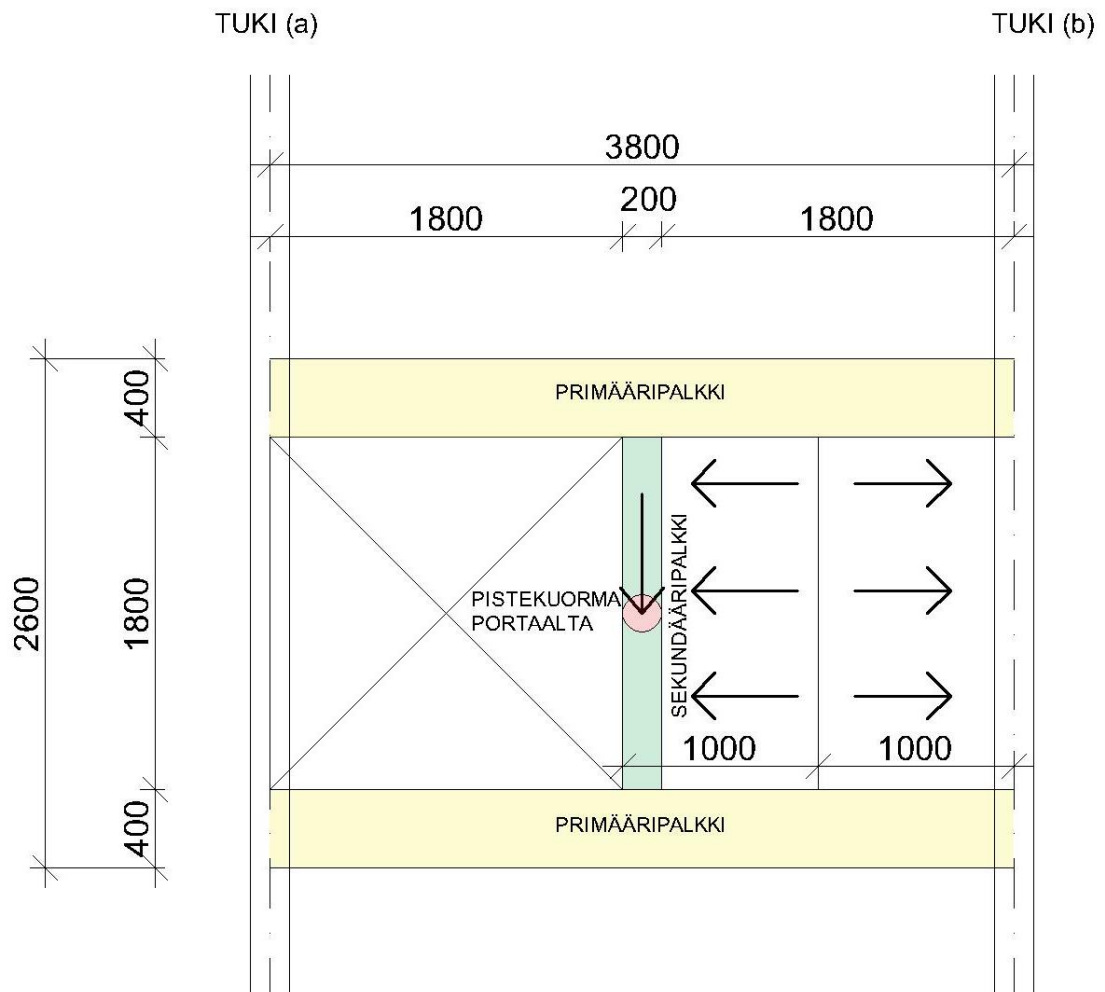
KUVA 58 Vapaan nurkan yläpinnan raudoitus [6 ,s322]

## 8 Laskuesimerkki: Porrasaukon palkkikaistojen kestävyys

Laskuesimerkkinä on kuvan mukainen porraskantava yhteen suuntaan kantava laatta, joka on toteutettu palkkikaistojen avulla. Primääripalkit siirtävät sekundääripalkin kuormat tuille. Sekundääripalkki ottaa portaan kuormat sekä laatalta tulevat kuormat, ja siirtää ne primääripalkille.

Porras tulee aukon sekundääripalkin puoleiselle reunalle. Portaan kuorma lasketaan pistemäisenä ja sen oletetaan sijaitsevan keskellä aukon reunaa. Puolet portaan painosta sekä hyötykuormasta oletetaan tulevan laatalle.

Esimerkin mukaisen rakenteen halkeamia ei tarvitse tarkastaa, koska halkeamat eivät aiheuta korroosiovaaraa tai muuta haittaa. Palkkikaistojen taipumat on laskettu FEM-Designilla kohdassa 8.3.



Laatan tiedot

Tilaluokka A (asuintila)

Jänneväli 3,8m

Laatan paksuus 220 mm

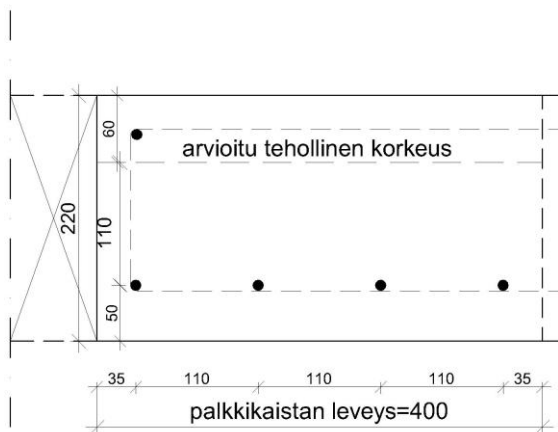
Betoniluokka C25/30-2

Betonin rasitusluokka X0

Teräs B500K

 $c_{nom}$  30mm**8.1 Laskuesimerkki: sekundääripalkki**

Kannattaa mitoitaa sekundääripalkki ensin, koska sen laskennassa saadut voimasuureet tulee ottaa huomioon primääripalkkia mitoitettaessa. Porrasvarauksesta johtuen täytyy palkin tehollista korkeutta pienentää. Lisäksi sekundääripalkin pääterästen tulee olla primääripalkin pääterästen päällä, josta johtuen tehollinen korkeus pienenee vielä lisää.

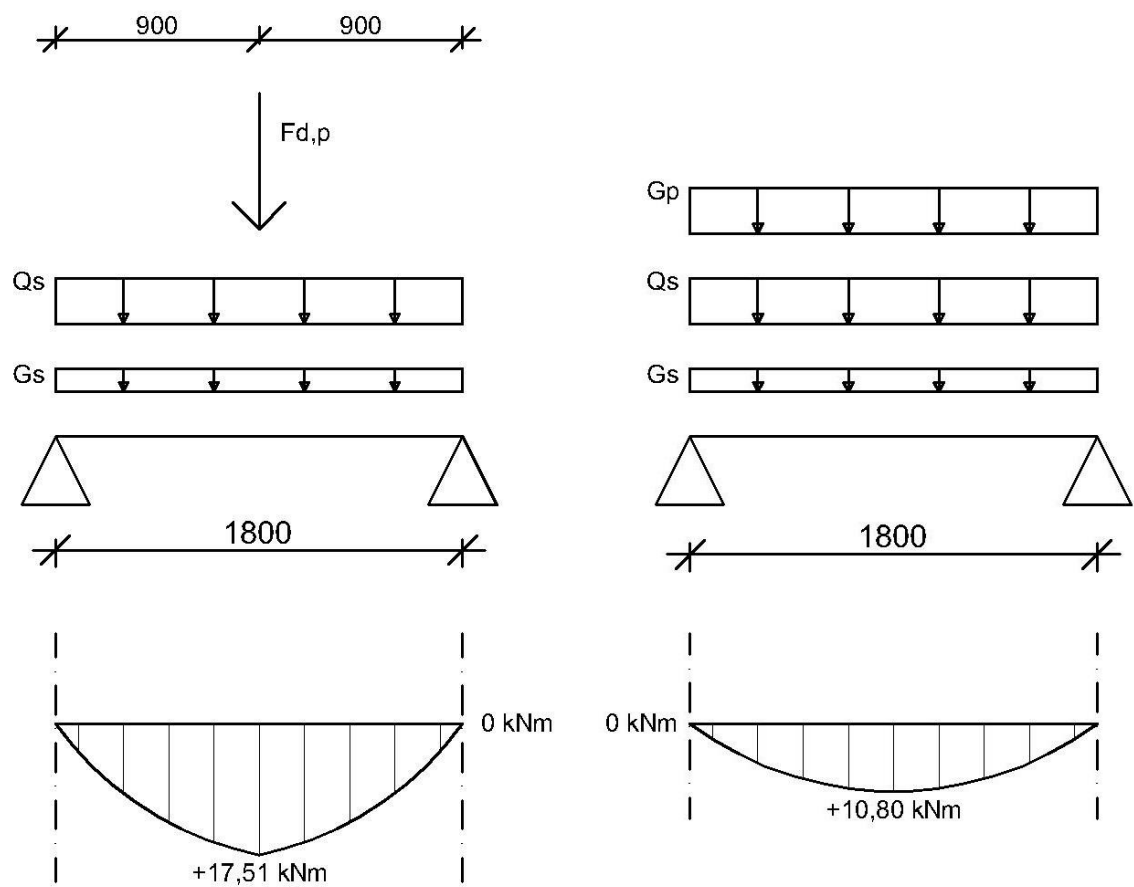


Korkeus	h	220mm
Leveys	b	200mm
Tehollinen kork. d	110mm	
Palkin jänneväli	L	1,8m
Betoniluokka		C25/30-2
$f_{cd}$		14,2 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$		500 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$		435 N/mm
$c_{nom}$		30mm
$p_d = Q_d + G_d$		10,65 kN/m

Kuorma portaalta  $F_{d,p}$  29,85 kN/m

Palkkikaistan momenttikuvio

Kuten alla olevista kuvioista nähdään, antaa pistekuorma melkein kaksi kertaa suuremman momentin maksimiarvon, joten käytetään sitä mitoitusmomenttina. Todellinen momentti on jotain niiden väliltä, mutta laskelmat kannattaa tehdä pahimman tapauksen mukaan.



KUVA 59 Sekundääripalkin momenttikuvio. Vasemmassa kuvassa porraskuorma oletettu pistemäiseksi ja oikeassa tasaiseksi.

#### Suhteellinen momentti $\mu$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17,51 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \cdot (110 \text{ mm})^2 \cdot 14,2 \text{ N/mm}^2} = 0,2554 \leq \mu_b = 0,358$$

#### Suhteellinen korkeus $\beta$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,2554} = 0,3005 \leq \beta_b = 0,467$$

#### Sisäinen momenttivarsi $z$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 110 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{0,3005}{2}\right) = 93 \text{ mm}$$

Pääraudoituksen pinta-ala  $A_s$ 

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{17,51 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{93 \text{ mm} \cdot 435 \text{ N/mm}^2} = 430,88 \text{ mm}^2$$

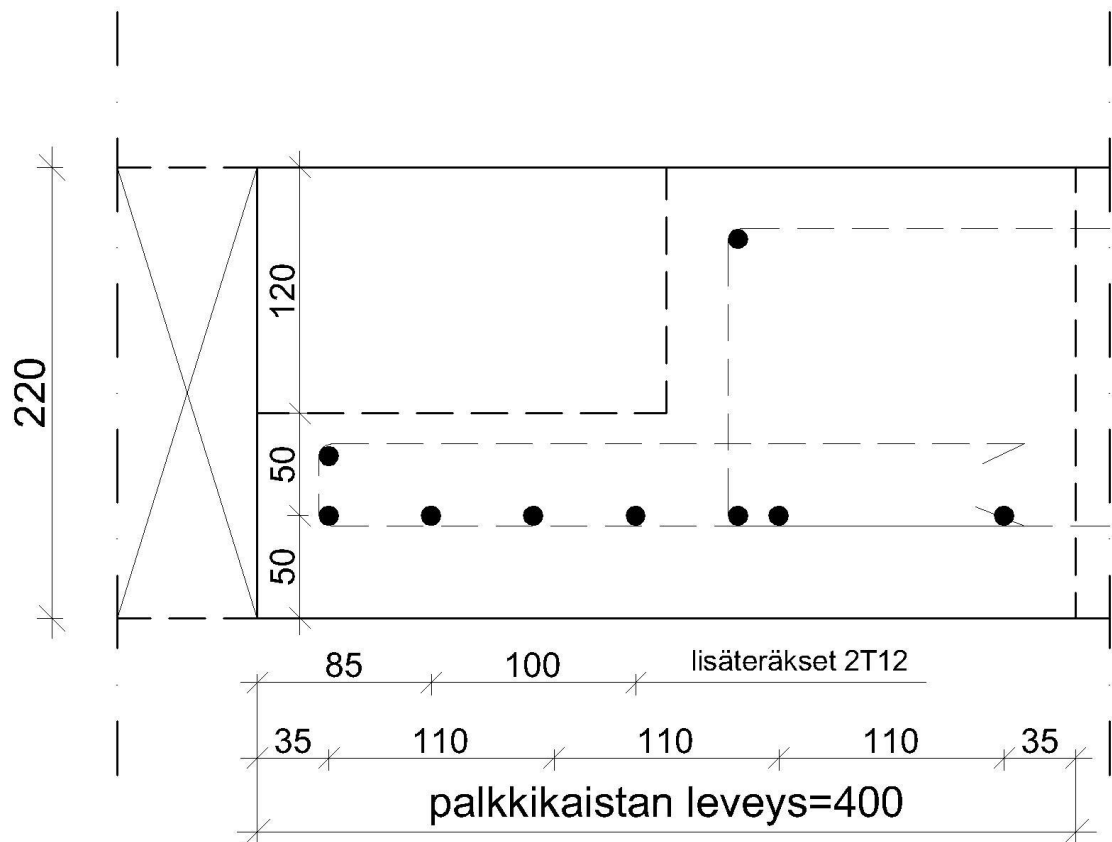
Vähimmäisraudoitus  $A_{s,min}$ 

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctk}}{f_{yk}} \cdot b \cdot h = 0,26 \cdot \frac{1,8 \text{ N/mm}^2}{500 \text{ N/mm}^2} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 110 \text{ mm}$$

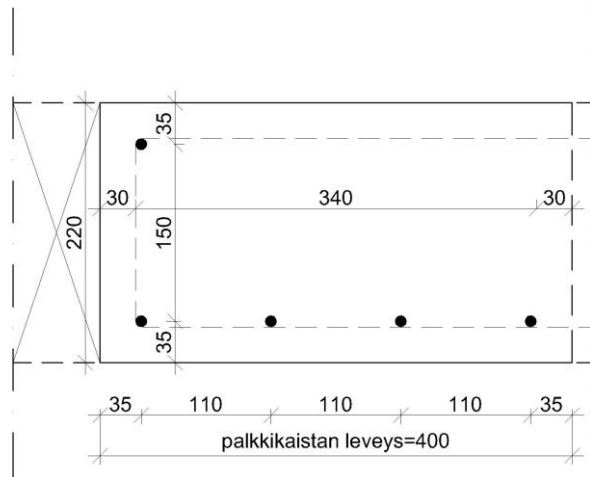
$$= 82,368 \text{ mm}^2 < 430,88 \text{ mm}^2 \text{ OK!}$$

⇒ Valitaan 4T12 (452,39 mm<sup>2</sup>)

Koska suurin momentti sijaitsee porrassarauksen kohdalla jossa tehollinen korkeus on todellisuudessa vieläkin pienempi, laitetaan sen alapuolelle koko palkin pituudelle vielä 2T12 lisäteräkset.



## 8.2 Laskuesimerkki: primääripalkki



$h$	220 mm
$b$	400 mm
$d$	190 mm
$L$	3,8 m
Betoniluokka	C25/30-2
$f_{cd}$	14,2 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	500 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	435 N/mm <sup>2</sup>
$c_{nom}$	30 mm
$p_d$	3,80 kN/m

Kuorma sekundääripalkilta  $F_{d,s}$  23,99 kN/m

### Maksimimomentti

$$M_{Ed} = \frac{p_d \cdot L^2}{8} + \frac{F_{d,s} \cdot L}{4} = 33,70 \text{ kNm}$$

### Suhteellinen momentti $\mu$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{33,70 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \cdot (190 \text{ mm})^2 \cdot 14,2 \text{ N/mm}^2} = 0,1647 \leq \mu_b = 0,358$$

### Suhteellinen korkeus $\beta$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1647} = 0,1812 \leq \beta_b = 0,467$$

### Sisäinen momenttivarsi $z$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 190 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{0,1812}{2}\right) = 173 \text{ mm}$$

### Pääraudoituksen pinta-ala $A_s$

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{33,70 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{173 \text{ mm} \cdot 435 \text{ N/mm}^2} = 448,60 \text{ mm}^2$$

### Vähimmäisraudoitus $A_{s,min}$

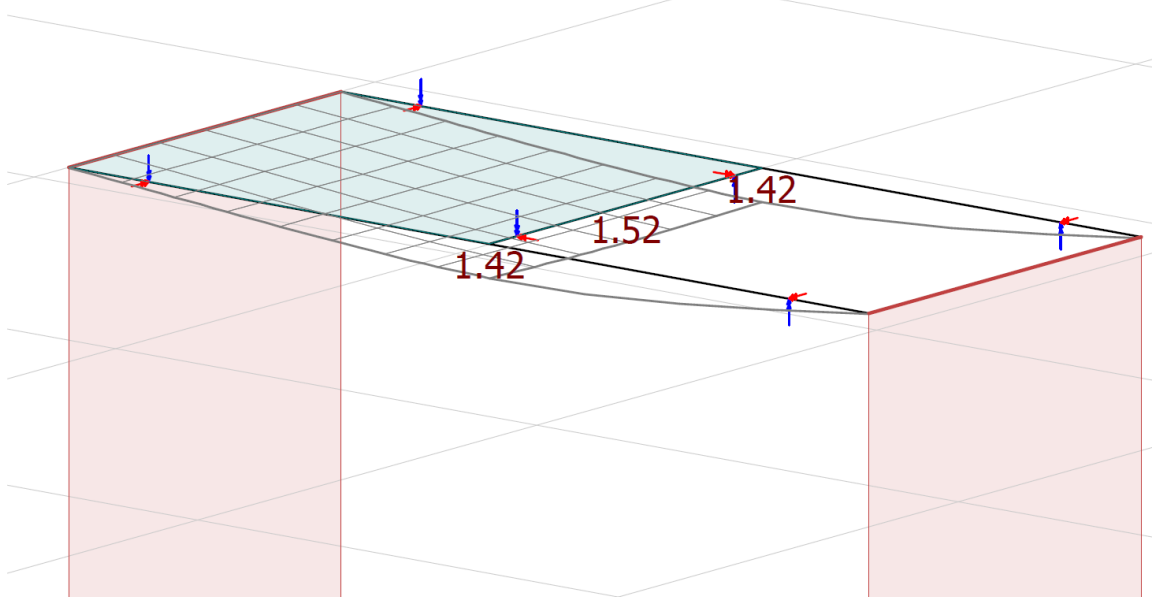
$$\begin{aligned} A_{s,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctk}}{f_{yk}} \cdot b \cdot h = 0,26 \cdot \frac{1,8 \text{ N/mm}^2}{500 \text{ N/mm}^2} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 220 \text{ mm} \\ &= 82,368 \text{ mm}^2 < 448,60 \text{ mm}^2 \text{ OK!} \end{aligned}$$

⇒ Valitaan 4T12 (452,39 mm<sup>2</sup>)

### 8.3 Laskuesimerkki: Palkkikaistojen taipumat (FEM-Design)

Alla olevasta kuvasta nähdään primääripalkkien taipuman olevan 1,42 mm ja sekundääripalkin taipuman 1,52 mm. Suurin sallittu taipuma primääripalkille on  $\frac{L}{250} = \frac{3800 \text{ mm}}{250} = 15,2 \text{ mm} > 1,42 \text{ mm}$  ja sekundääripalkille  $\frac{L}{250} = \frac{1800 \text{ mm}}{250} = 7,2 \text{ mm} > 1,52 \text{ mm}$ . Taipumat ovat siis sallituissa rajoissa.

Eurocode (NA: Finnish) code: 1st order theory - Load combinations - omapaino + portaan paino + hyötykuorma + portaan hyötykuorma - Displacements - Graph - [mm]



## 9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on antaa lukijalle tietoa massiivilaatan toiminnasta ja mitoituksista, sekä porraskorokkeen ja portaan vaikutuksesta massiivilaattaan. Suunnittellessa laattaa on tärkeää tietää aukon vaikutuksista sekä yhteen suuntaan- että ristiin kantaviin laattoihin. Tämä siltikin, vaikka käytettäisiin mitoitusohjelmia. Työssä on keskitytty suurten reikien vaikutukseen ja niistä aiheutumiin ongelmiin, ja niiden toteutustavoista laatan kantavuuden ja hyvän tavan mukaisen rakentamisen suhteen.

Yhteen suuntaan kantavan laatan taivutus- ja leikkausmitoitus myös käsin onnistuu helposti mitoittamalla se vetoraudoitettuna poikkileikkauksena palkin tavoin. Palkkikaistojen taivutusmitoitus onnistuu samalla periaatteella.

Ristiin kantavan laatan mitoitukseseen on esitetty erilaisia tapoja, joista olennaisimmat porraskorokkeen tapauksessa ovat kaistamenetelmä ja myötöviivamenetelmä, sekä siihen perustuva Massiva Betongplattor–menetelmä. Esimerkiksi myötöviivateorian avulla saa helposti käsityksen mistä kohdissa laatan halkeama useimmiten tapahtuu.

Taipumalaskennassa järkevin tapa saada otettua porraskorokkeen vaikutukset huomioon, on käyttää laskentaohjelmaa, kuten FEM-designia.

Alun perin tässä työssä oli tarkoitus olla mukana myös kokeellinen osuus, jossa olisi kuormitettu esimerkkitehtävän mukaista aukollista laattaa. Opinnäytetyön pohjalta voitaisiin joku myöhemmin halutessaan tehdä esimerkkien mukaisen koelaatan, jonka kestävyyttä voidaan testata laboratoriossa. Kokeessa voisi testata esimerkiksi palkkikaistojen taivutuskestävyyttä sekä laatan kokonaistaipumaa. Mielenkiintoista voisi olla myös se, että koitettaisiin saada laatan leikkauskestävyys jollain tavalla ylitettyä aukon reunalla palkkikaistassa.

Tämä työ tarjoaa aukollisen laatan ymmärtämiselle ja perustapauksien mitoitukselle hyvän pohjan henkilöhyötykuormilla, kuormituksen ollessa tasaista, ja rasitusolosuhteiden ollessa sisätiloissa maltilliset.



## LÄHTEET

1. Suomen betoniyhdistys r.y. by211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2
2. RUDUS OY ELEMENTO – PORRASELEMENTIT – SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT. <http://www.rudus.fi>
3. Autodesk Revit Structure. <https://revitstructureblog.files.wordpress.com>
4. Oikarinen, O. 2015. MYÖTÖVIIVAMENETELMÄ AUKOLLISEN TERÄSBETONILAATAN MITOITUKSESSA
5. RT kortisto. RT 38628 – HB-portaat
6. Saarinen, E. by202 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2
7. Paavonen, P. 2013. ASUINKERROSTALON RAKENNESUUNNITTELU
8. Sainio, O. by203 Betonirakenteiden perusteiden oppikirja
9. Suomen betoniyhdistys r.y. 2008. by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus
10. RT kortisto. RT 88-11019 - KAITEET JA KÄSIJOHTEET
11. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2005. Betoninormit B4
12. Saarinen E. by202 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 3
13. Niemi, J. 2014. Teräsbetonirakenteiden mitoitus eurokoodien mukaan
14. Rakentajain kalenteri 1989 osa 1
15. Rakentajain kalenteri 1982
16. Saarinen, E. by202 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1

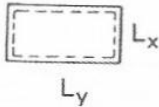
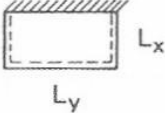

17. Suomen betoniyhdistys r.y. by211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1

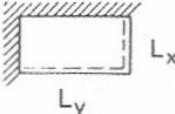
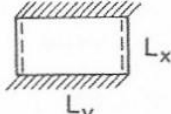
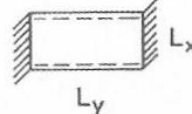
18. Tampereen teknillinen yliopisto. 2009. Teräsbetonirakenteet – luentomateriaali

## LIITTEET

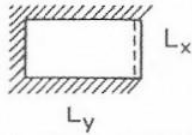
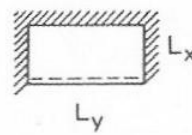
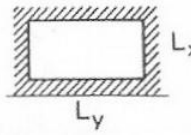
Liite 1. MBP-menetelmän mukaisten momenttikerrointen mitoituslaskut [1 s. 207,208]

1 (2)

Tuenta- tapaus	1		2			3		
								
$\frac{L_y}{L_x}$	$a_{yf}$ (1)	$a_{xf}$ (2)	$a_{xs}$ (3)	$a_{yf}$ (4)	$a_{xf}$ (5)	$a_{ys}$ (6)	$a_{yf}$ (7)	$a_{xf}$ (8)
1,0	0,0555	0,0555	0,0575	0,0368	0,0429	0,0575	0,0429	0,0368
1,1	564	628	626	364	471	632	456	435
1,2	564	694	672	355	505	684	472	494
1,3	555	754	714	343	536	728	480	548
1,4	542	807	752	331	560	761	478	597
1,5	526	854	786	320	577	786	469	643
1,6	508	894	816	310	592	800	456	686
1,7	492	928	842	301	602	807	442	726
1,8	478	958	864	293	610	807	430	762
1,9	469	982	884	286	620	804	426	796
2,0	464	996	900	280	632	800	426	828
$\infty$		1250	1250		704			

Tuenta- tapaus	4				5			6		
										
$\frac{L_y}{L_x}$	$a_{ys}$ (9)	$a_{xs}$ (10)	$a_{yf}$ (11)	$a_{xf}$ (12)	$a_{xs}$ (13)	$a_{yf}$ (14)	$a_{xf}$ (15)	$a_{ys}$ (16)	$a_{yf}$ (17)	$a_{xf}$ (18)
1,0	0,0415	0,0415	0,0314	0,0314	0,0479	0,0232	0,0310	0,0479	0,0310	0,0232
1,1	440	470	317	357	510	224	330	536	339	276
1,2	462	522	316	392	537	217	347	588	364	322
1,3	479	571	311	422	558	211	361	635	383	369
1,4	492	617	304	448	577	206	374	673	397	417
1,5	503	661	294	471	594	201	385	703	405	465
1,6	511	702	283	489	609	196	394	729	409	511
1,7	517	740	272	505	622	190	400	751	409	555
1,8	520	775	261	516	635	184	405	770	405	595
1,9	521	808	253	529	648	177	409	785	397	631
2,0	520	840	250	538	660	168	414	790	388	664
$\infty$					833		417			

2 (2)

Tuenta- tapaus	7				8				9			
												
$\frac{L_y}{L_x}$	$a_{ys}$ (19)	$a_{xs}$ (20)	$a_{yf}$ (21)	$a_{xf}$ (22)	$a_{ys}$ (23)	$a_{xs}$ (24)	$a_{yf}$ (25)	$a_{xf}$ (26)	$a_{ys}$ (27)	$a_{xs}$ (28)	$a_{yf}$ (29)	$a_{xf}$ (30)
1,0	0,0308	0,0367	0,0212	0,0247	0,0367	0,0308	0,0247	0,0212	0,0292	0,0292	0,0167	0,0167
1,1	311	406	206	268	396	367	258	247	300	337	168	194
1,2	314	441	201	288	420	424	265	280	305	378	168	214
1,3	316	473	196	305	440	477	268	310	308	414	167	231
1,4	318	500	190	320	454	529	268	336	310	445	164	246
1,5	319	525	184	332	465	579	264	360	310	470	160	259
1,6	320	546	179	342	473	628	258	379	310	491	156	272
1,7	320	565	175	350	480	675	250	396	310	509	152	284
1,8	320	580	171	358	487	718	241	410	310	525	148	294
1,9	320	591	167	365	494	760	230	422	310	543	146	303
2,0	320	600	162	370	500	800	224	430	310	560	146	310