

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2023

Daniel Kaukojärvi

Maanvaraisen lattian pistekuormakestävyys

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2023 | 63 sivua, 19 liitesivua

Daniel Kaukojärvi

Maanvaraisen lattian pistekuormakestävyys

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan maanvaraisia lattioita ja niiden pistekuormakestävyyttä. Opinnäytetyöhön kootaan suunnitteluohjeet ja määräykset, joiden perusteella maanvaraiset lattiat voidaan suunnitella. Opinnäytetyö toteutetaan toimeksiantona A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle.

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena, aiheeseen liittyvää uusinta kirjallisuutta hyödyntäen. Työssä vertaillaan ja ohjeistetaan sekä teräskuitubetonin, että tankoraidoitettun betonin mitoitusta ja tuloksia pistekuormista aiheutuvia rasituksia vastaan.

Tätä opinnäytetyötä voidaan jatkossa hyödyntää suunnittelijan tukena maanvaraisen lattian mitoituksessa. Suunnittelija voi opinnäytetyön avulla vertailla maanvaraisen lattian raidoitustapaa ja sen mitoitusta, sekä määrittää sen pistekuormakestävyyttä.

Asiasanat:

tankoraidoitettu maanvarainen lattia, teräskuitubetonilattia,
pistekuormakestävyys

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil engineering

2023 | 63 pages, 19 pages in appendices

Daniel Kaukojärvi

The point load capacity of the ground bearing floor

The purpose of this thesis is to investigate ground bearing floors and their point load capacity. Design instructions and regulations were compiled for the thesis, which enables the designing of ground bearing floors. The thesis was carried out as an assignment for A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

The research for this thesis was implemented as a literature study. The thesis guides and compares the design of both steel fiber reinforced and steel bar reinforced ground bearing floors and results against stresses caused by point loads.

In the future, this thesis can be used as support for the designer in the designing of ground bearing floors. With the help of the thesis, the designer can compare the reinforcement methods and their structural calculations, as well as determine the point load capacity of ground bearing floors.

Keywords:

reinforced ground bearing floor, steel fiber reinforced ground bearing floor, point load capacity

Sisältö

Käytetyt lyhenteet	10
1 JOHDANTO	13
2 SUUNNITTELUPERUSTEET	14
2.1 Laatuvaatimukset	14
2.2 Halkeilu	15
3 MITOITUSPERUSTEET	17
3.1 Alusrakenteet	17
3.2 Kuormitukset	21
3.3 Betoni	28
3.4 Raudoitus	29
3.4.1 Tankoraudoitus	30
3.4.2 Teräskuidut	31
4 MITOITUS PISTEKUORMAKESTÄVYYDELLE	33
4.1 Pistekuormat	33
4.2 Taivutus ja normaalivoima	43
4.2.1 Tankoraudoitettun taivutus- ja normaalivoimakestävyys	43
4.2.2 Teräskuitubetonin taivutuskestävyys	45
4.3 Lävistysmitoitus	48
4.3.1 Tankoraudoitettun lävistyskestävyys	49
4.3.2 Kuituraudoitettun lävistyskestävyys	50
4.3.3 Lävistävän voiman laskenta	51
4.4 Pohjapaine	53
4.5 Halkeilu	53
4.5.1 Halkeamaleveys tankoraudoituksella	54
4.5.2 Halkeamaleveys kuitubetonilla	56
4.6 Taipuma	57
5 Vertailu	59

6 Pohdinta	61
-------------------	-----------

Lähteet	63
----------------	-----------

Liitteet

Liite 1. Tankoraidoitetun maanvaraisen betonilattian mitoitus

Liite 2. Kuituraidoitetun maanvaraisen betonilattian mitoitus

Kaavat

Kaava 1. Yhden kerroksen alustaluku. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 74.)	21
Kaava 2. Useamman kerroksen alustaluku. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)	21
Kaava 3. Kuormitussäteen määrittäminen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)	34
Kaava 4. Pyöräkuorman kuormitussäde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)	34
Kaava 5. Suhteellinen kuormitusjakauma. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)	35
Kaava 6. Elastinen jäykkyyssäde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)	35
Kaava 7. Lattian jäykkyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)	35
Kaava 8. Betonin kimmomoduuli. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)	36
Kaava 9. Maksimi positiivinen momentti keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	41
Kaava 10. Minimi negatiivinen momentti keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	41
Kaava 11. Maksimi positiivinen momentti sauman keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	42
Kaava 12. Minimi negatiivinen momentti sauman keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	42
Kaava 13. Maksimi positiivinen momentti laatan vapaalla reunalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	42

Kaava 14. Minimi negatiivinen momentti laatan vapaalla reunalla. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 103.).....	42
Kaava 15. Minimi negatiivinen momentti saumojen nurkassa. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 103.).....	42
Kaava 16. Minimi negatiivinen momentti laatan nurkassa. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 103.).....	43
Kaava 17. Keskeisen raudoituksen vaadittu teräsmäärä. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.).....	43
Kaava 18. Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.).....	44
Kaava 19. Suhteellinen momentti. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.).....	44
Kaava 20. Mitoittava laskentamomentti. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.)	44
Kaava 21. Epäkeskisyys. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.).....	45
Kaava 22. Teräsmäärä, kun pieni epäkeskisyys. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 106.).....	45
Kaava 23. ylä- tai alapinnan teräsmäärä. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 107.).....	45
Kaava 24. Taivutuskestävyys. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 18, 37.).....	45
Kaava 25. Kuitujen vaikutus vetoresultanttiin. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 83.).....	46
Kaava 26. Jännösvetolujuuden suunnitteluarvo. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 16.).....	46
Kaava 27. Jännösvetolujuuden ominaisarvo. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 15.).....	46
Kaava 28. Puristusresultantin suuruus. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 83.)	47
Kaava 29. Maksimivenymä. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 82.).....	47
Kaava 30. Halkeamisvenymä. (Suomen Betonyhdistys ry, 2018, 82.).....	47
Kaava 31. Lävistyskestävyys. (Suomen Betonyhdistys ry, 2014, 69.).....	49
Kaava 32. Kerroin $C_{Rd,c}$. (Suomen Betonyhdistys ry, 2014, 70.).....	49
Kaava 33. Kerroin k. (Suomen Betonyhdistys ry, 2014, 58.).....	49

Kaava 34. Geometrinen raudoitussuhde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2014, 69.)	50
Kaava 35. Kuitubetonin lävistyskestävyyden mitoitusjännitys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 24.).....	50
Kaava 36. Keskialueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 32.).....	51
Kaava 37. Suhteellinen jäykkyyssäde. Keskialueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 28.).....	52
Kaava 38. Reuna-alueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 32.).....	52
Kaava 39. Mitoittava lävistävä voima keskialueella. (The Concrete Society, 2010, 32.).....	52
Kaava 40. Mitoittava lävistävä voima reuna-alueella. (The Concrete Society, 2010, 32.).....	52
Kaava 41. Pohjapaine. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)	53
Kaava 42. Halkeilumomentti. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 108.).....	54
Kaava 43. Taivutusvastus. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 108.)	54
Kaava 44. Halkeamaleveyden ominaisarvo. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 123.).....	54
Kaava 45. Halkeamaväli. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 124.)	54
Kaava 46. Laatan tehollinen raudoitussuhde. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, 108.).....	55
Kaava 47. Betoniteräksiä ympäröivä tehollinen pinta-ala. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 120.)	55
Kaava 48. Tehollinen korkeus. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 120.).....	56
Kaava 49. Venymäero. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 123.)	56
Kaava 50. Kuitubetonin halkeamaleveys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 29)	56
Kaava 51. Taipuma keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.).....	58
Kaava 52. Taipuma sauman kohdalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)	58
Kaava 53. Taipuma laatan reunalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)..	58

Kuvat

Kuva 1. Winklerin alustamalli. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 73)	19
Kuva 2. Haarukkatrukkien geometria ja kuormakaavio. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)	27
Kuva 3. Keskeisen raudoituksen sijoittaminen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018)	31
Kuva 4. Yleisimmät teräskuitutyypin muodot. (Suomen betoniyhdistys ry, 2011, 12)	32
Kuva 5. Pistekuorman sijainnin määrittäminen. l_k on elastinen jäykkyys säde ja r on kuormituspinnan säde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 94.)	34
Kuva 6. Lähekkäin olevien pistekuormien kuormituspinta-ala. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 96.)	36
Kuva 7. Yksittäisen pistekuorman aiheuttama pohjapaine ja momentti laatan keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)	36
Kuva 8. Vierekkäisten pistekuormien vaikutus momentin ääriarvoihin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 96.)	37
Kuva 9. Reunalla sijaitsevan pistekuorman synnyttämät momentit. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 97.)	38
Kuva 10. Pistekuorman sijainnin vaikutus pohjapaineeseen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 99.)	39
Kuva 11. Pistekuorman sijainnin vaikutus taivutus- ja vääntömomenttiin, sekä kriittiset halkeamasuunnat (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 99.)	40
Kuva 12. Pistekuormasta aiheutuvat mahdolliset kuormitustapaukset. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)	41
Kuva 13. Taipuman tarkastelukohdat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)	57

Taulukot

Taulukko 1. Suositeltavat halkeamaleveydet. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 26–28.)	16
Taulukko 2. Alustaluvun virheellisen arvioinnin vaikutus laatan paksuuteen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 74.)	19
Taulukko 3. Perusmaiden alustalukuja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)	20
Taulukko 4. Maalajien muodonmuutosmoduuleja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)	20
Taulukko 5. Vähimmäishyötykuormat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58.)	22
Taulukko 6. Teollisen toiminnan arvioituja kuormituksia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58.)	23
Taulukko 7. Esimerkki lavahyllyjen (800 x 1200 eurolava) kuormasta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 59)	24
Taulukko 8. Vakiosuunnitteluarvoja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 59.)	25
Taulukko 9. Kuormalukkien F ja G vähimmäisominaisarvot liikennekuormille. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60)	26
Taulukko 10. Haarukkatrukkien FL-luokat ja arvot. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)	26
Taulukko 11. FL-luokkien akselikuormat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)	28
Taulukko 12. Ohjeelliset minimilujuusluokat. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2019, 11.)	29
Taulukko 13. Jäännösvetolujuuden R ₃ arvot. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 13.)	51

Käytetyt lyhenteet

$A_{c,eff}$	tehollinen betoniteräksiä ympäröivä tehollinen pinta-ala
a_k	suhteellinen kuormitusjakauma
a_s	raudoitteen etäisyys normaalivoiman vaikutusakseliin
A_s	teräsmäärä
c	vetoraidoituksen betonipeite
$C_{Rd,c}$	lävistyskestävyyteen vaikuttava kerroin
D	pistekuorman halkaisija
E_{cm}	betonin kimmomoduuli
e_d	epäeskisyys
EI	lattian jäykkyys
E_m	alustan rakennekerroksen kimmomoduuli
F_{cc}	puristusresultantin suuruus
F_{cc}	puristusresultantin suuruus
f_{cd}	betonin puristuslujuuden mitoituslujuus
f_{cm}	betonin keskimääräinen puristuslujuus
F_f	teräskuitujen vetoresultantti
$f_{ft,R3}$	jäännösvetolujuuden ominaisarvo
$f_{R,1k}$	R1 luokan jäännöstaivutusvetolujuuden ominaisarvo
$f_{R,3k}$	R3 luokan jäännöstaivutusvetolujuuden ominaisarvo
F_{st}	tankoraidoituksen vetoresultantti
$f_{td,R3}$	jäännösvetolujuuden suunnitteluarvo
f_{yd}	raudoituksen mitoituslujuus
$h_{c,eff}$	tehollinen korkeus

k	alustaluku
k_m	perusmaan alustaluku
k_t	kuorman vaikutusajan kerroin
I	suhteellinen jäykkyyssäde
I_k	elastinen jäykkyyssäde
I_s	karakteristinen korkeus
$M_{R.cr}$	halkeilumomentti
M_{sd}	mitoitettava laskentamomentti
P	pistekuorma
P_0	pohjapaine
q	renkas- tai kosketuspaine
r	pistekuorman vaikutusalueen ympyrän säde
R_{cp}	suoraan alusrakenteille kulkeva voima reuna-alueella
R_p	suoraan alusrakenteille kulkeva voima keskialueella
$s_{r,max}$	halkeamaväli
u	pistekuorman tarkastelupiiri
v	suppeumaluku
$V_{Rd.c}$	lävistyskestävyys
W_I	taivutusvastus
W_k	halkeamaleveys
W_{max}	kuitubetonin halkeamaleveys
w_u	halkeaman avautuma
x	puristusvyöhykkeen korkeus
y	taipuma
\emptyset	raudoitustangon halkaisija
α_e	kimmokertoimien suhde

β	puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus
γ_c	betonin osavarmuusluku
γ_f	kuitubetonin osavarmuusluku
γ_s	betoniteräksen osavarmuusluku
ϵ_c	poikkileikkauksen yläpinnan puristuma
ϵ_{c3}	puristuma
ϵ_{ct}	halkeamisvenymä
ϵ_{ft}	teräskuitubetonin venymän maksimiarvo
ϵ_{ftu}	maksimivenymä
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	venymäero
η_{det}	staattisesta määräämättömyydestä riippuva kerroin
η_f	valusuunnasta riippuva kerroin
μ	suhteellinen momentti
ρ	laatan raudoitussuhde
ρ_l	vetoraudoituksen pinta-alaa kuvaava kerroin
$\rho_{p,eff}$	laatan tehollinen raudoitussuhde
σ_s	raudoituksen jännitys halkeamassa

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoite on tutkia ja perehtyä maanvaraisen betonilattian suunnitteluun ja mitoitukseen pistekuormille. Työn on tarkoituksena toimia suunnittelijan oppaana maanvaraisen betonilattian suunnitteluun nykyisten standardien ja suunnitteluohjeiden mukaisesti.

Työssä tutkitaan maanvaraisen lattian rakennesuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ja avataan mitoitusprosessia vaihe vaiheelta. Mitoitusprosessia avataan käsin laskennan esimerkkilaskuilla. Tavoitteena on luoda selkeä ja ymmärrettävä vaihe vaiheelta etenevä ohjeistus lattian suunnitteluun ja mitoitukseen.

Työn alussa tutkitaan suunnitteluperusteita, joissa perehdytään lattian yleisiin vaatimuksiin. Kolmannessa luvussa käsitellään mitoitusperusteita, joissa tutkitaan mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden huomioimista laskennassa.

Työn neljännessä luvussa perehdytään maanvaraisen lattian mitoitukseen. Luvussa käsitellään mitoitusta käsin laskentana. Mitoitusta avataan ja pyritään ohjeistamaan vaihe vaiheelta selkeällä ja ymmärrettävällä tavalla. Mitoituksessa käsitellään tanko- ja kuituraudoitettua betonia. Työn lopussa vertaillaan laskentatuloksia kuitu- ja tankoraidoitettujen lattioiden välillä.

2 SUUNNITTELUPERUSTEET

Lattian lähtötiedot suunnittelua varten syntyvät pitkälti käyttötarkoituksen mukaan. Käyttötarkoituksen perusteella määräytyy laatuvaatimukset, rasitukset ja kuormitukset. Tästä syystä tilan käyttötarkoitus tulisi olla mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tiedossa, kuitenkin viimeistään luonnossuunnitteluvaiheessa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 55.)

Maanvaraiset lattiat eivät ole kantavia rakenteita, joten eurokoodeja noudatetaan vain soveltuvien osien suunnittelussa ja mitoituksessa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 55)

Lattiat suositellaan suunnittelemaan muunneltaviksi siten, että kuormitukset voivat vapaasti siirtyä tilassa, esimerkiksi toiminnan muuttuessa tilassa. Tilaaja voi kuitenkin edellyttää, että tilaa ei suunnitella muunneltavaksi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 55)

2.1 Laatuvaatimukset

Betonilattian onnistuneen toteutuksen kannalta, on oleellista, että valmis lattia mahdollistaa tilan suunnitellun toiminnan. Tämä varmistetaan sillä, että lattialle asetetaan asianmukaiset laatuvaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 18.)

Betonilattioissa esiintyvät ongelmat johtuvat usein laatuvaatimusten virheellisyydestä tai puutteesta. Betonilattioihin erikoistuneita suunnittelijoita tulisi hyödyntää jo hankesuunnitteluvaiheessa, jotta betonilattian toteutuksen onnistuminen varmistuisi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 18.)

Betonilattioita suunniteltaessa huomioitavia ja selvitettäviä laatuvaatimuksia ovat:

- suoruus ja tasaisuus
- kulutuskestävyys

- halkeilu
- säilyvyys, jotta lattia kestää siihen kohdistuvat rasitukset sääilmiöistä, klorideista tai muusta vastaavasta.
- pinnan laatu
- mahdolliset erikoisvaatimukset, kuten sähkönjohtavuus, kemiallinen kestävyys tai iskunkestävyys.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan laatuvaatimuksiin, joihin pistekuormilla on suora vaikutus. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 4–33.)

2.2 Halkeilu

Halkeamalla tarkoitetaan vähintään 0,05 mm leveitä halkeamia betonin pinnalla. Halkeamia syntyy pääasiassa estetyn kutistuman myötä, mutta myös plastinen kutistuma, lämpötilaerot ja liiallinen kuormitus aiheuttaa halkeamia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 24–25.)

Maanvaraisten lattioiden lujuudenkehityksen aikana on varmistettava, että työnaikaiset kuormitukset eivät ylitä lattian sen hetkistä kantokykyä. Liiallinen pistekuormitus aiheuttaa herkästi lattian alapintaan halkeaman, joka ei näy yläpinnassa, mutta halkeamakohta heikentää vetokuormituskestävyyttä ja saattaa kutistumisvoiman alaisena kasvaa alapinnasta yläpintaan ulottuvaksi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 62.)

Leveät halkeamat lyhentävät lattian käyttöikä, kun esimerkiksi kloridit pääsevät tunkeutumaan betoniin ja terästen korroosioriski kasvaa. Leveiden halkeamien reunat murtuvat myös helposti esimerkiksi trukkiliiikenteen takia, ja näin ollen vauriot ja sen aiheuttamat haitat kasvavat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 25.)

Lattiaan syntyneet halkeamaleveysvaatimukset ylittävät halkeamat voidaan korjata injektoimalla ja näin ollen palauttaa lattia vaadittuun vaatimusluokkaan. Ennen korjaustoimenpiteitä on kuitenkin oleellista selvittää halkeamien syy, jotta

halkeamat eivät toistu korjausten jälkeen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 25.)

Halkeiluriskit tulisi tunnistaa jo suunnitteluvaiheessa ja valita halkeilun hallintaperiaatteet ja betoni tarpeen ja kutistuman minimoinnin mukaan. Taulukosta 1 voidaan määrittää sallittu halkeamaleveys vaatimustason mukaan. Suunnittelijan kannattaa hyödyntää betonitoimittajan asiantuntemusta betonin valitsemiseen ja laatuvaatimusten määrittelemiseen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 151.)

Taulukko 1. Suositeltavat halkeamaleveydet. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 26–28.)

Suositeltavat suurimmat sallitut halkeamaleveydet						
Luokka	I-UA	I-UB	I-K	II	III	IV
Kuvaus	Ulkonäön suhteen erittäin vaativa	Ulkonäön suhteen vaativa	Kulutuskestävyyden suhteen vaativa	Normaali	Vähäinen	Erikoisluokka
Sallittu halkeamaleveys (mm)	Täysin halkeilematon tai yksittäisiä 0,1...0,2 mm	Vähäisissä määrin ja korkeintaan 0,1...0,3 mm	0,3 mm	0,5 mm	1,0 mm	Erikseen sovittava

Täysin halkeamaton lattia on erittäin haastava toteuttaa ja on yleisesti ottaen perustelematonta. Näin ollen onkin parempi pyrkiä hallitsemaan halkeamia järkevissä määrin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 25)

3 MITOITUSPERUSTEET

Maanvaraisten lattioiden suunnittelussa käytetään yleensä seuraamusluokkaa 2, mutta seuraamusluokkaa 3 voidaan myös käyttää poikkeustapauksissa, jos rakenteen vaurioitumisesta syntyy erittäin suuret taloudelliset seuraamukset. Toteutusluokkana käytetään yleensä normaaliluokkaa 2, mutta toteutusluokkaa 3 käytetään seuraamusluokan ollessa 3 tai jos kohde on erityisen vaativa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 90.)

Maanvarainen lattia voidaan toteuttaa kolmella eri raudoitetyypillä: tankoraidoitettuna, kuiduilla raudoitettuna tai jälkijännitettynä. Lattiassa voidaan myös käyttää näiden yhdistelmiä, jolloin saadaan hyödynnettyä eri tapojen hyötyjä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 90.)

Lattian mitoituksessa on oleellista selvittää, käytetäänkö lattiassa kutistumissaumoja vai toteutetaanko lattia saumattomana. Saumattomassa lattiassa sallitaan kutistumishalkeamat, mutta niitä pyritään hallitsemaan riittävällä raudoituksella ja laatan ja alustan välisellä kitkalla niin, että halkeamaväli ja -leveys pysyy vaatimusten puitteissa. Lattian raudoituksen vetokestävyys on näin ollen oltava suurempi kuin betonin vetokestävyys. Kutistumissaumoilla varustetussa lattiassa pyritään estämään kutistumishalkeamien syntyminen. Tällöin on varmistettava mahdollisimman pieni kitka laatan ja alustan välillä. Molemmissa lattiatyypeissä voi silti syntyä taiputuksesta aiheutuvia halkeamia molempiin pintoihin, joita tulee pyrkiä hallitsemaan riittävällä raudoituksella. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 90.)

3.1 Alusrakenteet

Maanvaraisen lattian alusrakenteisiin kuuluu luonnon pohjamaa, kerroksittain sen päälle rakennettavat tai aiemmin rakennetut täyttömateriaalit ja mahdollisen eristeen. Pohjamaana voi olla täysin luonnontilaista perusmaata, vanhaa rakennettua täyttömaata tai suunnitelmallisesti pohjanvahvistustoimenpiteillä

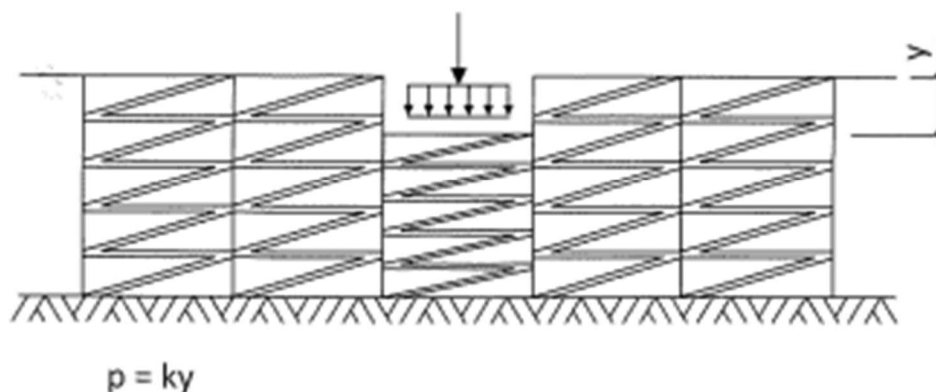
lujitettua maata, esimerkiksi EPS-kevennys, massanvaihto tai syvästabilointi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 71.)

Oleellista alusrakenteita suunniteltaessa on, että lattian käytön aikana syntyvät muodonmuutokset kuormituksen alla pysyvät riittävän pieninä ja että alustan ominaisuudet mahdollistavan lattian toiminnan tarpeiden mukaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 71.)

Täyttömateriaalina on käytettävä routimatonta seka- ja karkearakeista louhetta tai mursketta. Mikäli perusmaana on silttiä, savea tai moreenia tulee täytön alle asentaa suodatinkangas. Materiaalit on hyväksyttävä pohjarakennussuunnittelijalla ja materiaalien tulee olla tuotteistettuja tai niiden kelpoisuus on pystyttävä osoittamaan laadunvarmistuskokein. (Rakennetuoteteollisuus RTT ry, 2012, 45–46.)

Kantavuusmoduulin lisäksi alustan mitoituksessa käytetään alustalukua. Alustaluvulla k huomioidaan alustan painuman vaikutusta taipumaan ja taivutusrasitukseen. Useimmiten käytetyt mitoitusmenetelmät perustuvat alustalukuun, jossa alustaa kuvataan kimmoisilla jousilla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 72.)

Yksinkertaisin, yleisin ja myös käsin laskentaan soveltuva alustamalli on Winklerin alustamalli (kuva 1). Winklerin alustamallissa alustaa kuvataan yhdellä alustaluvulla, joka muodostuu useammasta toisistaan irti olevasta kimmoisista jousista, joilla kaikilla on yhtenäinen jousivakio. Winklerin mallissa oletetaan, että alustapaine on suoraan verrannollinen taipumaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 73.)



Kuva 1. Winklerin alustamalli. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 73)

Pistekuormien alaisten lattioiden pohjapaine, voimasuureet ja laatan taipuma voidaan ratkaista alustalukumenetelmällä. Ongelmana alustalukumenetelmässä, on kuitenkin alustalukujen määrittäminen, sillä alustaluku ei ole vakio, vaan riippuu kuormituksesta, laatan taivutusjäykkyydestä ja kuormitettavasta pinnan koosta. On kuitenkin todettu, että käytännössä alustaluku ei juurikaan vaikuta laatan paksuuteen eikä taivutusjännityksiin. Taulukossa 2 on arvioitu alustaluvun virhettä arvioituun maksimivirheeseen laatan paksuudessa. Winklerin mallia pidetään yleisesti riittävän tarkkana alustamallina laskentaa. Taipuman tarkkaa laskentaa varten voidaan käyttää monimutkaisempia tietokonelaskentaan soveltuvia malleja, kuten esimerkiksi Vlasovin mallia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 73–74.)

Taulukko 2. Alustaluvun virheellisen arvioinnin vaikutus laatan paksuuteen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 74.)

Virhe alustaluvussa [%]	Arvioitu maksimivirhe laatan paksuudessa [%]
10	1
25	2,5
50	5

Perusmaalla tarkoitetaan häiriintymätöntä pohjamaata tai vähintään metrin paksuista tiivistettyä kerrosta. Perusmaan alustaluku saadaan tekemällä

tiivetskoe maan pinnasta. Alustalukua voidaan myös tarvittaessa arvioida kirjallisuuden avulla. Taulukossa 3 ja 4 on annettu yleisten maalajien alustalukuja ja muodonmuutosmoduuleja. (Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattiayhdistys ry, 2012, 48.)

Taulukko 3. Perusmaiden alustalukuja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)

Perusmaa	k_m [MN/m ³]
Hiekka	10...30
Tiivis hiekka	30...80
Tiivis hiekkasora	80...150
Karkea sora	150...250
Tiivis sora	200...300

Taulukko 4. Maalajien muodonmuutosmoduuleja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)

Maalaji	E [MN/m ²]
Savi ¹⁾	2...10
Hiekka	10...30
Tiivis hiekka	40...80
Tiivis sora	100...200
Tiivis soramurske	300...350

¹⁾ Savi painuu, jos on pysyvää kuormaa. Lattiapaalutuksen tarpeellisuus arvioidaan geoteknisen selvityksen perusteella.

Mahdollisilla maanvaraisen lattian alle tulevilla eristeillä on suurin vaikutus alustalukuun. Tästä syystä on tärkeää määrittää eristepaksuus tarkoin ja ottaa huomioon kaikki U-arvoon vaikuttavat tekijät standardin SFS-EN ISO 13370 2017 mukaisesti, jotta saadaan mahdollisimman materiaalitehokas ja jäykkä alapohjarakenne. (Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattiayhdistys ry, 2012, 48.)

Alustaluvun tarkempi laskenta yhdelle rakennekerrokselle saadaan kaavalla:

$$k = \frac{E_m}{h}$$

Kaava 1. Yhden kerroksen alustaluku. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 74.)

missä E_m on perusmaan kimmomoduuli ja h on aluskerroksen paksuus. Mikäli halutaan usean rakennekerroksen alusta luku määritettyä, käytetään kaavaa:

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

Kaava 2. Useamman kerroksen alustaluku. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 75.)

missä h_i on eri kerrosten paksuus, E_i eri kerrosten kimmomoduuli ja k_m on perusmaan alustaluku.

3.2 Kuormitukset

Maanvaraiseen lattiaan kohdistuu pysyvää ja muuttuvaa kuormaa. Pysyvä kuorma syntyy yleensä rakenteiden tai laitteiden omapainosta. Muuttuva kuorma voi muodostua henkilö-, tavara- ja liikennekuormista. Kuormitus voi olla tasaista-, viiva- tai pistekuormaa. Muuttuvat kuormat jaetaan vaikutusajan perusteella lyhytaikaiseen tai pitkäaikaiseen, liikkuvuuden perusteella liikkuvaan tai kiinteään ja staattisuuden perusteella staattiseen tai dynaamiseen. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pistemäisiin kuormiin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 56–57.)

Kutistumaa ja virumaa huomioidaan suunnittelussa loppuarvoillaan, mutta tarvittaessa voidaan myös tutkia tilanne, missä vain osa kutistumasta ja virumasta on tapahtunut. Kuormia yhdistellessä kutistuma ja viruma käsitellään pysyvänä kuormana. Lämpötilan vaihtelu taas käsitellään lyhytaikaisena kuormana. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 57.)

Lattiaan kohdistuvien dynaamisten kuormien staattiset arvot tulee kertoa sysäyskertoimella. Sysäyskertoimena voidaan yleensä käyttää arvoa 1,4. Henkilöautojen ja muiden vastaavien ajoneuvojen dynaamisen vaikutuksen oletetaan niin pieniksi, että mitoituksessa voidaan käyttää pelkkää staattista kuormitusarvoa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 57.)

Hyötykuormat tulee aina määrittää tapauskohtaisesti todellisten olosuhteiden mukaan, mutta eurokoodissa on määritetty vähimmäishyötykuormat asunnoille, toimistoille ja kokoontumistiloille (Taulukko 5). Pienteollisuuskohteissa voidaan käyttää kuormaluokan E1 arvoja, mikäli tarkempaa tietoa ei ole tiedossa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 57–58.)

Taulukko 5. Vähimmäishyötykuormat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58.)

	Kuormaluokka	Pintakuorma [kN/m ²]	Pistekuorma [kN] ²
Asuintilat	A	2,0	2,0
Toimistotilat	B	2,5	2,0
Arkistotilat ¹	E1	7,5	7,0
Varastotilat ³	E2	Tapauskohtaisesti	
Luento- ja kokoussalit	C2	3,0	3,0
Tanssi- ja voimistelusalit	C4	5,0	4,0
Katsomot, terassit	C5	6,0	4,0
Myymälätilat	D1 ⁴	4,0	4,0
	D2	5,0	7,0

¹ Kuorma-arvoissa otetaan huomioon tilavuuspaino ja suurin pinoamiskorkeus.

² Pistekuorman kuormitusalanä käytetään 50 x 50 mm²:ä, kun pistekuorma on ≤ 2,5 kN, muuten 100 x 100 mm².

³ Teollisuus-, tuotanto- ja varastorakennusten kuormat määritetään aina tapauskohtaisesti.

⁴ luokka D1 = tavallisten vähittäiskauppojen tila
luokka D2 = tavaratalot.

Teollisuuskohteiden kuormituksia voidaan arvioida kirjallisuudesta saatavien taulukoiden mukaan (taulukko 6). Lopulliset kuormat ja rasitukset tulee kuitenkin aina varmistaa kohdekohtaisesti ennen lopullista mitoitusta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 57–58.)

Taulukko 6. Teollisen toiminnan arvioituja kuormituksia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58.)

Toimiala	Toiminta	Kuormatyyppi	Tyypillinen kuorma
Hyvin kevyt teollisuus	Yksinkertaiset • varastot • myyntitilat • parkkihallit	Tasainen kuorma	< 5 kN/m ²
		Pistekuorma	< 10 kN
		Trukki (FL1)	Pieni
Kevyt teollisuus	Keräysvarasto Kokoonpanohalli	Tasainen kuorma	< 15 kN/m ²
		Pistekuorma	< 40 kN
		Trukki (FL1...FL2)	Akselikuorma < 50 kN
Keskiraskas teollisuus	Paperivarasto Välivarasto	Tasainen kuorma	< 50 kN/m ²
		Pistekuorma	< 80 kN
		Trukki (FL3...FL4)	Akselikuorma < 100 kN
Raskas teollisuus	Korkeavarasto Valssaamo	Tasainen kuorma	> 50 kN/m ²
		Pistekuorma	> 80 kN
		Trukki (FL5...FL6)	Akselikuorma > 100 kN

Varastoissa hyllyistä syntyy huomattavaa kuormaa ja ne tulee määritellä aina tapauskohtaisesti varastotyyppin, hyllyjärjestelmän ja varastoitavan tavaran perusteella. Kuormat voidaan määritellä esimerkiksi hyllyjärjestelmän suurimman sallitun jalkakuorman ja kuormituspinta-alan mukaan. Taulukossa 7 on esimerkki lavahyllyjen aiheuttamista kuormista. Mikäli hyllyt sijaitsevat selät vastakkain muodostuvat pistekuorma kahdesta vierekkäisestä pistekuormasta. Mikäli hyllyn tiedoista ei ole tarkempia arvoja tiedossa voidaan käyttää taulukon 8 mukaisia vakiosuunnitteluarvoja. Tarkempia tietoja hyllyistä voidaan pyytää suoraan valmistajalta ja pohjalevyn koko voidaan määrittää uudelleen, mikäli alkuperäinen valmistajan toimittama pohjalevy ei riitä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58–59.)

Taulukko 7. Esimerkki lavahyllyjen (800 x 1200 eurolava) kuormasta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 59)

Hyllytyyppi	Hyllyn korkeus	Pistekuorma [kN]		
		Lavan paino	600 kg	800 kg
Yksinkertainen	0...3 m	6...8	8...24	10... 30
	3...7 m	18...42	24...56	30...70
	7...40 m	42...252	56...336	70...240
Selät vastakkain	0...3 m	12...36	16...48	20...60
	3...7 m	36...84	48...112	60...140
	7...40 m	84...504	112... 674	140...840

Mikäli hyllyn tiedoista ei ole tarkempia arvoja tiedossa voidaan käyttää taulukon 8 mukaisia vakiosuunnitteluarvoja. Tarkempia tietoja hyllyistä voidaan pyytää suoraan valmistajalta ja pohjalevyn koko voidaan määrittää uudelleen, mikäli alkuperäinen valmistajan toimittama pohjalevy ei riitä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 58–59.; American Concrete Institute Committee 360, 2010, 19–20.)

Taulukko 8. Vakiosuunnitteluarvoja. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 59.)

Kuormalava-hylly	
Trukkipyörien keskilinjan etäisyys hyllyjalkojen keskilinjaan	200 mm
Pohjalevyn koko	150 x 150 mm ²
Selkä selkää vasten olevien hyllyn jalkojen etäisyys	250 mm
Etäisyys pistekuorman keskeltä saumaan	Sauman kohdalla
Hyllyn jalkojen välinen etäisyys kohtisuoraan käytävään nähden	900 mm
Hyllyjalkojen väli käytävän suunnassa	2000 mm
Trukin pyöräkuorman etäisyys saumasta	Sauman kohdalla
Käytävän leveys	1800 mm / 3000 mm ¹⁾
Varastovälitaso	
Pohjalevyn koko	200 x 200 mm ²
Tukijalan keskilinjan etäisyys saumasta	500 mm
Tukijalkojen väli	3000 mm

¹⁾ Mitoituksessa huomioidaan molemmat vaihtoehdot.

Lattiaan kohdistuu autotalleissa, liikennöntialueilla ja pysäköintilaitoksissa pystysuuntaista kuormaa ajoneuvoista, jotka huomioidaan akselikuormana. Eurokoodissa on määritetty vähimmäisominaisarvot liikennekuormille kuormaluokissa F ja G. Luokkien F ja G liikennöntialueet tulee varustaa kuormakilvillä, mutta jos kuormakilpeä ei aseteta, tulee alueet mitoittaa akselikuorman lisäksi vielä telikuormalle $Q_k = 190$ kN. Telikuorman akselin väliseksi minimietäisyydeksi voidaan olettaa 1,2 m ja pistekuorman $Q_k/2$ vaikutusalaksi 400 x 400 mm². Taulukossa 9 on määritetty vähimmäisominaisarvot liikennekuormille. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60)

Taulukko 9. Kuormalukkien F ja G vähimmäisominaisarvot liikennekuormille.
(Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60)

	Kuormaluokka	Pintakuorma [kN/m ²] ¹⁾	Akselikuorma Q _k [kN] ²⁾
Liikennöinti ja paikoitus ¹⁾	F	2,5	20
	G	5,0	90

¹⁾ luokka F = kevyt ajoneuvoliikenne, ajoneuvon kokonaispaino < 30 kN.
luokka G = keskiraskas ajoneuvoliikenne, ajoneuvon kokonaispaino 30...160 kN, kahdella akselilla.
²⁾ Pistekuormien Q_k/2 keskinäinen väli on 1,8 m. Kuorman vaikutusala on F-luokassa 0,1 x 0,1 m² ja G-luokassa 0,2 x 0,2 m².

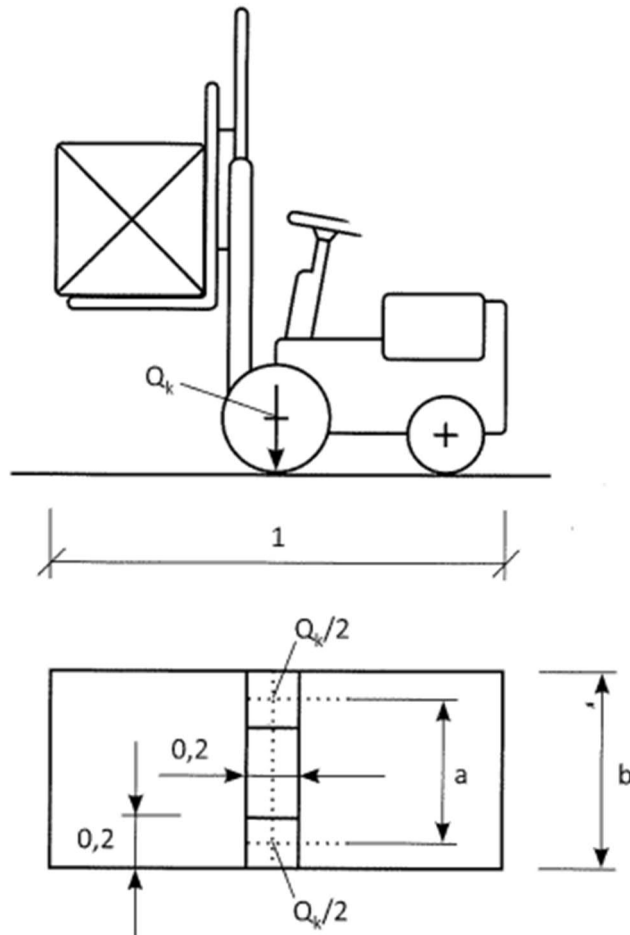
Teollisuus ja varastotiloissa tulee huomioida työkoneista ja trukeista syntyviä kuormia, jotka ovat huomattavia. Kuormat tulee aina määrittää todellisten olosuhteiden mukaan, mutta trukeista syntyviä kuormia voidaan arvioida eurokoodeihin perustuvilla taulukoiduilla arvoilla (Taulukko 10). Trukit jaotellaan standardissa kuuteen eri luokkaan FL1...FL6 painon, kantokyvyn ja dimensioiden perusteella. Taulukossa 11 on arvioitu trukeista syntyvää staattista pystysuuntaista akselikuormaa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60.)

Taulukko 10. Haarakatrukkien FL-luokat ja arvot. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)

Haarakatrukin luokka	Nettopaino [kN]	Taakan paino [kN]	Raideleveys a [m]	Kokonaisleveys b [m]	Kokonaispituus l [m]
FL1	21	10	0,85	1,00	2,60
FL2	31	15	0,95	1,10	3,00
FL3	44	25	1,00	1,20	3,30
FL4	60	40	1,20	1,40	4,00
FL5	90	60	1,50	1,90	4,60
FL6	110	80	1,80	2,30	5,10

Haarakatrukkien geometriaa ja pystysuuntaisesta kuormasta syntyvää sijaintia trukkiin nähden on kuvattu kuvassa 2. Staattinen akselikuorma tulee kertoa dynaamisella suurennuskertoimella, joka on 1,40 kun trukissa on ilmarenkaat ja

2,00 kun trukissa on umpirenkään. Trukkien ja kuljetusvälineiden aiheuttamia kuormia tarkastellaan pistekuormina, jotka vaikuttavat yhdessä pintakuormien kanssa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60.)



Kuva 2. Haarukkatrukkien geometria ja kuormakaavio. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)

Taulukko 11. FL-luokkien akselikuormat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 61.)

Haarukkatrukin luokka	Akselikuorma Q_k [kN]
FL1	26
FL2	40
FL3	63
FL4	90
FL5	140
FL6	170

Haarukkatrukin ylittäessä FL6 luokan nettopainon tulee trukin aiheuttamat kuormat määrittää tarkemman analyysin mukaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 60.)

Mikäli lattialle on asetettu erityisen suuret vaatimukset tulee betonin lujuuden olla vähintään 80 % suunnitellusta lujuudesta, ennen kuin lattiaa saa kuormittaa raskaasti. Muissa tapauksissa tulee betonin lujuuden saavuttaa 50 % lujuus, ennen kuin lattiaa saa kuormittaa, jollei suunnitelmissa ole muuta esitetty. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 62.)

3.3 Betoni

Betonin laatu on valittava tarkoin, jotta maanvaraisen lattian suunnitellut ominaisuudet soveltuvat suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Betonin laadun valinta vaikuttaa kutistumaan, lujuuteen, viimeistelyyn, säilyvyyteen ja käyttöikään. (The Concrete Society, 2010, 43.)

Maanvaraisten lattioiden toteutuksessa peruslujuusluokkana käytetään C25/30 betonia. Tarvittaessa lattia pinnoitetaan tai päällystetään vaatimusten niin vaatiessa. Lujuusluokkaa nostettaessa lisääntyy sementtimäärä, jolloin betonissa esiintyvä kutistuma lisääntyy ja näin ollen myös halkeilee enemmän. Suunnittelijan on kuitenkin huomioitava rasitusluokat, jotta betonin

vähimmäislujuus täyttyy (taulukko 12). (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 135.; Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 28.)

Taulukko 12. Ohjeelliset minimilujuusluokat. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2019, 11.)

	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäädytys-sulatusrasitus ^{1) 2)}				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä			XF 1 ³⁾	XF 2	XF 3 ³⁾	XF 4	XA 1	XA 2
w/c enintään		0,90	0,80	0,60	0,60	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60	0,50	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
Vähimmäislujuusluokka	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C40/50
Vähimmäisementtimäärä (kg/m ³)		160	160	250	250	300	320	320	300	300	320	270	330	300	360	300	320	330
Ilmamäärä ⁵⁾ (%)												4,0 ⁴⁾	5,0 ⁴⁾	4,0 ⁴⁾	5,0 ⁴⁾			

1) Lisäksi pakkaskestävyyden vaatimukset [liitteen A taulukon A.1-F1](#) mukaan.

2) Rasitusluokissa XF2 ja XF4 edellytetyt betonin vesi-sementtisuhteen, ilmamäärän ja sementtimäärän vaatimukset ovat sementtilaaduille CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-L, CEM II/A-M ja CEM II/B-M [taulukossa 2-F1](#) esitettyjen rajoituksin.

3) Betonin vesi-sementtisuhteen ja ilmamäärän yhdistelmä voidaan määrittää vaihtoehtoisesti F-lukumenetetyllä (Liite A). Tällöin tämän taulukon sarakkeissa XF1 ja XF3 esitettyjen vesi-sementtisuhte- tai ilmamäärävaatimusten ei tarvitse täyttyä, mutta betonin F-lukuvaatimuksen tulee täyttyä. 50 vuoden suunnitellulla käyttöajalla F-lukuvaatimus rasitusluokassa XF1 on 1,0 ja rasitusluokassa XF3 1,5.

F-luvun arvoja vesi-sementtisuhteen, ilmamäärän ja kivialineksen ylänimellisrajan funktiona on esitetty [taulukossa D.1-F1](#).

4) Ilmamäärävaatimus koskee betonia, jossa kivialineksen ylänimellisraja on vähintään 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärävaatimusta nostetaan 0,5 %-yksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 %-yksikköä.

5) Yli 7 % tavoiteilmamäärä ei ole suositeltava.

Lattian betonipeitteet määräytyvät yläpintaan ympäristön rasitusluokkien, mahdollisen kulutusvaran, suunnittelukäyttöön ja sallitun mittapoikkeaman perusteella. Sallittu mittapoikkeama paikallavaluna on yleensä 10 mm. Alapinnan betonipeite määräytyy valualustasta. Suoraan maata vasten valettaessa betonipeitteen nimellisarvon tulee yleensä olla 50 mm ja sallittu mittapoikkeama 30 mm. Mikäli lattia valetaan kovaa eristettä tai tasausbetonia vasten, tulee betonipeitteen nimellisarvon olla vähintään 20 mm ja sallittu mittapoikkeama 10 mm. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 36.)

Teräskuidun vaikutukset betonin valintaan ovat pienet. Teräskuituja voidaan lisätä mihin tahansa betonilaatuun, joten myös teräskuitubetonilatioissa betonin laatu määräytyy samoin periaattein, kuin tankoraidoitetuissa lattioissa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 69)

3.4 Raudoitus

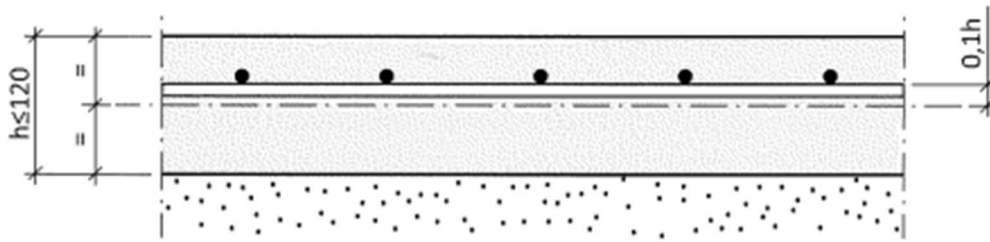
Harjateräsraudoitus on yleisin raudoitustapa, mutta lattiat voidaan myös toteuttaa jälkijännitettynä tai kuiduilla. Täysin halkeilematonta lattiaa tavoiteltaessa on raudoitus toteutettava jälkijännityksellä. Tässä

opinnäytetyössä keskitytään harjateräksillä ja teräskuiduilla raudoitettuun lattiaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 80–81.)

3.4.1 Tankoraidoitus

Harjateräksillä toteutettu raudoitus on maanvaraisten lattioiden yleisin raudoitustapa. Toteutustapana voidaan käyttää esivalmistettuja raudoituskokonaisuuksia tai irtotankoja. Esivalmistettuja raudoituskokonaisuuksia on kaistaraudoitteet, mattoraidoitteet ja raudoitusverkot. Yleisin raudoitustapa on käyttää raudoitusverkkoja yleiseen raudoitukseen, sekä irtotankoja nurkkien ja reunojen lisäraudoitukseen. Pistekuormille tehokkain raudoitus sijaitsee laatan alapinnassa keskialueilla, laatan reuna- ja nurkka-alueilla laatta tarvitsee myös yläpinnan raudoituksen. Raudoitukseen suositellaan käytettävän vähintään 8 mm halkaisijaltaan olevia tankoja, sillä alle sen olevien tankojen tuenta on hankalaa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 81.; Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattiayhdistys ry, 2012, 7.)

Lattian paksuuden ollessa korkeintaan 120 mm, toteutetaan raudoitus keskeisesti. Tällöin mitoituksessa laatan jäykkyyttä laskettaessa käytetään arvoa $0,85h$ laatan paksuutena ja raudoitusta mitoittaessa laatan hyötykorkeutena arvoa $d = 0,5h$. Keskeinen raudoitus sijoitetaan $0,1h$ laatan keskiviivaa yläpuolelle, sillä raudoituksella on tapana painua hieman alaspäin valutöiden aikana (kuva 3). Halkeamien rajoittamiseksi raudoitus voidaan myös sijoittaa kolmannespaksuuden päähän laatan yläpinnasta, kuitenkin huomioiden betonipeitteen arvon. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 92.; Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattiayhdistys ry, 2012, 51.)



Kuva 3. Keskeisen raudoituksen sijoittaminen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018)

Lattian paksuuden ollessa yli 120 mm, sijoitetaan raudoitus ala- ja yläpintaan. Tällöin tulee yläpinnan betonipeitteen vastata rasitusluokan, tangon halkaisijan ja raekoon mukaisia vaatimuksia. Raudoitusta suunniteltaessa tulee myös huomioida vapaat reunat ja nurkat, sekä niiden mahdolliset lisäraudoitteet. Laatan ollessa enintään 150 mm paksu, ei reunahoitukselle ole betonipeitteet huomioon ottaen yleensä tilaa kääntämään hakoja, tällöin käytetään reunan suuntaista lisäraudoitusta ja tarvittaessa myös reunaa kohtisuoraa suuntaista raudoitusta. Laatan ollessa yli 150 mm paksu voidaan käyttää taivutettuja reunaraudoitteita. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018; Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattiayhdistys ry, 2012)

3.4.2 Teräskuidut

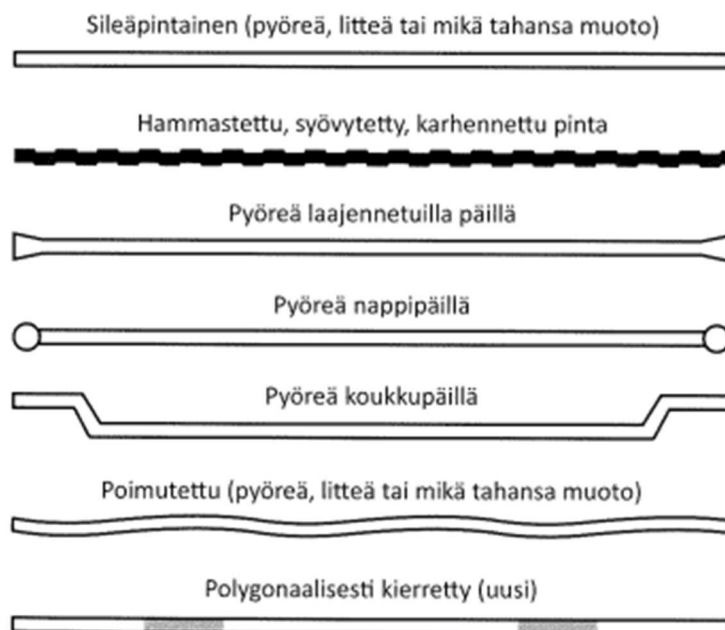
Maanvaraisissa lattioissa käytettävä teräskuitubetoni sisältää yleensä 35...60 mm pitkiä ohuita lujia muotoiltuja teräskuitulankoja, jotka sekoitetaan betonimassan sekaan. Kuidut muodostavat betonille halkeilun jälkeisen vetolujuuden, joka tekee betonin vetomurrosta sitkeää. Maanvaraisissa laatoissa käytettävien teräskuitujen myötölujuus on 1000...1900 N/mm². (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 84.; Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 11.; Saikkonen, 2022, 3.)

Teräskuitujen hoikkuutta kuvataan hoikkuusluvulla, joka kertoo kuidun pituuden ja ekvivalentin paksuuden suhteen. Suomen markkinoilla olevien kuitujen

hoikkuusluku ovat noin 50...80. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 84; Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 11–13)

Teräskuitujen määrää betonissa kuvataan annostuksella, jonka yksikkö on kg/m^3 . Normaalisti kuitumäärä on 25...45 kg/m^3 . (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 84)

Teräskuitujen muotoilu vaikuttaa teräskuitubetonin ominaisuuksiin. Muotoillulla teräskuiduilla pyritään parantamaan mekaanista tartuntaa, kuitujen ja betonin välillä. Kuvassa 4 on esitetty markkinoilla olevia kuitumuotoja, käytännössä käytetään kuitenkin ainoastaan poimutettua tai pyöreää koukkupäistä kuitua. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 12; American Concrete Institute Committee 360. 2010, 41)



Kuva 4. Yleisimmät teräskuitutyypien muodot. (Suomen betoniyhdistys ry, 2011, 12)

4 MITOITUS PISTEKUORMAKESTÄVYYDELLE

Maanvaraisen lattian mitoitus on tehtävä siten, että lattia pystyy kantamaan sille kohdistuvat kuormat ja pinnan halkeilu saadaan hallittua. Määräävä kuormitus on yleensä liikkuva pistekuormitus. Pistekuormituksen yleensä mitoittavat suureet ovat lävistys ja taivutus. (The Concrete Society, 2010, 27.)

Osavarmuusluku seuraamusluokka 2 murtorajatilassa suurimmalle muuttuvalle kuormalle on 1,3 ja kaikille muille muuttuville ja pysyville kuormille 1,0.

Pakkovoimia ei tällöin tarvitse ottaa huomioon. Seuraamusluokan ollessa 3, on suurimman muuttuvan kuorman osavarmuusluku 1,4 ja kaikille muille muuttuville ja pysyville kuormille 1,0. Pakkovoimia ei tällöin tarvitse huomioida.

Mikäli kuorma on liikkuva, on se kerrottava dynaamisella suurennuskertoimella luvun 3.2 mukaisesti. Materiaalien osavarmuusluvut normaalisti vallitsevassa ja tilapäisessä tilassa on betonille $\gamma_c = 1,5$ ja kuitubetonille $\gamma_f = 1,5$ ja

betoniteräkselle $\gamma_s = 1,15$. Varmuusluvut pätevät tässä opinnäytetyössä esitettävissä kaavoissa, muilla tavoin, esimerkiksi myötöviivateorialla määriteltäessä, käytetään toisia varmuuskertoimia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 90–91.)

4.1 Pistekuormat

Pistekuorman sijainnilla on mitoituksen kannalta suuri vaikutus. Pistekuorma voi sijaita lattian keskellä, reunalla tai nurkassa. Kuvassa 5 on esitetty pistekuormien sijainnin määrittely. Kuvasta selviää, että reuna-alueen etäisyys reunasta on l_k ja näin ollen myös reunojen lisäteräksiset tulee sijoittaa vähintään l_k etäisyydelle reunasta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 94.) Pistekuorma määritellään kohdistuvan ympyränmuotoiselle alueelle jonka, jonka pinta-ala on A. Kun kyseessä on pistekuorma, saadaan ympyrän säde laskettua kaavalla:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{h}{2}}$$

Kaava 3. Kuormitussäteen määrittäminen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)

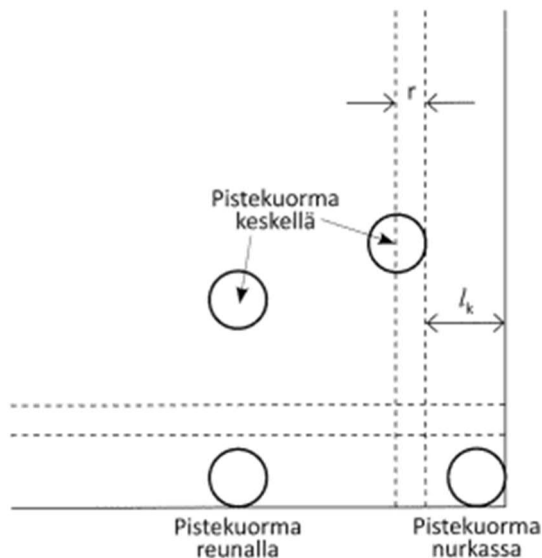
Missä A on kuormituspinta-ala ja h on laatan paksuus.

Kun kyseessä on pyöräkuorma, saadaan säde laskettua kaavalla:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi q} + \frac{h}{2}}$$

Kaava 4. Pyöräkuorman kuormitussäde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)

Missä P on pyörä- tai työkonekuorma ja q on rengas- tai kosketuspaine.



Kuva 5. Pistekuorman sijainnin määrittäminen. l_k on elastinen jäykkyys säde ja r on kuormituspinnan säde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 94.)

Pistekuormituksen sijaitessa lattian keskellä tai reunalla aiheutuu momenttihuipun kohdalla suurin vetojännitys laatan alapinnassa ja nurkassa suurin vetojännitys syntyy yläpinnassa. Mikäli lattiaan kohdistuu useampi

lähekkäinen pistekuorma on vaikutus huomioitava momenttihuipussa. Vaikutukset painumaan ja pohjapaineisiin on momenttihuippuun verrattuna suurempi. Pistekuormien etäisyyden välin ollessa alle $2h$, missä h on laatan paksuus, tulee pistekuormat käsitellä yhtenä pistemäisenä kuormana. Kuormituspinta-alan oletetaan tällöin muodostuvan yksittäisten pistekuormien ympyrän muodossa esitetyistä kuormituspinta-alasta ja pistekuormien välisen pinta-alan summasta. Kuvassa 6 on esitetty kuormituspinta-alan määrittämistä lähellä olevista pistekuormista. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95–97.) Kuvassa 7 on kuvattu pohjapaineen ja taivutusmomentin syntyä yksittäisestä pistekuormasta lattian keskialueella, kuvassa esiintyvä pituusmitta a_k on suhteellinen kuormitusjakautuma, joka lasketaan seuraavasti:

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

Kaava 5. Suhteellinen kuormitusjakauma. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)

missä l_k on elastinen jäykkyyssäde ja r on kuormituspinnan säde. l_k saadaan kaavasta:

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{EI}{k}}$$

Kaava 6. Elastinen jäykkyyssäde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)

missä k on alustaluku ja EI lattian jäykkyys, joka saadaan kaavalla:

$$EI = \frac{E_{cm}d^3}{12}$$

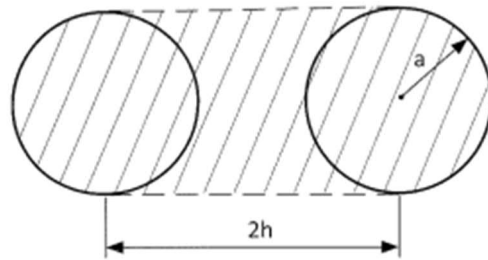
Kaava 7. Lattian jäykkyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)

missä d on laatan hyötykorkeus (jos keskeinen raudoitus $d = 0,85h$) ja E_{cm} on betonin kimmomoduuli joka saadaan kaavasta:

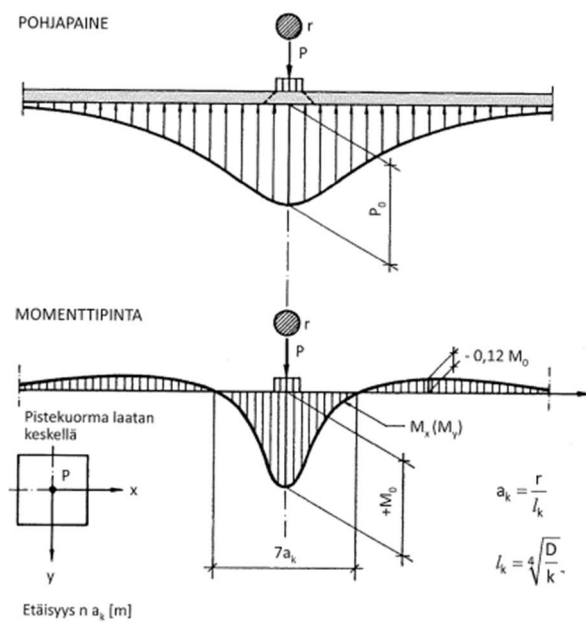
$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

Kaava 8. Betonin kimmomoduuli. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 101.)

missä f_{cm} on betonin keskimääräinen puristuslujuus.

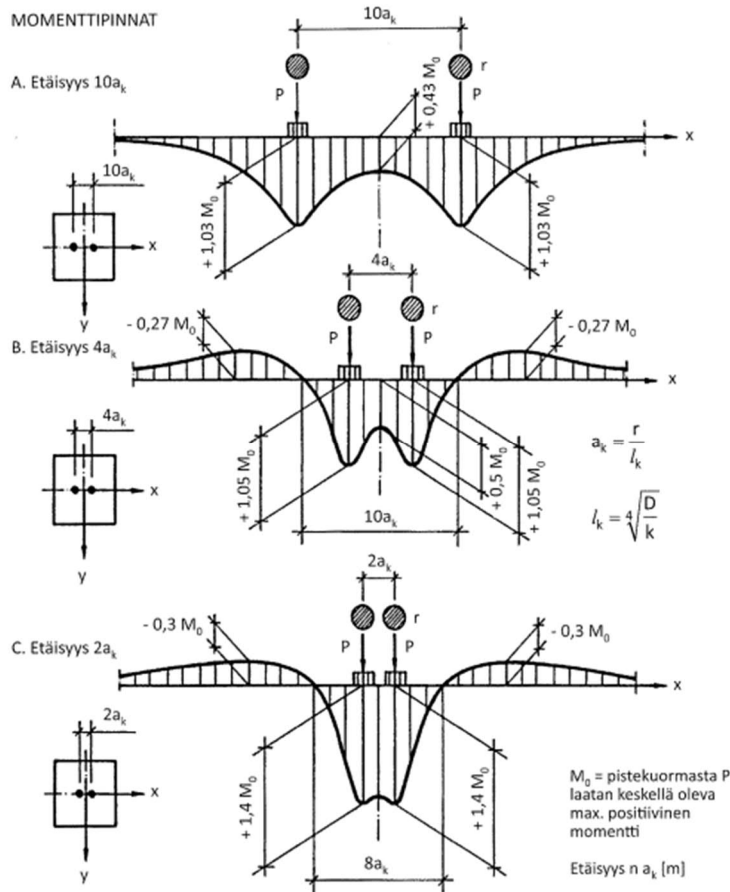


Kuva 6. Lähellä olevien pistekuormien kuormituspinta-ala. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 96.)



Kuva 7. Yksittäisen pistekuorman aiheuttama pohjapaine ja momentti laatan keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 95.)

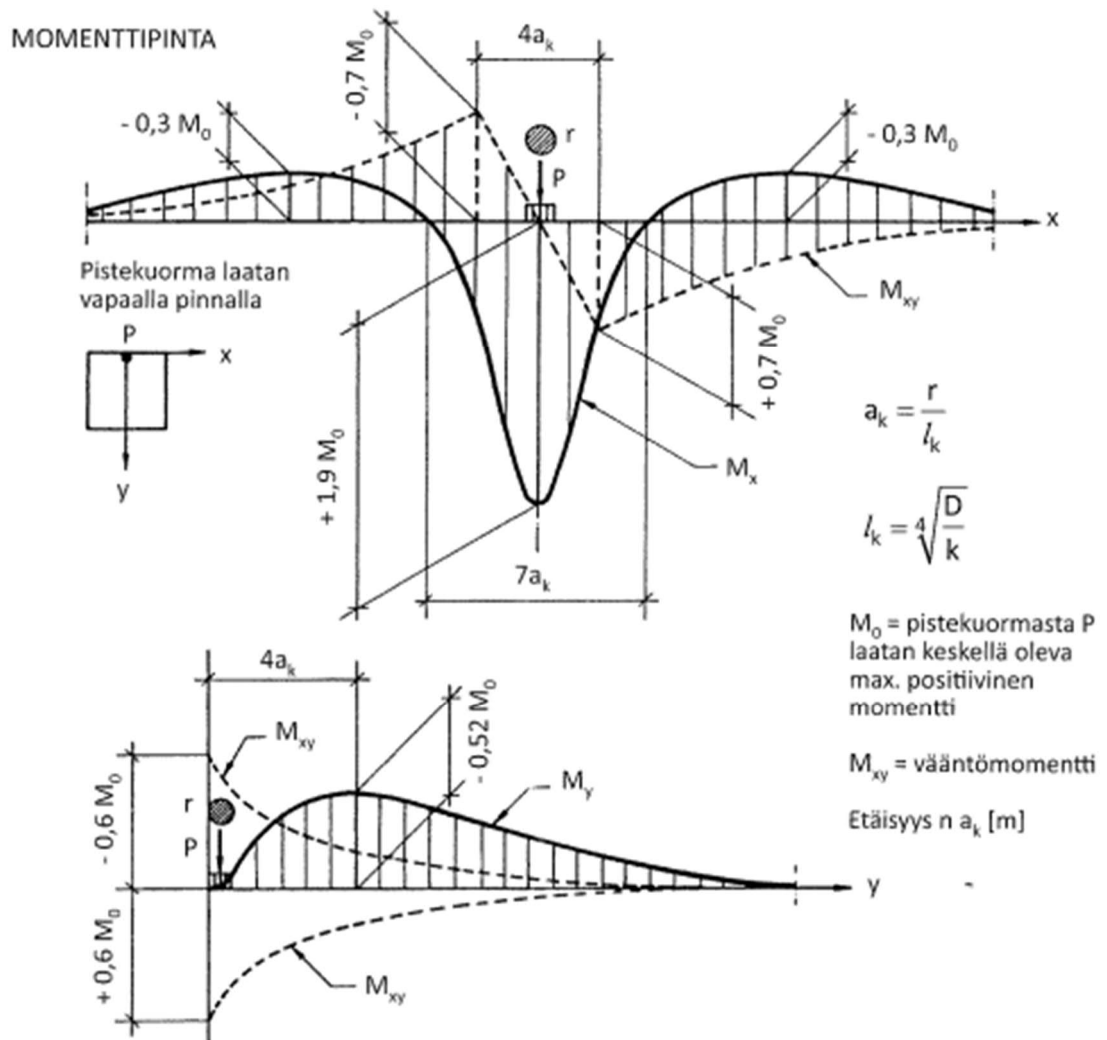
Vierekkäisten pistekuormien vaikutusta taivutusmomenttien maksimiarvoon on kuvattu kuvassa 8. Maksimimomenttia verrataan suhteessa yksittäisen pistekuorman aiheuttamaan maksimimomenttiin keskialueella. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 96.)



Kuva 8. Vierekkäisten pistekuormien vaikutus momentin ääriarvoihin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 96.)

Pistekuorman ollessa lattian vapaalla reunalla aiheutuu lattiaan varsin suuri positiivinen momentti, joka on lähes kaksinkertainen verrattuna keskellä laattaa sijaitsevaan pistekuormaan. Myös negatiivinen momentti ja vääntömomentit ovat huomattavia tällöin. Vääntö- ja taivutusmomenttien ääriarvot eivät osu samaan kohtaan, joita on havainnollistettu kuvassa 9. Pohjapaine kasvaa noin kolminkertaiseksi reunalla pistekuormitettuun laattaan, verrattuna laatan keskellä sijaitsevaan pistekuormaan. Mikäli reunalla sijaitsee kaksi vierekkäistä

pistekuormaa, joiden etäisyys on $4a_k$, aiheutuu jo noin viisinkertainen pohjapaineen arvo. Reunalla syntyvät taipumat kasvavat vastaavassa suhteessa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 97–98.)

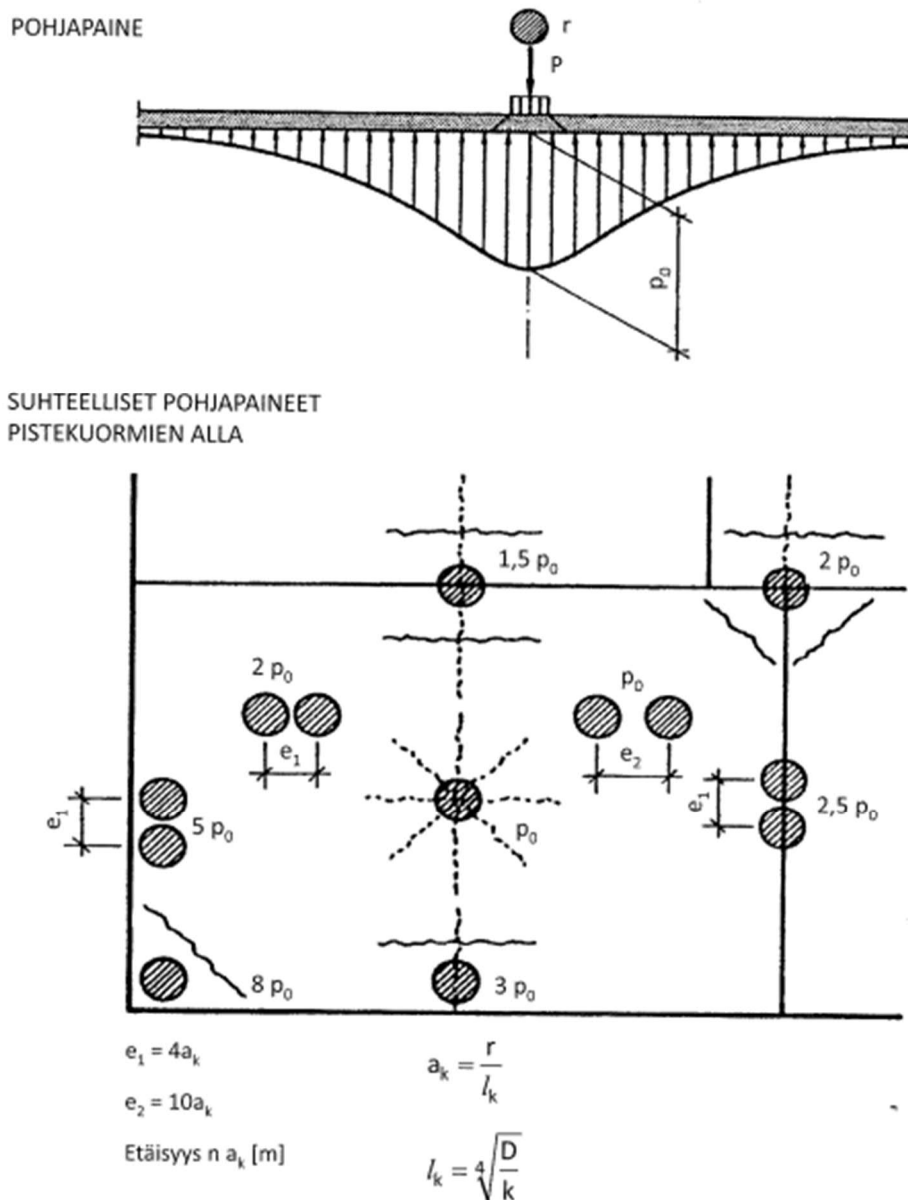


Kuva 9. Reunalla sijaitsevan pistekuorman synnyttämät momentit. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 97.)

Pistekuorman sijaitessa laatan nurkassa kasvaa pohjapaine peräti noin kahdeksankertaiseksi laatan keskellä sijaitsevaan pistekuormaan verrattuna. Nurkassa sijaitsevan pistekuorman myötä kasvaa vääntömomentin merkitys, vääntömomentti kasvattaa laatan mitoitusmomentin noin kaksinkertaiseksi verrattuna x- ja y-akselien suhteen laskettuihin momentteihin. Reunalla syntyvät vääntö- ja taivutusmomentit on muistettava tarkistaa suhteessa valittuun

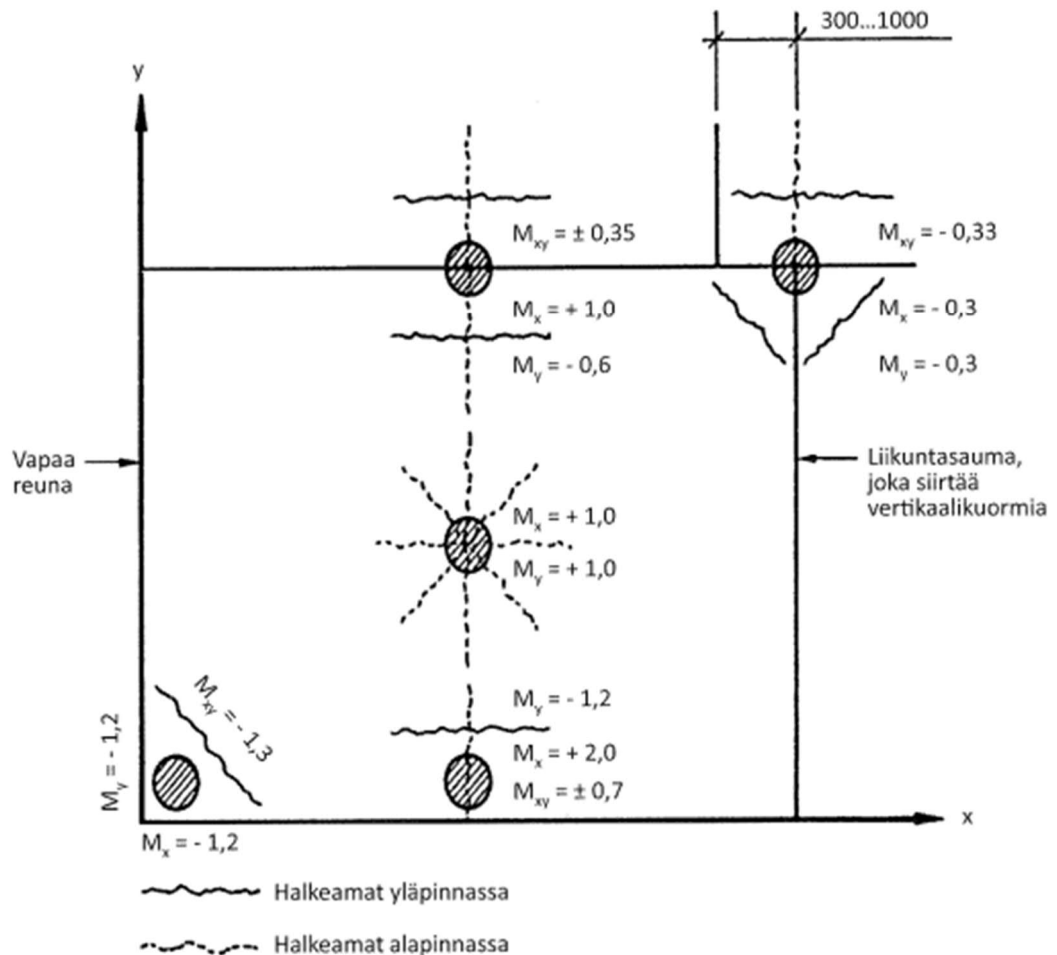
yläpinnan raudoitusverkkoon ja tarvittaessa lisäraudoittaa reunalla myös yläpinta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 98.)

Mitoituksen kannalta määrääviä kohtia ovat yleisesti vapaat reunat ja laattojen väliset saumat. Kuvassa 10 on tehty yhteenveto pohjapaineiden suhteellista arvoista eri sijainneissa, vertailukohtana on pistekuormasta P aiheutuva pohjapaine P_0 laatan keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 99.)



Kuva 10. Pistekuorman sijainnin vaikutus pohjapaineeseen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 99.)

Kuvaan 11 on koottu yhteenvetona taivutus- ja vääntömomentin vaikutukset eri sijainneissa, sekä kriittiset halkeamasuunnat. Vertailukohtana on pistekuormasta P aiheutuva maksimimomentti laatan keskialueella.

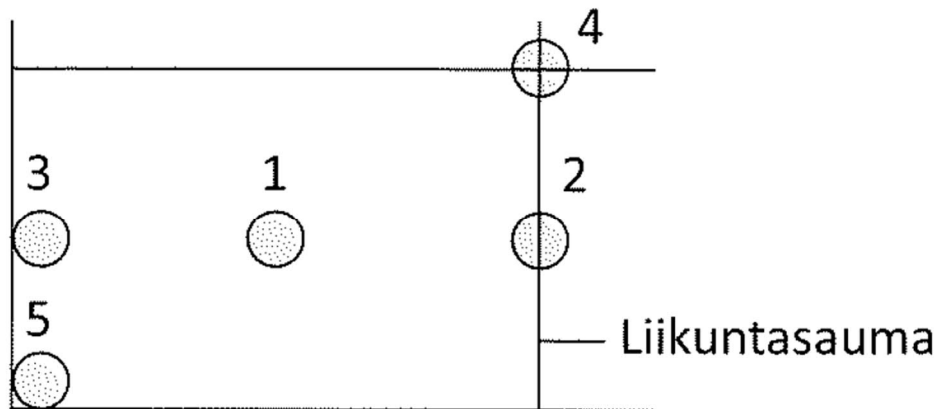


Kuva 11. Pistekuorman sijainnin vaikutus taivutus- ja vääntömomenttiin, sekä kriittiset halkeamasuunnat (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 99.)

Reuna-alueiden maksimimomentit ovat yleisesti suurimpia, ja siksi tuleekin miettiä tarkoin, mikä on määräävä pistekuorma reunalla ja nurkassa, sillä esimerkiksi hyllykuormissa laatan nurkkaan ei yleensä mahdu kuin yksi tukijalka ja reunalle mahtuu kaksi tukijalkaa, verrattuna keskialueilla voi olla neljä tukijalkaa vierekkäin. Myöskään trukeista ei yleensä aiheudu kuormitusta aivan laatan reunoille, pois lukien sisääntulokaistat. Mikäli maksimikuormitus kuitenkin on mahdollista reunoilla, voidaan reunat vahvistaa raudoituksella tai

mitoituksessa käyttää momentintasausta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 53-54.)

Taivutusmomenttien suuruus voidaan laskea Westergardin yksinkertaistetuilla laskentakaavoilla, kun pistekuorma P ja suhteellinen kuormitusjakauma a_k on selvitetty. Kuvassa 12 on määritetty mahdolliset kuormitustapaukset, jotka tulee selvittää. Tarkemmat momentit tulee selvittää myötöviivateoriolla tai tietokonelaskennalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 49.)



Kuva 12. Pistekuormasta aiheutuvat mahdolliset kuormitustapaukset. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Pistekuorman ollessa lattian keskellä voidaan mitoittavat momentit laskea seuraavilla kaavoilla, eli tapaus 1 (kuva 12):

$$M_{1max} = +P(0,056 - 0,211 \log(a_k))$$

Kaava 9. Maksimi positiivinen momentti keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

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

Kaava 10. Minimi negatiivinen momentti keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Tapauksessa 2 pistekuorman sijaitessa sauman keskellä, lasketaan mitoittavat momentit seuraavilla kaavalla:

$$M_{2max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log(a_k))$$

Kaava 11. Maksimi positiivinen momentti sauman keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

$$M_{2min} = -0,033P$$

Kaava 12. Minimi negatiivinen momentti sauman keskellä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Tapauksessa 3 pistekuorman sijaitessa laatan vapaalla reunalla, lasketaan mitoittavat momentit seuraavilla kaavalla:

$$M_{3max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log(a_k))$$

Kaava 13. Maksimi positiivinen momentti laatan vapaalla reunalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

$$M_{3min} = -0,066P$$

Kaava 14. Minimi negatiivinen momentti laatan vapaalla reunalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Tapauksessa 4 pistekuorman sijaitessa saumojen nurkassa, lasketaan mitoittava momentti seuraavalla kaavalla:

$$M_{4min} = -\frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6})$$

Kaava 15. Minimi negatiivinen momentti saumojen nurkassa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Tapauksessa 5 pistekuorman sijaitessa lattian vapaassa nurkassa, lasketaan mitoittava momentti seuraavalla kaavalla:

$$M_{5min} = -\frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6})$$

Kaava 16. Minimi negatiivinen momentti laatan nurkassa. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 103.)

Kaava pätee ainoastaan, silloin kun $a_k \leq 0,5$.

Negatiiviset momenttiarvot vaikuttavat laatan yläpinnassa ja positiiviset laatan alapinnassa. Määräävänä momenttina voidaan käyttää itseisarvoltaan suurinta momenttia. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 53)

4.2 Taivutus ja normaalivoima

Mitoittavan momentin ja normaalivoimien ollessa tiedossa voidaan selvittää lattian taivutusvetolujuus ja näin ollen selvittää kestäkö lattia siihen kohdistuvat kuormat.

4.2.1 Tankoraidoitettun taivutus- ja normaalivoimakestävyys

Tankoraidoitettussa lattiassa määritetään vaadittu teräsmäärä siihen kohdistuvan kuormituksen mukaan. Teräsmäärä keskeiselle raidoitukselle saadaan kaavalla:

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

Kaava 17. Keskeisen raidoituksen vaadittu teräsmäärä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

missä

b on laattakaistan leveys. Yleisesti 1m.

d on laatan tehollinen korkeus. Jos raidoitus on keskeinen ja $h \leq 120$ mm on $d=0,5h$.

f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo.

N_{Ed} on laattaan vaikuttava normaalivoima.

f_{yd} on raudoituksen mitoituslujuus.

β on puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus, joka lasketaan kaavalla:

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

Kaava 18. Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

missä

μ on suhteellinen momentti, joka lasketaan kaavalla:

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}}$$

Kaava 19. Suhteellinen momentti. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

missä

M_{sd} on mitoittava laskentamomentti, joka saadaan kaavalla:

$$M_{sd} = M_{Ed} - N_{Ed} a_s$$

Kaava 20. Mitoittava laskentamomentti. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

missä

M_{Ed} on mitoittava momentti, joka saadaan luvun 4.2 mukaan.

a_s on raudoitteen etäisyys normaalivoiman vaikutusakseliin.

Epäkeskisyyden oletetaan olevan pieni, kun epäkeskisyys e_d täyttää ehdon:

$$e_d = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \leq a_s$$

Kaava 21. Epäkeskisyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

Tällöin vaadittu teräsmäärä saadaan laskettua kaavalla:

$$A_s = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

Kaava 22. Teräsmäärä, kun pieni epäkeskisyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 106.)

Raudoituksen sijaitessa molemmissa pinnoissa mitoitetaan yläpinnan teräkset negatiiviselle momentille ja alapinnan teräkset positiiviselle momentille.

Teräsmäärät lasketaan tällöin:

$$A_s = \beta b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Kaava 23. ylä- tai alapinnan teräsmäärä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 107.)

Huomioitavaa on, että puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus on laskettava sekä ylä-, että alapinnan teräksille erikseen niille kuuluvilla momenteilla.

4.2.2 Teräskuitubetonin taivutuskestävyys

Kuitubetonin mitoitus suoritetaan By66 suunnitteluohjeiden mukaisesti.

Teräskuitubetonilattian taivutuskapasiteetti saadaan selvitettyä kaavalla:

$$M_{Rd} = F_{cc} \cdot x \cdot (1 - a_x) + F_f \cdot \frac{h - x}{2} + F_{st} \cdot (d - x)$$

Kaava 24. Taivutuskestävyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 18, 37.)

missä

x on neutraaliakselin etäisyys poikkileikkauksen yläpintaan.

h on laatan korkeus.

d on lattian tehollinen korkeus

F_f on teräskuitujen vetoresultantti. Lasketaan kaavalla:

$$F_f = b \cdot (h - x) \cdot f_{td.R3}$$

Kaava 25. Kuitujen vaikutus vetoresultanttiin. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 83.)

missä

$f_{td.R3}$ on jäännösvetolujuuden suunnitteluarvo, joka saadaan kaavalla:

$$f_{td.R3} = \eta_f \cdot \eta_{det} \cdot \frac{f_{ft.R3}}{\gamma_f}$$

Kaava 26. Jäännösvetolujuuden suunnitteluarvo. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 16.)

missä

η_f on valusuunnasta riippuva kerroin. Laatoissa $\eta_f=1.0$

η_{det} on rakenteen staattisesta määräämättömyydestä riippuva kerroin.

Maanvaraisilla laatoilla $\eta_{det}=2.0$

γ_f on kuitubetonin osavarmuuskerroin. Murtorajatilassa $\gamma_f = 1.5$

$f_{ft.R3}$ on jäännösvetolujuuden ominaisarvo, joka saadaan kaavasta:

$$f_{ft.R3} = 0.37 \cdot f_{R.3k}$$

Kaava 27. Jäännösvetolujuuden ominaisarvo. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 15.)

missä

$f_{R,3k}$ on jäännöstaivutusvetolujuuden ominaisarvo

F_{st} on tankoraidoituksen vetoresultantti. Mikäli tankoraidoitusta ei ole, on $F_{st}=0$.

F_{cc} on puristusresultantin suuruus, joka saadaan laskettua kaavalla:

$$F_{cc} = \frac{x \cdot f_{cd} \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c3}} \cdot b}{2}$$

Kaava 28. Puristusresultantin suuruus. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 83.)

missä

f_{cd} on betonin puristuslujuus.

ε_{c3} on puristuma. $\varepsilon_{c3}=1.75\text{‰}$ kun $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$.

ε_{ftu} on maksimivenymä, joka lasketaan kaavalla:

$$\varepsilon_{ftu} = \varepsilon_{ct} + \frac{w_u}{l_s}$$

Kaava 29. Maksimivenymä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 82.)

missä

l_s on karakteristinen korkeus, $l_s=h$, kun poikkileikkaus on vain teräskuiduilla raudoitettu

w_u on halkeaman avautuma, arvona käytetään 2,5 mm

ε_{ct} on halkeamisvenymä, joka saadaan kaavalla:

$$\varepsilon_{ct} = \frac{f_{ctd}}{E_c}$$

Kaava 30. Halkeamisvenymä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 82.)

missä

f_{ctd} on betonin ominaisvetolujuuden mitoitusarvo.

E_c on betonin kimmokerroin.

ε_c on poikkileikkauksen yläpinnan puristuma, joka saadaan laskettua kaavalla:

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{ftu}}{h - x} \cdot x$$

kun $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c3}$ on $a_x = 1/3$, jos $\varepsilon_c > \varepsilon_{c3}$ voidaan a_x arvona käyttää konservatiivisesti arvoa 0,5.

Selvitettyä M_{Rd} , tarkistetaan toteutuuko yhtälö $M_{Rd} \geq m_{Ed} \cdot b$

missä

m_{Ed} on mitoittava taivutusmomentti.

Mikäli yhtälö toteutuu, voidaan todeta, että poikkileikkaus kestää siihen kohdistuvan taivutuskuormituksen.

4.3 Lävistysmitoitus

Lävistys voi hyvinkin mahdollisesti osoittautua määrääväksi mitoittavaksi tekijäksi. Suuret pistekuormat ovat lävistykselle kriittisimpiä kohtia. Tapauksia voi muun muassa olla trukki liikenteestä syntyvä kuorma tai hyllykuormat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 64)

Maanvaraisen lattian lävistysmitoitus lasketaan kuten tavanomaisessa laatassa pääasiassa, mutta Concrete Society'n raportissa TR34 on esitetty laskentatapa, jossa lävistävä voimaa voidaan pienentää, sillä oletuksella että osa kuormasta siirtyy suoraan alusrakenteille. Laskennassa sovelletaan Eurokoodin ohjeita. (The Concrete Society, 2010, 43;71.)

4.3.1 Tankoraidoitettujen lävistyskestävyys

Maanvaraiset lattiat ovat pääasiassa aina leikkausraudoittamattomia, joten lävistyskestävyys lasketaan:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \cdot u \cdot d$$

Kaava 31. Lävistyskestävyys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2014, 69.)

missä

$C_{Rd,c}$ saadaan laskettua kaavalla:

$$C_{Rd,c} = \frac{0,3 \left(\frac{D}{d} + 1,5 \right)}{\gamma_c \left(\frac{D}{d} + 4 \right)}$$

Kaava 32. Kerroin $C_{Rd,c}$. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2014, 70.)

Missä D on pistekuorman halkaisija ja d laatan tehollinen korkeus.

k on kerroin, joka saadaan ratkaistua kaavalla:

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

Kaava 33. Kerroin k . (Suomen Betoniyhdistys ry, 2014, 58.)

ρ_l on kerroin, joka kuvaa vetoraidoituksen pinta-alaa. Kerroin saadaan ratkaistua kaavalla:

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \leq 0,02$$

Kaava 34. Geometrinen raudoitussuhde. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2014, 69.)

f_{ck} on betonin lieriölujuuden ominaisarvo

u on pistekuorman tarkastelupiiri, joka kiertää pistekuormaa säteellä $2d$

Mikäli $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ totetuu kestää lattia pistekuormituksen ilman lävistymisraudoitusta.

4.3.2 Kuituraudoitetun lävistyskestävyys

Kuituraudoitetun maanvaraisen lattian lävistyskestävyyden mitoitusjännitys, joka ei sisällä lainkaan tavanomaista tankorausoitusta saadaan selvitettyä seuraavalla kaavalla:

$$v_{Rd,cf} = \left(\frac{k}{2}\right) \cdot C \cdot \frac{f_{R,3}}{\gamma_f}$$

Kaava 35. Kuitubetonin lävistyskestävyyden mitoitusjännitys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 24.)

missä

k on kerroin, joka saadaan ratkaistua kaavalla 26.

C on kerroin 0,45.

$f_{R,3}$ on kuitubetonin jäännöstäivutusvetolujuus. Arvo valitaan sitkeysluokan ja R_1 luokan perusteella. Taulukossa 13 on esitetty arvoja jäännösvetolujuudelle.

Taulukko 13. Jäännösvetolujuuden R_3 arvot. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 13.)

R_1 -luokka $f_{R,1}$ [MPa]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Sitkeys- luokka (R_3/R_1)										
a (0,5 - 0,7)	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
b (0,7 - 0,9)	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6
c (0,9 - 1,1)	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2
d (1,1 - 1,3)	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8
e ($\geq 1,3$)	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4

Merkinnät:
 $R_1 = f_{R,1}$
 $R_3 = f_{R,3}$

Sitkeysluokat:
 Luokka a: voimakkaasti myötöheikkenevä
 Luokka b: myötöheikkenevä
 Luokka c: myötölujuuden säilyttävä (sitkeä)
 Luokka d: myötölujittuva
 Luokka e: voimakkaasti myötölujittuva

Huomautus 1 Lihavoidulla on merkitty saatavuuden kannalta suositeltavat luokat.
Huomautus 2 Jäännösvetolujuus on ominaisarvo, joka määritetään standardin SFS-EN 14651 mukaisella paikkikokeella, kun CMOD (halkeaman avautuma = crack mouth opening displacement) on 0,5, 2,5 ja 3,5 mm luokille $f_{R,1}$, $f_{R,3}$ ja $f_{R,4}$, katso kuva 3.1. R_4 -arvoa (= $f_{R,4}$) käytetään tarvittaessa (ks. kappale 2.3.2.2. (ii)).
Huomautus 3 Taulukon arvoja korkeampaa jäännösvetolujuuden arvoa voidaan käyttää, jos arvo on vahvistettu standardin SFS-EN 14651 mukaisilla koetuloksilla.
Huomautus 4 Seuraavien ehtojen on täyttyvä: $C_1 = 100 \cdot f_{R,1} / f_{ck,0.05} \geq 50$ % ja $100 \cdot f_{R,3} / f_{R,1} \geq 50$ %.
 Ehtojen tarkoituksena on varmistaa kuitubetonin tietty minimisitkeys.

4.3.3 Lävistävän voiman laskenta

Lävistävää voimaa voidaan pienentää TR34 ohjeen mukaan. Suoraan alusrakenteille kulkeva voima voidaan laskea seuraavilla kaavoilla

Kun halutaan vähennettävä voima keskialueella:

$$R_p = 1,4 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot P + 0,47 \cdot (y + x) \cdot \frac{d \cdot P}{l^2}$$

Kaava 36. Keskialueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 32.)

missä

P on pistekuorma

x ja y on pistekuorman sivujen mitat

l on suhteellinen jäykkyyssäde, joka lasketaan kaavalla:

$$l = \left(\frac{E_{cm} \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k} \right)^{0,25}$$

Kaava 37. Suhteellinen jäykkyyssäde. Keskialueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 28.)

missä

ν on suppeumaluku, käytetään arvoa 0,2.

k on alustaluku

Kun halutaan vähennettävä voima reuna-alueilla:

$$R_{cp} = 2,4 \cdot \left(\frac{d}{l} \right)^2 \cdot P + 0,8 \cdot (2 \cdot y + x) \cdot \frac{d \cdot P}{l^2}$$

Kaava 38. Reuna-alueella vähennettävä voima. (The Concrete Society, 2010, 32.)

Näin ollen mitoittavaksi lävistysvoimaksi varmuuskertoimiseen voidaan laskea keskialueella:

$$V_{Ed.red} = 1,5 \cdot (P - R_p)$$

Kaava 39. Mitoittava lävistävä voima keskialueella. (The Concrete Society, 2010, 32.)

ja reuna-alueella:

$$V_{Ed.red} = 1,5 \cdot (P - R_p)$$

Kaava 40. Mitoittava lävistävä voima reuna-alueella. (The Concrete Society, 2010, 32.)

4.4 Pohjapaine

Maanvaraista lattiaa mitoittaessa on huolehdittava, että pistekuorman aiheuttama paikallinen pohjapainepeikki ei ylitä alustan sallimaa painetta. Mikäli sallittu pohjapainekestävyys ylittyy, painuu eriste kasaan ja laatta sen mukana, joka johtaa halkeamiin ja taipumaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 62.)

Pohjapaine voidaan selvittää kaavalla:

$$P_0 = \frac{P}{8l_k^2} [1 - a_k^2(0,217 - 0,367 \log a_k)]$$

Kaava 41. Pohjapaine. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)

missä,

P on pistekuorma.

l_k on laatan elastinen jäykkyysäde, lasketaan kaavalla 6

a_k on suhteellinen kuormitusjakauma, lasketaan kaavalla 5

Kaava kuvaa pohjapainetta, silloin kun kuormitus tapahtuu laatan keskellä.

Mikäli halutaan selvittää pohjapaineen suuruutta jossain muussa tapauksessa, tulee käyttää kuvan 10 mukaisia kertoimia. Esimerkiksi jos kuormitus tapahtuu laatan reunalla, tulee pohjapaine kertoa kertoimella 3.

4.5 Halkeilu

Halkeilu tulee rajoittaa laatuvaatimusten mukaisesti. Halkeilumitoitus tapahtuu laskennallisesti ja tulee laskelmien perusteella rajoittaa laatuvaatimusten mukaiselle tasolle. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2013, 212.)

Ensin tulee selvittää betoniin syntyvä halkeilumomentti, ja näin ollen selvittää, ylittyykö betonin halkeilumomentti, joka lasketaan kaavalla:

$$M_{R.cr} = f_{ct,eff} \cdot W_I$$

Kaava 42. Halkeilumomentti. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 108.)

missä

$f_{ct,ef}$ on betonin tehollinen vetolujuus. Vetolujuutena voidaan käyttää f_{ctm} arvoa, mikäli betonin ikä on vähintään 28 vuorokautta.

W_I on taivutusvastus, joka saadaan laskettua kaavalla:

$$W_I = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Kaava 43. Taivutusvastus. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 108.)

Mikäli lattiaan kohdistuva taivutusmomentti on yhtä suuri tai pienempi kuin halkeilumomentti, voidaan halkeamaleveys jättää laskematta. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2013, 216.)

4.5.1 Halkeamaleveys tankorauoituksella

Halkeamaleveyden ominaisarvo (yläraja) saadaan laskettua kaavalla:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Kaava 44. Halkeamaleveyden ominaisarvo. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 123.)

missä

$s_{r,max}$ on halkeamaväli, joka saadaan kokemuspäisestä kaavasta:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}$$

Kaava 45. Halkeamaväli. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 124.)

missä

k_1 on kerroin, joka huomioi tartuntaominaisuudet. Tartunnan ollessa hyvä on kerroin 0,8 ja tartunnan ollessa huono (lähes sileä) on kerroin 1,6.

k_2 on kerroin, jolla otetaan venymäjakauma huomioon. Kerroin on 0,5 taivutukselle ja 1,0 pelkälle vedolle.

k_3 on kansallisesti valittava kerroin. Suomessa 3,4.

k_4 on kansallisesti valittava kerroin. Suomessa 0,425.

c on vetoraudituksen betonipeite.

\emptyset on tangon halkaisija.

$\rho_{p,eff}$ on laatan tehollinen raudoitussuhde, joka lasketaan kaavalla:

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

Kaava 46. Laatan tehollinen raudoitussuhde. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, 108.)

missä

A_s on raudoitusala

$A_{c,eff}$ on tehollinen betoniteräksiä ympäröivä tehollinen pinta-ala, joka lasketaan kaavalla:

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b$$

Kaava 47. Betoniteräksiä ympäröivä tehollinen pinta-ala. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 120.)

missä

$h_{c,eff}$ saadaan ratkaistua:

$$h_{c.eff} = \min \begin{cases} 2,5(h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{cases}$$

Kaava 48. Tehollinen korkeus. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 120.)

missä

x on puristusvyöhykkeen korkeus

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ on venymäero. Venymäero saadaan laskettua kaavalla:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} (1 + a_e \rho_p)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Kaava 49. Venymäero. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2015, 123.)

missä,

σ_s on raudoituksen jännitys halkeamassa

k_t on kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin. Lyhytaikaiselle kuormalle on 0,6 ja pitkäaikaiselle kuormalle 0,4.

a_e on kimmokertoimien suhde (E_s/E_{cm}).

ρ on laatan raudoitussuhde

4.5.2 Halkeamaleveys kuitubetonilla

Halkeamaleveyttä kuitubetonissa, jossa ei ole käytetty lainkaan tankorausotteita, voidaan arvioida seuraavalla kaavalla:

$$W_{max} = \varepsilon_{ft} \cdot 2 \cdot (h - x)$$

Kaava 50. Kuitubetonin halkeamaleveys. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 29)

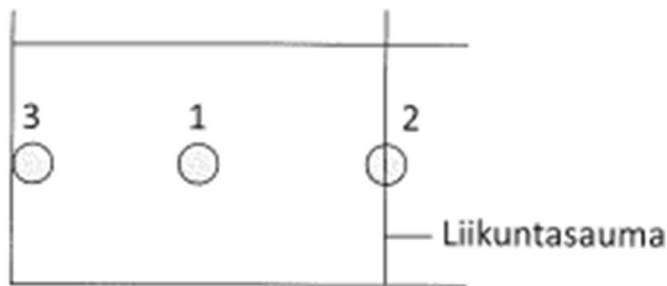
missä

x on puristusvyöhykkeen korkeus

ϵ_{ft} on teräskuitubetonin venymän maksimiarvo määrävälle kuormayhdistelmälle. Arvo saadaan selvitettyä liitteen 2 mukaisesta yhtälöryhmästä.

4.6 Taipuma

Taipumaa voidaan arvioida käsin laskentana, silloin kun alustamalla käytetään Winklerin mallia. Mikäli taipuma halutaan selvittää tarkasti, tulee käyttää Vlasovin mallia, joka soveltuu lähinnä tietokonelaskentaan. Taipumalle ei ole annettu mitään tiettyjä raja-arvoja, mutta mikäli suuria taipumia syntyy, saattaa se vaikuttaa lattian käyttöön ja tasaisuuteen. Kuvassa 13 on määritetty sijainnit, joista taipuma tulee selvittää. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2011, 62–64.; Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 73)



Kuva 13. Taipuman tarkastelukohdat. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)

Lattiaan vaikuttavien pistekuormien aiheuttamia taipumia voidaan arvioida yksinkertaistetuilla Westergaardin laskentakaavoilla seuraavasti:

Kun kuormitus tapahtuu lattian keskikentällä (kuvan 13 tapaus 1):

$$y = \frac{Pl_k^2}{8EI} (1 - a_k^2 (0,217 - 0,367 \log a_k))$$

Kaava 51. Taipuma keskikentällä. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)

Kun kuormitus tapahtuu lattian liikuntasauaman päällä (kuvan 13 tapaus 2):

$$y = \frac{P}{kl_k^2}(0,216 - 0,075a_k)$$

Kaava 52. Taipuma sauman kohdalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)

Kun kuormitus tapahtuu lattian liikuntasauaman päällä (kuvan 13 tapaus 3):

$$y = \frac{P}{kl_k^2}(0,433 - 0,354a_k), \text{ kun } a_k \leq 0,5$$

Kaava 53. Taipuma laatan reunalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, 104.)

missä

P on pistekuorman suuruus.

l_k on elastinen jäykkyyssäde.

EI on lattian jäykkyys.

a_k on suhteellinen kuormitusjakautuma.

k on alustaluku.

5 Vertailu

Liitteissä 1 ja 2 on laskettu pistekuormakestävyyttä tankoraidoitettulle betonille ja teräskuitubetonille. Molemmissa laskuissa on käytetty samaa esimerkkikohdetta, joka on varastotila, jossa mitoittavana pistekuormana on 65 kN, joka syntyy varaston välitason jalasta.

Molemmissa raudoitustyypeissä valittiin paksuudeksi 160 mm ja betonin lujuudeksi C25/30, jota käytetään yleisesti maanvaraisissa lattioissa. Tankoraidoituksessa päädyttiin valitsemaan alapintaan varastokoon 12–200 raudoitusverkko ja yläpintaan 8–150 raudoitusverkko. Kuitubetonilattiassa valittiin jäännöstaivutusvetolujuuden ominaisarvoiksi 4 MPa, joka tarkoittaa kuitumääränä noin 50 kg/m³. Kuitumäärä on hyvin järeä ja todellisuudessa tulisi harkita paksuuden korottamista, jotta päästäisiin kuitumääriin 25–40 kg/m³, mutta vertailun kannalta on valittu teräskuitumäärä, jolla on päästy samaan paksuuteen, kuin tankoraidoituksella.

Raudoitus- ja kuitumäärä valittiin keskialueella vallitsevan momentin mukaan. Reuna- ja sauma-alueet lisäraudoitetaan tulosten mukaisesti. Mikäli koko laatta mitoitettaisiin vapaan reunan momentin mukaan, lisääntyisi tankoraidoitettun laatan raudoitteen määrä suhteettoman paljon. Vastaavasti, jotta kuitubetonilaatta kestäisi reunamomentin, tulisi paksuutta nostaa noin 35 %, joka lisäisi huomattavasti kustannuksia ja materiaalimenekkiä.

Laskentatuloksia vertaillen huomataan, että mitoittavat tekijät eroavat toisistaan huomattavasti. Tankoraidoituksella mitoittavana tuloksena on lävistys, jonka kestävyys ylittää vain niukasti siihen kohdistuvan rasituksen, kun taas teräskuitubetonilla lävistyskestävyyden käyttöaste on 70 %. Teräskuitubetonilattian mitoittavaksi tekijäksi tuli halkeamaleveystarkastelu, sillä halkeamaleveysvaatimus 0,5 mm alittuu täpärästi, halkeamaleveyden ollessa 0,492 mm. Tankoraidoituksella halkeamaleveys jää 0,346 mm:iin.

Muissa käyttörajatilan tuloksissa ei juurikaan synny huomattavaa eroa. Pohjapaineet ja taipumat ovat molemmissa raudoitustyypeissä samankaltaisia,

pohjapaine kuituraudoitetussa on 114 kPa ja tankorausoitetussa 110 kPa. Suurin taipuma syntyy molemmissa laatan reunalla ja on noin 1,7 mm ja näin ollen molemmat ylittävät luokan A₀ tasaisuusvaatimukset, mutta alittavat luokan A vaatimukset.

Tankorausoitetussa laatussa pyritään aina mitoittamaan tulokset siten, että se voidaan toteuttaa varastokoon raudoitusverkoilla, kuten myös esimerkkilaskussa on tehty. Tämä johtuu siitä, että siten työmaalla voidaan säästää aikaa raudoituksen asennuksessa.

Teräskuitubetonilattiat ovat yleisesti ottaen tankorausoitettuja kalliimpia, mutta säästää huomattavasti työaika, kun tavanomaista raudoitusta saadaan korvattua. Työajassa saatu säästö, vaihtelee pitkälti kohteen laajuudesta, mutta laskelmien mukaan aikasäästöä voidaan saada jopa 40 %. (Rudus, 2023.)

6 Pohdinta

Maanvaraisen lattian mitoitusprosessi on melko monimutkainen ja huomioon otettavia tekijöitä on monia. Mitoitusta aloittaessa on jo oltava hyvät lähtötiedot, jotta mitoitus voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella kohteen käyttötarkoitusta varten.

Mitoitusohjeissa käytettyjä Westergaardin yksinkertaistettuja laskentakaavoja momentin määrittämiseen voidaan hyvin hyödyntää yksinkertaisilla pistekuormilla määrättyillä alueilla. Ongelmana kuitenkin tulee, mikäli pitää mitoittaa jokin haastavampi kuormitus, kuten esimerkiksi useampi lähekkäin oleva pistekuorma.

Epävarmuus lattian mitoituksessa lisääntyy, kun valitaan teräskuitubetonilattia. Teräskuitujen käyttöä varten mitoitusohjeita on hyvin niukasti, eikä Eurokooditasoista suunnitteluohjetta kuitubetonia varten ole vielä julkaistu ja siksi rakennesuunnittelijat yleensä päätyvätkin valitsemaan tavanomaisen tankoraudoituksen kuitubetonin sijaan. Mikäli kuitenkin päädytään valitsemaan teräskuitubetoni, on mitoituksen yleisesti tehnyt kuitutoimittaja.

Teräskuitubetonin yleistymisen lienee jatkuvan ja näin ollen on myös toivottavaa, että mitoitusohjeet teräskuitubetonirakenteisiin päivittyvät kansainvälisten Eurokoodien mukaisiksi, jotta mitoitustyö selkeytyisi ja näin rakennesuunnittelijoiden mitoitustyö helpottuisi ja osajia kuitubetonin parissa saataisiin lisättyä.

Teräskuitubetonisella lattialla saavutetaan paljon hyötyjä työmaalla. Työmailla on usein todella tiukka aikataulu ja laajuudesta riippuen, voidaan teräskuitubetonia käyttämällä säästää satoja tehollisia työtunteja raudoituksessa. Logistinen säästö työmaalla tulee siitä, kun rauditusverkkoja ei tarvitse toimittaa työmaalle, eikä verkkoja varten tarvitse työmaalla säilytystilaa.

Tämän opinnäytetyön jatkotutkimuksena voidaan esimerkiksi tehdä hybridiratkaisun mitoituksesta, joissa käytetään sekä teräskuitubetonia, että

tankorauhoitusta. Mielenkiintoisena jatkotutkimuksenaiheena voitaisiin myös tutkia erilaisten ratkaisujen kustannuksia.

Lähteet

American Concrete Institute Committee 360. 2010. ACI 360R-10. Guide to design of slabs-on-ground ACI 360R-10.

Rakennetuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry & Betonilattaiyhdistys ry. 2012. Betonilattiat kortisto 2012 BLY-14. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2011. Teräskuitubetonirakenteet 2011 by 56. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja by 211. Osa 1. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja by 211. Osa 2. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Betonilattiat 2018 by 45/BLY 7. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Teräskuitubetonirakenteiden suunnitteluohje 2018 by 66. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2015. EN- 1992-1-1 + A1 + AC. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

The Concrete Society. 2010. Technical Report 34 Concrete industrial ground floors. The Concrete Society. Surrey. 4.painos.

Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2019. Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Rudus, Kuitubetoni korvaa perinteisen raudoituksen - huomattava säästö ajassa ja rahassa. Viitattu 6.2.2023.

<https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2023/01/03/kuitubetoni-korvaa-perinteisen-raudoituksen-huomattava-saasto-ajassa-ja-rahassa>

Saikkonen, K. 2022. Teräskuitubetonin hyödyntäminen maanvaraisissa anturoissa. Diplomityö. Tampere: Tampereen yliopisto.

Tankoraidoitettun maanvaraisen betonilattian mitoitus

Lähtötiedot:

Seuraamusluokka 2

Toteutusluokka 2

Rasitusluokka XC1

$b := 1000 \text{ mm}$	Tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys
$h := 160 \text{ mm}$	Laatan paksuus
$P := 65 \text{ kN}$	Pistekuorma
$A_p := 150 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}$	Kuormituspinta-ala.
$x_p := 150 \text{ mm}$	
$y := 150 \text{ mm}$	Kuormituspinnan sivun mitat
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	Betonin lujuus
$\gamma_c := 1.5$	Betonin osavarmuuskerroin
$\alpha_{cc} := 0.85$	Betonin puristuslujuuden pitkäaikaiskerroin
$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.167 \text{ MPa}$	Betonin mitoituslujuus
$f_{ctm} := 2.6 \text{ MPa}$	Betonin vetolujuuden keskiarvo
$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$	Teräksen lujuus
$f_{yd} := 1.0 \cdot \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$	Teräksen mitoituslujuus
$E_s := 200 \text{ GPa}$	Teräksen kimmomoduuli
$k := 0.055 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$	Alustaluku
$d_g := 32 \text{ mm}$	Raekoko
$c_{\min.b.y} := \max(d_g + 5 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 37 \text{ mm}$	Betonipeitteen vähimmäisarvo.
$\Delta c_{dev.y} := 10 \text{ mm}$	Virhemarginaali
$c_{nom.y} := c_{\min.b.y} + \Delta c_{dev.y} = 47 \text{ mm}$	Suojabetoni. Pyöristetään ylöspäin $c_{nom.y} := 50 \text{ mm}$
$c_{\min.b.a} := \max(10 \text{ mm}, d_g + 3 \text{ mm}) = 35 \text{ mm}$	Betonipeitteen vähimmäisarvo
$\Delta c_{dev.a} := 20 \text{ mm}$	Virhemarginaali, kun valetaan tasattua ja tiivistettyä alustaa vasten ja käytetään lineaarisia rauditusvälikkeitä
$c_{nom.a} := c_{\min.b.a} + \Delta c_{dev.a} = 55 \text{ mm}$	Suojabetoni. Pyöristetään ylöspäin: $c_{nom.a} := 55 \text{ mm}$
$\phi_s := 12 \text{ mm}$	Raudituksen halkaisija

Momentin määrittäminen

$$r := \sqrt{\frac{A_P}{\pi} + \frac{h}{2}} = 164.628 \text{ mm} \quad \text{Kuormituspinnan säde}$$

$$E_{cm} := 31 \text{ GPa}$$

$$d_{yp} := h - c_{nom,yp} - \frac{1.1 \phi_s}{2} = 103.4 \text{ mm} \quad \text{Laatan hyötykorkeus}$$

$$d_{ap} := h - c_{nom,ap} - \frac{1.1 \phi_s}{2} = 98.4 \text{ mm} \quad \text{Laatan hyötykorkeus}$$

$$EI := \frac{E_{cm} \cdot d_{ap}^3}{12} = 2461.307 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Laatan jäykkyys}$$

$$l_k := \sqrt[4]{\frac{EI}{k}} = 0.46 \text{ m} \quad \text{Elastinen jäykkyys säde}$$

$$a_k := \frac{r}{l_k} = 0.358 \quad \text{Suhteellinen kuormitusjakautuma}$$

Oletetaan, että pistekuorma ei vaikuta laatan vapaisissa nurkissa. Rasitukset määritetään laatan keski-, reuna- ja sauma-alueilla.

Tapaus 1, laatan keskellä

$$M_{1max} := P \cdot (0.056 - 0.211 \cdot \log(a_k)) = 9.76 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{1min} := -0.02 P = -1.3 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 2, sauman keskellä

$$M_{2max} := P \cdot (0.049 + 0.015 a_k - 0.263 \cdot \log(a_k)) = 11.162 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{2min} := -0.033 P = -2.145 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 3, laatan reunalla

$$M_{3max} := P \cdot (0.013 + 0.068 a_k - 0.526 \cdot \log(a_k)) = 17.683 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{3min} := -0.066 P = -4.29 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 4, saumojen nurkassa

$$M_{4min} := -\frac{P}{8} \cdot (1 - 0.74 a_k^{0.6}) = -4.879 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Mitoittavat momentit

Laatta mitoitetaan keskialueen momentin mukaan. Reuna- ja sauma-alueet raudoitetaan perusraudoituksen lisäksi lisäteräksillä. Momenttien perusteella vaaditaan kaksinkertainen määrä. Lisäterästen määrä tulee laskea vastaavilla kaavoilla todellisen momentin mukaan.

$$M_{Ek,max.1} := M_{1max} = 9.76 \text{ m} \cdot \frac{kN}{m} \quad \text{Mitoittava positiivinen momentti keskellä}$$

$$M_{Ek,min.1} := M_{1min} = -1.3 \text{ m} \cdot \frac{kN}{m} \quad \text{Mitoittava negatiivinen momentti keskellä}$$

$$M_{Ek,max.3} := M_{3max} = 17.683 \text{ m} \cdot \frac{kN}{m} \quad \text{Mitoittava positiivinen momentti reunalla}$$

$$M_{Ek,min.3} := M_{3min} = -4.29 \text{ m} \cdot \frac{kN}{m} \quad \text{Mitoittava negatiivinen momentti reunalla}$$

Rauditus taivutus- ja normaalivoimalle laatan keskellä

Rakenteen kutistumisesta aiheutuvat vetovoimat hallitaan vähän kutistuvalla betonilla, matalakittkaisella alustalla ja oikealla jälkihoidolla.

$$M_{Ed.1} := (\max(\|M_{Ek,min.1}\|, M_{Ek,max.1})) \cdot 1.3 = 12.687 \frac{kN \cdot m}{m} \quad \text{Mitoittava momentti kerrottuna osavarmuuskertoimella}$$

$$M_{sd.1} := M_{Ed.1} = 12.687 \frac{kN \cdot m}{m} \quad \text{Mitoittava laskentamomentti}$$

$$\mu := \frac{M_{sd.1} \cdot m}{b \cdot d_{ap}^2 \cdot f_{cd}} = 0.092 \quad \text{Suhteellinen momentti}$$

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0.097 \quad \text{Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus}$$

$$A_s := \frac{\beta \cdot b \cdot d_{ap} \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 311.708 \text{ mm}^2 \quad \text{Vaadittu teräsmäärä metriä kohden}$$

$$A_{s,val,ap} := \left(\frac{\phi_s}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{200 \text{ mm}} = 565.487 \text{ mm}^2 \quad \text{Valittu teräsmäärä}$$

$$A_{s,val,yp} := \left(\frac{8 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{150 \text{ mm}} = 335.103 \text{ mm}^2$$

Valitaan #12-200 alapintaan ja #8-150 yläpintaan.

Raudoitus taivutus- ja normaalivoimalle laatan reunalla

Rakenteen kutistumisesta aiheutuvat vetovoimat hallitaan vähän kutistuvalla betonilla, matalakittaisella alustalla ja oikealla jälkihoidolla.

$$M_{Ed,3} := (\max(\|M_{Ek,min,3}\|, M_{Ek,max,3})) \cdot 1.3 = 22.987 \frac{kN \cdot m}{m} \text{ Mitoittava momentti kerrottuna osavarmuuskertoimella}$$

$$\phi_{s,reuna} := 16 \text{ mm}$$

$$M_{sd,3} := M_{Ed,3} = 22.987 \frac{kN \cdot m}{m}$$

Mitoittava laskentamomentti

$$\mu := \frac{M_{sd,3} \cdot m}{b \cdot d_{ap}^2 \cdot f_{cd}} = 0.168$$

Suhteellinen momentti

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0.185$$

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$$A_s := \frac{\beta \cdot b \cdot d_{ap} \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 591.949 \text{ mm}^2$$

Vaadittu teräsmäärä metriä kohden

$$A_{s,val,ap,reuna} := \left(\frac{\phi_{s,reuna}}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{100 \text{ mm}} = 2010.619 \text{ mm}^2 \quad \text{Valittu teräsmäärä}$$

Valitaan reunan raudoitukseksi T16k100

Raudoitus sijoitetaan reunan suuntaisesti alapintaan vähintään $l_k = 460 \text{ mm}$ alueelle reunasta.

Lävistyskestävyys

$$\rho_l := \min \left(\sqrt{\left(\frac{A_{s, val, ap}}{d_{ap} \cdot b} \right)^2}, 0.02 \right) = 0.00575$$

Raudoitussuhde

$$\rho_{l, reuna} := \min \left(\sqrt{\left(\frac{A_{s, val, ap, reuna}}{d_{ap} \cdot b} \right)^2}, 0.02 \right) = 0.02$$

Raudoitussuhde reunalla, kun reunalla käytetään kaksinkertaista raudoitusta keskialueeseen verrattuna

$$k_0 := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d_{ap}}}, 2 \right) = 2$$

Kerroin

$$D := \sqrt{x_p \cdot y} = 150 \text{ mm}$$

Pistekuorman halkaisija

$$C_{Rd,c} := \frac{0.3 \cdot \left(\frac{D}{d_{ap}} + 1.5 \right)}{\gamma_c \cdot \left(\frac{D}{d_{ap}} + 4 \right)} = 0.109$$

Kerroin

$$u_{keskellä} := \pi \cdot 2 \cdot 2 \cdot d_{ap} + 2 \cdot x_p + 2 \cdot y = 1836.531 \text{ mm}$$

Tarkastelupiirit

$$u_{reunalla} := \frac{\pi \cdot 2 \cdot 2 \cdot d_{ap}}{2} + 2 \cdot x_p + y = 1068.265 \text{ mm}$$

$$v_{Rd,c} := C_{Rd,c} \cdot k_0 \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \text{MPa}^2 \right)^{\frac{1}{3}} = 0.532 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lävistyskestävyysjännitys keskikentällä

$$v_{Rd,c, reuna} := C_{Rd,c} \cdot k_0 \cdot \left(100 \cdot \rho_{l, reuna} \cdot f_{ck} \cdot \text{MPa}^2 \right)^{\frac{1}{3}} = 0.807 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lävistyskestävyysjännitys reunalla

$$V_{Rd,c, keskellä} := v_{Rd,c} \cdot u_{keskellä} \cdot d_{ap} = 96.205 \text{ kN}$$

Lävistyskestävyys keskialueella

$$V_{Rd,c, reunalla} := v_{Rd,c, reuna} \cdot u_{reunalla} \cdot d_{ap} = 84.803 \text{ kN}$$

Lävistyskestävyys reunalla

Lävistävä voima

$$v := 0.2$$

Suppeomaluku

$$k = 0.055 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

Alustaluku

$$l := \left(\frac{E_{cm} \cdot h^3}{12 \cdot (1 - v^2) \cdot k} \right)^{0.25} = 669.078 \text{ mm}$$

Suhteellinen jäykkyysäde

$$x := x_p = 150 \text{ mm}$$

$$y := 150 \text{ mm}$$

Kuormituksen kosketuspinnan mitat. Pinta-alan mittojen ekvivalentin säteen tulee täyttää ehto $a \leq 0.2 \cdot l$

$$R_p := 1.4 \cdot \left(\frac{d_{ap}}{l}\right)^2 \cdot P + 0.47 \cdot (x+y) \cdot \frac{d_{ap} \cdot P}{l^2} = 3.983 \text{ kN}$$

Suoraan alusrakenteille kulkeva voima, keskialueella

$$R_{cp} := 2.4 \cdot \left(\frac{d_{ap}}{l}\right)^2 \cdot P + 0.8 \cdot (2 \cdot y + x) \cdot \frac{d_{ap} \cdot P}{l^2} = 8.518 \text{ kN}$$

Suoraan alusrakenteille kulkeva voima, reuna-alueella

$$V_{k.red.keskellä} := P - R_p = 61.017 \text{ kN}$$

Lävistävä voima keskialueella

$$V_{Ed.red.keskellä} := 1.5 \cdot V_{k.red.keskellä} = 91.526 \text{ kN}$$

Lävistävä voima keskialueella murtorajatilassa. Varmuuskertoimena käytetään BY45 mukaan 1,3 ja TR34 mukaan 1,5.

$$V_{k.red.reunalla} := P - R_{cp} = 56.482 \text{ kN}$$

Lävistävä voima reunalla

$$V_{Ed.red.reunalla} := 1.5 \cdot V_{k.red.reunalla} = 84.724 \text{ kN}$$

Lävistävä voima keskialueella reunalla

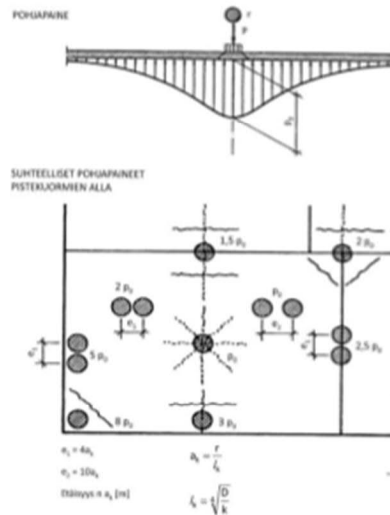
Käyttöasteet

$$\frac{V_{Ed.red.keskellä}}{V_{Rd.c.keskellä}} = 95.137\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

$$\frac{V_{Ed.red.reunalla}}{V_{Rd.c.reunalla}} = 99.906\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

Pohjapaine

$$P_0 := \frac{P}{8 l_k^2} \cdot \left(1 - a_k^2 \left(0.217 - 0.367 \log(a_k)\right)\right) = 36.534 \text{ kPa}$$



Määrävä pohjapaine tapahtuu laatan reunalla, jolloin pohjapaine kolminkertaistuu.

$$P_{0,max} := 3 \left(\frac{P}{8 l_k^2} \cdot \left(1 - a_k^2 \left(0.217 - 0.367 \log(a_k)\right)\right) \right) = 109.603 \text{ kPa}$$

$P_{0,max}$ tulee olla pienempi, kuin laatan alla olevan eristeen pitkäaikainen puristuslujuus. Valitaan esimerkiksi F-300, jonka pitkäaikainen puristuslujuus on 130 kPa, jolloin käyttöaste:

$$\frac{P_{0,max}}{130 \text{ kPa}} = 84.31\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

TaipumaTapaus 1, laatan keskellä

$$y := \frac{P \cdot l_k^2}{8 \cdot EI} \left(1 - a_k^2 \left(0.217 - 0.367 \cdot \log(a_k) \right) \right) = 0.664 \text{ mm}$$

Tapaus 2, sauman kohdalla

$$y := \frac{P}{k \cdot l_k^2} (0.216 - 0.075 \cdot a_k) = 1.057 \text{ mm}$$

Tapaus 3, laatan reunalla

$$y := \frac{P}{k \cdot l_k^2} (0.433 - 0.354 \cdot a_k) = 1.711 \text{ mm}$$

Suoruspoinkeama		Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
			A ₀	A	B	C
Hammastus			0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimellis- kaltevuudesta	Tasaisuus	enintään 200	1	2	3	4
		enintään 700	2	4	6	8
	Suoruus	enintään 2000	4	7	10	14
		enintään 7000 7000...50000 ¹⁾	7 10	10 14	14 20	20 28

¹⁾ Yli 50000 mm sovitaan tapauskohtaisesti.

Ajoluskien ja vastaavien vaatimukset ja mittausmenetelmät sovitaan tapauskohtaisesti. Mahdolliset suoruspoinkeamat koskevat aina kunkin valualueen rajaamalla alueella olevia poikkeamia.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että lattia ei täytä A₀ vaatimuksia 160 mm paksuudella. Lattiaa paksuntamalla voidaan kasvattaa jäykkyyttä ja näin ollen taipumaa pienennettyä.

Halkeilukestävyys (käyttörajatila)

$$W_I := \frac{b \cdot h^2}{6} = 4.267 \text{ mm}^3 \cdot 10^6 \quad \text{Taivutusvastus}$$

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 2.6 \text{ MPa} \quad \text{Betonin vetolujuus. } f_{ct,eff} := f_{ctm} \text{ jos betonin ikä } \geq 28 \text{ vrk}$$

$$d := h = 160 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen korkeus puhtaalle betonille}$$

$$EI := \frac{E_{cm} \cdot d^3}{12} = 10581.333 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Laatan jäykkyys}$$

$$l_k := \sqrt[4]{\frac{EI}{k}} = 0.662 \text{ m} \quad \text{Elastinen jäykkyys säde}$$

$$a_k := \frac{r}{l_k} = 0.249 \quad \text{Suhteellinen kuormitusjakautuma}$$

$$M_{Ek} := P \cdot (0.056 - 0.211 \cdot \log(a_k)) = 11.931 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Halkeilua aiheuttava momentti puhtaasti betonille keskialueella}$$

$$M_{R,cr} := f_{ct,eff} \cdot W_I = 11.093 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Halkeilumomentti}$$

$$\frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \cdot \text{m} = 1.076 \leq 1.0 \quad \text{Halkeilukestävyys. Mikäli yhtälö toteutuu, ei rakenne halkeile ja halkeamaleveystarkastelua ei tarvitse tehdä.}$$

Halkeamaleveystarkastelu

$$k_1 := 0.8 \quad \text{Tartunnan huomioiva kerroin. 0.8 jos hyvä tartunta, 1.6 tartunnan ollessa huono}$$

$$k_2 := 0.5 \quad \text{Venymäjakautuman huomioiva kerroin. 1.0 pelkälle vedolle ja 0.5 taivutukselle}$$

$$k_3 := 3.4 \quad \text{Kansallisesti valittava kerroin. Suomessa 3.4}$$

$$k_4 := 0.425 \quad \text{Kansallisesti valittava kerroin}$$

$$k_t := 0.4 \quad \text{on kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin. 0.6 lyhytaikaiselle ja 0.4 pitkäaikaiselle}$$

$$\mu := \frac{M_{Ek,max.1} \cdot \text{m}}{b \cdot d_{ap}^2 \cdot f_{cd}} = 0.071 \quad \text{Suhteellinen momentti}$$

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \mu} = 0.074 \quad \text{Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus}$$

$$z := d_{ap} \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 94.765 \text{ mm} \quad \text{Sisäinen momenttivarsi}$$

$$u := (b + h) \cdot 2 = 2320 \text{ mm} \quad \text{Poikkileikkauksen piiri}$$

$$h_0 := 2 \cdot \frac{b \cdot h}{u} = 138 \text{ mm} \quad \text{Muunnettu korkeus, käyrästä varten}$$

$\varphi := 0$ Virumaluku, ominaiskuormitusyhdistelmä tulee määrääväksi, jolloin virumaa ei oteta huomioon

$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = 31 \text{ GPa}$ Betonin tehollinen kimmokerroin

$a_{e,eff} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 6.452$ Kimmokertoimien suhde

$x := d_{ap} \cdot \rho_l \cdot a_{e,eff} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho_l \cdot a_{e,eff}}} \right) = 23.394 \text{ mm}$ Etäisyys neutraaliakselilta puristettuun pintaan

$h_{c,eff} := \min \left(2.5 (h - d_{ap}), \frac{(h - x)}{3}, \frac{h}{2} \right) = 45.535 \text{ mm}$ Teräksiä ympäröivän vetojännityksen alaisen betonialueen tehollinen korkeus

$A_{c,eff} := h_{c,eff} \cdot b = 45535.273 \text{ mm}^2$ Teräksiä ympäröivän vetojännityksen alaisen betonialueen tehollinen pinta-ala

$\rho_{p,eff} := \frac{A_{s,val,ap}}{A_{c,eff}} = 0.012$ Laatan tehollinen raudoitussuhde

$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 2.6 \text{ MPa}$ Vetolujuuden keskiarvo, kun lujuus saavutettu

$\sigma_s := \frac{M_{Ek,max,1}}{A_{s,val,ap} \cdot z} \cdot m = 182.121 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_s := 0.6 f_{yk} = 300 \text{ MPa}$ OK! Teräksessä syntyvä jännitys

$a_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 6.452$ Kimmokertoimien suhde

$\varepsilon_s = \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ Venymäero. Merkitään laskennan takia ε_s

$\varepsilon_s := \max \left(\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + a_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 0.001048$

Halkeamaväli, kun raudoitusväli on korkeintaan $5 \cdot \left(c_{nom,ap} + \frac{\phi_s}{2} \right) = 305 \text{ mm}$

$s_{r,max} := k_3 \cdot c_{nom,ap} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{p,eff}} = 351.269 \text{ mm}$ Halkeamaväli

$w_k := s_{r,max} \cdot \varepsilon_s = 0.368 \text{ mm} \leq w_{k,max} := 0.4 \text{ mm}$ OK!

Käyttöaste

$\frac{w_k}{w_{k,max}} = 92.008\% \leq 100\%$ OK!

Kuituraudoitetun maanvaraisen betonilattian mitoitus

Lähtötiedot:

Seuraamusluokka 2

Toteutusluokka 2

Rasitusluokka XC1

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

Tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys

$$h := 160 \text{ mm}$$

Laatan paksuus

$$P := 65 \text{ kN}$$

Pistekuorma

$$A_P := 150 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}$$

Kuormituspinta-ala

$$x_P := 150 \text{ mm}$$

$$y := 150 \text{ mm}$$

Kuormituspinnan sivun mitat

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

Betonin lujuus

$$\gamma_c := 1.5$$

Betonin osavarmuuskerroin

$$\gamma_f := 1.5$$

Kuitubetonin materiaaliosavarmuusluku

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

Betonin puristuslujuuden pitkäaikaiskerroin

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.167 \text{ MPa}$$

Betonin mitoituslujuus

$$f_{ctm} := 2.6 \text{ MPa}$$

Betonin vetolujuuden keskiarvo

$$f_{ctk} := 1.8 \text{ MPa}$$

Betonin ominaisvetolujuus

$$f_{ctd} := 1.0 \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.2 \text{ MPa}$$

Betonin ominaisvetolujuuden mitoituslujuus

$$E_{cm} := 31 \text{ GPa}$$

Betonin kimmomoduuli

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Teräksen lujuus

$$f_{yd} := 1.0 \cdot \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$$

Teräksen mitoituslujuus

$$f_{R,1k} := 4 \text{ MPa}$$

Jäännöstaivutusvetolujuuden ominaisarvot

$$f_{R,3k} := 4 \text{ MPa}$$

$$E_s := 200 \text{ GPa}$$

Teräksen kimmomoduuli

$$k := 0.055 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

Alustaluku

$$E_c := 1.05 \cdot E_{cm} = 32.55 \text{ GPa}$$

Betonin kimmokerroin

$$\varepsilon_{ct} := \frac{f_{ctd}}{E_c} = 0.00003687$$

Halkeamisvenymä

$$W_u := 2.5 \text{ mm}$$

Halkeaman avautuma. Arvona käytetään 2.5mm

$$l_s := h = 160 \text{ mm}$$

Karakteristinen korkeus. $l_s = h$ kun poikkileikkaus raudoitetaan ainoastaan kuidulla

$$\eta_f := 1.0$$

Valusuunnasta riippuva kerroin. Laatalle 1.0

$$\eta_{det} := 2.0$$

Staattisesta määräämättömyydestä riippuva kerroin. Maanvaraiselle laatalle 2.0

$$f_{ft,R3} := 0.37 \cdot f_{R,3k} = 1.48 \text{ MPa}$$

Jännösvelolujuuden ominaisarvo

$$f_{ftd,R3} := \eta_f \cdot \eta_{det} \cdot \frac{f_{ft,R3}}{\gamma_f} = 1.973 \text{ MPa}$$

Suoran jännösvelolujuuden suunnitteluarvo

$$\varepsilon_{ftu} := \varepsilon_{ct} + \frac{W_u}{l_s} = 0.01566187$$

Maksimivenymä

$$\varepsilon_{c3} := 0.00175$$

Puristuma. 0.175% kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

$$\varepsilon_{cu3} := 0.0035$$

Puristuma. 0.35% kun $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

Selvitetään etäisyys neutraaliakselilta puristettuun pintaan yksinkertaistetulla kaavalla, joka soveltuu varsinkin maanvaraisten lattioiden mitoituksessa, kun käytetään sitkeysluokan c kuitubetonia

$$x_g := 10 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{\varepsilon_{ftu} \cdot x_g}{x_g \cdot f_{ctd} \cdot \frac{h - x_g}{\varepsilon_{cu3}} \cdot b} \right) = b \cdot (h - x_g) \cdot f_{ftd,R3}$$

$$\text{find}(x_g) = 31.9501 \text{ mm}$$

$$x := 31.9501 \text{ mm}$$

Etäisyys neutraaliakselilta puristettuun pintaan. Ratkaistaan yllä olevasta yhtälöstä

Lävistyskestävyys

$$d := h - \frac{(h - x)}{2} = 95.975 \text{ mm}$$

Tehollinen korkeus

$$C := 0.45$$

Kerroin

$$k_L := \min \left(1 + \left(\sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} \right), 2 \right) = 2$$

Kerroin

$$D := (x_P \cdot y)^{0.5} = 150 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman halkaisija}$$

$$u_{\text{keskellä}} := \pi \cdot 2 \cdot 2 \cdot d + 2 \cdot x_P + 2 \cdot y = 1806.058 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman tarkastelupiiri keskialueella}$$

$$u_{\text{reunalla}} := \frac{\pi \cdot 2 \cdot 2 \cdot d}{2} + 2 \cdot x_P + y = 1053.029 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman tarkastelupiiri reunalla}$$

$$v_{\text{Rd.cf}} := \frac{k_L}{2} \cdot C \cdot \frac{f_{R.3k}}{\gamma_f} = 1.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Lävistyskestävyysjännitys}$$

$$V_{\text{Rd.c.keskellä}} := v_{\text{Rd.cf}} \cdot u_{\text{keskellä}} \cdot d = 208.004 \text{ kN} \quad \text{Lävistyskestävyys keskialueella}$$

$$V_{\text{Rd.c.reunalla}} := v_{\text{Rd.cf}} \cdot u_{\text{reunalla}} \cdot d = 121.277 \text{ kN} \quad \text{Lävistyskestävyys reuna-alueella}$$

Lävistävä voima

$$v := 0.2 \quad \text{Suppeumaluku}$$

$$k = 0.055 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3} \quad \text{Alustaluku}$$

$$l := \left(\frac{E_{cm} \cdot h^3}{12 \cdot (1 - v^2) \cdot k} \right)^{0.25} = 0.669 \text{ m} \quad \text{Suhteellinen jäykkyysäde}$$

$$x_P = 150 \text{ mm} \quad \text{Kuormituksen kosketuspinnan mitat.}$$

$$y = 150 \text{ mm} \quad \text{Pinta-alan mittojen ekvivalentin säteen tulee täyttää ehto } a \leq 0.2 \cdot l$$

$$R_p := 1.4 \cdot \left(\frac{d}{l} \right)^2 \cdot P + 0.47 \cdot (x_P + y) \cdot \frac{d \cdot P}{l^2} = 3.837 \text{ kN} \quad \text{Suoraan alusrakenteille kulkeva voima, keskialueella}$$

$$R_{cp} := 2.4 \cdot \left(\frac{d}{l} \right)^2 \cdot P + 0.8 \cdot (2 \cdot y + x_P) \cdot \frac{d \cdot P}{l^2} = 8.227 \text{ kN} \quad \text{Suoraan alusrakenteille kulkeva voima, reuna-alueella}$$

$$V_{k.red.keskellä} := P - R_p = 61.163 \text{ kN} \quad \text{Lävistävä voima keskialueella}$$

$$V_{Ed.red.keskellä} := 1.5 \cdot V_{k.red.keskellä} = 91.744 \text{ kN} \quad \text{Lävistävä voima keskialueella murtorajatilassa}$$

$$V_{k.red.reunalla} := P - R_{cp} = 56.773 \text{ kN} \quad \text{Lävistävä voima reunalla}$$

$$V_{Ed.red.reunalla} := 1.5 \cdot V_{k.red.reunalla} = 85.16 \text{ kN} \quad \text{Lävistävä voima keskialueella reunalla}$$

Käyttöasteet

$$\frac{V_{Ed.red.keskellä}}{V_{Rd.c.keskellä}} = 44.107\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

$$\frac{V_{Ed.red.reunalla}}{V_{Rd.c.reunalla}} = 70.219\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

Momentin määrittäminen

$$r := \sqrt{\frac{A_P}{\pi}} + \frac{h}{2} = 164.628 \text{ mm}$$

Kuormituspinnan säde

$$E_{cm} := 31 \text{ GPa}$$

Laatan hyötykorkeus

$$EI := \frac{E_{cm} \cdot d^3}{12} = 2283.786 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Laatan jäykkyys

$$l_k := \sqrt[4]{\frac{EI}{k}} = 0.451 \text{ m}$$

Elastinen jäykkyyssäde

$$a_k := \frac{r}{l_k} = 0.365$$

Suhteellinen kuormitusjakautuma

Oletetaan, että pistekuorma ei vaikuta laatan vapaissa nurkissa. Rasitukset määritetään laatan keski-, reuna- ja sauma-alueilla.

Tapaus 1, laatan keskellä

$$M_{1max} := P \cdot (0.056 - 0.211 \cdot \log(a_k)) = 9.648 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{1min} := -0.02 P = -1.3 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 2, sauman keskellä

$$M_{2max} := P \cdot (0.049 + 0.015 a_k - 0.263 \cdot \log(a_k)) = 11.029 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{2min} := -0.033 P = -2.145 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 3, laatan reunalla

$$M_{3max} := P \cdot (0.013 + 0.068 a_k - 0.526 \cdot \log(a_k)) = 17.435 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Maksimi positiivinen momentti}$$

$$M_{3min} := -0.066 P = -4.29 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Tapaus 4, saumojen nurkassa

$$M_{4min} := -\frac{P}{8} \cdot (1 - 0.74 a_k^{0.6}) = -4.842 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Minimi negatiivinen momentti}$$

Mitoittavat momentit

Laatta mitoitetaan keskialueen momentin mukaan. Reuna- ja sauma-alueet lisäraudoitetaan tankorauδοoituksella. Vaadittavaa teräsmäärää ei tarkastella tässä työssä, mutta liitteen 1 mukainen rauditus riittää varmasti.

$$M_{Ek,max.1} := M_{1max} = 9.648 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoittava positiivinen momentti keskellä

$$M_{Ek,min.1} := M_{1min} = -1.3 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoittava negatiivinen momentti keskellä

$$M_{Ek,max.3} := M_{3max} = 17.435 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoittava positiivinen momentti reunalla

$$M_{Ek,min.3} := M_{3min} = -4.29 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoittava negatiivinen momentti reunalla

Taivutuskestävyys

$$M_{Ed} := (\max(\|M_{Ek,min.1}\|, M_{Ek,max.1})) \cdot 1.3 = 12.543 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \quad \text{Mitoittava momentti kerrottuna osavarmuuskertoimella}$$

$$N_{Ed} := 0 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Poikkileikkauksessa vaikuttava normaalivoima

$$\varepsilon_c := \frac{\varepsilon_{ftu}}{h-x} \cdot x = 0.00390784$$

Poikkileikkauksen yläpinnan puristuma

$$F_{cc} := \frac{x \cdot f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c3}} \cdot b}{2} = 505.369 \text{ kN}$$

Puristusresultantin suuruus

$$F_f := b \cdot (h-x) \cdot f_{ftd.R3} = 252.685 \text{ kN}$$

Teräskuitujen vetoresultantti

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c3}} = 2.233 \geq 1.0 \Rightarrow a_x := 0.5$$

Kun puristuma ε_c on pienempi tai yhtä suuri kuin betonin puristuslujuuden jännitys ε_{c3}

pysyy puristuspuoli kolmion muotoisena ja tällöin kerroin a_x on $\frac{1}{3}$. Mikäli puristuma ylittää

puristuman ε_{c3} arvon, mutta pysyy pienempänä, kuin murtopuristuma ε_{cu3} , alkaa

puristusalue muuttua suorakaiteeksi, tällöin voidaan konservatiivisena yksinkertaisuksena käyttää kertoimelle a_x arvoa 0.5.

$$M_{Rd} := F_{cc} \cdot x \cdot (1-a_x) + F_f \cdot \frac{h-x}{2} = 24.251 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Taivutuskestävyys}$$

Käyttöaste:

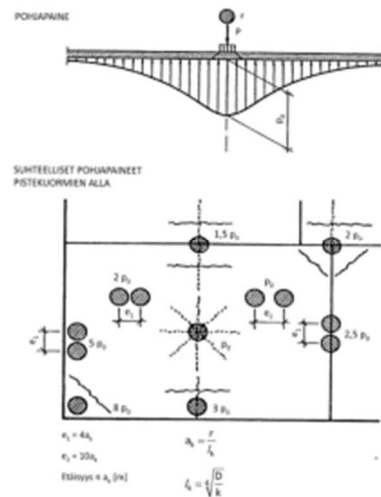
$$\frac{M_{Ed} \cdot b}{M_{Rd}} = 51.719\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

Pohjapaine

$$P_0 := \frac{P}{8 l_k^2} \cdot (1 - a_k^2 (0.217 - 0.367 \log(a_k))) = 37.869 \text{ kPa}$$

Määrävä pohjapaine tapahtuu laatan reunalla, jolloin pohjapaine kolminkertaistuu.

$$P_{0,max} := 3 \left(\frac{P}{8 l_k^2} \cdot (1 - a_k^2 (0.217 - 0.367 \log(a_k))) \right) = 113.608 \text{ kPa}$$



$P_{0,max}$ tulee olla pienempi, kuin laatan alla olevan eristeen pitkäaikainen puristuslujuus. Valitaan esimerkiksi F-300, jonka pitkäaikainen puristuslujuus on 130 kPa

Käyttöaste

$$\frac{P_{0,max}}{130 \text{ kPa}} = 87.391\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$

Taipuma

Tapaus 1, laatan keskellä

$$y := \frac{P \cdot l_k^2}{8 \cdot EI} \left(1 - a_k^2 \left(0.217 - 0.367 \cdot \log(a_k) \right) \right) = 0.689 \text{ mm}$$

Tapaus 2, sauman kohdalla

$$y := \frac{P}{k \cdot l_k^2} (0.216 - 0.075 \cdot a_k) = 1.094 \text{ mm}$$

Tapaus 3, laatan reunalla

$$y := \frac{P}{k \cdot l_k^2} (0.433 - 0.354 \cdot a_k) = 1.763 \text{ mm}$$

Suoruspikkeama		Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
			A ₀	A	B	C
Hammastus			0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimellis- kaltevuudesta	Tasaisuus	enintään 200	1	2	3	4
		enintään 700	2	4	6	8
	Suoruus	enintään 2000	4	7	10	14
		enintään 7000	7	10	14	20
		7000...50000 ¹⁾	10	14	20	28

¹⁾ Yli 50000 mm sovitaan tapauskohtaisesti.

Ajoluiskien ja vastaavien vaatimukset ja mittausmenetelmät sovitaan tapauskohtaisesti. Mahdolliset suoruspikkeamat koskevat aina kunkin valualueen rajaamalla alueella olevia poikkeamia.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että lattia ei täytä A₀ vaatimuksia 160 mm paksuudella. Lattiaa paksuntamalla voidaan kasvattaa jäykkyyttä ja näin ollen taipumaa pienennettyä.

Halkeilukestävyys (käyttörajatila)

$$W_I := \frac{b \cdot h^2}{6} = 4.267 \text{ mm}^3 \cdot 10^6$$

Taivutusvastus

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 2.6 \text{ MPa}$$

Betonin vetolujuus. $f_{ct,eff} := f_{ctm}$ silloin kun betonin ikä ≥ 28 vrk

$$d := h = 160 \text{ mm}$$

Tehollinen korkeus puhtaalle betonille

$$EI := \frac{E_{cm} \cdot d^3}{12} = 10581.333 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Laatan jäykkyys

$$l_k := \sqrt[4]{\frac{EI}{k}} = 0.662 \text{ m}$$

Elastinen jäykkyysäde

$$a_k := \frac{r}{l_k} = 0.249$$

Suhteellinen kuormitusjakautuma

$$M_{Ek} := P \cdot (0.056 - 0.211 \cdot \log(a_k)) = 11.931 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Halkeilua aiheuttava momentti puhtaasti betonille keskialueella

$$M_{R,cr} := f_{ct,eff} \cdot W_I = 11.093 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Halkeilumomentti

$$\frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \cdot \text{m} = 1.076 \leq 1.0$$

Halkeilukestävyys. Mikäli yhtälö toteutuu, ei halkeamaleveystarkastelua tarvitse tehdä.

Halkeamaleveys

$$w_{max,sall} := 0.5 \text{ mm}$$

Sallittu halkeamaleveys

$$l_{cs} := h = 160 \text{ mm}$$

Halkeamien häiriöalueen korkeus

$$f_{ctk,0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.82 \text{ MPa}$$

Betonin vetolujuuden 5% fraktiili

$$\sigma_c := 0.45 \cdot f_{ck} = 11.25 \text{ MPa}$$

Sallittu puristusjännitys

$$\varepsilon_{c,sall} := \frac{\sigma_c}{f_{ck}} \cdot \varepsilon_{c3} = 0.079\%$$

Puristuma sallitulla jännityksellä

$$f_{ft,R1} := 0.45 \cdot f_{R,1k} = 1.8 \text{ MPa}$$

Jäännösvetolujuuden ominaisarvo

$$f_{ftd,R1} := \eta_f \cdot \frac{f_{ft,R1}}{1.0} = 1.8 \text{ MPa}$$

Jäännösvetolujuuden mitoitusarvo käyttörajatilassa

$$u := (b + h) \cdot 2 = 2320 \text{ mm}$$

Poikkileikkauksen piiri

$$h_0 := 2 \cdot \frac{b \cdot h}{u} = 138 \text{ mm}$$

Muunnettu korkeus, käyrästöä varten

$$\varphi := 0$$

Virumaluku, ominaiskuormitusyhdistelmä tulee määrääväksi, jolloin virumaa ei oteta huomioon

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = 31 \text{ GPa}$$

Tehollinen kimmomoduuli

$$\varepsilon_{ct} := \frac{f_{ctk,0.05}}{E_{c,eff}} = 0.005871\%$$

Betonin halkeamisvenymä

$$\varepsilon_{ft,sall} := \varepsilon_{ct} + \frac{w_{max,sall}}{l_{cs}} = 0.31837\%$$

Kuitubetonin sallittuvenymä

$$x := 10 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_c := 0.001$$

$$\varepsilon_{ft} := 0.001$$

$$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c,sall}$$

$$\varepsilon_{ft} \leq \varepsilon_{ft,sall}$$

$$M_{Ek} \cdot m = \left(x \cdot \sigma_c \cdot b \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c,sall}} \right) \cdot x \cdot \frac{2}{3} + \left((b \cdot (h-x) \cdot f_{ftd,R1}) \cdot \frac{\varepsilon_{ft}}{\varepsilon_{ft,sall}} \right) \cdot \frac{h-x}{2}$$

$$\varepsilon_{ft} = \frac{h-x}{x} \cdot \varepsilon_c$$

$$x \cdot \sigma_c \cdot b \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c,sall}} = (b \cdot (h-x) \cdot f_{ftd,R1}) \cdot \frac{\varepsilon_{ft}}{\varepsilon_{ft,sall}}$$

$$\text{find}(x, \varepsilon_c, \varepsilon_{ft}) = \begin{bmatrix} 35.1309 \\ 0.5538 \frac{1}{m} \\ 1.9685 \frac{1}{m} \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$x := 35.1309 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_c := 0.05538\% \leq \varepsilon_{c,sall} = 0.07875\%$$

Puristuma

$$\varepsilon_{ft} := 0.19685\% \leq \varepsilon_{ft,sall} = 0.31837\%$$

Kuitubetonin venymä

$$k_f := \min\left(\frac{f_{ftd,R1}}{f_{ctm}}, 1\right) = 0.692$$

Kuitukerroin

$$w_{max} := \varepsilon_{ft} \cdot 2 \cdot (h-x) = 0.492 \text{ mm}$$

Halkeamaleveys (arvio)

Käyttöaste

$$\frac{w_{max}}{w_{max,sall}} = 98.322\% \leq 100\% \quad \text{OK!}$$