

Eppu Luokkanen

## **KUORILAATASTON PINTALAATAN SUUNNITTELUOHJE**

# KUORILAATASTON PINTALAATAN SUUNNITTELUOHJE

Eppu Luokkanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä(t): Eppu Luokkanen  
Opinnäytetyön nimi: Kuorilaataston pintalaatan suunnitteluohje  
Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Designing instructions for shell slab surface slab  
Työn ohjaaja(t): Antti Ukonmaanaho ja Jonna Polvi  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023  
Sivumäärä: esim. 38 + 1 liitettä

---

Kuorilaattarakennetta käytetään teollisuusrakentamisessa paljon hyödyksi sen suuren kantokykynsä vuoksi. Kuorilaattaelementit suunnitellaan yleensä käytettäväksi jälkeenpäin valettavan pintalaatan kanssa liittorakenteena. Kuorilaattojen käyttö nopeuttaa ja sujuvoittaa työvaiheita erityisesti korkealle rakennettaessa, kun erillistä muotitustyötä ei tarvita. Kuorilaattarakenteen suunnittelusta on tarjolla harmittavan vähän aineistoa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä ja nopeakäyttöinen ohje sekä mallipiirustukset kuorilaattarakenteen pintalaatan suunnitteluun. Työssä perehdyttiin kuorilaataston pintalaattaan tulevaan raudoitukseen sekä kuorilaattarakenteen rakennepaksuuksien esivalintaan vaikuttaviin tekijöihin. Työssä selvitettiin erilaisten epäjatkuvuuskohtien vaikutusta tarvittavaan laattapaksuuteen sekä pintalaattaan tulevaa raudoitusta käyttö- ja onnettomuusrajatilassa. Lopuksi aineistosta kaadattiin yksi selkeä ohje, jonka avulla rakennesuunnittelijan on helppo seurata suunnittelutyön edessä.

Opinnäytetyön tuloksena saatu ohje tuli AFRY Finland Oy:n rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Ohje nopeuttaa pintalaattaan sijoitettavien rautojen suunnittelua, sillä kaikki laskentakaavat ovat saatavilla samassa dokumentissa. Ohjeen avulla myös ensikertalaisen on mahdollista suunnitella kuorilaataston pintalaatta sujuvasti.

---

Asiasanat: Kuorilaatta, pintalaatta, laattaelementti, rakennesuunnittelu, pintavalu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Structural Engineering

---

Author(s): Eppu Luokkanen  
Title of thesis: Designing Instructions for Shell Slab Surface Slab  
Supervisor(s): Antti Ukonmaanaho and Jonna Polvi  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023  
Number of pages: 38 + 1 appendix

---

A shell slab structure is often used in industrial construction due to its high load bearing capacity. Shell slab elements are usually designed to be used with a cast-in-place surface slab to act as a composite structure. The use of shell slab elements speeds up the work steps, especially when building at a high altitude because a separate moulding work is not required. There is very little material available of the shell slab structure, which is why this topic was chosen as the subject of the thesis.

The goal of the thesis was to create a clear and quick to use instructions, as well as model drawings for the design of a shell slab structure. The work involved the reinforcement of the shell slab surface slab and factors affecting the pre-selection of the structural thicknesses of the shell slab structure. The work investigated the impact of various discontinuity points on the required slab capacity and the reinforcement of a surface slab in the operational and accident limit mode. Finally, a clear instruction was compiled from the material of the thesis, which makes it easy for a structural engineer to follow in the design process.

The instruction obtained as a result of the thesis was made available for the structural engineers of AFRY Finland Ltd. The instruction accelerated the design of reinforcement to be placed on the surface slab, as all calculation formulas are available in the same document. The instruction also makes it possible for a first-timer to design the surface slab smoothly.

---

Keywords: Precast shell slab, surface slab, slab element, structural design

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KUORILAATTA.....	7
2.1	Kuorilaattojen valmistus.....	7
2.2	Kuorilaattarakenteen toimintaperiaate .....	8
2.3	Käyttökohteet .....	9
3	KUORILAATASTON SUUNNITTELUPERUSTEET .....	11
3.1	Kuorilaataston aukot.....	12
3.2	Kuormitukset .....	13
3.3	Palonkestävyys.....	14
3.4	Työnaikainen tuenta .....	14
4	PINTALAATAN SUUNNITTELU .....	16
4.1	Laatastoa kiertävä rengasraudoitus.....	16
4.2	Onnettomuustilanteiden vaatima raudoitus tuilla .....	19
4.3	Pintalaatan raudoitus tuella .....	21
4.3.1	Tukimomentti.....	21
4.3.2	Halkeilua jakava raudoitus .....	22
4.4	Aukkojen vaatima raudoitus .....	25
4.5	Kuormia jakava raudoitus.....	28
4.6	Vähimmäisraudoitus pintalaatan kutistumaa vastaan.....	33
5	OHJEEN JA ESIMERKKILASKENNAN LAATIMINEN .....	34
5.1	Suunnitteluohjeen tekeminen.....	34
5.2	Esimerkkitapauksen suunnittelu .....	34
6	YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET.....	37

Liite 1 Esimerkkilaskelma

# 1 JOHDANTO

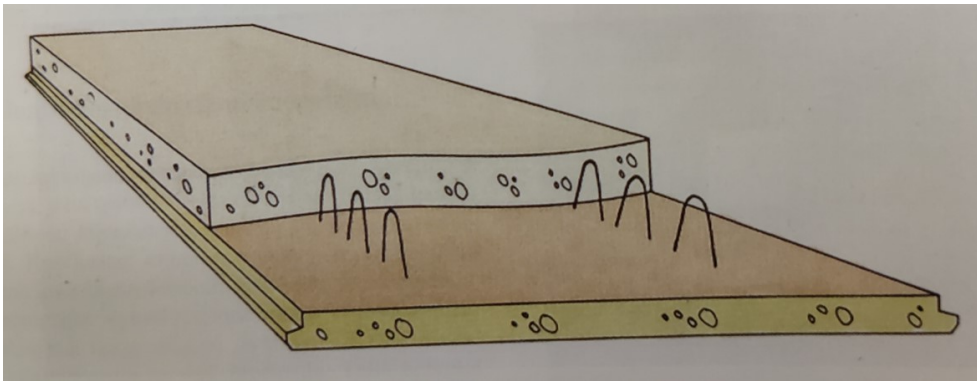
Betonirakenteisia välipohjia voidaan rakentaa työmaalla kokonaan paikallavaluna tai hyödyntämällä valmisosarakentamisen ratkaisuja, kuten kuorilaattoja. Kuorilaatta on esijännitetty elementtilaatta, joka toimii päälle valettavan laatan kanssa liittorakenteen tavoin. Tätä rakennetyyppiä käytetään paljon muun muassa teollisuusrakentamisessa suuren kantokykynsä vuoksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda rakennesuunnittelijan työtä helpottava ja nopeuttava kuorilaattarakenteen suunnitteluohje, joka noudattaa elementti- ja betonirakentamisen standardeja. Työssä perehdytään rakenteen käytännön toteuttamiseen, suunnitteluun sekä rakenteen ominaisuuksiin. Opinnäytetyö rajataan koskemaan ainoastaan kuorilaattarakenteen pintalaattaa ja sen raudoitusta välipohjarakenteessa, mutta työssä tarkastellaan kuitenkin myös itse kuorilaattojen geometriaa.

Työn tilaajana toimii AFRY Finland Oy. AFRY on yksi suurimmista suomessa toimivista kansainvälisistä suunnittelu- ja konsultointiyrityksistä, jonka toiminta käsittää pääasiassa energia-, teollisuus- ja infratoimialojen hankkeet. AFRYllä on suomessa noin 2 800 asiantuntijaa ja globaalisti noin 19 000 työntekijää 50 eri maassa.

## 2 KUORILAATTA

Kuorilaatta on esivalmistettu umpilaattaelementti, jonka tyypillinen leveys kaventamattomana on 1200 mm. Kuorilaattaelementit ovat yhteen suuntaan kantavia jännitettyjä rakenneosia, joita voidaan käyttää sekä yksinkertaisesti tuettuna että jatkuvana rakenteena yhdessä pintalaatan kanssa. Kuorilaatan paksuuteen vaikuttavat merkittävästi laatan jänneväli sekä sille tulevat kuormitukset. Kuorilaatan paksuus vaihtelee yleensä välillä 100 ... 150 mm. Tavallisesti kuorilaataston päälle tehdään myös pintalaatta, jonka paksuus on minimissään 100 mm. Tuolloin kuorilaattarakenteen kokonaispaksuus on vähintään 200 mm. Yhdessä pintalaatan kanssa kuorilaattarakenne toimii liittorakenteen tavoin. (Kuva 1.) (1, s. 260.)



KUVA 1. Kuorilaatta ja pintavalu (2, s. 17)

### 2.1 Kuorilaattojen valmistus

Kuorilaatta valmistetaan ontelolaatan tavoin massiivisena esijännitettynä elementtilaattana. Valupedille asetellaan tarvittavat jänneteräkset sekä ansaat. Jänneteräkset jännitetään hydraulisesti ja kuorilaatta valetaan yhtenäisenä pitkälle valupedille kiskoilla liikkuvan muotin läpi (kuva 2). Betonin kovettua kuorilaatat sahataan tilaajan antamien mittojen mukaan ja varastoidaan. Kuorilaatta voidaan valmistaa myös raudoitettuna, mutta teollisuusrakentamisessa esijännitettyjen käyttö on huomattavasti yleisempää suurista kuormituksista johtuen. (3; 4.)



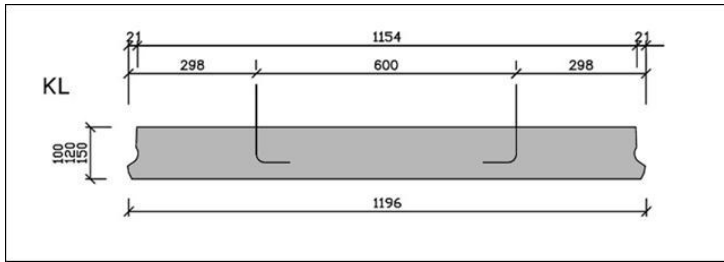
KUVA 2. Elematic Slipformer P7 -liukuvalukone (5)

Vähimmäisvaatimus kuorilaatoissa käytettävälle betonille on C25/30 raudoitetuissa kuorilaatoissa ja C30/37 esijännitetyissä. Tämän lisäksi on huolehdittava siitä, että kuorilaattojen betonin lieriölujuus on toimitusajankohdalla vähintään 15 MPa raudoitetuille ja 20 MPa esijännitetyille laatoille. Valmistusprosessin aikana noudatetaan tarkasti standardin SFS-EN 13747 mukaisia testausmenetelmiä. (6, s. 15.)

## 2.2 Kuorilaattarakenteen toimintaperiaate

Kuorilaatta on yhteen suuntaan kantava rakenne, joka toimii yhdessä päälle valettavan pintalaatan kanssa samoin kuin muutkin liittolaattarakenteet, kuten esimerkiksi betoni-teräs-liittolaatat. Liittolaattojen toiminta perustuu kahden rakenneosan väliseen leikkauskestävyyteen, joka kuorilaattojen kohdalla varmistetaan joko kuorilaattaan asennettavilla ansailla tai profiloidulla yläpinnalla (kuva 3). Mikäli kuorilaatassa ei ole ansaita, tulee leikkausliitos paikallavalun ja kuorilaatan välillä tarkastaa kimmoteorian mukaista leikkausvuota käyttäen. (1, s. 260.)





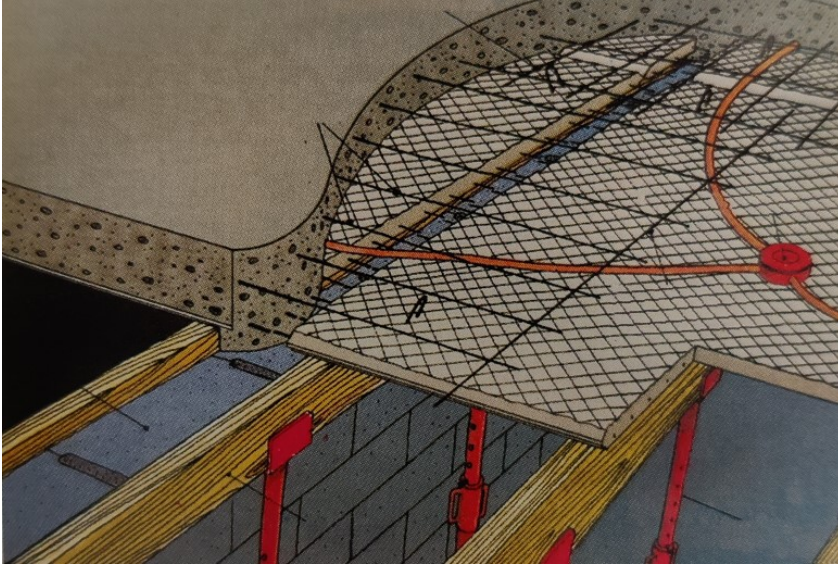
KUVA 3. Ansailta varustetun kuorilaatan poikkileikkaus (7)

Kuorilaattaelementti sisältää mahdollisten ansaiden lisäksi pituussuuntaiset jänneteräkset, jotka toimivat koko liittorakenteen pääraudoituksena korvaten rakenteen pääraudat laattojen pituussuunnassa. Jänneteräkset suunnitellaan kestävämmän valmiille rakenteelle syntyvät mitoituskuormitukset. Pintalaatta toimii rakenteen puristusosana ja sen vähimmäisvaatimuksena on poikittainen jakoraidoitus, joka jakaa piste sekä viivakuormien vaikutusalaa ja estää kutistumien vaikutuksia. (1, s. 260.)

### 2.3 Käyttökohteet

Kuorilaatta soveltuu käytettäväksi ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa. Kuorilaatasta voidaan tehdä erilaisia teräs-betoni- ja betoni-betoni-yhdistelmä rakenteita, eivätkä kuorilaatan mitat ole riippuvaisia elementtien tai kaluston moduulimitoista, vaan kuorilaattaa voidaan muotoilla lähes mielivaltaisesti. Tämä tekee kuorilaatasta erittäin joustavan suunnittelun kannalta. Kuorilaattarakenteella voidaan myös saavuttaa helposti massiivista teräsbetoni laattaa vastaavat palonkesto- ja äänieristysominaisuudet. Tämän lisäksi kuorilaattarakente pystyy kestävämmän suuriakin pinta- ja pistekuormituksia, mikä mahdollistaa kuorilaatan käytön kaikessa rakentamisessa asuinrakennuksista teollisuuden varastoihin. (2, s. 17.)

Asuin- ja toimitilarakennuksissa kuorilaatan käytöstä koituvia hyötyjä ovat ennen kaikkea sen palonkesto- ja ääneneristysominaisuudet sekä myöhemmin valettavan pintalaatan mahdollistama LVIS-asennuksien helppous (kuva 4). Usein kuorilaattoja käytetäänkin ontelolaattojen sijasta märkätilojen kohdalla. Kuorilaattarakenteella on mahdollista toteuttaa myös isoja välipohjan aukkoja tai ulokerakenteita. Kuorilaattojen käyttö yhdessä pilari-palkkijärjestelmän kanssa antaa reilusti joustavuutta rakennuksen suunnitteluun. (2, s. 21–25.)



*KUVA 4. LVIS-tarvikkeita pintalaatassa. Lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja sähkölinjoja voidaan vapaasti sijoittaa pintalaatan sisään (2, s. 23)*

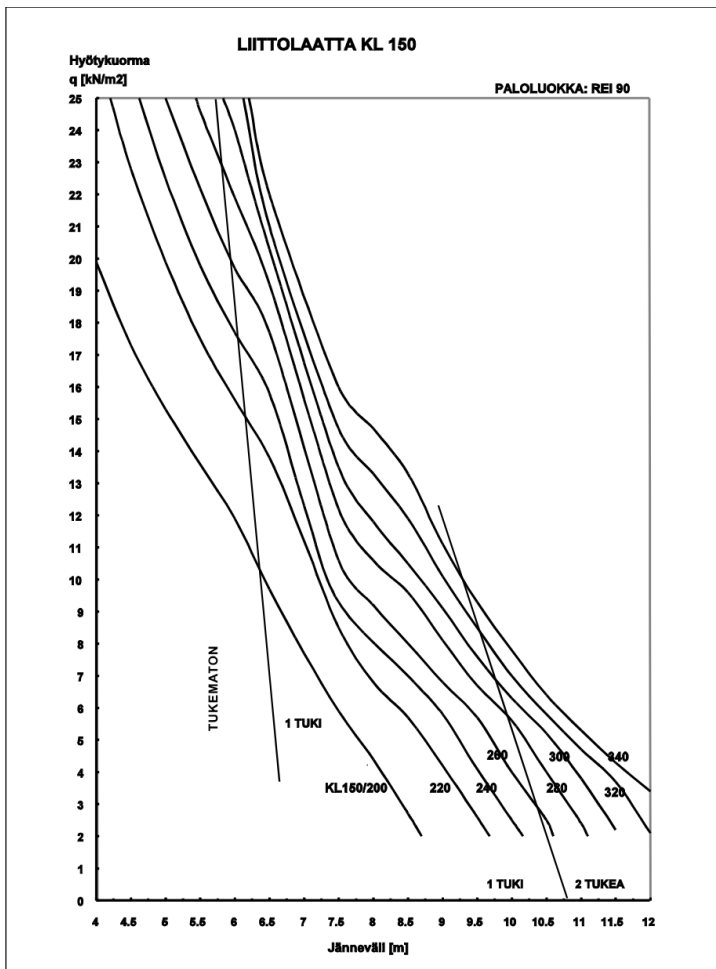
Pysäköintihalleissa kuorilaattaa käytetään useasti yhdessä liittopalkkien kanssa kaksinkertaisena liittorakenteena. Kuorilaatat yhdessä pintalaatan kanssa kantavat kuormitukset kuorilaattojen pituussuunnassa ja palkit toisessa suunnassa. Tämä mahdollistaa pitkät jännevälit ja harvan pilari- jaon, jolloin pysäköintihalliin saadaan riittävästi tilaa paikoitukselle. (2, s. 31; 8.)

Teollisuus- ja varastorakennuksia suunniteltaessa puhutaan yleensä myös suurista kuormista. Tällaisissa kohteissa runkorakenteena käytetään pääsääntöisesti pilari-palkkijärjestelmää, jonka avulla kyetään toteuttamaan avarat ja suuria kuormituksia kestävät rakenteet. Runkomateriaalina käytetään pääsääntöisesti betonia tai terästä ja kuorilaatta soveltuu käytettäväksi molempien kanssa. Kuorilaatta soveltuu teollisuus- ja varastokohteisiin erityisen hyvin sen suuren kestävyytensä vuoksi. Kuorilaattavälipohja voidaan helposti suunnitella kestäväksi muun muassa suurilla piste- ja tasokuormilla pitkilläkin jänneväleillä. (2, s. 33.)

### 3 KUORILAATASTON SUUNNITTELUPERUSTEET

Rakennuskohteen päärakennesuunnittelija suunnittelee kuorilaattojen geometrian ja tekee alustavan rakennepaksuuksien valinnan käyttäen kuorilaattatoimittajan mukaista kantavuuskäyrästä (kuva 5). Rakennepaksuuksia valittaessa oleellimmat huomioitavat asiat ovat laataston kuormitukset, jännevälit, mahdolliset aukot sekä palo- ja rasitusluokat.

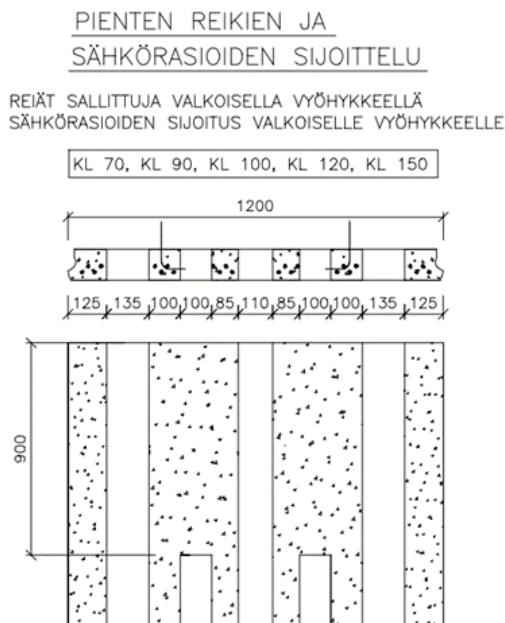
Rakennesuunnittelija toimittaa kuorilaattojen valmistajalle mitoitettua laattakaavioita kuormituksineen, yksittäisten laattojen mitta- ja varauspiirustukset sekä pintalaatan rakennepiirustukset. Kuorilaattaelementtien toimittaja mitoittaa kuorilaatat toimitettujen dokumenttien perusteella. Tässä opinnäytetyössä perehdytään kuorilaattojen osalta ainoastaan niiden alustavaan suunnitteluun. (9, s. 3.)



KUVA 5. Parma Consolis KL 150 esivalintakäyrästä (9, s. 10)

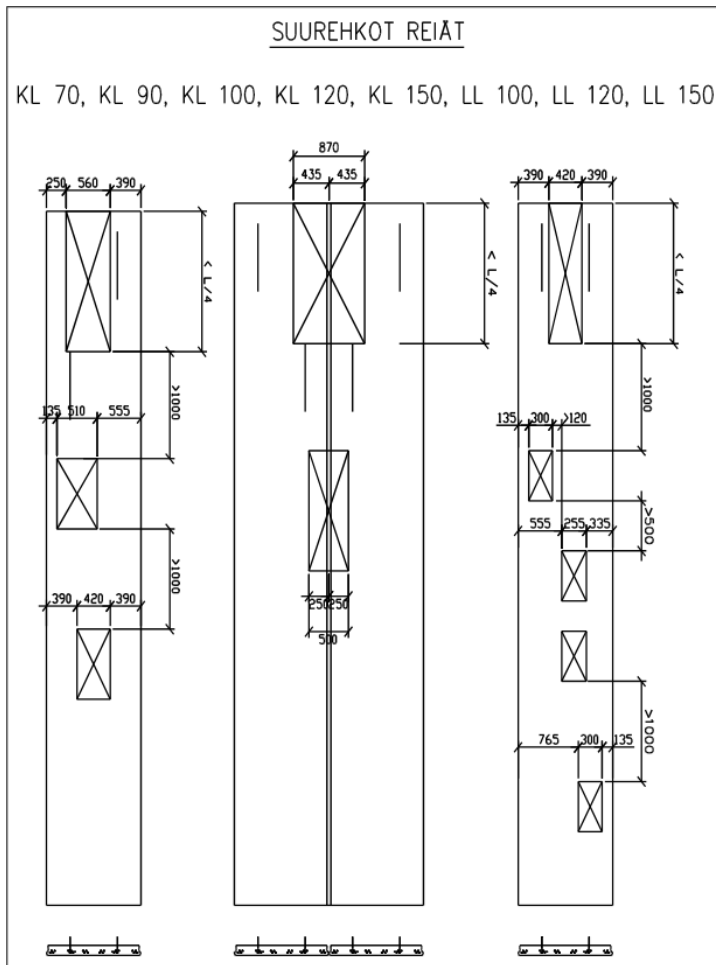
### 3.1 Kuorilaataston aukot

Kuorilaattarakenne ei ole geometrialtaan kovinkaan rajattu, vaan sitä pystytään esimerkiksi reiittämään hyvin vapaasti. Yleisesti ottaen kuorilaatatot pitäisi suunnitella niin, että aukot eivät katkaise laataston jännepunoksia, sillä tuolloin aukot eivät vaikuta laataston kantokykyyn lainkaan. Tällaisia reikiä ovat esimerkiksi sähkö- tai vesiputkien vaatimat pienet reiät, jotka voidaan sijoitella kuvan 6 mukaisesti. Usein varsinkin teollisuuskohteissa aukot ovat kuitenkin kohtuullisen suuria, jolloin ne katkaisevat väistämättä kuorilaattojen jännepunoksia. Aina, kun laatan jännepunoksia tai ansaita katkaistaan, laataston kantokyky alenee ja kokonaispaksuutta on tarvittaessa kasvatettava. (9, s. 20.)



KUVA 6. Pienten reikien suositeltu sijoittelu kuorilaattaan (9, s. 22)

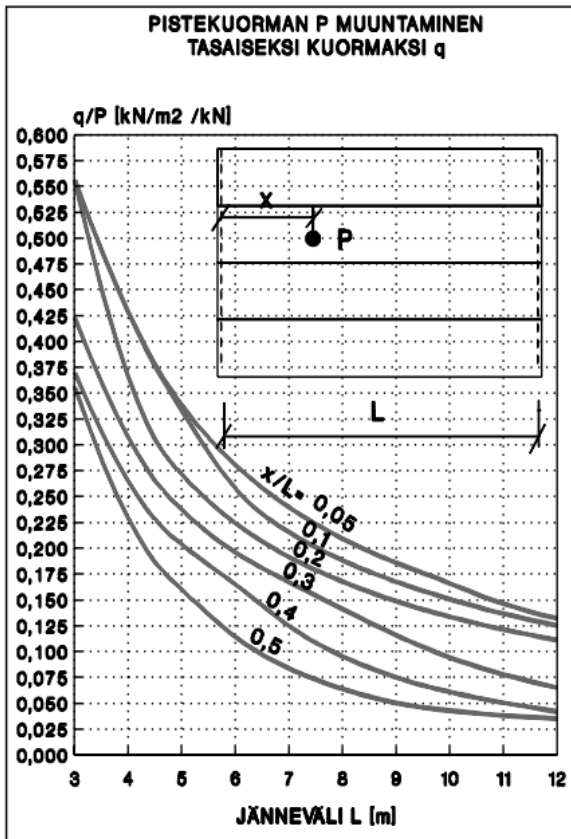
Suurehkon reiän katkaistessa jänneteräksiä siirtyy oletuksena laataston paino ja hyötykuorma reiän levyiseltä alueelta viereisille 2,4 metrin levyisille kaistoille. Suurehkon reiän rajaukset löytyvät kuvasta 7. Reiän viereiset kaistat siten mitoitetaan omien kuormien lisäksi reiän leveydeltä siirtyneille omapainolle ja hyötykuormalle. Jotta kuorman siirtyminen reiän viereisille kaistoille voidaan varmistaa, tulee reikä joko sahata pintavalun kovettumisen jälkeen tai reiällinen elementti tukea asennusohjeen mukaisesti reiän viereltä. Suurehkojen reikien kanssa on mahdollista saavuttaa ehjän laataston kantokyky pintalaattaan mitoitettavien pieliterästen kanssa. (9, s. 21.)



KUVA 7. Suurehkojen reikien suositeltu sijoittelu kuorilaatastoon (9, s. 23)

### 3.2 Kuormitukset

Kuten reiän kohdalla olevat kuormitukset, myös viiva- ja pistekuormien oletetaan jakautuvan tasaisesti kuormituskohdan ympärille. Piste- ja viivakuorma voidaan muuntaa tasaiseksi kuormaksi, joka aiheuttaa yhtä suuret rasitukset kuin alkuperäinen kuormitus. Alustavassa laattapaksuuden mitoituksessa voidaan pistekuorma muuttaa tasaiseksi kuormitukseksi kuvan 8 perusteella. Mikäli kuorma sijaitsee laataston reunalla, tulee q/P-kuvaajan arvo kertoa kahdella. (9, s. 25.)



KUVA 8. pistekuorman muuntaminen tasaiseksi kuormaksi (9, s. 26)

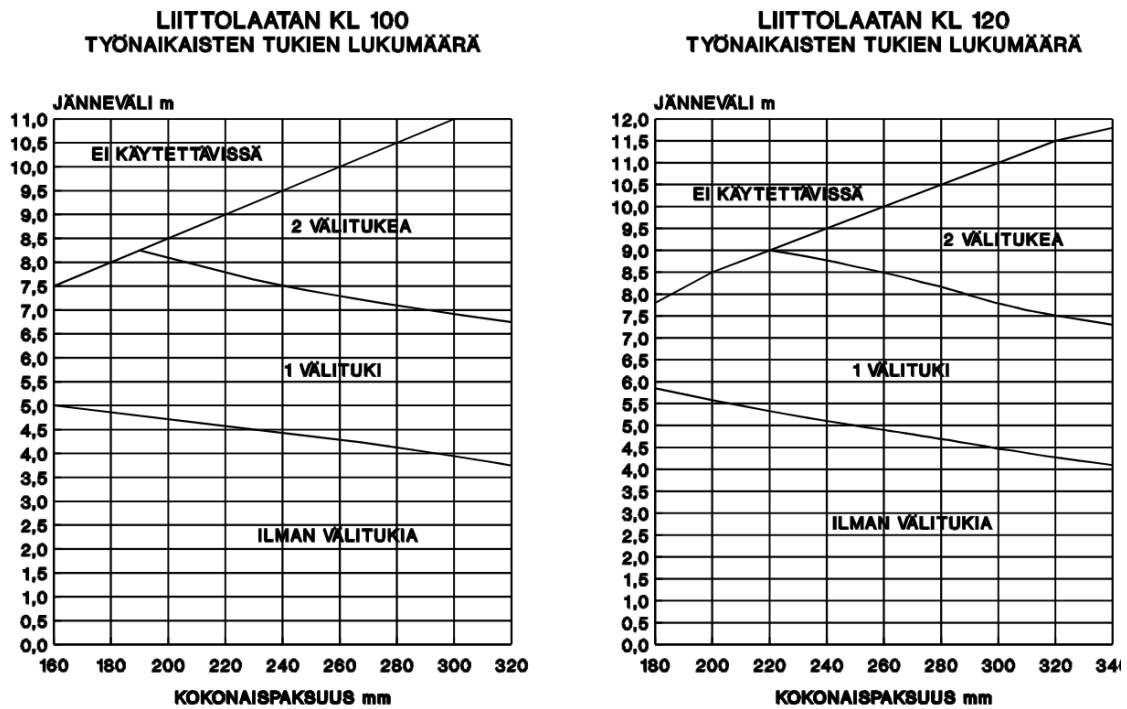
### 3.3 Palonkestävyys

Kuorilaatatolla on mahdollista saavuttaa yhtä hyvä palonkestävyys kuin saman paksuisella massiivibetonirakenteella. Kuorilaataston palonkestävyys on tyypillisesti REI60-REI120, riippuen laattojen punosmäärästä ja mahdollisesta lisäsuojauksesta. Riittävän lisäsuojauksen kanssa on mahdollista saavuttaa jopa REI240-palonkestävyys. Kuorilaatattason palonkestävyys on esitetty valmistajan antamissa esivalintakäyrissä (9, s. 4; 6, s. 26.)

### 3.4 Työnaikainen tuenta

Työmaalla työnaikaisten tuentojen ja mahdollisen esikorotuksen määrittelee yleensä elementtivalmistajan suunnittelija. Rakennesuunnittelijan on kuitenkin hyvä arvioida tarvittavien tukien määrää joissain tapauksissa. Esimerkiksi korkealle rakennettaessa työnaikaisen tuennan järjestäminen voi olla haastavaa, jolloin olisi edullisempaa rakentaa ilman välitukia. (9, s. 28.)

Työnaikaisen tuennan on tarkoitus kantaa työnaikaiset kuormitukset, kuten paikallavalubetoni ja raudoitukset kuorilaatan puolesta. Työnaikaiset tuet poistetaan vasta pintavalun kovetuttua, jolloin kuormitukset siirtyvät tuilta valmiille liittolaatalle. Tuennan avulla saadaan kasvatettua laataston halkeilukestävyyttä sekä pienennettyä muodonmuutoksia lopputilanteessa. Tuenta on tarpeellinen varsinkin laattojen epäjatkuvuuskohtissa, kuten punoksia katkovieen valmiiksi tehtyjen aukkojen kohdalla, sillä pahimmillaan heikentynyt laatta voi jopa katketa paikallavalubetonin painosta. Tarvittavien työnaikaisten tukien määrää voidaan arvioida elementtivalmistajien käyrästöjen avulla. (Kuva 9.) (9, s. 29; 7.)



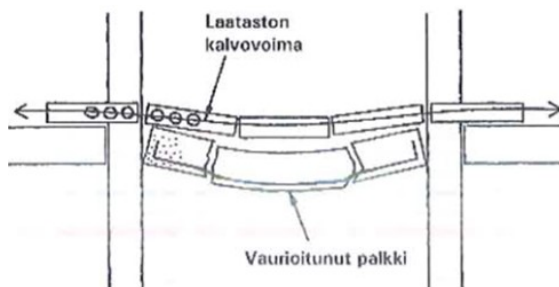
KUVA 9. Työnaikaisten tukien tarvittava määrä KL100 ja KL120 laatoilla (9, s. 30)

## 4 PINTALAATAN SUUNNITTELU

Pintalaatta toimii rakenteessa pääsääntöisesti puristusta vastaanottavana rakenneosana. Pintalaattaan tulee suunnitella raudoitus, joka toimii laataston epäjatkuvuuskohdissa, erityiskuormitusten kohdissa, tukien läheisyydessä sekä onnettomuustilanteissa. Pintalaatan ja sen raudoituksen suunnittelussa sovelletaan kullekin kohteelle ominaisia määräyksiä ja toleransseja. (1, s. 260.)

### 4.1 Laatasta kiertävä rengasraudoitus

Rakennuksen välipohjan tulee pitää sisällään koko tason ulkoreunoja kiertävä yhtenäinen rengasraudoitus. Rengasraudoitus sijoitetaan pintalaattaan mahdollisimman lähelle tason reunoja ja sen tulee olla jatkuva. Raudoituksen on tarkoitus toimia vetoa vastaanottavana raudoituksena, kun rakenne toimii rakennuksen rungon jäykisteenä sekä toissijaisena kuormansiirtorakenteena tukirakenteen pettäessä. Mikäli laatasta käytetään rakennuksen jäykisteenä ja rakennuksen vaakavoimista aiheutuu laatastolle huomattavan suuria momenteja, mitoitetaan rengasraudoitus niistä aiheutuville vaakavetovoimille. Rengasraudoitus tulee vähintäänkin mitoittaa onnettomuustilanteiden mukaisille sidevoimille. Rengasraudoituksen toimintaa onnettomuustilanteessa on havainnollistettu kuvassa 10. (10, s. 23; 11, s. 39; 9, s. 31.)



KUVA 10. Vaurioitunut palkki ja rengasraudoitus (10, s. 23)

Seuraamusluokissa CC1 ja CC2 sidevoima lasketaan kaavalla 1. Kyseisissä seuraamusluokissa sidevoima määräytyy rakennuksen tukilinjojen, eli laataston jännevälien ja kuormitusten mukaan (kuva 11). Yleensä teollisuusrakennuksissa kuorilaatastojen omapaino  $g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$ , jolloin



rengasraudoituksen mitoittamisessa käytettävä vetovoiman arvo  $T_i$  on minimissään 70 kN. (11, s. 40.)

KAAVA 1. Sidevoiman laskenta seuraamusluokissa CC1 ja CC2

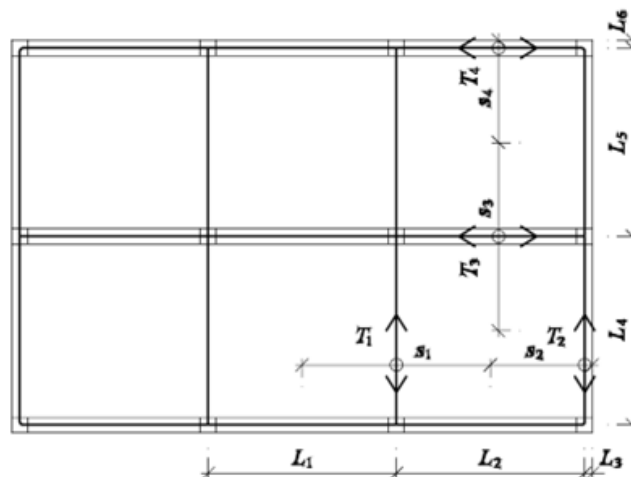
$$T_i = \max \left\{ \begin{array}{l} s * 20 \text{ kN/m} \\ 70 \text{ kN} \end{array} \right. \quad \text{kun} \quad g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$$

tai

$$T_i = \max \left\{ \begin{array}{l} s * 3 \text{ kN/m} \\ 10 \text{ kN} \end{array} \right. \quad \text{kun} \quad g_k \leq 2 \text{ kN/m}^2$$

Missä:

$s$  = sidevoiman kertymäleveys kuvan 11 mukaisesti.



Sidevoimat:

$$T_1: s_1 = (L_1 + L_2)/2 \quad T_2: s_2 = L_3 + L_2/2 \quad T_3: s_3 = (L_4 + L_5)/2 \quad T_4: s_4 = L_6 + L_5/2$$

KUVA 11. Sidevoimien kertymäleveydet (11, s. 40)

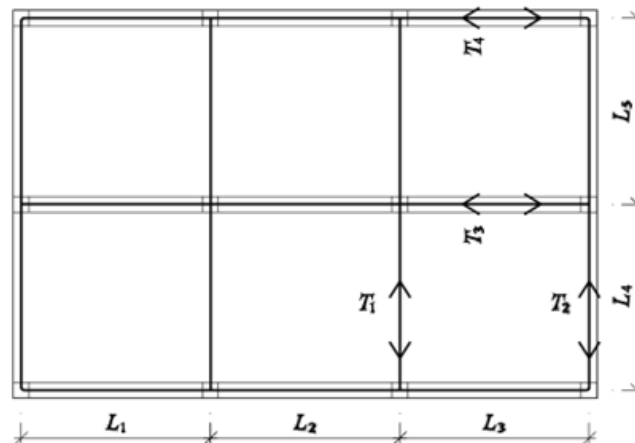
Seuraamusluokan CC3 rakennuksissa sidevoiman suuruus on riippuvainen vaakarakenteen kuormituksista sekä tukilinjojen välimatkoista. Mikäli tason pysyvän kuormituksen ominaisarvo  $g_k \leq 3 \text{ kN/m}^2$ , voidaan sidevoima määritellä hankekohtaisesti. Sidevoima seuraamusluokan CC3 rakennuksessa lasketaan kaavalla 2. (11, s. 41.)

KAAVA 2. Sidevoiman laskenta seuraamusluokassa CC3

$$T_i = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_t * 0.8 * (g_k + \sum \psi_i * q_k)}{6 \text{ kN/m}^2} * \frac{z}{5 \text{ m}} * S \\ F_t * S \end{array} \right.$$

Missä:

- $F_t$  on pienempi seuraavista;  $48 \text{ kN/m}$  tai  $(16 + 2,1 * n_s)$   
 $g_k$  on vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo  
 $\psi_i$  on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuustilanteessa  
 $q_k$  on vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo  
 $S$  on sidevoiman kertymäleveys (kuva 11)  
 $n_s$  on koko rakennuksen kerroslukumäärä  
 $z$  on tukilinjojen välinen etäisyys (kuva 12)



Sidevoimat pilari-palkki-rungossa:  $T_1$  ja  $T_2$ :  $z = \max(L_4, L_5)$   $T_3$  ja  $T_4$ :  $z = \max(L_1, L_2, L_3)$

KUVA 12. Tukilinjojen välisen etäisyyden  $z$  määrittäminen (10, s. 41)

Rengasraudoituksen tarvittava määrä saadaan laskettua kaavalla 3. Rauditus mitoitetaan lasketulle vetovoimalle  $T_i$ .

*KAAVA 3. Rengasraudoituksen poikkileikkausala vetojännitykselle*

$$A_{s,r} = \frac{T_i}{f_{yk}}$$

missä:

$f_{yk}$  on raudituksen ominaislujuus

## 4.2 Onnettomuustilanteiden vaatima rauditus tuilla

Katastrofiraudoituksen tarkoituksena on varautua tilanteeseen, jossa kuorilaataston tukilinjat menettää kantokykynsä. Raudoituksen on tarkoitus kiinnittää kuorilaatta viereiseen kenttään vedettynä köysi- ja kalvorakenteena. Tuelle sijoitettu katastrofirauditus estää kantavan rakenteen pettämisen tai elementin putoamisen aiheuttaman sortuma alueen laajenemisen. (10, s. 11; 9, s. 32.)

Kuorilaatan tapauksessa katsotaan riittäväksi rajoittaa jatkuvaa sortumaa tukialueen raudoituksella, jonka kapasiteetti riittää kantamaan laatan tukireaktion ominaisarvon tai vähintään 20 kN/m. Riittävä onnettomuustilanteiden vaatima rauditus lasketaan kaavasta 4. (9, s. 32.)

*KAAVA 4. Onnettomuustilanteiden vaatima rauditus tuella*

$$A_s [mm^2 / m] \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{V_k}{f_{yk}} \\ k * \frac{20kN/m}{f_{yk}} \end{array} \right.$$

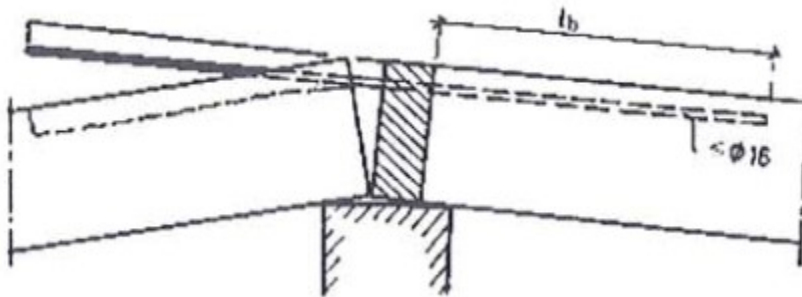
missä:

$k$  on 1, kun kerrosten lukumäärä  $n \leq 4$ , tai  $1 + (n - 4) * 0,1$  kun  $n > 4$

$V_k$  on laatan leikkausvoiman ominaisarvo tuen vieressä

$f_{yk}$  on tukiraudoituksen ominaislujuus

Katastrofiraudoitus suositellaan sijoitettavaksi heti laattaelementin päälle pintalaatan alapintaan. Kuorilaatan ja päälle sijoitettavan raudoituksen väliin tulee jättää 10 millimetrin suuruinen väli riittävän tartunnan varmistamiseksi. Jatkuvalla tuella raudoitus voidaan tarvittaessa sijoittaa myös pintalaatan yläpintaan, mutta tuolloin on huolehdittava betonipeitteen riittävästä suuruudesta. Onnettomuustilanteessa äkilliset muodonmuutokset voivat aiheuttaa betonipeitteen korkkaamisen kuvan 13 tapaan. (9, s. 32; 10, s. 27; 12, s. 49.)



KUVA 13. Raudoituksen virheellinen sijoitus (10, s. 27)

Jotta raudoitus toimii onnettomuustilanteissa suunnitellulla tavalla, tulee sen ankkuroitua luotettavasti laataston kenttiin. Raudoituksen riittävä ulottuma  $a$  tuen reunasta voidaan laskea kaavalla 5.

KAAVA 5. Katastrofiraudoituksen ulottuma tuen reunasta

$$a = \begin{cases} l_b + h_L + 300\text{mm} & \text{kun raudoitus alapinnassa} \\ l_b + H_L + 300\text{mm} & \text{kun raudoitus yläpinnassa} \end{cases}$$

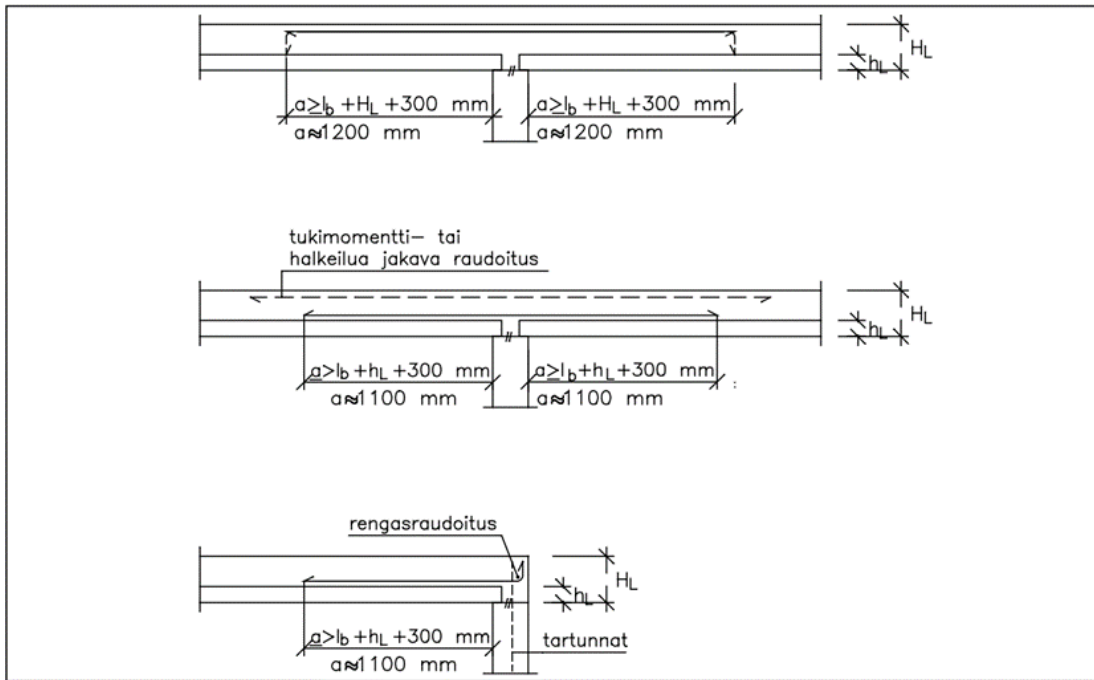
missä:

$l_b$  on raudoituksen ankkurointipituus EN1992-1-1 mukaan

$h_L$  on kuorilaattaelementin paksuus

$H_L$  on laattarakenteen kokonaispaksuus

Katastrofiraudoitus ulotetaan tuen reunasta kenttään vähintään etäisyydelle  $a$  ja reunatuella se ankkuroidaan rengasraudoituksen taakse kuvan 14 mukaisesti. (9, s. 32.)



KUVA 14. Katastrofiraudoituksen sijoitusvaihtoehdot ja ulottuma tuen reunalta (9, s. 33)

### 4.3 Pintalaatan raudoitus tuella

Yleensä kuorilaatat mitoitetaan vapaasti tuettuina, jolloin tukialueen yli ei siirretä merkittäviä taivutusmomenteja tai vetovoimia. Mikäli kuitenkin laatastolle tuleva yksittäinen aukko tai suuri piste- tai viivakuorma vaatisi paikallisesti suurempaa laattapaksuutta, voidaan kiinnitysmomenteja hyödyntää mitoituksessa. (1, s. 261; 9, s. 35.)

#### 4.3.1 Tukimomentti

Mikäli tukimomenteja hyödynnetään laatastonsa mitoituksessa, määrittää kuorilaataelementtien suunnittelija tukialueella tarvittavan tukimomenttiraudoituksen ja ilmoittaa sen kohteen rakennesuunnittelijalle. Raudoituksen tulee olla luotettavasti ankuroitu tuen molemmin puolin sekä sen täytyy kyetä luotettavasti välittämään tuelle syntyvä taivutusmomentti tukialueen yli. (12, s. 176; 9, s. 35.)

### 4.3.2 Halkeilua jakava raudoitus

Tukialueelle sijoitetaan aina vähintään halkeilua jakava raudoitus. Mikäli tukimomenttia on hyödynnetty laataston mitoituksessa, tarkistetaan täyttääkö elementtisuunnittelijan määräämä tukiraudoitus halkeamamitoituksen ehdot. Vaikka tukimomenttia ei olisikaan hyödynnetty, syntyy tuelle momenttia pintalaatan kovettumisen jälkeen tulevista kuormista, elementin ja pintalaatan kutistumaerosta sekä esijännityksestä johtuvasta virumasta. Myös kuorilaatan omasta painosta aiheutuu tuelle momenttia, mikäli kuorilaatta on ollut työnaikaisesti tuettuna. Halkeilua jakava raudoitus mitoitetaan tuelle kehittyvälle momentille halkeamaleveydelle annettujen vaatimusten mukaisesti. (9, s.34,35.)

Kutistuman ja viruman aiheuttamia tukimomenteja voidaan likimääräisesti arvioida. Kuormituksista aiheutuvat momentit voidaan laskea käsin kimmoteorian mukaisesti tasajäykälle jatkuvalla laatalle tai vastaavasti FEM-laskentaohjelmistolla. FEM-laskentaohjelmiston hyödyntäminen on usein mielekkäämpää kohteissa, joissa suunniteltavalle tasolle tulee paljon erilaisia kuormituksia. (9, s. 35.)

Pintalaatan ja kuorilaattaelementin välinen kutistumaero aiheuttaa tuelle negatiivista momenttia. Tuore pintalaatan betoni kuivuessaan kutistuu suuremmalla nopeudella kuin aiemmin valmistettu laattaelementti. Tästä aiheutuvan tukimomentin suuruus riippuu elementin ja pintavalun valujankohdan aikavälistä. Kutistumaeron aiheuttamaa tukimomenttia arvioidaan likimääräisesti kaavalla 6. (9, s. 36.)

*KAAVA 6. Pintalaatan ja kuorilaattaelementin välisestä kutistumaerosta aiheutuva tukimomentti*

$$M_{sht} = -k_1 k_t * 450 * H_L^2$$

missä:

$k_1$	on 1, kaksiaukkoisessa laataassa 0,8 useampiaukkoisen laatan 1. välituella 0,6 muilla välituilla
$k_t$	on 0,7, kun pintalaatan valujankohda $\leq 14$ vrk 1,0, kun ajankohda 28 vrk 1,4, kun ajankohda 60 vrk

1,9, kun ajankohta  $\geq 90$  vrk  
 $H_L$  on laataston kokonaispaksuus [m]

Esijännitetty kuorilaatta pyrkii usein käyristymään ylöspäin esijännityksen aiheuttaman viruman vuoksi. Momentti on yleensä positiivista ja riippuu laattaelementtiin suunnitelluista punoksista ja niiden sijainnista. Esijännityksestä johtuva viruman aiheuttama momentti saadaan likimääräisesti laskettua kaavalla 7. (9, s. 35, 36.)

*KAAVA 7. Esijännityksestä johtuvan viruman aiheuttama momentti*

$$M_{cct} \approx k_1 k_t * [P_0(1,6e + 0,6h_j)]$$

missä:

$k_1$  on kaavan 6 mukainen kerroin

$k_t$  on 1,1, kun pintalaatan valuaajankohta  $\leq 14$ vrk  
 1,0, kun ajankohta 28vrk  
 0,9, kun ajankohta  $\geq 60$ vrk

$P_0$  on punosten yhteenlaskettu jännevoima

$e$  on kuorilaatan jänteiden epäkeskisyyden elementin painopisteestä (alaspäin positiivinen)

$h_j$  on pintalaatan paksuus

Kutistumaeron ja viruman aiheuttama yhteenlaskettu momentti tuella on usein positiivista, jolloin sen huomioon ottaminen halkeamaleveyden laskennassa ei ole suotuisaa. Halkeamamitoituksessa kutistumaeron ja viruman aiheuttaman momentin oletetaan aina olevan negatiivista kaavan 8 mukaisesti. (9, s. 35, 40.)

*KAAVA 8. Kutistumaeron ja viruman aiheuttama momentti*

$$M_{cst} = \min \begin{cases} M_{sht} + M_{cct} \\ -k_1 * 200 * H_L^2 \end{cases}$$

missä:

$k_1$  on kaavan 6 mukainen kerroin

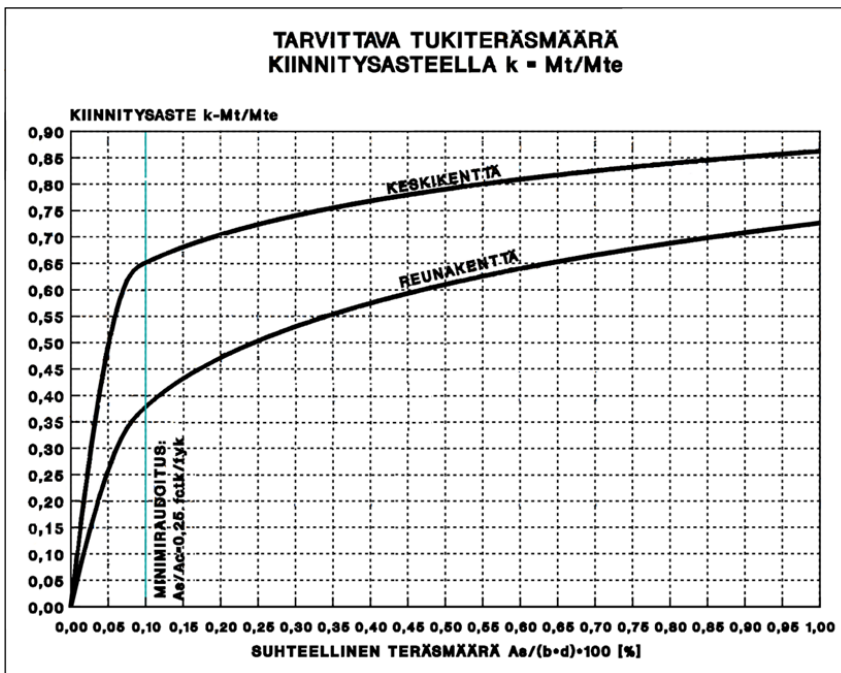
$H_L$  on laataston kokonaispaksuus

Kutistumaeron ja viruman aiheuttama momentti  $M_{cst}$  lasketaan yhteen kuorilaataston kuormituksen aiheuttaman momentin  $M_{tk2e}$  kanssa (kaava 9). Mikäli kuorilaatasto on työnaikaisesti tuettu, otetaan huomioon myös laataston omasta painosta aiheutuvat kuormitukset. Kuormituksista aiheutuva momentti  $M_{tk2e}$  voidaan laskea käsin kimmoteorian mukaisesti tasajäykälle jatkuvalla laatalle tai vastaavasti FEM-laskentaohjelmistolla. (9, s. 40.)

*KAAVA 9. Kimmoteorian mukainen tukimomentti*

$$M_{tke} = M_{tk2e} + M_{cst}$$

Lopullinen tukimomentti halkeamaleveyden mitoitukseen saadaan, kun pienennetään kimmoteorian mukaista tukimomenttia kiinnitysasteen mukaisella kertoimella kaavan 10 mukaisesti. Kiinnitysasteen kertoimen suuruus riippuu tuella olevan raudituksen määrästä. Tukialueen kiinnitysastekerroin luetaan suhteellisen teräsmäärän kohdalta alemmasta käyrästä kuvasta 15. (9, s. 36.)



KUVA 15. Kiinnitysaste  $k$  (9, s. 37)



*KAAVA 10. Halkeamaleveyden laskennassa käytettävä momentti*

$$M_{tk} = k * M_{tke}$$

missä:

$k$  on kiinnitysastetta kuvaava kerroin kuvan 15 alemmasta käyrästä

Halkeamaleveyden laskennassa käytetyn momentin tulee olla vähintään kaavan 11 suuruinen.

*KAAVA 11. Vähimmäismomentti halkeamamitoituksessa*

$$M_{tkmin} = \begin{cases} -k * [(k_1 200 * H_L^2 + M_{go}) + M_{qte}] & \text{Kun laatasto on tuettu} \\ -k * [(k_1 200 * H_L^2 + 0,5M_{go}) + M_{qte}] & \text{Kun laatasto on tukematon} \end{cases}$$

missä:

$k$  on kiinnitysastetta kuvaava kerroin (kuva 15)

$k_1$  on kaavan 6 mukainen kerroin

$H_L$  on laataston kokonaispaksuus

$M_{go}$  on pintalaatan ja kuorilaatteelementin painosta aiheutuva momentti vapaasti tuetussa laatassa, voidaan laskea käsin tai katsoa FEM-ohjelmistosta

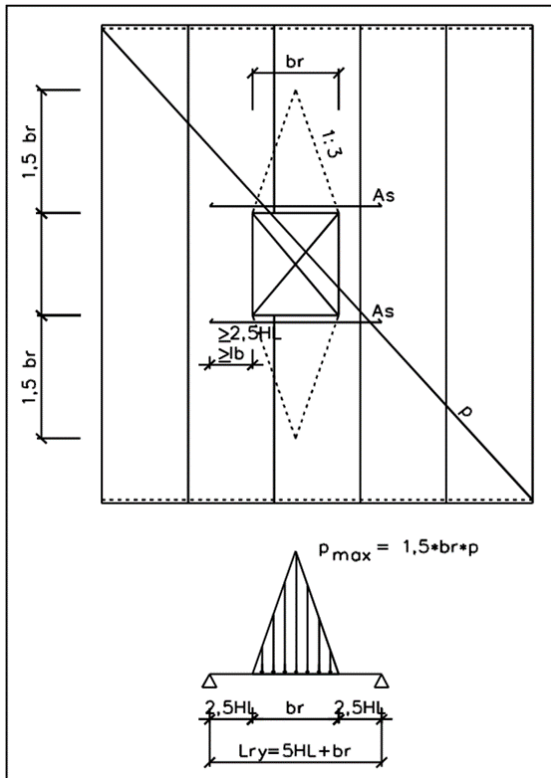
$M_{qte}$  on hyötykuorman aiheuttama tukimomentti, voidaan laskea käsin tai katsoa FEM-ohjelmistosta

Tarvittava rauditus mitoitetaan määrätyle halkeamaleveydelle SFS EN-1992-1-1 kohdan 7.3.4 mukaisesti. Rauditus sijoitetaan laattojen suuntaisesti pintalaatan yläpintaan.

#### **4.4 Aukkojen vaatima rauditus**

Jos kuorilaatostossa sijaitsevan aukon sivu poikittaisessa suunnassa on yli 300 mm leveä ja se katkaisee laataston jännepunoksia, täytyy aukon kohdalla olevat kuormitukset siirtää luotettavasti aukon viereisille laataston osille. Tätä periaatetta sovelletaan myös tukilinjojen epäjatkuvuuskohtiin, kuten esimerkiksi kuorilaattoja kantavien seinien aukkoihin. (9, s.41, 43.)

Aukon reunan voidaan ajatella toimivan poikittaisena reunapalkkina, joka mitoitetaan kaavasta 12 saatavalle momentille. Palkin toimiva leveys on viisi kertaa laataston kokonaispaksuus ja jänneväli toimivan leveyden ja aukon leveyden summa. Palkille kertyy kuormaa kuvan 16 mukaiselta kolmion muotoiselta alueelta. (9, s.41, 42.)



KUVA 16. Aukon reunan raudoitus ja kuormitusalue (9, s. 42)

KAAVA 12. Aukon reunapalkin taivutusmomentti

$$M_{dr} = p_{d.max} * \frac{b_r L_{ry}}{24} * \left(3 - \frac{b_r}{L_{ry}}\right)$$

missä:

$p_{d.max}$  on aukon pielen maksimikuorma  $p_{d.max} = 1,5 * b_r * p_d$

$p_d$  on kokonaiskuormituksen mitoitussarvo

$b_r$  on aukon leveys poikkisuunnassa

$L_{ry}$  on aukon palkin jännemitta  $L_{ry} = 5 * H_L + b_r$

$H_L$  on laataston kokonaispaksuus

Aukon pieliraudoitus sijoitetaan suoraan kuorilaattojen päälle vaihtoehdon 1 mukaisesti. Aukon reunaan voidaan tarvittaessa tehdä myös vaihtoehdon 2 mukainen paikallavalettu reunapalkki, jonka korkeus on laataston kokonaispaksuus kuvan 17 mukaisesti. Kuorilaatan ja päälle sijoitettavan raudoituksen väliin tulee jättää 10 millimetrin suuruinen väli riittävän tartunnan varmistamiseksi. Vaihtoehtoa kaksi käytetään, mikäli kaavan 13 yhtälö toteutuu. (9, s. 42; 12, s. 49.)

KAAVA 13. Aukon reunan raudoituksen sijoitustavan valinta

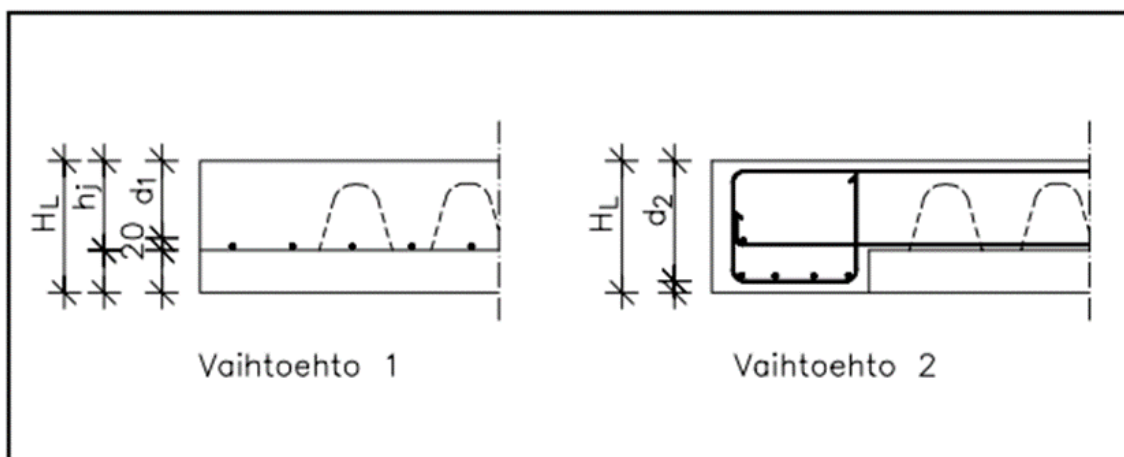
$$M_{dr} \geq 0,25 * 5H_L * d_1^2 * f_{cd}$$

missä:

$f_{cd}$  on pintalaatan betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$d_1$  on vaihtoehdon 1 mukainen tehollinen korkeus (kuva 17)

$H_L$  on laataston kokonaispaksuus



KUVA 17. Aukon pieliraudoituksen sijoitustavat (9, s. 42)

Aukon vaadittu pieliraudoitus mitoitetaan lasketulle momentille kaavan 14 mukaan. Aukon reunalle on sijoitettava kuitenkin vähintään yksi kappale kymmenen millimetrin harjaterästankoa. (9, s. 41, 42.)

#### KAAVA 14. Aukon reunan vaadittu raudoitus

$$\mu = \frac{M_{dr}}{5H_L d_i^2 f_{cd}}$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$$

$$A_{sp} = \omega * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * 5H_L d_i$$

missä:

$f_{cd}$	on pintalaatan betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
$d_i$	on sijoitustavan mukainen tehollinen korkeus (kuva 17)
$H_L$	on laataston kokonaispaksuus
$f_{yd}$	on pieliraudoituksen mitoituslujuus

#### 4.5 Kuormia jakava raudoitus

Kuorilaattatasolle tulevan piste- tai viivakuorman voidaan olettaa jakautuvan vaikutusalaa laajemmalle alueelle. Pienelle alalle keskittynyt kuormitus aiheuttaa laatastoon nähden poikittaista taivutusrasitusta. Poikittaisesta taivutusrasituksesta aiheutuu poikittaissuunnassa vetorasitusta, joka voi aiheuttaa laattaelementtien välisen sauman halkeamisen. Kuormia jakavan raudoituksen on tarkoitus mahdollistaa kuormien luotettava jakautuminen sekä sauman halkeamakoon rajoittaminen. (9, s. 47.)

Tarkastelu tehdään keskittyneen kuorman aiheuttamalle poikittaiselle momentille sekä saumalle kohdistuvalle leikkausvoimalle. Mikäli ylitetään kaavojen 15 ja 16 mukaiset momentti- ja leikkausvoimakapasiteetit, tulee laatastoon sijoittaa kuormia jakava raudoitus. (9, s. 48; 13, s. 11.)

#### KAAVA 15. Pintavalun halkeamakapasiteetti

$$M_{rj} = 1,4 * f_{ctk} * \frac{h_j^2}{6}$$

missä:

$f_{ctk}$  on pintalaatan betonin vetolujuus

$h_j$  on pintalaatan paksuus

KAAVA 16. Raudoittamattoman sauman leikkauskestävyys

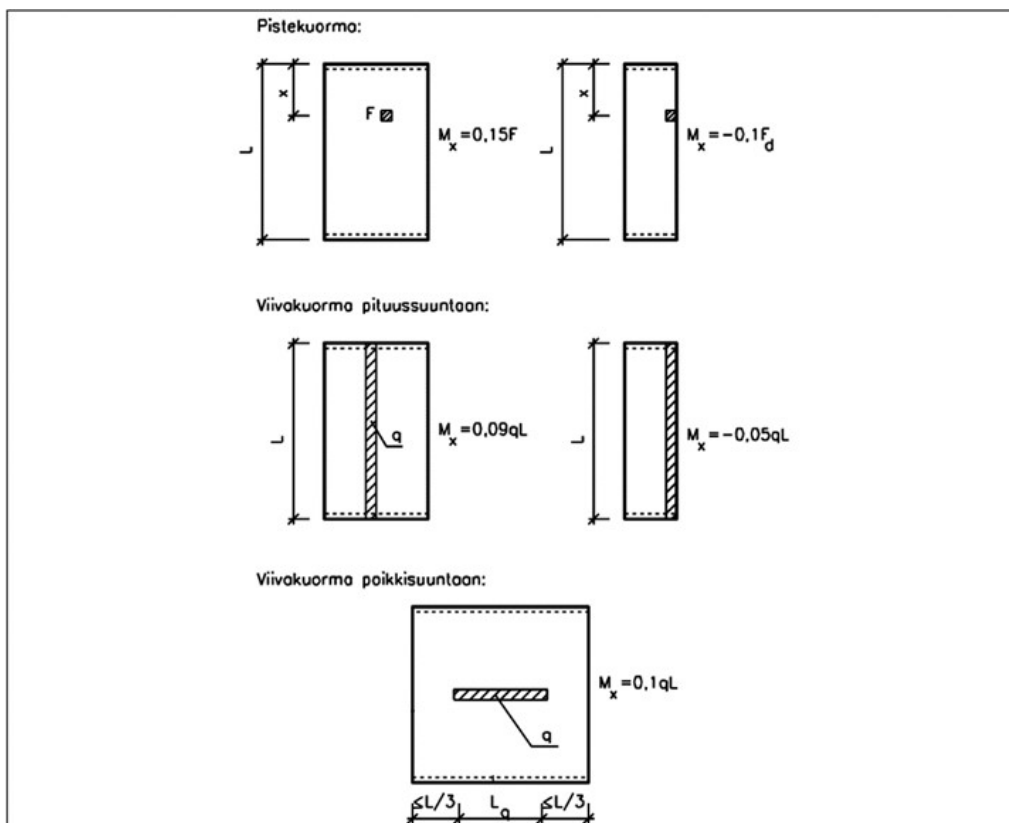
$$V_c = 0,15 * f_{ctd} * h_s$$

missä:

$f_{ctd}$  on pintalaatan betonin laskentavetolujuus

$h_s$  on koko laataston toimiva korkeus (kokonaispaksuus -30 mm)

Piste- tai viivakuorman aiheuttamaan poikittaisen momentin määrittämiseen voidaan soveltaa tasa-jäykälle yhteen suuntaan kantavalle laatalle annettuja momenttikertoimia sellaisenaan. Kuvassa 18 on yleisimpiä tapauksia. (9, s. 47.)



KUVA 18. Keskittyneen kuorman aiheuttamia poikittaisia momenteja

Pistekuorman aiheuttama leikkausrasitus saadaan määriteltyä kaavoilla 17–19 ja viivakuorman aiheuttama leikkausrasitus kaavoilla 20 ja 21.

*KAAVA 17. Keskittyneen kuorman aiheuttama leikkausjännitys saumassa*

$$V_{psd} = 2 * \frac{a_j F_{Ed}}{b_{pm} l_s}$$

missä:

- $b_{pm}$  on pistekuorman jakautumisalueen leveys (kaava 18)  
 $a_j$  on jakautumisalueen leveys kuormaan nähden sauman toisella puolella  
 $F_{Ed}$  on pistekuorman mitoitusarvo  
 $l_s$  on leikkausjännityksen jakautumismatka sauman suuntaisesti (kaava 19)

*KAAVA 18. Pistekuorman jakautumisalueen leveys*

$$b_{pm} = \begin{cases} h_j + \frac{H_L}{2} + 1,25x * (1 - \frac{x}{L}) \leq a_y & \text{kun tarkastellaan momenttia} \\ h_j + \frac{H_L}{2} + 0,25x \leq a_y & \text{kun tarkastellaan leikkausta} \end{cases}$$

missä:

- $h_j$  on pintalaatan paksuus  
 $H_L$  on kuorilaataston kokonaispaksuus  
 $x$  on pistekuorman etäisyys tuelta  
 $L$  on laataston jänneväli  
 $a_y$  on kuormitusalueen etäisyys laatan reunasta

*KAAVA 19. Leikkausjännityksen jakautumismatka saumalle*

$$l_s = \frac{L}{6} + H_L + a_x, \quad l_s \leq 2x$$

missä:

- $L$  on laataston jänneväli

$H_L$	on kuorilaataston kokonaispaksuus
$a_x$	on kuormitusalueen sivumitta laatan pituussuunnassa
$x$	on pistekuorman etäisyys tuelta

KAAVA 20. Viivakuorman aiheuttama leikkausrasitus saumalle

$$V_{vsd} = \frac{a_s}{b_{vm}} q_{vd}$$

missä:

$a_s$	on leikkausvoiman vaikutusalan pituus kuorilaatan pituussuunnassa
$b_{vm}$	on viivakuorman jakautumisleveys (kaava 21)

KAAVA 21. Viivakuorman jakautumisleveys

$$b_{vm} = h_j + \frac{H_L}{2} + 0,6L \leq a_y$$

missä:

$h_j$	on pintalaatan paksuus
$H_L$	on kuorilaataston kokonaispaksuus
$L$	on laataston jänneväli
$a_y$	on kuormitusalueen etäisyys laatan reunasta

Kuormia jakava raudoitus tulee sisällyttää pintalaattaan, mikäli kuormituksen aiheuttama poikittainen momentti on suurempaa kuin kaavan 15 mukainen pintalaatan momenttikestävyys tai leikkausrasitus ylittää kaavasta 16 saatavan sauman leikkauskapasiteetin. Raudoitus mitoitetaan kuvan 18 mukaiselle momentille ja sen vähimmäismäärä saadaan kaavasta 22. (13, s. 12.)

KAAVA 22. Kuormia jakavan raudoituksen vähimmäismäärä

$$A_{s,min} = 120 * \frac{f_{ctkj}}{f_{yk}} * h_j$$

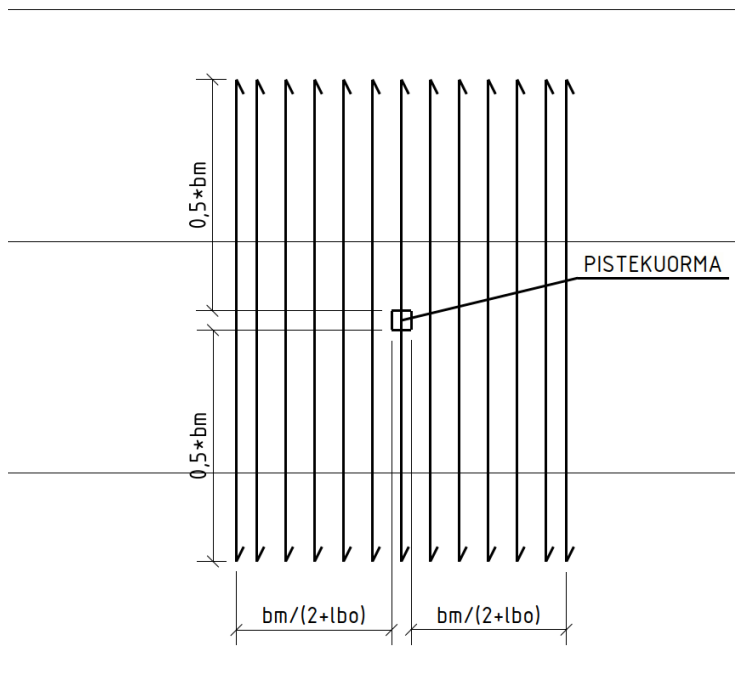
missä:

$f_{ctk_j}$  on pintalaatan betonin vetolujuuden ominaisarvo

$f_{yk}$  on raudoituksen myötölujuuden ominaisarvo

$h_j$  on pintalaatan paksuus

Mikäli piste- tai viivakuorma sijaitsee laataston reunalla, sijoitetaan kuormia jakava raudoitus pintalaatan yläpintaan. Keskellä laatastoa raudoitus sijoitetaan pintalaatan alapintaan, suoraan kuorilaattaelementin päälle. Kuorilaatan ja päälle sijoitettavan raudoituksen väliin tulee jättää 10 millimetrin suuruinen väli riittävän tartunnan varmistamiseksi. Raudoitus ulotetaan poikkisuunnassa  $0,5b_{pm}$  etäisyydelle pistekuorman molemmin puolin ja pituussuunnassa etäisyydelle  $b_{pm}/(2 + l_b)$  kuvan 19 mukaisesti. Mikäli pistekuorma on laataston reunalla, tulee raudoitus ulottua poikkisuunnassa etäisyydelle  $b_{pm}$ . Raudoituksen sijoituksen määrittelyssä käytetään kaavasta 18 saatavaa suurempaa  $b_{pm}$  arvoa. (12, s. 49; 13, s. 12.)



KUVA 19. Jakoraidoituksen sijoitus pistekuormalle



Viivakuorman tapauksessa raudoitus ulotetaan laataston poikkisuunnassa etäisyydelle  $0,3 * L + l_b$  ja mikäli kuorma on laataston reunalla, tulee raudoituksen ulottua etäisyydelle  $0,5 * L$  kuorman reunasta. (13, s. 12.)

#### 4.6 Vähimmäisraudoitus pintalaatan kutistumaa vastaan

Koska kuorilaatat ovat yhteen suuntaan kantavia rakenteita, eivätkä ne sisällä poikkisuuntaista raudoitusta lainkaan, tulee pintalaattaan sisällyttää aina poikittainen jakoraudoitus. Jakoraudoitus rajoittaa poikkisuuntaista pintalaatan kutistumasta aiheutuvia halkeamia sekä pienentää kutistumasta kuorilaattaan aiheutuvia vetojännityksiä. (1, s. 264, 265.)

Jakoraudoituksen vähimmäismäärä saadaan kaavasta 23.

*KAAVA 23. Jakoraudoituksen vähimmäismäärä*

$$A_{s.min} = k_c k * \frac{f_{ctm}}{\sigma_s} * b * h_j$$

missä:

$k_c$  on 0,5

$k$  on 0,65

$f_{ctm}$  on betonin keskimääräinen vetolujuus

$\sigma_s$  on jakoraudoituksen jännitys halkeaman avauduttua  $\sigma_s \leq f_{sk} = 500MPa$

$b$  on käsiteltävä leveys, yleensä 1000 mm

$h_j$  on pintalaatan paksuus

Kaavalla 23 laskettu vähimmäisraudoitusala tulee aina olla kuorilaattarakenteen pintalaatan yläpinnassa sekä laattaelementteihin nähden poikittaisessa että pitkittäisessä suunnassa. (1, s. 264.)

## 5 OHJEEN JA ESIMERKKILASKENNAN LAATIMINEN

Opinnäytetyössä tehtiin tilaajayrityksen rakennesuunnittelijoille ohje, jonka avulla kuorilaataston pintalaatta on helppo suunnitella. Ohjeen lisäksi tehtiin esimerkkilaskelma mielikuvitukselliseen kohteeseen, joka sisälsi teollisuuskohteelle ominaisia piirteitä (liite 1).

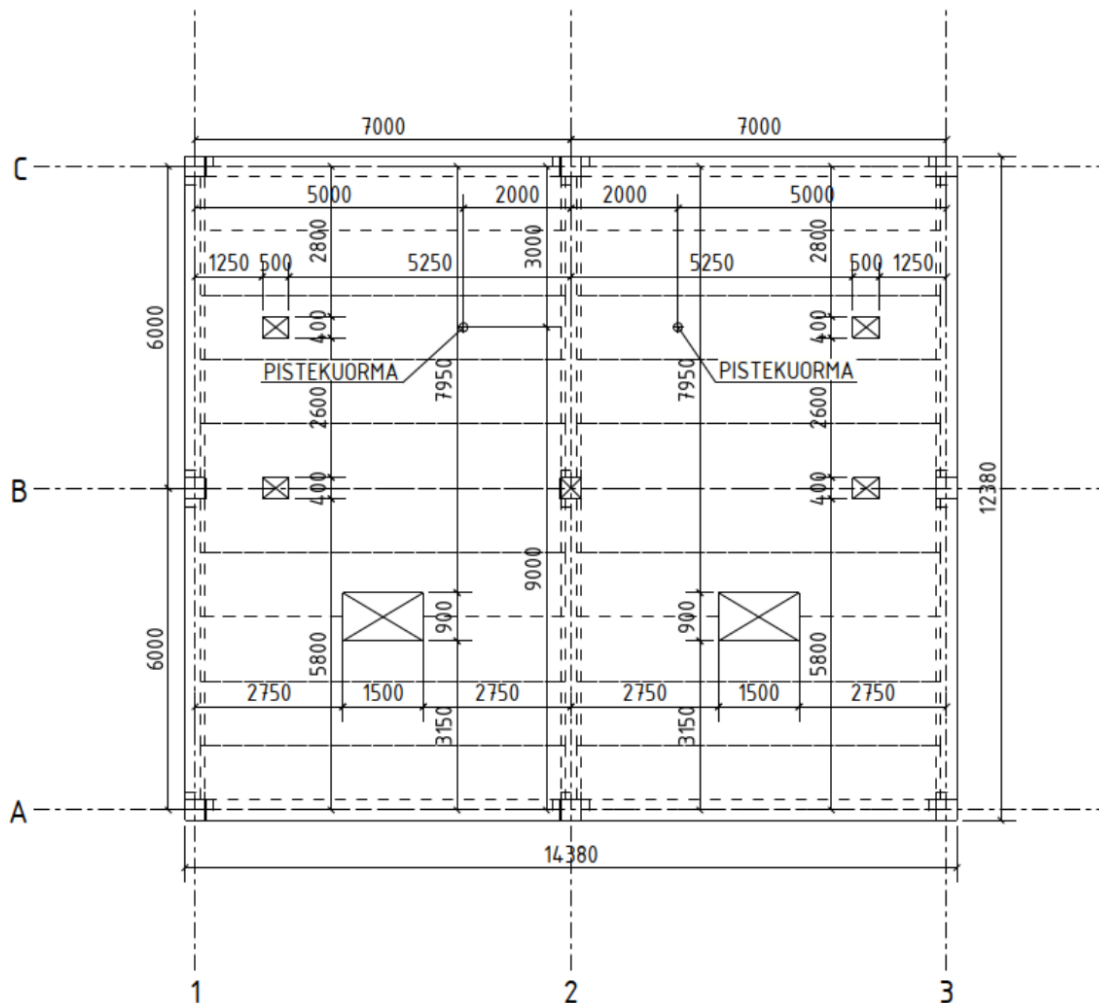
### 5.1 Suunnitteluohjeen tekeminen

Työn aluksi etsittiin mahdollisimman paljon erilaisia lähteitä, joissa kuorilaattojen suunnittelua on käyty läpi. Sopivien lähteiden löytäminen oli melko haastavaa, sillä aiheesta ei ole paljoa materiaalia olemassa. Työn edetessä hyödynnettäviä lähteitä kuitenkin löytyi vielä huomattavasti lisää. Tietoa kerättiin rakenteen ja yksittäisten raudoitusten toimintaperiaatteista ja rakenteelle kertyvistä ratituksista.

Ohjeesta muodostettiin yksi kokonaisuus, joka sisältää tarvittavat tiedot pintalaatan mitoittamiseen ja kuorilaattarakenteen paksuuksien valintaan. Lisäksi ohjeeseen sisällytettiin lyhyt kaavio suunnittelun etenemisestä sekä mallipiirustukset ja esimerkkilaskelma.

### 5.2 Esimerkkitapauksen suunnittelu

Esimerkkilaskelma tehtiin mielikuvitukselliseen teollisuuskohteeseen. Esimerkkirakennus on kaksi kerroksinen ja sen pituus kuorilaattojen suunnassa on noin 14 metriä. Rakenteelle määritettiin teollisuuskohteelle ominaiset lähtötiedot ja kuormitukset. Suunniteltava taso on rakennuksen toisessa kerroksessa, tason tarkempi geometria selviää kuvasta 20. Esimerkkilaskennan teko aloitettiin laattapaksuuksien esivalinnalla soveltaen Parma Consolis Oy:n esivalintakäyrästä.



KUVA 20. Esimerkkikohteen tason tasopiirustus

Rakennepaksuuden valinnan jälkeen tarkastettiin riittääkö valittu rakennepaksuus kantamaan kuormat myös tason epäjatkuvuuskohtissa. Suuremman aukon kohdalla laskettiin redusoitu hyötykuorma ja pistekuorma muutettiin vastaamaan tasaista kuormitusta. Laataston kestävyys tarkastettiin vielä uudelleen esivalintakäyrästä.

Kun rakennepaksuudet oli lopullisesti valittu, siirryttiin määrittelemään pintalaatan tarvitsemaa raudoitusta. Pintalaattaan suunniteltiin lisättäväksi onnettomuusilanteissa ja käyttörajatiloissa tarvittavat raudoitukset. Kohteessa hyödynnettiin tukimomenteja ja elementtisuunnittelija oli siten määrännyt tukiraudoituksen. Tuella halkeilutarkastelussa elementtivalmistajan määräämä tukimomentirauditus täytti vaatimukset. Pistekuormalle ei myöskään tarvinnut lisätä ylimääräistä jakoraudoitusta.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda selkeä ja nopeakäyttöinen ohje, jonka avulla rakennesuunnittelijat kykenevät suunnittelemaan kuorilaattatason pintalaatan ja sen raudoitukset helposti. Ohjeen tueksi tehtiin esimerkkilaskelma yksinkertaiseen kuvitteelliseen kohteeseen, jolla oli teollisuusrakentamiselle ominaisia piirteitä. Pintalaatan raudoituksen suunnittelun lisäksi ohje opastaa myös rakennepaksuuksien alustavan valinnan.

Ohjeistuksen tarkoitus on tehdä kuorilaattarakenteen suunnittelusta helpompaa ja vaivattomampaa keräämällä tarvittava teoria yhteen dokumenttiin. Lisänä tehdyt mallipiirustukset sekä esimerkkilaskelma auttavat havainnollistamaan suunnitteluohjeen periaatteita. Ohjeesta esimerkkilaskelmineen tuli mielestäni selkeä ja helposti ymmärrettävä kokonaisuus, jonka avulla myös kokemattomampi suunnittelija kykenee suunnittelemaan kuorilaataston.

Ohjeen tekemistä selkeytti jo ennen opinnäytetyön aloittamista kertynyt kokemus kuorilaattarakenteiden suunnittelusta. Aiempi kokemus kyseisestä rakenteesta auttoi havainnollistamaan rakenteen suunnittelulle tyypillisiä ongelmakohtia, jotka on huomioitu suunnitteluohjeessa.

Opinnäytetyöhön oli haastavaa löytää monipuolisia lähteitä, sillä kuorilaatoista ja kuorilaattarakenteen tarkemmasta suunnittelusta on hyvin vähän aineistoa olemassa. Saatavilla olevassa aineistossa on myös hyvin paljon käytetty likimääräisiä laskukaavoja sekä yleistyksiä. Näiden tarkempi tutkiminen ja kehittäminen voisi antaa mahdollisuuden rakenteen tehokkaampaan optimointiin. Myöskin FEM-laskentaohjelmien hyödyntämistä kuorilaattarakenteen suunnittelussa tulisi entisestään kehittää.

## LÄHTEET

1. Suomen Betoniyhdistys & Teräsrakenneyhdistys ry. 2012. Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 4- oppikirja BY 58. 1. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy, teräsrakenneyhdistys ry.
2. Lydman, Mika 1998. Yhdistelmä rakenteet. Helsinki: Lohja Rudus Oy.
3. Lujabetoni 2023. Ontelo ja kuorilaatat. Hakupäivä 10.2.2023. <https://lujabetoni.fi/tuotteet/rakennuselementit/laatat/ontelo-ja-kuorilaatat/>.
4. THK-SYSTEMS 2018. Ontelolaattatuotanto. Hakupäivä 5.2.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=-8eLt9apV-w>.
5. Elematic 2023. Slipformer P7 liukuvalukone. Hakupäivä 19.2.2023. <https://www.elematic.com/product/slipformer-p7/>.
6. SFS-EN 13747 +A2 2010. Betonivalmisosat. Kuorilaatat. Helsinki: SFS.
7. Elementtisuunnittelu 2020. Kuorilaatat. Hakupäivä 17.2.2023. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/kuorilaatat>.
8. Elementtisuunnittelu 2020. Pysäköintilaitokset. Hakupäivä 17.2.2023. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/pysakointilaitokset>.
9. Parma Betonila Oy 1999. Parel Liittolaatat, suunnitteluohje. Nummela: Parma Betonila Oy.
10. Betoniyhdistys 2012. Betoninormikortti 23 EC. Liitosten suunnittelu ja mitoitus standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry.

11. Ympäristöministerio 2019. Suomen rakentamismääräyskokoelma. SFS-EN 1991 kansallinen liite osa 1–1, rakenteiden kuormat. Hakupäivä 15.4.2023. <https://www.eurocodes.fi/kuormat/>.
12. SFS-EN 1992-1-1 2005. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: SFS.
13. Parma Oy 2016. Parman kuorilaatatot, suunnitteluohje. Nummela: Parma Oy.

**Lähtötiedot:**

Teollisuuskohteen välipohja

- seuraamusluokka: CC2
- rakenne: kuorilaatta + pintalaatta
- runkorakenne: betonipilarit ja palkit
- vaadittu rasitusluokka XC3; XA1, betonin laatu C35/45  $c_{nom}=40\text{mm}$
- Laatasta ei ole mitoitettu jäykistäväksi rakenteeksi

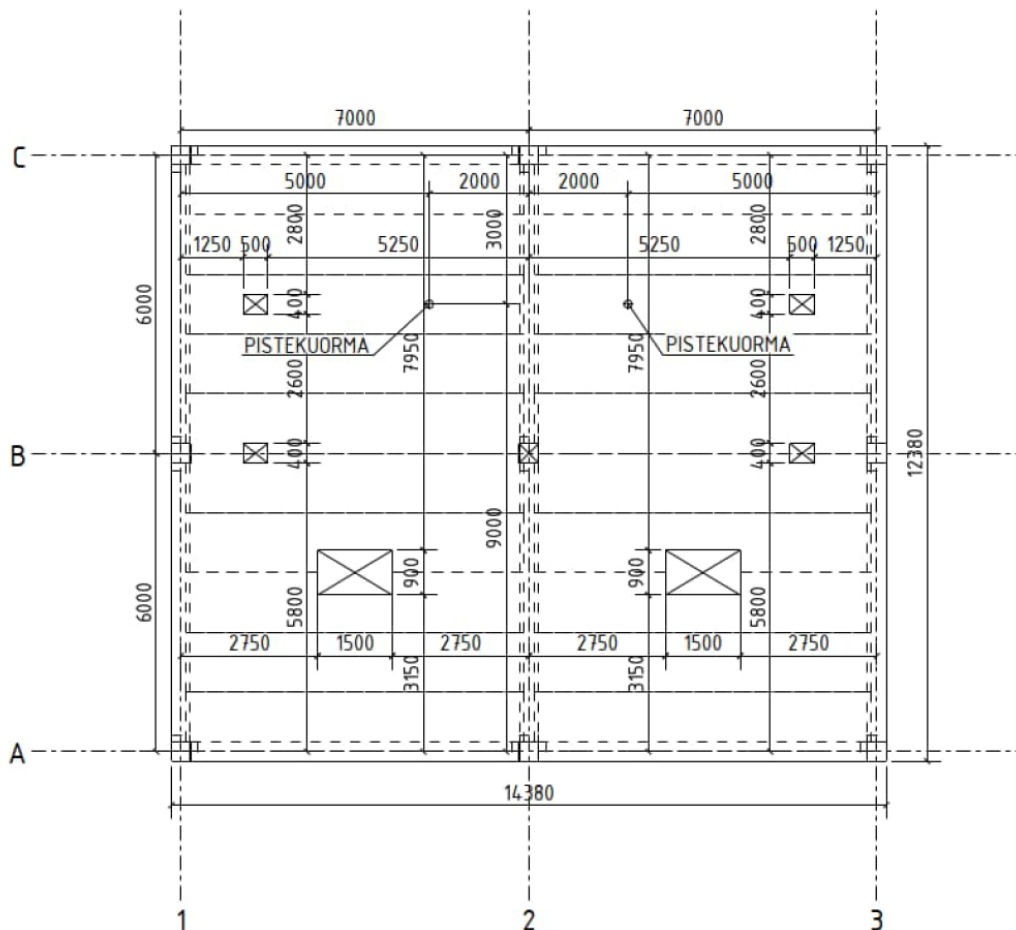
Pysyvät kuormitukset:

- Omapaino kuorilaatta (paksuus x 25 kN/m<sup>3</sup>)
- Omapaino Pintalaatta (paksuus x 25 kN/m<sup>3</sup>)
- Pistekuorma 30 kN, tasokuvaan merkatussa kohdassa

Muuttuvat kuormitukset:

- Tason hyötykuorma 10 kN/m<sup>2</sup> koko alalla

Allaolevassa kuvassa tason päämitat, aukkojen koot ja sijainnit sekä pistekuormitusten sijainnit:

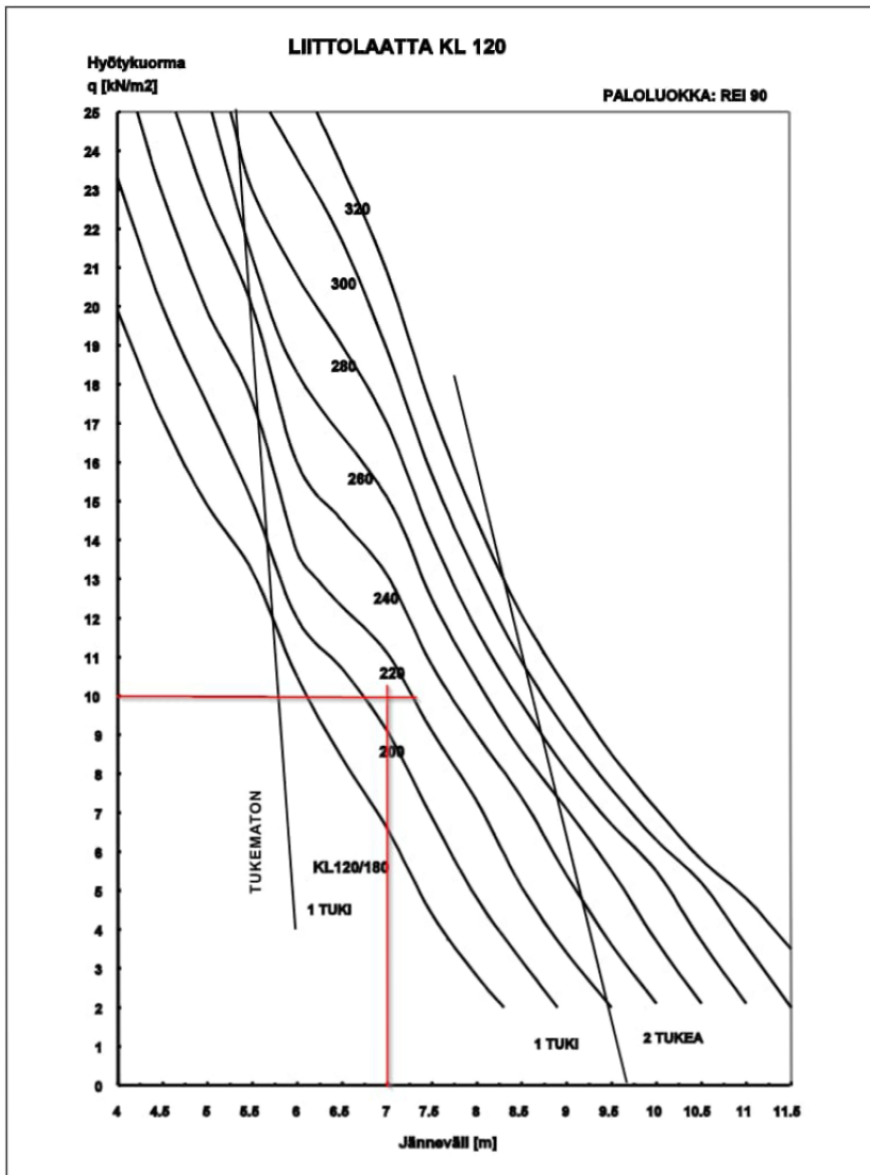


**Rakennepaksuuksien esivalinta:**

Tarkastellaan suurempien aukkojen sekä pistekuormien vaikutus.

- muuttuva hyötykuorma 10 kN/m<sup>2</sup>
- pistekuorma 30 kN

Käyrästä (parma) perusteella voitaisiin käyttää yhdistelmää KL120/220, mutta tason aukkojen ja pistekuormitusten vuoksi oletetaan riittäväksi yhdistelmäksi KL120/300 yhdellä työnaikaisella tuella tuettuna.



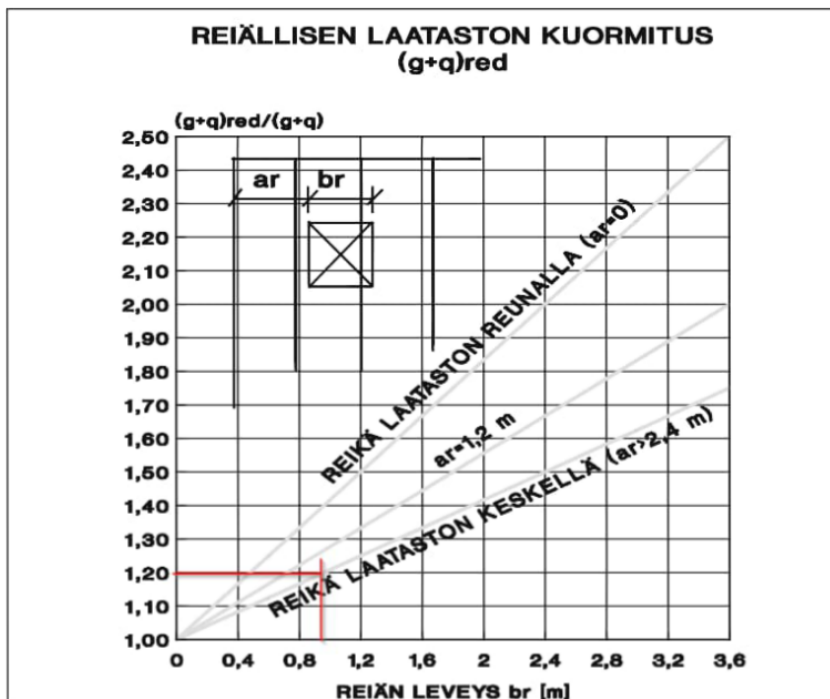


Tasolla olevat pienet aukot pysyvät sallittujen määreiden sisällä, joten ne eivät juurikaan vaikuta laataston kantavuuteen, riittää kun tarkastellaan suurempien aukkojen vaikutusta. Tarkastetaan riittääkö valittu KL120/300.

Käytetään aukon vaikutuksen arviointiin ohjeen kuvaa:

- reikä sijaitsee laataston keskellä ( $a_r > 2,4$  m)
- Reiän leveys 900 mm

-> redusoitu kuormitus =>  $(g+q)_{red}/(g+q) = 1,20$



Kokonaiskuormitus ilman reikää:

$$H_L := 300 \text{ mm}$$

$$g := H_L \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Laataston omapaino}$$

$$q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Hyötykuorma}$$

$$(g+q) = 17.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\rightarrow (g+q)_{red} = 1.20 \cdot (g+q) = 21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Jolloin redusoitu hyötykuorma} = q_{red} := 1.20 \cdot (g+q) - g = 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

-> KL120/300 riittää aukon vaikutukselle

**Pistekuorman vaikutus kuvaajan avulla:**

$x := 2000 \text{ mm}$

Pistekuorman etäisyys laatan päästä

$L := 7000 \text{ mm}$

Laataston jänneväli

$\frac{x}{L} = 0.3$

$P := 30 \text{ kN}$

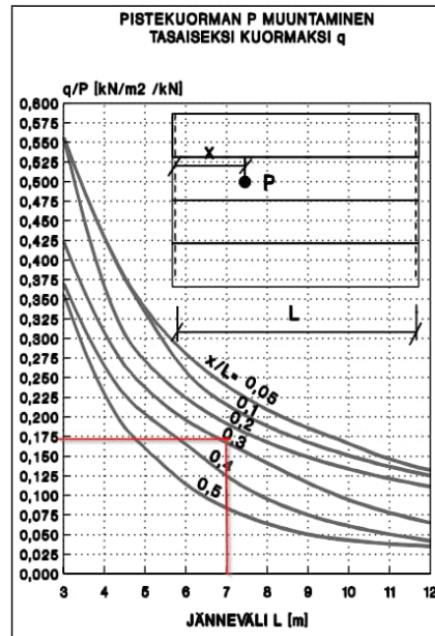
Kuvaajasta saadaan:

$q/P = 0.175$

$\rightarrow q_p := P \cdot 0.175 \cdot \frac{1}{m^2} = 5.25 \frac{kN}{m^2}$

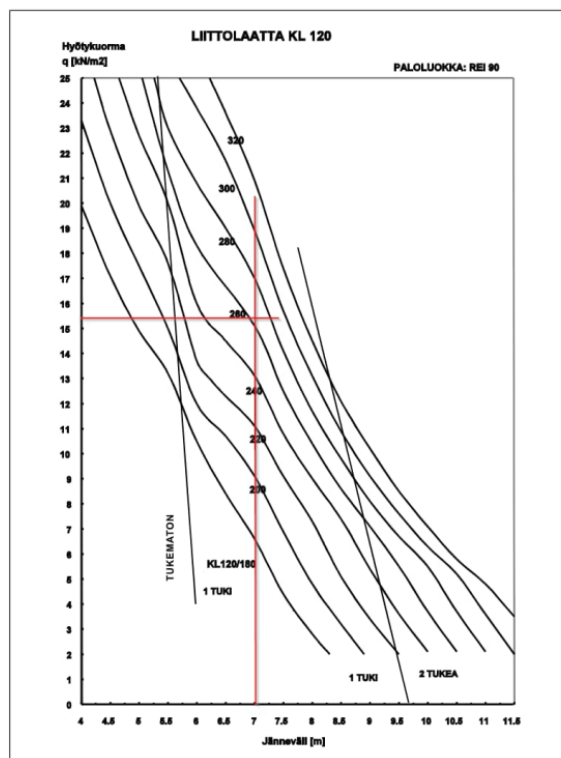
Pistekuormien vaikutus mukaan luettuna laataston kuormitus on siis:

$q_{kok} := q + q_p = 15.25 \frac{kN}{m^2}$



Voidaan siis todeta, että KL120/300 kantokyky on riittävä. Ominaiskuorman kantokyky noin 19 kN/m2.

Isojen aukkojen ja pistekuormien välimatka on niin suuri, ettei niiden vaikutusalat yllä vaikuttamaan toistensa kanssa yhtäaikaisesti.



**Pintalaatan raudoitukset****Rengasraudoitus CC2**

Kuorilaattatasoa ei ole tässä tapauksessa suunniteltu osaksi rakennuksen jäykistysjärjestelmää, joten tarkasteluksi riittää mitoitus sidevoimille.

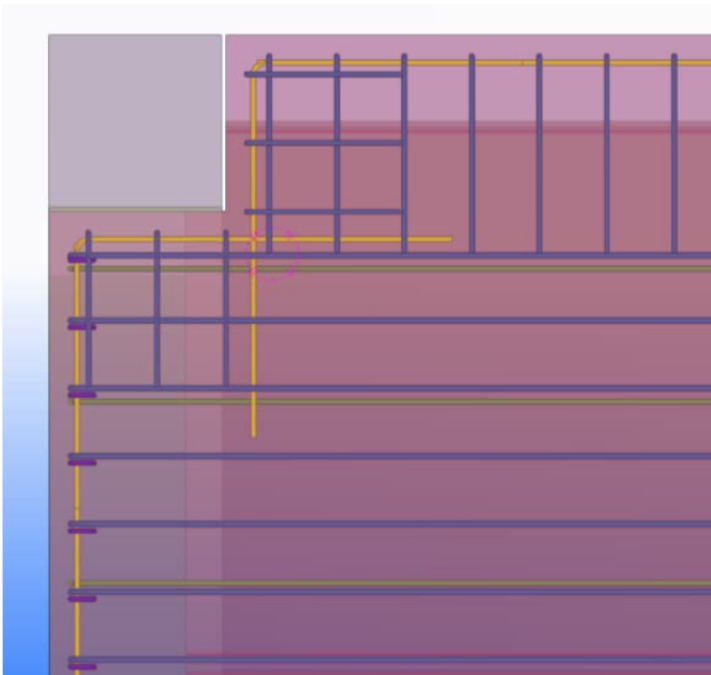
Rengasraudoituksen sidevoiman T vähimmäisarvo 70 kN.

$$g \geq 3 \frac{kN}{m^2} = 1 \quad \Rightarrow \text{tosi, joten } T = s \times 20 \text{ kN/m}$$

$$s := \frac{7 \text{ m} + \frac{14.38 \text{ m} - 14 \text{ m}}{2}}{2} = 3.595 \text{ m} \quad \text{Sidevoiman kertmäleveys rengasraudoitukselle}$$

$$T := s \cdot 20 \frac{kN}{m} = 71.9 \text{ kN} \quad \text{Sidevoiman suuruus rengasraudoitukselle}$$

$$A_{s,min} := \frac{T}{500 \text{ MPa}} = 143.8 \text{ mm}^2 \quad \text{Rengasraudoituksen tarvittava määrä -> 2T10}$$



Rengasraudoitus kiittää laataston ympäri jatkuvana raudoituksena (keltainen).

**Onnettomuustilanteiden vaatima rauditus tuilla** (katastrofirauditus)

$y_g := 1$      $y_q := 1$     Kuormitusten osavarmuusluku (pysyvä/muuttuva)  
 $y_s := 1$      $y_c := 1.2$     Materiaalien osavarmuusluku (betoniteräs/betoni)

$L_l := 7000$  **mm**    yksittäisen laatan jänneväli

$V_k := \frac{L_l}{2} \cdot (g + q_{kok}) = 79.625 \frac{kN}{m}$     Laatan tukireaktio (pistekuorman tuoma lisä huomioitu  $q_{kok}$ )

$n := 2$     Rakennuksen kerrosten lukumäärä

$k := 1 + (n - 4) \cdot 0.1 = 0.8$     Apukerroin

$f_{yk} := 500$  **MPa**    Betoniteräksen lujuus

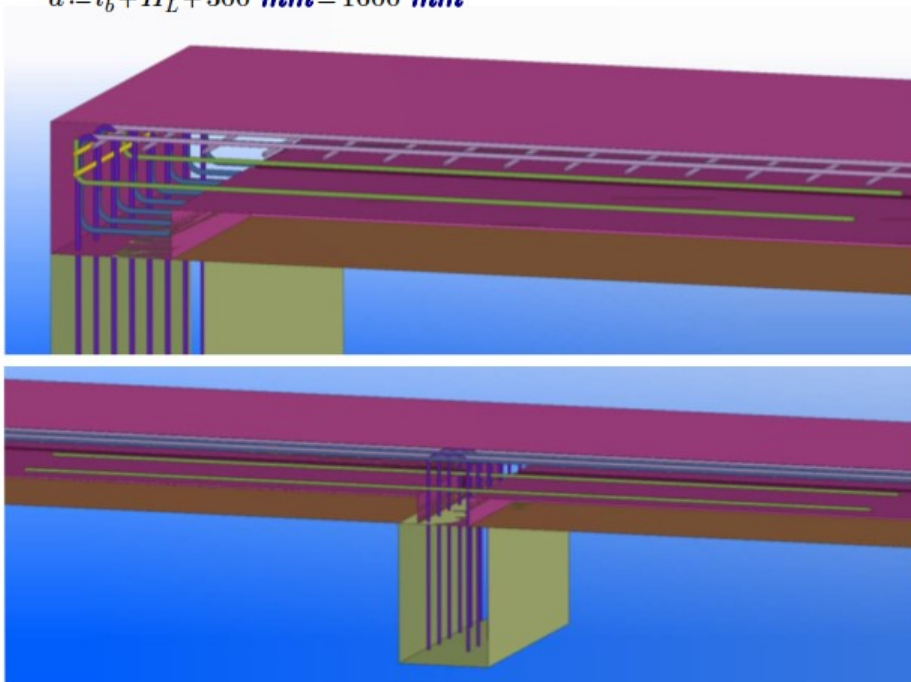
$A_{s,min} := \max \left( y_c \cdot \frac{V_k}{f_{yk}} \cdot m, y_c \cdot k \cdot \frac{20 \frac{kN}{m}}{f_{yk}} \cdot m \right) = 191.1$  **mm<sup>2</sup>**    Vaadittu katastrofirauditus  
 -> T10k400

## Katastrofiraudituksen ankkurointipituus

Kun pintalaatan alapinnassa:

$l_b := 1000$  **mm**

$a := l_b + H_L + 300$  **mm** = 1600 **mm**



Katastrofirauditus reuna- ja keskituella (vihreä). Reunatuella rauditus ankkuroidaan renqasteräksien taakse

### Halkeilua jakava raudoitus tuilla laattojen suunnassa sekä laattojen suhteen poikittaisessa suunnassa.

Vähimmäisraudoitus halkeilun rajoittamiseksi

$$k_c := 0.5 \quad k := 0.65 \quad f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa} \quad \sigma_s := 500 \text{ MPa}$$

$$b := 1000 \text{ mm} \quad h_j := 120 \text{ mm}$$

$$A_{s,min} := k_c \cdot k \cdot \frac{f_{ctm}}{\sigma_s} \cdot b \cdot h_j = 249.6 \text{ mm}^2$$

Tukimomentteja hyödynnetään laataston mitoituksessa.

Laattaelementtien suunnittelija määrännyt tukiteräksiksi T12k150, ulottuma keskikentällä 2000 mm tuelta ja reunakentässä 1500 mm.

Kuorilaattojen punokset 10 kpl 9,3 mm, alkujännitys 1200 MPa

Pintalaatan valuajankohta 14vrk kuorilaattojen valuajankohdasta laskettuna.

Tasajäykän laatan momentti tuella

$$M_{tk2e} := -124 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Katsottu robot-ohjelmistosta, sisältää rakenteen omanpainon sekä hyötykuorman käyttörajatilassa}$$

Pintalaatan kutistumasta aiheutuva momentti

$$k_1 := 1 \quad k_t := 0.7 \quad \text{Apukertoimia}$$

$$M_{sh} := -k_1 \cdot k_t \cdot 450 \cdot H_L^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} = -28.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Esijännityksestä aiheutuvan viruman aiheuttama momentti tuella

$$n := 10 \quad \text{Punosten kappalemäärä}$$

$$\sigma_{po} := 1200 \text{ MPa} \quad \text{Punosten alkujännitys}$$

$$A_p := 53 \text{ mm}^2 \quad \text{Punoksen poikkileikkausala 9,3mm punos}$$

$$P_o := n \cdot A_p \cdot \sigma_{po} = 636 \text{ kN} \quad \text{Jännevoima}$$

$$e := \frac{120 \text{ mm}}{2} - 45 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Jännevoiman epäkeskisyyys  
kuorilaattaelementin painopisteestä

$$h_j := 180 \text{ mm}$$

Pintalaatan paksuus

$$k_t := 1.1$$

Apukerroin

$$M_{cct} := k_1 \cdot k_t \cdot P_o \cdot (1.6 \cdot e + 0.6 \cdot h_j) = 92.347 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kutistuman ja viruman momentti yhteensä

$$M_{cst} := M_{sht} + M_{cct} = 63.997 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentti positiivinen, ei vähennetä

Kutistumasta ja virumasta oletettu negatiivinen vähimmäismomentti

$$M_{tkmin} := -k_1 \cdot 200 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot H_L^2 = -18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

-> kimmoteorian mukainen likimääräinen tukimomentti

$$M_{tke} := M_{tk2e} + M_{tkmin} = -142 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pienennetään tukimomenttia kiinnitysasteen perusteella:

$$A_s := 753 \text{ mm}^2$$

Ilmoitettu tukiteräsmäärä

$$\phi := 12 \text{ mm}$$

Tukiteräksen halkaisija

$$b := 1000 \text{ mm}$$

Tarkasteltavan alueen leveys

$$c := 40 \text{ mm}$$

Betonipeite

$$d := H_L - c - \frac{\phi}{2} = 254 \text{ mm}$$

Tukialueen tehollinen korkeus

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot 100 = 0.296$$

Suhteellinen rauditusmäärä

$$k := 0.53$$

kiinnitysaste alemmasta käyrästä

Lopullinen momentti

$$M_{tk} := k \cdot M_{tke} = -75.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tarkastetaan minimimomentti  $M_{tk.min}$

$$\alpha := 0.12 \quad \text{Apusuure}$$

$$M_{qte} := 58 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Tukimomentti pelkästä hyötykuormasta (Robot)}$$

$$M_{go} := 56.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Tukimomentti omasta painosta vapaasti tuettuna (Robot)}$$

$$M_{tk.min} := -k \cdot \left( \left( k_1 \cdot 200 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot H_L^2 + M_{go} \right) + M_{qte} \right) = -70.278 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Tuettu laatta}$$

$$|M_{tk}| \geq M_{tk.min} = 1$$

$$\rightarrow M_{tk} := M_{tk} = -75.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Halkeilua jakava raudoitus mitoitetaan momentille  $M_{tk}$

Tarvittava raudoitus halkeilun rajoittamiseen tuella, lasketaan halkeamaleveys (7.3.4):

$$M_k := |M_{tk}| = 75.26 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Mitoitusmomentti KRT}$$

$$A_s := 1130 \text{ mm}^2 \quad \text{Teräksien pinta-ala metriä kohden}$$

$$\phi := 12 \text{ mm} \quad \text{Teräksen poikkileikkaus}$$

$$b := 1000 \text{ mm} \quad \text{Käsiteltävän alueen leveys}$$

$$c := 40 \text{ mm} \quad \text{Betonipeite}$$

$$d := H_L - c - \frac{\phi}{2} = 254 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen korkeus}$$

$$E_s := 200 \text{ GPa} \quad \text{Teräksen kimmokerroin}$$

$$E_{cm} := 34 \text{ GPa} \quad \text{Betonin kimmokerroin}$$

$$f_{ct,eff} := 3.2 \text{ MPa}$$

Betonin tehollinen vetolujuus

Sallittu halkeamaleveys  $w_{k,max} := 0.3 \text{ mm}$  (rasitusluokka XC3)

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.004$$

Geometrinen raudoitussuhde

$$\alpha_e := \frac{E_s}{1.05 \cdot E_{cm}} = 5.602$$

Kimmokertoimien suhde

$$X_{II} := \alpha_e \cdot d \cdot \rho \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \cdot \rho}} \right) = 50.731 \text{ mm}$$

Puristusvyöhykkeen korkeus, ei puristusraudoitusta

$$X := X_{II}$$

$$z_{II} := d - \frac{X_{II}}{3} = 237.09 \text{ mm}$$

Sisäinen momenttivarasi

$$\sigma_s := \frac{M_k}{A_s \cdot z_{II}} = 280.914 \text{ MPa}$$

Raudoituksen jännitys

$$h_{c,eff} := \min \left( 2.5 \cdot (H_L - d), \frac{H_L - X}{3}, \frac{H_L}{2} \right) = 83.09 \text{ mm}$$

Vetorasitetun betonin suhteellinen korkeus

$$A_{c,eff} := 1000 \text{ mm} \cdot h_{c,eff} = 83089.761 \text{ mm}^2$$

Vetorasitetun betonin suhteellinen pinta-ala

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_s}{A_{c,eff}} = 0.014$$

Suhteellinen raudoitusalaa

$$\Delta \varepsilon_{sm} = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$k_t := 0.6$$

apukerroin, kuorman vaikutusaika

$$\Delta \varepsilon_{sm} := \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} = 0.001$$

Keskimääräinen venymäero

$$k_1 := 0.8$$

Apukerroin, tartuntaominaisuudet

$$k_2 := 0.5$$

Apukerroin, venymäjakauma

$$k_3 := 3.4$$

Apukerroin, kansallinen liite

$$k_4 := 0.425$$

Apukerroin, kansallinen liite



$$S_{r,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 368.748 \text{ mm} \quad \text{Suurin halkeamaväli}$$

$$w_k := S_{r,max} \cdot (\Delta \varepsilon_{sm}) = 0.344 \text{ mm} \quad \text{Halkeaman leveys}$$

$$w_k \leq w_{k,max} = 0$$

Ehto ei täyty, halkeamaleveys liian suuri. -> lisätään raudoitusta

Tukimomenttiraudoitus (T12k150) + T10k150

Pienennetään tukimomenttia uuden kiinnitysasteen perusteella:

$$A_s := 1278 \text{ mm}^2 \quad \text{Teräsmäärä tuella}$$

$$\phi := 12 \text{ mm} \quad \text{Tukiteräksen halkaisija}$$

$$b := 1000 \text{ mm} \quad \text{Tarkasteltavan alueen leveys}$$

$$c := 40 \text{ mm} \quad \text{Betonipeite}$$

$$d := H_L - c - \frac{\phi}{2} = 254 \text{ mm} \quad \text{Tukialueen tehollinen korkeus}$$

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot 100 = 0.503 \quad \text{Suhteellinen raudoitusmäärä}$$

$$k := 0.62 \quad \text{kiinnitysaste alemmasta käyrästä}$$

Lopullinen momentti

$$M_{tk} := k \cdot M_{tke} = -88.04 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tarvittava raudoitus halkeilun rajoittamiseen tuella, lasketaan halkeamaleveys (7.3.4):

$$M_k := |M_{tk}| = 88.04 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Mitoitusmomentti KRT}$$

$$A_s := 1278 \text{ mm}^2 \quad \text{Teräksien pinta-ala metriä kohden}$$

$$\phi := 12 \text{ mm} \quad \text{Teräksen poikkileikkaus}$$

$$b := 1000 \text{ mm} \quad \text{Käsitteltävän alueen leveys}$$

Sallittu halkeamaleveys  $w_{k,max} := 0.3 \text{ mm}$  (rasitusluokka XC3)

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.005 \quad \text{Geometrinen raudoitussuhde}$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{1.05 \cdot E_{cm}} = 5.602 \quad \text{Kimmokertoimien suhde}$$

$$X_{II} := \alpha_e \cdot d \cdot \rho \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \cdot \rho}} \right) = 53.572 \text{ mm} \quad \text{Puristusvyöhykkeen korkeus, ei puristusraudoitusta}$$

$$X := X_{II}$$

$$z_{II} := d - \frac{X_{II}}{3} = 236.143 \text{ mm} \quad \text{Sisäinen momenttivarsi}$$

$$\sigma_s := \frac{M_k}{A_s \cdot z_{II}} = 291.726 \text{ MPa} \quad \text{Raudoituksen jännitys}$$

$$h_{c,eff} := \min \left( 2.5 \cdot (H_L - d), \frac{H_L - X}{3}, \frac{H_L}{2} \right) = 82.143 \text{ mm} \quad \text{Vetorasitetun betonin suhteellinen korkeus}$$

$$A_{c,eff} := 1000 \text{ mm} \cdot h_{c,eff} = 82142.571 \text{ mm}^2 \quad \text{Vetorasitetun betonin suhteellinen pinta-ala}$$

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_s}{A_{c,eff}} = 0.016 \quad \text{Suhteellinen raudoitusala}$$

$$\Delta \varepsilon_{sm} = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$k_t := 0.6 \quad \text{apukerroin, kuorman vaikutusaika}$$

$$\Delta \varepsilon_{sm} := \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} = 0.001 \quad \text{Keskimääräinen venymäero}$$

$$k_1 := 0.8 \quad \text{Apukerroin, tartuntaominaisuudet}$$

$$k_2 := 0.5 \quad \text{Apukerroin, venymäjakauma}$$

$$k_3 := 3.4 \quad \text{Apukerroin, kansallinen liite}$$

$$k_4 := 0.425 \quad \text{Apukerroin, kansallinen liite}$$

$$S_{r,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 267.12 \text{ mm}$$

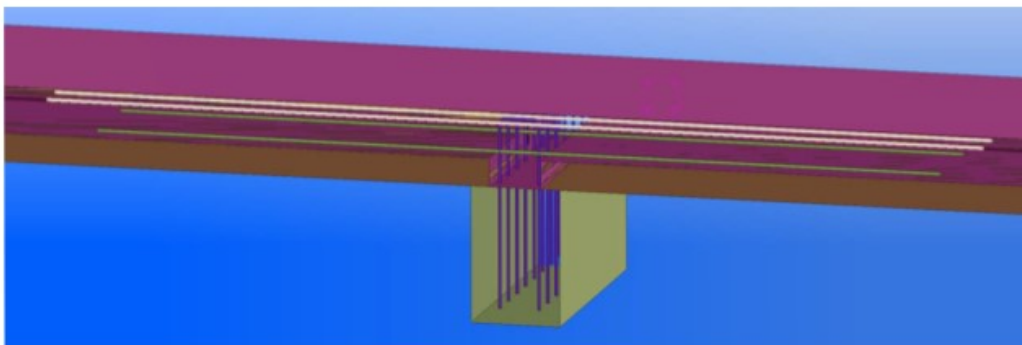
Suurin halkeamaväli

$$w_k := S_{r,max} \cdot (\Delta\varepsilon_{sm}) = 0.21 \text{ mm}$$

Halkeaman leveys

$$w_k \leq w_{k,max} = 1$$

Ehto täyttyy, sallittu halkeamaleveys ei ylity.



Tukiraudoituksen ja mahdollisen lisättävän halkeiluraudoituksen sijoitus (valkoinen)

**Rauditus reikien ympärillä (Parma)**

Pienempi reikä 500x400:  $b_r := 400 \text{ mm}$

$b := 5 \cdot H_L = 1500 \text{ mm}$  "palkin" leveys

$h := H_L = 300 \text{ mm}$  "palkin" korkeus

$L_{ry} := b_r + 5 \cdot H_L = 1900 \text{ mm}$  "palkin" jänneväli

$h_j := 180 \text{ mm}$  pintalaatan paksuus

$d_1 := h_j - c - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 135 \text{ mm}$

$f_{cd} := 19.83 \text{ MPa}$  betonin laskentalujuus (C35/M45)

$f_{yd} := 435 \text{ MPa}$  Raudituksen laskentalujuus (B500B)

$$p_d := 1.2 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot H_L + 1.2 \cdot g + 1.6 \cdot q = 34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{dmax} := 1.5 \cdot b_r \cdot p_d = 20.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taivutusmomentti "palkille"

$$M_{dr} := p_{dmax} \cdot \frac{b_r \cdot L_{ry}}{24} \cdot \left( 3 - \frac{b_r}{L_{ry}} \right) = 1.802 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{dr} \leq 0.25 \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd} = 1 \quad 0.25 \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd} = 135.526 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

-> sijoitetaan rauditus vaihtoehto 1:n mukaan

$$\mu := \frac{M_{dr}}{5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd}} = 0.003$$

$$\omega := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.003$$

$$A_{s1} := \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1 = 30.737 \text{ mm}^2$$

-> pieliteräkseksi riittää ohjeistettu vähimmäismäärä 1T10

Suurempi reikä 1500x900:  $b_r := 900 \text{ mm}$

$$b := 5 \cdot H_L = 1500 \text{ mm} \quad \text{"palkin" leveys}$$

$$h := H_L = 300 \text{ mm} \quad \text{"palkin" korkeus}$$

$$L_{ry} := b_r + 5 \cdot H_L = 2400 \text{ mm} \quad \text{"palkin" jänneväli}$$

$$h_j := 180 \text{ mm} \quad \text{pintalaatan paksuus}$$

$$d_1 := h_j - c - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 135 \text{ mm}$$

$$f_{cd} := 19.83 \text{ MPa} \quad \text{betonin laskentalujuus (C35/M45)}$$

$$f_{yd} := 435 \text{ MPa} \quad \text{Raudituksen laskentalujuus (B500B)}$$

$$p_d := 1.2 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot H_L + 1.2 \cdot g + 1.6 \cdot q = 34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{dmax} := 1.5 \cdot b_r \cdot p_d = 45.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taivutusmomentti "palkille"

$$M_{dr} := p_{dmax} \cdot \frac{b_r \cdot L_{ry}}{24} \cdot \left( 3 - \frac{b_r}{L_{ry}} \right) = 10.844 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{dr} \leq 0.25 \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd} = 1 \quad 0.25 \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd} = 135.526 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

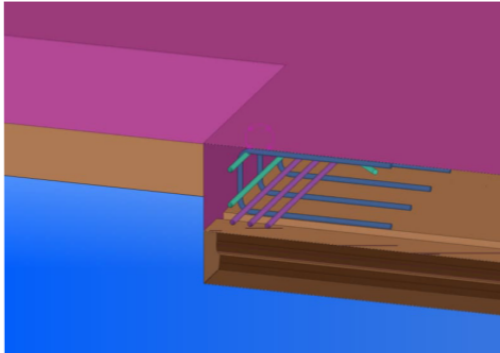
-> sijoitetaan rauditus vaihtoehto 1:n mukaan

$$\mu := \frac{M_{dr}}{5 \cdot H_L \cdot d_1^2 \cdot f_{cd}} = 0.02$$

$$\omega := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.02$$

$$A_{s1} := \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot 5 \cdot H_L \cdot d_1 = 186.54 \text{ mm}^2$$

-> pieliteräkseksi riittää 3T10



Pieliteräksen sijoitus vaihtoehdon 1 mukaisesti laattaelementtiä vasten kohtisuoralla reunalla.

### Jakorauδοitus pistekuormalle (parma 2016)

Pistekuorman ala 100x100mm

$$F_k := 30 \text{ kN}$$

Pistekuormasta aiheutuva poikittainen momentti:

$$f_{ctk.0.05} := 2.2 \text{ MPa}$$

$$b_m := h_j + \frac{H_L}{2} + 1.25 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{L}\right) = 2.116 \text{ m} \quad \text{Pistekuorman jakautumisleveys (momentti)}$$

$$M_{rj} := 1.4 \cdot f_{ctk.0.05} \cdot \frac{h_j^2}{6} \cdot m = 16.632 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Paikallavaluosan halkeilukapasiteetti}$$

$$F_d := 1.15 \cdot F_k = 34.5 \text{ kN} \quad \text{Pistekuorman laskenta-arvo}$$

$$M_x := 0.15 \cdot F_d \cdot m = 5.175 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Pistekuormasta aiheutuva poikittainen momentti}$$

$$M_x \leq M_{rj} = 1 \quad \rightarrow \text{pistekuorman aiheuttama poikittainen momentti ei edellytä jakorauδοitusta}$$

Kuorilaattojen välisen sauman leikkauskestävyys:

$$b_m := h_j + \frac{H_L}{2} + 0.25 \cdot x = 0.83 \text{ m} \quad \text{Pistekuorman jakautumisleveys(leikkaus)}$$

$$a_j := b_m - \frac{1200 \text{ mm}}{2} = 230 \text{ mm} \quad \text{Jakautumisleveys kuorma nähden toisella puolella saumaa (kuorma keskellä kuorilaattaelementtiä)}$$

$$a_x := 100 \text{ mm}$$

Kuormitusalan pituus sauman suunnassa

$$I_s := \frac{L}{6} + H_L + a_x = 1566.667 \text{ mm}$$

Leikausjännityksen jakautumismatka

$$I_s \leq 2 \cdot x = 1$$

$$v_{sd} := 2 \cdot \frac{a_j}{b_m} \cdot \frac{F_d}{I_s} = 12.205 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pistekuormasta saumaan aiheutuva leikkausvoima metriä kohti

$$\alpha_{ct} := 1.0$$

$$\gamma_C := 1.5$$

Betonin osavarmuusluku murtorajatilassa

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_C}$$

Betonin laskentavetolujuus

$$h_s := H_L - 30 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

koko laataston toimiva korkeus sauman kohdalla

$$v_c := 0.15 \cdot f_{ctd} \cdot h_s = 59.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sauman leikkauskestävyys

$$v_{sd} \leq v_c = 1$$

-> Sauman leikkauskapasiteetti ei ylity eikä jakorauhoitusta tarvita.