



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Rakennustekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**MAANVARAISEN LAATAN HALKEILU EUROKOODIN MUKAAN**

**Työn tekijä: Mira Virtala  
Työn ohjaajat: Jouni Kalliomäki  
Jyrki Jauhiainen**

**Työ hyväksytty: \_\_8\_\_. \_\_4\_\_. 2010**

**Jouni Kalliomäki  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin Oy Finnmap Consulting Oy:lle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita Jyrki Jauhiaista ja Jouni Kalliomäkeä.

Helsingissä 8.4.2010

Mira Virtala

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Mira Virtala	
<b>Työn nimi:</b> Maanvaraisen laatan halkeilu Eurokoodin mukaan	
<b>Päivämäärä:</b> 8.4.2010	<b>Sivumäärä:</b> 42 s. + 2 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Rakennustekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Rakennetekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> Jouni Kalliomäki	
<b>Työn ohjaaja:</b> Jyrki Jauhiainen	
<p>Tämä työ tehtiin Finnmap Consulting oy:lle, joka on rakennetekniikkaan erikoistunut suunnittelu- ja konsultointiyritys. Tässä työssä tutkittiin maanvaraisen laatan halkeilutekijöitä. Maanvaraisen laatan halkeiluongelmat voi johtua monesta tekijästä ja parhain mahdollinen lattiarakenne saadaan aikaiseksi niin, että suunnittelijat ja toteuttaja ymmärtävät miten nämä halkeilut saadaan hallittua. Pääperiaatteena on se, että betoni halkeilee silloin kun sen vetolujuus on ylittynyt. Työssä on tutkittu eri rasiustekijöitä, jotka aiheuttavat halkeilua laattaan sekä selvitetty mahdolliset tavat, joilla estää tai vähentää halkeilua. Maanvaraisen laatan määräävinä kuormina ovat yleensä liikkuvat pistekuormat, jotka syntyvät esim. trukkien pyöristä tai siirrettävistä hyllyistä. Myös kuormien sijainti laattaan vaikuttaa laattaan syntyvään taivutusmomenttiin, joka on yksi mahdollinen halkeilun aiheuttaja.</p> <p>Työn tärkein tavoite on ollut selvittää betonin kokonaiskutistumisen aiheuttamia jännityksiä teräksissä ja betonissa sekä tutkia maanvaraisen laatan ja sen alla olevan alustan välisiä kitkavoimia sekä niiden vaikutusta maanvaraisen laatan halkeilukäyttöasteeseen. Työn lisäksi on Finnmap Consulting oy:lle päivitetty maanvaraisen laatan laskentamalli eurokoodien osalta.</p> <p>Tutkimusmenetelminä on käytetty alan kirjallisuutta ja alan ammatti Internet sivustoja. Lisäksi työssä olevat laskelmat ovat tehty Excel-pohjaisilla laskentamalleilla ja tulokset esitetty taulukoilla ja diagrammeilla.</p>	
<b>Avainsanat:</b> Maanvarainen laatta, eurokoodi	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Mira Virtala	
<b>Title:</b> Cracking of ground bearing concrete slab by Eurocode	
<b>Date:</b> 8 April 2010	<b>Number of pages:</b> 42 + 2
<b>Department:</b> Civil Engineering	<b>Study Programme:</b> Structural Engineering
<b>Instructor:</b> Jouni Kalliomäki	
<b>Supervisor:</b> Jyrki Jauhiainen	
<p>This diploma work was for Finnmap Consulting Oy, a planning and consulting company specialized in structural engineering. The focus of the study was the factors affecting to the cracking of ground bearing concrete slabs. The problems concerning cracking can be due to multiple reasons and to get the best possible slab the planner and constructor must understand how the cracking can be controlled. The basic principle is that concrete starts to crack when its tensile strength is exceeded. In this study, different stress factors that lead to cracking were researched and possible methods which could prevent or reduce cracking were clarified. With ground bearing concrete slabs the dominant load is often a moving point load which is caused for example by wheels of trucks or movable shelves. The position of the load on the slab also affects the bending moment exerted on the slab which can be a possible cause for cracking.</p> <p>The primary objective of the study has been to clarify the significance of the stress caused by shrinkage due to drying in steels and concrete and also to investigate the friction between the ground bearing slab and the bench and its effect on the cracking capacity of the slab. In addition to the diploma work the calculation model for the ground bearing concrete slab of Finnmap Consulting Oy has been updated for the part of the Eurocode.</p> <p>The research methods used in this study have been based on literary sources and professional Internet sources of the field. Additionally the calculations in the diploma work have been calculated with Excel based calculation models. Tables and diagrams have added of the results of these calculations.</p>	
<b>Keywords:</b> Eurocode, ground slab concrete floor	

**SISÄLLYS****ALKULAUSE****TIIVISTELMÄ****ABSTRACT**

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Tausta</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Tavoite</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Tutkimusmenetelmät</b>	<b>1</b>
<b>2. MAANVARAINEN LAATTA</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Maanvaraisen laatan rakenne</b>	<b>2</b>
2.1.1 <i>Lattiabetoni</i>	3
2.1.2 <i>Lämmöneristyskerros laatan alla</i>	3
2.1.3 <i>Sorakerros laatan alla</i>	4
<b>2.2 EPS</b>	<b>4</b>
2.2.1 EPS-tuoteluokitus	5
<b>2.3 Maanvaraisen laatan rasitukset</b>	<b>5</b>
<b>3. MAANVARAISEN TERÄSBETONILAATAN MITOITUS</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Maanvaraisen laatan kuormat</b>	<b>8</b>
3.1.1 <i>Kuormien sijainti laatassa</i>	9
3.1.2 <i>Kuormitusalan vaikutus laatan momentteihin</i>	14
<b>3.2 Maanvaraisen laatan raudoitus</b>	<b>17</b>
3.2.1 <i>Raudoituksen sijainti laatassa</i>	17
3.2.2 <i>Raudoituksen tarve laatassa</i>	18
3.2.3 <i>Laatan käyristyminen</i>	18
<b>4. MAANVARAISEN LAATAN HALKEILU</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Plastinen kutistuma</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Kuivumiskutistuminen</b>	<b>20</b>
4.2.1 <i>Kokonaiskutistuma</i>	21

4.2.2 Kokonaiskutistuman iheuttamat jännitykset	23
<b>4.3 Rakenteellinen halkeilu</b>	<b>29</b>
<b>4.4 Laatan pintojen lämpötilaero</b>	<b>31</b>
<b>4.5 Kitkan vaikutus halkeiluun</b>	<b>31</b>
4.5.1 Kitkavoimat	32
4.5.2 Kitkavoimien vaikutus	34
<b>4.6 Saumat laatussa</b>	<b>36</b>
4.6.1 Saumaton lattia	36
4.6.2 Saumallinen lattia	37
<b>5. MAANVARAISEN LAATAN VALU</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Jälkihoito</b>	<b>39</b>
<b>6. YHTEENVETO</b>	<b>40</b>
<b>VIITELUETTELO</b>	<b>42</b>

Liitteet:

Halkeamaleveys EN-1992-1-1 mukaan

Viruma EN-1992-1-1 mukaan

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Tämä insinöörityö tehdään Finnmap consulting oy:lle, joka on rakennetekniikkaan erikoistunut suunnittelu- ja konsultointiyritys. Uudisrakennuksista suurimmassa osassa käytetään alapohjarakenteena maanvaraista laattaa, siitä huolimatta, että laatat ovat erittäin herkkiä halkeilemaan.

## 1.2 Tavoite

Tämän insinöörityön tavoitteena on tutkia maanvaraisen laatan halkeilusta aiheutuvia ongelmia ja mahdollisia keinoja, joilla niitä saadaan vähennettyä. Halkeiluvauriot voivat aiheutua betonin ominaisuuksista tai ulkoisten kuormien vaikutuksesta. Halkeiluvaurioiden tutkimus on rajattu betonin kokonaiskutistuman aiheuttamiin rasituksiin sekä laatan ja alustan välisen kitkan vaikutukseen. Työssä on tutkittu betonin kokonaiskutistuman aiheuttamia jännityksiä sekä laatan ja sen alla olevan alustan välisen kitkan aiheuttamien kitkavoimien vaikutusta laatan halkeilukäyttöasteeseen.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

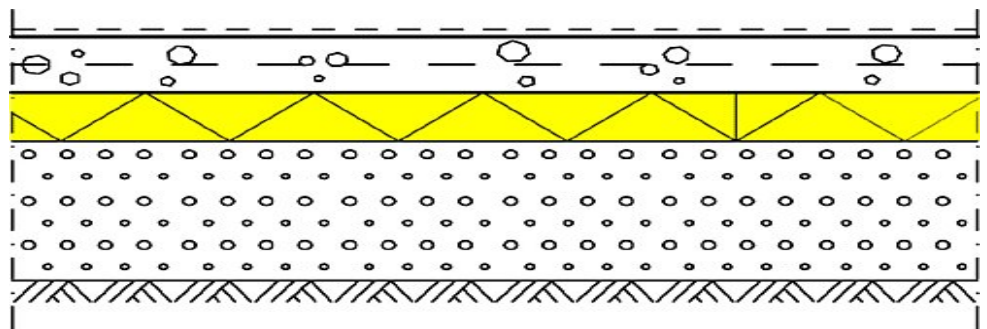
Tutkimusmenetelminä työssä on käytetty alan kirjallisuutta ja rakennusalan Internet sivustoja teoria pohjaksi. Tarvittavat laskelmat on tehty Excel- taulukko laskenta ohjelmalla. Laskelmien tulokset on esitetty tekstin lisäksi myös graafisesti taulukoilla tai diagrammeilla.

## 2. MAANVARAINEN LAATTA

### 2.1 Maanvaraisen laatan rakenne

Maanvarainen laatta on nykyisin käytetyin alapohjatyyppejä. Suomessa on käytetty omakotirakentamisessa maanvaraista alapohjaa 1950-luvulta lähtien. Muita käyttökohteita ovat olleet eri teollisuuden alojen tuotanto- ja varastotiloja, suurkeittiöt, myymälät jne. Maanvaraisessa alapohjassa lattiarakenteet tehdään suoraan kantavan maakerroksen päälle. Alimpana kerroksena tulee olla karkearakenteinen sora, jonka päällä on tasoitushiekka, lämmönerityskerros ja teräsbetoni-laatta (kuva 1). Maanvaraisen laatan ja alustan välissä voidaan käyttää myös muita laakerointikerroksia, kuten muovikalvo tai ohut hiekkakerros.

Maanvarainen laatta voidaan laskennallisesti olettaa toimivan niin, että se lepää jousien päällä ns. kimmoisalla alustalla. Laattaan syntyviin voimasuureisiin ja jännityksiin vaikuttavat alustan ominaisuudet, laatan paksuus, kuormituksen laatu ja sijainti, lämpötilaerot sekä kutistuminen. Maanvaraisen teräsbetoni-laatan toimivuuteen vaikuttaa sen alla olevien kerrosten ominaisuudet, kuten maan kantokyky ja eristeen kuormituskestävyys. /1, s. 17./



Kuva 1. Maanvaraisen laatan rakenne. /10/



### 2.1.1 Lattiabetoni

Maanvaraisessa lattiassa betonin lujuusluokka määräytyy sen käyttötarkoituksen mukaan. Lujuusluokkina käytetään C25/30, joka vastaa betoninormin vanhaa merkintää K30 betonia, tai C30/37, joka vastaa betoninormin vanhaa merkintää K35.

Huokoisena aineena betoni ei ole täysin tiivistä. Betonissa on useita eri huokosia. Geelihuokokset, jotka ovat pieniä ja täynnä vettä, syntyvät sivutuotteena sementin ja veden kemiallisen reaktion kautta. Kun sementti ja vesi reagoivat toisiinsa, syntyy ns. sementtigeliiä. Näiden geelikiteiden väliin jää vapaata vesitäytteistä tilaa, jota kutsutaan geelihuokosiksi. Toisen huokoslajin muodostavat nk. suojahuokokset, jotka saadaan betoniin huokostimien avulla. Näiden huokosien on tarkoitus parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Em. geelin sekaan muodostuu myös nk. kapillaarihuokosia, jotka eivät ole toivotuja betonissa, koska niiden kautta pääsee betoniin imeytymään haitallisia aineita, kuten suoloja. Kapillaarihuokokset muodostuvat sementtiliimassa olleesta vedestä ja niiden määrä on riippuvainen vesisementtisuhteesta. /8, s. 59./

### 2.1.2 Lämmöneristyskerros laatan alla

Lämpöeristetyssä maanvaraisessa lattiassa tulee kiinnittää huomiota lämpöeristeen pitkäaikaiskuormituksen kestävyteen ja kokoonpuristumaan. Teollisuushalleissa on syytä käyttää umpisoluisia suulakepuristettuja eristelevyjä, joiden lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet ovat yliveraisia paisutusmenetelmällä valmistettuihin levyihin verrattuna. Maanvaraisen laatan alla olevan maaperän lämpiäminen aiheuttaa aina hitaan kosteusvirran suuntautumisen alapohjarakenteisiin päin. Varsinkin niissä tapauksissa, joissa alapohjalaatan päälle asennetaan hyvin tiivis päällyste, asiaan on kiinnitettävä erityistä huomiota. Pääsääntönä on, että mikäli betonilattia päällystetään tiiviillä päällysteellä, laatan alla on aina oltava lämpöeriste. /5, s. 12./

### 2.1.3 Sorakerros laatan alla

Sorakerroksen merkitys maanvaraisen laatan alla on hyvin suuri. Soran karkeus sekä kerroksen paksuus täytyy huomioida suunniteltaessa maanvaraisen laatan rakennetta. Yksi olennainen tekijä tämän vaatimuksen täyttymiselle on valita maanvaraisien lattioiden alle kiviaines, joka katkaisee kapillaarisen vedennousun rakenteisiin. Kapillaarinen katkaisu saadaan aikaiseksi, kun täyttöpaksuus on suurempi kuin kiviaineksen tunnettu kapillaarinen nousunopeus. Kapillaarinen vedennousukorkeus saadaan määritettyä eurooppalaisella testausstandardilla SFS-EN1097-10 ”Vedenimeytyskorkeus”. /7./

## 2.2 EPS

EPS materiaaleja käytetään mm. rakenteiden routa- ja lämmöneristeinä sekä painuvilla pohjilla rakennetta keventävinä kerroksina. EPS tuotteita sisältävien rakenteiden jännityksiä ja muodonmuutoksia voidaan laskea maarakenteiden mekaanisessa mitoituksessa käytettävillä elementtiohjelmilla. /5, s. 12./

EPS materiaalissa tapahtuvat muodonmuutokset näkyvät osana kokonaisuudonmuutoksia rakenteen pinnan pysyvää painumaa. EPS-kerroksia sisältävä rakenne tulisi mitoittaa niin, että EPS-materiaalin muodonmuutokset ovat ennakoitavissa, eivätkä aiheuta ongelmia rakenteen pitkäaikaiskäytölle. Siirtymät ja muodonmuutokset ovat joko palautuvia tai pysyviä. Palautuvat muodonmuutokset määräävät rakenteen jouston (kimmoisen taipuma). /5, s. 22–23./

Muodonmuutoksiin vaikuttaa materiaaliin kohdistuva kuormitustila (puristus- ja leikkausjännitykset), joka määräytyy päällä olevien kerrosten painosta, ja ulkoisesta kuormituksesta, rakenteen kerrospaksuuksista ja kerrosten ominaisuuksista jne. Puristusjännitystä voidaan pienentää lisäämällä päällä olevien kerrosten paksuutta ja jäykkyyttä. Materiaalia kuormitettaessa siinä syntyy kokonaisuudonmuutos eli kokoonpuristuma, josta osa palautuu ja osa jää pysyväksi. Palautuva muodonmuutos on kimmoista ja palautumatonta plastista muodonmuutosta. /5, s. 22–23./

### 2.2.1 EPS Tuoteluokitus

EPS-tuotteet luokitellaan niiden puristuslujuuden mukaan. Puristuslujuudella  $\sigma_{10}$  tarkoitetaan yksiaksiaalista puristusjännitystä, joka aiheuttaa näytteessä 10 %:n puristuman testausstandardin EN 826 mukaisesti määritettynä. Käyttötarkoituksen mukaan tuotteet luokitellaan EPS 2000 -tuoteluokituksen mukaisiin tuotenimikkeisiin niin, että Tunnuksen EPS jälkeen tulee jännityksen suuruus, esim. EPS60 tarkoittaa, että se puristuu 10-prosenttisesti kasaan 60 kPa:n lujuudella. /5, s. 19./

EPS-eristeiden lujuusominaisuuksiin vaikuttavat eristeen tiheys, kuormitus-aika, lämpötila ja suhteellinen kosteus. EPS eristeiden lyhytaikainen puristuslujuus määritellään 10 prosentin kokoonpuristumaa vastaavana jännityksenä ja pitkäaikainen puristuslujuus määritellään 2 prosentin kokoonpuristumaa vastaavana jännityksenä. /5, s. 19./

### 2.3 Maanvaraisen laatan rasitukset

Maanvaraiseen teräsbetonilaattaan kohdistuvat rasitukset voivat olla sekä kemiallisia että fysikaalisia. Tyypillisimpiä kemiallisia rasituksia ovat erilaisten happojen, rasvojen ja öljyjen syövyttävä vaikutus. Kemialliseen kestävyyyteen voidaan vaikuttaa betonin koostumuksella, pintakäsittelyllä sekä pintamateriaalilla. Fysikaalisia rasituksia ovat esimerkiksi liikennekuormitus, laahaus, hankaus sekä iskukuormitukset. /1, s. 22./ Maanvaraisen laatan pahimmat ja yleensä määräävät kuormat tulevat raskaasta trukkiliikenteestä, siirrettävistä hyllyköistä ym. ns. pyöräkuormista.

### 3. MAANVARAISEN TERÄSBETONILAATAN MITOITUS

Maanvarainen teräsbetonilaatta on lattiana vaativa mitoituskohde maan kantavuuden, halkeamien sekä painumien takia. Maanvaraisen betonilattian ja lattian alustan suunnitteluun vaikuttaa rakennusfysikaalisten ominaisuuksien lisäksi laatalle tulevat kuormitukset ja niiden sijainnit laatussa.

Maanvaraisen teräsbetonilaatan mitoitukseen vaikuttavat kuormien lisäksi myös betonin sisällä tapahtuvat kemialliset reaktiot, materiaalien kestävyys sekä maan kantokyky. Ennen maanvaraisen laatan suunnittelua on tärkeää tietää lattian käyttötarkoitus hyvin, sillä tämä on oleellisin asia, jotta saadaan mahdollisimman hyvä ja toimiva lattiarakenne.

Maanvaraisen laatan laskentamenetelmiä on useimpia. Niistä kuitenkin käsinlaskentaan soveltuvin menetelmä on Westergaardin kehittämä menetelmä, jossa ratkaisumallit on esitetty äärettömälle laatalle. Tämä menetelmä perustuu alustalukumenetelmään, joista tunnetuimpina ovat Winklerin ja Vlasovin alustamallit. Alustaluku riippuu laatan alla olevasta kerroksesta. Alustaluvulla  $k$  otetaan huomioon alustan painuminen ja sen vaikutus laatan taipumaan ja taivutusrasituksiin. /2, s. 18./ Useasta kerroksesta muodostuvan maanvaraisen laatan alustaluku lasketaan kaavasta /1, s.21./ :

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{1}{k_m}}$$

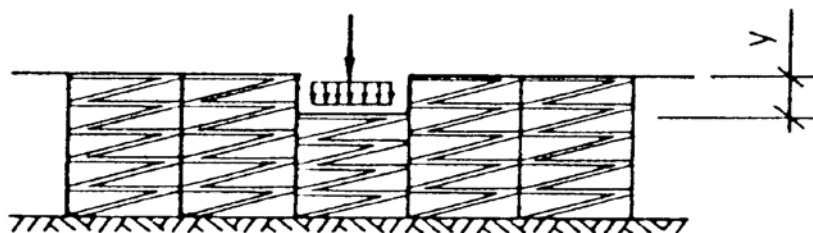
Missä  $h_i$  on alustan eri kerrosten paksuus

$E_i$  on alustan eri kerrosten kimmomoduuli

$K_m$  on perusmaan alustaluku (1, kohta 2.3.4.3.1 mukaan).

Perusmaalla tarkoitetaan tässä häiriintymätöntä maapohjaa tai paksua (vähintään n.1m) tiivistettyä täyttöä /1, s. 21/.

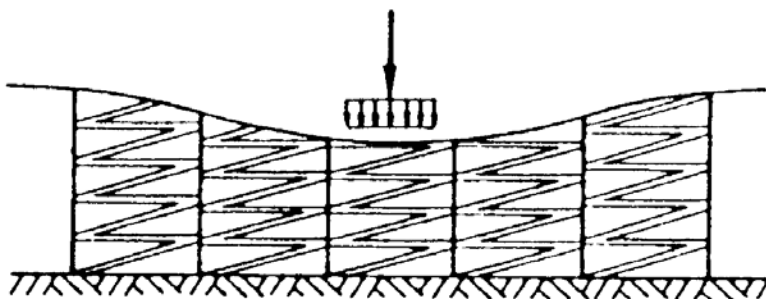
Winklerin alustamallissa laatan oletetaan lepäävän ikään kuin toisistaan irti olevilla jousilla, joiden painumaan ei vaikuta viereisten jousien painuma ja kuorma, ks. Kuva 2. Winklerin alustamalli on yksinkertainen ja riittävän tarkka etenkin kuormilla, jotka eivät ole lähellä murtokuormaa. Kuorman ja taipuman välillä on lineaarinen riippuvuus,  $p=k \cdot y$  missä  $y$ = laatan taipuma,  $k$ = Winklerin alustaluku,  $p$ =alustapaine./1, s. 19./



$$p = ky$$

Kuva 2. Winklerin alustamallin periaatekuva. /1, s. 19/

Vlasovin alustamallissa jousien keskinäinen vuorovaikutus pyritään ottamaan huomioon, ks. Kuva 3. Tämän seurauksena laskelmat vaikeutuvat huomattavasti, eikä niillä ole oleellista vaikutusta laskentatuloksiin. Alustaluvun suuruus riippuu todellisuudessa paitsi alustasta myös laatan jäykkyydestä ja kuorman vaikutusalasta, eikä suuruutta siten voida tarkasti määrittää. /1, s. 19./



Kuva 3. Vlasovin alustamallin periaatekuva. /1, s. 19/

### 3.1 Maanvaraisen laatan kuormat

Maanvaraiseen laattaan voi kohdistua tasaista kuormaa, viivakuormaa tai pistekuormaa. Tasainen kuormitus ei aiheuta laattaan taivutusrasituksia, jos laattaa kantava alusta on kauttaaltaan tasaisesti kokoonpuristuva.

Betonilaattaa voivat oman painon lisäksi kuormittaa mm. seuraavat tasaisesti jakautuneet kuormat:

- pysyvä tasaisesti jakautunut kuorma
- pitkäaikainen tasaisesti jakautunut hyötykuorma
- lyhytaikainen tasaisesti jakautunut hyötykuorma

Pysyviä tasaisesti jakautuvia kuormia ovat esimerkiksi laatan yläpuolisten kerrosten paino kuten lattiapäällyste. Tasaisesti jakautuneita hyötykuormia ovat tavarakuorma ja oleskelukuormat. Näistä pitkäaikaista tasaisesti jakautunutta kuormaa on esimerkiksi varastossa olevat täydet lavat, täydet hyllyköt ym. tavarat jotka ovat pidemmän aikaa varastossa. Lyhytaikaista tasaisesti jakautunutta kuormaa on esimerkiksi varastossa työskentelevät ihmiset ym.

Viivakuormien aiheuttamien rasiusten laskenta tehdään joko tietokoneohjelmilla tai käyrästöjen mukaisella mitoituksella. Viivakuorma aiheutuu esimerkiksi korkeasta tiiliseinästä tai kiskoliikenteen kuormista. /1, s. 25./

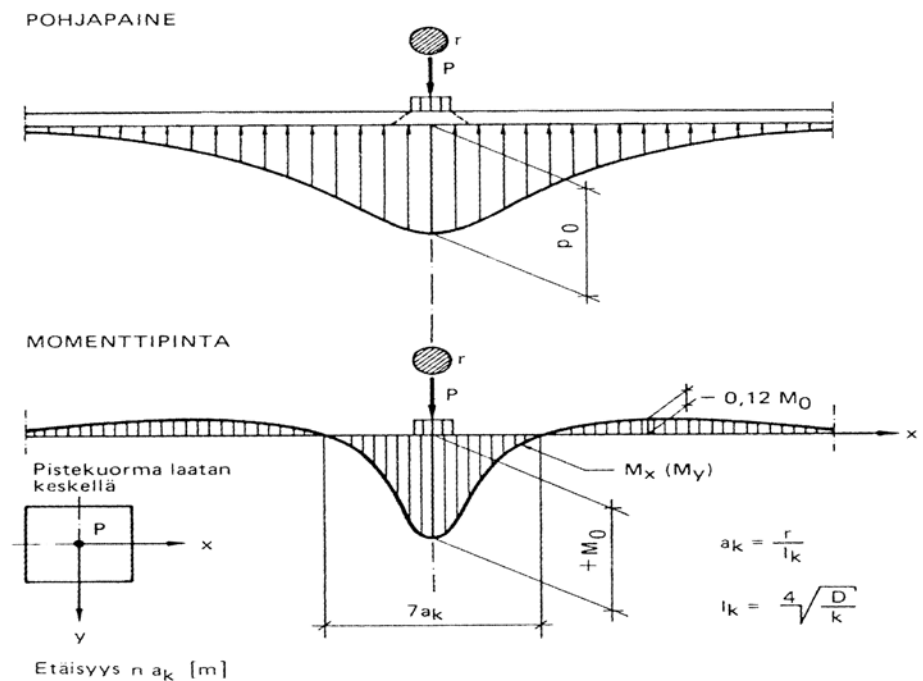
Pistekuorma aiheuttaa maanvaraiseen teräsbetonilaattaan täysin erilaisen rasiustilan, jonka tasan jakautuneet ja viivakuormat aiheuttavat. Sen vuoksi pistekuormia ei saa teräsbetonilaatan mitoituksessa muuntaa tasan jakautuneiksi - tai viivakuormiksi. Pistekuormien vaikutusala on arvioitava huolella, koska se myös vaikuttaa syntyvien rasiusten suuruuteen. /2, s. 7./

Liikkuvat pistekuormat ovat melkein aina maanvaraisen teräsbetoniilaatan mitoituksen kannalta määräävin kuormitus. Korkeissa varastorakennuksissa voi raskaat hyllykuormat olla määrääviä mitoituksen kannalta. /2, s. 4./

### 3.1.1 Kuormien sijainti laatussa

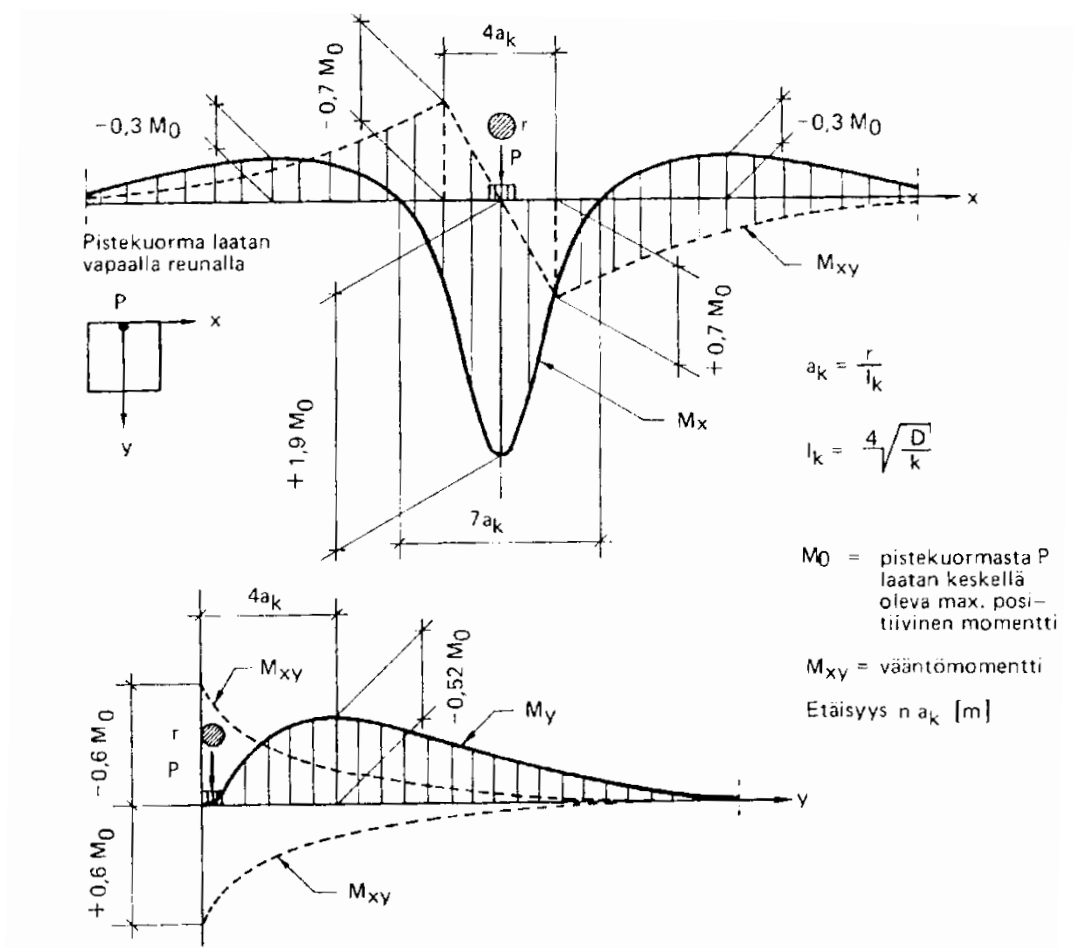
Etenkin pistekuormien kuormittamissa laatoissa maksimirasitukset syntyvät laatan reunoihin ja nurkkiin. Näissä osissa laatta saa huomattavia vetojännityksiä myös yläpintaan. /1, s. 26./

Kun pistekuorma sijaitsee laatan keskellä, aiheuttaa se taivutusmomentti-huipun, jolloin laatan alapintaan kohdistuu vetoa. Laatan yläpinnassa oleva negatiivinen taivutusmomentti jää varsin pieneksi verrattuna laatan alapinnan taivutusmomenttiin. /1, s. 26./



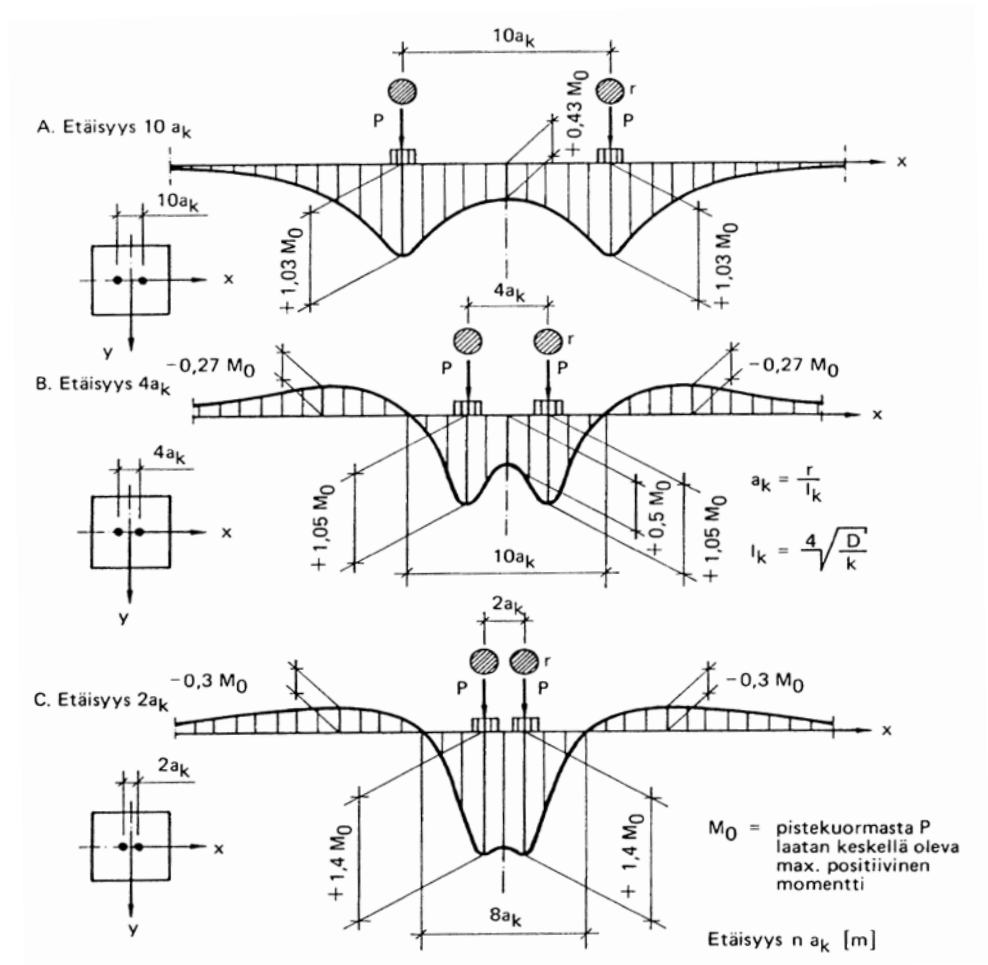
Kuva 4. Pistekuorman aiheuttama pohjapainekuvio ja momenttipinta laatan keskellä. /1, s. 26/

Kun pistekuorma sijaitsee laatan vapaalla reunalla, aiheuttaa se varsin suuren positiivisen taivutusmomentin, jonka suuruus on lähes kaksinkertainen verrattuna siihen, että vastaavan suuruinen pistekuorma sijaitsisi laatan keskellä. Myös vastaava negatiivinen taivutusmomentti sekä vääntömomentti ovat huomattavan suuria. Vääntömomentin ja taivutusmomenttien maksimiarvot eivät kuitenkaan vaikuta samassa kohdassa. Verrattuna yksittäiseen pistekuormaan laatan keskellä aiheuttaa laatan vapaalla reunalla oleva samansuuruinen pistekuorma noin kolminkertaisen pohjapaineen. /1, s. 28./



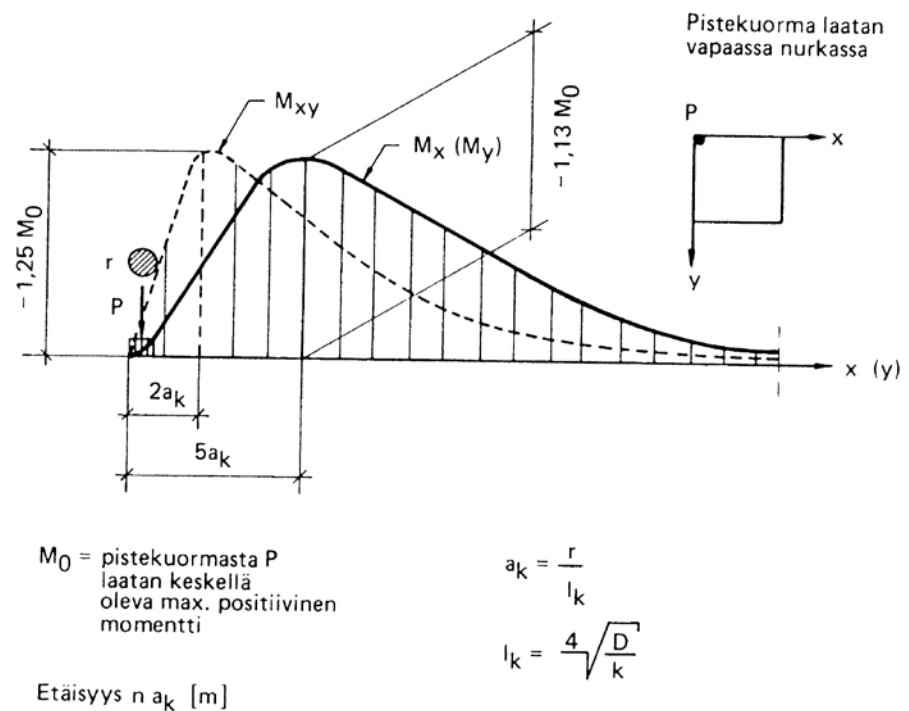
Kuva 5. Pistekuorma laatan vapaalla reunalla, momenttipinnat. /1, s. 28/





Kuva 6. Vierekkäisten pistekuormien vaikutus taivutusmomenttien maksimiarvoihin. /1, s. 27/

Kun pistekuormat ovat vierekkäin  $n \cdot 4 a_k$  etäisyydellä toisistaan, aiheuttaa se jo noin 5-kertaisen pohjapaineen arvon verrattuna yksittäiseen pistekuormaan laatan keskellä. Vastaavassa suhteessa kasvavat laatan reunan taipumat. /1, s. 27./



Kuva 7. Pistekuorma laatan vapaassa nurkassa, momenttipinnat. /1, s. 29/

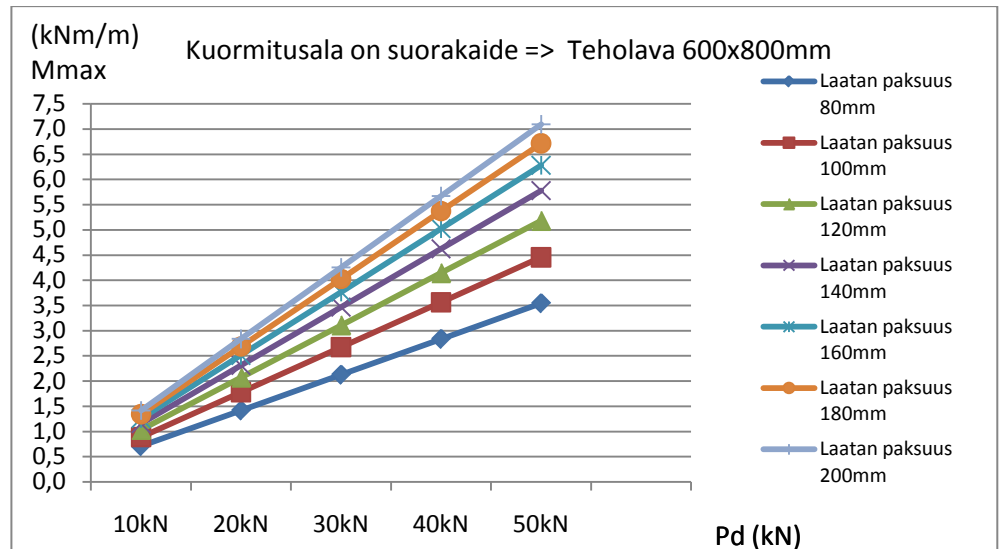
Kun, pistekuorma sijaitsee laatan vapaassa nurkassa aiheuttaa se noin 8-kertaisen pohjapaineen arvon verrattuna yksittäiseen samansuuruiseen pistekuormaan laatan keskellä. Vääntömomentin merkitys korostuu laatan vapaassa nurkassa. Karkeasti ottaen vääntömomentti kasvattaa laatan mitoitettavan taivutusmomentin noin kaksinkertaiseksi verrattuna x- ja y-akselien suhteen laskettuihin taivutusmomenteihin. Tässä tilanteessa suurilla pistekuormilla rasitetuissa laatoissa tulee lämmöneristeiden kuormituskestävyyteen kiinnittää erityistä huomiota. /1, s. 29./

### 3.1.2 Kuormitusalan vaikutus momentteihin

Edellisten kuvien perusteella voidaan todeta, että kuormien sijainnilla laatas-  
sa on hyvinkin suuri merkitys. Kuormitusalojen erot vaikuttavat myös mo-  
mentteihin. Näitä arvoja on laskennallisesti vertailtu ja tulokset esitetty graa-  
fisesti seuraavissa diagrammeissa. Testilaskelmissa on käytetty standardi-  
lavojen (teho-lava, Eur-lava ja Finn-lava) kuormitusaloja.

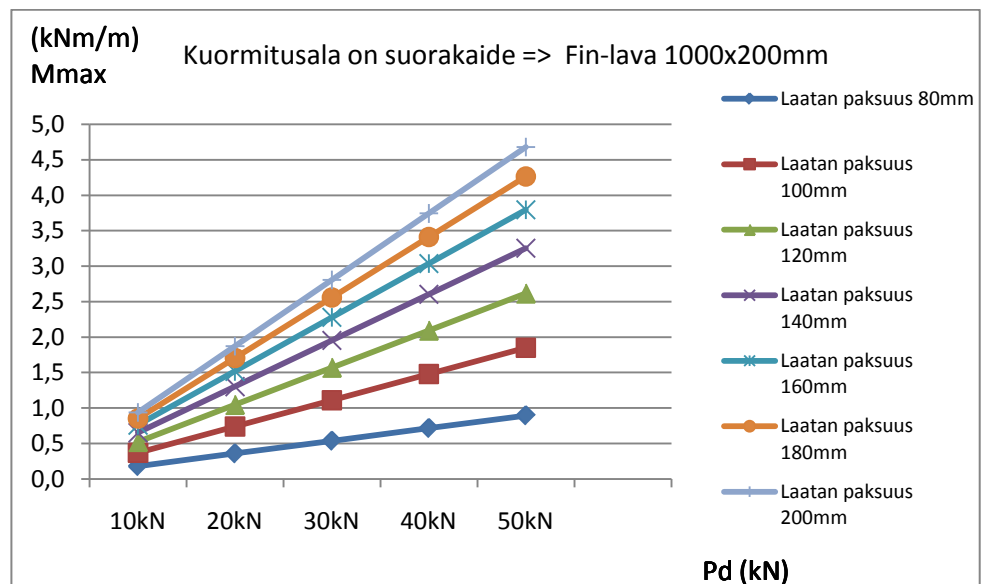
Kuvassa 6 nähdään, miten kaksi vierekkäistä pistekuormaa vaikuttavat mo-  
mentin arvoon, nyt kuitenkin voidaan olettaa koko lavan alue yhdeksi piste-  
kuormaksi, sillä lavojen alla olevien tukien välinen etäisyys ei ole edes yhden  
kuormitusalueen  $a_k$  kokoinen. Ja jos  $2 a_k$ :n kokoinen etäisyys aiheuttaa 1,5-  
kertaisen momentin kasvun, ei silloin alle yhden  $a_k$ :n kokoinen etäisyys ai-  
heuta oleellisesti momentin muutosta. Lavojen alla olevat tukipinnat ovat siis  
niin lähellä toisiaan, että sen päällä oleva kuorma voidaan ajatella jakautu-  
van tasaisesti lavan alueelle.

Laskelmat on laskettu 80-200 mm:n laatoille ja pistekuorman suuruudet on  
10 kN – 50 kN:n väliltä. Laskelmat on tehty Westergaardin menetelmällä.  
Tämän menetelmän kaavat eivät ota huomioon nurkkien ja reuna-alueiden  
vääntömomentin osuutta, mikä suurilla pistekuormilla on usein määräävä,  
siksi pistekuorma  $P_d$  on oletettu olevan laatan keskellä, missä todellisuus-  
dessa on pienimmät momentin arvot. Laatan alle on oletettu 150 mm:n eriste  
ja maakerroksena laskelmissa on käytetty tiivistä sorakerrosta, jonka pak-  
suutena on käytetty 200 mm.



Kuva 8. Teho-lavan kokoisen kuormitusalueen aiheuttama momentti.

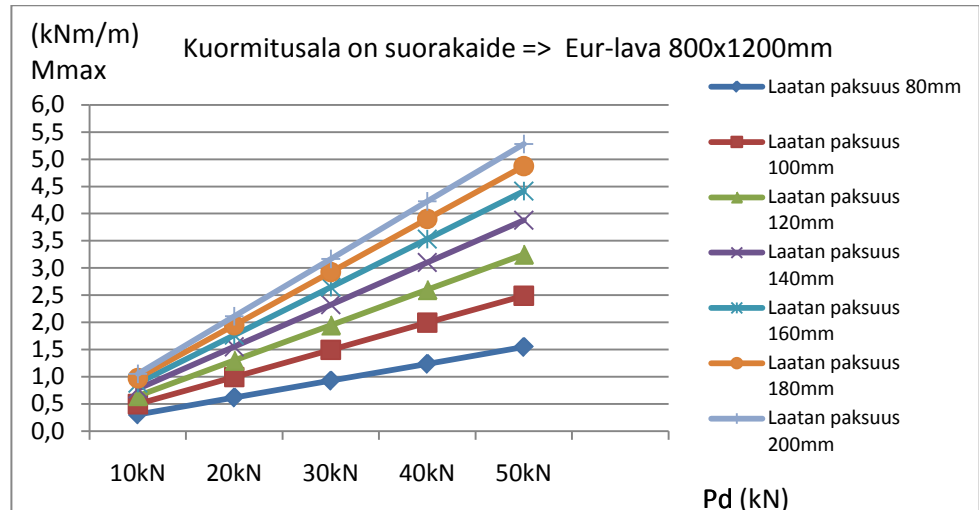
Teho-lavan kokoisella alueella 10 kN:n pistekuorma aiheuttaa 80 mm:n laattassa 0,709 kNm/m maksimimomentin ja 200 mm:n laattassa 1,419 kNm/m maksimimomentin. Ja vastaavasti 50 kN:n pistekuorman aiheuttama maksimimomentti 80 mm:n laattalla on 3,543 kNm/m ja 200 mm:n laattalla on 7,093 kNm/m.



Kuva 9. Finn-lavan kokoisen kuormitusalan aiheuttamat momentit.

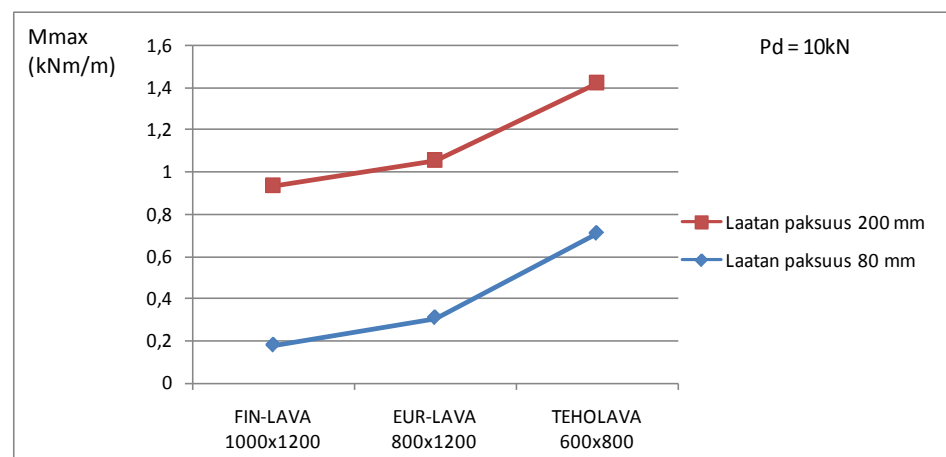
Finn-lavan kokoisella alueella 10 kN:n pistekuorma aiheuttaa 80 mm:n laattassa 0,179 kNm/m maksimimomentin ja 200 mm:n laattassa 0,936 kNm/m

maksimimomentin. Ja vastaavasti 50 kN:n pistekuorman aiheuttama maksimimomentti 80 mm:n laattalla on 1,546 kNm/m ja 200 mm:n laattalla on 5,281 kNm/m.



Kuva 10. Eur-lavan kokoisen kuormitusalueen aiheuttamat momentit.

Eur-lavan kokoisella alueella 10 kN:n pistekuorma aiheuttaa 80 mm:n laattassa 0,309 kNm/m maksimimomentin ja 200 mm:n laattassa 1,056 kNm/m maksimimomentin. Ja vastaavasti 50 kN:n pistekuorman aiheuttama maksimimomentti 80 mm:n laattalla on 1,546 kNm/m ja 200 mm:n laattalla on 5,281 kNm/m.



Kuva 11. Lavojen maksimimomentit.

Pienimmän lavan (Teho-lava,  $0,48 \text{ m}^2$ ) kokoero seuraavaksi suurimpaan lavaan (Eur-lava,  $0,96 \text{ m}^2$ ) on 50 prosenttia.  $10 \text{ kN}$ :n pistekuorman aiheuttama momentti,  $80 \text{ mm}$  paksussa laatasta ei kuitenkaan pienene yhtä paljon vaan arvoksi saadaan  $43,5$  prosenttia. Vastaavasti Eur-lavan kokoero suurimpaan Finn-lavaan ( $1,2 \text{ m}^2$ ) on  $80$  prosenttia ja saman pistekuorman aiheuttama maksimimomentti,  $80 \text{ mm}$  paksussa laatasta pienenee  $60$  prosenttia.

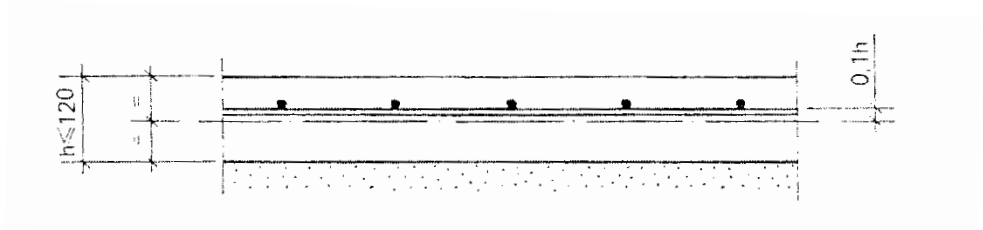
Jos maanvaraisen laatan määräävät rasitukset aiheutuvat raskaista hyllyköistä, joissa nimenomaan hyllyköiden jalat aiheuttavat laattaan pienen kuormitusalan, olisi kuormitusalojen vaikutusta syytä tutkia tarkemmin. Usein kuitenkin trukin pyöristä tulevat pistekuormat ovat määräävin laatan mitoituksessa.

### **3.2 Maanvaraisen laatan raudoitus**

Raudoituksen suunnittelussa tulee pyrkiä selkeyteen, yksinkertaisuuteen ja nopeaan asentamiseen. Laatan verkkoraudoitus voidaan sijoittaa suunnittelijan harkinnan mukaan laatan alapintaan, keskikorkeudelle tai molempiin pintoihin.

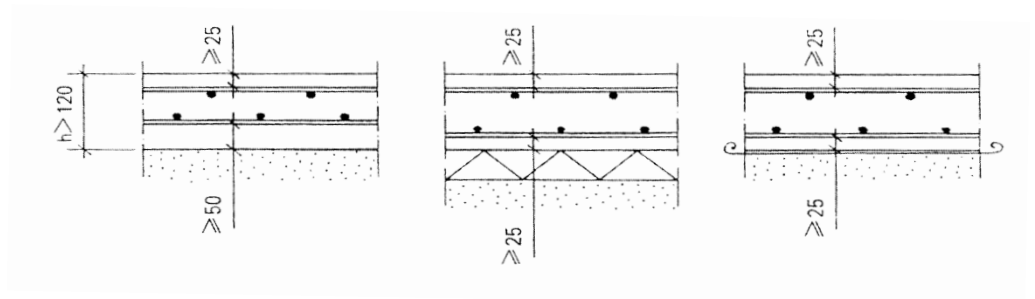
#### **3.2.1 Raudoituksen sijainti laatasta**

Kun laatan paksuus  $\leq 120 \text{ mm}$  ja sitä kuormittavat pistekuormat  $P \leq \dots 50 \text{ kN}$ , voidaan raudoitus sijoittaa keskeisesti, jolloin mitoituksessa laatan jäykkyyttä laskettaessa käytetään laatan paksuutena arvoa  $0,85 \times h$  ja raudoitusta laskettaessa laatan hyötykorkeutena arvoa  $d = 0,5 \times h$ . Keskeinen raudoitus sijoitetaan ja tuetaan laatan keskiviivan yläpuolelle kuvan 12 mukaisesti, koska työn aikana raudoitus voi painua alaspäin, jos huolellista työnaikaista tuentaa ei ole tehty. /1, s. 40./



Kuva 12. Keskeisen raudoituksen, sijoitusperiaate. /1, s. 40/

Kun laatan paksuus  $>120$  mm ja sitä kuormittavat pistekuormat  $P > 50$  kN, rauditus sijoitetaan ylä- ja alapintaan. Betonipeitteen paksuuden tulee olla  $\geq 25$  mm ja suoraan maata vasten valettaessa  $\geq 50$  mm. /1, s. 40./



Kuva 13. Rauditus molemmissa pinnoissa. /1, s. 40/

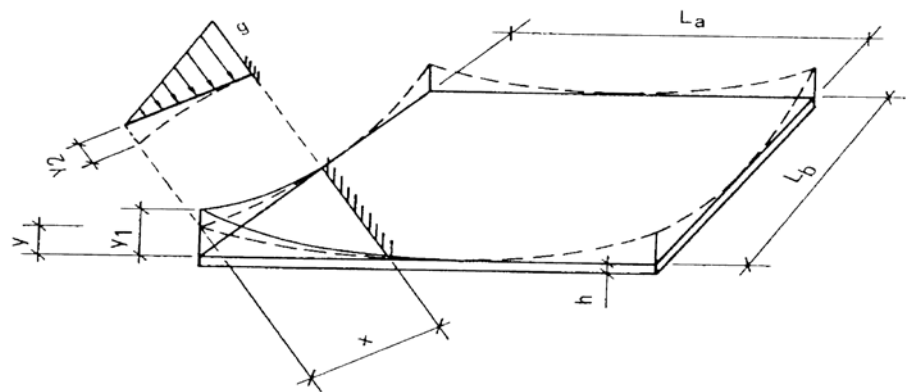
### 3.2.2 Raudoituksen tarve laatasta

Kun laatasta on lämpötilaero laatan yläpinnan ja alapinnan välillä, syntyy laatasta taivutusvetojännityksiä kylmälle puolelle ja puristusjännityksiä lämpimälle puolelle. Laatan kylmetessä yläosastaan syntyy yläpintaan taivutusvetojännityksiä ja alapintaan puristusjännityksiä ja tällöin se vähentää raudoituksen tarvetta alapinnassa sekä kasvattaa tarvetta yläpinnassa. Kun vastaavasti laatta lämpenee yläpinnastaan, syntyy yläpintaan puristusjännityksiä ja alapintaan taivutusvetojännityksiä ja tällöin lisääntyy raudoituksen tarve alapinnassa sekä vähenee yläpinnassa. /1, s. 37./

### 3.2.3 Laatan käyristyminen

Betonin epätasaisesta kutistumisesta johtuva käyristyminen betonilattioissa on lisääntynyt. Yleisesti se esiintyy nurkkien nousuna. Se johtuu betonin epätasaisen kuivumisen ja lämpötilan lattian poikkileikkaukseen aiheuttamista muodonmuutoseuroista. Myös lattian koko, betonin koostumus ja valuolosuhteet vaikuttavat käyristymiseen. Kuivumisesta ja lämpötilasta johtuvat muodonmuutoserot aiheuttavat betonilattian yläpintaan vetojännityksiä ja alapintaan puristusjännityksiä. Maanvaraisissa lattioissa käyristyminen aiheuttaa eniten ongelmia ohuissa lattioissa, joissa oman painon käyristymistä estävä vaikutus on pieni. /4, s. 419./

Betonin lujuuden noustessa kimmomoduuli kasvaa ja viruma pienenee. Tämä pienentää myöhemmin laatussa tapahtuvaa käyristymisen palautumista. Lujuuden kasvaessa, kasvaa myös betonin tiiveys, joka myös hidastaa betonin kuivumista ja käyristymisen palautumista. Tämän johdosta maanvaraisen lattian kantavuuden lisäämisen kannalta on suositeltavampaa kasvattaa lattian paksuutta kuin lisätä betonin lujuutta. /4, s. 420./



Kuva 14. Laatan käyristymä vapaassa nurkassa. /1, s. 37/

Laatan ylä- ja alapinnan väliset lämpötilaerot sekä kosteuseroista johtuvat kutistumiserot pyrkivät käyristämään laattaa, mitä laatan oma paino puoles-



taan vastustaa (kuva 14). Laatan nurkka- ja reuna-alueilla oman painon aiheuttama momentti ei välttämättä riitä pitämään laattaa suorana. /1, s. 37./

#### 4. MAANVARAISEN LAATAN HALKEILU

Betoni halkeilee aina. Tärkeintä on ymmärtää, lattian kestävyys kannalta, että tämän halkeilun on oltava hallittua. Maanvaraiseen laattaan voi syntyä halkeamia, joko pian valun jälkeen tai myöhemmin esim. kuormituksista. Halkeamatyyppejä on monenlaisia. Betonilattioiden halkeilu voidaan jakaa seuraavasti:

- plastinen eli varhaisvaiheen halkeilu
- rakenteellinen halkeilu.

Kokonsa puolesta halkeilu on mikrohalkeilua  $<0,05$  mm tai näkyvää halkeilua  $n.>0,1$  mm. Haitallisimpia ovat olosuhteista riippuen yli  $0,2...0,4$  mm:n halkeamat, jotka ulottuvat raudoitukseen asti. Niiden kautta korroosion alkamiseen vaikuttavat aineet pääsevät tunkeutumaan nopeasti raudoitukseen ja sitä välittömästi suojaavaan betoniin asti. Raudoitustankojen suuntaiset halkeamat voivat aiheuttaa raudoituksen korroosiota laajalla alueella. Laskennalliset halkeamaleveydet rajoitetaan rakenteiden suunnittelussa EN-1992-1-1 mukaan eri rasitusluokista riippuen. /8, s. 73./

##### 4.1 *Plastinen kutistuma*

Jo ennen betonin sitoutumista voi tapahtua massan plastisesta kutistumasta johtuvaa halkeilua. Plastinen kutistuma aiheutuu veden nopeasta haihtumisesta tuoreen betonin pinnasta välittömästi valun ja pinnan tasoituksen jälkeen. Tähän halkeiluongelmaan on olemassa keinoja, jolla saadaan vähennettyä tätä kyseistä reaktiota betonissa. Oikeanlaiset valuolosuhteet ja jälkihoito ovat parhaita keinoja vähentää plastista halkeilua. /8, s. 73./ Osa plastisesta halkeilusta on näkyvää, verkkomaista halkeilua, ja osa on näkymättömiä mikrohalkeilua. Halkeilu saadaan pintaosastaan hierrettyä umpeen, mutta halkeamat aukeavat tai tulevat uudelleen näkyviin pinnan hiomisen yhteydessä sekä kulumisen tai myöhemmin kuivumiskutistumisen sekä rakenteellisten rasitusten yhteydessä. /8, s. 76./

## 4.2 Kuivumiskutistuminen

Kovettunut betoni kutistuu kuivuessaan ja laajenee jälleen kostuessaan. Yleensä nämä tapahtumat ovat palautuvia lukuun ottamatta osaa ensimmäisen kuivumisen tapahtuvasta kutistumasta. Kuivumiskutistuminen johtuu siitä, että kuivuminen aiheuttaa betonissa olevaan veteen jännityksiä, jotka imevät vettä pois geelihiukkosista. Tällöin geelihiukkasten välit pienenevät ja geeli kutistuu pakottaen betonin kutistumaan. Eli toisin sanottuna sementtikiven tilavuus pienenee. Betonin kutistumisen määrään vaikuttavat betonin koostumus ja luonnollisesti ympäristöolosuhteet. Mitä enemmän betonimassassa on vettä ja sementtiliimaa, sitä suurempi on kutistuma. Myös sementin korvaaminen masuunikuonalla kasvattaa kutistumaa. Betonin kutistumista lisää myös betonin huokostaminen, ympäristön kuivuus, notkistimien käyttö massassa ym. /8, s. 71./

Betonin kuivumiskutistumisen aiheuttamia halkeamia syntyy, kun kutistuminen ei voi tapahtua vapaasti. Betoni kuivuu hitaasti, minkä vuoksi sen aiheuttamia halkeamia syntyy pitkän ajan kuluessa. Kutistumista tapahtuu sitä vähemmän, mitä enemmän betonissa on runkoainetta, joka vastustaa kutistumista. Kuivumiskutistuminen pienenee myös, jos betonimassan vesimäärää vähennetään. /8, s. 76./

### 4.2.1 Kokonaiskutistuma

Betonin kokonaiskutistuma muodostuu kahdesta komponentista, kuivumiskutistumasta  $\epsilon_{cd}$  ja sisäisestä kutistumasta  $\epsilon_{ca}$ . Kokonaiskutistuma lasketaan kaavasta /3, Kohta 3.8, s.33/:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

Kuivumiskutistuman loppuarvo  $\varepsilon_{cd,\infty}$  saadaan laskettua kaavasta /3, Kohta 3.9, sivu 33/:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = kh * \varepsilon_{cd,0}$$

kh on kerroin, joka riippuu betonin poikkileikkauksen muunnetusta paksuudesta. Kerroin kh saadaan taulukosta 1.

Taulukko 1. kertoimen kh arvot. /3, kohta 3.9, s.33/

h0	kh
100	1
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,7

$\varepsilon_{cd,0}$  on nimellinen kuivumiskutistuma, joka saadaan taulukosta 2.

Taulukko 2. Nimellisen kuivumiskutistuman arvoja betonille, jonka sementti on CEM-tyyppiä N. /3, kohta 3.9, s.33/

fck/fck,cube (MPa)	Suhteellinen kosteus (%)					
	20	40	60	80	90	100
C20/25	0,62	0,58	0,49	0,3	0,17	0
C40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0
C60/75	0,3	0,28	0,24	0,15	0,08	0
C80/95	0,3	0,28	0,24	0,15	0,08	0
C90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0

Aikavälillä  $t-t_s$  tapahtuva kuivumiskutistuminen voidaan määrittää kaavasta /3, kohta 3.10, s.34/ :

$$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \epsilon_{cd, 0}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0,04*\sqrt{h_0^3}}$$

, missä

$t$  on betonin ikä tarkasteluhetkellä

$t_s$  on betonin ikä kuivumiskutistumisen alkamisesta. Yleensä jälkihoidon päättymispäivä (vrk).

$h_0$  on poikkileikkauksen nimellismitta, joka saadaan kaavasta /3, kohta 3.10, s.34/ :

$$h_0 = \frac{2*Ac}{u}$$

, missä

$Ac$  on betonin poikkileikkausala

$u$  on kuivumiselle alttiin poikkileikkauksen osan piiri

Sisäinen kutistuma saadaan kaavasta /3, kohta 3.11, s.34/ :

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) * \epsilon_{ca}(\infty)$$

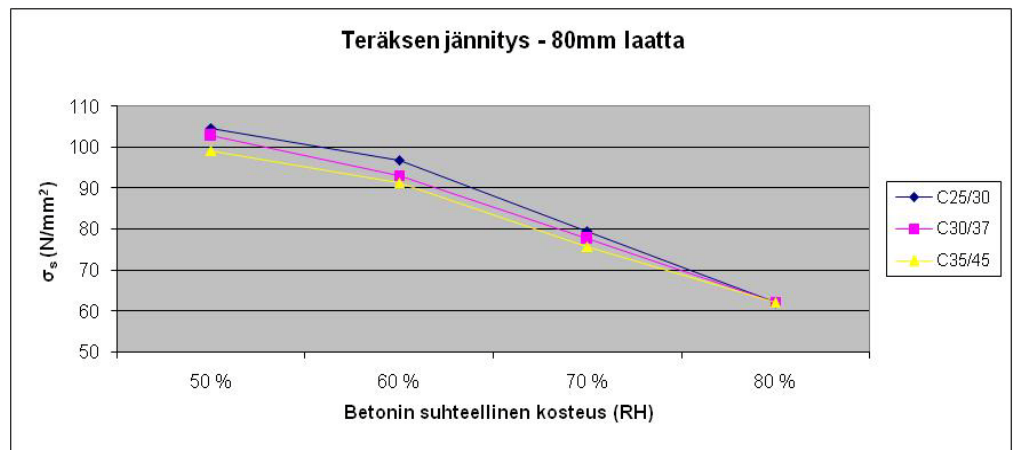
, missä

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2*t^{0,5})}$$

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 2,5 * (f_{ck} - 10) * 10^{-6}$$

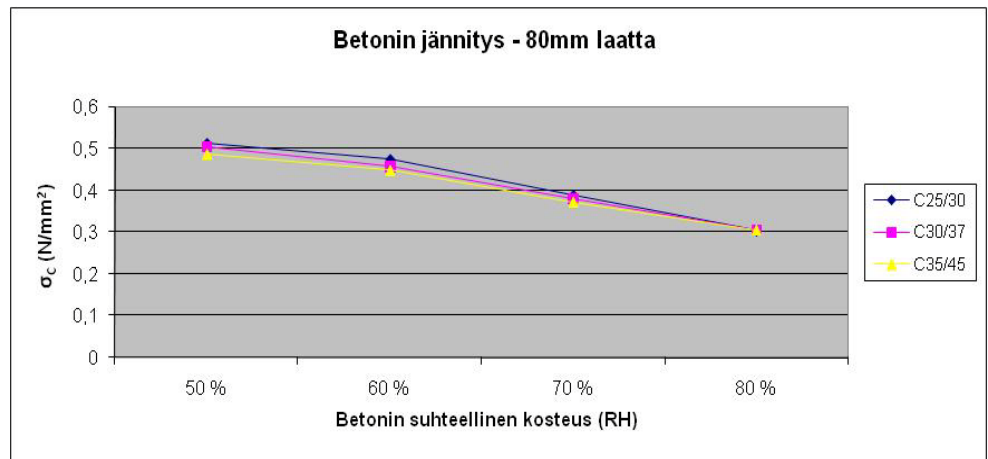
#### 4.2.2 Kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset

Betonin pyrkinessä kutistumaan kuivumisen takia, teräkset betonissa pyrkivät estämään tätä liikettä. Voidaan ajatella se niin, että kutistuvan betonin liike aiheuttaa voiman, joka puristaa teräksiä ja samalla tavalla terästen aiheuttama voima, joka yrittää estää betonin kutistumista, venyttää betonia. Tämän takia teräsiin ja betoniin kohdistuu jännityksiä. Seuraavissa diagrammeissa (kuvat 15 - 24) on esitetty kokonaiskutistuman aiheuttamien jännityksien suuruudet teräksissä ja betonissa, suhteellisen kosteuden vaihdellessa 50 prosentin ja 80 prosentin välillä. Raudoitusoletuksena laskelmissa on käytetty T10 verkkoa alapinnassa k200 jaolla ja tarkasteltava alue on metri.



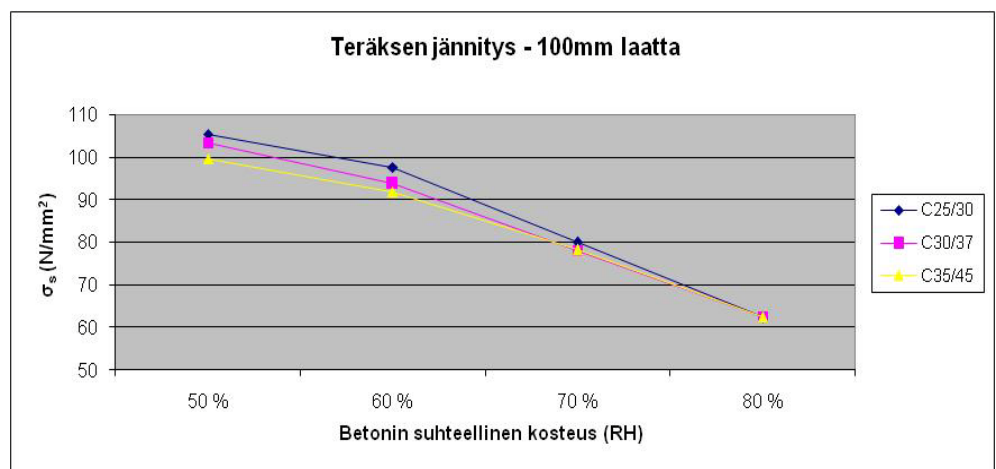
Kuva 15. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset teräksissä.

Suurimmat jännitykset teräksessä syntyvät betonin suhteellisen kosteuden ollessa 50 prosenttia. Tällöin betonin C25/30 kokonaiskutistumasta aiheutuva jännitystila teräksissä on 104,6 N/mm<sup>2</sup>:n suuruinen. Tämä on terästen lujuudesta 21 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on 102,7 N/mm<sup>2</sup> (20,5 %) ja C35/45 betonissa 99,0 N/mm<sup>2</sup> (19,7 %)



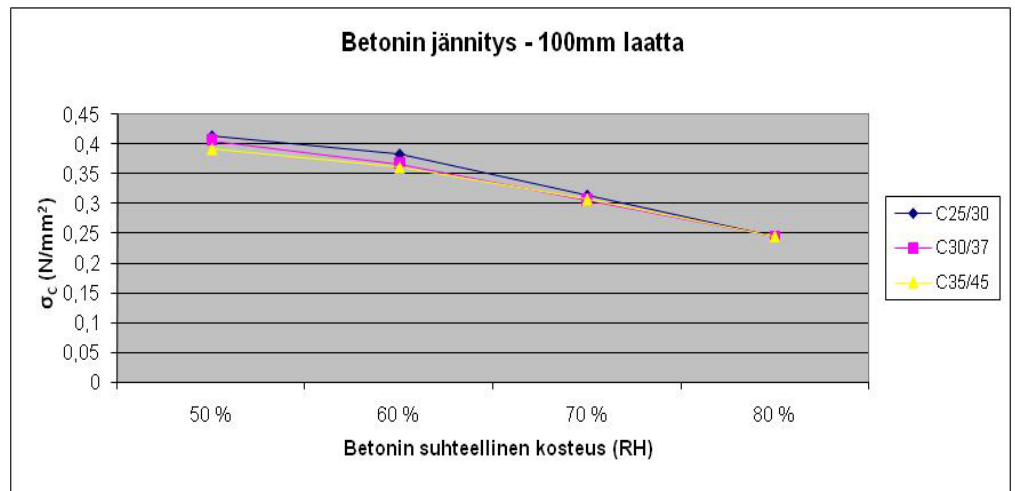
Kuva 16. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset betonissa.

Kun laatan paksuus on 80 mm, betonissa C25/30 vallitsee  $0,51 \text{ N/mm}^2$ :n jännitys, kun suhteellinen kosteus on 50 prosenttia ja betonin kokonaiskutistuma on 0,54 %. Tämä jännitys on betonin vetolujuudesta jo 28 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $0,50 \text{ N/mm}^2$  (24 %) ja C35/45 betonissa  $0,49 \text{ N/mm}^2$  (19 %).



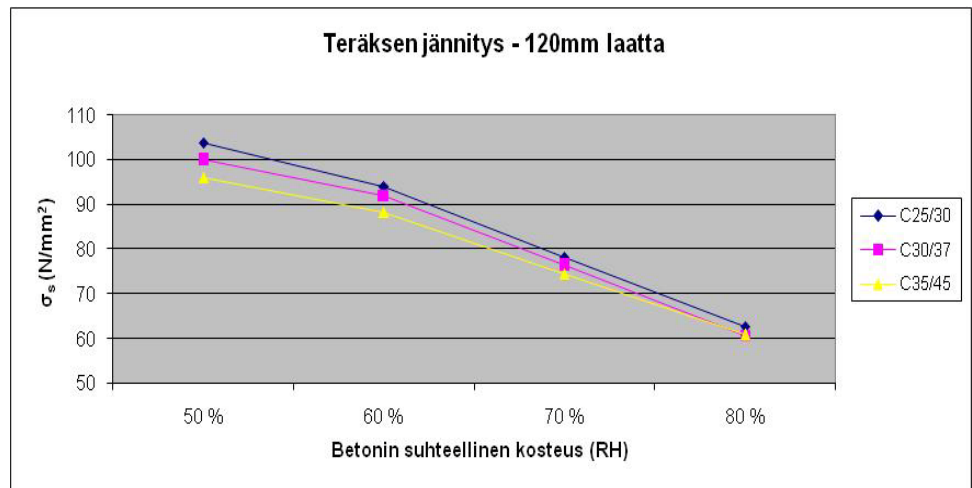
Kuva 17. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset teräksille.

Suurimmat jännitykset syntyvät betonin suhteellisen kosteuden ollessa 50 prosenttia. Tällöin betonin C25/30 kokonaiskutistumasta aiheutuva jännitysti-la teräksissä on  $105,3 \text{ N/mm}^2$ :n suuruinen. Tämä on terästen lujuudesta 21 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $103,4 \text{ N/mm}^2$  (21 %) ja C35/45 betonissa  $99,6 \text{ N/mm}^2$  (20 %).



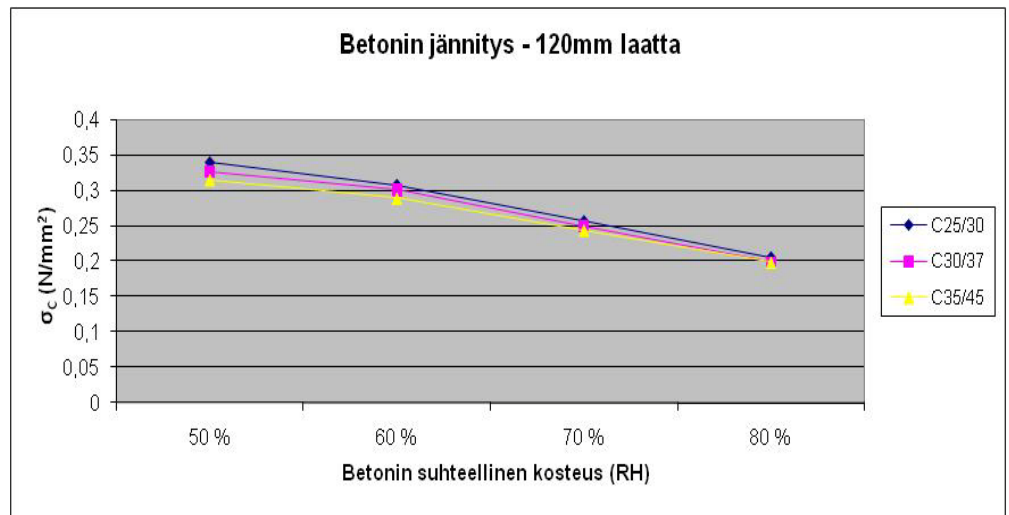
Kuva 18. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset betonissa.

Kun laatan paksuus on 100 mm, betonissa C25/30 vallitsee 0,41 N/mm<sup>2</sup>:n jännitys, kun suhteellinen kosteus on 50 prosenttia ja betonin kokonaiskutistuma on 0,54 %. Tämä jännitys on 22 prosenttia betonin vetolujuudesta. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on 0,40 N/mm<sup>2</sup> (19 %) ja C35/45 betonissa 0,39 N/mm<sup>2</sup> (15 %).



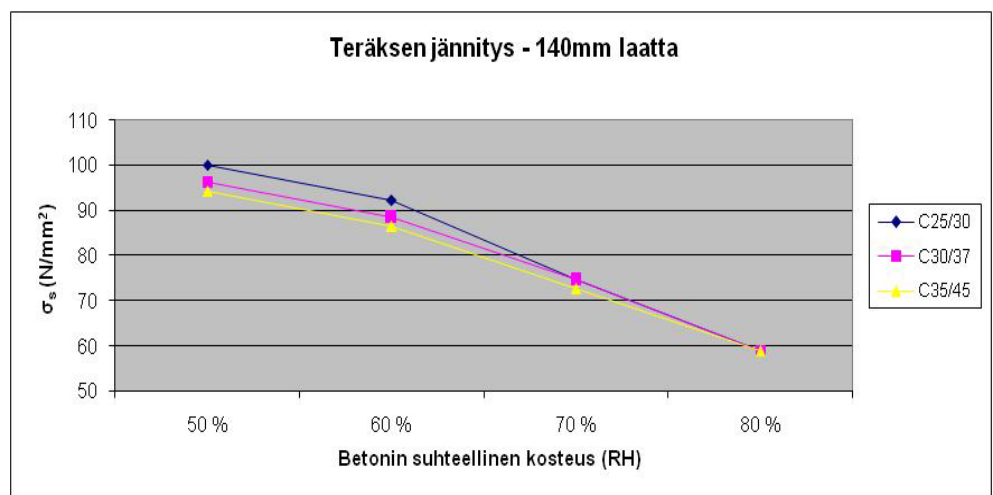
Kuva 19. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset teräksille.

Suurimmat jännitykset syntyvät betonin suhteellisen kosteuden ollessa 50 %:a. Tällöin betonin C25/30 kokonaiskutistumasta aiheutuva jännitystilä teräksissä on 103,7 N/mm<sup>2</sup>:n suuruinen. Tämä on terästen lujuudesta 21 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on 99,9 N/mm<sup>2</sup> (20 %) ja C35/45 betonissa 96,1 N/mm<sup>2</sup> (19 %).



Kuva 20. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset betonissa.

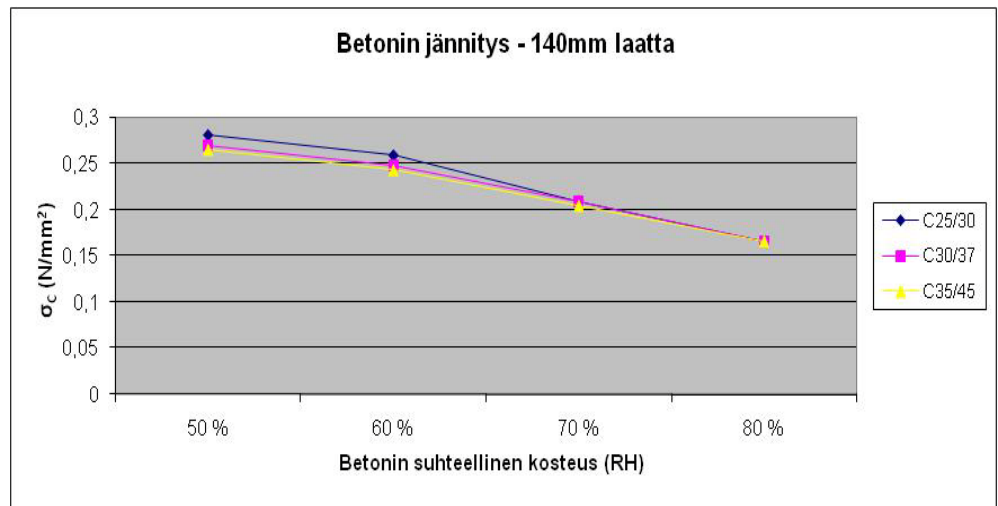
Kun laatan paksuus on 120 mm, betonissa C25/30 vallitsee  $0,34 \text{ N/mm}^2$ :n jännitys, kun suhteellinen kosteus on 50 prosenttia ja betonin kokonaiskutistuma on  $0,53 \text{ ‰}$ . Tämä jännitys on 18 prosenttia betonin vetolujuudesta. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $0,33 \text{ N/mm}^2$  (16 %) ja C35/45 betonissa  $0,32 \text{ N/mm}^2$  (12 %).



Kuva 21. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset teräksille.

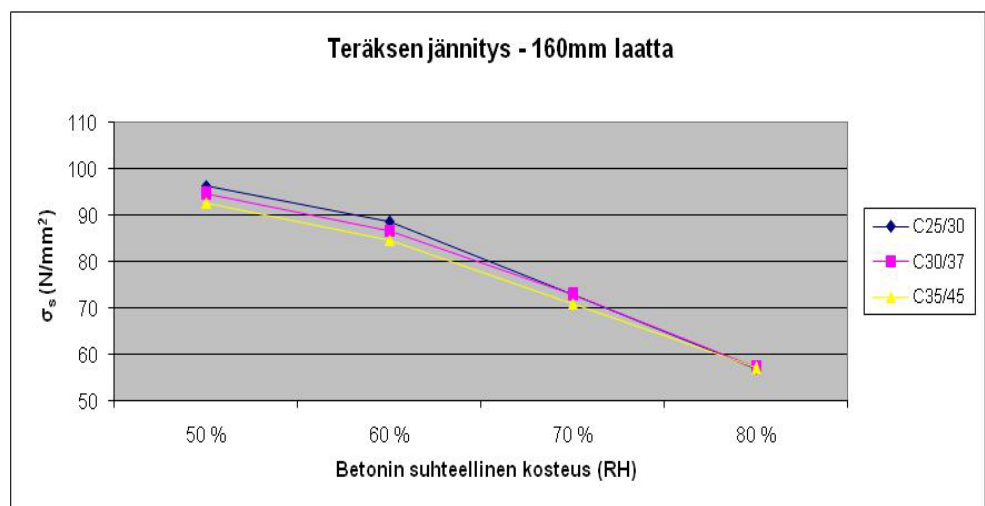
Suurimmat jännitykset syntyvät betonin suhteellisen kosteuden ollessa 50 prosenttia. Tällöin betonin C25/30 kokonaiskutistumasta aiheutuva jännitysti-la teräksissä on  $100,1 \text{ N/mm}^2$ :n suuruinen. Tämä on terästen lujuudesta 20 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $96,3 \text{ N/mm}^2$  (19 %) ja C35/45 betonissa  $94,4 \text{ N/mm}^2$  (19 %).





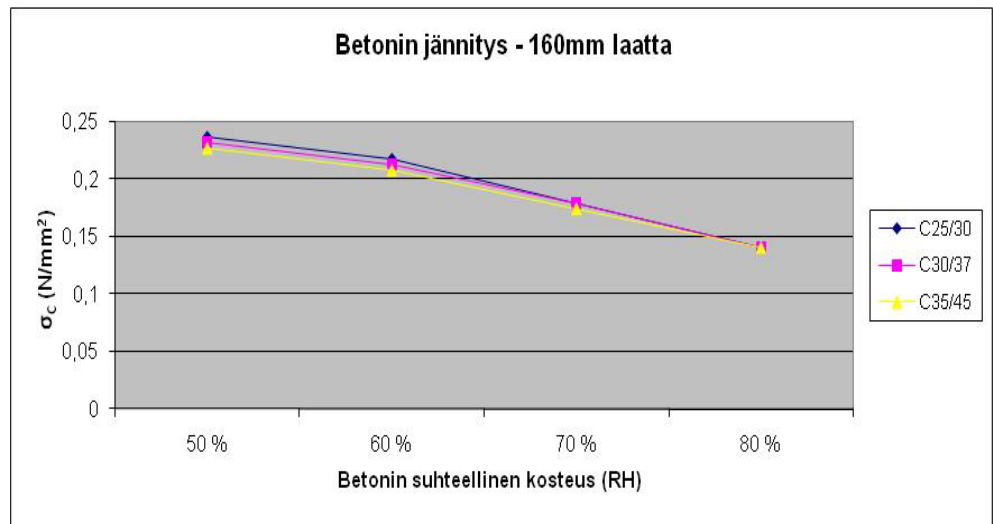
Kuva 22. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset betonissa.

Kun laatan paksuus on 140 mm, betonissa C25/30 vallitsee  $0,28 \text{ N/mm}^2$ :n jännitys, kun suhteellinen kosteus on 50 prosenttia ja betonin kokonaiskutistuma on  $0,52 \%$ . Tämä jännitys on 15 prosenttia betonin vetolujuudesta. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $0,27 \text{ N/mm}^2$  (13 %) ja C35/45 betonissa  $0,26 \text{ N/mm}^2$  (10 %).



Kuva 23. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset teräksille.

Suurimmat jännitykset syntyvät betonin suhteellisen kosteuden ollessa 50 prosenttia. Tällöin betonin C25/30 kokonaiskutistumasta aiheutuva jännitysti-la teräksissä on  $92,4 \text{ N/mm}^2$ :n suuruinen. Tämä on terästen lujuudesta 19 prosenttia. Vastaavasti samat arvot betonille C30/37 on  $94,5 \text{ N/mm}^2$  (19 %) ja C35/45 betonilla  $92,6 \text{ N/mm}^2$  (19 %).



Kuva 24. Betonin kokonaiskutistuman aiheuttamat jännitykset betonissa.

Kun laatan paksuus on 140 mm, betonissa C25/30 vallitsee  $0,24 \text{ N/mm}^2$ :n jännitys, kun suhteellinen kosteus on 50 prosenttia ja betonin kokonaiskutistuma on 0,52 %. Tämä jännitys on 13 prosenttia betonin vetolujuudesta. Vastaavasti samat arvot betonissa C30/37 on  $0,23 \text{ N/mm}^2$  (11 %) ja C35/45 betonissa  $0,23 \text{ N/mm}^2$  (8 %).

Edellisten diagrammien perusteella nähdään, että C25/30 betonilla, teräsiin kohdistuva vetojännitys pienenee 11,7 prosenttia laatan paksuuden kasvaessa 80 mm:stä 160 mm:iin. Vastaavasti betonissa C30/37, teräsiin kohdistuva jännitys pienenee 8 prosenttia, laatan ja tarkastelujen lujimmalla betonilla C35/45, jännitysten muutos laatan paksuuden kasvaessa on enää 6,5 prosenttia.

Vastaavasti betoniin kohdistuvan vetojännityksen pieneminen on betonissa C25/30, n.53 prosenttia, laatan paksuuden kasvaessa 80 mm:n paksuisesta laatasta 160 mm:n paksuiseen laattaan. Betonissa C30/37 vetojännitys pienenee 54 prosenttia ja betonissa C35/45 jännitys pienenee 53 prosenttia. Jännitysten pieneminen johtuu siitä, että paksummalla laataalla kutistuma on pienempi kuin ohuemmalla laataalla.

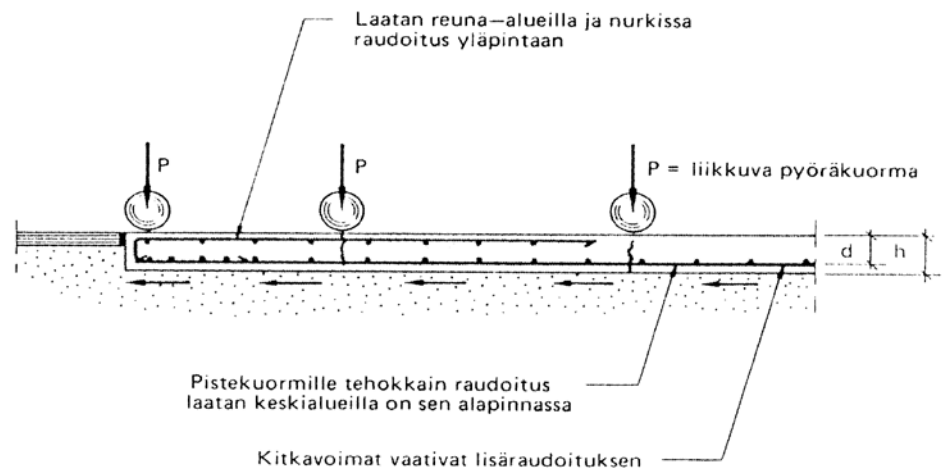
### 4.3 Rakenteellinen halkeilu

Rakenteellinen halkeilu syntyy erilaisista kuormituksista ja alustan liikkeistä. Kovettuneeseen betoniin voivat aiheuttaa halkeamia myös epätasainen kuormitus tai perustusten epätasainen painuminen. Betonin vetolujuuden ylittyessä siihen muodostuu halkeamia. Halkeamat alentavat aina betonin laatua, koska ne lisäävät sen läpäisevyyttä. Tällöin betonin raudoitusta sekä fysikaalisesti että kemiallisesti suojaava vaikutus vähenee. Rakenteellista halkeilua voidaan vähentää esimerkiksi raudoituksella. Laatta voidaan raudottaa sellaisella teräsmäärällä, joka pystyy vastaanottamaan kaikki betonin kutistumisesta aiheutuvat voimat niin, ettei näkyvää halkeilua pääse syntymään. Myös laatan koko vaikuttaa oleellisesti halkeiluun. /8, s. 76./



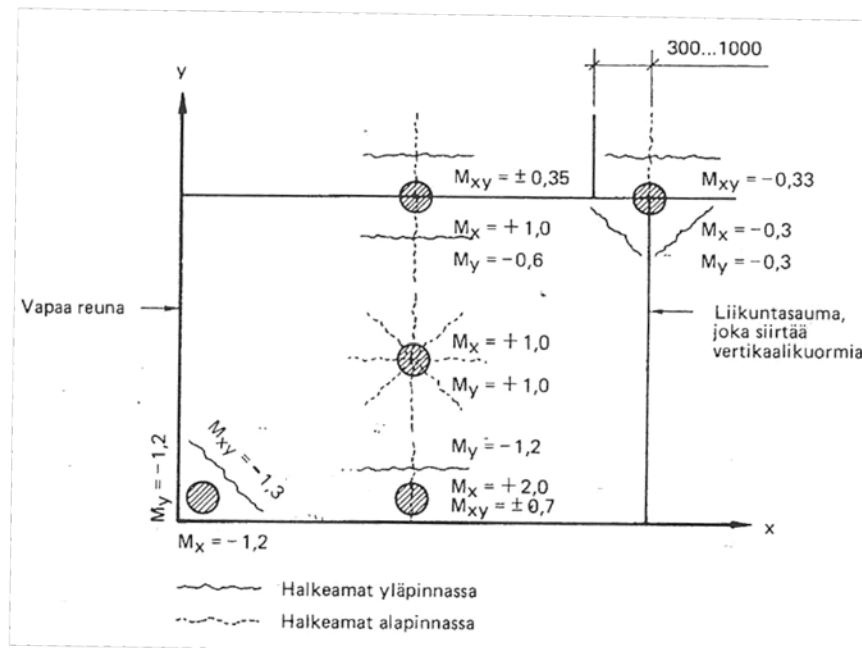
*Kuva 25. Laatan ja kantavan pystyrakenteen välinen solumuovinen eristekaista. /6/*

Lattiapinnan tasossa sijaitsevat jäykät rakenteet, kuten kanavien ja kaivojen seinämät sekä kynnykset ovat maapohjan painumista johtuen ongelmakohtia laatan liikkeen takia. Tästä syystä maanvarainen laatta on irrotettava liikutasaumalla kaikista kantavista ja liittyvistä rakenteista, kuten pilarit, seinät, lattiakanavat esimerkiksi solumuovikaistalla. Muuten nämä epäjatkuvuuskohdat saattavat aiheuttaa rumannäköistä paikallista halkeilua. Jotta eristyskaista toimisi kunnolla, täytyy sen ulottua riittävän syväälle, 50...100 mm laatan alapinnan alapuolelle. /1, s. 25./



Kuva 26. Laatan halkeamien muodostumisperiaate. /1, s. 39/

Kuva 26 havainnollistaa laatan raudoitustarvetta. Halkeamakohtaan muodostuu nivel, jolloin liikkuva pistekuorma aiheuttaa helposti viereen uuden halkeaman. Pistekuorman aiheuttama halkeama toimii myös herkästi alkuna kutistumishalkeamille. /1, s. 39./



Kuva 27. Maanvaraisen laatan kriittiset halkeamasuunnat pistekuormitukselta. /1, s. 31/

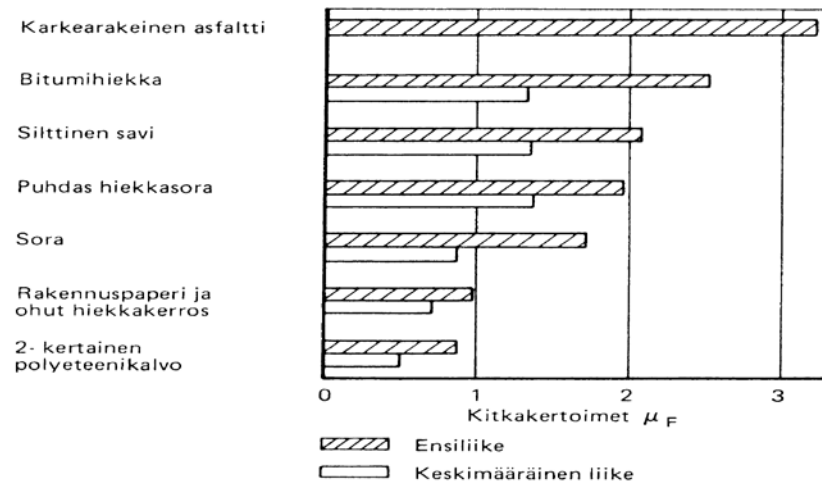
Kuvassa 27 on esitetty maanvaraisen laatan kriittiset halkeamasuunnat kun laattaa rasittaa pistekuormat. Halkeamasuuntien lisäksi voidaan nähdä momenttien keskinäiset suhteet, kun laatan keskellä olevasta pistekuormasta P aiheutuva momentti on +1. Positiivinen momentti aiheuttaa vetoa laatan alaja negatiivinen laatan yläpintaan. Laattojen saumat sekä vapaat nurkat ovat mitoituksen kannalta määräävimpiä. /1, s. 31./

#### **4.4 Laatan pintojen lämpötilaerot**

Eri osien väliset lämpötila- tai kutistumaerot aiheuttavat halkeilua laattaan. Tämä halkeilu johtuu siitä, että rakenteen sisäosat lämpenevät enemmän ja jäähtyvät hitaammin kuin rakenteen pintaosat ja se lisää halkeamariskiä. Tällöin voidaan todeta, että lämmönkehityksellä on suuri merkitys, varsinkin massiivisia betonirakenteita valmistettaessa. Massiivisten rakenteiden betonnoinnissa voidaan eri keinoin vähentää halkeamariskiä käyttämällä mahdollisimman vähän lämpöä tuottavaa sementtiä eli ns. hitaita sementtejä ja /tai kuonaa seosaineena tai mahdollisimman kylmää betonimassaa. /8, s. 75./

#### **4.5 Kitkan vaikutus halkeiluun**

Betonilaatta pyrkii liikkumaan betonin kutistumisen ja lämpötilamuutosten takia, jonka seurauksena laatan alla olevan alustan ja laatan välille syntyy kitkavoimia. Kitkavoimaa voidaan pitää melkein vakiona koko laatan alueella. Kitkavoimat eivät pienennä betonin vapaasta kutistumisesta johtuvaa laatan vapaan reunan siirtymää juuri yhtään. Jotta kitkavoima kehittyisi nk. täyteen arvoonsa, edellyttää se n.1,5 mm liukumaa. Kitkavoimien suuruus voidaan määrittää liukukokein tai voimien ja liukumien mittauksilla laatan päistä. Laatan liukuessa alustallaan ensimmäistä kertaa ovat kitkavoimat suurempia kuin myöhemmin tapahtuviin liukumiin kohdistuvat kitkavoimat. /1, s. 34./



Kuva 28. Kitkakertoimien arvoja. /1, s. 36/

Kuva 28 osoittaa, että valun alustana oleva ohut hiekkakerroksella tai 2-kertaisella polyeteenikalvolla on hyvä vaikutus kitkaa vähentävänä kerroksena. Kitkakertoimien käyttö edellyttää, että laatan alustan tulee olla mahdollisimman tasainen, eikä laatan alapinnassa ole vapaata liikettä estäviä paksunnoksia. Paksunnosten tekeminen laatan alapintaan ei ole suositeltavaa, koska paksunnoksen kohdalla alustatäytön tiivistys on vaikeampaa ja muutenkin estää kutistumisesta aiheutuvaa laatan liikettä. Tästä aiheutuu myös halkeiluongelmia maan epätasaisesta painumisesta. Jos suuret pistemäiset kuormitukset vaativat esim. laatan reunavahvistuksia täytyy silloin paksunnokset muotoilla niin loiviksi, (vähintään 1:10), jotta kutistumis- tai lämpöliike pääsee tapahtumaan. /1, s. 35./

#### 4.5.1 Kitkavoimat

Kitkavoima voidaan laskea kaavasta /1, s.46./ :

$$N_k = (g + k_t \cdot q) \cdot L_x \cdot \mu_F$$

, missä

$g$  on pysyvä kuorma mukaanlukien laatan omapaino [kN/m<sup>2</sup>]

$q$  on pitkäaikainen hyötykuorma [kN/m<sup>2</sup>]

$L_x$  on laatan kutistuvan osan pituus

$L_x$  on  $0,5L$ , laatan päästessä kutistumaan molemmilta reunoiltaan [m]

$L_x$  on  $L$ , kun esimerkiksi laatan reunan paksunnos estää toisen reunan kutistumisiikkeen [m]

$L$  on liikuntasaumaväli

$\mu_F$  on kitkakerroin

$k_t$  on aikavaikutuskerroin

Aikavaikutuskerroin  $k_t$  saadaan kaavasta /1, s.46./ :

$$k_t = \frac{(\Delta L^1 + \Delta L^2)}{\Delta L} \leq 1,0$$

, missä

$\Delta L_1$  on lämpötilaerosta aiheutuva lyhenemä (lämpölaajeneminen)

$\Delta L_2$  on kutistuma matkalla  $L_x$  hyötykuormituksen jälkeen

$\Delta L \leq 1,5 \text{ mm}$

Lämpölaajeneminen saadaan laskettua /1, s.46./ :

$$\Delta L^1 = \alpha * \Delta t * L_x$$

, missä

$\alpha$  on  $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  on  $8 \text{ } ^\circ\text{C}$ , kun laatta lämpenee yläosastaan

$\Delta T$  on  $4 \text{ } ^\circ\text{C}$ , kun laatta jäähtyy yläosastaan

$\Delta T$  on  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , kun tasalämmin rakennus

#### 4.5.2 Kitkavoimien vaikutus

Kitkavoimien suuruus riippuu laatan ja alustan välisestä materiaalista. Seuraavissa taulukoissa (3-6) on esitetty kitkakertoimien vaikutus laatan ja alustan välisiin kitkavoimiin ja sen myötä halkeilukapasiteettiin. Maanvaraisen laatan halkeilukäyttöaste voidaan laskea kaavasta /1, kohta 31, s.49/:

$$\frac{N_k}{A_c \cdot f_{ctk}} + \frac{M_k}{W_{ce} \cdot f_{ctk}} \leq 1$$

, jossa

$N_k$  on kitkavoima

$M_k$  on laatan maksimimomentti.

Testilaskelmissa on laskettu halkeilukäyttöaste laatan keskellä, missä kitkavoimat ovat suurimpia. Kuormituksena on käytetty pysyvää kuormaa  $1,5 \text{ kN/m}^2$  ja lisäksi hyötykuormaa  $5 \text{ kN/m}^2$ . Lisäksi laatan keskellä olevan piste-kuorman aiheuttaman momentin arvona on käytetty  $4 \text{ kNm/m}$ . Muina oletuksina: liikuntasaumaväli  $10 \text{ m}$ , laatta kutistuu molemmista reunoista sekä laatta lämpenee yläosastaan. Tällaisia tapauksia ovat esim. leipomoiden, kuumavalssaamoiden lattiat ym.

*Taulukko 3. Kitkavoiman  $N_k$  vaikutus halkeilukäyttöasteeseen, kun laatan alla on tasainen hiekkakerros, eriste tai kaksi  $0,15 \text{ mm}$  paksuista muovikelmua.*

*Kitkakerroin  $\mu_F=1,0$ .*

laatta	HALKEILUKÄYTTÖASTE	$N_k$ ( $\text{kN/m}^2$ )
80mm	0,47	67,0
100mm	0,38	67,5
120mm	0,32	68,0
140mm	0,27	68,5
160mm	0,24	69,0



Taulukko 4. Kitkavoiman  $N_k$  vaikutus halkeilukäyttöasteeseen, kun laatan alla on yksi 0,15mm paksu muovikelmu. Kitkakerroin  $\mu_F=1,5$ .

laatta	HALKEILUKÄYTTÖASTE	$N_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
80mm	0,70	100,5
100mm	0,56	101,3
120mm	0,47	102,0
140mm	0,41	102,8
160mm	0,36	103,5

Taulukko 5. Kitkavoiman  $N_k$  vaikutus halkeilukäyttöasteeseen, kun laatan alla ei käytetä laakerointia. Kitkakerroin  $\mu_F=2,0$ .

laatta	HALKEILUKÄYTTÖASTE	$N_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
80mm	0,93	134,0
100mm	0,75	135,0
120mm	0,63	136,0
140mm	0,54	137,0
160mm	0,48	138,0

Taulukko 6. Kitkavoiman  $N_k$  vaikutus halkeilukäyttöasteeseen, kun laatan alla alapinnassa on paksunnoksia. Kitkakerroin  $\mu_F=3,0$ .

laatta	HALKEILUKÄYTTÖASTE	$N_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
80mm	1,40	201,0
100mm	1,13	202,5
120mm	0,95	204,0
140mm	0,82	205,5
160mm	0,72	207,0

Taulukoista (3-6), voidaan nähdä, miten paljon laatan ja alustan välissä olevalla materiaalilla on merkitystä syntyviin kitkavoimiin. Laatan paksuuden kasvaessa, jokaisessa tapauksessa halkeilukäyttöaste pieneni samassa suhteessa. 80 mm:n paksuisen laatan käyttöaste kasvoi 48 prosenttia laatan paksuuden kasvaessa 160 mm:n paksuiseen laattaan. Kitkavoimien suuruudet sen sijaan vaikuttivat kitkavoimiin huomattavasti.

Samalla kuormituksella ja lähtöarvoilla tehtyjen laskelmien mukaan halkeilukäyttöaste ylittyy 80 mm:n ja 100 mm:n paksuisilla laatoilla, jos laatan alla on paksunnoksia. Muissa tapauksissa halkeilukäyttöaste ei ylity.

## 4.6 Saumat laatussa

Maanvaraisen lattian voi suunnitella joko saumattomana tai saumoilla. Helppo ratkaisu olisi jättää saumat kokonaan pois. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Perinteisesti betonilattiaan tehdään saumoja, jotta voitaisiin ohjata betonin lämpöliikkeistä ja kutistumisesta aiheutuvat halkeamat yhteen kohtaan. Lattian jakaminen pienempiin osiin vähentää betonin kutistumisesta ja lämpötilan muutoksista aiheutuvia vetojännityksiä. /1, s. 22./

### 4.6.1 Saumaton lattia

Täysin saumattomia maanvaraisia laattoja voidaan tehdä äärettömän kokoisina. Saumaton laatta on ohut. Saumattoman laatan paksuus on käytännössä 80mm:n ja 120 mm:n väliltä. Lattian lähtökohta on, että laatan siirtymät kutistumisesta ja lämpötilaeroista on estetty. Saumaton lattia raudoitetaan niin, että laatan raudoitus kestää enemmän voimaa, kuin mitä laatan vetokapasiteetti on ennen halkeaman syntymistä. Työtekniikat pyritään valitsemaan sellaisiksi, että päiväsaavutus on mahdollisimman suuri, koska sen jälkeen tulee vähintään työsauma. /6./

Viimeaikoina on saatu hyviä kokemuksia nk. raudoitusmattojen käytöstä saumattomissa lattioissa. Mattojen tankopituus voi olla, jopa 15 m. Saumattoman lattian raudoitusmäärät ovat selvästi suurempia verrattuna perinteisiin saumoilla varustettuihin lattioihin. Saumattomien lattioiden valaminen edellyttää kuitenkin laajoja kertavaluja, mutta raudoitus hidastaa valutyötä. /6./

Halkeamien hallinta ja lattian saumattomuus vähentävät tehokkaasti lattian vaurioitumisriskiä. Saumattomuudella saavutetaan myös monia muita etuja, esimerkiksi hyllyjä ja muita kuormituksia voidaan sijoitella vapaasti, miettimättä sen enempää sijoittelun vaikutusta mitoitukseen sekä kuormien siirtymiseen saumojen yli. Saumattomat lattiat saadaan nopeammin valmiiksi kuin saumalliset lattiat johtuen laajoista valuista. Yhdellä valukerralla tehdään jopa yli 2000 m<sup>2</sup> valmista betonilattiaa. /6./

Saumojen puuttumisen etuina ovat mm:

- hyvä pistekuormakestävyys koko laatan alueella
- laatta kestää tasaista kuormaa yhtä paljon kuin sen alla oleva alusta
- alhaiset käyttökustannukset, koska huoltoa ja korjausta vaativia saumoja ei ole.



*Kuva 29. Suuren hallirakennuksen saumaton maanvarainen alapohja./6/*

#### *4.6.2 Saumallinen lattia*

Saumot rumentavat lattian ulkonäköä ja aiheuttavat lattiaan epätasaisuutta. Saumat ovat myös kalliita ja ne vaurioituvat usein murenemalla reunoistaan ja ovat lisäksi hankalia korjata. Sauman kohdalla laatan lujuus on pienin, näin ollen sauma on laatan heikoin kohta. Tämä erottuu selvästi esimerkiksi kuormituksen aiheuttamista vaurioista. Raskas pyöräliikenne sauman yli aiheuttaa helposti laatan reunan lohkeamia sekä laatan murenemistä ja halkeilua. /6./

Maanvaraisissa teollisuuslattioissa käyristyminen on aiheuttanut runsaasti vaurioita saumoissa ja niiden vieressä. Saumakohtiin syntyy hammastuksia, saumojen reunat lohkeilevat ja saumojen viereen syntyy usein sauman suuntaisia halkeamia. Mainituista seikoista aiheutuva epätasaisuus haittaa lattian liikennöintiä ja johtaa yleensä nopeasti saumakohtien korjauksiin. Vaurioiden korjaaminen aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia, mutta myös rakennusvaiheessa sauman tekeminen merkitsee lisäkustannuksia saumattomaan lattiaan verrattuna. Saumoja on periaatteessa kahta tyyppiä, liikuntasaumamat ja kutistumissaumat. /4, s. 419./

Liikuntasaumaväli voi olla maksimissaan 30 metriä. Kun suositeltava valualueen pituuden suhde leveyteen on 1,5–2, voidaan liikuntasaumojen avulla valaa maksimissaan noin 450 m<sup>2</sup>:n suuruinen alue. Liikuntasaumaväli suunnitellaan aina erikseen, erityisesti perustamistapa huomioon ottaen. Liikuntasaumamat sallivat usean millimetrin suuruisen liikkumisen. /6./

Kutistumissaumat ovat pienempiä kuin liikuntasaumamat ja niitä käytetään laajemmissa valuissa. Kutistumissaumat tehdään yleensä sahaamalla kovettuneeseen n.8–24 tunnin ikäiseen betonipintaan saumat (korkeus n. 1/3 laatan paksuudesta), joihin halkeamat ohjautuvat. Kutistumissaumat eivät ole kokonsa takia niin alttiita vaurioille kuin vastaavasti liikuntasaumamat, mutta toisaalta niitä on moninkertainen määrä liikuntasaumoihin verrattuna. Kutistumissaumojen suositeltu väli on noin 30 kertaa laatan paksuus tai 6 metriä. /1, s. 71./

## 5. MAANVARAISEN LAATAN VALU

Maanvaraisen teräsbetoni­laatan valun työvaiheet vaikuttavat sen kestävyys­teen huomattavasti. Betonimassa, valuajankohta, valu ja jälkihoito ovat tärkeä osa suunnittelun toteutumisen kannalta. Usein myös hentoinen verkko­raudoitus on polkeutunut puutteellisen tuennan seurauksena maata vasten, jolloin rautojen sijainti ei enää täsmää suunnitelmien kanssa. Tämän takia suunnitelmien tulisi sisältää tarkat ohjeet työnaikaisista tuennoista. Jos edellä mainituissa ilmenee puutoksia ja huolimattomuutta työtehtävissä, ei silloin laatan raudoituksen ja muiden suunnitteluosioiden vaatimukset täyty. /6./

Onnistuneen ja toimivan maanvaraisen lattian yhtenä todettuna asiana on oikeanlainen massa. Perussääntönä on se, että käytetään alhaisia lujuus­luokkia betonissa, ellei ole mitään painavaa syytä käyttää korkeampia lujuus­luokkia. Betonin kovettuessa tapahtuu siinä tilavuuden muutoksia. Veden ja sementin välisessä reaktiossa vapautuu lämpöä. Tämän reaktion eli ”hydrataation” edistyessä lämmönkehitys vähenee ja poistuvan lämpö­määrän myötä rakenne alkaa jäähtyä. Lämpötilan laskiessa ja betonin kuivussa rakenne kutistuu. Eli tärkeää on huolehtia oikea-aikaisesta ja riittävästä jälki­hoidosta. /6./

### 5.1 Jälkihoito

Betoninvalmistajat ovat epätoivon vimmallalla levittäneet sanaa jälkihoidon merkityksestä, mutta asiaan ei vain tunnuta suhtautuvan sillä oikealla vaka­vuudella. Laadukas betonilattiarakentaminen erottuu edukseen juuri hyvin toteutetulla monivaiheisella jälkihoidolla, jota käytetään valitettavasti vain vaativampien tai hyvin suunniteltujen ja toteutusvaiheessa valvottujen lattioi­den valuissa. Suuri osa valetuista betonilattianeliöistä jää edelleen ilman kunnollista ja tarkoituksenmukaista jälkihoitoa. Viimeaikaiset betonin var­haisvaiheen kutistumaa selvittelleet tutkimukset ovat tuoneet uutta tietoa jäl­kihoidon merkityksestä. Vaikeissa valuolosuhteissa voi betonipintaan muo­dostua jo valun ensimmäisinä tunteina plastista halkeilua, jota ei enää hier­tovaiheessa saada peitettyä. /6./

Huonon jälkihoidon seurauksena moni lattia on mennyt pilalle isojen kutistumien yllättäessä tuulisena hellepäivänä. Yksinkertaisesti vesi on ehtinyt haihtua ennen kuin hydrataatio on ehtinyt tapahtua, mikä on johtanut koko valun epäonnistumiseen. Mikäli tilavuuden muutos ei pääse vapaasti tapahtumaan, syntyy vetojännityksiä, jotka saattavat johtaa halkeamien syntyyn. Kutistuminen ja tasainen lämpötilan lasku aiheuttavat laatan vetäytymisen. Lattiabetonissa notkeuden valintaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Mitä paksumpi valettava lattiabetonikerros on, sitä jäykempää massaa tulisi käyttää. /6./

## 6. YHTEENVETO

Maanvaraisen laatan käyttökohteita ovat perinteisesti olleet erilaiset teollisuuden tuotanto- ja varastotilat, suurkeittiöt tai myymälät. Halkeilusta aiheutuvat kustannukset ovat sen verran suuria, että halkeiluongelma on syytä ottaa vakavasti. Halkeilun aiheuttamien ongelmien hallinta on erittäin vaikeaa, koska laatan toiminta riippuu hyvin monesta tekijästä. On tärkeää ymmärtää, että maasta kapillaarisesti nouseva vesi on aina riski maanvaraiselle laatalle. Kapillaarinsuun vaikuttaa alla olevan maakerroksen rakeisuus ja kerroksen paksuus. Ongelmia aiheuttaa laatussa olevat halkeamat, joiden kautta vesi pääsee rakenteisiin. Lisäksi on ymmärrettävä laatan yhteistoiminta alla olevan maakerroksen kanssa.

Laatan mitoituksessa tulee huomioida betonin materiaaliominaisuudet. Betoni kutistuu kuivuessaan. Tämä reaktio tapahtuu niin, että kutistuva betoni puristaa sen sisällä olevia geelihiukkosia kasaan. Tämä aiheuttaa geelihiukkosissa olevaan veteen jännityksiä. Tämä kutistuminen aiheuttaa myös betoniin ja teräsiin jännitystä. Betonin pyrkiessä kutistumaan, pyrkivät teräkset estämään tätä liikettä. Asia voidaan ajatella niin, että betoni aiheuttaa teräkseen puristusjännitystä ja teräs betoniin vetojännitystä. Näitä jännitysten suuruusluokkia on tutkittu työssä ja todettu, että ohuemmassa laatussa teräsiin kohdistuu suurempia jännityksiä kuin paksummassa laatussa. Tämä johtuu siitä, että ohuempi laatta kutistuu enemmän, joka aiheuttaa jännityksiä enemmän kuin vastaavasti paksumpi laatta. Vastaavasti betonin jännitykset pienenevät laatan paksuuden kasvaessa.

Maanvaraisen laatan ja alustan välinen kitka voi aiheuttaa suuria kitkavoimia laatalle. Näiden kitkavoimien suuruudet ovat riippuvaisia laatan ja alustan välisestä materiaalista. Nämä kitkavoimat vaikuttavat kuitenkin halkeilukäytöstä eteenpäin materiaali-kohtaisesti samalla tavalla laatan paksuuden vaihdellessa. Esimerkiksi EPS-eriste laatan alla vaikuttaa niin, että halkeilukapasiteetti kasvaa 48 prosenttia, laatan paksuuden kasvaessa 80 mm:n laatasta 160 mm:iin paksuiseen laattaan. Tämä kapasiteetin kasvu on yhtä suuri prosentteina muissa materiaaleissa. Laatan paksuuden vaihtelu ei myöskään vaikuta laatan alla oleviin kitkavoimiin kuin muutaman prosentin verran. Suurin vaikutus on siis materiaalista aiheutuva kitkavoima. Suurin hyöty saadaan siis laittamalla laatan alle materiaali, joka aiheuttaa mahdollisimman vähän kitkaa. Laatan paksuuden kasvattamisella ei saada yhtä suurta hyötyä ja se ei ole taloudellistakaan.

Vaikka maanvaraisia lattioita on tehty jo pitkään, ei halkeiluongelmista ole päästy eroon. Yksi tärkeä ja oleellinen asia on se, että suunnittelijan ja toteuttajan täytyy tehdä hyvää yhteistyötä, jotta tulevaisuudessa saataisiin vähennettyä lattiaongelmia.

**VIITELUETTELO**

- /1/ by45/BLY7, Betonilattiat 2000, Suomen Betoniyhdistys ry, Suomen Betonitieto Oy, Gummerus kirjapaino Oy: Jyväskylä 2000. 168s.
- /2/ Miettinen Kari, Teollisuus- ja varastorakennusten teräsbetoniset maanvaraislattiat. Diplomityö, Oulun yliopisto, Oulu 1987.100s.
- /3/ SFS-EN1992-1-1, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- /4/ Rakentajainkalenteri 2008 (kustantaja: rakennustieto oy, [www.rakennustieto.fi](http://www.rakennustieto.fi), kirjapaino: Gummerus Kirjapaino Oy 2007)
- /5/ Paksun EPS kerroksen kuormituskestävyys. Espoo 2003. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
- /6/ [www.betoni.com](http://www.betoni.com) [ saatavissa:<http://www.betoni.com/fi/Betoni-lehti/lehdet/2009+1/> ]
- /7/ Finnfoam Oy, ([www.finnfoam.fi](http://www.finnfoam.fi)), luettu 13.02.2010
- /8/ Betonitekniikan oppikirja, by201. Suomen betoniyhdistys ry. suomen betonitieto Oy. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 1999.



**Liite 1****Halkeamaleveys EN-1992-1-1 mukaan**

Halkeamaleveys  $W_k$  on suurimman halkeamavälin  $S_{r, \max}$  ja teräksen ja betonin keskimääräisten venymien erotuksen  $\varepsilon_m - \varepsilon_{cm}$  tulo saadaan laskettua kaavasta /3, kohta 7.3.4 s.123/:

$$W_k = S_{r, \max} (\varepsilon_m - \varepsilon_{cm})$$

Suurin halkeamaväli lasketaan kaavasta /3, kohta 7.3.4 s124/ :

$$S_{r, \max} = k_3 * c + \frac{k_1 k_2 k_4 \Phi}{\rho \rho_{eff}}$$

$k_1$  on kerroin, joka huomioi tankojen tartuntaominaisuudet:

=0,8 tangot, joilla on hyvä tartunta

=1,6 tangot, joiden pinta on lähes sileä

$k_2$  on kerroin, joka huomioi venymäjakauman:

=0,5 taivutukselle

=1,0 pelkälle vedolle

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$\Phi =$  tangon halkaisija

Teräksen ja betonin keskimääräisen venymän erotus lasketaan kaavasta /3, kohta 7.3.4 s. 123/ :

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{[\sigma_s - kt * \left(\frac{f_{ct,eff}}{\rho\rho,eff}\right) * (1 + \alpha E * \rho\rho,eff)]}{E_s}$$

, jossa

$$\rho\rho,eff = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\alpha E = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3}$$

$$\sigma_s = \frac{Mk}{z * A_s}$$

Puristuspinnan korkeus x lasketaan kaavasta:

$$x = \alpha E * \rho \left( \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha E * \rho}} - 1 \right) * d$$

Vetojännityksen alainen tehollinen pinta-ala  $A_{c, eff}$  saadaan käyttäen korkeutena  $h_{c, eff}$ , missä  $h_{c, eff}$  on pienin arvoista:

$$2,5 * (h - d)$$

$$\frac{h - x}{3}$$

$$\frac{h}{2}$$

Tehollinen pinta-ala  $A_{c, eff}$  saadaan kaavasta /3, kohta 7.3.4 s.123/ :

$$A_{c, eff} = b_w * h_{c, eff}$$

$k_t$  on kerroin, joka riippuu kuorman vaikutusajasta /3, kohta 7.3.4 s.124/ :

=0,6 lyhytaikaiskuormitukselle

=0,4 pitkäaikaiskuormitukselle

EN 1992-1-1 mukaan, halkeama lasketaan pitkäaikaiskuormitukselle.

Taulukko 5. Halkeamaleveyden  $W_{max}$  maksimiarvot. /3, kohta 7.3.2 s.118/

Rasitusluokka	Teräsbetonirakenteet ja tartunnattomat ankkurijännerakenteet	Tartuntajännerakenteet ja injektoidut ankkurirakenteet
	Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä	Tavallinen kuormitusyhdistelmä
X0, XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3	0,3	Vetojännityksetön tila

Taulukko 6. Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämät tangon enimmäishalkaisijat. /3, kohta 7.3.3, s.122/

Teräsjännitys Mpa	Suurin tankokoko, $\phi$		
	Wk=0,4mm	Wk=0,3mm	Wk=0,2mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Taulukko 6. Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämä tankojaon enimmäisarvo. /3, kohta 7.3.3, s.122/

Teräsjännitys Mpa	Tankojaon enimmäisarvo, k		
	Wk=0,4mm	Wk=0,3mm	Wk=0,2mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

**Liite 2****Viruma EN-1992-1-1 mukaan**

Virumaluvun laskeminen kannattaa aloittaa laskemalla kerroin  $\beta_H$ , joka huomioi suhteellisen kosteuden (RH prosentteina) ja poikkileikkauksen muunnetun paksuuden  $h_0$  [mm] /3, liite B/ :

$$\beta_H = 1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500 \quad , \text{ kun } f_{cm} \leq 35$$

$$\beta_H = 1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 * \alpha_3 \quad , \text{ kun } f_{cm} \geq 35$$

, missä

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7}$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2}$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5}$$

Poikkileikkauksen muunnettu paksuus  $h_0$  lasketaan kaavasta /3, liite B/ :

$$h_0 = \left(\frac{2Ac}{u}\right)$$

Tämän jälkeen lasketaan kerroin, joka kuvaa virumisen kehittymistä ajan myötä kuormittumisen jälkeen /3, liite B/ :

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$$

Seuraavaksi lasketaan kerroin, joka huomioi betonin kuormittumisen alkamisajan vaikutuksen nimelliseen virumalukuun /3, liite B/ :

$$\beta(t_0) = \left[ \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} \right]$$

Kerroin jonka avulla otetaan huomioon betonin lujuuden vaikutus nimelliseen virumalukuun, saadaan kaavasta /3, liite B/ :

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

Seuraavaksi lasketaan kerroin, joka huomioi suhteellisen kosteuden vaikutuksen nimelliseen virumalukuun /3, liite B/ :

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{kun } f_{cm} \leq 35 \text{ Mpa}$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1 \right] * \alpha_2 \quad \text{kun } f_{cm} \geq 35 \text{ Mpa}$$

Nyt voidaan laskea nimellinen virumaluku, jonka likiarvo saadaan kaavasta /3, liite B/ :

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(\text{fcm}) * \beta(t_0)$$

Lopullinen virumaluku saadaan kaavasta:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta c(t, t_0)$$