

Maanvarainen teräsbetonilaatta

Antti Lautiainen

Opinnäytetyö

Valitse kohde.

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikka	
Työn tekijä(t) Antti Lautiainen	
Työn nimi Maanvarainen teräsbetonilaatta	
Päiväys 2.12.2012	Sivumäärä/Liitteet 43/3
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel, tuntiopettaja Juha Pakarinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä työ tehtiin Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy:lle, joka on rakennus- ja rakennetekniikkaan erikoistunut suunnitteluyritys. Sormunen & Timonen käyttää erilaisia FEM-pohjaisia 3d-laskentaohjelmia maanvaraisten laattojen suunnitteluun. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia edellä mainittujen ohjelmien soveltuvuutta maanvaraisten teräsbetonilaattojen suunnitteluun ja opetella laskemaan maanvarainen teräsbetonilaatta käsin.</p> <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin esimerkkikohteen maanvarainen teräsbetonilaatta. Laatta suunniteltiin ukrainalaisella SCad 3d -laskentaohjelmalla sekä käsin Westergaardin kehittämien kaavojen avulla. Käsinlaskennassa käytettiin apuna Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.</p> <p>SCad:n ja käsinlaskennan tulokset poikkesivat toisistaan huomattavasti. SCad ei esimerkiksi ota huomioon laatan halkeilua. Halkeilu oli yleensä mitoittava tekijä laatan raudoituksen suunnittelussa. Opinnäytetyö osoitti, että FEM-pohjaisilla laskentaohjelmilla suunnitellut maanvaraiset teräsbetonilaatat tulisi tarkastaa käsinlaskentamenetelmällä.</p>	
Avainsanat maanvarainen, laatta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Construction Engineering			
Author(s) Antti Lautiainen			
Title of Thesis Ground Bearing Concrete Slab			
Date	December 2, 2012	Pages/Appendices	43/3
Supervisor(s) Senior Lecturer Mr. Harry Dunkel, Lecturer Mr. Juha Pakarinen			
Client Organisation/Partners Rakennussunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to study the suitability of FEM calculator software for designing ground bearing concrete slabs and to learn how to design them manually. This work was commissioned by Sormunen & Timonen Oy, a planning and consulting company specialized in structural engineering.</p> <p>In this project, an example of a ground bearing concrete slab was designed both by using SCad 3d calculator software and manually using Westergaard's schemes. An Excel calculator program was the main tool for manual design.</p> <p>Significant differences between the results were found out. For example, SCad does not consider cracking in the slab, which is an essential factor when planning and sizing the reinforcement. The project proved that planning ground bearing concrete slabs using calculator software based on FEM should be rechecked using manual calculation methods.</p>			
Keywords ground, concrete, bearing, slab			

ALKUSANAT

Tämä insinööri työ tehtiin Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy:lle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita Antti Honkasta, Mihail Jokea, Jouni Rytköstä sekä ohjaavaa opettajaa Harry Dunkelia.

SISÄLTÖ

SYMBOLIT JA LYHENTEET	9
1 JOHDANTO	11
2 BETONIN HISTORIAA	13
3 LAATUTEKIJÄT	14
3.1 Betonilaatan tasaisuus	14
3.2 Betonilaatan kulutuskestävyys	16
3.3 Muut laatutekijät	16
3.3.1 Betonin lujuus	16
3.3.2 Kiinnitetyn lattian pintabetonin tartunta	17
3.3.3 Betonilaatan paksuuspoikkeamat	17
3.3.4 Raudoituksen sijainnin vaihtelu betonilaatassa	18
3.4 Luokittelemattomat laatutekijät	18
3.4.1 Betonilaatan kuivuminen	18
3.4.2 Betonilaatan kemiallinen kestävyys	18
3.4.3 Betonilaatan säänkestävyys	19
3.4.4 Betonilaatan vesitiiviys	19
3.4.5 Betonilaatan pinnan karheus	19
3.4.6 Betonilaatan sähkönjohtavuus	19
3.4.7 Betonilaatan ulkonäkö	20
4 SUUNNITTELUOHJEET	21
4.1 Betonilaatan laatuvaatimukset	21
4.2 Betonilattioiden perustyyppit	21
4.2.1 Maanvarainen laatta	22
4.2.2 Pintabetonilattia	22
4.2.3 Kelluvat lattiat	22
5 MAANVARAISEN LATTIAN LASKENTAMENETELMÄT	23
5.1 Käsineläskentämenetelmät	23
5.2 Alustan ominaisuudet	23
5.2.1 Alustaluku	23
5.2.2 Alusrakenteen kokoonpuristuvuus	24
5.2.3 Lämmöneristys	25
5.2.4 Kosteudeneristys	26
5.3 Maanvaraisen laatan rasitukset	26
5.3.1 Tasainen kuormitus	26

5.3.2 Viivakuormat	27
5.3.3 Pistekuormat	27
5.3.4 Pistekuormien vaikutusten keskeiset suhteet	31
5.3.5 Sysäyskuormat.....	33
5.3.6 Kitkavoimat	33
6 MITOITUSPERIAATTEET	35
6.1 Betonilaatan mitoitus	35
6.2 Rauditusperiaate.....	36
7 ESIMERKKILAATAN SUUNNITTELU	38
7.1 Laatan lähtötiedot.....	38
7.2 Taivutusmomentit laatan eri kohdissa käsinlaskennalla	38
7.3 Kitkavoima	40
7.4 Laatan rauditusten suunnittelu	40
8 TULOKSET JA POHDINTA	42
8.1 Maanvaraisen laatan käsinlaskenta.....	42
8.2 Maanvaraisen laatan laskenta SCad:llä	42
8.3 Pohdinta	42
8.4 Mahdolliset jatkotutkimukset	42
LÄHTEET	43

SYMBOLIT JA LYHENTEET

Ac	=	betonipoikkileikkauksen pinta-ala
ak	=	suhteellinen kuormitusjakautuma
As	=	laatan teräsmäärä alapinnassa tai keskellä
as	=	teräksen etäisyys painopisteakselista
c	=	raudoitusta suojaavan betonipeitteen paksuus
D	=	laatan jäykkyys
Ec	=	betonin kimmomoduuli (MN/m ²)
ed	=	normaalivoiman epäkeskisyyss
Ei	=	alustan eri kerrosten kimmomoduuli
Em	=	perusmaan kimmomoduuli (MN/m ²)
fcd	=	betonin puristuslujuuden laskenta-arvo
fck	=	lieriölujuuden ominaisarvo
f _{ck, cube}	=	kuutiolujuuden ominaisarvo
fctd	=	betonin vetolujuuden laskenta-arvo
fctk	=	betonin ominaisvetolujuus
g	=	pysyvä tasainen kuormitus
he	=	laatan muunnettu paksuus
hi	=	alustan eri kerrosten paksuus
Hk	=	kitkavoima
K	=	betonin nimellislujuus
k	=	alustaluku (MN/m ³)
ki	=	jousivakio (MN/m)
km	=	perusmaan alustaluku
kt	=	aikavaikutuskerroin
kw	=	kerroin, joka riippuu tankotyypistä, esim B500: kw = 0,14
L	=	liikuntaaumavälin pituus
lk	=	laatan elastinen jäykkyys säde
Lx	=	etäisyys laatan reunasta
Mx	=	taivutusmomentti x-akselin suhteen
Mxy	=	vääntömomentti
My	=	taivutusmomentti y-akselin suhteen
M0	=	pistekuormasta P laatan keskelle aiheutuva suurin positiivinen momentti

Nd	=	laatan keskeisen vetovoiman laskenta-arvo
Nk	=	laatan keskeisen vetovoiman ominaisarvo aiheutuen kitkasta
P	=	pyöräkuorma, pistekuorma
p	=	alustapaine (kN/m ²)
Pd	=	pistekuorman laskenta-arvo
P0	=	alkujännitysvoima ennen häviöitä
q	=	rengaspaine, kosketuspaine, tasainen hyötykuormitus
R	=	lattian sähkönjohtavuuden vastusarvo
Ti	=	lämpötila ajanjaksona t
t ₂₀	=	betonin kypsyyssikä
Vc	=	laatan betonin lävistyskapasiteetti
y	=	taipuma
α	=	lämpölaajenemiskerroin = $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
ε _{cc}	=	betonin viruma
ε _{cs}	=	betonin kutistuma

1 JOHDANTO

Maanvaraisia teräsbetonilaattoja on suunniteltu jo pitkään, mutta silti lattiat halkeilevat liikaa. Johtuuko tämä siitä, että laattaa aletaan kuormittaa liian aikaisin valun jälkeen vai virheellisestä laatan suunnittelusta? Yritykset käyttävät paljon FEM-pohjaisia laskentaohjelmia laattojen suunnitteluun, mutta soveltuvatko ohjelmat siihen? Työssä käytetyille kuville ja taulukoille on saatu lupa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, miten maanvarainen teräsbetonilaatta lasketaan käsin ja soveltuuko SCad laskentaohjelma maanvaraisten teräsbetonilaattojen suunnitteluun. Apuna laskennassa käytetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

Tavoitteena on oppia, miten päästään maanvaraisessa teräsbetonilaatassa oikeisiin rauditusmääriin ja liikuntasaumaväleihin. Tavoitteena on myös selvittää SCad laskentaohjelman soveltuvuus maanvaraisten laattojen suunnitteluun.

Työ tehdään Rakennussuunnittelu Sormunen & Timonen Oy:lle. Yritys saa myös maanvaraisten laattojen laskemiseen soveltuvan Excel-pohjaisen laskentaohjelman 3d laskentaohjelmien tueksi.

2 BETONIN HISTORIAA

Yksi varhaisimpia tunnetuimpia betonirakenteita on Rooman Pantheon. Sen rakentamiseen käytettiin kahta kreikkalaisilta perittyä tekniikkaa, vanhaa kivirakentamisen taitoa ja uutta betonirakentamista. Roomalaisessa betonissa sideaineena käytettiin potsolaania, silikaa sisältävää vulkaanista tuhkaa. Betonia alettiin käyttämään uudelleen 1800-luvulla Portland-sementin keksimisen jälkeen ja käyttö levisi nopeasti 1900-luvulle. Suomessa vanhimmat betonirakentamisen taidonnäytteet löytyvät lähes jokaisesta vuosisadan vaihteen kivitalon portaikoista. (Betoni)

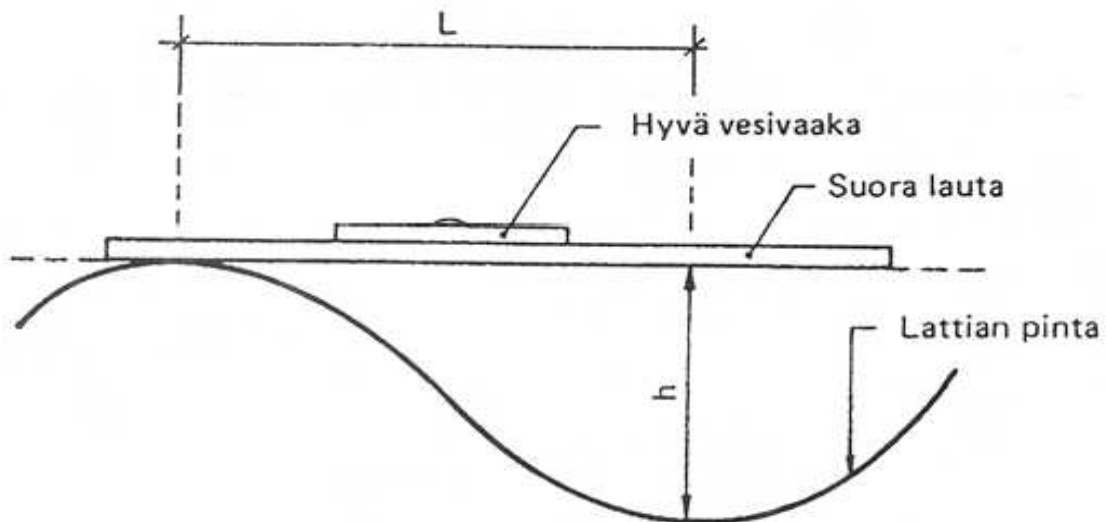
1800-luvun puolivälissä raudoituksia alettiin kokeilla betonissa. Tieto betonin käytöstä rungon rakentamiseen levisi maailmanlaajuisesti Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1900. Uutta betoniarkkitehtuuria ja –tekniikkaa edustavia julkisia rakennuksia alkoi nousta nopeasti Helsinkiin, mm. eduskuntatalo, Stockmann, rautatieasema ja Taidehalli. Suomen teollistuminen ja kaupungistuminen vuosisadan alkupuolella edellyttivät rakentamista, joka toteutettiin nuoren betonitekniikan avulla. Betoni levisi kaikkiin rakentamisen osa-alueisiin. Töölö taloineen ja stadioneineen 1930-luvulla on hyvä esimerkki arvostetusta betonirunkorakentamisesta. Betoni valtasi alaa myös tie- ja liikennejärjestelyiden, vesi- ja viemärintijärjestelmien sekä teollisuuden ja tuotannon rakentamisen yhteydessä. Enso-Gutzeitin Kaukopää tehtaat ja Imatrankosken valjastus olivat merkittäviä kohteita. Kaupunkien ja kuntien noin 400 vesitornia ja viemäriputkistot ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta rakennettu betonista. (Betoni)

1950-luvulla betoniteollisuutta alettiin kehittää elementtitekniikan avulla. Ensimmäiset julkisivuelementit kiinnitettiin Viljo Revellin suunnittelemaan Palace-taloon. Arkkitehti Aarne Ervin suunnittelema Helsingin Yliopiston Porthania on tunnetuimpia varhaisia elementtirakennuksia. (Betoni)

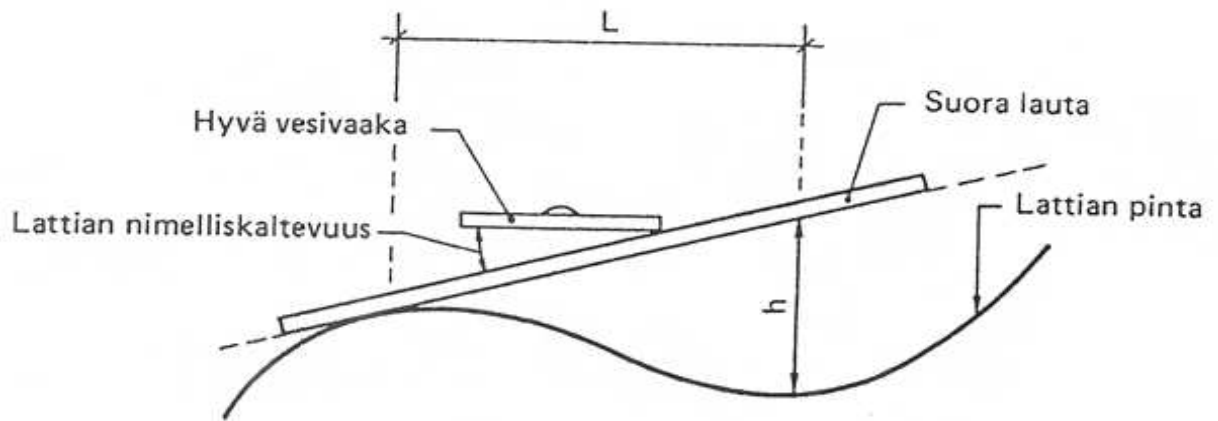
3 LAATUTEKIJÄT

3.1 Betonilaatan tasaisuus

Arvosteluperusteina ei käytetä pinnan karheutta, vaan lattian hammastusta, aaltoilua ja kaltevuusvirheitä. Tasaisuutta verrataan vaakasuoraan tasoon ja kaltevissa lattioissa nimelliskaltevuuteen (kuvat 1 ja 2). Lattia voi olla paikoin kalteva, johtuen sen eri käyttötarkoituksista. Tällöin lattia voidaan jakaa osiin. Lattiaa, jossa jakoa ei ole sovittu, tasaisuus tutkitaan yhtenä kokonaisuutena. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 4.)



KUVA 1. Tasaisuuspoikkeaman määrytyminen vaakasuoraksi tarkoitettulla lattialla. L on mittapituus ja h on tasaisuuspoikkeama mittapituudella L . (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 5.)



KUVA 2. Tasaisuuspoikkeaman määräytyminen kaltevalla lattialla. L on mittapituus ja h on tasaisuuspoikkeama mittapituudella L . (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 5.)

Tasaisuuspoikkeamat eivät saa missään lattian kohdassa ylittää taulukossa 1 esitettyjä arvoja millään taulukon mittavälillä. Poikkeuksena voidaan pitää teollisuus- ja varastotiloissa olevia alueita, jotka ulottuvat 300 mm pilareista ja seinistä. Nämä poikkeukset ovat toisarvoisia kohtia, joiden tasaisuus saa olla yhtä luokkaa huonompi, ellei toisin sovita. Asuin- ja toimistorakennuksissa ei katsota olevan toisarvoisia kohtia. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 4.)

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut tasaisuuspoikkeamat (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 4).

Tasaisuuspoikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A_0	A	B	C
Hammastus		0	0	1	1
Poikkeama vaaka- suorasta tai nimellis- kaltevuudesta (katso kuvat 1.1 ja 1.2)	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28

3.2 Betonilaatan kulutuskestävyys

Kulumisella tarkoitetaan puhtaan betonipinnan kulumista, jota kulutetaan testauslaitteen teräspyörillä. Betonipinta tulee olla käsittelemätön, esimerkiksi maalattu tai kylästetty pinta ei käy testattavaksi. Tämän vuoksi on tärkeää, että testauskohdat valitaan ja suojataan ennen kuin niille ruiskutetaan esimerkiksi haihtumattomia jälkihoitoaineita. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 6.)

Kulutuskestävyys suositellaan testattavaksi vanhan normin mukaan kaikista 1- ja 2-luokan lattioista. Eurokoodissa em. normit vastaavat likimain toteutusluokkaa 2, mutta korkealujuusbetonia käyttäessä toteutusluokkaa 3. Muissa luokissa testi tehdään, jos siihen todetaan olevan erityistä aihetta. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 6, 7.)

Kulutuskestävyysskoe tehdään 3 kk vanhalle betonilattialle, jos betonin kypsyysikä t_{20} on vähintään 50 päivää. Kokeita tehdään yksi jokaista alkavaa 5000 m²:ä kohti. Tehdyistä kokeista yksi kolmesta saa ylittää sallitun kulumisen 25 % edellyttäen, että kaksi po. kolmen sarjasta täyttää vaatimuksen. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 6, 7.)

3.3 Muut laatutekijät

3.3.1 Betonin lujuus

Laatuluokittain betonin kuutiolujuuden tulee olla vähintään taulukon 2 mukainen, jossa esimerkiksi K60 vastaa betonin lieriölujuuden ominaisarvoa 60 Mpa. Taulukossa 3 on esitetty betonin lieriölujuuden ominaisarvoja suhteessa kuutiolujuuden ominaisarvoihin. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8.)

TAULUKKO 2. Betonin lujuusvaatimukset (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8).

Luokka	60	50	40	30
Betonin lujuusluokka	K60	K50	K40	K30

TAULUKKO 3. Betonin lujuusominaisuuksia (Antti Lautiainen)

Merkintä	Kuvaus	Ominaisuudet							
		16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ck} (Mpa)	Lieriölujuuden ominaisarvo	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck, cube}$ (Mpa)	Kuutiolujuuden ominaisarvo	20	25	30	37	45	50	55	60

3.3.2 Kiinnitetyn lattian pintabetonin tartunta

Pintabetonin tartunnalla tarkoitetaan alusbetonin ja pintabetonin välisen vaakasauman kohtisuoraa vetolujuutta. Tartuntalujuuskokeen antamien tulosten on oltava vähintään taulukon 4 esitettyjen arvojen suuruinen. Koputuskokeesta on käytävä ilmi, että lattia on kauttaaltaan kiinnittynyt alustaansa. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8.)

Tartuntakoe suoritetaan 60-, 50- ja 40-luokkien lattioille. Luokassa 30 tartunnan toteamiseen riittää yleensä pelkkä koputuskoe. Jokaisessa luokassa tartunta tarkastetaan koputuskokeella. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8.)

TAULUKKO 4. Tartuntalujuusvaatimukset betonin 30 d kypsyyssiässä (t_{20}) (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8).

Luokka	60	50	40	30
Tartuntalujuustulosten keskiarvo vähintään [MN/m ²]	0,8	0,8	0,8	-0,6
	Kiinni koputuskokeessa			

3.3.3 Betonilaatan paksuuspoikkeamat

Laatan paksuuden eroavaisuus nimellispaksuudesta on paksuuspoikkeama. Mittaus-tulosten keskiarvo on oltava vähintään nimellispaksuuden suuruinen. Maanvaraisen lattian paksuuspoikkeama ei saa olla nimellispaksuudesta ylöspäin 15 % ja alaspäin 20%. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 8.)

Kiinnitettyjen lattioiden alustabetonin tasaisuuden laatuvaatimus on yleensä korkeintaan yhtä luokkaa huonompi kuin pinnan tasaisuusvaatimus silloin, kun alustaksi jäävä lattia on osa lattiatyötä. Paikalla betonoidun välipohjan tai elementtävälipohjan ollessa lattian alustana, sovelletaan näihin betonirakenteita koskevia toleransseja. Kiinnitetyille lattioille suositellaan annettavaksi vähimmäispaksuusvaatimus paksuus-

poikkeamien sijasta. Kulutuspinnaaksi jäävien betonilattioiden paksuus ilman erikoisperusteita ei saa olla pienempi kuin 40 mm joka on myös suositeltava vähimmäispaksuus päällystettävissä lattioissa. Jos lattian paksuus ylittää 40 mm voidaan käyttää pienen kutistumisen mahdollistavaa 12 mm suurinta raekokoa. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 9.)

3.3.4 Raudoituksen sijainnin vaihtelu betonilaatassa

Keskeisen raudoituksen sijainti ei saa poiketa ylöspäin yli 20 % eikä alaspäin yli 15 % suunnitellusta raudoituksen sijainnista. Raudoituksen sijoituksessa tulee noudattaa rakennusmääräyskokoelman ohjeita koskien suojabetonin paksuutta johon vaikuttaa muun muassa raudoituksen ympäristöluokitukset ja raudoituksen sijainnin sallittuja poikkeamia. Suoraan maata vasten betonoitaessa pitää betonipeitteen paksuus olla vähintään 50 mm. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 11.)

3.4 Luokittelemattomat laatutekijät

Luokittelemattomiksi laatuvaatimuksiksi luokitellaan muut kuin edellä esitettyjä laatuvaatimukset (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 12).

3.4.1 Betonilaatan kuivuminen

Lattioiden suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon betonin kuivuminen. Kohtuullisiin betonin kuivumisaikatauluihin tulee ottaa huomioon alusta, betonointimenetelmä, betonimassa, jälkihoitotapa, huonetilan lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä estää tarpeeton kosteuden pääsy lattiaan. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 12.)

3.4.2 Betonilaatan kemiallinen kestävyys

Kohteessa esiintyvät vaaralliset aineet on otettava huomioon jo lattian suunnitteluvaiheessa. Lievästi vaarallisten aineiden vaikutusta voidaan vähentää tekemällä lattiasta niin tiivis kuin mahdollista esimerkiksi kasvattamalla betonin lujuusluokkaa, hyvällä jälkihoidolla, johtamalla kosteus hyvin pois sekä käyttämällä erilaisia lakkoja, maaleja tai muita pinnoitteita. Lattia on syytä päällystää, jos siihen on mahdollista joutua erittäin vaarallisia aineita. Jos lattian pinnassa esiintyy verkkomaisia halkeamia ja lattial-

ta vaaditaan kemiallista kestävyyttä, on lattia syytä hioa ja suorittaa halkeamat sulkeva imeytys sopivalla aineella. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 12.)

3.4.3 Betonilaatan säänkestävyys

Rakenteiden joilla on mahdollisuus kastua ja jäätyä tulee rakenteelle asettaa pakkasenkestävyysvaatimus. Tyypillisiä kohteita ovat mm. lastauslaiturit ja pysäköintitalot. Pakkaskestävyysvaatimus voidaan asettaa rakentamismääräyskokoelman betonirakenteita koskevien ohjeiden mukaisesti. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 12.)

3.4.4 Betonilaatan vesitiiviys

Vesitiiviyyden tutkiminen suoritetaan vain, jos lattialta vaaditaan erityistä tiivyttyä. Tutkimisesta sovitaan erikseen ja se testataan SFS-standardien n:o 4476 mukaan. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 12.)

3.4.5 Betonilaatan pinnan karheus

Jos lattialta vaaditaan karheutta, voidaan käyttää erilaisia hiertotapoja, pinnan profilointia ja koholle jäävää runkoainesta (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 13).

3.4.6 Betonilaatan sähkönjohtavuus

Lattioiden sähkönjohtavuutta luokitellaan yleensä tiloissa, joissa käsitellään räjähdysherkkiä aineita, lääkintätiloissa ja tiloissa joissa käytetään tai valmistetaan elektronisia komponentteja tai laitteita. Luokittelu johtuu turvallisuus-, tuotanto- ja käyttöteknisistä tekijöistä. Suomen standardi SFS 5597 Lattioiden sähkönjohtavuus. Luokittelu ja mittausmenetelmät kumottiin syksyllä 1998, eikä korvaavaa standardia ole toistaiseksi (15.12.2012) vahvistettu. Edellä mainitussa standardissa lattia jaettiin neljään luokkaan taulukon 5 mukaisesti. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 13.)

TAULUKKO 5. Lattioiden sähkönjohtavuus luokittelu (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 13).

1. Johtava lattia			$R < 50 \text{ kohm}$
2. Puolijohtava lattia	50 kohm	\leq	$R < 100 \text{ Mohm}$
3. Puolieristävä lattia	100 Mohm	\leq	$R < 1 \text{ Tohm}$
4. Eristävä lattia			$R \geq 1 \text{ Tohm}$

Erilaisten tilojen sähkönjohtavuusvaatimukset on esitetty näitä tiloja koskevissa ohjeissa ja määräyksissä. Maailmanlaajuisen standardin IEC 61340-5-1”Specification for the Protection of Electronic Devices from Electrostatic Phenomena” Section 1: General Requirements, on määritetty turvallisuusarvoksi $R \leq 1000 \text{ Mohm}$. Mahdolliset turvallisuusvaatimukset määräävät minimiarvon. Lattian sähkönjohtavuus saadaan erilaisilla siihen tarkoitetuilla pinnoitteilla tai käyttämällä lattian pinnassa sähköä johtavaa täyteainetta. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 13.)

3.4.7 Betonilaatan ulkonäkö

Ulkonäkövaatimukset selvitetään suunnitteluvaiheessa. Ominaisuuksia ovat värin tasaisuus, hierto- tai hiontajäljen tasalaatuisuus, pintahalkeamien esiintyminen, maalaus- ja lakkausjälki jne. Tästä voidaan tehdä sanallinen selvitys ja/tai vertailu johonkin vanhaan lattiaan tai koelaattaan. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 13.)

4 SUUNNITTELUOHJEET

4.1 Betonilaatan laatuvaatimukset

Betonilattialla tarkoitetaan laattarakenteen ylintä betonikerrosta joko sellaisenaan, suoja-aineella imeytettynä maalattuna tai päällystettynä. Tämä kerros toimii liikenteen tai muun rasituksen alaisena kulutuspinna. Betonilattialle tärkeimmät laatuvaatimukset on esitetty luvussa 3.

Suunnitelmissa tulee esittää betonilattian keskeiset laatuvaatimukset kirjain – numero – numero yhdistelmällä esim. B – 4 – 30(-T). Huomioitavaa on, etteivät vaatimukset ole ristiriitaisia laatuvaatimusten suhteen, esim. kulutuskestävyys ja lujuus. Vaativissa kohteissa voidaan laatuvaatimukseen liittää neljäs osa (T). Tämä osa ei liity mitenkään betonin ominaisuuksiin vaan sillä varmistetaan lattiaurakoitsijan pätevyys. Johdossa olevalla henkilöllä täytyy tällöin olla voimassa betoniyhdistyksen toteama betonilattiatyönjohtajapätevyys. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 15.)

4.2 Betonilattioiden perustyytit

Rakennetyypit voidaan erottaa Suomen Betoniyhdistys BY45/BYL7 betonilattiat (2002, 15) mukaan seuraavasti:

1. laatta sora-alustalla. Ei tiivistä pinnoitetta.
2. Lämpöeristetty maanvarainen laatta sora-alustalla.
3. Pintabetonilattia joko kantavana paikallavaletun laatan tai elementtirakenteen päällä. Elementtirakenteen kaarevuus esijännityksestä on otettava huomioon.
4. Kelluva lattia kantavan lattiarakenteen päällä. Ääneneristysrakenteissa on tärkeää äänisiltojen estäminen, kuivuminen ennen ja jälkeen päällysteen asennuksen.

Lattian valu voidaan tehdä yksi- tai kaksikerroksisina. Kaksikerroksisissa tuoreen betonimassan päälle valetaan ohut kulutusta kestävä pintakerros.

Lattiarakenteisiin voi syntyä pakkovoimia jos lattiaa ei ole irrotettu liittyvistä rakenteista kuten pilareista ja seinistä liikuntasaumoilla. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 16.)

4.2.1 Maanvarainen laatta

Maanvastaisia laattoja on joko kantavia tai maanvaraisia. Tässä työssä käsitellään maanvaraisen lattian mitoitusmenetelmää.

Maanvarainen laatta voidaan mitoittaa kimmoisalla alustalla olevana teräsbetoni-, kuitubetoni- tai tartunnattomilla jänteillä jännitettynä betonirakenteena. Laatan halkeamakestävyyttä ja iskusitkeyttä voidaan parantaa teräs- ja muovikuiduilla. Teräskuiduilla voidaan korvata rauditusverkot kokonaan. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 16.)

Laatan kuivumiskutistuma otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa valitsemalla seuraavista vaihtoehdoista kohteen kannalta tarkoituksenmukaisin vaihtoehto.

1. Lattia suunnitellaan halkeilemattomaksi. Kutistumajännityksiä pienennetään minimoimalla alustan ja lattian kitkaa ja jakamalla lattia saumoilla osiin.
2. Kutistumishalkeamia hallitaan raudituksen avulla ja myös mahdollisesti lisäämällä alustan ja lattian välistä kitkaa.
3. Suuret saumattomat lattiat saadaan tekemällä lattia jännitettynä.

(Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 16.)

4.2.2 Pintabetonilattia

Pintabetonilattiat ovat joko raudoitettuja tai raudoittamattomia alustaansa kiinnitettyjä tai alustastaan irti laakeroituja raudoitettuja rakenteita. Jos pintabetonilattian pinnan pitää olla kestävä ja ohut n. 10–30 mm. voidaan pintavaluna käyttää myös polymeerisementtibetonia (muovibetonia). (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 16.)

4.2.3 Kelluvat lattiat

Kelluvia lattioita suunnitellaan silloin, kun välipohjarakenteelle asetetaan erityisiä ääneneristävyys vaatimuksia. Kelluvan lattiarakenteen muodostavat myös liikennöitävät, vesieristetyt ja lämpöeristetyt tasot, jolloin pintalaattaan voi kohdistua suuria kuormia, kuten paloautot, linja-autot jne. Tällöin mitoitusmenetelmä on vastaava kuin maanvaraisella lattialla. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 16.)

5 MAANVARAISEN LATTIAN LASKENTAMENETELMÄT

Maanvaraisen betonilaatan laskennallinen mitoitus on monimutkaista jo yksinkertaisessakin tapauksessa, koska ratkaisumalli johtaa kimmoisalla alustalla olevan laatan differentiaaliyhtälön ratkaisuun. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 17.)

Tässä työssä lasketaan esimerkki laatta, käyttäen Westergaardin kehittämää yhtälöitä ja verrataan saatuja tuloksia SCad tietokoneohjelman laskemiin tuloksiin.

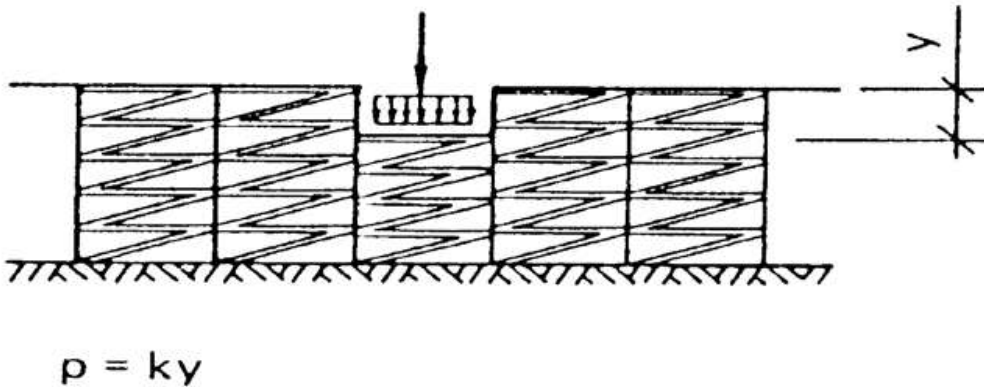
5.1 Käsinlaskentamenetelmät

Westergaardin kehittämä laskentakaavat soveltuvat käsinlaskentaan, joissa olennaisempien perustapausten ratkaisumallit pistekuormalle on esitetty äärettömälle laatalle. Laskentakaavoilla saadaan laatan taivutusmomenttien ääriarvot, taipumat ja pohjapaineen ääriarvo eräissä tapauksissa. Yhtenä kaavojen puutteena on se, että niissä ei huomioida vääntömomenttien osuutta nurkka- ja reuna-alueilla, mikä suurilla pistekuormilla muodostuu mitoittavaksi tekijäksi. Westergaardin kaavat antavat muilta osin esimerkiksi differenssimenetelmää, jota käytetään laskentaohjelmissa hieman "varman päälle" tuloksen. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 18.)

5.2 Alustan ominaisuudet

5.2.1 Alustaluku

Alustaluvunmitoitusmenetelmiä on useita, mutta tässä työssä käytetään ainoastaan Winklerin alustamallia joka soveltuu hyvin käsinlaskentamenetelmiin. Winklerin alustan mekaaninen malli muodostuu joukosta toisistaan irti olevista kimmoisista jousista, joilla kaikilla on sama jousivakio. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 19.)

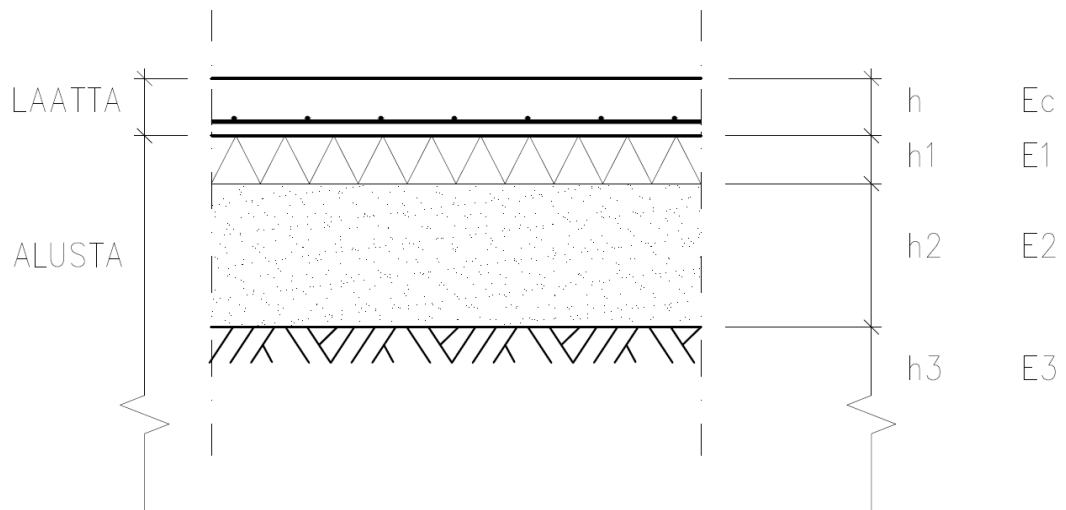


KUVA 3 Alustan mekaaninen jousivakiomalli (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 19.)

Alustaluku ei ole materiaalivakio, vaan se riippuu kuormituksesta, kuormitettavan pinnan koosta ja laatan taivutusjäykkyydestä, siksi se on vaikea määrittää. Tärkeintä on löytää alustaluvulle oikeansuuntaiset suuruusluokka-arviot. Alustalukumenetelmillä voidaan ratkaista pistemäisen kuormituksen aiheuttama laatan voimasuureet, pohjapaine sekä laatan taipuma. Tasainen koko laatalle jakautunut kuormitus ei aiheuta laatalle taivutusrasituksia, ellei laatta ole joltakin reunaltaan tuettu esimerkiksi seinään. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 19.)

5.2.2 Alusrakenteen kokoonpuristuvuus

Maanvaraisen laatan alusrakenne koostuu yleensä useista kerroksista, joilla saattaa olla hyvinkin paljon eroja kokoonpuristuvuuksissa. Alustalukumenetelmässä oletetaan, että kokoonpuristuvat maakerrokset voidaan esittää yhden kimmomoduulin avulla. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 20.)



KUVA 4. Alustalukuun vaikuttavat kerrokset. (Antti Lautiainen)

Alusta, joka vastaa kuvaa 4, alustaluku voidaan määrittää kaavalla 1 (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 21).

KAAVA 1 (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 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 [m]
 E_i on alustan eri kerrosten kimmomoduuli
 k_m on perusmaan alustaluku [MN/m³].
 Perusmaalla tarkoitetaan tässä häiriintymätöntä maapohjaa tai paksua (vähintään n.1m) tiivistettyä täyttöä.

5.2.3 Lämmöneristys

Laattaan pistekuormien aiheuttama pohjapaine varsinkin laatan saumojen kohdilla vaikuttavat oleellisesti lämmöneristeen valintaan. Väärin valittu eriste voi puristua kokoon ja aiheuttaa laatalle lisärasituksia ja halkeilua. Lämmöneristeiden puristuslu-

juusarvot vaihtelevat paljon valmistustavan ja eristeen tiheydestä riippuen. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 23.)

5.2.4 Kosteudeneristys

Veden tai kosteuden pääsy laattarakenteeseen estetään yleensä tiiviillä pintakerroksella, kuten muovimatolla. Märkien huonetilojen alapohjiin tehdään yleensä erillinen vedeneristys, joka johtaa pintakerrokset läpäisseen veden lattiakaivoon. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 23.)

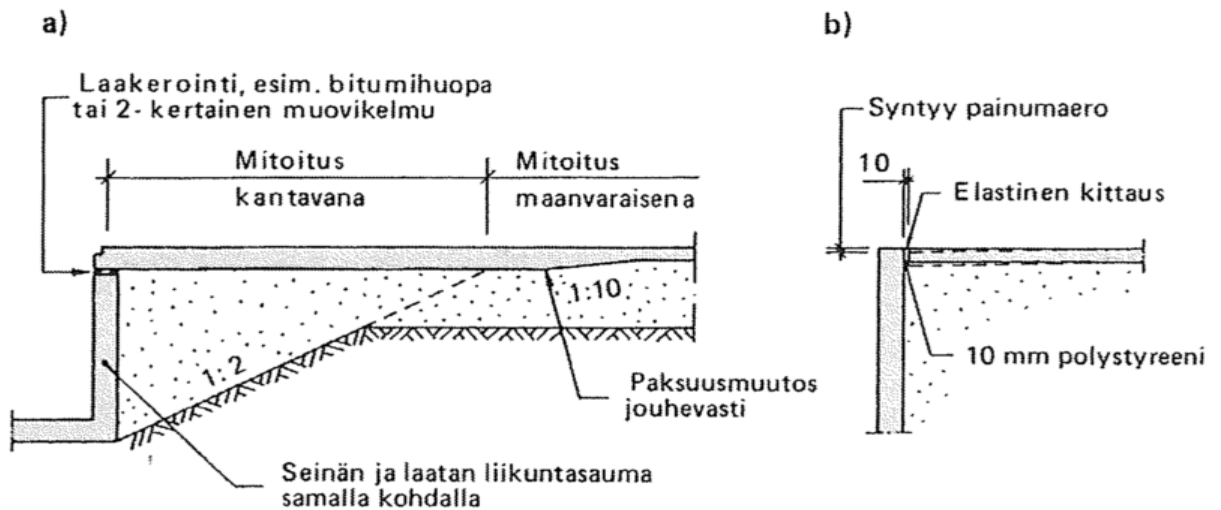
Maaperästä laattaan kapilaarisesti nouseva vesi katkaistaan betonilaatan alapuolisella sorakerroksella tai lämmöneristeellä. Lattian alla olevan salaojakerroksen paksuus tulee olla vähintään 200 mm. Muovikelmun käytöllä laatan alapohjassa ei kosteuden siirtymisen kannalta ole enää merkitystä vaan sitä käytetään laatan ja maaperän välisen kitkan pienentämiseksi. Muovikelmua ei suositella laatan hidastuneen ja epätasaisen kuivumisen kannalta. Jos laatan pintakerros on tiivis, suositellaan käytettäväksi lattian alla lämmöneristettä ja esim. sitkeätä suojapaperia. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 24.)

5.3 Maanvaraisen laatan rasitukset

5.3.1 Tasainen kuormitus

Laattaan kohdistuva tasaisen kuormituksen ei otaksuta aiheuttavan taivutusrasituksia, jos laattaa kannatteleva alusta on kauttaaltaan tasaisesti kokoonpuristuva. Tasainen kuormitus sen sijaan lisää laatan ja alustan välistä kitkavoimaa joka on huomioitava. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 25.)

Laatan tasossa sijaitsevat jäykät rakenteet, kuten kaivojen ja kanavien seinämät sekä kynnykset ovat alustan painumisen takia ongelmallisia. Tällöin vaihtoehtoina on mittaattaa laatta paikallisesti kantavana tai antaa painumien tapahtua, jolloin liittyvän rakenteen saumakohtaan muodostuu kynnyspykälä kuten kuvassa 5. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 25.)



KUVA 5 Maanvaraisen laatan liittymä seinään: a) Tuenta seinän päälle, b) irrotus seinästä (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 25).

5.3.2 Viivakuormat

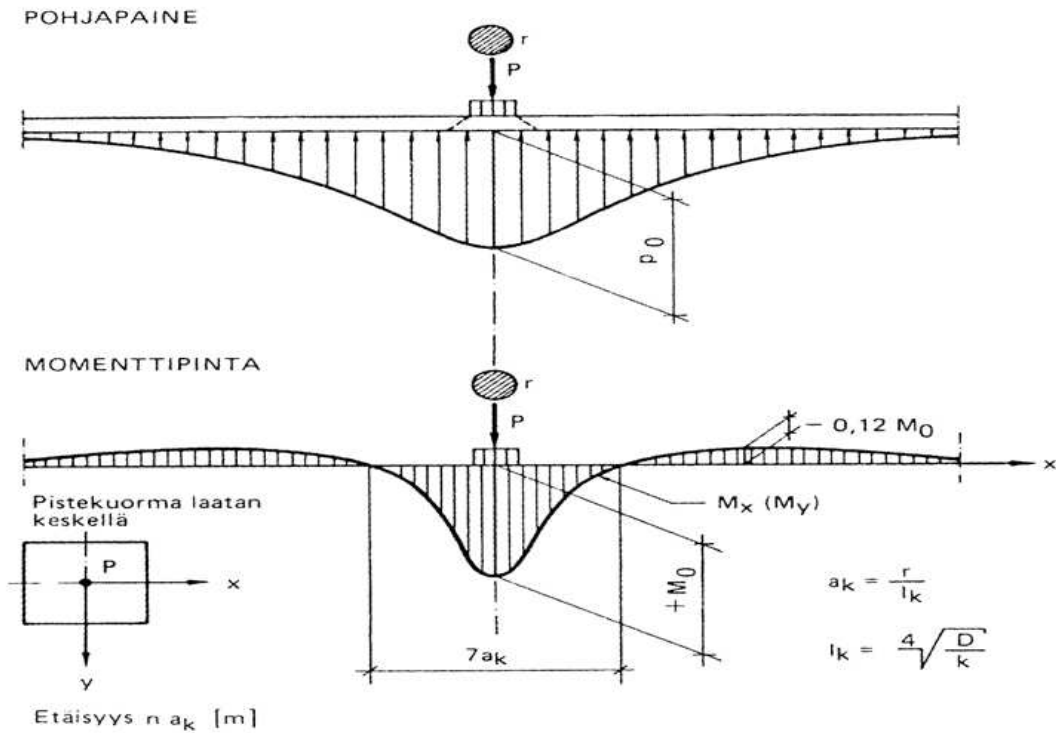
Esimerkiksi korkeista tiiliseinistä aiheutuvien viivakuormien voimasuureet voidaan laskea joko tietokonemenetelmällä tai kimmoisella alustalla olevan palkin mitoituskäyrästöjen mukaan. Viivakuormista aiheutuvat suureet eivät yleensä tule mitoituksen kannalta määrääviksi eikä sitä siksi käsitellä tässä työssä enempää. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 25.)

5.3.3 Pistekuormat

Liikkuvat pistekuormat ovat yleensä mitoituksen kannalta määrääviä (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 26).

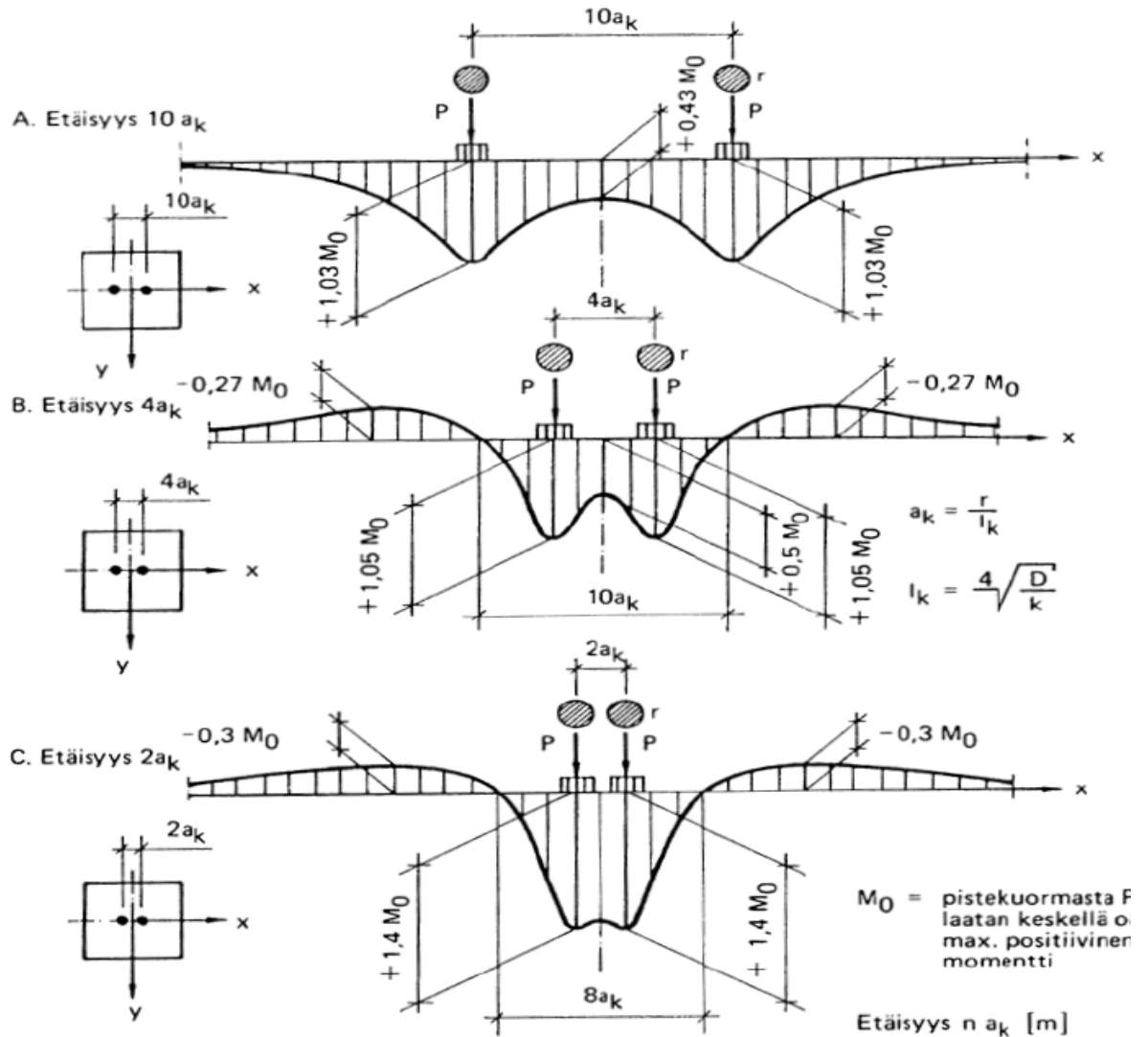
Pistekuorma laatan keskellä

Pistekuorma laatan keskellä aiheuttaa momenttihuipun, jolloin laatan alapintaan kohdistuu vetoa. Laatan yläpinnan negatiivinen momentti jää vähäiseksi. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 26.)



KUVA 6. Pistekuorman aiheuttama pohjapainekuvio ja momenttipinta laatan keskellä (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 26).

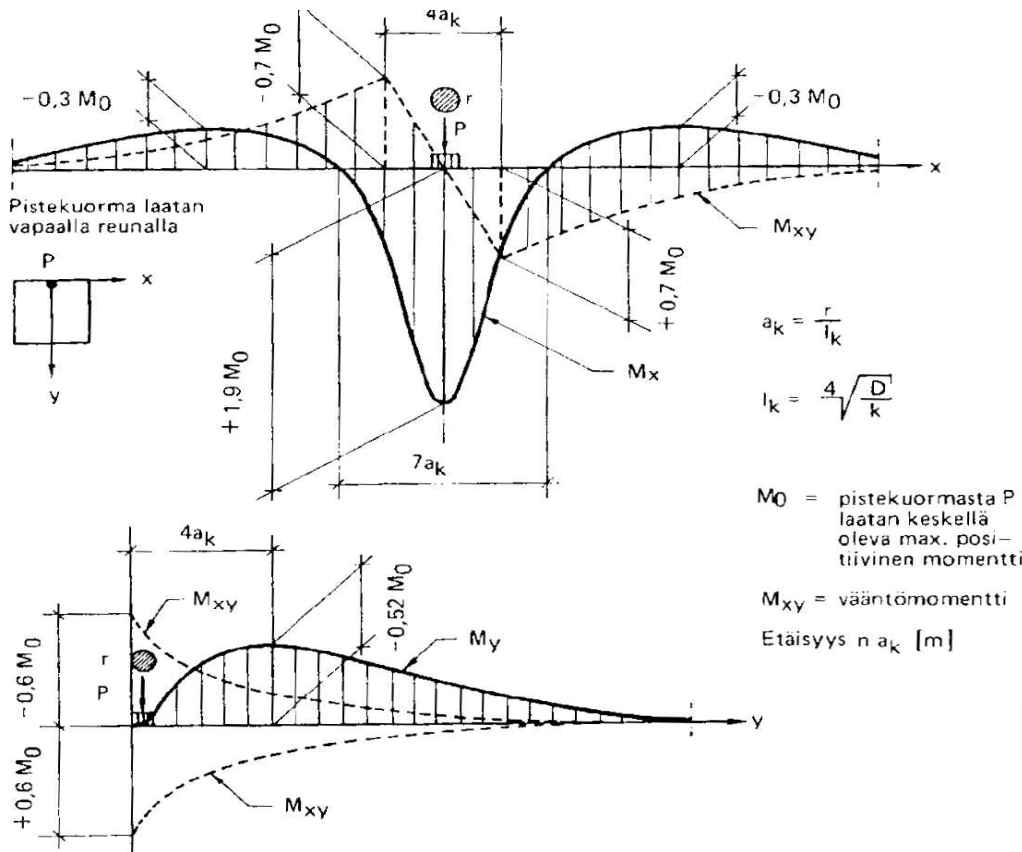
Samansuuruisten pistekuormien läheisyys vaikuttaa varsin vähän momenttihuippuihin, mutta painumaan ja pohjapaineisiin sitäkin enemmän. Verrattuna yksittäiseen pistekuormaan pohjapaine on kaksinkertainen kun kuormien etäisyys toisistaan on $4a_k$, missä a_k on suhteellinen kuormitusjakautuma. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 26.)



KUVA 7. Vierekkäisten pistekuormien vaikutus taivutusmomenttien maksimiarvoihin (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 27).

Pistekuorma laatan vapaalla reunalla

Laatan vapaalla reunalla oleva pistekuorma aiheuttaa liki 2-kertaisen positiivisen momentin verrattuna pistekuormaa laatan keskellä. Myös negatiivinen momentti ja vääntömomentti ovat huomattavan suuria. Vääntömomenttien ja taivutusmomenttien maksimiarvot eivät vaikuta samassa kohdassa. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 27.)

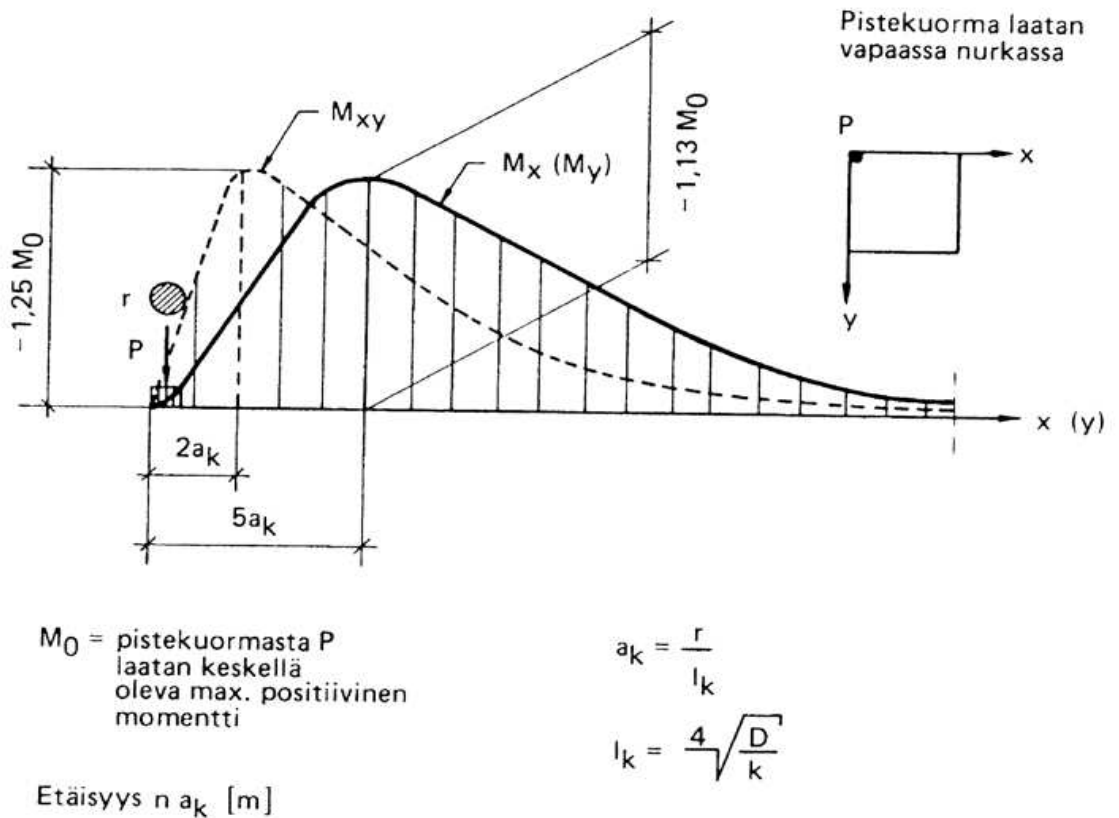


KUVA 8. Pistekuormasta aiheutuneet momenttipinnat laatan vapaalla reunalla (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 28).

Vapaalla reunalla olevan pistekuorman aiheuttama pohjapaine kasvaa liki 3-kertaiseksi verraten laatan keskellä olevaan samansuuruiseen pistekuormaan. Jos reunalla on kaksi toisistaan $4a_k$ etäisyydellä olevaa pistekuormaa on pohjapaine jo 5-kertainen. Vastaavassa suhteessa kasvavat laatan reunan taipumat. Tästä johtuen saumarakenteen tulisi olla sellainen, että se siirtää osan (puolet) pistekuormasta saumaraudoitteen yli toiselle puolelle. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 28.)

Pistekuorma laatan vapaassa nurkassa

Vapaassa nurkassa olevan pistekuorman aiheuttama vääntömomentin merkitys korostuu. Vääntömomentti kasvattaa laatan mitoitusmomentin n. 2-kertaiseksi verrattuna x- ja y-akselien suhteen laskettuihin momentteihin. Vääntömomentti on otettava mitoituksessa huomioon. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 28.)



KUVA 9. Pistekuorman aiheuttamat momenttipinnat laatan vapaassa nurkassa (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 29).

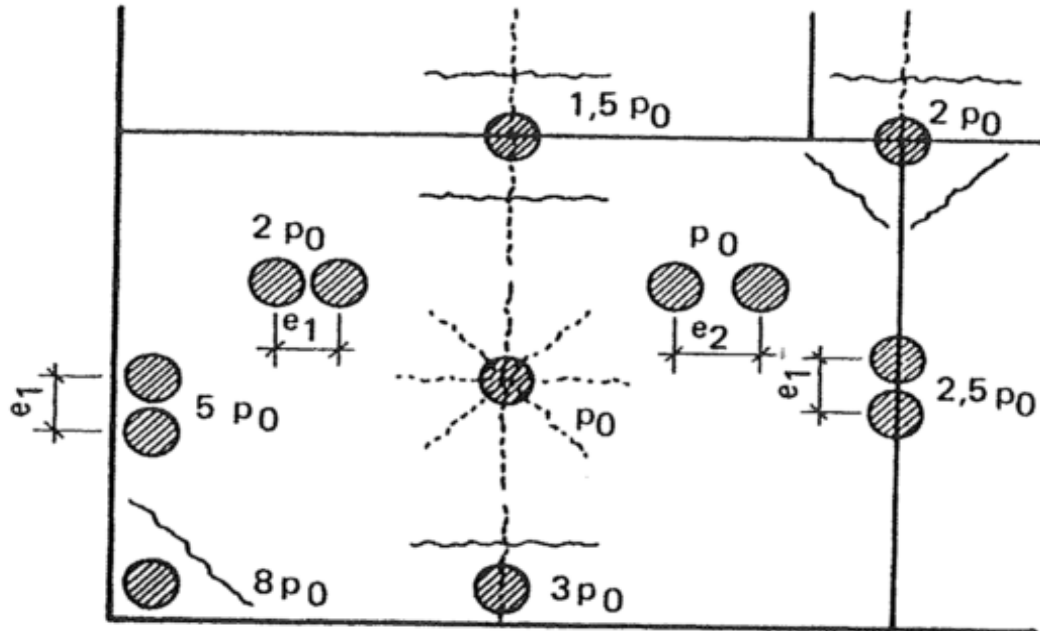
Pohjapaine kasvaa n. 8-kertaiseksi verrattuna laatan keskellä sijaitsevaan samansuuriseen pistekuormaan. Suurilla kuormilla tulee kiinnittää erityistä huomiota lämmöneristeen kuormituskestävyyteen. Jos kuormat kasvavat suuriksi, reunavahvenukset ovat perusteltuja, mutta ensisijaisesti laatan reunat tulee vahvistaa raudoituksella. Reunapakunnoksia tulee välttää laattaan lisääntyvän kitkan takia. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 29.)

5.3.4 Pistekuormien vaikutusten keskeiset suhteet

Pohjapaineet

Kuvassa 10 on yhteenveto pohjapaineiden suhteellisista arvoista eri pistekuormien vaikutuskohdissa, kun laatan keskellä oleva pistekuormasta P aiheutuu pohjapaine p_0 (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 30).

SUHTEELLISET POHJAPAINHEET PISTEKUORMIEN ALLA



$$e_1 = 4a_k$$

$$e_2 = 10a_k$$

Etäisyys $n a_k$ [m]

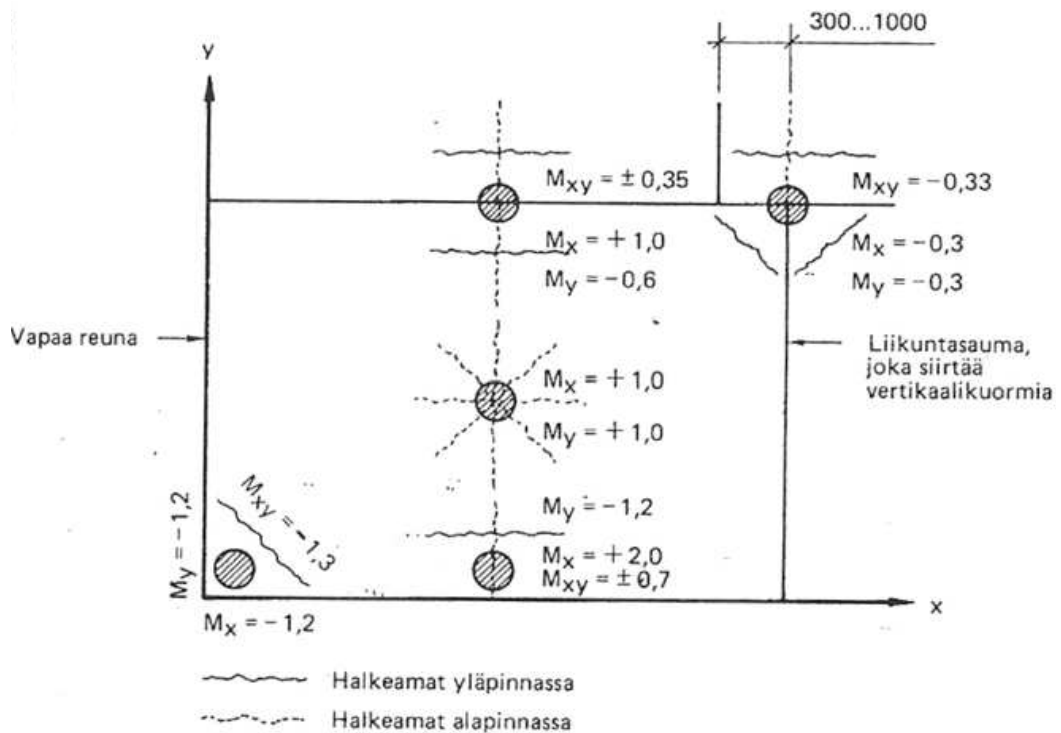
$$a_k = \frac{r}{l_k}$$

$$l_k = \frac{4}{k} \sqrt{\frac{D}{k}}$$

KUVA 10. Pohjapaineiden suhteelliset arvot, kun laatan keskellä olevasta pistekuormasta P aiheutuu pohjapaine P_0 (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 30).

Taivutus- ja vääntömomentti

Kuvassa 11 on esitetty yhteenveto eri pistekuormatapausten vaikutuksista sekä pistekuormituksesta aiheutuvat kriittiset halkeamasuunnat (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 30).



KUVA 11. Maanvaraisen laatan kriittiset halkeamasuunnat pistekuormituksesta. Momenttien keskeiset suhteet, kun laatan keskellä olevasta pistekuormasta P aiheutuva momentti on +1. Positiivinen momentti aiheuttaa vetoa ala- ja negatiivinen laatan yläpintaan. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 31.)

Laattojen väliset saumat sekä vapaat reunat ja nurkat ovat mitoituksen kannalta määrävimpä. Lisäksi on huomioitava, että kitkavoimista aiheutuva maksimi keskeinen vetovoima vaikuttaa yleensä laatan keskellä. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 31.)

5.3.5 Sysäyskuormat

Tiloissa joissa käytetään raskaita työkoneita kuten trukkeja niiden sysäyksistä ja tärinästä aiheutuva lisäkuorma otetaan huomioon kertomalla staattisten pyöräkuormien arvot sysäyskertoimella joka on trukin ilmarenkaille 1,4 ja umpirenkaille 2,0 (Suomen Betoniyhdistys teräskuitubetonirakenteet by 56 2011, 22).

5.3.6 Kitkavoimat

Betonilaatta pyrkii liikkumaan alustaansa nähden johtuen betonin kutistumisesta ja lämpötilamuutoksista. Tämä aiheuttaa kitkaa, joka on otettava huomioon suunnittelussa. Kitkavoimat eivät juuri pienennä betonin vapaasta kutistumisesta johtuvaa

laatan vapaan reunan siirtymää. Jotta kitkavoima kehittyisi täyteen arvoonsa, on liukuma oltava n. 1,5 mm. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 35.)

Betoni-laatan suunnittelussa käytetään eri alustoille määriteltyjä kitkakertoimia, jotka vaihtelevat välillä 1-3. Mitä pienempi arvo on sitä ”liukkaampi” ja esteettömämmin laatta pääsee liukumaan pinnalla. Betoni-laatan ja alustan välistä kitkaa voidaan pienentää esimerkiksi käyttämällä laatan ja alustan välissä muovikelmua. Jos laatan reunoilla käytetään paksunnoksia, laatta ei pääse liukumaan tältä reunalta joten se lisää kitkavoimaa huomattavasti. Tämän takia reunavahvennuksia tulisi välttää. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 35.)

6 MITOITUSPERIAATTEET

6.1 Betonilaatan mitoitus

Maanvaraiset lattiat tehdään 1- tai 2-luokan rakenteina. Uudessa Eurokoodissa em. luokat vastaavat toteutusluokkaa 2 ja korkealujuusbetonilla tehtäessä toteutusluokkaa 3. Laatta voidaan mitoittaa BY45/BLY7 Betonilattiat (2002, 38, 39) mukaan seuraavasti:

1. tavanomaisesti raudoitettuna
2. kuiduilla raudoitettuna
3. jännitettynä laattana.

Laatta voidaan mitoittaa halkeilun suhteen

- A. Kutistumissaumoilla varustettuna, jolloin lähtökohtana mitoitusmenetelmille on se, että laatta ei halkeile.
- B. Saumattomana, jolloin sallitaan halkeilut. Halkeilua hallitaan riittävällä raudoituksella ja alustan ja laatan välisellä kitkalla niin, että halkeamaväli ja -leveys ovat pieniä.
- C. Saumaton ja halkeamaton laatta tehdään ainoastaan jännitettynä. Työtä valvoo rakentamismääräyskokoelman mukainen 1-luokan betonityöntekijä.

Laatan kuormitukset murtorajatilassa ovat

- pysyvät kuormat
- pakkokuormat (lämpötilaeroista ja kutistumisesta aiheutuvat veto-voima ja taivutusmomentti)
- muuttuvat kuormat

Murtorajatilassa laattaa mitoitetaan

1. Suurimmalle muuttuvalle kuormalle osavarmuuskertoimella 1,3, pysyville kuormille 1,0. Tällöin pakkovoimia ei tarvitse ottaa huomioon.
2. Kaikille kuormille käyttäen osavarmuuserrointa 1,0.

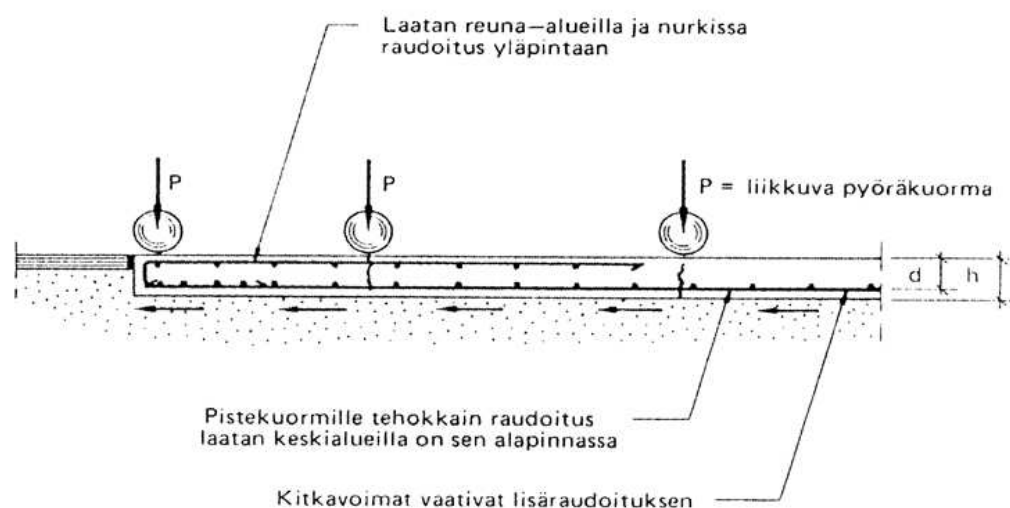
Käyttöraajatilassa kuormien ja materiaalien osavarmuuskertoimet ovat 1,0.

Mitoituksessa tulee erityisesti kiinnittää huomiota, ettei laatan yläpinnan halkeilukapasiteetti ylitä. Keskeisesti raudoitetuissa laatoissa myöskään alapinnan halkeilukapa-

siteettia ei saa ylittää. Jos raudoitus on molemmissa pinnoissa, laatan alapinnan halkeamaleveys tulee rajata arvoon 0,3 mm. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 38, 39.)

6.2 Raudoitusperiaate

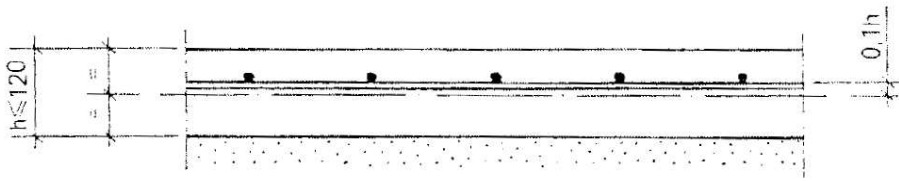
Kuva 12 havainnollistaa betonilaatan raudoitustarvetta. Laattaan syntyvä halkeama toimii nivelenä, jolloin yli liikkuva pistekuorma aiheuttaa helposti uuden halkeaman viereen. Pistekuormien aiheuttamat halkeamat toimivat herkästi alkuna kutistumishalkeamille. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 39.)



KUVA 12. Laatan raudoitusperiaate erilaisille kuormituksille. Halkeamien muodostumisperiaate. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 39.)

Keskeinen raudoitus (Pienet pistekuormat, $P \leq 30 \dots 50 \text{ kN}$)

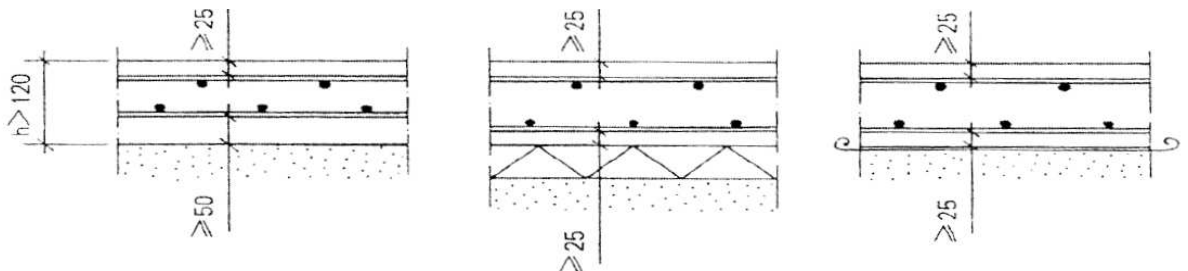
Alustan kantavuus vaikuttaa ensisijaisesti laatan mitoitukseen. Kun laatan paksuus $\leq 120 \text{ mm}$, voidaan raudoitus sijoittaa keskeisesti, jolloin laatan mitoituksessa laatan jäykkyyttä laskettaessa käytetään laatan paksuutena arvoa $0,85h$ ja raudoitusta määrittäessä laatan hyötykorkeutena arvoa $d = 0,5h$. 1-luokan käyttöä ei suositella keskeisesti raudoitettuihin lattioihin. Raudoitus sijoitetaan kuvan 15 mukaisesti $0,1h$ verran ylemmäksi laatan keskikohdasta, koska työn aikana raudoituksella on taipumus painua alaspäin. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 40.)



KUVA 13. Keskeisen raudoituksen sijoitus maanvaraiseen laattaan (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 40).

Raudoitus molemmissa pinnoissa (Suuret pistekuormat, $P > 50 \text{ kN}$)

Kun laatan paksuus on $> 120 \text{ mm}$ raudoitus sijoitetaan ylä- ja alapintaan. Betonipeitteen paksuus tulee olla $\geq 25 \text{ mm}$ ja suoraan maata vasten valettaessa $\geq 50 \text{ mm}$. Mitoittamalla molemmista pinnoistaan raudoitettava lattia 1-luokan rakenteena voidaan teräsmäärässä säästää noin 9-10 %. (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 40.)



KUVA 14. Raudoitus molemmissa pinnoissa, betonipeitepaksuudet eri tapauksissa (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat by45 2002, 40).

7 ESIMERKKILAATAN SUUNNITTELU

7.1 Laatan lähtötiedot

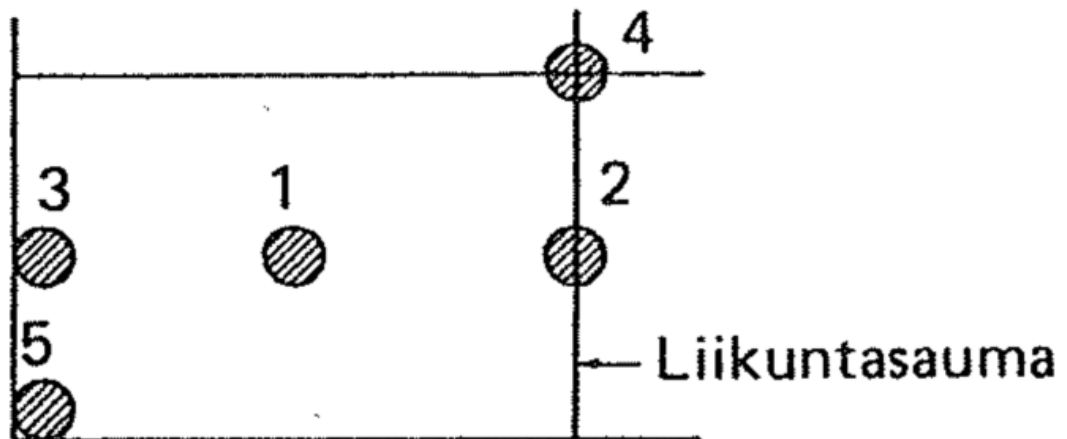
Tässä esimerkissä suunnitellaan teollisuushallin lattia maanvaraisena laattana SCad laskentaohjelmalla ja käsin käyttäen Westergaardin kehittelemiä kaavoja. Käsinlaskenta on esitetty liitteissä 1–3. Teollisuushallien lattioille ominaista on se, että siihen kohdistuu suuria piste- ja pyöräkuormia. Pistekuormat aiheutuvat yleensä trukkihyllysten jaloista ja pyöräkuormat taas raskaasta liikenteestä kuten trukeista.

Suunnittelijalle annettavissa lähtötiedoissa tulee käydä ilmi, millaisia ja miten suuria kuormia lattiaan kohdistuu. Tässä esimerkissä lattiaan kohdistuu trukkihyllystä johtuva pistekuorma 40 kN. Trukkihyllyn jalan alusta on kooltaan 110 x 150 mm. Pyöräkuormaa trukista lattiaan kohdistuu 25 kN. Pysyvää hyötykuormaa lattian täytyi kestää 20 kN/m². Laatta jaettiin neljään osaan liikuntasaumoilla. Jokainen osa oli pituudeltaan 17,3 m ja leveydeltään 15 m. Betonina laatussa käytettiin K30-2. Laatta oli paksuudeltaan 150 mm.

Laatan alla oli EPS100 100 mm, tasaushiekka 30 mm, salaojasepeli (raekoko 6–32 mm) 400 mm ja perusmaana oli kallio. Alustaluvuksi kaavalla 1 saatiin 51,7 MN/m³.

7.2 Taivutusmomentit laatan eri kohdissa käsinlaskennalla

Piste- ja pyöräkuorma aiheuttavat eri kohdissa laattaa erisuuruisia taivutusmomenteja. Taulukossa 6 on esitetty trukkihyllyn jalan aiheuttamat taivutusmomentit sijainnin mukaan. Taulukossa 7 on esitetty trukin aiheuttamat taivutusmomentit sijainnin mukaan. SCad laskentaohjelmalla saadut taivutusmomentit pistekuormalle on esitetty taulukossa 8. Positiivinen momentti kuvaa vetoa laatan alapinnassa ja negatiivinen laatan yläpinnassa.



KUVA 15. Kuormien sijainti laataassa (Suomen Betoniyhdistys betonilattiat 2002, 43).

TAULUKKO 6. Pistekuorman aiheuttamat taivutusmomentit (Antti Lautiainen).

Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä	M1max	7,450	kNm/m
	M1min	-0,800	kNm/m
Tapaus2. Pistekuorma sauman keskellä	M2max	8,598	kNm/m
	M2min	-13,200	kNm/m
Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla	M3max	14,164	kNm/m
	M3min	-2,640	kNm/m
Tapaus 4. Pistekuorma saumojen nurkassa	M4min	-3,423	kNm/m
Tapaus 5. Pistekuorma laatan nurkassa	M5min	-9,515	kNm/m

TAULUKKO 7. Pyöräkuorman aiheuttamat taivutusmomentit (Antti Lautiainen).

Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä	M1max	5,366	kNm/m
	M1min	-0,700	kNm/m
Tapaus2. Pistekuorma sauman keskellä	M2max	6,142	kNm/m
	M2min	-11,550	kNm/m
Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla	M3max	9,768	kNm/m
	M3min	-2,310	kNm/m
Tapaus 4. Pistekuorma saumojen nurkassa	M4min	-2,663	kNm/m
Tapaus 5. Pistekuorma laatan nurkassa	M5min	-6,117	kNm/m

TAULUKKO 8. Pistekuorman aiheuttamat taivutusmomentit SCad:llä

Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä	M1max	1,200	kNm/m
	M1min	-0,500	kNm/m
Tapaus2. Pistekuorma sauman keskellä	M2max	1,800	kNm/m
	M2min	-1,800	kNm/m
Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla	M3max	6,600	kNm/m
	M3min	-1,200	kNm/m
Tapaus 4. Pistekuorma saumojen nurkassa	M4min	-1,000	kNm/m
Tapaus 5. Pistekuorma laatan nurkassa	M5min	-2,500	kNm/m

Käsinlaskennalla saaduista tuloksista todetaan, että pistekuorma laatan reunalla aiheuttaa suurimman vedon laatan alapintaan ja sauman keskellä taas laatan yläpintaan. SCad laskentaohjelman mukaan laatan yläpintaan suurin veto esiintyy laatan nurkassa. Pistekuorma aiheuttaa suuremmat taivutusmomentit joten pyöräkuormaa ei tarvitse enää tarkastella.

Laatta on auringolta suojassa kesällä, mutta talvella laatan yläpinta jäähtyy.

Tämä aiheuttaa laatan yläpintaan taivutusvetojännityksiä 1,7 kNm/m.

7.3 Kitkavoima

Laatta pystyi kutistumaan vapaasti kumpaankin suuntaan. Kitkakertoimena käytettiin arvoa 1,0 μ koska laatta valettiin solumuovieristeen päälle. Kitkavoimasta aiheutuvaksi normaalivoimaksi N_k saatiin 205 kN. Jos laatan liikettä olisi rajoitettu esimerkiksi reunavahvennuksilla, olisi normaalivoima ollut kaksinkertainen.

7.4 Laatan raudoitusten suunnittelu

Halkeilu mitoittaa yleensä tarvittavan raudoituksen. Käsinlasketuilla taivutusmomentteilla laatan halkeilukapasiteetti yläpinnassa oli 160% eli laatta halkeili. Laattaan tuli raudoitus kumpaankin pintaan joten laatan yläpinnan halkeilu tuli rajata arvoon 0,2 mm. Laatta raudoitettiin 10 mm verkolla jolloin tarvittavan raudoituksen määräksi tuli 850 mm²/m. Laatan yläpinnan halkeilu tuli rajata arvoon 0,3 mm jolloin 10 mm verkolla raudoitustarve oli 750 mm²/m. Laatan taivutusmomentin ja normaalivoiman yhteis-

vaikutuksen tarvitsema rauditusmäärä ei ylittänyt halkeilun rajoittamaa rauditusmäärää.

SCad:llä lasketuilla taivutusmomenteilla laskettuna laatta ei halkeillut lainkaan. Laatan rauditus tarvittiin ainoastaan laatan alapintaan. Pienen epäkeskisyyden takia rauditus mitoitettiin ainoastaan normaalivoimalle, jolloin teräsmääräksi saatiin 500 mm²/m.

8 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli opetella suunnittelemaan maanvarainen teräsbetonilaatta, miten päästään oikeisiin laatan raudoitusmääriin ja järkeviin liikuntasaumaväleihin. Tavoitteena oli myös tutkia SCad laskentaohjelman soveltuvuutta maanvaraisten laattojen suunnittelussa.

8.1 Maanvaraisen laatan käsinlaskenta

Tässä opinnäytetyössä opeteltiin suunnittelemaan maanvarainen teräsbetonilaatta Suomen Betoniyhdistys Betonilattiat by 45, 2002 mukaan. Em. teokseen on kerätty koko suomen kattavin tieto maanvaraisten laattojen suunnittelusta. Suunnittelu on työlästä, mutta Excel-taulukkolaskentaohjelman kanssa suunnittelu nopeutuu.

8.2 Maanvaraisen laatan laskenta SCad:llä

SCad laskentaohjelma laskee ainoastaan laattaan kohdistuneet momentit. Ohjelma mallintaa laatan halkeilemattomana. Laatta voitiin suunnitella monella eri tavalla, varsinkin liikuntasauvojen suunnittelussa tarvitaan luovuutta.

8.3 Pohdinta

Opinnäytetyö osoitti, että SCad laskentaohjelma ei suoraan sovellu maanvaraisten laattojen suunnitteluun. Ohjelma laskee laattaan kohdistuvat momentit liian pieniksi. Ohjelma mallintaa laatan halkeamattomana mikä vaikuttaa oleellisesti momenttipintojen jakautumiseen. Ohjelmalla on myös monta eri tapaa mallintaa esimerkiksi laatan liikuntasauvat. Tulokset vaihtelivat paljon riippuen siitä millä tekniikalla laatta mallinnettiin.

Maanvarainen teräsbetonilaatta tulisi suunnitella tai ainakin tarkastaa by 45 mukaan.

8.4 Mahdolliset jatkotutkimukset

SCad laskentaohjelmalla on mahdollista saada parempia tuloksia. Laatan mallintamistapoja on monia joten tutkimalla ja vertailemalla saatuja arvoja käsinlaskennan kanssa olisi mahdollista löytää parempi mallintamistapa. Tämä ei kuitenkaan poista käsinlaskennan tärkeyttä saatujen tulosten tarkastamisessa

LÄHTEET

Betoni [verkkodokumentti] Julkaisuaika tuntematon [viitattu 10.11.2012].
Etusivu>Tietoa betonista>Betoni ja kestävä kehitys>Betoin historia
Saatavissa:
<http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betonin-historia>

Suomen Betoniyhdistys. 2011. *teräskuitubetonirakenteet* by 56. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys. 2002. *Betonilattiat* by 45. Suomen Rakennusmedia Oy.

Suomen rakentamismääräyskokoelma *B4 Betonirakenteet* Helsinki: Ympäristöministeriö. 2004.

MAANVARAISEN TERÄSBETONILAATAN ESIMERKKILASKENNAT

Kaavat peräisin BY45

Alustaluku k

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{h_3}{E_3} \frac{1}{km}}$$

Kaava BY45 betonilattiat 2002, 42

$$\frac{1}{\frac{0,1}{8} + \frac{0,03}{35} + \frac{0,4}{150} + \frac{1}{300}} = 51,7$$

Suhteellinen kuormitusjakautuma ak

$$ak = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{1}{2}h}}{\sqrt{\frac{5000\sqrt{K} \cdot d^3}{12k}}}$$

Kaava BY45 betonilattiat 2002, 41, 42

$$\frac{\sqrt{\frac{0,0165}{\pi} + \frac{1}{2}0,16}}{\sqrt{\frac{5000\sqrt{30} \cdot 0,135^3}{12 \cdot 51,7}}} = 0,2356$$

Taivutusmomentit

Kaavat BY45 betonilattiat 2002, 43, 44

$$\text{Tapaus 1. } M_{1max} = +P \cdot (0,056 - 0,211 \cdot \log \cdot ak)$$

$$+40 \cdot (0,056 - 0,211 \cdot \log \cdot 0,2356) = 7,539 \text{ kNm/m}$$

$$M_{1min} = -0,02 \cdot P$$

$$-0,02 \cdot 40 = -0,800 \text{ kNm/m}$$

Tapaus 2. $M2_{max} = +P * (0,049 + 0,015 * ak - 0,263 * \log * ak)$
 $+40 * (0,049 + 0,015 * 0,2356 - 0,263 * \log * 0,2356) = 8,706 \text{ kNm/m}$
 $M2_{min} = -0,033 * P$
 $-0,033 * 40 = -13,200 \text{ kNm/m}$

LIITE 2 2(3)

Tapaus 3. $M3_{max} = +P * (0,013 + 0,068 * ak - 0,526 * \log * ak)$
 $+40 * (0,013 + 0,068 * 0,2356 - 0,526 * \log * 0,2356) = 14,370 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
 $M3_{min} = -0,066 * P$
 $-0,066 * 40 = -2,640 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$

Tapaus 4. $M4_{min} = -\frac{P}{8}(1 - 0,74 * ak^{0,6}) = -3,446 \text{ kNm/m}$

Tapaus 5. $M5_{min} = -\frac{P}{2}(1,23 * ak^{0,6})$

Lämpötilaero ΔT Taivutusmomentti $M_{\Delta T}$

$$M_{\Delta T} = \frac{\alpha * \Delta T * E_c * d^2}{12}$$

Kaava BY45 betonilattiat 2002, 45

$$\frac{10^{-5} * 4 * 27400 * 0,135^2}{12} = 1,7 \text{ kNm/m}$$

Normaalivoima N_k

$$N_k = (g + kt * q)Lx * \mu F$$

Kaava BY45 betonilattiat 2002, 46

$$N_k = (4 + 1 * 20)8,65 * 1 = 208 \text{ kN/m}$$

Halkeilukapasiteetti

$$\frac{N_k}{A_c * f_{ctk}} + \frac{M_k}{1,7 * W_{ce} * f_{ctk}} \leq 1$$

Kaava BY45 betonilattiat 2002, 49

Laatan yläpinta:

$$\frac{208 * 1000}{160000 * 1,93} + \frac{13,2 * 10^6}{1,7 * 4266666 * 1,93} = 1,62$$

Laatan alapinta:

$$\frac{208 * 1000}{160000 * 1,93} + \frac{14,2 * 10^6}{1,7 * 4266666 * 1,93} = 1,69$$

LIITE 3 3(3)

Halkeamaleveys W_k

$$W_k = \varepsilon_{sm} \left(3,5c + \alpha * k_w \frac{\sigma}{\rho r} \right)$$

Kaavan merkinnät on esitetty RakMK osan B4 kohdassa 2.3.3

Laatan alapinta 850 mm²/m raudalla:

$$0,0002965 \left(3,5 * 20 + 6,03 * 0,085 \frac{10}{0,0085} \right) = 0,199 \text{ mm}$$

Laatan yläpinta 750 mm²/m raudalla:

$$0,0004147 \left(3,5 * 20 + 5,754 * 0,085 \frac{10}{0,0075} \right) = 0,299 \text{ mm}$$