

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MAAKOSTEAN TYÖMAABETONIN KÄYTTÖ MAANVARAISISSA LATTIOISSA

TEKIJÄ Raul Korolainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Raul Joonas Antero Korolainen	
Työn nimi Maakostean työmaabetonin käyttö maanvaraisissa latioissa	
Päiväys 23.11.2023	Sivumäärä/Liitteet 93 / 40
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Finland Oy / Suomen Betonilattiyhdistys ry.	
Tiivistelmä	
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää maakostean työmaabetonin laajempaa hyödyntämistä maanvaraisissa betonilatioissa ja saada lisätietoa suunnittelijoille, urakoitsijoille ja muille rakennusalan ammattilaisille maakostean työmaabetonin laajemmista käyttömahdollisuuksista. Yleisesti maakosteaa betoni on normaalia rakennebetonia huokoisempaa ja kuivempaa ja huokoisuutensa vuoksi sitä on pidetty epätiivimpänä lujuusluokiteltuihin betoneihin verrattuna. Työn tavoitteena oli lisätä tietoa muun muassa maakostean betonin tiiveydestä ja tämän avulla poistaa mahdollisia väärinkäsityksiä maakostean työmaabetonin ominaisuuksista. Työn tilaajana oli Sweco Finland Oy, mutta työ tehtiin tiiviissä yhteistyössä Suomen Betonilattiyhdistyksen ja siihen kuuluvien lattiaurakoitsijoiden kanssa.</p> <p>Opinnäytetyötä varten kerättiin tietoa tutustumalla alan kirjallisuuteen, tuotevalmistajien materiaaleihin, ohjeisiin, työselosteisiin sekä vaurioraportteihin ja -lausuntoihin. Teoriatiedon lisäksi tehtiin lattiaurakoitsijoiden valmistamiin koelaattoihin laboratoriotestit projektin yhteistyöyritysten kanssa. Koelaatoista tehtiin laboratoriossa laboratoriotutkimussuunnitelman mukaiset näytekappaleet. Laboratorion testien tuloksia arvioitiin ohjausryhmän jäsenten kesken, josta saatu tieto siirrettiin suunnitteluohjeeseen. Perinteisten laboratoriotestien lisäksi päätettiin tutkia mahdollisuuksia testata maakostealla työmaabetonilla tehtävien maanvaraisten lattioiden ilma-tiivyyttä joko kenttätestinä työmaakohteessa tai laboratoriossa.</p> <p>Työn tuotoksena tehtiin Betonilattiyhdistykselle käytännönläheinen suunnitteluohje maakostean työmaabetonin käyttöön. Ohje on tarkoitettu ennen kaikkea suunnittelijoille, mutta myös lattiaurakoitsijoille, rakennuttajille ja materiaalityöntekijöille. Laboratoriotestien tuloksena saatiin tietoa maakostean työmaabetonin ominaisuuksista, joita suunnitteluohjeessa on pyritty tuomaan esille. Näiden tekijöiden kanssa ohjeessa on pyritty antamaan ohjeet onnistuneen betonilattian tekoon ja suunnitteluun maakostealla työmaabetonilla.</p>	
Avainsanat maakosteaa betoni, työmaabetoni, maanvaraiset betonilattiat, betonilattiat	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author Raul Joonas Antero Korolainen	
Title of Thesis Using zero-slump concrete in concrete floors.	
Date 23.11.2023	Pages/Appendices 93 / 40
Client Organisation /Partners Sweco Finland Oy / Suomen Betonilattiyhdistys ry.	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to research the wider utilization of zero-slump concrete in concrete floors and to get more information for designers, contractors and other construction industry professionals about the wider use of zero-slump concrete. In general, zero-slump concrete is more porous and drier than normal concrete. Because of its porosity, it has been considered less dense compared to strength-classified concrete. The goal of this work was to increase awareness of the density of zero-slump concrete and with this information remove possible misunderstandings about the properties of zero-slump concrete. The work was commissioned by Sweco Finland Oy and the work was done in close co-operation with Suomen Betonilattiyhdistys and other contractors.</p> <p>Information for this thesis was collected by reviewing literature, materials and instructions from product manufacturers, work descriptions and damage reports. In addition to theoretical knowledge, test slabs were prepared with cooperating companies. Samples were made of the test slabs in accordance with the laboratory research plan. The results of the laboratory tests were evaluated among the members of the steering group. The received information was then transferred into a practical guide. In addition to the laboratory tests, the purpose was to examine the air tightness of the zero-slump concrete either on the construction site or in the laboratory.</p> <p>As a result of this thesis, a practical guide for the use of zero-slump concrete was composed for Betonilattiyhdistys. The guide is primarily intended for designers, contractors, builders and material suppliers. The results of the laboratory tests have been used in the guide. The aim of the guide is to provide instructions for making and design a successful concrete floor with zero-slump concrete.</p>	
<p>Keywords Zero-slump concrete, dry-mix concrete, slab on ground</p>	

## ALKUSANAT

Tämä ylemmän ammattikorkeakoulun päättötyö on tehty Suomen Betonilattiyhdistyksen, Sweco Finland Oy:n sekä alan lattiaurakoitsijoiden tarpeesta tutkia maakostean työmaabetonin ominaisuuksia.

Haluan kiittää rakennetekniikan yliopettajaa Arto Puurulaa työni ohjeistamisesta ja tarkastamisesta, lehtori Jarna Aromaa-Laamasta ja Ritva Rasimusta tarkastamisesta sekä Betonilattiyhdistyksen järjestämää ohjausryhmää työhön osallistumisesta, neuvoista ja ajatuksista. Päättötyön ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Niko Grönthal	Bekason Oy
Tomi Kanto	Heikkinen Yhtiöt Oy
Jussi Heimonen	Master Chemicals Oy
Juha Komonen	Sweco Finland Oy
Veikko Leino	Sweco Finland Oy

Eryteisesti haluan kiittää ystäviäni sekä perhettäni, Kerttua ja Eeva-Maijaa, kaikesta tuesta ja kannustuksesta koko projektin aikana.

Kuopiossa 23.11.2023

Raul Korolainen

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet .....	8
1.2	Tutkimusmenetelmät, -rajaukset sekä asiantuntijalausunnot.....	8
1.3	Työn tilaaja ja ohjausryhmä.....	9
2	MAAKOSTEA BETONI .....	10
2.1	Historia ja käyttö muualla maailmassa .....	10
2.2	Maakostean betonin laatu ja CE-merkintä .....	11
2.3	Valmistusmenetelmät ja työstettävyys .....	13
2.4	Massan koostumus.....	17
2.5	Yleisimmät käyttökohteet .....	19
2.6	Käytön edut, -haasteet ja kustannukset.....	20
2.7	Hiilijalanjälki ja kestävä kehitys .....	23
2.8	Maakostean työmaabetonin yleiset ominaisuudet .....	25
2.8.1	Puristuslujuus ja tiheys .....	25
2.8.2	Taivutusvetolujuus.....	26
2.8.3	Tartuntavetolujuus .....	27
2.8.4	Kulutuskestävyys .....	27
2.8.5	Notkeus ja työstettävyys .....	29
2.8.6	Tiiveys ja tiivistys.....	30
3	MAAKOSTEIDEN BETONILATTIOIDEN SUUNNITTELU .....	31
3.1	Lattioiden suunnittelun ja toteutuksen yleiset ongelmakohdat.....	31
3.2	Betonilattioiden luokittelu .....	31
3.3	Sallitut kuormitukset ja rakenteellinen toiminta .....	33
3.4	Toiminnalliset vaatimukset ja määräykset.....	33
3.4.1	Suoruus ja tasaisuus .....	33
3.4.2	Kulutuskestävyys .....	35
3.4.3	Halkeamaleveys.....	36
3.4.4	Muut määräykset.....	38
3.5	Betonilattioiden kutistumat ja valo-olosuhteiden hallinta.....	39
3.6	Alustan ominaisuudet ja -rakenteet .....	41
3.7	Mitoittamisen periaatteet ja kuormat .....	43

3.7.1	Kuormitusyhdistelmät ja voimasuureet.....	44
3.7.2	Taivutusmomentti.....	46
3.7.3	Laatan lävistyskestävyys .....	48
3.7.4	Kutistumaa aiheuttavat pakkovoimat.....	49
3.7.5	Halkeilun rajoittaminen .....	51
3.7.6	Viruma.....	53
3.8	Raudoitustavat.....	54
3.8.1	Verkkoraudoitus .....	54
3.8.2	Kuituraudoitus.....	56
3.9	Epäjatkuvuuskohtien tiivistykset.....	57
3.10	Pinnoitettavuus.....	58
3.11	Saumat .....	59
3.12	Jälkihoito.....	61
3.13	Työmaatestaus ja laadunvalvonta .....	62
4	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	63
4.1	Betonikoekappaleet ja laboratoriokokeet .....	64
4.1.1	Puristuslujuus ja tiheys .....	66
4.1.2	Taivutusveto- ja tartuntavetolujuus.....	66
4.1.3	Kulutuskestävyys .....	68
4.1.4	Prisma kokeet.....	68
4.2	Maanvaraisten lattioiden ilmatiiveyskokeet.....	69
5	TULOKSET .....	71
5.1	Puristuslujuus ja tiheys.....	71
5.2	Taivutusveto- ja tartuntavetolujuus .....	73
5.3	Kulutuskestävyys .....	77
5.4	Prisma kokeet.....	79
6	TUTKIMUSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET JA LOPPUTULOS.....	82
7	SUUNNITTELUOHJE TILAAJALLE.....	87
7.1	Ohjeiden laatiminen ja sisältö .....	87
8	YHTEENVETO.....	89

**LIITTEET:**

- Liite 1. BLYxx – maakostea työmaabetoni maanvaraisissa lattioissa
- Liite 2. Betonikoekappaleiden toteutussuunnitelmat
- Liite 3. Laboratoriotestauksen seurantasuunnitelma
- Liite 4. Maakostean työmaabetoni, puristuslujuudet
- Liite 5. Maakostean työmaabetoni, taivutusvetolujuudet
- Liite 6. Maakostean työmaabetoni, tartuntavetolujuudet
- Liite 7. Maakostean työmaabetoni, Böhme-kulutuskävytydet
- Liite 8. Maakostea työmaabetoni, prismakokeiden taivutusveto- ja puristuslujuudet

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön prosessi sai alkunsa Suomen Betonilattiyhdistys BLY ry:n aloittamasta hankkeesta, jonka tarkoituksena on selvittää maakostean työmaabetonin hyödyntämistä maanvaraisissa betonilattioissa. Betonilattiyhdistyksen kautta työn taustalle saatiin asiantuntijaryhmä alan yrityksistä. Näiden tehtävänä on toimia työn taustalla antaen neuvoja sekä toimia samalla osittain työn rahoittajina. Opinnäytetyön aihe tuli tietooni nykyisen työnantajani Sweco Rakennetekniikka Oy:n kautta ja siellä olevasta paikallavalubetoni teknologiatyöryhmästä syksyllä 2022.

Opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää maakostean työmaabetonin laajempaa hyödyntämistä maanvaraisissa betonilattioissa, saada lisätietoa suunnittelijoille maakostean betonin laajemmista käyttömahdollisuuksista sekä poistaa mahdollisia väärinkäsityksiä sen ominaisuuksista. Näiden lisäksi työn alustavana tavoitteena on tutkia ja saada lisätietoa maakostean työmaabetonin- ja maanvaraisen lattiarakenteiden ilmatiiveydestä. Selvitysten avulla työn tilaajalle tehdään käytännönläheinen suunnitteluohje maakosteiden betonilattioiden valmistukseen. Ohjeen tarkoituksena on antaa suunnittelijoille, rakennuttajille ja lattiaurakoitsijoille yhtenäinen ohjeistus maakostean betonilattian suunnitteluun sekä lisätä kaikkien osapuolien tietoisuutta maakostean betonin eri ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät, -rajaukset sekä asiantuntijalausunnot

Opinnäytetyöprosessi alkoi syksyllä 2022, mutta pääosa työn toteutuksesta tehdään vuoden 2023 aikana. Työn tutkimuksien ja tuloksien tarkastelu rajataan koskemaan työmaalla valmistettavaa maakostea työmaabetonia ja näin ollen valmisbetoniasemien maakosteet betonimassat eivät kuulu tämän tutkimuksen ja työn piiriin.

Työhön tarvittavan teoriaosuuden kerääminen sekä yhteistyö ohjausryhmän urakoitsijoiden kanssa alkoi syksyllä 2022. Teoriatieto kerättiin tutustumalla alan kirjallisuuteen, tuotevalmistajien materiaaleihin, ohjeisiin, työselosteisiin sekä vaurioraportteihin ja -lausuntoihin. Kesän ja syksyn 2023 aikana tehdään työhön tarvittavat laboratoriotestit projektin yhteistyöyritysten kanssa. Laboratoriotestejä varten ohjausryhmään kuuluvat lattiaurakoitsijat tekevät ennalta sovitun määrän koekappaleita, joista puolestaan tehtiin laboratoriotutkimussuunnitelman mukaiset näytekappaleet. Näytekappaleet ja laboratoriotestaus tehtiin pääkaupunkiseudulla Sweco Finland Oy:n akkreditoidussa betonilaboratoriossa.

Laboratoriotestien lisäksi on syksyn 2023 aikana tarkoitus selvittää maakostean työmaabetonin ilmatiiveyden tutkimisen vaihtoehtoja joko laboratoriossa tai työmaalla niin sanottuna kenttätestinä. Kenttätestaus on tarkoitus toteuttaa projektin ohjausryhmään kuuluvan lattiaurakoitsijan toimesta heidän yhteistyöurakoitsijansa kohteessa Pääkaupunkiseudulla.



### 1.3 Työn tilaaja ja ohjausryhmä

Opinnäytetyön virallisena toimeksiantajana ovat Sweco Finland Oy sekä Suomen Betonilattiayhdistys ry. Suomen Betonilattiayhdistyksen (BLY) tarkoituksena on kehittää betonilattioiden valmistusmateriaaleja ja valmistusmenetelmiä sekä edistää yleistä tietoisuutta betonilattioiden valmistuksesta ja suunnittelusta. Yhdistyksen tarkoituksena on myös toimia yhdyssiteenä lattiamateriaalien valmistajien ja lattiaurakoitsijoiden välillä sekä välittää tietoa eri lattiarakenteista ja niiden ominaisuuksista lattiaurakoitsijoille, eri viranomaisille sekä tutkimuslaitoksille. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2022.)

Sweco Finland Oy on yksi Suomen suurimmista suunnittelu- ja konsulttialan yrityksistä, joka toimii Suomen lisäksi useissa eri maissa, kuten kaikissa Pohjoismaissa sekä Keski- ja Länsi-Euroopassa. Euroopassa Sweco on suurin konsulttialan yritys. Konsernin muihin palveluihin kuuluu infra-, energia-, teollisuus-, project management (PM) sekä arkkitehtuurisuunnittelu. Suomessa Sweco toimii 25 paikkakunnalla ja sen palveluksessa on yli 2000 työntekijää. (Sweco 2023.)

Suomen Betonilattiayhdistyksen sekä Sweco Finland Oy:n lisäksi työn tekemistä varten kerättiin ohjausryhmä, johon kuului maakostean työmaabetonin tekijöitä Suomesta. Yhteistyökumppaneita olivat Heikkinen Yhtiöt Oy sekä Bekason Oy. Molemmat kyseisistä yrityksistä toimii pääasiassa Etelä-Suomen alueella ja ovat erikoistuneet muun muassa työmaabetonin valmistamiseen.

## 2 MAAKOSTEA BETONI

Euroopassa ja ennen kaikkea Saksassa, maakostean työmaabetonin käyttö lattiabetonina on ollut viime vuosikymmeninä Suomea huomattavasti runsas lukuisempaa. Suurin osa Suomeen tulleista maakostea betonista koskevista työ- ja suunnitteluohjeista on peräisin Saksasta, jossa ennen kaikkea työmaalla valmistettavan betonin menetelmä on tunnettu. Saksassa menetelmä tunnetaan nimellä Zementestrich, mikä tulee tuotteen saksankielisestä nimestä zement estrich ja suoraan käännettynä se tarkoittaa sementti- tai hiekkalaattaa. Suomessa työtapa kuuleekin tästä syystä monesti kutsutavan estrich-betoniksi tai työmaabetoniksi. Saksassa sen käyttöä säätelee Euroopan standardi DIN 18560-1:2021-02. Englanninkielinen nimitys maakostealle betonille on joko ”zero-slump-, no-slump-, earth moist- tai dry mix concrete”. Työmaabetonin lisäksi maakostea betonista voidaan valmistaa ja tilata valmisbetoniasemilta tai tehdä pieniä määriä suoraan säkkitavarana perinteisin menetelmin. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2021, 1.)

### 2.1 Historia ja käyttö muualla maailmassa

Betonin valmistuksen merkittävin vaihe liittyy pitkälti 1800-luvun puoliväliin, jolloin Portland-sementti keksittiin. Tämän jälkeen betonin käyttö alkoi nopeasti yleistymään, kun vuonna 1900 Pariisin maailmannäyttelyssä kerrottiin ensimmäisen kerran betonin käytöstä rakennusten rungossa. Suomessa ensimmäiset betonirakenteet olivat siltarakenteita 1900-luvun alussa ja niistä betonin käyttö siirtyi vaiheittain myös muualle rakentamiseen varsinkin ensimmäisten betoninormien laatimisen jälkeen 1929. Alapohjarakenteissa betonin käyttö alkoi tiettävästi 1900-luvun puolivälissä ja 1970-luvun jälkeen maanvaraisten lattioiden osuus alapohjarakenteena kasvoi huomattavasti. (Betoni; Sisäilmäyhdistys ry.)

Maakostean betonin käyttö on tiettävästi aloitettu samoihin aikoihin normaalin betonin kanssa 1800-luvulla, jolloin sitä käytettiin ennen kaikkea koriste-esineiden ja figuurien valmistukseen rakennusten julkisivuissa. 1800-luvun viimeisillä vuosikymmeninä Euroopassa ja Yhdysvalloissa maakostea betonia alettiin käyttämään enemmän tierakenteiden päällysteinä ilmapyörien keksimisen jälkeen. Alkuun käyttö oli vähäisempää, kunnes lentoliikenteen kehityksen ja sotavuosien jälkeen käyttömäärät laajenivat ennen kaikkea lentokentän infrarakentamisessa. (Pulko 2019, 30; Tielaitos 1994.)

Suomessa maakostean betonin käyttö alkoi tiettävästi 1920–1930-lukujen taitteessa yhdessä kevyt-betonin tulon kanssa Suomeen. Tuolloin myös infrarakentamisen betonipäällysteissä käytettiin maakostea betonia, jolloin osa pääkaupunkiseudun isoimmista teistä tehtiin betonipintaisina. Vasta sotavuosien jälkeen betonin käyttö yleistyi Suomessa teiden betonipäällysteinä ja lentokenttien tasorakenteissa rullaus- ja kiitoteillä. Tänä päivänä betoniteitä ei Suomessa enää juurikaan rakenneta, mutta satamissa ja lentokentillä betonipäällysteiden käyttö on vielä tänäkin päivänä yleistä. (Tielaitos 1994; Teknillinen korkeakoulu, Arkkitehtuurin laitos 2010, 6.)

Maailmalla maakostean betonin käytön määrä on Suomea laajempaa. Yhdysvalloissa maakosteasta betonista tehdään esimerkiksi betonipäällysteitä, pihakiviä, maanvaraisia laattoja ja viemäriputkia. Euroopassa rakennusten alapohjissa maakostea betonia käytetään ainakin Saksassa, Itävallassa, Sveitsissä, Ranskassa, Irlannissa ja Hollannissa, missä käytettävä betoni on juuri työmaabetonia.

Maanvaraisten lattioiden lisäksi ainakin Hollannissa valmisbetoniasemat myyvät erikseen toimitettuina maakostean betonimassan raaka-aineet oikein punnittuina, minkä jälkeen he antavat asiakkaalle reseptin massan valmistukseen. (Grönthal 2023.)

## 2.2 Maakostean betonin laatu ja CE-merkintä

Suomessa betonirakentamisen ja -rakenteiden laatua valvoo rakennusvalvontaviranomainen käyttäen apunaan eurooppalaisia betonistandardeja, maankäyttö- ja rakennuslakia, ympäristöministeriön asetuksia kantaville rakenteille, tyyppihyväksyntäasetuksia sekä varmennustodistusten arviointiperusteita. Näiden lisäksi rakennustuotteille on säädetty niin sanottu EU:n rakennustuoteasetus (N:o 305/2011) eli CE-merkintä. CE-merkinnän tavoitteena on parantaa tuotteiden vapaata liikkuvuutta Euroopan Unionin sisällä, mutta sen keskeisempänä tarkoituksena on kertoa käytettävien tuotteiden perusominaisuuksista, valmistuksen laadunvalvonnan vaatimuksista ja CE-merkinnän edellytyksen perusteista. CE-merkintä on pakollinen kaikille rakennustuotteille, joilla on olemassa oleva harmonisoitu tuotestandardi. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 178; Asetus 2011/305/EU: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta, 114 artikla.)

Eurooppalaisen betonistandardi SFS-EN 206:2014 määrittää yleisesti betonien vaatimustenmukaisuudesta ja laadunvalvonnasta. Siellä laadunvalvonnasta sanotaan seuraavaa: ”Kaikkeen betoniin on kohdistuttava valmistajan vastuulla oleva laadunvalvonta, mikä käsittää kaikki ne toimenpiteet, jotka ovat tarpeen pitämään betonin ominaisuudet määrittelyssä esitettyjen vaatimusten mukaisina” (SFS-EN 206:2014, 53). Sama standardi jakaa betonit ja niiden laadunvalvonnan kolmeen eri kategoriaan, ominaisuuksien mukaiseen-, koostumuksen mukaiseen- ja standardikoostumuksen mukaiseen betoniin. Kaikkien kolmen betonilajin kelpoisuus osoitetaan yleensä kohdekohtaisesti rakennusvalvontaviranomaisen vaatimusten mukaan tuotehyväksyntälain 954/2012 sekä Ympäristöministeriön asetuksen 555/2013 mukaisesti. (SFS-EN 206:2014, 40; Suomen Betoniyhdistys ry 2023.)

Ominaisuuksien mukaisen betonin, eli lujuusluokiteltu betoni, valmistuksen laadunvalvonta käsittää betonin osa-aineiden laadunvalvonnan, tuoreen betonimassan ja kovettuneen betonin vaatimustenmukaisuuden osoittamisen. Näiden lisäksi laadunvalvonnan on käsitettävä työmaalla valmistettavan betonin ja valmiiden rakenteiden valvonnan. Standardikoostumuksen mukainen betoni taas tarkoittaa, että betonin koostumus on esitetty käyttöpaikalla voimassa olevassa standardissa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023.)

Koostumuksen mukainen betoni puolestaan tarkoittaa, että betonin valmistaja vastaa betonille määritellyn koostumuksen ja käytettyjen osa-aineiden täyttymisestä. Tästä syystä maakosteiden betonimassojen laadunvalvonta tapahtuu standardin SFS-EN 13813-2002 ja 13892-1...8 määrittämiä noudattaen. Standardi 13813 on tarkoitettu tasoitemassojen ja lattiatasoitteiden yleisten ominaisuuksien ja laatuvaatimusten ilmoittamiseen ja standardi 13892 määrittelee testaustavat tasoitteiden testauksille. Näiden mukaan koostumuksen mukaisten betonien valmistajan on vastattava käytettävien osa-aineiden ja betonin oikean koostumuksen oikeellisuudesta ja siitä, että betonissa käytettävät raaka-aineet ovat CE-merkittyjä standardien EN 197-1 (sementti), EN 12620 (kiviaines), EN 1008 (vesi)

sekä EN 934-2 (seos- ja lisäaineet) mukaan. (Ympäristöministeriö 2023; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2021, 1.)

Standardi SFS-EN 206 määrittelee lisäksi koostumuksen mukaisille betoneille niiden perusvaatimukset, jotka betonin valmistajan tulee esittää ennen betonin toimitusta. Valmistettujen betonierien raaka-ainemäärien täytyy täyttää SFS-EN 206 mukaiset toleranssit punnituksille. Koostumuksen mukaisen betonin määrittelyn perusvaatimukset ovat

- sementtilaji ja -lujuusluokka
- sementtimäärän tavoitearvo ( $\text{kg/m}^3$ )
- mahdollinen seosainemäärä ( $\text{kg/m}^3$ ) ja seosainetyyppi
- raudoituskuitujen määrä ja -tyyppi
- kiviaineksen maksimiraekoko ja -laatu
- vesi-sementtisuhteen tavoitearvo tai notkeus
- vesimäärä ( $\text{l/m}^3$ ) (SFS-EN 206, 41; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2016, 11.)

Perusvaatimusten ilmoittamisen lisäksi SFS-EN 13813-2002 määrittää laadunvalvonnan kannalta velvoitettavat kohdat. Nämä on ilmoitettu taulukossa 1 olevat puristus- ja taivutusvetolujuuden sekä kulutuskestävyyden tarkastaminen. Puristus- ja taivutusvetolujuuskokeet voidaan suorittaa standardien mukaan niin sanottuna Prisma-kokeina, joiden toteutuksesta on kerrottu kappaleessa 3.13. Kulutuskestävyyden tarkastaminen on velvoittava vain, jos pinta jää kulutuspinnaksi. Koska maakosteet lattiat tulevat yleensä pinnoitettaviksi, on yleensä hyödyllisempää tarkastaa betonipinnan tartuntavetolujuus kulutuskestävyyden sijaan. Muita valinnaisia testauskohtia ovat esimerkiksi pinnan kovuus, sitoutumisaika, kutistuma, leviämä, pH-arvo, kimmokerroin ja iskunkestävyys. (SFS-EN 13813-2002, 8.)

TAULUKKO 1. Tasoitteet ja niiden testit (SFS-EN 13813-2002)

Tasoite, jonka sideaine on	puristuslujuus	taivutusvetolujuus	Böhmen kulutuskestävyys	BCA kulutuskestävyys	pyörivän tuolin pyörän kestävyys	pinnan kovuus	tunkeumakovuus	pyörivän tuolin pyörän kestävyys, kun tasoite on päällystetty lattianpäällysteellä	sitoutumisaika	kutistuma ja paisuma	leviämä	pH-arvo	kimmokerroin	iskunkestävyys	tartuntalujuus
Sementti	N	N	N <sup>a</sup> (yksi kolmesta)			O	–	O	O	O	O	O	O	O <sup>a</sup>	O
Kalsium-sulfaatti	N	N	O	O	O	O	–	O	O	O	O	N	O	–	O
Magnesiitti	N	N	O	O	O	N <sup>a</sup>	–	O	–	O	O	O	O	–	O
Asfaltti-mastiksi	–	–	O	O	O	–	N	O	–	–	–	–	–	–	–
Synteettinen hartsi	O	O	–	N <sup>a</sup> (yksi kahdesta)		O	–	O	–	O	O	–	O	N <sup>a</sup>	N
<b>Merkinnät</b>															
N Velvoittava															
O Valinnainen tarvittaessa															
– Ei ole tarpeen															
<sup>a</sup> Vain tasoitteelle, joka on tarkoitettu kulutuspinnaksi															

## 2.3 Valmistusmenetelmät ja työstettävyys

Maakostean betonin valmistustapoja on neljä erilaista

- työmaalla valmistettuna tarkoitukseen soveltuvalla sekoitinautolla (automatisoitu työmaabetoni)
- työmaalla valmistettuna siihen soveltuvalla betonimyllyllä (perinteinen työmaabetoni)
- valmisbetoniasemilta tilattuna (valmisbetoni)
- käsin säkkitavarasta (pihabetoni).

### *Automatisoitu, paikalla valmistettu, työmaabetoni*

Työmaalla, erillisellä sekoitin- ja pumppausyksiköllä, valmistettua maakostea betonია, voidaan kutsua niin sanotuksi automatisoiduksi työmaabetoniksi. Tämä sekoitetaan vielä tänäkin päivänä perinteisesti betonimyllyllä valettavaan maakosteaan betoniin. Tämä on aiheuttanut epäselvyyksiä maakostean työmaabetonin käytöstä ja sen ominaisuuksista. Automatisoitu työmaabetoni valmistetaan siihen suunnitellulla valuyksiköllä, jossa toimintaperiaate on vastaava kuin valmisbetoniasemalla. Massan valmistus tapahtuu täysin tietokoneohjatusti ja automaattisesti, missä valuyksikkö punnitsee raaka-aineet jopa 100 g tarkkuudella suoraan työmaalla sen omalla laitteistollaan. Valmistusyksikkö ajetaan työmaalle, jossa ajoneuvoon kytketään vesi sekoitusta varten. Muutoin yksikkö on täysin omavarainen, eli tarvittaessa kiviaines, sementti ja tarvittavat lisä- ja seosaineet tulevat yksikön mukana. Yhdellä täyttökerralla voidaan valmistaa 16 m<sup>3</sup> betonia ja maksimi valmistus- ja pumppausnopeus on 6 m<sup>3</sup>/h. Jos yhden kuorman määrä ei ole kohteeseen riittävä, voidaan valmistusyksikköön lisätä työmaalla raaka-aineita kuorma-autosta suoraan lastattuna. Hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi 3–4 m<sup>3</sup>/h on kuitenkin havaittu hyväksi nopeudeksi. Työn jälkeen asiakkaalle tulostetaan massasta raportti, josta ilmenee betonin osa-ainesmäärät ja valmistusresepti. (RT 103010 Maakostea betoni. Ohjekortti 2015, 1.)



KUVA 1. Maakostean työmaabetonin sekoitinauto (Korolainen 2023, CC BY-SA)

Betonin siirto valmistusyksiköstä tapahtuu yksikön omalla paineilmalevityskalustolla. Maksimaalinen siirtomatka voi olla jopa 120 m:n päähän yksiköstä. Työstettävyyden osalta maakostea työmaabetoni vaatii normaalia märkäbetonia enemmän käsityötä, sillä massa levitetään maahan käsin siirreltävän levityspöntön avulla, josta massaa siirretään aluksi lapioimalla tasaisemmaksi lattiaan. Tämän jälkeen lattian pinta oikaistaan mekaanisesti oikaisulaudan avulla, eli niin sanotusti ”prässätään” niin kauan, kunnes lattia on täysin suora ja sileä. Betonipinnan oikaisu on lattian laadun ja ulkonäön kannalta tärkein työvaihe, sillä huonosti tehtyä oikaisua ei pystytä enää laadukkaasti korjaamaan koneellisesti hiertämällä. Laudalla ”hiertämällä” pinta oikaistaan saman aikaisesti tasoittaen. Tarvittaessa lattian pintaan lisätään käsin pieniä määriä betonia halutun tasaisuuden aikaansaamiseksi. (RT 103010 Maakostea betoni. Ohjekortti 2015, 1.)



KUVA 2. Työmaabetonin massa siirretään betoniyksiköstä kohteeseen levityspöntön avulla (Bekason Oy).

Saman aikaisesti oikaisun kanssa pintaa aletaan hiertämään sen lopullisen tasaisuuden ja tiiveyden aikaan saamiseksi. Ilman lämpötila vaikuttaa on hiertämisen aloitukseen, sillä lämpimänä kesäpäivänä hierto voidaan aloittaa välittömästi oikaisun kanssa samaan aikaan. Myöhemmällä syksyllä, kun ilman kosteus on suurempi ja lämpötila matalampi, voidaan massan hiertämisen aloittamista siirtää jopa 0,5–1,5 tuntia levityksestä betonin koostumuksen mukaan. Maakostean betonin huomattavasti huokoisemman koostumuksen vuoksi, lattian oikea-aikaisella tiivistyksellä ja tiivistystekniikalla suurin yksittäinen vaikutus lattian saavuttamaan lujuuteen. Työmaabetonin kohdalla hiertämiseen käytetään yleisesti kevyitä levyhiertokoneita, joilla pyritään hiertämään suurin osa lattian pinta-alasta. Seinien ja tekniikan läpimenojen, esimerkiksi viemäreiden, reunat viimeistellään hiertämällä ne käsin ja näihin paikkoihin onkin tyypillisesti kiinnitettävä työskentelyssä enemmän huomiota. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

Ympäröivät valuolosuhteet on otettava tarkasti huomioon. Betonointia ei voida suorittaa taivasalla, vaan työ on suoritettava aina katon alla. Myös tuulisuus on otettava huomioon, jottei jo valmiiksi vähän vettä sisältävä massa pääse työstön aikana liikkua kuivumaan. Etuna pienestä vesimäärästä ja ilmanpaineella toimivasta pumppaustekniikasta on se, ettei maakostea massa roisku märkäbetonin tavoin sitä pudottaessa maahan. Tämän vuoksi vastaavaa suojausta seiniin yms jääviin rakenteisiin



ei välttämättä ole tarpeen tehdä. Kuitenkin useat lattiaurakoitsijat tekevät suojaukset seiniin ja varsinkin ikkunoihin kaiken varalta ja myös siksi, että valettu lattiatala täytyy valun jälkeen saada tuuletomaksi liian nopean kuivumisen välttämiseksi. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)



KUVA 3. Maakostealla betonilla levitys ja hierto voidaan toteuttaa samaan aikaan. Hiertämisessä käytetään yleisesti levyhiertokoneita (Bekason Oy).

Lattiavalun jälkeen putkistot ja työvälineet pestään työmaalla valmistusyksikön omalla puhdistusvälineistöllä. Puhdistusten jälkeen työmaalle jää keskimäärin 10 litraa jätebetonia, mikä on käytännössä hyvin vähän verrattuna märkäbetonilla tehtyihin lattiavaluihin. (RT 103010 Maakosteaa betoni. Ohjekortti 2015, 1.)

#### *Perinteinen paikalla valmistettu työmaabetoni*

Työmaalla voidaan valaa maakosteaa betonia myös perinteisemmällä menetelmällä siihen soveltuvalla betonimyllyllä. Työtapa on vielä tänä päivänä yleinen esimerkiksi kylpyhuoneiden kaatovaluissa. Tässä työmenetelmässä massan valmistuksen ja valun voi suorittaa jopa kohteen pääurakoitsija itse pienemmissä kohteissa. Tämä väistämättä on aiheuttanut laadun heittelyä, mikä on osittain aiheuttanut maakostean työmaabetonin arvostelua. Työtavassa käsin lapioitavat raaka-aineet laitetaan suoraan kentältä myllyyn, josta myllyn oma järjestelmä siirtää valmiin massan käytettäväksi rakennukseen. Tämän työtavan heikkoutena on annostelumäärien ja massan laadun vaihtelu, sillä raaka-aineiden annostelu tapahtuu puhtaasti kokemuspohjaisesti. Raaka-aineiden, eritoten kiviaineksen, laadusta ei myöskään voida olla täysin varmoja, sillä se tuodaan yleensä työmaalle reilusti ennen massan valmistusta. Myös säilytys tapahtuu monesti taivasalla tai kevyesti kevytpeitteillä suojaten.

Valuolosuhteet, ennen kaikkea talvi ja pakkanen, heikentävät massan laatua, kun kiviaines voi paakkuuntua ja mukana massaan menee jäätä ja lunta. (Husu 2019, 15–16.)



KUVA 4. Perinteisen työmaabetonin betonimylly (Husu 2019)

### *Valmisbetoni*

Maakostea betonia voidaan valmistaa myös betoniasemilla ja moni betonitoimittaja tarjoaakin valikoimissaan lujuusluokitellun märkäbetonin lisäksi maakosteaan betonimassaa. Lähtökohtaisesti betoniasemilta tilattava maakostea betoni on tarkoitettu muuhun kuin lattiabetoniksi, esimerkiksi piha-attojen kiinnitysalustaksi. Tämän vuoksi sitä kutsutaan myös asennusbetoniksi.

Yleensä samat betoniasemat, jotka toimittavat märkäbetonia, tarjoavat valikoimissaan maakostea massaa, sillä samalla betonisekoitintyyppi soveltuu molempien massojen valmistukseen. Valmistuksen laadunvalvonta eroaa kuitenkin massojen välillä. Maakostean valmistuksessa seurataan ainakin sekoitusaikaa, käytettävien kiviainesten kosteuksia, betoniannoksien maksimi- ja minimikokoja sekä massan notkeutta betonitehtaan vastuslukemilla. Jokaisesta betonierästä tehdään annosraportit, josta on käytävä ilmi käytettyjen osa-aineiden annosmäärät. Nämä raportit betonivalmistaja on velvollinen säilyttämään vähintään 10 vuoden ajan mahdollisten laatu poikkeamien kartoittamiseksi. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2016, 13–14.)

Maakostean betonin sekoitus ja kuljetus poikkeaa normaalista betonista. Liiallista massan sekoitusta on vältettävä, jottei maakosteasta massasta tule liian epähomogeenistä. Tämän vuoksi betonin sekoitusta tulee välttää kuljetuksen aikana ja suositeltavaa olisikin tehdä betonin kuljetus työmaalle allas- tai lava-autoilla kuten kuvassa 5. Suomessa tämä tapa on vähemmän käytössä ja lavakuljetuksessa massa on syytä suojata huolellisesti lavapeitteillä, jottei auringonvalo tai muut ympäröivät olosuhteet pääse muuttamaan massan ominaisuuksia. Kuljetusmatka on oltava maakostealla normaalia lyhyempi, mikä myös sanelee reunaehdoja tuotteen käytölle. Maksimaalinen levitys ja työstöaika maakostealle on kaksi tuntia massan valmistamisesta. Aikaa lyhentää nopeasti massan ominaisuuksien muutokset, joita liiallinen sekoittaminen tai olosuhdetekijät voivat aiheuttaa. Tällöin vaarana on massan liiallinen kuivuminen ennen tiivistystä ja tätä seuraava lujuuskato. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2016, 13–14.)





KUVA 5. Maakostean valmisbetonin lyhyeen siirtoon paras vaihtoehto on joko niin sanotun allasauton tai kuorma-auton lava, mutta huolellinen suojaus on tehtävä siitä huolimatta (Tecwill).

### *Pihabetoni*

Maakostea betonia voidaan valmistaa myös pieniä määriä käsin rautakaupoista saatavilla olevista säkkitarvotteista. Monesti tällaisesta betonista kuulee käytettävän nimitystä pihabetoni. Työstötapa soveltuu vain pieniin, ei-rakenteellisiin valuihin. Tyypillisiä ovat pihakivien asennukset, aitojen ja porttien perustukset. Valmistus tapahtuu joko perinteisesti betonimyllyllä tai lapio- tai porakonekoituksella. (Weber.)

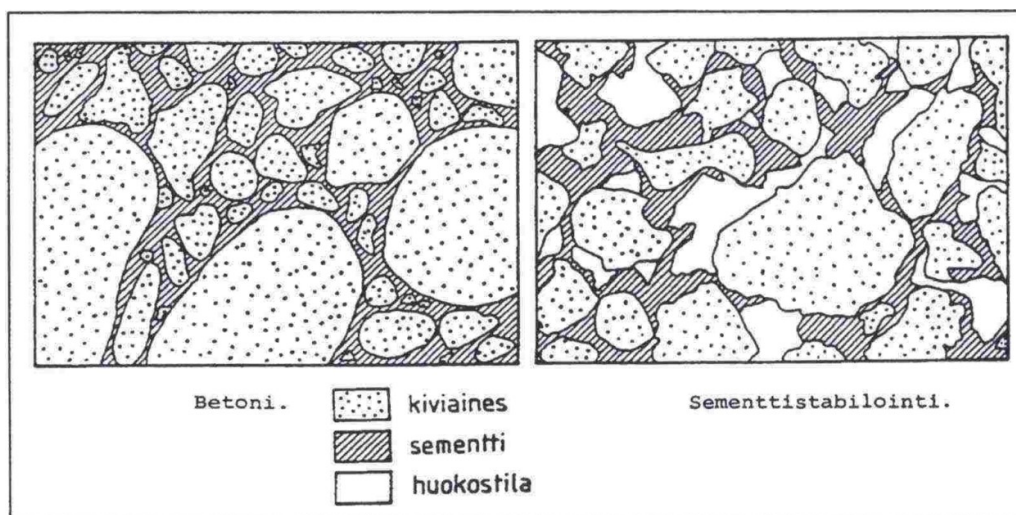
## 2.4 Massan koostumus

Oli valmistustapa mikä tahansa edellä mainituista, koostuu maakostea betonimassa kiviaineksesta, vedestä, sementistä ja pienistä määristä seosaineita. Betonin lisäaineiden käyttö on vähäistä, mutta jotkin valmistajat voivat tuotteissaan käyttää hieman notkistinta. Maakosteassa betonissa massan oikea koostumus on olennaisin tekijä betonin lujuuden kehitykseen yhdessä tiivistyksen sekä oikean levityksen kanssa. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

Vesi-sementtisuhde on valmistusmenetelmästä mukaan 0,3-0,5 ja sen ohjeellisena vaihteluvälinä voidaan pitää +/- 0,04 yksikköä. Maakosteilla valmisbetoneilla v/s-suhde on pienempi, 0,3–0,4, kuin työmaabetoneilla vastaava arvo on 0,45–0,5. Työmaabetonien hieman korkeammalla v/s-suhteella varmistetaan paremman työstettävyyden saavuttamisesta. Vastaavasti märkäbetoneilla yleisenä maksimiarvona on yleisesti pidetty 0,7. Tällöin kokonaisvesimäärä normaaleilla lattiabetoneilla on luokka 160–210 l/m<sup>3</sup>, kun maakosteilla vastaava kokonaisvesimäärä on 100–130 l/m<sup>3</sup>. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2016, 10.)

Kiviaineena käytetään maksimissaan 8 mm erikoisseulottua luonnon- tai murskattua kiviainesta. Hieno kiviaines, 0–4 mm, on helpompaa työstää ja pumpata työmaalla. Tärkeää on kiviaineksen tasalaatuisuus, jotta massan koostumus saadaan oikeaksi. Maakostealla tämä on kriittisempää, kuin märkäbetonilla, sillä sideaineen määrä maakosteassa massassa on märkäbetonia vähäisempi. Käytettävän kiviaineen tulee täyttää standardin EN-12620 vaatimukset. Sideaineen, eli sementin, tulee puolestaan täyttää standardin EN-197-1 vaatimukset. Sementtinä voidaan yleisesti suositella CEM I/II 42,5-52,5 luokan sementtejä, mutta monet betonivalmistajat ovat valinneet kokemuseräisesti omaan tuotteeseensa toimivimman sideaineen. Myös niin sanottua raakasementtiä voidaan käyttää, minkä lujuusluokka on yleisesti >52,5. Yleisesti on ajateltu maakostean betonin sisältävän sementtiä 300–350 kg/m<sup>3</sup>, mutta määrä on yleensä huomattavasti vähäisempi. Tähän vaikuttaa olennaisesti käytettävä sementtityyppi. Mitä korkeampi on sementin lujuustaso, sitä vähäisempi on sen määrä. Massan riittävä lujuustaso saavutetaan sementtimäärää kasvattamalla kuutiota kohden. Betonintuottajat ja -valmistajat tietävät omien kokemustensa pohjalta parhaiten sopivan rakeisuus- käyrän käyttämilleen raaka-aineille ja niissä saattaa valmistajakohtaisesti olla jonkin verran eroja sekä sementtilaadussa että -määrässä. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2016, 10–13; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2021, 1.)

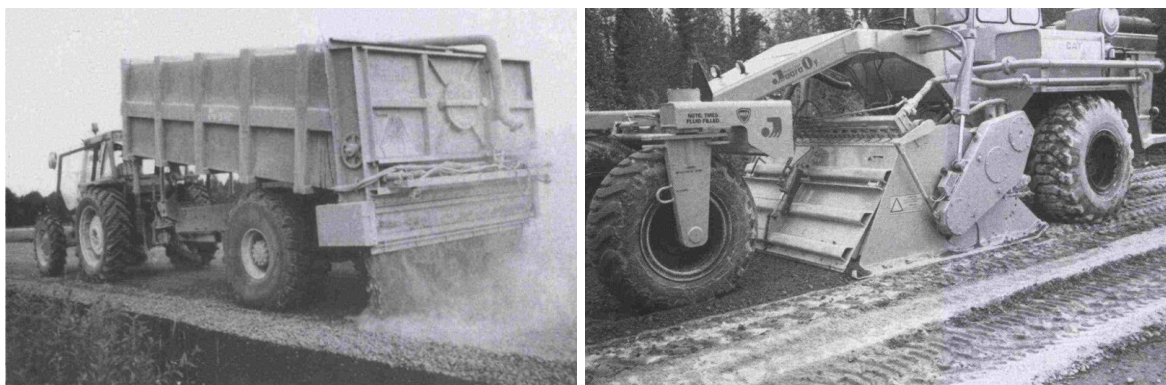
Maakosteaa betoni on normaaliin lattia- tai rakennusbetoniin verrattuna hyvin huokoista, mikä johtuu sen pienestä vesimäärästä. Rakennusbetonien huokoisuus on yleensä 1–2 %, kun maakostealla vastaava lukema voi olla 10 %. Kuvassa 6 näkyy normaalin lattiabetonin ja maakostean betonin ero, mistä huomataan maakostean selkeästi suuremmat huokostilat. Tämän vuoksi erillisiä huokoistimia ei lisäaineina tarvita vaan pääasiassa massassa käytettävät lisäaineet ovat joko työstettävyyttä tai tiiveyttä parantavia. Maakosteissa valmisbetoneissa voidaan käyttää myös jonkin verran hidastimia, jotta työstöaikaa voidaan kasvattaa. Käytettävien lisäaineiden on täytettävä standardin EN 934-2 vaatimukset. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 72; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2021, 1.)



KUVA 6. Normaalin rakennusbetonin ja maakostean betonin ero (Tielaitos 1998)

## 2.5 Yleisimmät käyttökohteet

Viime vuosina Suomessa jopa rakennusalan ammattilaisten keskuudessa on ollut uskomus, että maakostea betoni soveltuu pääasiassa vain erilaisiksi infrarakentamisen betonipäällysteiksi tai mosaiikkibetoni- ja pihalaattojen kiinnitysmassaksi. Infrarakentamisessa käytetyt betonipäällysteet maakostealla massalla ovat perinteisesti olleet maabetoni, jyräbetoni sekä muut erilaiset betonipäällysteet. Erona näissä on ollut käytettävän betonimassan ominaisuus, levitys- ja tiivistystekniikka sekä valittu käyttökohte. Betonipäällysteiden käyttö on kohteen mukaan hyvinkin toimiva ratkaisu, joskin niiden käyttö on viime vuosina vähentynyt merkittävästi. Maabetonia on käytetty laajasti Suomessa muun muassa erilaisissa teollisuuden raskaasti kuormitetuissa ulkokentissä tai teollisuuslattioiden alla tukemassa varsinaista betonilattiaa. Maabetonista käytetään myös nimitystä sementtistabilointi, mikä tarkoittaa heikkolaatuisen maa-aineksen ominaisuuksien muuttamista betonin sideaineen avulla, kuten kuvassa 7. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 541.)



KUVA 7. Maabetonin tekoa Panien-levittimellä sekä stabilointijyrsimellä (Rakennusaineteollisuusyhdistys 1988)

Jyräbetoni on puolestaan maakostea, raudoittamatonta, betonia, jota on vuosia käytetty teollisuuden latioissa. Jyräbetoni on pakkasenkestävää ja siinä sideaineen määrä on normaalia maakostea betonimassaa suurempi, jotta sen lujuutta saadaan kasvatettua. Lujuusluokka onkin tyypillisesti C40-C50. Levitys- ja tiivistys tapahtuu raskaalla kalustolla ja sen kuormituskestävyys on normaalia maakostea suurempi kestäen hyvin mekaanista rasitusta ja pistekuormia. Muita maakostealla betonilla tehtyjä betonipäällysteitä on paljon käytetty muun muassa raskaasti liikennöidyillä ajoväylillä. Näissä betonipäällyste on alttiina sää- ja kulutusrasituksille, mikä edellyttää betonimassalta kovaa kulutuskestävyysvaatimusta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 543–544; BY 37 Betonitekniikan oppikirja 1994, 1.)

Asuin- ja toimitilarakentamisessa mosaiikkibetonilaattalattiat ovat puolestaan olleet jo vuosikymmeniä myymälöiden, ostoskeskusten ja kauppojen suosittu lattiaratkaisu niiden helppohoitoisuuden ja kestävyysvuoksi. Näissä latioissa laattojen kiinnitys on monesti toteutettu maakostealla betonilla laattojen paremman tarttuvuuden vuoksi. Vastaava käytäntö on yleinen myös muissa Pohjoismaissa ja Euroopassa. Maanvaraisissa latioissa maakostean työmaabetonin käyttö on Suomessa ollut huomattavasti muuta Eurooppaa ja Baltian maita vähäisempää. Tämä johtuu osittain betoninormin mukaisesta luokittelusta, mutta myös ennakkoluuloista sekä tietämättömyydestä maakostean työmaabetonin ominaisuuksista. Nykyään jopa jotkin lattiaurakoitsijat tarjoavat tuotevalikoimissaan maa-

kosteaan betonilattiaa myös kovemmin rasitetuille tiloille, muun muassa autotalleihin ja jopa ulkoti-loihin. Tällaisiin paikkoihin valitaan pinnoitteeksi jokin tilan vaatimukset tai ulkona puhtaasti pakka-sen kestävä pinnoite. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2021, 2–3; Grönthal 2023; Kanto 2023.)

Yleisin käyttökohteeksi maakostealle työmaabetonille maanvaraisissa lattioissa ja alapohjarakenteissa ovat omakoti- ja rivitalojen sekä julkisen puolen koulujen-, päiväkotien- ja erilaisten liikekiinteistöjen maanvaraiset lattiat. Tällaisten kohteiden lattioihin ei kohdistu suuria kuormitusvaatimuksia tai me-kaanista rasitusta ja lähestulkoon aina asuinhuoneistojen lattiapinnat pinnoitetaan käyttäen esimer- kiksi kaakelia, laminaattia tai parkettia, jolloin betonipinnat saadaan piiloon. Näiden lisäksi maa- kostea työmaabetonia on käytetty myös ontelolaattavälipohjien pintabetonilaatoissa, kylpyhuonei- den kaatolattioissa sekä kelluvissa pintalaatoissa. Pintabetonoinnin ongelma maakostealla on työstön hitaus sekä uusien työtapojen yleistyminen, muun muassa hybridibetonointi. Etuna puolestaan on nopeampi kuivuminen sekä suojaamisen vähäisempi määrä. Varsinkin kylpyhuoneiden kaatolattioissa nopea kuivuminen on urakoitsijoita miellyttävä etu, mikä edesauttaa seuraavien työstövaiheiden no-peampaa edistämistä. Myös jotkin urakoitsijat ovat käyttäneet maakosteaa saneerauskohteiden ohuissa betonivaluissa. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2016, 14; Heikkinen 2023; Grönthal 2023.)

## 2.6 Käytön edut, -haasteet ja kustannukset

Märkäbetonin käytöllä lattiavaluissa on Suomessa lattiaurakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kesken pitkät perinteet, kun taas maakostean betonin käyttö lattiavaluissa harvinaisempaa ja sitä tekee Suomessa huomattavasti vähäisempi määrä urakoitsijoita. Betonien välisten ominaisuuksien erot onkin tiedostettava ja molemmille tuotteille löytyy selkeästi omat käyttötarkoitukset ja -kohteet. (Ecofloor 2018; Bekason 2019.)

Maakostealla työmaabetonilla valettujen betonilattioiden etuina voidaan pitää muun muassa

- betonimassan nopeaa kuivumista ja käyttöä kireän aikataulun kohteissa
- työstettävyyden ja työvaiheiden yksinkertaisuutta
- sementin vähäisempää määrää ja pienempää hiilijalanjälkeä
- suojaamisen vähäisempää tarvetta
- pölyämättömyyttä
- raudoituksen teoreettista vähäisempää tarvetta
- betonin pienempää kutistumaa
- jätebetonin vähäisempää määrää.

Taulukossa 2 on vertailtu 100 mm paksun maakostealla työmaabetonilla ja normaalilla lattiabetonilla tehdyn betonilaatan ominaisuuksia. Maakosteaa betonilattiaa saavuttaa riittävän pinnoituskuivuuden keskimäärin noin neljässä viikossa, kun valmisbetonilla vastaava aika lähentelee 10 viikkoa. Tämä johtuu maakostean vesi-sementtisuhteesta, joka on märkäbetoniin verrattuna huomattavasti pie-nempi. Pienemmän v/s-suhteen ansiosta betonilattian kutistuma on maakostealla pienempi kuin märkäbetonilla ja samoin myös riski halkeiluun on vähäisempi. (Ecofloor 2018.)

Betonin työstettävyyden eroa jonkin verran märkä- ja maakostean betonin välillä. Koska maakosteaa betoni on koostumukseltaan huomattavasti jäykempää perinteiseen lattiabetoniin nähden, voidaan sen eri työvaiheet, levitys, oikaisu ja hierto, suorittaa käytännössä samanaikaisesti ilman kuivumisen

ja kovettumisen odottamista. Jäykän koostumuksen ja työmaabetoniaseman ilmanpainelevitysjärjestelmän ansiosta myös valmiiden pintojen suojaamisen tarve on vähäisempää, kun betoni ei levittäessä roisku yhtä helposti. Maakosteaa betoni ei kuivuessaan myöskään muodosta laatan pintaan sementtiliimaa, jolloin pinnan viimeistä hierontaa ei perinteiseen tapaan tarvitse suorittaa. Lisäksi lattian pintaa ei yleensä tarvitse hioa, mikä vähentää haitallisen betonipölyn muodostumista. Jälkihoitotyö on maakostealla betonilla yksinkertaisempi, sillä betonin varhaisvaiheen jälkihoitoa ei tarvita. Betonin hiertämisen jälkeen varsinainen jälkihoitotyö suoritetaan kuumissa olosuhteissa muovikalvolla peittelemällä pinnat kauttaaltaan, mutta jos valuajankohta on myöhemmällä syksyllä ja jos kuivumisolosuhte saadaan tuulettomaksi ja vedottomaksi, ei muovituskaan välttämättä ole tarpeellinen. (Ecofloor 2018; Bekason 2019.)

TAULUKKO 2. Maakostean työmaabetonin ja valmisbetonin vertailu (Ecofloor Finland Oy)

Vertailussa 100 mm maanvarainen betonilattia normaali olosuhteissa		
	Maakosteaa betoni	Valmisbetoni
Pinnoituskuiva	4 vk	10 vk
Halkeilu ja käpristyminen	Ei	Kyllä
Vesi-sementtisuhte	alle 0,45	0,6
Kutistuma	3 ‰	5 ‰
Irrotuskaistat	Kyllä	Kyllä
Pintojen suojaus	Ei	Kyllä
Jätebetoni	10 l	Väh. 500 l
Hionta	Ei	Kyllä

Muista ominaisuuksista, muun muassa päästöluokan ja palonkeston, suhteen maakosteaa betoni ei eroa märkäbetonista. Maakosteaa betoni täyttää Rakennustietosäätiön asettamat M1-päästöluokan vaatimukset muiden betonien tavoin ja palonkeston suhteen betonit luokitellaan palamattomaksi rakennusmateriaaliksi luokkaan A1. (Betoni.)

Maakostealla työmaabetonilla tehtyjen lattioiden haasteina voidaan puolestaan pitää

- verrattain pientä päivittäistä työsaavutusta
- valuolosuhteen normaalia suurempaa herkkyyttä
- suppeampaa käyttöaluetta.

Päivittäinen työsaavutus maakostealla työmaabetonilla on 20–30 m<sup>3</sup>/päivä, mihin vaikuttaa lattiauraakoitsijan käytössä oleva kalusto sekä työryhmän tehokkuus. Käytännössä työsaavutus on käytettävän valuyksikön kiviaineksen maksimimäärä, minkä yhdellä täytöllä autoon saadaan mahtumaan. Tämän vuoksi työmaabetonilattioiden soveltuvuus on paras kohteissa, joissa ylimääräisiä työsaumoja tai auton täyttöä ei saavutettavuuden vuoksi tarvitse tehdä. Jos tiedetään, että kohteen lattia-pinta-ala on päivittäistä työsaavutusta suurempi ja tarvitaan erillisiä työsaumoja, on tämä hyvä ottaa huomioon saumojen paikoissa suunnitteluvaiheessa. (Ecofloor 2018; Bekason 2019.)

Valuolosuhteet on otettava maakostealla betonilla märkäbetoniin verrattuna tarkemmin huomioon. Koska vesi-sementtisuhte on maakosteassa pieni, ei massa saa kuivua levityksen ja työstön välissä.



Liiallinen massan kuivuminen aiheuttaa muutoksia sen ominaisuuksissa, jolloin massaa ei enää hier-  
tämällä saada riittävän tiiviiksi. Valettavien tilojen olosuhteet on siksi saatava tuulettomiksi ja lattiaa  
ympäröivän lämpötilan on oltava yli +10°C. Taivasalla maakostean lattian valaminen ei onnistu,  
koska muutoin betonimassa voi päästä kuivumaan liian nopeasti ennen työstöjä. Nykyään harvoin  
märkäbetonillakaan valettavia lattiaita tehdään enää taivasalla esimerkiksi tervetalo-ohjeistuksen  
vuoksi. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

Maakostean betonin kustannukset muodostuvat märkäbetonin tavoin raaka-aine kuluista, betonin  
kuljetuksesta, eri työstöistä sekä lattialaatan geometriasta ja -paksuudesta. Kustannukset jakautuvat  
märkä- ja maakosteilla massoilla hieman eri tavoin, esimerkiksi valua edeltävät työvaiheet ja raudoi-  
tuksen valmistelu ja -määrä ovat maakostealla vähäisempää märkäbetoniin verrattuna. Puolestaan  
maakostean levitys ja hierto on märkäbetonia hitaampaa, mikä maksaa taas enemmän koska päivit-  
täinen työsaavutus on vähäisempi. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

Taulukossa 3 on vertailtu vuodelta 2022 Rudus Oy:n valmistaman maakostean valmisbetonin ja nor-  
maalin lattiabetonin hintoja keskenään. Taulukossa maakostea valmisbetoni oli hieman märkäbeto-  
nia kalliimpaa, kun vertaillaan esimerkiksi perinteistä C25/30 lujuusluokan lattiabetonia 16 mm ki-  
viaineskoolla ja S2 luokan notkeudella vastaavaan 300–350 kg/m<sup>3</sup> sementtiä sisältävään maakoste-  
aan betoniin. Taulukon betonien hinnoista voidaan tehdä johtopäätös, että molempien massojen  
hinnoissa sementin määrä vaikuttaa betonin m<sup>3</sup>-hintaan eniten. (Rudus 2022.)

Raudoitusta maakostea betoni tarvitsee teoriassa märkäbetonia vähemmän, koska koostumuksen  
mukaisen betonin raudoittaminen ei edellytä minimi raudoitusehtojen täyttämistä vaan raudoituksen  
määrä on kokemuseräinen. Käytännössä kuitenkin raudoituksen määrää ei suunnitellusta lähdetä  
muuttamaan, vaikka massa vaihdettaisiin märkäbetonista maakosteaan. Kuljetuksien kustannukset  
valmisbetonien osalta sekä märkä- että maakosteilla massoilla ovat samat, koska yleensä hinnoittelu  
muodostuu ajokilometrien mukaan ja tällöin hinta syntyy valmisbetoniaseman sijainnin mukaan.  
Työmaabetonin osalta erillisiä kuljetuskustannuksia ei juurikaan ole, jollei autoa jouduta täyttämään  
välillä työpäivän aikana. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

TAULUKKO 3. Normaalin lattiabetonin ja maakostean valmisbetonin m<sup>3</sup>-hinnat 2022 (Rudus 2022)

LUJUUS- LUOKKA	MAX. RAE	NOTKEUSLUOKKA					
		S2		S3		S4	
		ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %
C25/30	# 08	145,77	<b>180,75</b>	151,84	<b>188,28</b>	163,99	<b>203,35</b>
	# 16	132,52	<b>164,32</b>	138,04	<b>171,17</b>	149,08	<b>184,86</b>
	# 16h	139,13	<b>172,52</b>	144,94	<b>179,73</b>	156,53	<b>194,10</b>
	# 32	125,89	<b>156,10</b>	131,12	<b>162,59</b>	141,61	<b>175,60</b>

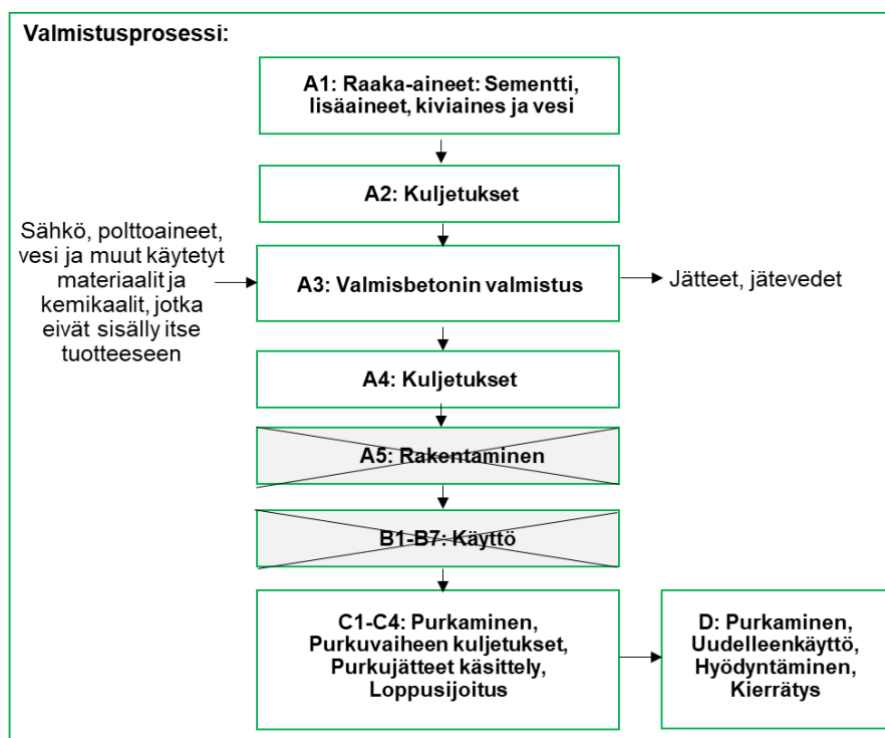
#### MAAKOSTEA BETONI

RAE- KOKO	SIDEAINEMÄÄRÄ KG/M <sup>3</sup>											
	200		250		300		350		400		450	
	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %	ALV 0 %	ALV 24 %
# 08	135,83	<b>168,43</b>	145,69	<b>180,66</b>	161,90	<b>200,76</b>	178,08	<b>220,82</b>	194,29	<b>240,92</b>	210,45	<b>260,96</b>
# 16	135,83	<b>168,43</b>	148,68	<b>184,36</b>	165,21	<b>204,86</b>	181,72	<b>225,33</b>	198,23	<b>245,81</b>		

## 2.7 Hiilijalanjälki ja kestävä kehitys

Viime vuosina rakentamisessa ja betonirakenteissa on alettu entistä enemmän keskittymään kestävä kehityksen parantamiseen ja sitä kautta rakenteiden ja rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen pienentämiseen. Monesti rakentamisen kestävä kehitys mielletään CO<sub>2</sub>-päästöjä tuottavien rakennusmateriaalien vaihtamista ekologisempiin materiaaleihin. Kuitenkin kestävä kehitys on paljon laajemmin käsiteltävä kokonaisuus, joka on ennen kaikkea turvallisten, terveellisten, pitkäikäisten ja tarkoituksenmukaisten rakenteiden rakentamisen. Rakenteiden tarkoituksenmukaisuus on tärkeää, sillä järkevällä suunnittelulla voidaan vaikuttaa rakennuksen ja yksittäisen rakenteen pitkäikäisyyteen oleellisesti, kun osataan valita oikeanlainen rakenne oikean käyttötarkoituksen mukaan. Vaikka rakenne saadaan hiilijalanjälkilaskureilla näyttämään teoriassa miten hyvältä tahansa, ei se ole kovinkaan ekologinen, jos rakenne joudutaan purkamaan ja rakentamaan uudelleen puolet suunniteltua lyhyemmän käyttöajan jälkeen. Tämän vuoksi onkin järkevää jakaa rakenteet käyttöiän suhteen pysyviin ja vaihdettaviin rakenteisiin, joista pysyvät rakenteet mitoitetaan käyttöiän suhteen normien mukaan 50–200 vuotta mukaan. Betonilattiat voivat kuulua kohteen käyttötarkoituksen mukaan kumpaan tahansa luokkaan. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 142–147.)

Suomen hallituksen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraali Suomi vuoteen 2035 mennessä. Tämän takia rakentamisen hiilijalanjälkeä aletaan säätelemään vuodesta 2025 alkaen uuden maankäyttö- ja rakennuslain myötä. Tähän tarkoitukseen on kehitetty yhdenmukainen hiilijalanjälkilaskentamenetelmä, mikä perustuu rakennustuotteen ympäristövaikutuksiin sen koko elinkaaren ajalta. Laskenta pohjautuu SFS-EN 15804 + A1 & ISO 14040 & 14044 standardiin sekä RTS:n menetelmäohjeeseen. Arviointi sisältää kuvan 8 mukaiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta aina tuotteen purkamiseen ja kierrättämiseen saakka. (Salminen 2021.)

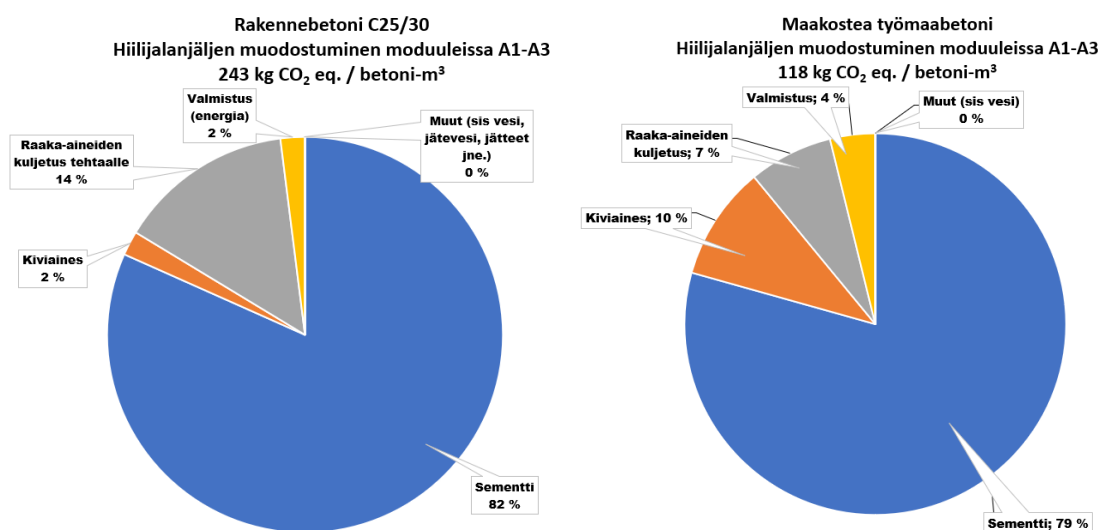


KUVA 8. Maakostean ja valmisbetonin valmistusprosessin elinkaariarvioinnin vaiheet ja rajat (Betoniteollisuus ry).

Betonien (valmis- ja maakosteat betonimassojen) valmistamisen ympäristökuormitukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan

- betonin raaka-aineista johtuvat (A1)
- betonituotteen kuljetuksesta johtuvat (A2-A4)
- betonituotteen valmistuksesta johtuvat ympäristökuormitukset (A3). (BY201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 146.)

Kuvassa 9 on vertailtu normaalin C25/30 rakennebetonin sekä maakostean työmaabetonin hiilijalanjäljen muodostumista moduuleissa A1-A3, eli massan valmistusvaiheessa. Kuvioista huomataan, että osuudet raaka-aineille, valmistukselle sekä kuljetukselle ovat hyvin samankaltaiset ja molempien betonien raaka-aineista ylivoimaisesti suurin osa muodostuvista ympäristöarasteista tulee sementin valmistuksesta. Sementin CO<sub>2</sub>-päästöarvo on luokkaa 600 kg-CO<sub>2</sub>/tn ja sen määrä on maakostealla ja märkäbetonilla lähes samankaltainen. Maakostealla betonilla kiviaineen muodostaman hiilijalanjäljen osuus on kuviossa märkäbetonia suurempi, mikä johtuu kiviaineen kuljetuksen osuudesta sekoitin- ja pumppuyksikön mukana. Seos- ja lisäaineiden osuus molemmissa betoneissa on ajateltu nolnaan, mikä ainakin maakostean osalta pitää paikkansa. Raaka-aineiden kuljetuksen osuus on noin puolet pienempi maakostealla työmaabetonilla. Tämä johtuu siitä, että työmaabetonoinnissa betonin kuljetuksesta syntyviä kustannuksia ei juurikaan ole. Ainoa kustannus on valuyksikön siirto työmaalle ja sieltä pois. Myös betoni ja mahdollisesti myös erillisen pumppuauton tyhjäkäynnin osuutta ei työmaabetonoinnissa ole, koska valuyksiköt on varustettu omalla moottorillaan, joka on tehokkaampi ja vähemmän kuluttavampi kuin kuorma-auton ajomoottori. Täysin sähköisten valuyksiköiden osuus on vielä urakoitsijoiden keskuudessa pieni, mutta niiden määrä tulevaisuudessa tulee lisääntymään entisestään. Näiden lisäksi työmaabetonointi ei aiheuta jätebetonia, joka pitäisi mahdollisesti kuljettaa erilliskuljetuksella pois työmaalta. (BY201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 146–150; Heikkinen Yhtiöt; Betoniteollisuus ry.)



KUVA 9. Normaalin C25/30 rakennebetonin (vasen) sekä maakostean työmaabetonin (oikea) hiilijalanjäljen muodostuminen valmistusvaiheessa (Betoniteollisuus; Heikkinen Yhtiöt Oy).



## 2.8 Maakostean työmaabetonin yleiset ominaisuudet

Maakostean työmaabetonin ominaisuuksista tiedetään normaalia märkäbetonia huomattavasti vähemmän. Tämä johtuu muun muassa sen kuulumisesta koostumuksen mukaisiin betoneihin, jolloin esimerkiksi betonin testaukselle ei ole samanlaisia vaatimuksia kuin lujuusluokitelluille betonimassoille. Betonin valmistajilla ja urakoitsijoilla on omaa kokemusperäistä ja testattua tietoa tuotteistaan, mutta tiedon jakaminen yleisesti on ollut vähäistä. Kuten luvussa 2.1 mainittiin, kuuluu maakostea työmaabetoni CE-merkinnän piiriin silloin, kun noudatetaan standardin SFS-EN 13813-2002 ja SFS-EN 13892 osien 1–8 mukaisia menettelyjä. Siellä laaduntarkkailun kannalta velvoittavia kohtia ovat puristus- ja taivutusvetolujuus sekä kulutuskestävyys, jos maakostean pinta jää paljaaksi. Muita tärkeitä ominaisuuksia muun muassa työstettävyyden kannalta ovat notkeus sekä valmiin lattian lopputuloksen kannalta betonin tiiveys ja pinnan riittävän tartuntalujuuden saavuttaminen. Kun noudatetaan standardia SFS-EN 13813-2002 maakostean betonin laadunvalvonnassa, voidaan maakostean betonin ominaisuuksia merkitä käyttäen standardissa ilmoitettuja, sementtipohjaisille tasoitteille tarkoitettuja lyhenteitä esimerkiksi CT-C20-F3. Lyhenteissä CT tarkoittaa sementtipohjaista tasoitetta, C saavutettua puristuslujuutta ja F saavutettua taivutusvetolujuutta. (SFS-EN 13813-2002, 9–12.)

### 2.8.1 Puristuslujuus ja tiheys

Lujuusluokiteltua betonia käyttävät betonirakenteet jaetaan puristuslujuuden mukaan eri lujuusluokkiin. Perinteisesti betonin puristuslujuus määritetään eurokoodien mukaan joko lieriö- tai kuutiokokeen avulla ja lujuusmerkinnässä ilmoitetaan yleensä molemmat arvot ( $f_{ck} / f_{ck,cube}$ ). Luokkaa ilmaistaan kirjaimella C, joka tulee englannin kielen sanasta "Cylinder". Yksikkönä lujuudelle käytetään MN/m<sup>2</sup> tai MPa. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 85.)

Maakostean työmaabetonin puristuslujuus määritellään puolestaan standardien SFS-EN 13813-2002 ja 13892–2 mukaan. Lyhennemerkintä on sama C, mutta tässä tapauksessa kirjain tulee englannin kielen sanasta "Compression". Standardissa puristuslujuuden testaus suoritetaan prismakokeena 160 mm x 40 mm x 40 mm koekappaleilla vähintään 28 vuorokauden iässä ja puristuslujuudet ilmoitetaan yleensä yksikössä MN/m<sup>2</sup> tai N/mm<sup>2</sup>. Taulukossa 4 on ilmoitettu sementtipohjaisten tasoitteiden luokkamerkinnot ja niitä vastaavat puristuslujuuksien arvot. Suomen Betonilattiyhdistyksen julkaiseman BLY-ohje 7 mukaisesti voidaan maakostean betonin puristuslujuutta pitää hyväksyttävänä, jos sen prismaisuus on vähintään 20 N/mm<sup>2</sup>. (SFS-EN 13813-2002, 9; SFS-EN 13892-2, 5–7; Suomen Betonilattiyhdistys 2021, 2.)

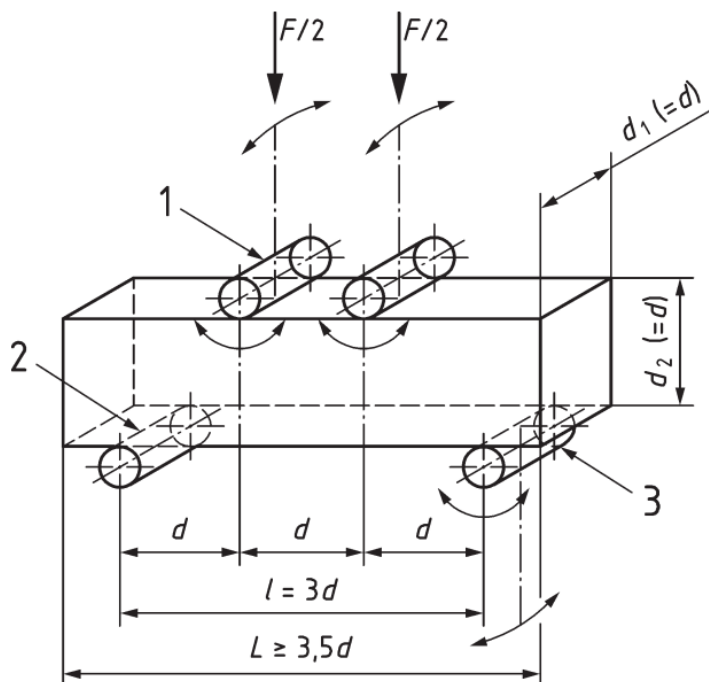
TAULUKKO 4. Tasoitteiden puristuslujuudet (SFS-EN 13813)

Luokka	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Puristuslujuus N/mm <sup>2</sup>	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Maakostean betonin tiheys eroaa normaalista märkäbetonista siinä, että tiheyden vaihtelu on yleensä massaerien välillä suurempaa märkäbetoniin verrattuna. Keskimääräinen tiheys on tyypillisesti luokkaa 1 800–2 300 kg/m<sup>3</sup>, mikä on hieman normaalia märkäbetonia pienempi.

## 2.8.2 Taivutusvetolujuus

Betonin vetolujuus ( $f_{ct}$ ) on todella heikko verrattuna puristuslujuuteen, noin 0,1 % puristuslujuudesta. Tämän vuoksi betonirakenteen vetolujuutta kasvatetaan betoniterästen avulla. Vetolujuuden määrittäminen on yleensä haastava toimenpide, jonka vuoksi normeissa määritellään pelkän vetolujuuden sijaan joko taivutusvetolujuus ( $f_{ct,fl}$ ) tai halkaisuvetolujuus ( $f_{ct,sp}$ ). Määrittely tapahtuu standardin SFS-EN 12390-5 mukaan yleensä 100 mm x 100 mm x 500 mm palkeilla 28 vuorokauden iässä kuvan 10 mukaisella testausmenetelmällä. Yksikkönä lujuudelle käytetään MPa tai N/mm<sup>2</sup>. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 89.)



KUVA 10. Taivutusvetolujuuden testausjärjestely (SFS-EN 12390-5)

Maakostean betonin taivutusvetolujuus määritellään puolestaan standardin SFS-EN 13892-2 mukaan ja sitä merkkäava kirjain on F, "Flexural". Lujuusluokanyksikkönä on N/mm<sup>2</sup>. Testaus tapahtuu puristuslujuuden tavoin prismakokeena 28 vuorokauden iässä. Taulukossa 5 on kerrottu sementtipohjaisen tasoitteiden luokkamerkinnot ja niitä vastaavat taivutusvetolujuuden arvot. Taivutusvetolujuuden hyväksyttävänä arvona BLY-ohje 7 mukaan voidaan pitää prismalujuutta, joka on maakostealla betonilla vähintään 3 N/mm<sup>2</sup>. (SFS-EN 13813-2002, 10; SFS-EN 13892-2, 5–7; Suomen Betonilattaiyhdistys 2021, 2.)

TAULUKKO 5. Tasoitteiden taivutusvetolujuusluokat (SFS-EN 13813)

Luokka	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Taivutusvetolujuus N/mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

### 2.8.3 Tartuntavetolujuus

Lujuusluokitellun betonin tartuntalujuuden määrittämiseen on kaksi standardia, SFS-EN 5445 ja SFS-EN 1542. Tämä standardit määrittävät kohtisuoran vetolujuuden joko betoni- tai tasoitekerrokselle. Luvun 3.10 taulukossa 15 on ilmoitettu eri rasitusluokista johtuvia vaatimuksia pinnan vetolujuudelle, mutta näiden lisäksi voi pinnoitevalmistajilla olla taulukosta poikkeavia vaatimuksia, jotka on aina otettava huomioon. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 42.)

Maakostean työmaabetonin tartuntavetolujuus ( $f_{rt}$ ) määritetään lujuusluokitellusta betonista poiketen standardin SFS-EN 13892–8 mukaan. Standardi on hyvin samanlainen standardiin 1542 nähden, mutta 13892–8 määrittelee käytettävän betonin koostumuksen hieman tarkemmin. EN 13892-8 betonin kiviaineksen maksimi raekoko saa olla enintään 10 mm, v/s-suhde 0,4 ja sementin määrä on oltava  $455 \text{ kg/m}^3$ . Standardi 1542 määrittelee ainoastaan käytettävän kiviaineksen maksimi raekoon 8–10 mm. Testausmenetelmä kaikissa standardeissa on kuitenkin samanlainen. Betonipintaan porataan näytteenotto kohtaan normin mukainen lieriö. Sen pintaan kiinnitetään liimaamalla teräksinen vetokappale, jota vedetään kohtisuorasti pois alustasta niin kauan, kunnes pinta irtaana. (SFS-EN 1542; SFS-EN 13892-8.)

Tartuntalujuutta merkataan kirjaimella B, joka tulee englannin kielen sanasta "Bond". Yksikkönä lujuudelle käytetään  $\text{N/mm}^2$ . Taulukossa 6 on ilmoitettu sementtipohjaisten tasoitteiden luokkamerkinät sekä niitä vastaavat tartuntalujuuden arvot. BLY-ohje 7 mukaisesti voidaan hyväksyttävänä tartuntavetolujuutena pitää vähintään tulosta  $0,8 \text{ N/mm}^2$ , joka on määritelty SFS-EN 13892-8 mukaan valmiista lattiasta kohtisuorana vetolujuutena. Testien ohjeellisena määränä on pidetty 1 kpl testejä jokaista alkavaa  $200 \text{ m}^2$  kohden tai tarpeen mukaan. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 42.)

TAULUKKO 6. Sementtipohjaisten tasoitteiden tartuntalujuusluokat, jos testaus tehty standardin SFS-EN 13892-8 mukaan (SFS-EN 13813)

Luokka	B0,2	B0,5	B1,0	B1,5	B2,0
Tartuntalujuus $\text{N/mm}^2$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0

### 2.8.4 Kulutuskestävyys

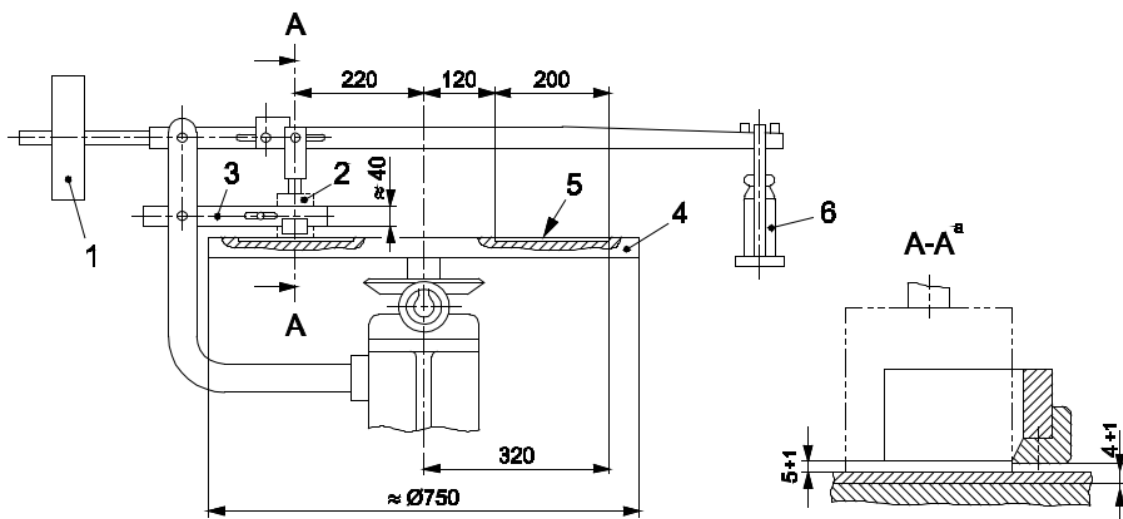
Betonilattioiden kulutuskestävyyden mittaaminen suoritetaan yleisesti standardin SFS-EN 13892-3 mukaisella Böhme-kokeella ja se on eniten Euroopassa käytetty betonilattian kulutuskestävyyden mittaamenetelmä. Koe tehdään puhtaalle käsittelemättömälle betonipinnalle lattian ollessa vähintään kolmen kuukauden ikäinen. Böhme-kokeen lisäksi voidaan lattian pinnoitteelle tehdä vastaavanlainen pyörärasituskoel standardien SFS-EN 425 ja 3939 mukaan, missä ensimmäinen on niin sanottu toimistotuolipyöräkoel ja jälkimmäinen teollisuuspyöräkoel. Toimistopyöräkoelussa kumipyörärasitus painaa pinnoitetta  $90 \text{ kg}$  kuormalla ja teollisuuspyöräkoelussa teräspyörät joko  $2000$  tai  $1000 \text{ N}$  voimalla. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 22; 45–46.)

Kulutuskestävyyttä merkitään kirjaimella A, joka tulee englannin kielen sanasta "Abrasion". Yksikönä käytetään  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ . Taulukossa 7 on ilmoitettu sementtipohjaisten tasoitteiden kulutuskestävyyden luokkamerkinnot sekä niiden vaaditut arvot. Kulutuskestävyysskoheet tehdään lattioihin vain tarvittaessa, jos epäillään ettei lattia täytä vaadittuja kulutuskestävyyksvaatimuksia. Kokeessa lattiasta otetaan yleensä vähintään kolme näytettä / valuaue. Koekappaleet otetaan lattian keskialueilta, jotta varmistutaan oikeiden työstöjen aikaansaaminen. Näytteet ovat 100 mm:n poralieriöitä, joista sahataan 71 mm:n kuutioita. Sahaus tehdään niin, että yhdeksi koestettavaksi pinnaksi saadaan valmiin lattian pinta, minkä tulosta voidaan verrata muiden pintojen lujuuteen. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 22; SFS-EN 13813-2002, 9–10.)

TAULUKKO 7. Sementtipohjaisten tasoitteiden kulutuskestävyyden Böhme-luokat (SFS-EN 13813)

Luokka	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Kuluneen materiaalin määrä $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	22	15	12	9	6	3	1,5

Kuten luvussa 2.2.1 mainittiin ei kulutuskestävyys ole maakostealla työmaabetonilla valettavissa betonilattioissa yleensä velvoittava laatukriteeri lattian pinnoittamisen vuoksi. Tämän vuoksi maakostealle betonille ei ole määritelty tavoitearvoja kulutukselle. Lisäksi standardi SFS-EN 13813-2002 antaa hyvin vapaat määritelmät muun kuin Böhme-mittauksen käyttämiseen. Muita käytettäviä menetelmiä kulutuskestävyyden mittaamiseen on niin sanottu BCA-mittaus, josta käytetään kirjainyhdistelmää AR, "abrasion resistance", tai pyörivän tuolin pyörän kulutuskestävyys RWA, "rolling wheel abrasion". Näiden lisäksi voidaan käyttää myös jotain muuta testausmenetelmää, kunhan osoitetaan, että valittu menetelmä vastaa standardien 13892–3–5 ominaisuuksia. (SFS-EN 13813-2002, 9–10.)



KUVA 11. Betonilattian kulutuskestävyyden Böhme-mittauslaitteisto, joka koostuu kulutuslevystä, koekappaleen telineestä ja vipuvarsijärjestelmästä (SFS-EN 13892-3).

## 2.8.5 Notkeus ja työstettävyys

Lujuusluokiteltujen lattiabetonien massa on yleensä normaalia rakennebetonia hieman jäykempää ja niiden reseptit pyritään pitämään yksinkertaisina. Lujuusluokiteltujen betonien notkeus on jaoteltu viiteen eri notkeusluokkaan. Taulukossa 8 on esitetty lujuusluokiteltujen lattiabetonien notkeusluokajakajo, mikä perinteisesti on S2 tai S3. Peruseriaatteena lujuusluokitelluille lattiamaassoille tulisi olla vallitsevat olosuhteet, siirto- ja työstötekniikka sekä suunniteltu raudoitus huomioon ottaen mahdollisimman jäykkä ja reseptiltään yksinkertainen massa. Mitä jäykempää massa on, sitä vähemmän se yleensä sisältää vettä, jolloin kutistumat saadaan paremmin hallintaan. Jäykän massan ongelmana on usein työstettävyuden heikentyminen ja varsinkin silloin, jos betonin siirtoon työmaalla käytetään pumppuautoa, joudutaan usein massaa notkistamaan erillisillä lisäaineilla. Erityisen vaikeissa koh-teissa, kuten tiheästi raudoitetuissa tai pakkasen kestävässä XF-luokan betoneissa, voidaan betonissa joutua käyttämään myös muita lisäaineita, kuten nesteyttämiä. Tällaiset niin sanotut erikoismassat ovat olennaisesti vaikeampia hallita ja työstämisessä on oltava tarkempi muun muassa betonin tiivistämisen suhteen. Tämän vuoksi yksinkertaisuus on lattiabetonien valinnassa turvallisempi tie onnistuneeseen lopputulokseen. (Petrow 2010; Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 143.)

TAULUKKO 8. Betonien notkeusluokat ja tyyppilliset käyttökohteet (Betoniteollisuus ry)

Notkeus- luokka	Painuma, cm	Sanallinen kuvaus	Tyyppirakenne
F6 (S5)	*)	Itsetiivistyvä (IT)	Vaikeasti tiivistettävät rakenteet tai nopeammat ja tasaisemmat lattiavalut
S4	16–21	Nesteytetty	Ahtaat rakenteet
S3	10–15	Vetelä	Ohuet laatat
<b>S2</b>	<b>5–9</b>	<b>Notkea</b>	<b>Suosittelava perusnotkeus</b>
S1	1–4	Jäykkä	Kovabetonilattia
–	0–1	Maakostea	Laatoitusalue

\*) Itsetiivistyvällä betonilla notkeus mitataan leviämäkokeella

Maakostean työmaabetonin notkeuden mittaamiseen ei voida käyttää märkäbetonien tavoin standardinmukaista painuma- tai leviämämenetelmää. Tämä johtuu siitä, että maakostean massa on liian jäykkää kyseisille mittausmenetelmille eikä tarvittavaa painumaa saada mittauksessa aikaan. Käytännössä se tarkoittaa notkeuden olevan notkeusluokan S1 tasoa tai siitä jäykempää, jolloin leviämämittauksella massan painuma jää alle 1 cm. Tämän vuoksi esimerkiksi maakostean valmisbetonin levittämistä ei voida tehdä pumppausautolla vaan levittämiseen on käytettävä perinteisemmän tyyliin kouruautoa tai kippaamalla massa suoraan allasautosta valualueelle. Työmaabetonin levityksessä toimii sekoitinauton oma pumppausyksikkö, joka toimii ilmanpaineella. Se soveltuu jäykän maakostean massan siirtoon tarvittaessa jopa 120 m päähän valuyksiköstä. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

## 2.8.6 Tiiveys ja tiivistys

Maanvaraisten lattioiden betonilaatoilta vaadittava tiiveys voidaan saavuttaa vain käytettävän betonimassan oikealla koostumuksella, oikealla tiivistystekniikalla, tekniikkaan soveltuvalla kalustolla ja ajankohdalla, jolloin tiivistys suoritetaan. Perinteisesti kovin notkeilla massoilla tiivistämisen tarve on jäykkiä massoja vähäisempää, mutta ylinotkeiden massojen ongelmana on monesti ollut niiden erottumisherkkyys. Tällöin massassa olevat isommat kivet painuvat laatan alaosaan ja laatasta voi tällöin tulla epähomogeeninen. Epähomogeeninen laatta voi myös aiheuttaa pintaan kutistumaeroja ja halkeilua normaalia enemmän. Märkäbetonilla valetut lattiat tiivistetään perinteisesti joko pinta- tai sauvatäryttimillä riippuen lattian paksuudesta ja massan ominaisuuksista. Sauvatäryttimet soveltuvat paksujen, yli 150 mm, laattojen tiivistykseen, kun taas pintatäryttimet soveltuvat ohuisiin, 60–120 mm paksuihin lattiavaluihin. Kuvassa 12 on esitetty eräs pintatärytin malli, joita on käytetty ainakin niin sanotuissa Auramo-kovabetonilattioissa. Näiden lisäksi jonkin verran isompien lattioiden tiivistykseen on käytetty niin sanottuja tärypalkkeja, joissa laatan maksimi paksuus voi olla 150 mm. Tärypalkkeilla voidaan tiivistää myös S1-S2 tiiveysluokan massoja pintalaatoissa. (Schadewitz 2011; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 142–143.)



KUVA 12. Kovabetonilattioiden tiivistykseen on saatettu käyttää erillisiä pintatäryjä (vasen), mutta maakostea työmaabetoni tiivistetään kevyemmällä pintahiertokalustolla (oikea) (Pihkis; Korolainen 2023, CC BY-SA).

Maakostean työmaabetonin korkean huokoisuuden vuoksi sitä ei pystytä tiivistämään märkäbetonin tavoin samankaltaisella tiivistyskalustolla, vaan tiivistys tapahtuu pintahiertokalustolla. Pintahiertokalustolla tiivistämisen oikea ajankohta on märkäbetonia tärkeämpää, sillä kevyellä pintahiertokalustolla ei pystytä muokkaamaan betonia samalla tavalla ”syvältä”, kuin miten märkäbetonia voidaan tehdä. Maakostean työmaabetonin tiivistyksessä on märkäbetonia enemmän merkitystä betonimassan oikealla koostumuksella, jotta riittävä tiiveys voidaan saavuttaa. Tämän lisäksi tehtävän tiivistyksen ajankohta on kriittisempi maakostealla, sillä siinä betonin tiivistäminen tehdään lattiassa laatan oikaisun ja heti perään suoritettavan hierron avulla. Tiivistämisessä on keskityttävä seinien varsien ja erilaisen läpimenojen ympäristöjen tiivistyksiin, jotka yleensä joudutaan tekemään käsin. (Grönthal 2023; Kanto 2023.)

### 3 MAAKOSTEIDEN BETONILATTIOIDEN SUUNNITTELU

Betonilattiat luokitellaan niiden käyttökohteiden, käytön tarpeen ja betonin ominaisuuksien mukaan. Eri käyttötarkoitukset asettavat lattialle ja lattiassa käytettävälle massalle erilaisia vaatimuksia, mitkä on otettava huomioon jo lattian suunnitteluvaiheessa. Ennen suunnittelun aloitusta on tärkeää kartoittaa ja saada selville muun muassa lattian toiminnalliset vaatimukset, lattiaan kohdistuvat kuormitukset ja muut rasitukset, mahdollinen pinnoitustarve sekä lattian rakenteellinen toimintatapa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 18–19.)

Tässä kappaleessa on tarkoitus kertoa maakostean työmaabetonin käytöstä ei-kantavissa maanvraisissa lattioissa sekä tehdä vertailua normaaliin lujuusluokiteltuun, C25/30 lattiabetoniin verrattuna. Vertailussa on tarkoitus perehtyä lattioiden suunnittelun kannalta tärkeimpien asioiden, kuten sallittujen kuormien, kulutuskestävyyden ja mitoituksen, pohdintaan.

#### 3.1 Lattioiden suunnittelun ja toteutuksen yleiset ongelmakohtat

Betonilattioissa viime aikoina ilmenneet ongelmat ovat pääsääntöisesti liittyneet lattioiden halkeiluun, pinnan tasaisuuden vaihteluun, kulutuskestävyyden puutteeseen ja lattian nurkkien sekä reunojen nousuun ja kieroutumiseen. Ongelmat ovat aiheutuneet niin puutteellisesta toteutustekniikasta kuin myös suunnittelusta ja lattian käyttötarkoituksen valinnassa sattuneista virheistä. (Petrow 2010.)

Petrowin (2010, 36–41) mukaan työmaatoteutuksessa tapahtuneita ongelmatekijöitä ovat muun muassa olleet epäedulliset valuolosuhteet. Esimerkkejä näistä ovat verrattain kylmät valualustat, lattioiden liian aikainen kuormittaminen kireän valuaikataulun vuoksi, betonin heikko laatu ja riittämätön työmaan laadunvarmistus, raudoituksen tuentojen puutteellisuus, riskipaikkojen puutteelliset tiivistykset sekä epäonnistuminen lattian jälkihoidossa, josta seurauksena hallitsematon kutistuminen ja halkeilu.

Myös suunnittelussa Petrow (2010, 36–41) mainitsee ajoittain tapahtuvan tiettyjä virheitä, jotka voivat johtaa ei haluttuun lopputulokseen. Näitä ovat muun muassa lattiatyypin virheellinen valinta kohteeseen sopimattomasti, epätietoisuus ja virhearvioinnit lattiaan kohdistuvista kuormista, virheelinen saumajako ja -tyyppi lattiatyyppiin ja työsaavutuksiin nähden, saumojen ja muiden kriittisten paikkojen, esimerkiksi läpivientien, kaivojen, pilareiden huomiotta jättäminen sekä puutteelliset detaljit ja puutteellinen raudoitus lattian tyyppiin ja kohteen ominaisuuksiin nähden.

#### 3.2 Betonilattioiden luokittelu

Lattian luokkaa ilmoitetaan kirjain-numero-numero yhdistelmänä, missä ensimmäinen kirjain kertoo lattian suoruusvaateen, ensimmäinen numero kulutuskestävyyden vaatiman luokan ja viimeinen, roomalainen numero, sallitun halkeamaleveyden. Näiden lisäksi kohteissa, jotka voidaan luokitella erityisen vaativiksi, voidaan roomalaisen numeron perään laittaa T-kirjain, esimerkki C-3-III-T. Tämä tarkoittaa, että lattian valuolosuhteet ovat poikkeuksellisen vaativat, lattiapinta-ala on poikkeuksellisen suuri tai jos lattialla pyritään saamaan kulutuskestävyysluokan 1 vaativia lattioita. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 15.)

Luokitusjärjestelmän tarkoituksena on määritellä betonilattialle sen minimilaatutaso. Taulukossa 9 on esitetty tyypillisille kohteille esimerkkiluokituksia lattioiden peruslaatutekijöillä. Näiden lisäksi luokitusjärjestelmään kuuluu myös luokittelemattomia laatutekijöitä, joita ovat muun muassa karheus, sähkönjohtavuus, säilyvyys, kemiallinen kestävyys, värierot, kuitujen pintaan jäävä osuus sekä muut pinnan laatutekijät. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 15.)

TAULUKKO 9. Betonilattioiden laatutekijöiden valintaohje (Suomen Betonilattaiyhdistys)

Kohde	Laatuluokka		
	Suoruus	Kulutuskestävyys	Halkeilu
<b>Asunnot ja toimistot</b>			
päällystettävät lattiat, sisätilat	A	3	III
arkkitehtoniset lattiat	A	3	<sup>3)</sup> I-UA / I-UB
muut päällystämättömät lattiat	-	-	-
parvekkeet ym. kylmät tilat <sup>1)</sup>	C	4	2
käytävä	C	3	II
sauna ja pesuhuonetilojen päällystettävät kaatolattiat	A	4	II
<b>Teollisuuslattiat</b>			
Tasaisuus tärkeä laatutekijä, kuten korkeissa varastoissa (esim. trukkiliikenne)	A0 (A)	2	II (I)
Kulutuskestävyys tärkeä laatutekijä (esim. suuret liikennekuormat, vilkas liikenne, pienet ja kovat trukin pyörät).	B	1 (2)	II (I-K)
teollisuuslattiat yleensä (esim. pienteollisuustalot, kevyt teollisuus)	C	2	II
<b>Pysäköintilaitokset</b>			
kulutuskestävyys ja pinnan karheus tärkeitä laatutekijöitä; kaltevuudet suunnitellaan niin, ettei lattialle muodostu lammikoita	B	2	II <sup>2)</sup>
<b>Toisarvoiset päällystämättömät tilat</b>			
esim. kellaritilat asuinrakennuksessa	C	3	III
1. Pakkasekestävyys varmistettava ulkorakenteissa 2. Kantavissa rakenteissa noudatetaan voimassa olevien suunnitteluohjeiden vaatimuksia 3. Määritellään ja suunnitellaan kohdekohtaisesti			

Taulukon 9 luokittelu ei suoranaisesti ota kantaa lattioissa käytettävään betonimassaan ja se ei rajoita koostumuksen mukaisen ja näin ollen maakostean työmaabetonin käyttöä. Varsinaiset rajoitukset maakostean betonin käytön suhteen tulevat toiminnallisten määritysten, suoruuden, halkeilun ja ennen kaikkea kulutuskestävyyden kautta. Näistä on kerrottu lisätietoa kappaleessa 3.4. Tämän työn liitteenä olevissa betonilaboratoriotestien tuloksissa puolestaan kerrotaan maakostean työmaabetonin kulutuskestävyydestä ja siitä millaisiin tuloksiin myös koostumuksen mukaisella betonilla voidaan päästä.



### 3.3 Sallitut kuormitukset ja rakenteellinen toiminta

Betonilla materiaalina on hyvä kyky kestää suuria puristusrasituksia ja näin ollen betonilattiat kestävät hyvin suoraa puristavaa kuormitusta jopa ilman raudoitusta. Betonilattioihin kohdistuvat kuormitukset ovat yleensä joko pysyvää tai muuttuvaa kuormitusta. Muuttuvaa kuormitusta kutsutaan myös hyötykuormaksi ja se muodostuu henkilö-, tavara- ja liikennekuormista. Tämä voi olla joko tasaista tai pistemäistä kuormitusta, joka jaetaan vaikutusajan perusteella pitkä- tai lyhytaikaiseen kuormituksen. Tämän lisäksi kovasti kuormitetuissa betonilattioissa, lähinnä varasto- ja teollisuuskohteissa, lattiaan voi kohdistua dynaamisia kuormituksia esimerkiksi teollisuuden koneista tai laitteista. Tällöin laatan paksuutta kasvattamalla voidaan tehokkaasti lisätä lattian kapasiteettia ilman että raudoitusmäärät kasvavat merkittävästi. Yleensä tällöin lattiarakenne on hyvin merkittävä osa rakennuksen ja rakenteen kokonaistoimintaa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 56–57.)

Lattioissa, jotka ovat kevyesti kuormitettuja ja jotka eivät osallistu rakenteellisesti stabiloivaan kokonaisuuteen, on maakostean työmaabetonin käyttö mahdollista. Tämä tarkoittaa lähinnä asuin- ja liikerakennusten maanvaraisia lattioita, jotka irrotetaan asianmukaisesti kantavista ja jäykistävästä rakenteista. Tällaisiin lattioihin ei kohdistu mekaanisia rasituksia, kuten liikenne-, hankaus- tai isku-kuormituksia, jolloin lattiaan kohdistuvan hyötykuorman arvona voidaan olettaa olevan  $q_k=1,5-2,5$  kN/m<sup>2</sup> ja pistekuormana  $Q_k = 2,0$  kN kuitenkin niin, ettei pistekuorma vaikuta samanaikaisesti pinta-kuorman kanssa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 56–62; RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, 67.)

### 3.4 Toiminnalliset vaatimukset ja määräykset

Betonilattioiden toiminnallisina vaatimuksina tarkoitetaan lattian pinnalle kohdistuvia vaateita, joita tilassa suunniteltu toiminta edellyttää. Yleensä tärkeimmät toiminnalliset vaatimukset ovat suoruus ja tasaisuus, kulutuskestävyys ja suurin sallittu halkeamaleveys. Suomen Betoniyhdistys ry yhdessä Suomen Betonilattiyhdistyksen kanssa antaa BY45 Betonilattiat 2018 julkaisussaan ohjeelliset arvot näille vaatimuksille. Vaatimukset riippuvat lattian käyttökohteesta ja -tarkoituksesta, jolloin kohteen tilaajalla voi olla omia vaatimuksia lattian toiminnalta. Tässä kappaleessa on tarkoitettu perehtyä näihin vaatimuksiin ja pohtia, pystytäänkö maakostealla työmaabetonilla saavuttaa kyseiset vaatimukset. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 18.)

#### 3.4.1 Suoruus ja tasaisuus

Betonilattian suoruus ja tasaisuus eivät ole sama asia ja niitä mitataan eri mittareilla. Luokitusjärjestelmässä betonilattioiden suoruus ilmoitetaan kirjaimin A<sub>0</sub>, A, B ja C, joista A<sub>0</sub> on vaativin. Tasaisuuden arvioitiperusteena käytetään puolestaan lattiapinnan korkoeroja, aaltoilua tai kuoppaisuutta, kahden 200–300 mm:n etäisyydellä olevan pisteen välillä. Taulukossa 10 on esitetty suurimmat sallitut poikkeamat sekä tasaisuudelle että suoruudelle eri vaativuusluokissa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 19.)

TAULUKKO 10. Betonilattioiden tasaisuus- ja suoruusvaatimukset (Suomen Betonilattiayhdistys)

Suoruuspoikkeama		Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama (mm)			
			A0	A	B	C
<b>Hammastus</b>			0	0	1	1
<b>Poikkeama vaaka-suorasta tai nimeliskaltevuudesta</b>	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 <sup>1)</sup>	10	14	20	28	

1) Yli 50000 mm sovitaan tapauskohtaisesti. Ajoluiskien ja vastaavien vaatimukset ja mittausmenetelmät sovitaan tapauskohtaisesti. Mahdolliset suoruuspoikkeamat koskevat aina kunkin valualueen rajaamalla alueella olevia poikkeamia.

Suoruusvaatimukset eivät asuin- ja liikekiinteistöissä saa poiketa lattian missään kohdassa taulukon 10 ilmoitetuista arvoista. Teollisuuden- ja varastotiloissa sallitaan toisarvoisina kohtina pitää 300 mm:n etäisyydelle seinistä ja pilareista ylettyvää aluetta, jossa arvot voivat olla määriteltyä luokkaa yhtä huonompia (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 20.)

Lattioiden epätasaisuus tai -suoruus voi johtua muun muassa virheellisestä työtavoista, lattian liian aikaisesta kuormittamisesta tai betonilaatan hallitsemattomasta käyristymisestä. Tavanomaisilla laat-  
tapaksuksilla, 80–120 mm, käyristymä voi olla 5–20 mm, riippuen olosuhteista ja lattian raken-  
teesta. Maanvaraisten laattojen ohjeellisena minimipaksuutena voidaan pitää 80 mm, mutta suositus  
varsinkin verkkoraidoitteiden kanssa on 100–120 mm riippuen käytetäänkö verkkoja keskeisesti vai  
laatan molemmissa pinnoissa. Betonilatioissa suoruuspoikkeamaa mitataan vaaitsemalla lattia vä-  
hintään 2 m x 2 m:n ruuduissa samoista kohdista, josta alusrakenteet on vaaittu. Tällöin saadaan  
mahdollinen laatan paksuuspoikkeama selville. Mitattavan alan tulee olla vähintään 20 % lattian  
koko pinta-alasta ja suoruuteen pääsemistä tulee valvoa koko työn ajan. Ensimmäinen mittaus tulee  
toteuttaa mahdollisimman pian valun jälkeen, viimeistään ennen lattian varsinaista kuormittamista.  
Mittaustuloksen tarkkuus on 1 mm ja se pyöristyy lähimpään täyteen millimetriin. (Maanvarainen  
lattia 2010, 39; Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 21.)



KUVA 13. Betonilattian tasaisuus ja suoruus on eriasia. Vasemmassa kuvassa lattia suora, mutta ei tasainen ja oikeassa tasainen mutta ei suora (Suomen Betonilattiayhdistys).

Maakostealla työmaabetonilla valettujen lattioiden osalta suoruus ei yleensä aiheuta ongelmaa, sillä kohteissa ja tiloissa, joissa maakostean työmaabetonin käyttö on suositeltavaa, ei suoruuden ja tasoisuuden vaatimukset ole kaikkein tiukimmat. Lattian valamisen työvaiheet maakostealla ovat pääasiassa käsityötä, tulee tekijän ammattitaito sekä oikea massan koostumus onnistuneen lopputuloksen saavuttamisessa märkäbetonia olennaisempaan asemaan. Lisäksi käytettävän oikaisulaudan tulee olla juuri siihen soveltuva ja riittävän pitkä, jotta oikaisussa pystytään saavuttamaan vähintään 2 m x 2 m:n ruudukon kokoinen ala. Yleisesti voidaan sanoa, että maakostealla työmaabetonilla pystytään pääsemään suhteellisen vaivattomasti tasoa A vastaavaan suoruuteen. (Kanto 2023; Grönthal 2023.)

### 3.4.2 Kulutuskestävyys

Betonilattian kulutuskestävyys on yksi tärkeimmistä lattian laatutekijöistä. Jos lattiaan valittu betoni on kohteen ominaisuuksiin ja tarpeisiin väärä, on sen korjaaminen yleensä hyvin haastavaa ja kallista. On tiedettävä, kuinka suuret kuormitukset lattiaan kohdistuu ja miten ne vaikuttavat lattiaan. Kaikkein vaativimpiin kulutuskestävyyksiin ei pelkällä betonillakaan voida päästä, vaan tällöin betonin pintaan joudutaan tekemään erillinen kulutuskestävyyttä lisäävä pinnoite esimerkiksi kuivasiroitteilla. Myöskään riittävän kova pinta lattiassa ei riitä, jos betonilaatta murtuu kuormituksen voimasta pinnan alla, joten parhaan lopputuloksen saavuttaminen onkin monen tekijän summa, johon vaikuttaa lähes kaikki asiat alusrakenteista laatan paksuuteen ja raudoitukseen saakka. (Schadewitz 2011.)

Kulutuskestävyyttä mitataan luokitusjärjestelmässä numeroin 1–4, joista 1 on kaikkein vaativin. Taulukossa 11 on esitetty betonilattioiden kulutuskestävyysvaatimukset ja -luokat. Yleensä kulutuskestävyyden mittausta ei suoriteta työmaalla, ellei ole selkeää epäilyä, että valittu betoni ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia. Tällöin kokeita tehdään yksi kappale jokaista alkavaa 5 000 m<sup>2</sup> kohti. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 22.)

Kuten luvussa 2.6.4 todettiin, koostumuksen mukaisen betonin velvoittaviin ominaisuuksiin ei kuulu kulutuskestävyyden tarkastelu silloin kun lattiat pinnoitetaan. Maakostean työmaabetonin osalta taulukon 11 kulutuskestävyyden luokitus on ongelmallinen, koska käytettävät betonit ovat pienimmäskin kulutuskestävyysluokassa taulukossa ilmoitettu jossakin vähimmäislujuusluokissa. Yleisesti maakostean betonin kulutuskestävyydestä ei tietoa ole paljoa saatavilla edes sitä valmistavilla lattiaurakoitsijoilla vaan löytyneiden tutkimusten tiedot painottuivat yleensä jonkin maakostean betonin päälle tehtyyn pinnoitteen tutkimiseen. (Kanto 2023; Grönthal 2023.)

TAULUKKO 11. Betonilattian kulutuskestävyysluokat ja -vaatimukset (Suomen Betonilattiayhdistys)

Kulutuskestävyysluokka	Lattian kuormitukset	Työmenetelmä, jolla vaatimus saavutetaan	Böhme luokitus: sallittu kuluminen [cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]
1	Erittäin raskaan teollisuuden trukkikuormitus, umpikumipyörät, kuorma ≤ 80 kN. Teräspyörät, pintapaine ≤ 4 N/mm <sup>2</sup> . Metallirakenteiden käsittelyä lattialla. Jalankulkuliikenne yli 1000 hlö/pvä.	10...20 mm:n paksuinen erikoisbetoni. Kulutuskestävyysluokka A6. Koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa  30 mm:n kovabetonilattia C40/50.  Betoni C25/30 + sirotepintausta. Kulutuskestävyysluokka A6. Koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa.	≤ 6 (A6)  ≤ 3 (A3), kun kuormitus iskevä tai laahaava
2	Raskas metalliteollisuus, huoltohallit, ilmarengaspaine ≤ 10 bar, teräspyörän pintapaine ≤ 2 N/mm <sup>2</sup> . Umpikumipyörät. Jalankulku 100...1000 hlö/pvä.	Betoni C30/37, maksimiraekoko väh.16 mm ja koneliippaus siivillä sileäksi tai konehierto väh.2 kertaa.  Betoni C25/30 + sirotepintausta. Kulutuskestävyysluokka A9. Koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa.  Betoni C25/30, kovettuneen lattian pintahionta siten, että sementtiliima poistuu ja runkoaine on tasaisesti näkyvässä, hiotun pinnan silikaattikäsittely.	≤ 9 (A9)
3	Keskimääräinen kuormitus, trukkikuormat ≤ 40 kN, rengaspaine ≤ 6 bar. Ilmatäytteiset kumipyörät. Jalankulku alle 100 hlö/pvä.	Hyvällä ammattitaidolla tehdyt, koneella hierrettyt lujuusluokan C25/30 lattiat.	≤ 12 (A12)
4	Kevyesti liikennöidyt ja kuormitetut tilat, trukkikuorma alle 10 kN, rengaspaine ≤ 3 bar.	Hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat.	≤ 15 (A15)

### 3.4.3 Halkeamaleveys

Betoni materiaalina on arka halkeilulle ja käytännössä aina kaikissa betonirakenteissa on jonkin verran halkeamia. Halkeamia betonilattioissa syntyy betonin hydrataatioreaktion vuoksi, kun sementtikiven tilavuus pienenee ja kovettuva betoni kutistuu. Kutistumaa voi syntyä kuivumis-, plastisena- tai autogeenisena kutistuma, josta tarkemmin kerrottu luvussa 3.5. Varsinkin lattioissa, joissa pinta-alat ovat hyvin laajoja, voi täysin halkeilemattoman rakenteen aikaansaaminen olla haastavaa ja joskus jopa mahdotonta. Tämän vuoksi halkeilulle ei esitetä ohjeistuksissa halkeamien määrien rajoittamiseen vaan rajoittavana tekijänä on halkeamaleveys. Kun halkeamaleveys pysyy riittävän pienenä, ei se vaikuta rakenteen toimintaan. Ohjeellisena minimirajana halkeamalle voidaan pitää 0,05 mm (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 24–25; 143.)

Maanvaraisten lattioiden suositeltavat suurimmat halkeamaleveydet on jaettu neljään eri luokkaan roomalaisin kirjaimin, joista luokka I on vaativin. I-luokka on jaettu vielä kolmeen eri alakategoriaan ulkonäön- ja kulutuskestävyyden vaatavuuden mukaan. Luokka IV on erikoisluokka, jossa suurin sallittu halkeamaleveys poikkeaa laatuluokittelusta. Tällöin halkeamaleveys ilmoitetaan tapauskohtai-

sesti, jolloin myös kohteen tilaaja voi esittää lisävaatimuksia halkeilun suhteen esim. kohteen toiminnallisuuteen vedoten. Taulukossa 12 on esitetty suositeltavat halkeamaleveydet maanvaraisissa lattioissa. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 24–25.)

TAULUKKO 12. Maanvaraisten lattioiden suositeltavat halkeamaleveydet (Suomen Betonilattaiyhdistys)

Luokka	Kuvaus	Käyttökohde	Lopputuloksen kuvaus
<b>I-UA</b>	Ulkonäön suhteen erittäin vaativa (täysin tai lähes täysin halkeilematon)	Päällystämättömät lattiat, joilla erittäin tiukka ulkonäkö vaatimus (esim. arkkitehtuurilattiat)	Lattia on täysin halkeilematon tai siinä on yksittäisiä erittäin kapeita halkeamia (0,1...0,2 mm)
<b>I-UB</b>	Ulkonäön suhteen vaativa	Päällystämättömät lattiat, joilla tiukka ulkonäkö vaatimus (esim. korkeatasoiset julkisen tilan lattiat)	Lattiassa vähäisessä määrin korkeintaan erittäin kapeita halkeamia (0,1...0,3 mm)
<b>I-K</b>	Kulutuksenkestävyyden suhteen vaativa	Päällystämättömät lattiat, joilla korkeat kulutuskestävyys vaatimukset.	Halkeamien leveys enintään 0,3 mm
<b>II</b>	Normaali	Tavalliset teollisuuslattiat ja päällystettävät lattiat, asuinrakennusten toisarvoiset maalattavat tai päällystämättömät lattiat.	Halkeamien leveys enintään 0,5 mm
<b>III</b>	Vähäinen	Halkeiluun kannalta toisarvoiset lattiat, esim. parketilla päällystettävät lattiat	Halkeamien leveys enintään suuruusluokkaa 1 mm
<b>IV</b>	Erikoisluokka	Erikoistapaukset	Sovitaan erikseen

Maakostean betoni ei oikein tehtynä halkeile. Suurimpana syynä tälle on massan alhainen vesi-sementtisuhte. Yleensä maakostean betonin v/s-suhde on luokkaa 0,3–0,5. Tällöin kutistuma maakostealla on luokkaa 3 ‰, kun vastaava arvo normaalilla lattiabetonilla on luokkaa 5 ‰. Vesi-sementtisuhteen lisäksi oikeilla valuolosuhteilla ja jälkihoidolla on maakostean betonin osalta merkitystä halkeamien syntymiseen. Valutilan tuulettomuus sekä oikea lämpötila ovat niistä olennaisimmat, vaikkei betonin pinnalta samalla tavalla kosteutta haihdu kuten märkäbetonissa. Jälkihoito on suoritettava muovittamalla lattia valun päätyttyä, mutta jälkihoidon varsin nopea aloittaminen ei ole maakostealla niin tarkkaa kuin märkäbetonilla, jos valuolosuhteet pidetään optimaalisina. (Kanto 2023; Grönthal 2023.)



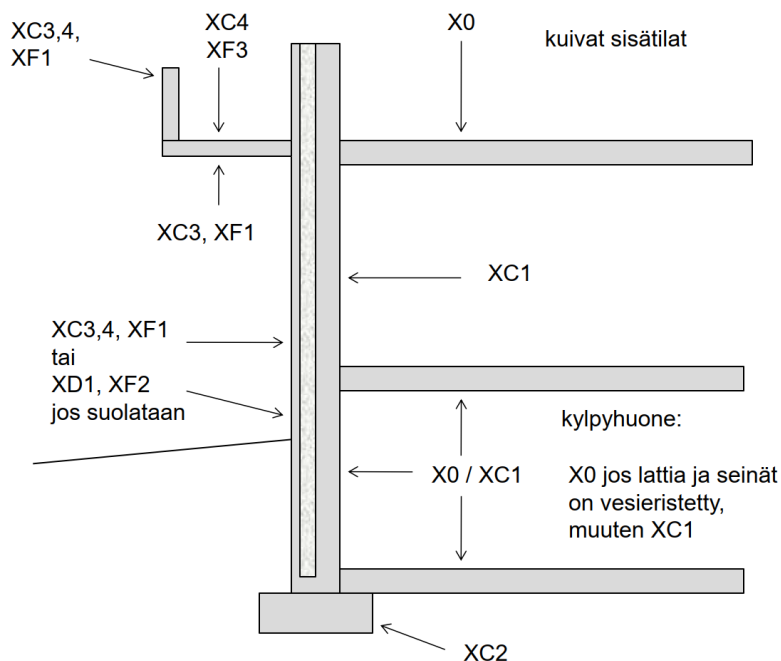
KUVA 14. Massan oikea koostumus, olosuhteet ja jälkihoito ovat tärkeimmät asiat halkeilun hallinnassa (Korolainen 2023, CC BY-SA).

### 3.4.4 Muut määrytykset

Muita betonilattioiden laatuvaatimuksia suoruuden, kulutuskestävyyden ja halkeamaleveyksien lisäksi ovat muun muassa (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 18).

- iskunkestävyys
- pölyämättömyys
- puhdistettavuus ja hygieenisuus
- säilyvyys
- kemiallinen kesto
- liukkaus
- ulkonäkö
- sähkönjohtavuus
- pinnoitettavuus.

Maakostean betonilattian osalta realistisesti tarkasteltavia kohtia edellä mainituista ovat säilyvyys, pölyämättömyys, pinnoitettavuus sekä ulkonäkö. Betonin säilyvyys koostuu betonin rasitusluokan ja käyttöiän määritteistä perustuen SFS-EN 206-1 ja SFS 7022 standardeihin. Maakostea betonია voidaan suositella käytettäväksi rasitusluokassa X0 ja XC1 oleviin lattioihin, eli pääasiassa kuivissa sisätiloissa. Suunnittelukäyttöiän, eli ajan, jonka lattian betonirakenne säilyy rakenteelta vaadittavalla tasolla, on yleensä betonilattioissa 50 vuotta. Käyttöikämitoitus voidaan suorittaa laskennallisesti, jolloin se voi olla vaikeissa olosuhteissa lyhyempi. Tällöin kohteen tilaajan on yhdessä suunnittelijan kanssa tiedostettava mahdollisesti lattian lyhyempi huoltoväli ja tehdä tarvittavat toimenpiteet määräjän umpeutuessa. Yleensä 50 vuotta pidempää käyttöikää on haastavaa ja kallista toteuttaa. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 29–30.)



KUVA 15. Betonirakenteiden rasitusluokat niitä kuvaavissa ympäristöolosuhteissa (Suomen Betoniyhdistys).

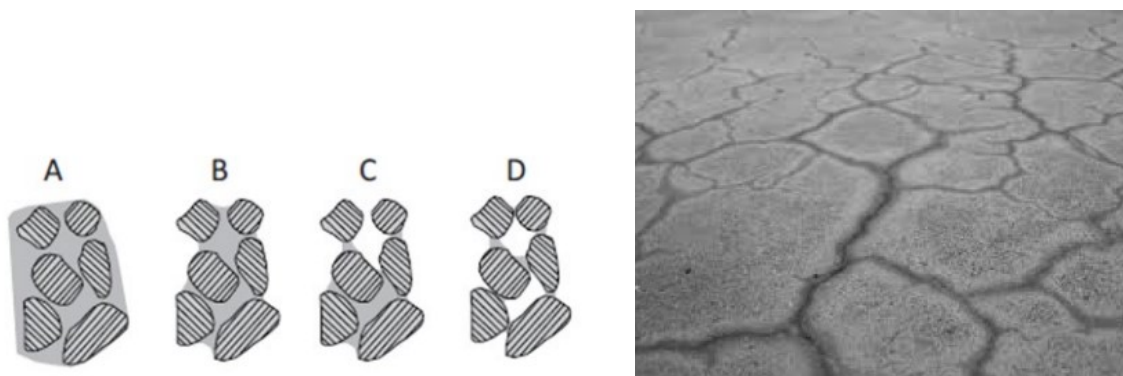
Betonipintojen pölyäminen voi olla ongelma kohteissa, joissa betonin pintaan kohdistuu eteenkin mekaanista rasitusta. Betonipinnan käsittelyllä ja oikeaoppisella jälkihoitolla saadaan lattia pölymättömäksi. Märkäbetonilla käsittelyä käytetään yleensä silikaattia tai erillisiä pölynsidonta-aineita. Maakostealla betonilla pölyävyys ei yleensä oikea-aikaisen käsittelyn jälkeen ole ongelma, sillä muutoin massan työstettävyys muuttuu mahdottomaksi. Erillisiä pölynsidonta-aineita ei tarvita, koska pinta aina pinnoitetaan esimerkiksi epoksilla. Pinnoittamisessa tulee huomioida pinnoitevalmistajan ohjeistus muun muassa tartuntavetolujuuksissa. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 32.)

Iskun- ja kemiallisen kestävyuden osalta maakostean betonin ominaisuuksiin ei käytännössä voida juuri vaikuttaa. Jos tiloissa vaaditaan normaalista poikkeavaa kemiallista kestävyyskykyä, on yleensä tällöin betonin rasitusluokka määritelty XA-luokiksi. Tällöin betonipinnalta vaaditaan poikkeuksellisen hyvää tiiveyttä, jolloin sitä voidaan parantaa esimerkiksi lujuusluokkaa kasvattamalla tai pinnan tiiveyttä parantavalla pinnoitteella. Samoin iskunkestävyyden lisääminen vaatii betonin lujuusluokan kasvattamista tai erillisen pinnoitteen käyttöä. Sähkönjohtavuuden, liukkauden eston ja puhdistettavuuden osalta maakosteaa betoni ei eroa märkäbetonista vaan ominaisuudet ovat samankaltaiset. Koska maakosteaa on huokoisempaa kuin märkäbetoni, pelkän betonipinnan puhtaanapito voi muodostua haasteeksi. Näin ollen betonipinta tulisi pinnoittaa joka tapauksessa, jotta hygieniavaatimukset täyttyisivät. Lattian sähkönjohtavuus ominaisuudet toimivat maakostealla betonilla samalla tavalla kuin märkäbetonillakin, eli pinnoittamalla pinta asiankuvullisella pinnoitusjärjestelmällä. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 28–33.)

### 3.5 Betonilattioiden kutistumat ja valo-olosuhteiden hallinta

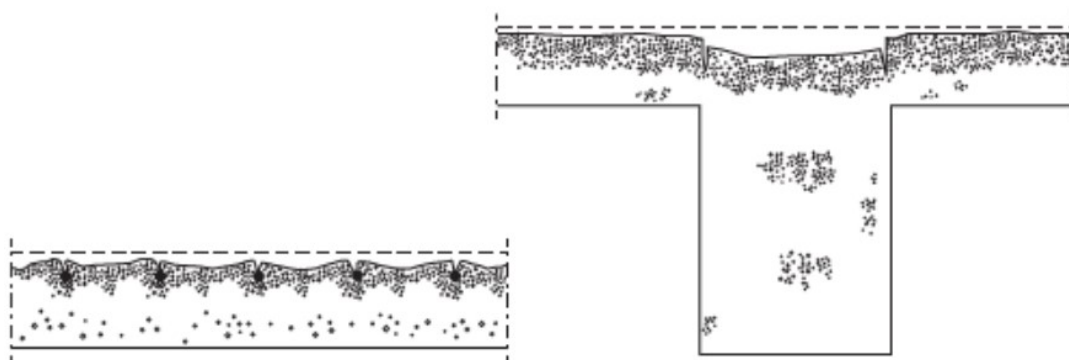
Märkä- kuin maakostealla betonilla valettaessa valutilan ja jälkihoitoajan valuolosuhteet ovat lopullisen laadun yksi merkittävimmistä tekijöistä. Varsinkin kylmänä vuodenaikana valettaessa lämpötilaerojen aiheuttamat ongelmat ovat suuri haaste lattian teossa. Lämpötilaerot muodostuvat yleensä valutilan ilman ollessa viileää ja valettavan betonimassan ollessa lämmintä. Suosituksena olisi, että valutilan lämpötilan tulisi olla tasainen ja vähintään + 10 °C ja valettavan massan lämpötila ei saisi olla alle + 10 °C. Jos valuolosuhteet ja jälkihoitotyöt ovat betonirakentamisen kannalta epäedulliset, voi seurauksena olla useita laadullisia ongelmia. Näitä ovat muun muassa betonin plastisen vaiheen ongelmat, lähinnä niin kutsutut varhaisvaiheen kutistumat sekä myöhäisvaiheen kuivumiskutistumat ja tätä kautta laatan vapaiden reunojen käyritykset. (Schadewitz 2011.)

Kun valetun laatan alapinta jäähtyy ja lämpimän massan pinnasta haihtuu kosteutta nopeasti valutilan lämmittämisen vuoksi, betonin pinta kuivuu keskiosaa nopeammin ja syntyy kutistumia. Tätä ilmiötä kutsutaan plastiseksi kutistumaksi. Tämä tapahtuu yleensä 1–48 tunnin sisällä valusta ennen kuin betoni on kunnolla sitoutunut. Plastinen kutistuma ja halkeilu on tyypillistä maanvaraisissa lattioissa ja muissa ohuissa betonirakenteissa, joissa on paljon avointa pintaa tai massan vesimäärä on pieni. Kutistuma voi epäedullisissa olosuhteissa olla luokkaa 0–5 mm/m. Tehokkain keino ennaltaehkäistä plastista kutistumaa, on massan optimaalinen v/s-suhde ja oikea-aikainen jälkihoitotyö. Märkäbetoneilla plastisen vaiheen kutistumaa voidaan ennaltaehkäistä käyttämällä niin sanottua varhaisjälkihoitoa, jos syystä tai toisesta valettavan betonin v/s-suhde on oltava poikkeuksellisen pieni. Kuvassa 16 on esitetty tyypillinen plastisen kutistuman aiheuttama halkeamakuviot. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 77.)



KUVA 16. Veden haihtuminen betonin pinnalta aiheuttaa plastista kutistumaa kapillaarihuokosten alipainetilan vuoksi, mikä ilmenee laatan pinnassa halkeamien lisäksi karheana olemuksena (Suomen Betoniyhdistys ry).

Varhaisvaiheen aikana voi syntyä myös niin sanottua plastista painumaa. Tämä ennen sitoutumista tapahtuva ongelma on pystysuuntaista kutistumaa, jonka syntymekanismi on samanlainen plastisen kutistuman kanssa. Molemmissa tapahtumissa betonimassan tilavuus pienenee siitä haihtuvan veden seurauksena. Plastinen painuma voi olla luokkaa 0–5 mm/m ja halkeamaleveydet pahimmillaan useiden millimetrinen levyisiä. Halkeamat tyypillisesti kuitenkin sulkeutuvat nopeasti betonin sisälle päin. (BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 76.)



KUVA 17. Plastinen painuminen voi aiheuttaa laatan pintaan epäedullisissa olosuhteissa jopa useiden millimetrin halkeamia (Suomen Betoniyhdistys).

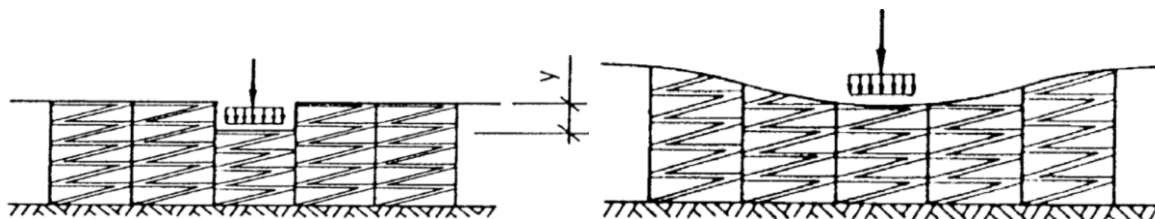
Betonin myöhäisvaiheen kutistumaa kutsutaan kuivumiskutistumaksi. Tämä tapahtuu yleensä >48 tuntia valusta, kun liike on ainakin osittain estetty laatan ja alustan välisen kitkan vuoksi. Maanvaraisissa latioissa juuri laatan ja alustan välinen kitkavoimat aiheuttaa esteen, jolloin pakkovoimien vuoksi laatan yläpintaan syntyy halkeama. Normaaleilla lattiabetoneilla kuivumiskutistuma on 0,6–0,8 mm/m, mutta epäedullisissa olosuhteissa on mitattu jopa 1,2 mm/m kutistumia. Laatan ylä- ja alapintojen väliset lämpötilaerot aiheuttavat laatassa vapaiden reunojen ylöspäin käyrystymistä, jolloin laatan alapintaan muodostuu taivutusta ja yläpintaan puristusta. Reunojen käyrystyminen on tyypillisempää juuri ohuissa laatoissa, missä laatan omapaino ei jaksakaan pitää pintaa suorana. Toispuoleisesti kuivuvassa laatassa käyrystymistä ei kokonaan pystytä estämään, mutta sen suuruuteen voidaan vaikuttaa suunnittelussa muun muassa laatan paksuuden säätelyllä, saumoituksella ja saumarakenteen tyypillä, reunaraidoituksilla ja raudoituksen valinnalla. Työmaalla tärkeimmät asiat käyrystymän hallintaan on oikeilla valuolosuhteilla, raudoituksen oikealla sijainnilla, oikealla työstöllä sekä jälkihoidolla. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 66; 143–157; 162–163.)



### 3.6 Alustan ominaisuudet ja -rakenteet

Maanvaraisten lattioiden mitoituksessa alustan ominaisuuksilla ja niiden määrittelyillä on vaikutusta lattian painumiin ja sitä kautta laatan taipumiin, aina kun lattiaan kohdistuu kuormituksia. Alustan ominaisuuksia ja kantavuuksia määriteltessä puhutaan niin sanotusta alustaluvusta ( $k$ ). Alustaluku vaikuttaa eniten laatan taipumiin, ei niinkään laattaan muodostuviin jännityksiin ja sitä kautta laatan paksuuteen. Alustaluvun määrittelyyn voidaan käyttää kahta yleisesti tunnettua alustamallia, Winklerin kiinteää tai Vlasovin muuttuvaa alustamallilla. Näistä yksinkertaisemmassa Winklerin mallissa, jokainen laatan alla oleva piste saa saman jousivakioarvon ja on yksinkertainen soveltuen myös käsin laskentaan. Winklerin alustamalli antaa yleensä varmalle puolelle tulevat, riittävän tarkat tulokset, mutta kun lattiaan kohdistuvat kuormitukset ovat pieniä, ero muuttuvan ja kiinteän alustaluvun välillä on havaittu tarkemmissa laskelmissa olevan varsin pieni. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 71–76.)

Vlasovin muuttuvan alustamalli on huomattavasti monimutkaisempi ja se ei sovellu käsin laskentaan. Alustamallissa laattaa kuormitettaessa myös kuormitusalan viereiset maa-alkiot kuormittuvat. Tämä johtuu maaperän ja laatan leikkauslujuudesta, minkä takia voima siirtyy näiden kautta myös ympäröiville alueille ja näin ollen laatan nurkka-alueet saavat suuremman alustaluvun kuin kiinteässä alustamallissa. Tämä vaikuttaa laatan mitoitusmomentteihin pienentävästi, minkä vuoksi laskenta antaa lähemmäksi totuutta olevia tuloksia. Alustaluvun ja alusrakenteet määrittelee yleensä kohteen pohjarakennesuunnittelija kohdekohtaisesti. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 72–73.)

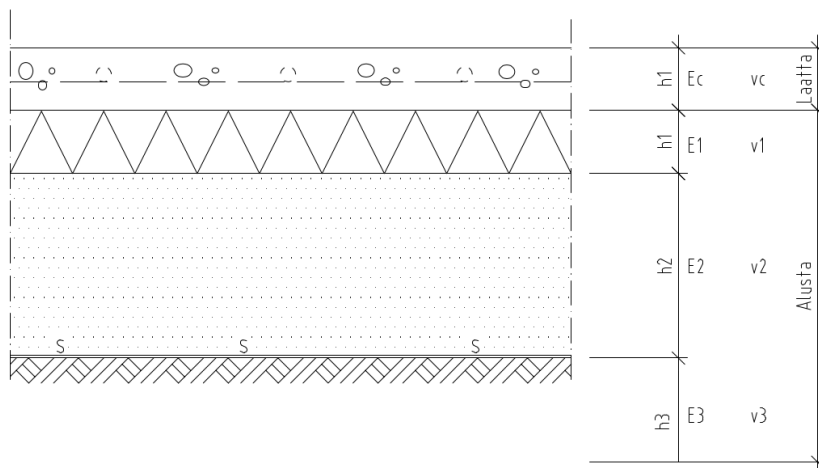


KUVA 18. Alustamallien määrittely voidaan tehdä yksinkertaisemmalla Winklerin mallilla (vasen) tai tarkemmissa laskennoissa Vlasovin mallilla (Suomen Betonilattiyhdistys).

Kerroksellisten lattioiden alustarakenteen laskentaan käytetään kaavan 1 mukaista kaavaa. Tätä varten on tiedettävä perusmaan alustaluku sekä muiden kerrosten muodonmuutosmoduuli, eli kimmo kertoimet sekä asennettavien kerrosten vahvuudet. Varsinkin sorakerrosten kimmokertoimeen vaikuttaa olennaisesti kerroksen tiiveyden vaikutus. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 72.)

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

missä  $h_i$  on alustan eri kerrosten paksuus,  $E_i$  alustan eri kerrosten kantavuusmoduuli ja  $k_m$  perusmaan alustaluku. Yksikkönä on  $\text{MN/m}^3$ . Kuvassa 19 on havainnollistettu eri rakennekerroksia laatan alapuolella.



KUVA 19. Useammasta kerroksesta muodostuvan lattian alusrakenne (Suomen Betonilattiyhdistys ry)

Lattiaan kohdistuvien kuormien ollessa suuret tai pienet, on laatan alusrakenteet tehtävä huolellisesti pohjatutkimuslausunnon mukaisesti. Maakostealla betonilla valettava maanvarainen betonilattia ei eroa alusrakenteiden osalta normaalista märkäbetonilattiasta ja tärkein yhteinen tekijä alusrakenteille on, että täytekerroksia ei saa rakentaa jäätyneen tai routineen pohjamaan päälle. Pohjan lämpötilan tulee olla yli + 10 °C. Jäätyneen maan päälle tehtäessä voi roudan sulaminen aiheuttaa suuria painumia lattiaan. Pienillä kuormituksilla maaperän painumisen kanssa ei yleensä tule ongelmia, mutta pohjaveden alentaminen sekä mahdolliset kuormitukset rakennuksen perustuksilta on otettava huomioon kuten normaaleissakin betonilatioissa. Alusrakenteen riittävä tiiveys tulee varmistaa pudotuspainomittauksilla tai levykuormituskokeilla 1kpl / 400 m<sup>2</sup>. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 71–76.)

Pohjamaan päälle tehdään kerroksittaiset täytöt routimattomasta, puhtaasta louhitusta murskeesta (5–16 mm) ja sepeleistä (16–32 mm). Kiviaines oltava louhittua, sillä luonnonsora ei katkaise kapillaarista veden nousua. Täyttöpaksuuden tulee olla vähintään 0,2 m, mutta yleinen suositus on käyttää vähintään 0,3 m kerrosta. Kiviaines ei lisäksi saa sisältää hienoaineksia, humusta tai muita orgaanisia aineksia. Kerroksittain tehtävä täyttö katkaisee kapillaarisen veden nousun maaperästä laattaan, mutta erittäin haastavissa olosuhteissa voidaan joutua alentamamaan pohjaveden pintaa. Pohjamaa pinta muotoillaan kallistamaan kohti salaojia. Yleensä siltti ja savimailla pohjamaan päälle suositellaan asennettavaksi suodatinkangas ennen varsinaisia täyttöjä. Varsinaisen betonilaatan alle asennetaan yleensä joko polystyreeni- (EPS) tai suulakepuristettua polystyreenieristettä (XPS). Nämä eristeet kestävät vettymistä avosoluisia eristeitä enemmän ja toimivat näin ollen pitkällä aikajänteellä paremmin myös kuormien alla. Lämmöneristeet toimivat myös kapillaarisuuden katkaisevana kerroksena. Suositus on eristää maanvaraiset laatat kauttaaltaan. Jos lattiassa on lisäksi lattialämmitys, on suosituksena käyttää normaalia enemmän lämmöneristystä, jottei lämmitysputkisto pääse lämmittämään maaperää. Jos lämmöneristeitä betonilaatan alla ei käytetä ja täytöt tehdään esimerkiksi kevytsoralla tai kevytsorabetonilla, voidaan betonilaatan alla käyttää suodatinkangasta tai erillistä muovikalvoa vähentämään alustan ja betonin välistä kitkaa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 72–80; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 6.)

### 3.7 Mitoittamisen periaatteet ja kuormat

Kantavat rakenteet ja rakennelmat suunnitellaan eurooppalaisten standardien, eurokoodien sekä niiden pohjalta laadittujen kansallisten liitteiden mukaan. Maanvaraisen lattian suunnittelussa ja mitoituksessa eurokoodeja noudatetaan vain soveltuvin osin, koska maanvaraiset lattiat eivät ole kantavia rakenteita. Maakosteiden maanvaraisten lattioiden suunnittelussa voidaan käyttää normaaleja toleranssi- ja seuraamusluokkia. Näissä seuraamusluokka on yleensä CC2 ja toleranssiluokka 2. Myös maakostealla betonilla suunnitellut lattiarakenteet voidaan ajatella kuuluvan näihin. Vaativaa CC3 seuraamusluokkaa käytetään vain erittäin poikkeuksellisissa kohteissa esimerkiksi teollisuuden kohteissa. Vaativissa kohteissa myös toteutusluokka on 3. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 90.)

Maakostea työmaabetoni soveltuu parhaiten lattiarakenteisiin, joihin kohdistuu verrattain pieniä puristavia kuormituksia, eikä niinkään mekaanisia- tai dynaamisia kuormituksia. Lähtökohtaisesti kuormasuosituksissa on hyvä noudattaa yleisesti RIL 201-1-2011 mukaisia ohjeistuksia, mutta kohteen ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen kautta lattioihin voi kohdistua suosituksia suurempiakin kuormituksia. Nämä täytyy ottaa huomioon lattian rakennesuunnittelussa. Kohteen ominaisuuksista riippumaatta voidaan tasaisena pintakuormana pitää  $q_k=1,5...2,5$  kN/m<sup>2</sup> ja yksittäisenä pistekuormana  $Q_k = \leq 2,0$  kN kuormia, kun kuormittava pinta-ala on vähintään 100 x 100 mm<sup>2</sup>. Kuormituksissa pinta- ja pistekuorma eivät vaikuta samanaikaisesti samassa poikkileikkauksessa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2020, 6; RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2011, 67.)

Maanvaraiset lattiat ovat yleensä ei-kantavia rakenteita ja ne voidaan mitoittaa kimmoisalla alustalla olevana teräsbetoni- tai kuitubetonirakenteena. Mitoitus tulee tarkastaa sekä käyttö- että murtorajatilassa. Murtorajatilamitoituksessa saadaan selville laatan vaadittava raudoitus maksimi rasituksille ja käyttörajatilamitoituksessa puolestaan tarkastellaan lattiarakenteen halkeamaleveydet sekä rakenteen halkeilukestävyys. Murtorajatilassa laattaan kohdistuvat kuormitukset ovat pysyvät ja muuttuvat kuormat sekä pakkovoimista aiheutuvat veto- ja taivutusmomentit. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 90–91.)

Perinteisesti maanvaraisen laatan mitoituksessa tarkastettavia kohtia ovat

- laatan lävistyskestävyys pistekuormille ja sen vaikutus laatan paksuuteen
- pistekuormista aiheutuva taivutusmomentti
- kitka- ja muista pakkovoimista aiheutuvat momentit
- halkeamaleveydet ja -kestävyys.

Näiden lisäksi joissakin tapauksissa tulee tarkastaa viruman vaikutukset laattaan. Maakostealle työmaabetonille ei varsinaisia mitoitusvelvoitteita ole koostumuksen mukaisen luokittelun mukaan. Lujuusluokitellun betonin laskentakaavat soveltuvat kuitenkin koostumuksen mukaiselle betonille, kunhan pystytään varmistamaan laskennan edellyttämien betonin ominaisarvojen saavuttamisesta laboratoriotestien avulla. Maakostealle betonille tärkeimmät tarkasteltavat kohdat ovat lävistyskestävyyden sekä pakkovoimista aiheutuvien rasitusten laskenta. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 55; 90–100.)

### 3.7.1 Kuormitusyhdistelmät ja voimasuureet

Maanvaraisen laatan mitoituksen kannalta yleensä määrävin tapaus muodostuu liikkuvan pistekuorman vaikutuksesta. Liikkuvien kuormien dynaamiset vaikutukset otetaan huomioon niin sanotuilla sysäyskertoimilla 1,4 ja 2,0, kun kyseessä on ilma- tai umpirenkas esimerkiksi trukkien tai muiden työkoneiden tapauksissa. Suuret pistekuormat on laatan lisäksi otettava huomioon myös alapuolelle tulevan eristeen valinnassa, jotta eristeelle ilmoitettu pitkäaikainen puristuskestävyys on riittävä. Lisäksi reuna-alueilla vaikuttavien pistekuormien vaikutukset on tiedostettava, jos laattaan joudutaan tekemään laatan alapuolisia vahvennoksia. Lähtökohtaisesti laatta olisi suositeltavaa suunnitella ilman vahvennoksia, jolloin vähennetään maan ja laatan välisen kitkan muodostumista. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 90–98.)

Tasaisen pintakuorman ei oleteta aiheuttavan taivutusta maanvaraisilla laatoilla, koska laatta kokoonpuristuu tasaisesti koko alueelta. Tasainen kuormitus aiheuttaa laattaan kuitenkin maata vasten puristuessaan kitkaa, mikä on huomioitava pakkovoimina. Viivakuormaa laattaan voi puolestaan muodostua esimerkiksi korkeiden väliseinien vaikutuksesta. Viivakuormien laskentaan voidaan hyödyntää kimmoisalla alustalla olevan palkin mitoituskäyriä. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 90–91.)

Seuraamusluokassa CC2 laatta mitoitetaan murtorajatilassa kaavojen 2 ja 3 mukaisesti. Suurin muuttuva kuorma kerrotaan osavarmuuskertoimella 1,3, jolloin pakkovoimia ei huomioida.

$$1,0\sum_{j\geq 1}G_{k,j} + 1,3Q_{k,i,max} + 1,0\sum_{i\geq 1}Q_{k,i} \quad (2)$$

$$1,0\sum_{j\geq 1}G_{k,j} + 1,0Q_{k,i,max} + 1,0\sum_{i\geq 1}Q_{k,i} \quad (3)$$

Seuraamusluokassa CC3 laatta mitoitetaan murtorajatilassa kaavojen 4 ja 5 mukaisesti. CC3 seuraamusluokassa myös pakkovoimat korotetaan kuormakertoimella 1,1.

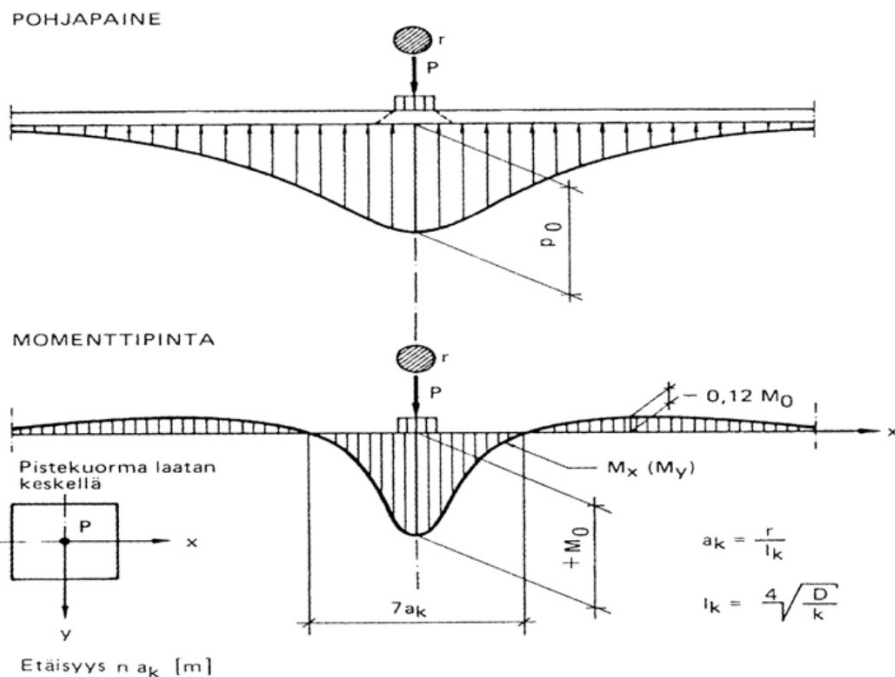
$$1,0\sum_{j\geq 1}G_{k,j} + 1,4Q_{k,i,max} + 1,0\sum_{i\geq 1}Q_{k,i} \quad (4)$$

$$1,1\sum_{j\geq 1}G_{k,j} + 1,1Q_{k,i,max} + 1,1\sum_{i\geq 1}Q_{k,i} \quad (5)$$

Pistekuormat voivat sijaita joko laatan keskellä, reunassa tai nurkassa. Keskellä laattaa sijaitseva pistekuorma aiheuttaa laatan alapintaan vetoa momenttihuipun kohdalle ja puolestaan laatan yläpinnan negatiivinen momentti jää pieneksi. Tämä selviää kuvasta 20. Laattaan kohdistuva pistekuorma ajatellaan ympyränmuotoiseksi ja sitä kutsutaan kuormitussäteeksi  $r$ . Kuormitussäde pistekuormille määritetään kaavalla 6 ja pyöräkuormille kaavalla 7. Kaavassa 6  $A$  on pistekuorman kuormitusala ( $m^2$ ) ja  $h$  on betonilaatan paksuus (m). Kaavassa 7  $P$  on liikkuvan pistekuorman aiheuttama kuormitus (kN) ja  $q$  rengas- tai kosketuspaine laattaan, joka yleensä on luokkaa 600–800 kN/m<sup>2</sup>. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 101.)

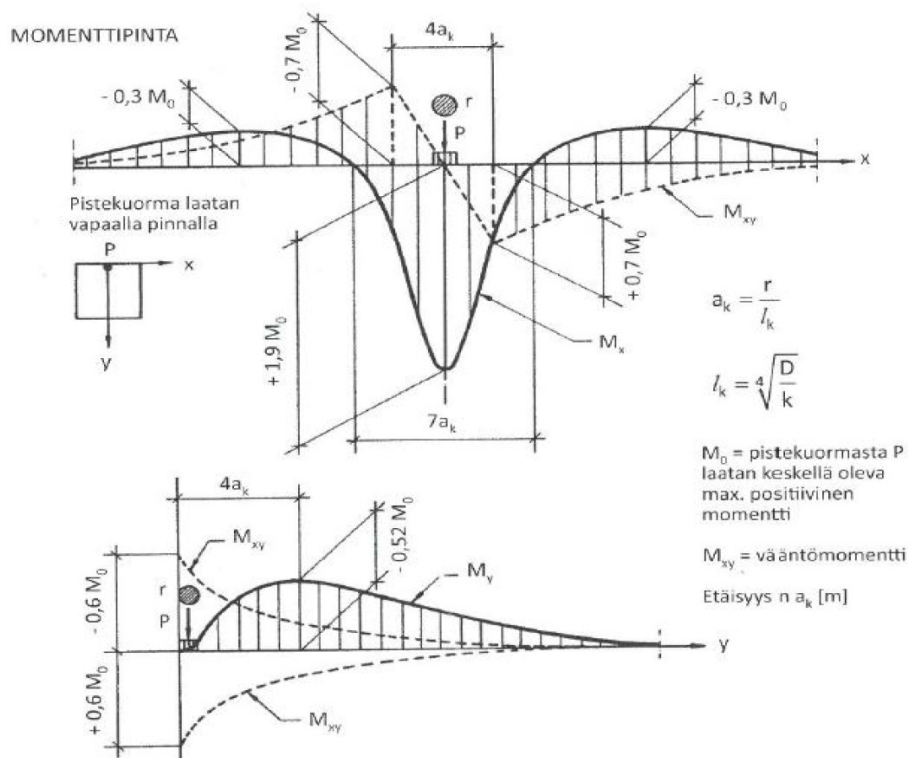
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{h}{2}} \quad (6)$$

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi q} + \frac{h}{2}} \quad (7)$$



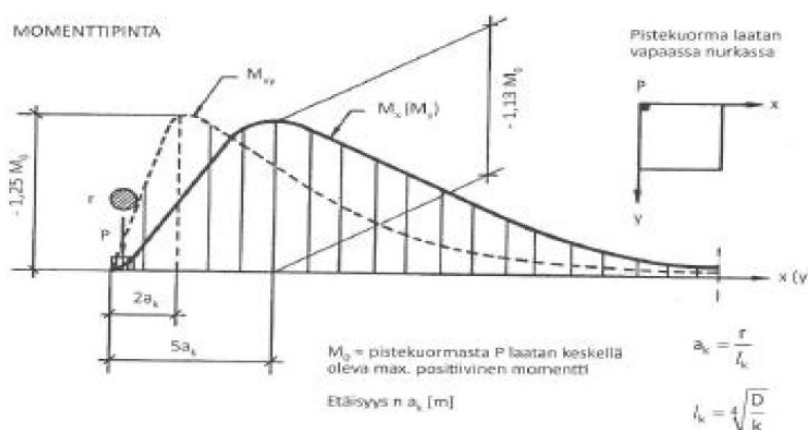
KUVA 20. Keskellä laattaa pistekuorman aiheuttama momenttikuvio (Suomen Betonilattaiyhdistys).

Reunan ja nurkan pistekuormat ajatellaan olevan niin sanotusti vapaalla pinnalla, mikä aiheuttaa huomattavasti suuremman taivutusmomentin sekä laatan ylä- että alapintaan, kuten kuvasta 21 huomataan. Myös laatan vääntömomentin suuruus on isompi vapaan reunan tapauksessa, mutta vääntömomentin maksimiarvo  $M_{xy}$  ei vaikuta laattaan samassa pisteessä. Vapaiden reunojen pistekuormat on otettava huomioon laatan saumarakenteiden suunnittelussa, sillä laatan saumojen olisi hyvä pystyä siirtämään laattaan kohdistuvaa pistekuormaa sauman yli, jottei taipumat sauman rasiuksen puolella kasvaisi liian suureksi. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 97.)



KUVA 21. Pistekuorman vaikutus laatan vapaalla reunassa aiheuttaa noin 2-kertaisen momentin keskellä laattaa vaikuttavaan kuormitukseen (Suomen Betonilattaiyhdistys).

Kun pistekuorma sijaitsee laatan vapaassa nurkassa, kuten kuvassa 22, aiheuttaa se laattaan suuren vääntömomentin, joka nostattaa myös laatan mitoitusmomenttia noin kaksinkertaiseksi x- ja y-akseleiden laskettuihin momentteihin. Vääntömomentti on otettava huomioon laskettaessa laatan yläpinnan halkeilukapasiteettia. Käytännössä tämä toteutetaan kasvattamalla laatan laskennassa käytettävää mitoitusmomenttia kaksinkertaiseksi verrattuna x- ja y-akseleiden suhteen oleviin momentteihin. Tämä siksi, että vääntömomenttia huomioivaa laskentakaavaa käsin laskennalle ei ole olemassa. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 98.)



KUVA 22. Pistekuormien vaikutus laatan vapaassa nurkassa kasvattaa vääntöä laatussa, mikä on otettava huomioon mitoituksessa (Suomen Betonilattiayhdistys).

### 3.7.2 Taivutusmomentti

Momenttien ominaisarvoja varten on selvitettävä ensin laatan elastinen jäykkyysräde  $l_k$ , minkä jälkeen voidaan määrittää laatan suhteellinen kuormitusjakauma  $a_k$ . Laatan elastinen jäykkyysräde voidaan laskea kaavalla 8, missä  $k$  on alustaluku ( $\text{MN}/\text{m}^3$ ) ja  $D$  lattian jäykkyys ( $\text{MNm}$ ). Se voidaan laskea puolestaan kaavalla 9, jota varten tarvitaan käytettävän betonin sekanttimoduuli  $E_{cm}$ . Se voidaan laskea kaavalla 10. Siinä  $f_{cm}$  on betonin keskimääräinen puristuslujuus ( $\text{MN}/\text{m}^2$ ) ja  $d$  laatan hyötykorkeus, mikä keskeisellä raudoituksella on  $0,85 h$ . Tämän jälkeen voidaan laskea suhteellinen kuormitusjakauma kaavalla 11. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 101.)

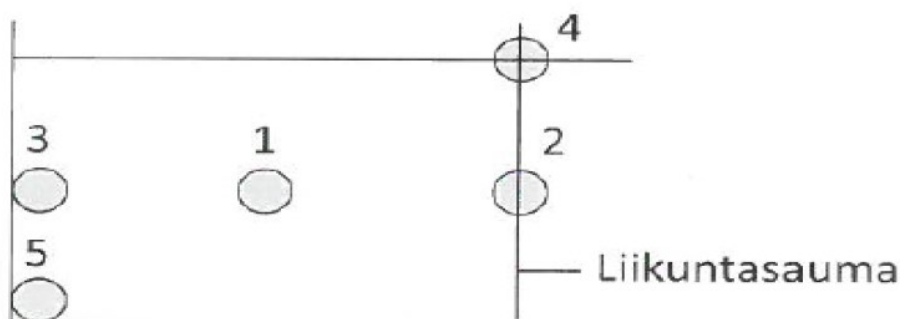
$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} \quad (8)$$

$$D = \frac{E_{cm}d^3}{12} \quad (9)$$

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

$$a_k = \frac{r}{l_k} \quad (11)$$

Laatan mitoituksessa tarkastellaan yleensä viittä eri pistettä kuvan 23 mukaisesti, missä joko pyörä- tai pistekuormitus voi vaikuttaa laattaan. Jos tiedetään ennakolta laatan mitoittava piste, ei kaikkia viittä pistettä ole tarpeen tarkastaa, mutta yleensä näin kuitenkin toimitaan. Laskennassa tarkastellaan kuormien aiheuttamia maksimi- ja minimimomenttien ominaisarvoja. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 103.)



KUVA 23. Laatan taivutusmomentin laskennassa käytettävät tarkastelupisteet (Suomen Betonilattaiyhdistys).

Laatan viiden tarkasteltavan pisteen minimi- ja maksimimomentit voidaan laskea kaavoilla 12–19. Kaavoissa  $P$  on laattaan kohdistuva piste- tai pyöräkuorma (kN) ja  $a_k$  suhteellinen kuormitusjakauma. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 103.)

Tapaus 1. Pistekuormat laatan keskellä.

$$M_{1max} = +P(0,056 - 0,211 \log a_k) \quad (12)$$

$$M_{1min} = -0,02 P \quad (13)$$

Tapaus 2. Pistekuormat sauman keskellä.

$$M_{2max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log a_k) \quad (14)$$

$$M_{2min} = -0,033 P \quad (15)$$

Tapaus 3. Pistekuormat laatan reunalla.

$$M_{3max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log a_k) \quad (16)$$

$$M_{3min} = -0,066 P \quad (17)$$

Tapaus 4. Pistekuormat saumojen nurkassa.

$$M_{4min} = \frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6}) \quad (18)$$

Tapaus 5. Pistekuormat laatan nurkassa.

$$M_{5min} = \frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6}), \text{ kun } a_k \leq 0,5 \quad (19)$$

### 3.7.3 Laatan lävistyskestävyys

Maanvaraisiin lattioihin kohdistuu yleensä tasaista puristusjännitystä, mutta hyvin yleistä on myös paikalliset pistekuormitukset laattaan. Tällöin laatan lävistyskestävyyden tarkastelu voi olla tarpeen. Betonilaatan lävistyskestävyyttä voidaan yleensä tehokkaimmin ja taloudellisimmin kasvattaa betonin poikkileikkauksen paksuutta kasvattamalla, koska yleensä laatat pyritään suunnittelemaan leikkausraudoittamattomina betonirakenteina.

Maanvaraisen laatan lävistyskapasiteetti tarkastellaan eurokoodin EN 1992-1-1 sekä kansallisten liitteiden mukaan. Ehtona toimii  $P_d \leq V_{Rd,c}$ , missä  $P_d$  on lävistysvoima ja  $V_{Rd,c}$  lävistyskestävyys. Leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 20. Kaavassa  $f_{ck}$  on betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa),  $k_1$  kerroin, mikä tulee eurokoodin kansallisesta liitteestä,  $b_w$  poikkileikkauksen pienin leveys sen vedetyltä korkeudelta (mm) ja  $d$  laatan hyötykorkeus (mm). (SFS-EN 1992-1-1 2002, 84.)

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w * d \quad (20)$$

Leikkausraudoittamattoman maanvaraisen laatan lävistyskestävyyden laskentaan tarvittava kerroin  $C_{Rd,c}$  saadaan kansallisesta liitteestä ja se lasketaan kaavalla 21. Muut tarvittavat kaavat ovat 22-24. Kaavoissa 22-24  $A_{sl}$  on vetorausituksen pinta-ala (mm<sup>2</sup>),  $\gamma_c$  betonin osavarmuuskerroin ja  $D$  laattaan kohdistuvan kuormituspinnan säde eli lävistyspiiri. (Rakenteiden lujuus ja vakaus 2019, 19.)

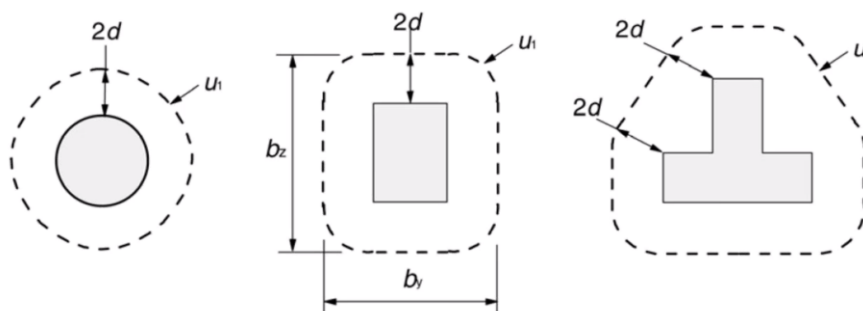
$$C_{Rd,c} = \frac{0,3 \left( \frac{D}{d} + 1,5 \right)}{\gamma_c \left( \frac{D}{d} + 4 \right)} \quad (21)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (22)$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c < 0,2 f_{cd} \quad (23)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad (24)$$

Perinteisesti pilareilla lävistyspiiri  $D$  määritellään laskennassa olevan kaksi kertaa pilarin laattaan kohdistuvan pilarin halkaisija  $2d$ , kuten kuvassa 24 on esitetty. Maanvaraisilla laatoilla, jossa pohjaan kohdistuu suuri vastapaine, on lävistyspiiriksi kokeiltava pienempää arvoa. Tämä tapahtuu iteroimalla kriittinen poikkileikkaus pilarille, jotta löydetään mitoittava lävistyspiiri. (RIL 202-2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje 2011, 45.)

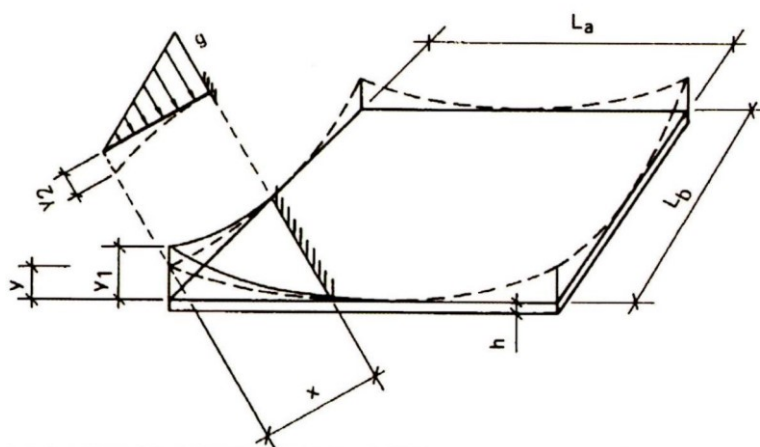


KUVA 24. Mitoittava lävistyspiiri iteroidaan maanvaraisilla laatoilla oikeaksi, kun perinteisesti pilareilla se on  $2d$  (RIL 202-2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje 2011, 45; BY 61 Betonirakenteiden suunnitteluohje 2020, 45).



### 3.7.4 Kutistumaa aiheuttavat pakkovoimat

Kun betonilaatan ylä- ja alapintojen väliin muodostuu lämpötilaeroja, aiheuttaa se aina betonissa jonkin verran muodonmuutoksia. Kun lämpötila nousee, betoni paisuu ja puolestaan lämpötilan las-  
kiessa rakenne kutistuu. Lämpötilaero laatan pintojen välillä aiheuttaa vetoa laatan yläpintaan ja pu-  
ristusta alapintaan. Tämän seurauksena laatta pyrkii kaareutumaan reunoistaan ylöspäin ja samalla  
kutistumaan kohti keskipistettään, kuten kuvasta 25 huomataan. Lämpötilamuutosten lisäksi myös  
valualueen ympäröivät kosteuserot aiheuttavat laattaan muodonmuutoksia, jotka ilmenevät kutistu-  
mina. Normaalin lattiabetonin kuivumiskutistuma on noin 0,6 mm/m, kun maakostean työmaabeton-  
nin kutistuman tiedetään olevan noin 2 ‰ pienempi. Tämän vuoksi kutistuman aiheuttaman muo-  
donmuutoksen vaikutukset eivät maakostealla ole niin merkittäviä, mutta epäedullisissa olosuhteissa  
voi ongelmia esiintyä myös maakostealla betonilla. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 66.)



KUVA 25. Maanvaraisen laatan nurkka-alueet käyristyvät ylöspäin kutistuman aiheuttaman muodon-  
muutoksen seurauksena (Suomen Betonilattiayhdistys).

Laatan lämpötilan aiheuttamaa muodonmuutoskutistumaa ja sen taivutusmomenttia laatalle voidaan  
laskea kaavalla 25 ja lämpölaajenemista kaavalla 26. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 105.)

$$M_{\Delta T} = \frac{\alpha \times \Delta T \times E_{cm} \times a^2}{12} \quad (25)$$

$$\Delta L_1 = a * \Delta T * L_x \quad (26)$$

Kaavassa 25 ja 26  $\Delta T$  tarkoittaa lämpötilanmuutoksen arvoa, mikä perustapauksessa maanvaraisilla  
laatoilla on 8°C kuivissa sisätiloissa silloin kun laatta pääsee lämpenemään yläosastaan. Kaavassa 26  
a puolestaan on betonin lämpölaajenemiskerroin ja  $L_x$  rakenteen pituus. (Suomen Betonilattiayhdis-  
tys ry 2018, 105.)

Laatan reunojen noustessa pyrkii laatan omapaino painamaan laattaa takaisin suoraksi alaspäin.  
Ohuilla laatoilla omapaino ei yleensä ole riittävä. Käyristymistä voidaan arvioida kaavoilla 27–28 laa-  
tan vapaissa nurkissa. Kaavalla 29 voidaan puolestaan arvioida oman painon kumoavaa vaikutusta.  
(Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 67.)

$$y_1 = \frac{\Delta \varepsilon (L_a^2 + L_b^2)}{8h} \quad (27)$$

$$y_2 = \frac{gx^4}{30E_c l_c} \quad (28)$$

$$y = y_1 - y_2 \quad (29)$$

Kutistuma aiheuttaa laattaan pakkovoimia. Pakkovoimat ovat niin sanottuja itsensä rajaavia voimia, jolloin pakkovoiman aiheuttaman liikkeen tapahduttua, voima laatasta lakkaa vaikuttamasta. Laatan mitoitustarkastelussa pakkovoimien huomiointi on tärkeää, mutta tarkastelu tulee suorittaa myös ilman pakkovoimia, sillä kun laattaan kohdistuu suuria piste- ja viivakuormia, kumoaa vastakkainen pakkovoima osittain piste- ja viivakuormien vaikutusta ja pienentää näin ollen laatan mitoitusmomenttia epäedulliseen suuntaan. Itse laatan kutistuma muodostuu sisäisen- ja kuivumiskutistuman summana. Tätä kokonaiskutistumaa  $\varepsilon_{cs}$  voidaan tarkastella kaavalla 30. (SFS-EN 1992-1-1, 33.)

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}(t) \quad (30)$$

Yleisesti betonin kutistumaan maanvaraisissa lattioissa vaikuttaa laatan paksuus, kuivumiselle alttiina olevan lattiapinta-alan määrä sekä aika, jolle kutistumaa lasketaan. Betonin sisäinen kutistuma on aikasidonnainen ja se voidaan laskea kaavoilla 31–32. Kaavalla 33 lasketaan betonin iän huomioiva kerroin  $\beta_{as}(t)$ . (SFS-EN 1992-1-1, 33–34.)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty) \quad (31)$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 * (f_{ck} - 10) * 10^{-6} \quad (32)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})} \quad (33)$$

Kuivumiskutistuma  $\varepsilon_{cd}$  ajan suhteen lasketaan kaavalla 34 ja vastaava betonin iän huomioiva kerroin  $\beta_{ds}(t, t_s)$  kaavalla 35. Kaavassa  $t$  tarkoittaa tarkasteluhetken betonin ikää vuorokausina,  $t_s$  betonin ikää jälkihoidon päättymisen jälkeen,  $h_0$  on laatan muunneltu poikkileikkauksen paksuus milleissä ja  $k_h$  kerroin, joka riippuu muunnellusta paksuudesta. Ohuille, 80–100 mm, laatoille  $k_h$  kerroin on 1,0. (SFS-EN 1992-1-1, 33–34.)

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0} \quad (34)$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)^{0,04} \sqrt{h_0^3}} \quad (35)$$

Kuivumiskutistuman laskennassa on suoritettava niin sanotun perusyhtälön,  $\varepsilon_{cd,0}$ , laskenta. Se suoritetaan kaavalla 36. Perusyhtälö on riippuvainen valutilan ympäröivästä ilman suhteellisesta kosteudesta ja sen huomioivasta kertoimesta  $\beta_{RH}$ . Se voidaan selvittää kaavalla 37. Kaavassa 36  $f_{cm}$  on betonin keskimääräinen puristuslujuus ja  $\alpha_{ds1...2}$  on sementtityypistä johtuva kerroin. (SFS-EN 1992-1-1, 33–34.)

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[ (220 + 110\alpha_{ds1}) * e^{(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{10MPa})} \right] * 10^{-6} * \beta_{RH} \quad (36)$$

$$\beta_{RH} = 1,55 * \left[ 1 - \left( \frac{RH}{100\%} \right)^3 \right] \quad (37)$$

Kutistumaan vaikuttaa olennaisesti laatan ja sen alusta välinen kitka. Kitkavoima syntyy betonin kutistuman ja lämpöliikkeen takia, kun laatta liikkuu alustaa vasten. Kitkan aiheuttaman vetovoiman arvo on kutakuinkin vakio koko laatan alueella ja se pystytään laskemaan kaavalla 38, jos tiedetään laattaan kohdistuvat, kitkaa lisäävät, pysyvät- ja hyötykuormat ( $g+q$ ) sekä laatan ja alustan välinen kitkakerroin  $\mu_F$ .  $L_x$  on kaavassa laatan pituuden puolikas metreissä, kun laatta pääsee vapaasti liikkumaan. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 69.)

$$N_k = (g + q) * \mu_F * L_x \quad (38)$$

Erialaisten alustojen vaikutus kitkaan on merkittävä, mikä ilmenee taulukosta 13, mutta myös pohjapaineen suuruus vaikuttaa. Ohuilla pienikuormaisilla maanvaraisilla laatoilla, joissa pohjapaine on pieni, kitkakertoimen arvo nousee ja päinvastoin. Tehokkaimmin kitkaa vähentävät alustat ovat joko kaksinkertainen, vähintään 0,3 mm:n paksuinen PE-muovikalvo tai suodatinkankaan päälle levitetty 20–30 mm paksu laakerointikerros. Muovia käytettäessä tulee niiden saumat limittää vähintään 150 mm ja ne on teipattava huolellisesti. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 66–68; 90.)

TAULUKKO 13. Laatan ja alustan kitkakertoimien arvoja eri alustavaihtoehdoilla (Suomen Betonilattiyhdistys ry)

Kitkakerroin $\mu_F$	Alustan kuvaus
0,5...0,75	Kun laatan alla on 1 tai 2 muovikalvoa tasaisen ja hyvin tiivistetyn hiekkakerroksen päällä, raekoko 0...8 mm
1,0	Kun laatan alla on tasainen hiekkakerros (20...40 mm), raekoko 0...8 mm
1,0	Kun laatta valetaan solumuovieristeen päälle.
1,0	Kun laatan alla on muovikalvo tasaisen hyvin tiivistetyn sora- tai murskekerroksen päällä.
1,5	Kun laatan alla on hyvin tiivistetty ja tasainen sora- tai murskekerros.
$\geq 2,0$	Kun laatan alla on tiivistämätön tai epätasainen murske tai sorakerros.
3,0	Kun laatan alapinnassa on paksunnoksia, jotka estävät kutistumis- ja lämpöliikkeen.

### 3.7.5 Halkeilun rajoittaminen

Maanvaraisten lattioiden halkeilun mitoituksessa tulee keskittyä kahteen tarkasteltavaan asiaan, laatan halkeilukestävyyteen ja haljenneen laatan halkeamaleveyksiin ja niiden rajoittamiseen. Laatan halkeilukestävyyden tarkastelu suoritetaan aina käyttörajatilamitoituksena ja mitoituksessa tarkastetaan, ettei laatan yläpinnan halkeamaleveydet ylity ja näin ollen laatta säilyttää sille asetetut säilyvyysvaatimukset. Pakkovoimien merkitys laatan halkeiluun on otettava laskennassa huomioon, sillä ilman pakkovoimien laskentaa, todellisia halkeamaleveyksiä on käytännössä mahdotonta laskea. Suurimmat sallitut halkeamaleveydet on ilmoitettu taulukossa 12. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 108.)

Laatan halkeilukestävyyden ja -kapasiteetin laskenta voidaan suorittaa kaavalla 39. Laskennassa  $N_{Ek}$  tarkoittaa laattaan kohdistuvaa keskeisen vetovoiman ominaisarvoa (kN),  $M_{Ek}$  yläpinnassa vaikuttava negatiivista momenttia (kNm),  $M_{R,cr}$  halkeilumomenttia (kNm),  $A_c$  betonipoikkileikkauksen pinta-alaa ( $\text{mm}^2$ ) ja  $f_{ctm}$  betonin keskimääräistä vetolujuutta ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Laatan halkeilumomentti lasketaan puolestaan kaavalla 40, jossa  $f_{ct,eff}$  on betonin tehokas vetolujuus ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) ja  $W_l$  betonin taivutusvastus ( $\text{mm}^3$ ). Taivutusvastus voidaan laskea seuraavasti:  $W_l = bh^2/6$ . Laskennassa betonin tehokkaan vetolujuuden arvona voidaan käyttää betonin keskimääräisen vetolujuuden  $f_{ctm}$  arvoa, kun halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28 vuorokauden ikää. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 108.)

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \leq 1 \quad (39)$$

$$M_{r,cr} = f_{ct,eff} * W_l \quad (40)$$

Jos halkeilukapasiteetti on riittävä, eli  $\geq 1,0$ , ei halkeilutarkastelua tarvitse laskea loppuun saakka.

Mikäli halkeilukapasiteetti ei ole riittävä ja kaavan 39 ehto ei toteudu, on suoritettava halkeaman ominaisleveyksien  $w_k$  tarkastelu. Se tarkastetaan kaavalla 41, missä  $s_{r,max}$  on halkeamavälin maksimi-arvo (mm),  $\varepsilon_{sm}$  raudoituksen keskimääräinen venymä ja  $\varepsilon_{cm}$  betonin keskimääräinen venymä halkeamien välillä. (SFS-EN 1992-1-1, 123; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 108.)

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (41)$$

Betonin ja raudoituksen venymien keskimääräistä erotusta lasketaan kaavalla 42 ja suurinta halkeamaväliä kaavalla 45. Näissä  $\sigma_s$  on vetoraudoituksessa vaikuttava jännitys (MPa),  $k_t$  lyhyt- ja pitkäaikaiskuormien kertoimet,  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ , kuten kaavassa 40,  $c$  vetoraudoituksen betonipeite (mm) ja  $\emptyset$  tangon halkaisija (mm). Kaavassa 42 tehollinen raudoitussuhde  $\rho_{p,eff}$  lasketaan kaavalla 43 ja betonin ja teräksen kimmokertoimien suhde  $\alpha_e$  kaavalla 44. (SFS-EN 1992-1-1, 123; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 108.)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_s \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (42)$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} \quad (43)$$

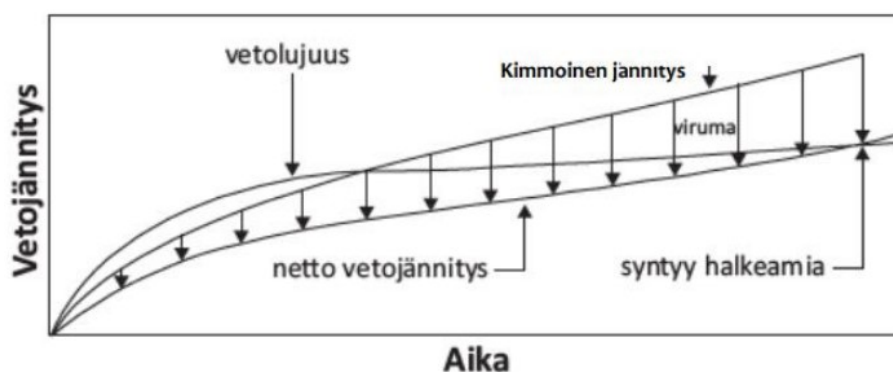
$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (44)$$

$$s_{r,max} = (k_3 * c) + (k_1 * k_2 * k_4 * \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}) \quad (45)$$

### 3.7.6 Viruma

Viruma tarkoittaa muodonmuutosta, mikä tapahtuu laatussa tietyn ajan kuluessa laattaa kuormitettaessa. Virumassa laatan kuormittaminen aiheuttaa painetta betonin geelihuokosissa, josta paineen vuoksi vesi virtaa pois ja betoni tiivistyy. Mitä suurempi kuormitus on, sitä suuremmaksi viruma kasvaa. Näin ollen voidaan sanoa, että viruman suuruus on suoraan verrannollinen kuormitukseen nähdessä. Viruman suuruus riippuu myös betonin iästä, sillä vanhemmalla ja painuneemmalla betonilla viruman aiheuttamat muodonmuutokset voivat ajan kuluessa palautua takaisin sekä rakenneosan mitoista, betonin koostumuksesta ja ympäröivän olosuhteen kosteudesta. Nuorella betonilla viruman muodonmuutokset yleensä ovat palautumattomia. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 95, 147; SFS-EN 1992-1-1, 31.)

Virumista tapahtuu kaikissa jännitystapahtumissa. Jos latioissa tapahtuu virumista, se tapahtuu niin sanottuna vetovirumana, mikä on lattian halkeiluun hallinnan kannalta yksi merkittävimmistä asioista. Vetovirumassa vetojännityksessä olevan betonin saavuttaessa viruman huipun ja betonin vetolujuuden ylittäessä, syntyy halkeama. Vetovirumassa betoni ”venyy” jännityksen suuntaan ja näin ollen pienentää betonin vetojännitystä. Tämän vuoksi lattian kuivuminen tulisi tapahtua mahdollisimman hitaasti, jolloin betonin muodonmuutoskyky eli niin sanottu murtovenymä olisi mahdollisimman suuri. (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 157.)



KUVA 26. Kun betonin vetovirumassa betonin vetolujuuden kapasiteetti ylitetään, syntyy halkeama (Suomen Betonilattaiyhdistys ry).

Kuten kappaleessa 3.7.1 todettiin, yleensä maanvaraisen laatan mitoituksen määräävin tapaus syntyy liikkuvan pistekuorman vaikutuksesta. Tällöin pistekuormitus laataan on yleensä hyvin hetkellinen, mikä ei aiheuta virumaa eikä sitä siten ollen tarvitse huomioida. Jos viruman vaikutukset kuitenkin huomioidaan laatan mitoituksessa, vaikuttaa se ennen kaikkea betonirakenteen käyttörajatilan mitoitukseen. Tällöin mitoitettavan laatan kimmokerroin muuttuu ja laatan ja maan vuorovaikutus on erilainen, mikä vaikuttaa laatan mitoitusmomentteihin. Tämän vuoksi viruman huomiointia on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti ja jokaisen tilanteen kohdalla erikseen.

Myös työmaan on otettava mahdollisen viruman vaikutukset huomioon käytännön toimenpiteissä. Liian aikaista lattian kuormittamista työmaa-aikana tulee välttää ja betonin kuivumiselle on annettava aikaa tapahtua riittävän hitaasti. Varsinkin käytettäessä maakostea betonia lattian liian aikainen kuormittaminen voi lisätä viruman riskiä. Tätä tulee välttää, sillä maakostealla samoja keinoja viruman pienentämiseksi, massan lujuuden kasvattamista tai kovettumisen nopeuttamista, ei käytännössä normaalin betonin tavoin ole mahdollista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 95–96.)

### 3.8 Raudoitustavat

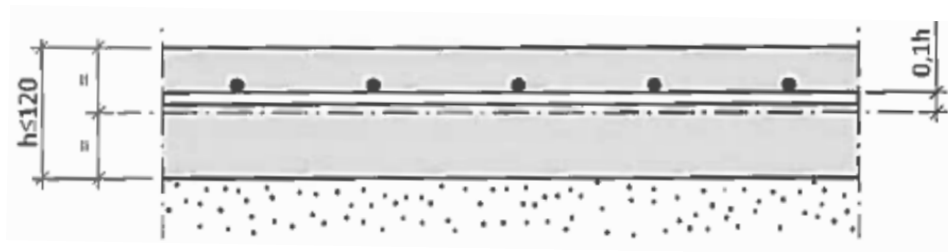
Maakostealla työmaabetonilla valettujen lattioiden raudoitustavat eivät eroa normaaliin lattiabetoniin verrattuna. Maanvaraisten lattioiden raudoitukset toteutetaan pääasiassa joko tanko- tai verkko-raudoitettuina, kuituraudoitettuina tai jälkijännitettyinä. Nykyään käytetään jonkin verran myös tanko- ja kuituraudoituksen yhdistelyä, missä reuna-alueiden rauditus hoidetaan tangoilla ja pääasiallisen raudituksen hoitaa kuitu. Tämän käyttö on lisääntynyt vuosi vuodelta. Jälkijännitetyt maanvaraiset laatat ovat tyypillisempiä verrattain raskaasti kuormitetuissa lattioissa, joissa halutaan saada laatan paksuutta optimoitua tai jos lattioiden pistekuormituskestävyyttä halutaan kasvattaa ilman laatan paksuntamista. Kohteissa, joissa maakostean työmaabetonin käyttö on perusteltua, ei jälkijännitystä käytetä. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 80–85, 111.)

#### 3.8.1 Verkkoraudoitus

Verkko- tai tankoraudoitus on eniten Suomessa käytetty lattioiden raudoitustapa. Tankoraudoitus voidaan tehdä irtotangoilla, mutta yleensä lattioissa käytetään rauditusverkkoja, jotka ovat yleensä vakiomittaisia niin sanottuja varastoverkkoja. Irtotankoja käytetään verkkojen lisäksi laattojen reunoissa lisäraudoitteina. Raudoitteiden koko on 6–12 mm ja silmäjako joko 150 tai 200 mm. Verkkojen ulkomitat ovat varastoverkoilla 2 350 x 5 000 mm<sup>2</sup>. Verkkojen lisäksi yleensä laatan vapaissa reunoissa käytetään lisäraudoitteina irtotankoja. Suurissa lattioissa voidaan näiden lisäksi käyttää kaista- ja mattoraudoitteita, jotka voidaan valmistaa kohdekohtaisesti erikoismitoilla ja jaoilla. Erityisesti ohuissa maanvaraisissa laatoissa raudituksen yksityiskohtaisessa suunnittelussa tulee keskittyä ennen kaikkea laatan ja aukkojen reunaraudoitukseen ja niiden määrään. Tämä johtuu laattojen pakkovoimista aiheutuvista vapaiden reunojen käyristymistä, jotka pystytään hallitsemaan reunan lisäraudoitteilla. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 81–83.)

Maanvaraiset betonilattiat suositellaan suunniteltavaksi raudoitettuina rakenteina niiden kutistumien ja kaareutumisen vuoksi. Tällöin lattioihin tulee vähintään EN 1992 mukainen minimiraudoitus, mikä varsinkin pakkovoimien vuoksi on tärkeää, jotta laatan halkeilu saadaan hallintaan ennen kuin se saavuttaa tasapainotilansa. Raudituksen laskeminen tapahtuu murtorajatilamitoituksena, joka aloitetaan määrittämällä laatan mitoitusmomentti  $M_{sd}$ . Se voidaan määrittää kaavalla 46. Siinä  $N_{ed}$  on keskeisen vetovoiman mitoitusarvo ja  $a_s$  raudituksen epäkeskeisyys. Vetovoiman mitoitusarvossa on huomioitava keskeisessä raudoituksessa raudituksen sijainnin vaikutus laatan keskipisteen suhteen. Jos rauditus sijaitsee keskipisteen alapuolella, on arvo positiivinen. Yleensä laatan keskeinen rauditus pyritään asentamaan laatan keskipisteen yläpuolelle kuvan 27 mukaisesti, koska valetavan betonin paino pyrkii painamaan raudoitusta aina alaspäin. Tällöin vetovoiman arvo on negatiivinen. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 106.)

$$M_{sd} = M_{Ed} - N_{Ed}a_s \quad (46)$$



KUVA 27. Maanvaraisen lattian keskeinen raudoitus sijoitetaan yleensä laatan keskipisteen yläpuolelle, koska valupaine painaa raudoitusta aina hieman alaspäin (Suomen Betonilattiyhdistys ry).

Momentin jälkeen voidaan laskea suhteellisen momentin arvo  $\mu$  kaavalla 47 ja sen jälkeen tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus  $\beta$  kaavalla 48. Momentin laskennassa tarkastellaan 1 m:n laatta-kaistaa  $b$ . Silloin kun paksuus on alle 120 mm ja kun laatasta on keskeinen raudoitus ( $a_s = 0$ ), laatan hyötykorkeuden  $d$  arvona voidaan käyttää  $0,5 h$ .  $F_{cd}$  on kaavassa ilmoitettava betonin puristuslujuuden mitoitusarvo ja sen yksikkönä on  $N/mm^2$ . (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 106.)

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} \quad (47)$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (48)$$

Varsinainen laatan tarvittava teräsmäärä  $A_s$  ratkaistaan joko kaavalla 50 tai 51 riippuen raudoituksen epäkeskisyydestä. Siinä verrataan keskenään laatan normaalivoiman epäkeskisyyttä  $e_d$  raudoituksen epäkeskisyyteen  $a_s$ . Jos normaalivoiman epäkeskisyyks on suurempi kuin raudoituksen epäkeskisyyks, valitaan kaava 49 ja puolestaan jos raudoituksen epäkeskisyyks on normaalivoimaa suurempi, valitaan kaava 50. Molemmissa kaavoissa 49 ka 50,  $f_{yd}$  on betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo, jonka yksikkönä on  $N/mm^2$ . (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 106.)

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}, \text{ kun } e_d > a_s \quad (49)$$

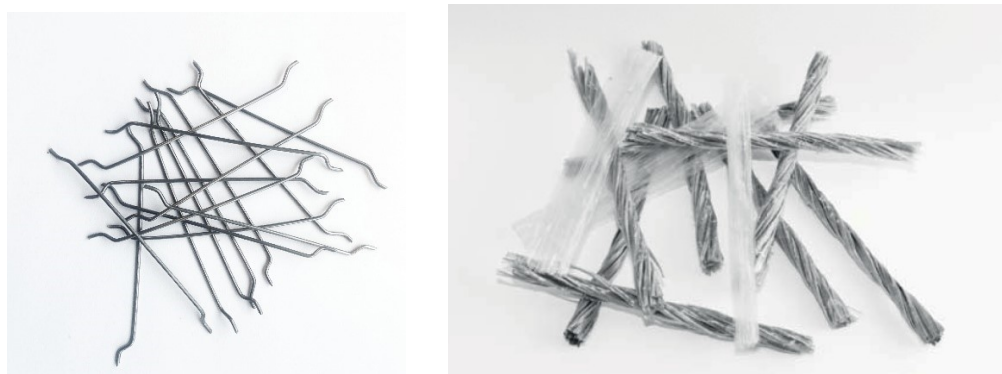
$$A_s = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}, \text{ kun } e_d \leq a_s \quad (50)$$

### 3.8.2 Kuituraudoitus

Maanvaraisia lattioita voidaan raudoittaa käyttäen niin sanottua kuituraudoitusta ja myös maakosteat betonilattiat voidaan raudoittaa käyttämällä tiettyjä kuituja. Suomessa käytetään käytössä eniten teräs- ja polymeerikuituja, joista polymeerikuidut jaetaan vielä mikro- ja makrokuituihin. Näiden lisäksi jonkin verran käytetään lasikuitua, mutta sen käyttö ei ole suositeltavaa ainakaan maakostean betonin kanssa, koska se hankaloittaa massan työstettävyyttä. Myös mikropolymeeri- ja lasikuitujen käytössä on havaittu betonimassan "siiliytyminen", missä betonimassa muovautuu piikkikääksi palloksi sitä työstettäessä. Tämän vuoksi maakostean työmaabetonin raudoituksessa urakoitsijat käyttävät joko teräs- tai makropolymeerikuitua. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 7–8; Kanto 2023; Grönthal 2023.)

Perinteisestä verkkoraudoituksesta poiketen, kuituraudoituksen mitoituksen ja tätä kautta annostelumäärän, tekee yleensä betonimassan valmistaja annettujen lähtötietoarvojen perusteella. Tarvittava kuitumäärä mitoitetaan alustan kantavuuden, laatan paksuuden ja kuitutyyppin mukaan. Teräskuidut tulee olla CE-merkittyjä standardin SFS-EN 14889-1 mukaan ja kuitubetonin valmistuksessa tulee noudattaa standardein mukaisia ohjeita. Teräskuidut ovat tyypillisesti 35–60 mm pitkiä korkealaatuisesta teräksestä valmistettuja lankoja, joiden tyypillinen annostelumäärä latioissa on 25–60 kg/m<sup>3</sup>. Kuitumäärät annostellaan 5 kg välein, mutta yleensä kevyesti kuormitetuissa latioissa noin 30 kg/m<sup>3</sup> teräskuitumäärä on riittävä. Tällöin yleensä laatta jaetaan sahattavilla kutistumasauvoilla ruudukkoihin, mutta laatasta saadaan myös saumaton käyttämällä >40 kg/m<sup>3</sup> kuitumäärää ja riittävää laakerointia betonin ja alustan välissä. Teräskuitujen käytössä tulee huomioida pintaan jäävien kuitujen määrä, joiden hiominen pinnasta on monesti työlästä. Tämän vuoksi pinta suositellaan pinnoitettavaksi. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 84; Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 7–8.)

Polymeerikuidut tulee puolestaan olla CE-merkittyjä standardin SFS-EN 14889-2 mukaan. Standardi jakaa kuidut kahteen luokkaan muodon, valmistustavan ja käyttötarkoituksen mukaan. Luokka I on mikrokuituja ja luokka II makrokuituja. Yleensä latioissa käytettävät polymeerikuidut ovat makropolymeerikuituja, joiden halkaisija on 0,5–1,0 mm ja pituus 40–60 mm. Tyypillinen annostelumäärä on 2–9 kg/m<sup>3</sup>. Makrokuidut parantavat kovettuneen betonin jäännösvetolujuutta teräskuitujen tapaan. Polymeerikuitujen käyttö on teräskuituja helpompaa, sillä pintaan jäävät kuidut voidaan polttaa pois haittaamasta esteettisyyttä. Lisäksi mahdollinen ruostuminen ja siitä tulevat ruostehaitta pintaan ei ole ongelmana. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 1; 6–8.)

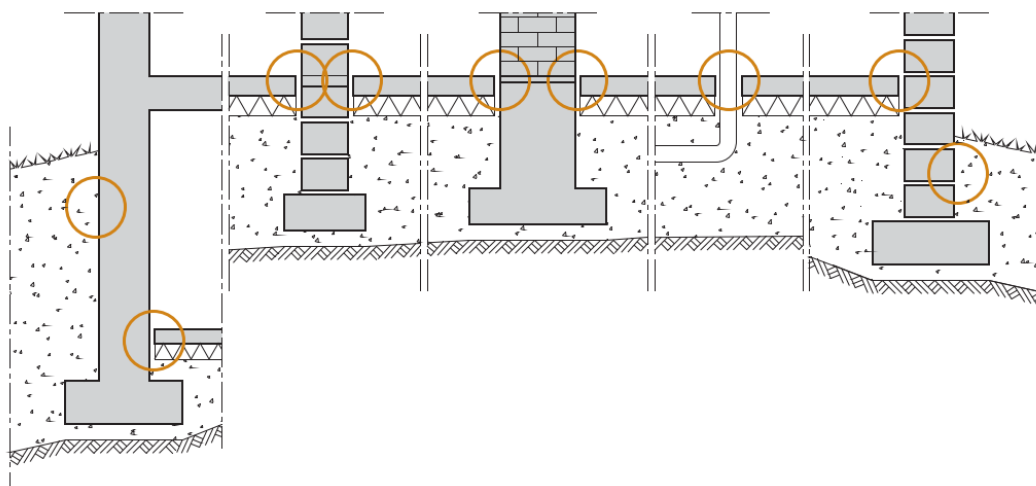


KUVA 28. Teräs- ja polymeerikuituja voidaan käyttää maakostean betonilattioiden raudoittamiseen. Kuvassa vasemmalla teräs- ja oikealla polymeerikuituja (Suomen Betonilattiyhdistys).



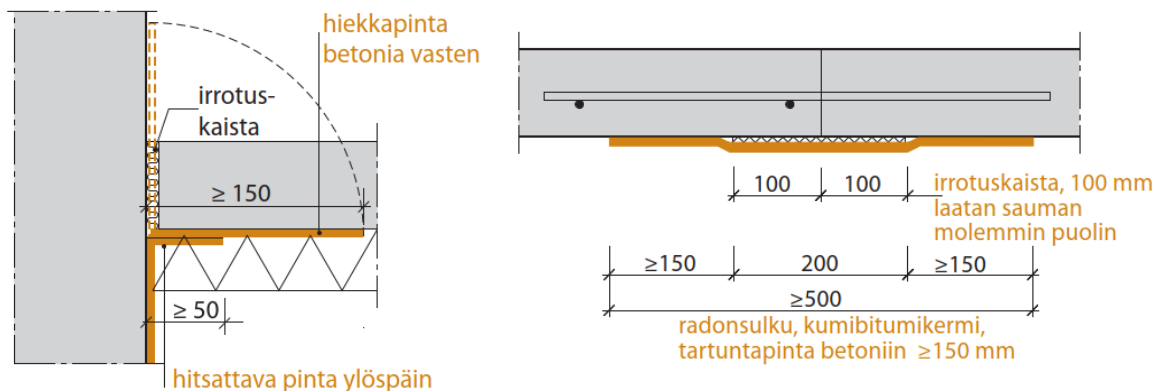
### 3.9 Epäjatkuvuuskohtien tiivistykset

Maanvaraisten lattioiden epäjatkuvuuskohdat, kuten seinien ja laatan liitokset, läpiviennit sekä työ- ja liikuntasauvojen kohdat, ovat monesti huonosti tehtyinä ja suunniteltuna rakennuksen sisäilma-ongelmien yleisimpiä aiheuttajia. Siksi niiden tiivistykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota sekä sisäilman haju- ja mikrobiongelmiin että radonkaasujen vuoksi. Tämän vuoksi kaikki liittymät tulee tehdä ilmatiiviiksi. Seinänvarisien sekä laatan saumojen tiivistyksissä tulee noudattaa RT-kortin radontiivistys ohjeita sekä kohdekohtaisia erikoisdetaljeja. (Sisäilmayhdistys 2008.)



KUVA 29. Esimerkki paikkoja maanvaraisen lattian tiivistyskohdista (RT 103123).

Maakostealla työmaabetonilla valettujen alapohjarakenteiden tiivistykset eivät eroa normaalista lattiat betonista. Yleensä seinän ja laatan välinen tiivistys toteutetaan yhdessä laatan irrotuksen kanssa umpisoluisella talotivisteellä tai polystyreeni tivisteellä. Laatan yläpintaan asennetaan pohjanauha sekä tehdään homesuojattu sauma. Sisätiloissa tuotteet oltava M1-päästöluokiteltuja, mikä tarkoittaa, ettei tuotteesta vapaudu sisäilmaan haitallisia orgaanisia yhdisteitä, formaldehydejä tai ammoniakkia päästöjä. Kouluissa tai muissa tiukempien sisäilmakriteerien kohteissa voidaan seinän ja laatan rajapinta lisä tiivistää esimerkiksi butyylisaumanauhalla jalkalistojen alta. Tarkemmat tiivistysohjeet kohteeseen suunnittelee yleensä kohteen rakennesuunnittelija. (Sisäilmayhdistys 2008.)



KUVA 30. Radontiivistykset tehdään bitumikermein hitsaten perusmuuriin ja kiinnittäen maanvaraiseen laattaan (RT 103123).

## 3.10 Pinnoitettavuus

Betonilattioissa käytettävien pinnoitteiden on oltava aina yhtenäinen kokonaisuus alusbetonin kanssa. Tuleva pinnoite voi asettaa vaatimuksia alusbetonille ja päinvastoin. Näitä pinnoittamisen vaatimuksia ovat muun muassa lattiabetonin kosteus, pinnan lujuus, -tasaisuus, -sileys, -puhaus sekä pyörärasituksen kesto. Pinnoitettavan lattian suunnitteluun ja tekoon vaikuttaa lisäksi kaksi tekijää, lattiaan kohdistuva rasitus ja itse pinnoite. Rasitus jakaa kohteet kolmeen eri kategoriaan, jotka on mainittu taulukossa 14. Maakostean työmaabetonin osalta rasitusluokka koskee suurimaksi osaksi pienten ja keskisuurten rasitusten käyttötiloja. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 40.)

TAULUKKO 14. Lattiaan kohdistuvat rasitustyyppit ja käyttötilat (Suomen Betonilattiyhdistys)

Lattiaan kohdistuva rasitus	Esimerkinomainen käyttötilajaotus	
<b>Pienet rasitukset</b>	Asuintilat Rasituksen kannalta asumiseen verrattavat käyttötilat	
<b>Keskisuuret rasitukset</b>	Liiketilat	Sairaalat
	Toimistot	Koulut
<b>Suuret rasitukset</b>	Teollisuuslattiat	Varastotilat
	Liikennetilat	Erikoistilat

Lattioiden pinnoittamisen ehkä tärkein ominaisuus on pinnoitteen kiinni pysyminen alustassaan ja näin ollen niin sanottujen ”kopojen” välttäminen sekä lattian kosteusteknisen toiminnan varmistaminen. Kiinnipysyvyyttä mitataan joko betonipinnan tai tasoitteen kohtisuorana vetolujuutena standardin SFS-EN 5445 mukaan. Taulukossa 15 on kerrottu eri rasitusluokkien vaaditut pinnan vetolujuuden arvot sekä suositukset lattian ylitasoittamiseen. Lattian ylitasoittamisen tarve on syytä maanvaraisten lattioiden kohdalla toteuttaa kriittisesti varsinkin märkätilojen kohdalla, missä vedeneristys tuo omat vaatimuksensa tasoitteille. Myös maakostean betonin kanssa tasoitteiden käyttö on tutkittava tarkoin, sillä sen korkeamman huokoisuuden vuoksi tasoitteen tarttumisen alustaan voi olla haastavampaa. Lähtökohtaisesti maakosteet betonilattiat ovat hyvin mittatarkkoja ja suorita, jolloin niiden ylitasoittamista ei tarvita. Lisäksi jos laatan pintaan asennetaan vesihöyryä läpäisemätön pinnoite tai jos lattiarakenteen tiiveyttä parannetaan laatan alle sijoitettavalla erillisellä muovikalvolla, tulee rakenteen kosteustekninen toiminta varmistaa riittävän pitkällä kuivumisajalla. Lähtökohtaisesti lattioiden pinnoittamisessa tulee aina noudattaa käytettävän lattiapinnoitusjärjestelmän työohjeita. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 10, 42–43.)

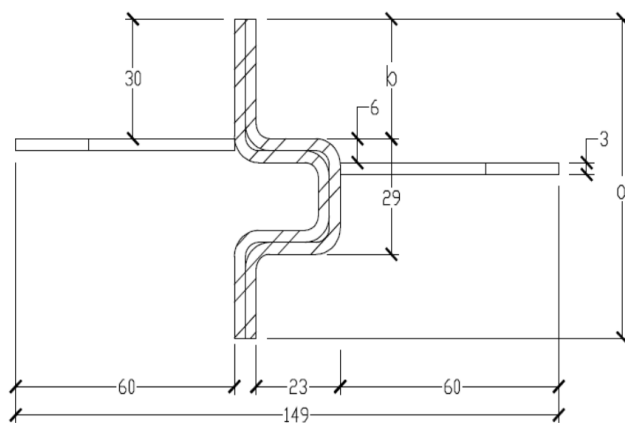
TAULUKKO 15. Pinnan lujusvaatimukset eri rasiustyypeille (Suomen Betonilattiayhdistys)

Lattiaan kohdistuva rasitus	Esimerkinomainen käyttötilajaotus	Pinnan vetolujuus [N/mm <sup>2</sup> ]	Tasoitteen käyttömahdollisuus
<b>Pienet rasitukset: pehmeäpohjaiset matot ja tekstiilimatot</b>	Asuinitilat: rasituksen kannalta asumiseen verrattavat käyttötilat.	0,2	Tasoite, jos täyttää vetolujuusvaatimuksen.
<b>Pienet rasitukset: muovimatot ja -laatat, korkilaatat</b>	Asuinitilat: rasituksen kannalta asumiseen verrattava käyttötilat.	0,6	Tasoite, jos täyttää vetolujuusvaatimuksen.
<b>Keskisuuret rasitukset</b>	Liiketilat, sairaalat, toimistot, koulut.	1,2	Tasoite, jos täyttää vetolujuusvaatimuksen. Jos lattialla on kevyttä toimistokäyttöä suurempaa pyöräliikennettä, on tasoitetta vältettävä.
<b>Betonilattian pintaan liimattu mosaiikkiparketti</b>	Kaikissa tiloissa.	1,2	Tasoitetta vältettävä. Käytettäessä tasoitetta on käytettävä tasoitetta, joka täyttää vähimmäisvetolujuusvaatimuksen.
<b>Suuret rasitukset</b>	Teollisuustilat, varastotilat, liikennetilat, erikoistilat.	2,0	Mieluiten ei tasoiteta. Tasoitetta käytettäessä erikoistasoite, joka täyttää vähimmäisvetolujuusvaatimuksen.

### 3.11 Saumat

Betonilattioiden saumat ovat yleensä lattian suunnittelun ja toteutuksen kipukohtia, koska sauman kohdalta lattiarakenne on kaikkein heikoin. Tämän vuoksi saumoja tulisi välttää tai vaihtoehtoisesti niiden suunnitteluun ja -detaljointiin tulisi käyttää aikaa. Saumojen suunnittelun lähtökohtana tulisi olla mahdollisimman yksinkertaiset ja suoraviivaiset ratkaisut. Saumajako kevyesti kuormitetuissa maanvaraisissa lattioissa määräytyy hyvin usein rakennuksen muodon, lattian toteutustavan tai halkeilulle tehdyn mitoitusperiaatteen suhteen. Saumatyypit tulee valita huolellisesti kohteen käyttötarkoitusten ja -rasitusten mukaan, sillä väärin valitun saumatyyppin reunat voivat vaurioitua helposti korjauskelvottomaksi. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 85–86.)

Käytännössä lattian saumat jaetaan neljään eri kategoriaan: liikunta-, kutistuma-, irrotus- ja työsaumat. Liikuntasauamat maanvaraisissa lattioissa toteutetaan aina kohdekohtaisesti rakennesuunnitelmien mukaisiin paikkoihin. Liikuntasauamat toteutetaan yleensä esivalmistetuilla liikuntasauma-raudoitteilla, jotka sallivat laatan pitenemisen, lyhenemisen ja kiertymisen. Liikuntasauaman tulee pystyä siirtämään laatan leikkausrasituksen sauman yli, koska laatta on liikuntasauaman kohdalla kokonaan poikki. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2018, 86.)



KUVA 31. Liikuntasaumat toteutetaan yleensä esivalmistetuilla liikuntasaumaraidoiteilla (Semtu). Kutistumasaumat ovat maanvaraisissa laatoissa yleensä sahasaumoja, koska se sopii hyvin kevyesti kuormitetuille laatoille. Sauma voi olla joko raudoitettu tai raudoittamaton. Raudoitettu sahasauma ei salli yhtä suurta liikettä kuin raudoittamaton ja rajoitettu liikekyky voi johtaa hallitsemattomaan halkeiluun. Raudoitetun sahasauman kuormankantokyky on kuitenkin parempi. Sahasauma tehdään yleensä 16–40 tuntia betonilaatan valun jälkeen sahaamalla laattaan noin 3 mm leveä ura, jonka syvyys on tyypillisesti 25–30 % laatan paksuudesta. Oikea-aikaisesti tehty sahasauma heikentää laatan vetokapasiteettia paikallisesti, jolloin kuivumiskutistuman aiheuttama halkeama ohjautuu sahattuun uraan. Oikea-aikainen sahaaminen on tärkeää, koska liian aikaisessa sahaamisessa saumojen reunat voivat vahingoittua ja taas liian myöhäinen sahaaminen voi aiheuttaa hallitsematonta halkeilua. Laatta mitoitetaan sahasauman kohdalla kuten laatan vapaa reuna. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 86.)



KUVA 32. Oikein tehty sahasauma halkeaa hallitusti sahausesta alaspäin (Matsinen 2012).

Irrotussaumoja tai -kaistoja käytetään maanvaraisissa lattioissa erottamaan laatta kaikista pystyrakenteista ja muista pakkovoimia aiheuttavista rakenteista. Irrotuskaistana käytetään yleensä 10 mm paksua talotiivistettä tai polyeteenimattoa. Työsaumoja ovat puolestaan läpiraudoitettut, liikettä sallimattomat saumat. Saumat voivat olla joko pestyjä, karhennettuja, vaarnattuja tai sileitä. Työsaumassa sauman läpi vietävän raudoituksen vetokestävyyden tulee olla käytettyä betonin vetolujuutta suurempi. Hyvä nyrkkisääntö työsauman rauditusmäärälle on 1,5-kertainen laatan raudoitukseen nähden. Yleensä pienten tai keskisuurien rasituskohteiden lattioissa ei erillisiä työsaumoja tarvita vaan laatan liikunta- ja kutistumasaumat toimivat samalla työsaumoina. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 87.)

### 3.12 Jälkihoito

Lattioiden onnistuneen lopputuloksen saavuttamisen edellytyksenä on oikein valitun ja oikea-aikaisen jälkihoidon suorittaminen. Jälkihoidon tekoon on suunnittelijoilla ja urakoitsijoilla monia näkemyksiä ja onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseen ei ole yksittäistä tapaa, vaan se vaihtelee olosuhteiden, kohteen, betonin ominaisuuksien ja lattiarakenteen mukaan. Perinteisesti jälkihoito märkäbetonilla koostuu nykytietämyksen mukaan kolmesta erillisestä vaiheesta, varhaisjälkihoidosta, hiertämisestä ja varsinaisesta jälkihoidosta. Monesti vielä tänäkin päivänä kuulee varhaisjälkihoidon olevan ”lisätyövaihe”, mutta sen merkitys plastisen kutistuman hillinnässä on märkäbetoneilla merkittävä. Varhaisjälkihoidon tarpeeseen voidaan olennaisesti vaikuttaa valutilan olosuhteiden hallinnalla, kuten luvussa 3.5 on mainittu. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2018, 174.)

Maakostealla työmaabetonilla varhaisjälkihoitoa ei tarvita, mutta olosuhteet valualueella on oltava hallinnassa. Hiertäminen suoritetaan levityksen kanssa yhtä aikaa, jolloin ongelmia massan erottumisesta ja pölyämisestä ei pääse syntymään. Lisäksi jos hierto tapahtuu liian myöhään valusta, pinnasta ei saada riittävän tasaista. Myös erillistä hiontaa laatalle ei tarvita kuivumisen edistämiseksi, koska maakosteaa massa ei muodosta sementtiliimaa. Varsinainen jälkihoito suoritetaan maakostealla betonilla joko muovittamalla pinnat tai jälkihoitoaineella. Näistä muovitus on selkeästi yleisempi tapa, sillä betonin huokoisuuden vuoksi jälkihoitoaineen levitys ja aineen liiallinen imeytyminen betonipintaan voi aiheuttaa haasteita myöhemmissä työvaiheissa. Muovitus tulee toteuttaa mahdollisimman nopeasti pinnan hierron jälkeen riittävän lujalla, vähintään 0,2 mm vahvalla, muovikalvolla. Kalvot tulee limittää riittävän paljon, jottei vesi tai ilmavirta pääse limitysten välistä betonipinnalle. Myös kevyiden painojen käyttö limitysten päällä on suositeltavaa. Muovikalvojen päälle kastelua ei suositella, sillä vesi voi päästä limityksistä ja reunoista betonipinnalle. Lisäksi muovien kastelu voi aiheuttaa työmaalla työturvallisuusriskin kalvojen liukkauden vuoksi. Jälkihoitoa suositellaan tehtävän vähintään 5–7 vuorokautta tai niin pitkään, että betonin lujuus on kehittynyt riittävän suureksi. Tämän jälkeen muovit voidaan poistaa ja antaa kosteuden tasoittua laatan pinnassa vähintään viikon ajan. Pinnoituskuivuuden maakosteaa työmaabetoni saavuttaa yleensä neljässä viikossa. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2012, 9; RT 103010 Maakosteaa betoni. Ohjekortti 2018, 1.)

### 3.13 Työmaatestaus ja laadunvalvonta

Betonirakenteiden työmaatestauksen ja laadunvalvonnan tavoitteena on estää virheiden syntyminen sekä löytää poikkeamat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Laadunvarmistuksen tavoitteena on myös varmistaa, että laatuvaatimukset ja muu tieto kulkevat eri osapuolten välillä. Standardi SFS-EN 206 määrittelee yksityiskohtaisemmin työmaan laadunvarmistustoimenpiteet lujuusluokitelluille betoneille. Niihin kuuluu muun muassa betonimassan notkeuden, lämpötilan ja pakkasenkestävillä betoneilla ilmatiiveyden testausta. Lämpötilamittauksilla seurataan pääasiassa betonin lujuudenkehitystä. Laadunvalvonnan toimenpiteet tulee kirjata ylös käyttäen joko sähköisiä tai paperisia järjestelmiä. Dokumentoinnista ja testauksesta vastaa työmaalle määrätty betonityöjohtaja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2023.)

Kuten luvussa 2.2 todettiin, ei koostumuksen mukaisille betoneille ole olemassa eurooppalaista harmonisoitua tuotestandardia ja näin ollen tuotteen työmaatestaukseen ja laadunvalvontaan ei löydy yhtenäisiä testaustapoja. Eräs käyttöön otetuista testausmenetelmistä on niin sanotut Prisma-kokeet. Siinä maakostean betonimassan laatua seurataan standardin SFS-EN 13892 ja 196–1 mukaisesti ja testissä voidaan tarkastaa käytettävän betonireseptin laatu ja tehdä tarvittaessa siihen muutoksia työmaalla. Prisma-kokeessa käytetään yleensä 40 x 40 x 160 mm kokoisia koekappalemuotteja, joihin annosteltavan betoni tiivistetään ja sullotaan vakioenergialla. Testillä saadaan selville testattavan massan pakkaantuvuus, vesimäärä, tiheys sekä taivutusveto- ja puristuslujuudet. Kokeet tulee suorittaa säännöllisin väliajoin tai aina kohteen tai massassa käytettävän hiekkaerän vaihtuessa. Testaus on myös syytä tehdä, jos epäillään käytettävässä hiekassa poikkeamia sen kosteudessa tai laadussa. Prisma-kokeiden lisäksi urakoitsijan tulee vähintään kerran vuodessa tarkistuttaa massan osa-aineiden annostelutarkkuus kolmannen osapuolen toimesta. (Suomen Betonilattiyhdistys ry 2021, 2; Komonen 2018.)

Lattiavalun jälkeen tulee lattian pinnan tasaisuus varmistaa kohdan 3.4.1 mukaisesti. Tämän lisäksi kohteen valmistuttua urakoitsija on velvollinen antamaan asiakkaalle betonimassan annosteluraportin, josta selviää kohteessa käytetyn massan osa-aineiden määrät ja suhteet. Tilaaajan on hyvä liittää raportti esimerkiksi työmaapöytäkirjan liitteeksi, jolloin se tulee osaksi muuta työmaan dokumentaatiota ja laadunvarmistusta. (RT 103010 Maakostea betoni. Ohjekortti 2018, 1.)



KUVA 33. Maakostean betonimassan velvoittavien ominaisuuksien tutkimiseen voidaan käyttää niin sanottua Prisma-mittausta (Komonen 2022).

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä tutkimusosassa kerrotaan projektissa tehdyistä laboratoriotutkimuksista, niiden lähtötilanteesta, vaiheista sekä tutkimusten tekemisen aikana ilmenneistä haasteista koko opinnäytetyöprojektin aikana.

Projektin lähtötilanneena oli tutkia ja selvittää maakostean työmaabetonin käyttöä märkäbetonin rinnalla maanvaraisissa lattioissa. Alussa oltiin tilanteessa, että Suomessa vain muutama urakoitsija käytti maakostea työmaabetonia maanvaraisten lattioiden valmistukseen. Mosaiikkibetonilaattalattioissa tapahtuneiden laattojen irtoamisen seurauksena oli eri rakennusalan ammattilaisten oletukset maakosteista betonista osittain huonoja. Lattiaurakoitsijoiden toimesta haluttiin selvittää työmaabetonin laadulliset erot verrattuna ennen kaikkea valmisbetoniin. Lisäksi tuloksia haluttiin verrata myös eniten käytössä oleviin lattiabetoneihin. Alussa maakosteasta työmaabetonista kerättiin kirjallista tietoa useista eri lähteistä ja haastateltiin ohjausryhmän urakoitsijoita laboratoriotestien suunnittelun tueksi. Heiltä kysyttiin muun muassa hyvistä ja huonoista betonin ominaisuuksista, mitä tarvitaan hyvän lattian onnistumiseksi. Kirjallisen aineiston kerääminen aloitettiin syksyllä 2022 ja työn varsinaiset tutkimukset suoritettiin kesä-syyskuussa 2023.

Eräänä projektin tavoitteena oli selvittää maakostean betonimassan ilmatiiveyttä. Ilmatiiveyden mitausta varten kartoitettiin eri vaihtoehtoja mittauksen suorittamiseen sekä selvitettiin toimijoita, jotka tekisivät kyseisiä mittauksia. Testauksessa päädyttiin selvittämään mahdollisuuksia ja kustannuksia toteuttaa testaus vedeneristeiden diffuusiomittauksen avulla stationäärisessä tilanteessa. Samalla haluttiin testata ja selvittää myös erilaisten kaasujen, pääasiassa radonkaasun, läpäisevyyttä alapohjan betonirakenteen läpi. Testauspalvelujen hinnan lisäksi selvitettiin myös hintaa omalle testilaitteistolle, joka olisi tullut Contesta Oy:n käyttöön. Työn suunnitteluun käytettiin Tampereen Teknillisen korkeakoulun päättötyötä, joka oli tehty yhdessä Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n kanssa. Selvityksen edetessä todettiin, että tilattavien testien hinta osoittautui työn kokonaisbudjetin kannalta liian kalliiksi ja myös oman testikaluston hankinta osoittautui tarkemmissa selvityksissä projektin kokonaisbudjettiin nähden liian kalliiksi, minkä vuoksi radonläpäisevyyden testauksesta päätettiin luopua.

Kun ilmatiiveyden tutkimiseen diffuusiomittauksen lisäksi ei toista luotettavaa menetelmää löytynyt, päätettiin siirtyä selvittämään mahdollisuutta varsinaisen alapohjarakenteen ilmatiiveyden testaamiseen niin sanotusti kenttätestauksena työmaolosuhteissa. Kappaleessa 4.2 on kerrottu tarkemmin kenttätestaukseen liittyvistä testimahdollisuuksista ja niiden toteutusmahdollisuuksiin tehdyistä selvityksistä. Kenttätestissä testauksen pääpaino olisi tullut olemaan alapohjan betonirakenteen mahdollisten epätiiveyskohtien havainnoinnissa ja selvittämisessä nimenomaisesti työmaan aikana. Näiden lisäksi tarkoituksena oli selvittää, olisiko maanvaraisen laatan alle asennettavasta erillisestä muovikalvosta apua rakenteen lisätiiveyden kannalta. Testiä varten tiedusteltiin useaa rakennusurakoitsijaa pääkaupunkiseudulta kesän ja syksyn 2023 aikana, mutta rakennusalan heikko suhdanne sekä aiemman tietouden puuttuminen kenttätestauksesta vähensi halukkaiden urakoitsijoiden määrää. Lisäksi laatan alle laitettava ”ylimääräinen” muovikalvon asennuksesta ei voitu olla varmoja, olisiko se mahdollisesti ajansaatossa alkanut aiheuttaa esimerkiksi sisäilmaongelmia kohteessa.



#### 4.1 Betonikoekappaleet ja laboratoriokokeet

Maakostean työmaabetonin tärkeimpiä ominaisuuksia päätettiin tutkia betonilaboratoriossa, jossa pääpaino oli tiedon lisääminen ennen kaikkea maakostean työmaabetonin niin sanotuista velvoittavista ominaisuuksista ja niiden raja-arvoista. Testit suoritettiin Sweco Finland Oy:n, entisen Contesta Oy:n, tiloissa Vantaalla kesän ja syksyn 2023 aikana.

Testejä varten molemmat ohjausryhmään kuuluneet lattiaurakoitsijat valmistivat alkuperäisen suunnitelman mukaan kaksi koekappaletta liitteenä 2 olevan betonikoekappalesuunnitelman mukaisesti. Koekappaleita valmistettiin kaksi, jotta molemmilta saataisiin eri paksuiset laatat, joiden ajateltu käyttökohde olisi ollut erilainen ja että testeissä tarvittavia näytekappaleita saataisiin riittävä määrä. Koekappaleet urakoitsija 1 valmisti suoraan kalustohallillaan ja urakoitsija 2 työmaalla, josta siirsi kappaleet hallilleen lujuuden kehityksen ajaksi. Tässä yhteydessä urakoitsija 1 ilmoitti, ettei heidän tuotteensa eroa käyttökohteiden mukaan, vaan he käyttävät samaa massaa kohteesta ja sen ominaisuuksista riippumatta. Koekappaleet olivat eri kokoiset ja ne valmistettiin eurolavojen päälle. Toinen koekappale oli yhden, 1,2 m x 0,8 m, kokoisen eurolavan ja toinen kahden yhdistetyn, 2,4 m x 1,6 m, eurolavan kokoinen. Eurolavojen päälle oli tehty 15 mm vahvuisesta filmivanerista pohja sekä laidat. Laitojen saumojen tiivistykset oli ohjeistettu tehtäväksi kittauksin, mutta testejä tehdessä huomattiin, ettei niiden teko ole tarpeen. Testikappaleiden paksuudet olivat 80 ja 100 mm ja molempien urakoitsijoiden koekappaleet valmistettiin urakoitsijoiden omista työmaamassoista. Laattojen tiivistys oli ohjeistettu tehtäväksi pienemmillä laatoilla käsin ja isoimmilla urakoitsijan käytössä olevalla kevyellä hierontokoneella. Molemmat urakoitsijat toteuttivat laattojen raudoitukset rakenteellisella muovikuidulla. Jälkihoito kaikilla koelaatoilla tehtiin muovittamalla kappaleet välittömästi valun jälkeen ja pitämällä muovitus laatan päällä koko jälkihoitoajan 28 vuorokautta sekä kuljetuksen ajan. Olosuhteet koekappaleiden lujuuden kehittymisen ajaksi oli pyritty tekemään mahdollisimman tasa-laatuiseksi.



KUVA 34. Maakosteasta betonista valmistetut 1,2 m x 0,8 m ja 2,4 m x 1,6 m kokoiset koekappale-laatat (Korolainen 2023, CC BY-SA).

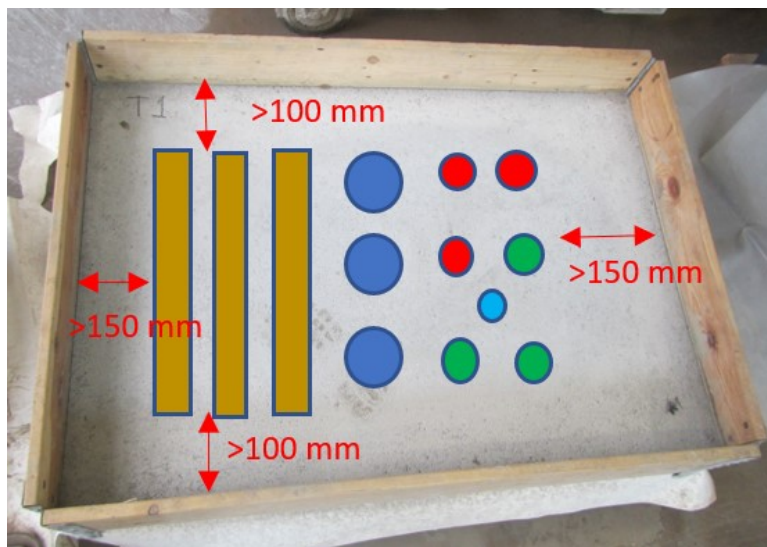


Laboratoriotestien lisäksi molempien urakoitsijoiden koekappaleista oli alun perin tarkoitus tehdä työmaalla prisma kokeet luvun 3.13 mukaisesti vertailua varten. Tämä toteutui ainoastaan urakoitsija 2 koekappaleista, sillä urakoitsijalla 1 ei koekappaleiden valmistuksen aikaan ollut prismamuotoja saatavilla. Kaikki testit suunniteltiin alkuperäisen aikataulun mukaan toteutettavaksi kevään ja kesän 2023 aikana. Testit päätettiin kuitenkin jakaa urakoitsijoiden kesken niin, että urakoitsija 1 koekappaleet toimitettiin laboratorioon kahdessa erässä kesäkuussa ja urakoitsija 2 laatat yhdessä erässä elokuussa. Tämä johtui urakoitsija 2 työmaakohteista, joita olisi paremmin testejä ajatellen saatavissa elokuussa.



KUVA 35. Betonikoekappaleiden valamista (Korolainen 2023, CC BY-SA)

Kaikista betonikoekappaleista sahattiin ja porattiin tehtävien testien edellyttävät määrät testikappaleita laboratoriosuunnitelman mukaisesti. Tätä laboratoriotestauksen seurantasuunnitelmaa ylläpidettiin ja päivitettiin sitä mukaa, miten testejä valmistui. Laboratoriotestauksen seurantaan käytetty suunnitelma luettavissa liitteenä 3. Testikappaleet otettiin koelaattojen keskialueilta kuvan 36 mukaisesti, jotta testattavan betonin hierto ja tiivistys olisi mahdollisimman tasalaatuista ja näin ollen välttäisiin ylimääräisiltä epätarkkuuksilta.



KUVA 36. Testikappaleet sahattiin ja porattiin oheisen kuvion mukaisesti koelaatoista (Korolainen 2023, CC BY-SA).

#### 4.1.1 Puristuslujuus ja tiheys

Betonikoekappaleiden puristuslujuudet määriteltiin laboratorioissa lieriökokeina standardien SFS-EN 12504-1:2019 ja 12390-3:2019 mukaan. Varsinaisten puristuslujuustestien tarkoituksena on selvittää, millaisiin puristuslujuuden arvoihin maakostealla työmaamassalla voidaan päästä parhaimmillaan. Lisäksi testin tarkoituksena oli saada selvyys erilaisten työstöjen, koneellisen ja käsin tehdyn tiivistyksen, vaikutukset massan lujuteen.

Testiä varten koekappaleista porattiin halkaisijaltaan 74 mm lieriökappaleet. Puristuslujuusmittauksia tehtiin kolme kappaletta jokaista massaerää kohden. Testipalat nimettiin T1...5:P1-P3, missä ensimmäinen kirjain-numeroyhdistelmä kertoo testattavan koekappaleen ja betonimassaerän ja jälkimmäinen numero testikappaleen numeron kyseisestä koekappaleesta. Kaikkien massaerien puristuslujuuksien testaukset suoritettiin vähintään 28 vuorokauden betonin iässä. Testikappaleet on luetteloitu laboratoriotestien seurantasuunnitelmassa liitteessä 2 ja tulokset esitetty liitteessä 5. Tulosten yhteenvetoa on analysoitu kappaleessa 5.2.

Puristuslujuuden lisäksi laboratorioissa määriteltiin koekappaleiden tiheys. Tiheyden määrittäminen tapahtui standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaisesti laskemalla tiheys betonin todellisilla mitoilla. Tiheys määriteltiin jokaisesta koekappaleesta. Tiheyden määrittämisen tarkoituksena oli varmistaa, että betonikoekappaleiden ominaisuudet vastasivat ennalta ajateltuja arvoja.

#### 4.1.2 Taivutusveto- ja tartuntavetolujuus

Kuten kappaleessa 2.6.2 kerrottiin, vetolujuuden määrittämiseen voidaan käyttää kahta eri menetelmää, taivutus- ja halkaisuvetolujuutta. Tässä projektissa vetolujuus selvitettiin laboratorioissa taivutusvetokoe testein standardin SFS-EN 12390-5 mukaisesti. Betonikoekappaleista sahattiin laboratorioissa kolme kappaletta 100 mm x 100 mm x 500 mm tai 80 mm x 80 mm x 500 mm kokoisia palkkeja. Palkkien koko määräytyi koekappalelaatan paksuuden mukaan, sillä laattojen paksuus vaihteli 80–100 mm välillä. Testipalkkeja kuormitettiin vakio halkaisukuormalla ja kuormitus palkille jakautui kahteen pisteeseen, joiden välinen keskiöetäisyys oli 300 mm. Jokaisesta koekappaleesta tehtiin kolme taivutusvetolujuuskoetta, eli yhteensä testejä tuli 15 kappaletta. Kaikki kokeet suoritettiin yli 28 vuorokauden ikäisestä betonista. Urakoitsija 2 betonikoekappaleista tehtiin laboratoriokokeiden lisäksi prismakokeet vertailua varten. Testikappaleet numeroitiin ja nimettiin T1...5:T1-T3, missä ensimmäinen kirjain-numeroyhdistelmä kertoo testattavan koekappaleen ja betonimassaerän ja jälkimmäinen numero testikappaleen numeron kyseisestä koekappaleesta. Testikappaleet on luetteloitu laboratoriosuunnitelmassa liitteessä 2.





KUVA 37. Taivutusvetolujuuden testikappaleet ja taivutusvetokoejärjestelyt laboratoriossa (Korolainen 2023, CC BY-SA).

Betonipinnan vetolujuus, eli tartuntalujuuden vetoarvot, selvitettiin laboratoriossa SFS-EN 1542 mukaisesti kohtisuorana vetotestinä betonipinnalle. Kuten kappaleessa 2.6.3 kerrottiin, testissä näytteenottokohtaan porattiin halkaisijaltaan 74 mm poralieriö, johon kiinnitettiin epoksiliimamassalla teräksiset vetokappaleet. Vetokappaleiden halkaisija oli 74 mm ja koepistettä vedettiin kohtisuorasti 90-aseteen kulmassa ylöspäin ConsurTest-laitteella. Kustakin betonikoekappaleesta otettiin kolme vetokoetta ja testikappaleet nimettiin esimerkiksi T1...5:V1-V3, missä ensimmäinen kirjain-numeroyhdistelmä kertoo testattavan koekappaleen ja betonimassaerän ja jälkimmäinen numero testikappaleen numeron kyseisestä koekappaleesta. Testiveto uusittiin aina tarvittaessa, jos pinnan murtuminen tapahtui pinta-aihiosta tai jos vetotulos alitti alle  $1,5 \text{ MN/m}^2$ . Testin tarkoituksena oli saada selville, millaisiin pinnan vetolujuuksiin puhtaalla maakostealla betonipinnalla voidaan päästä ja saadaanko pinnasta riittävän luja esimerkiksi vedeneristyksen alustaksi ilman erillistä ylitasoittamista.



KUVA 38. Vasemmalla testauslaitteisto ja oikealla testipisteet sekä epoksilla liimatut vetokappaleet (Korolainen 2023, CC BY-SA).

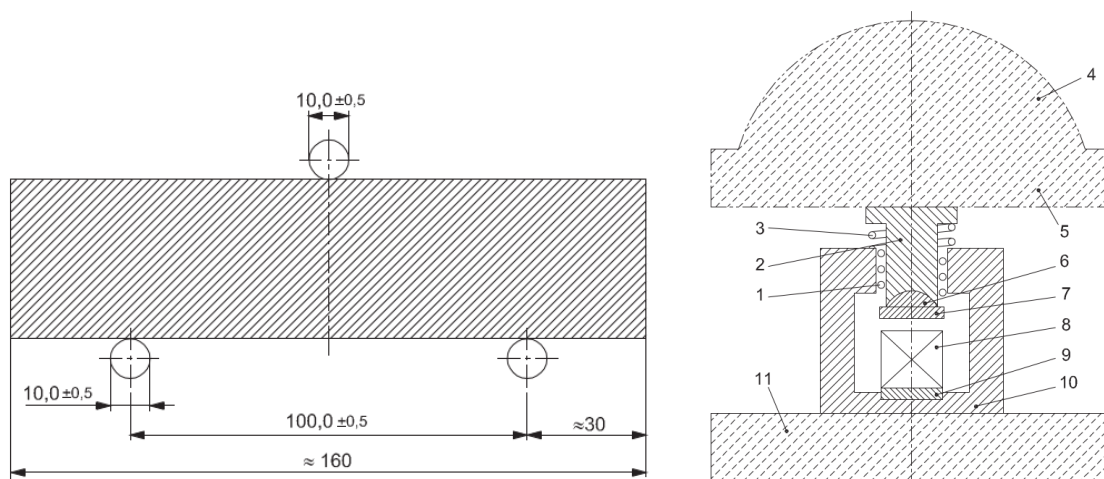
#### 4.1.3 Kulutuskestävyys

Kappaleen 2.8.4 mukaan betonilattian kulutuskestävyyden mittaaminen voidaan suorittaa käytännössä kolmella eri mittausmenetelmällä, Böhme-, BCA- tai RWA-mittauksella. Koska yleensä maakostean betonin perinteisiin testausmenetelmiin ei kuulu kulutuskestävyyden mittaaminen, päätettiin tässä projektissa sisällyttää se testausohjelmaan mukaan, jotta saadaan selville, miten puhdas maakosteaa betonimassa kestää mekaanista kulutusta. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kulutuskestävyyden testauksessa oli tarkoitus vertailla kahden eri pinnan työstön, käsin- ja konehiertoisen pinnan, vaikutusta kulutuskestävyyteen. Tässä projektissa mittaus suoritettiin Böhme-mittauslaitteistolla betonikoekappaleista T1, T2, T3 ja T5. Testikappaleet nimettiin ja numeroitiin T1...5:B1-B3, missä ensimmäinen kirjain-numeroyhdistelmä kertoo testattavan koekappaleen ja betonimassaerän ja jälkimmäinen numero testikappaleen numeron kyseisestä koekappaleesta. Testit suoritettiin standardin SFS-EN 13892-3:2014 mukaisesti. Kaikista koekappaleista porattiin ensin kolme 120 mm kokoista lieriötä. Nämä lieriöt leikattiin noin 70 x 70 x 70 mm<sup>3</sup> kokoiseksi koekappaleeksi. Sivumitan toleranssi oli 71 mm ± 1,5 mm. Tämän jälkeen koekappaleet tarkkuusmitattiin ja -punnittiin sekä määritettiin niiden tiheys. Koekappaleiden korkeuden mittaus suoritettiin kulutuspinna ylöspäin ja muut sivut kolmeen kertaan keskiarvomittojen saamiseksi. Punnitus suoritettiin tarkkuuspuntarilla, minkä tarkkuus oli 0,1 grammaa. Tiheys määriteltiin laskemalla.

#### 4.1.4 Prisma kokeet

Betoniprismat valmistettiin työmaalla urakoitsija 2 toimesta kappaleen 3.13 mukaan. Prismamuotteenä käytettiin 160 x 40 x 40 mm:n kokoisia teräsmuotteja, joissa jokaisessa muotissa on kolme testipalaa. Testipalojen betonointi tapahtui samanaikaisesti tehdyn ison koekappaleen kanssa. Jälkihoito tapahtui laittamalla prismanäytteet muovipussiin. Laboratorioon prismanäytteet saapuivat samanaikaisesti varsinaisten koekappaleiden kanssa. Siellä prismoista testattiin taivutusveto- ja puristuslujuudet standardin SFS-EN 196-1:2016 mukaisesti. Ensin näytteistä testattiin taivutusvetolujuudet, jonka jälkeen kokonaisen testipalan molemmista päädyistä sahattiin 40 x 40 mm:n kokoiset palat puristuslujuuksia varten. Näin ollen taivutusvetolujuuksia saatiin kolme ja puristuslujuuksia kuusi jokaista koekappaleelta kohden. Prismakokeiden puristuslujuuksien testikappaleet nimettiin T2:1.1, T2:1.2 ja niin edelleen. Ensimmäinen kirjain-numero yhdistelmä kertoo koekappaleen ja betonierän tiedon, toinen numero prisma testikappaleen numeron ja kolmas numero testikappaleen puristettavan puolen. Taivutusvetolujuuksien testikappaleet nimeäminen oli yksinkertaisempi ja noudatteli aiempia malleja tyyliin T2:1, T2:2 ja niin edelleen.

Normaalista taivutusvetolujuus testistä poiketen, prisman taivutusvetolujuustestissä testikappaletta painettiin alaspäin keskeisesti tukipisteisiin nähden olevasta yhdestä pisteestä. Tukien välinen etäisyys on 100 mm kuvan 39 mukaisesti. Sekä taivutusveto- että puristuslujuuksien testeissä kaikki testikappaleet asetettiin testilaitteeseen samoin päin niin, että testipalan yläreuna tuli puristuspuoleen vasemmalle puolelle. Näin varmistettiin, että puristava ja puristuva pinta olivat täysin tasaisia ja näin ollen testin epävarmuustekijät saatiin pienemmäksi. Testien tulokset ilmoitettiin vähintään 0,1 MPa tarkkuudella. Puristuslujuuden osalta ± 10 % poikkeamat keskiarvosta hylätään.



KUVA 39. Prisma kokeiden taivutusveto- ja puristuslujuuksien testaustapa laboratoriossa (SFS-EN 196-1).

#### 4.2 Maanvaraisten lattioiden ilmatiiveyskokeet

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli saada tuotettua lisätietoa maakostean työmaabetonin ilmatiiveydestä. Alun perin testaus oli tarkoitus toteuttaa laboratorio-olosuhteissa diffuusiomittauksena, jolloin olisi saatu selville eri kaasujen läpäisevyys betonin läpi. Testi osoittautui kuitenkin liian kalliiksi toteuttaa, minkä vuoksi päätettiin selvittää eri vaihtoehtoja toteuttaa testaus työmaalla. Tätä varten kartoitettiin kaksi erilaista tapaa toteuttaa ilmatiiveyden testaus työmaalla, perinteisestä paine-erotististä muokattu versio sekä kohdennettu merkkiainekoe alapohjarakenteelle (Virtanen 2023).

Perinteinen rakennuksen ilmatiiveyttä mittaava paine-erotesti tapahtuu standardin SFS-EN 13829 mukaisesti. Siinä rakennukseen tuotetaan maksimissaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine, josta on suljettu ja tiivistetty kaikki läpimenot ikkunoita, hormeja ja ovia myöten. Tiivistysten ja paineistuksen jälkeen luodaan paine-ero sisä- ja ulkoilman väliin, jotta voidaan mitata vuotavan ilman määrä. Suositus on toteuttaa testi sekä ali- että ylipaineisena, koska ilmavuotoluvun suuruus saattaa vaihdella ilmavirtauksen suunnan muuttuessa. Yleensä testi tehdään täysin valmiiseen kohteeseen. (RT 80-10974.)

Muokatussa paine-erotestissä periaate mittaukselle on sama, kuin standardin SFS-EN 13829 mukaisessa testauksessa, mutta tässä versiossa testaus tapahtuisi työmaa-aikana. Tällöin saadaan tarkempaa ja luotettavampaa tietoa itse maakostean betonilaatan tiiveydestä, kun muita kerroksia ei ole häiritsemässä tuloksia. Kohteen paineistuksen jälkeen suoritetaan kohdennetut lämpökamerakuvaukset erityisesti alapohjarakenteelle sekä ali- että ylipainetilassa. Testi osoittaa mahdolliset vuotokohdat alapohjarakenteessa ja sen liitoksissa. Testauksen ongelmakohtana on riittävän lämpötilaeron saaminen alapohjarakenteen ja sisätilan välille, mikä edellyttää kamerakalustolta laajempaa käyttöaluetta. Etuna testaukselle on sen verrattain nopea ja yksinkertainen toteutustapa, mikä näin ollen on myös edullinen. (Grönthal 2023; Virtanen 2023.)

Toinen vaihtoehto toteuttaa ilmatiiveyden testaus työmaalla on alapohjarakenteelle suunnattu merkkiainekoe. Siinä merkkiainekaasua, esimerkiksi typpi-vety-seosta, puhalletaan rakenteen läpi joko sisältä tai ulkoapäin koko tarkasteltavan alapohjan alalle. Aineen leviäminen koko alapohjan alalle varmistetaan tarvittaessa erillisin tarkastusrei'in. Olennaista testissä on merkkiaineen saaminen oikeaoppisesti koko alapohjan alle sekä riittävä paine-ero koelattian molemmin puolin koko kokeen ajan. Paine-ero suoritetaan alipaineistamalla mitattava tila, jolloin merkkiaine pyrkii nousemaan alipaineen suuntaan näyttäen epätiiveyskohdat. Odotusajan jälkeen tarkastellaan tutkittavaa rakennetta siihen tarkoitettulla analysaattorilla. Analysaattori reagoi mahdolliseen rakenteesta läpitullevaan merkkikaasuun, jolloin löydetään selkeät vuotokohdat tai rakenteen heikot kohdat kaasuille. Tarvittaessa epäiltyä vuotokohtaa tuuletetaan paineilmalla, jotta varmistutaan analysaattorin tuloksista. Tämän testauksen ongelmakohtana on maanvaraisen lattian täyttökerrosten tiiveyden vaihtelut, jolloin merkkiaineen leviäminen vaatii testaukselta enemmän aikaa sekä enemmän merkkiaineen syötökohtia. Mahdollista radonputkistoa voidaan hyödyntää merkkiaineen laskussa. Etuna perinteiseen paine-eromittaukseen on tarkemmat tulokset sekä alapohjarakenteelle tyyppisemmin soveltuva testaustapa ja sen myötä luotettavampi raportointiohjeistus. (RT 14-11197; Virtanen 2023.)

Kolmantena vaihtoehtona on toteuttaa molemmat edellä mainituista kenttätesteistä laboratorio-olosuhteissa. Siinä laboratorioon valmistetaan koelaatat tiiviiseen muovikaukaloon, jonka alapuolelle saadaan ilmatila joko merkkiainetta tai paine-eroa varten. Koelaattaan tehdään seinä- ja viemäriiliitoksia vastaavia läpimenoja ja niiden tiivistyksiä, jotta voidaan havainnoida tiivistyskohtien mahdolliset ilmavuodot. Valettavan laatan alle kohdistetaan riittävä paineistus muottirakenteen ulkopuolelta. Testin etuna on varsin luotettavat ja tasapuoliset olosuhteet betonin ominaisuuksista riippumatta. Haasteina puolestaan on laboratorion tilajärjestelyjen riittävyys, sillä testilaattojen on oltava riittävän suuria läpimenojen ja muiden vastaavien järjestämiseksi sekä mahdollisesti kenttätestausta huomattavasti kalliimmat kustannukset.



## 5 TULOKSET

Tässä kappaleessa on esitetty laboratoriotesteistä saatuja tuloksia maakostean työmaabetonin koekappaleista. Tuloksia myös vertailtiin puristus- ja taivutusvetolujuuksien osalta normaalin C25/30 lattiabetonin kanssa ja sen vastaaviin arvoihin. Lujuusluokitellun lattiabetonin vertailuarvot on otettu betonieurokoodista SFS-EN 1992-1-1. Laboratoriotestien lopulliset tulokset ovat yhteenvetojen ja analysointien lisäksi esitetty liitteissä 4–8.

Työn tuloksissa on mukana viikolla 18 valettu urakoitsijan 1 koekappale T1 sekä urakoitsijan 2 viikolla 29 valetut laatat T2 - T3 ja viikolla 36 valetut koekappaleet T4 - T5. Alkuperäisessä suunnitelmassa molemmilta urakoitsijoilta oli tarkoitus saada testiin kaksi erillistä koekappalelaatta, mutta urakoitsijan 1 toinen koekappale kuitenkin valun ja kuljetuksen yhteydessä särkyi työmaalla, joten korvaavan laatan teko päätettiin jättää tekemättä kevään aikana.

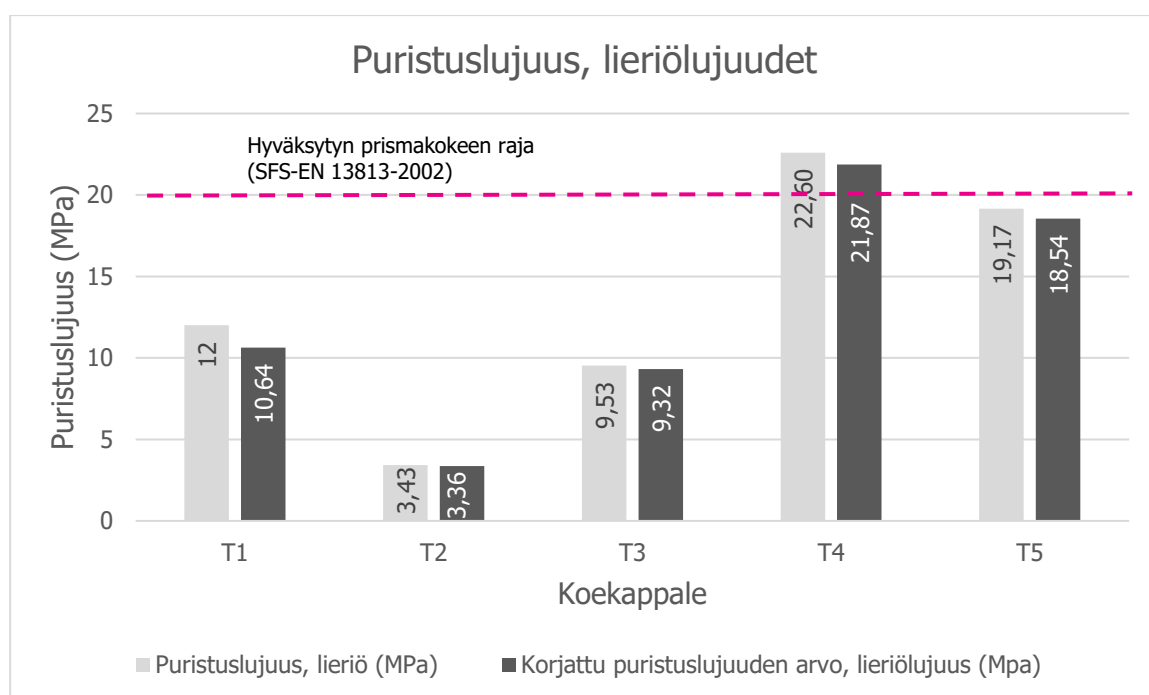
Urakoitsijan 2 valmisti testejä varten koekappaleet T2-T5. Näistä koekappaleet T2 ja T3 valmistuivat alkuperäisestä aikataulusta hieman myöhemmin, kun alkuperäinen suunnitelma oli saada koekappaleet valmiiksi toukokuussa 2023. Tähän vaikutti urakoitsija 2 omien työmaakohteiden suuri määrä alkuperäisenä ajateltuna valuaikana, joten näin ollen testit päätettiin siirtää toukokuulta elokuulle. Elokuussa valmistettujen testikappaleiden T2 ja T3 valussa sattui työvirhe betonimassan valmistuksessa, missä koekappaleet valettiin urakoitsijan 2 kalustohallilla suoraan työmaalta saapuneella puhdistamattomalla valuyksiköllä. Tämän seurauksena valettujen koekappaleiden massoihin oli sekoittunut kahden eri kiviaines alkuperän raaka-ainetta, joka huomattiin vasta ensimmäisten testitulosten valmistuttua, kun puristuslujuuksien arvoja laboratorion saatiin esille. Tämän jälkeen päätettiin välittömästi toteuttaa uudet koekappaleet, jotta nähtäisiin betonin todelliset arvot. T2 ja T3 koekappaleiden testitulokset päätettiin kuitenkin pitää mukana tuloksissa, jotta saadaan vertailukohtaa massan ja työtapojen vaikutuksesta työmaabetonin osalta sekä havainnollistava esimerkki siitä, miten betonimassan raaka-aineen laadulla voi olla vaikutusta lopputulokseen.

### 5.1 Puristuslujuus ja tiheys

Maakostean työmaabetonin koekappaleiden T1-T5 keskiarvot lieriölujuuksille,  $f_{ck,cyl}$  on esitetty taulukossa 16 sekä kuvassa 40. Yksikkönä on käytetty MPa. Ilmoitetut lieriölujuudet ovat testaushetken ilmoitettuja puristuslujuuden arvoja, jotka ovat muunnettu vastaamaan 28 vuorokauden lujuuksia käyttämällä SFS-EN 1992-1-1 kohdan 3.1.2 kaavoja 3.1 ja 3.2. Koekappaleiden aikakorjatut arvot ja niiden korjauskertoimet on myös ilmoitettu taulukossa 16 sekä kuvassa 39. Testausikäen perustuva puristuslujuuden korjauskerron on saatu SFS-EN 1992-1-1 taulukosta, josta väliarvot on interpoloitu lineaarisesti eurokoodin ohjeen mukaisesti. Korjauskertoimen  $X_{(t)}$  arvot annetaan vähintään kahden desimaalin tarkkuudella. Koekappaleiden kuutio puristuslujuuksien ominaisarvoja ei tuloksissa ole annettu, sillä pääosin testikappaleiden koot olivat alle tai tasan 75 mm. Kuutiolujuuksille soveltuva muuntokerroin on vain yli 75 mm:n tarkoitetuille porakappaleille. Tarkemmat tulokset luettavissa liitteessä 4.

TAULUKKO 16. Maakostean työmaabetonin puristuslujuuksien ja tiheyksien keskiarvot sekä korjauskertoimella korjatut lieriölujuuden arvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Puristuslujuus, lieriö $f_{ck,cyl}$ (MPa)	Tiheys ( $kg/m^3$ )	Testausikä (d)	Korjauskerroin ( $X_t$ )	Korjattu puristuslujuuden arvo, lieriölujuus, $f_{ci,(28d)}$ (Mpa)
T1	12	2053,33	108	0,89	10,64
T2	3,43	1883,33	37	0,98	3,36
T3	9,53	2023,33	37	0,98	9,32
T4	22,60	2116,67	41	0,97	21,87
T5	19,17	2073,33	41	0,97	18,54

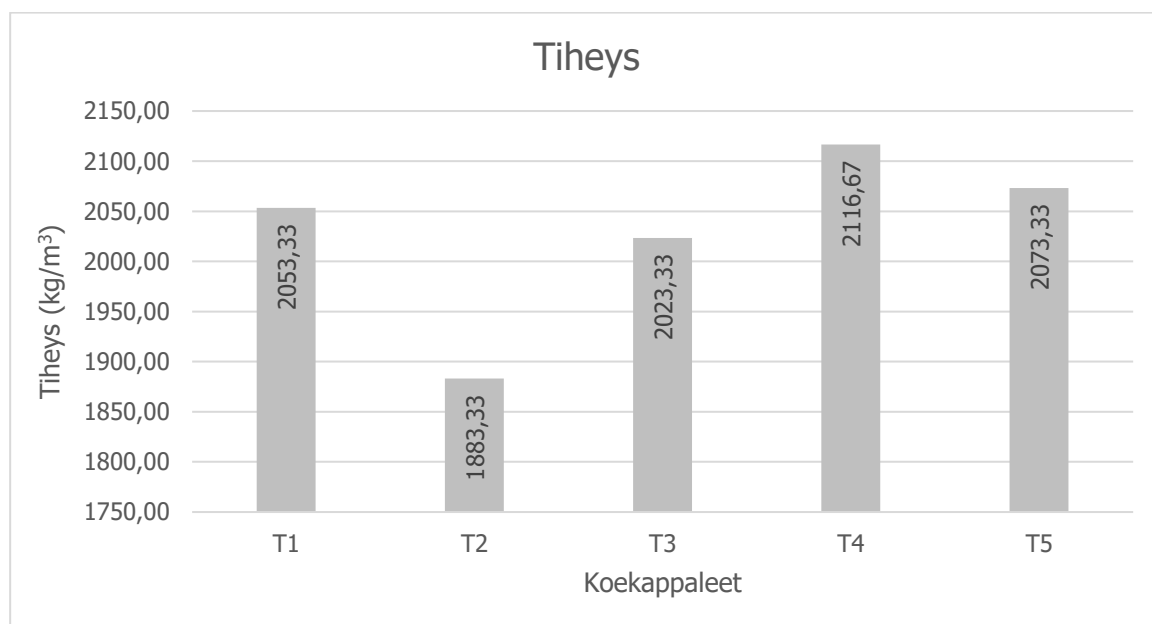


KUVA 40. Lieriö puristuslujuudet  $f_{ck,cyl}$  ja  $f_{ci,(28d)}$  (Korolainen 2023, CC BY-SA)

Koekappaleet T1, T4 ja T5 hyväksyttiin testien perusteella onnistuneiksi ja niiden lieriölujuuden  $f_{ck,cyl}$  keskiarvoksi saatiin 17,92 MPa. Aikakorjattu puristuslujuuden keskiarvo  $f_{ci,(28d)}$  on puolestaan 17,01 MPa. Tulosten keskiahjonat olivat  $f_{ck,cyl}$  5,41 ja  $f_{ci,(28d)}$  5,77. Kuten alussa mainittiin, koekappaleiden T2 ja T3 massa oli osittain epäonnistunut, mikä näkyy myös puristuslujuuksien tuloksista, sillä ne jäävät selvästi alle puoleen testiin hyväksytyjen massaerien keskiarvosta. Suurimmat puristuslujuuden arvot saavutettiin koekappaleiden T4 ja T5 osalta. T4 koekappaleen lieriölujuus nousi yli 21 MPa, mihin selkeästi vaikuttaa massan hyvä ja laadukas koostumus sekä hyvin onnistunut tiivistys. Huomion arvoista tuloksissa on se, että käsin hierretyn koekappaleen T4 puristuslujuuden arvo on suurempi verrattuna samanaikaisesti valetun ja koneella hierretyn, T5 laatan kanssa. Tästä voidaan tehdä se johtopäätös, että olipa hiertotapa kumpi tahansa, on hyvän puristuslujuuden aikaansaamisen perusedellytys massan oikea koostumus. Tällöin myös käsin hierretty pinta voidaan saada täyttämään riittävän hyvät puristuslujuuden arvot. Verrattuna normaaliin lujuusluokiteltuun C25/30 lattabetoniin, ei maakostea työmaabetoni saavuta vastaavaa keskimääräistä puristuslujuuden arvoa 28-vuorokauden vertailuässä. C25/30 betonilla  $f_{cm}$  arvo on 33 MPa.



Puristuslujuuksien lisäksi maakosteasta työmaabetonista määritettiin massaerien tiheydet. Eri koekappaleiden tiheyksien keskiarvot on ilmoitettu taulukossa 16 ja kuvassa 41. Tiheyksistä voidaan myös selkeästi havaita koekappaleiden T2 ja T3 massan ongelmat, jossa varsinkin T2 massan tiheys jää selkeästi keskiarvoa pienemmäksi. T3 koekappaleen tiheys oli sen puristuslujuuden arvoon nähden jopa odotettua parempi. Hyväksytyjen koekappaleiden, T1, T4 ja T5, tiheyden keskiarvo on  $2081,11 \text{ kg/m}^3$  ja niiden keskihajonta  $32,38$ . Suurin tiheys saavutettiin koekappaleen T4 massalla, mikä oli  $\sim 2116 \text{ kg/m}^3$ . Tämän pystyi arvioimaan jo testikappaleiden visualisella tutkimisella, mistä huomasi massan hyvän laadun sekä tasaisen tiivistyneisyyden. Tuloksista on pääteltävissä, että maakostean työmaabetonin tiheys ei siis aivan pääse lujuusluokitellun lattiabetonin tasolle, joka on  $2300\text{--}2500 \text{ kg/m}^3$ .



KUVA 41. Maakostean työmaabetonin tiheydet (Korolainen 2023, CC BY-SA)

## 5.2 Taivutusveto- ja tartuntavetolujuus

### *Taivutusvetolujuus $f_{ct,fl}$*

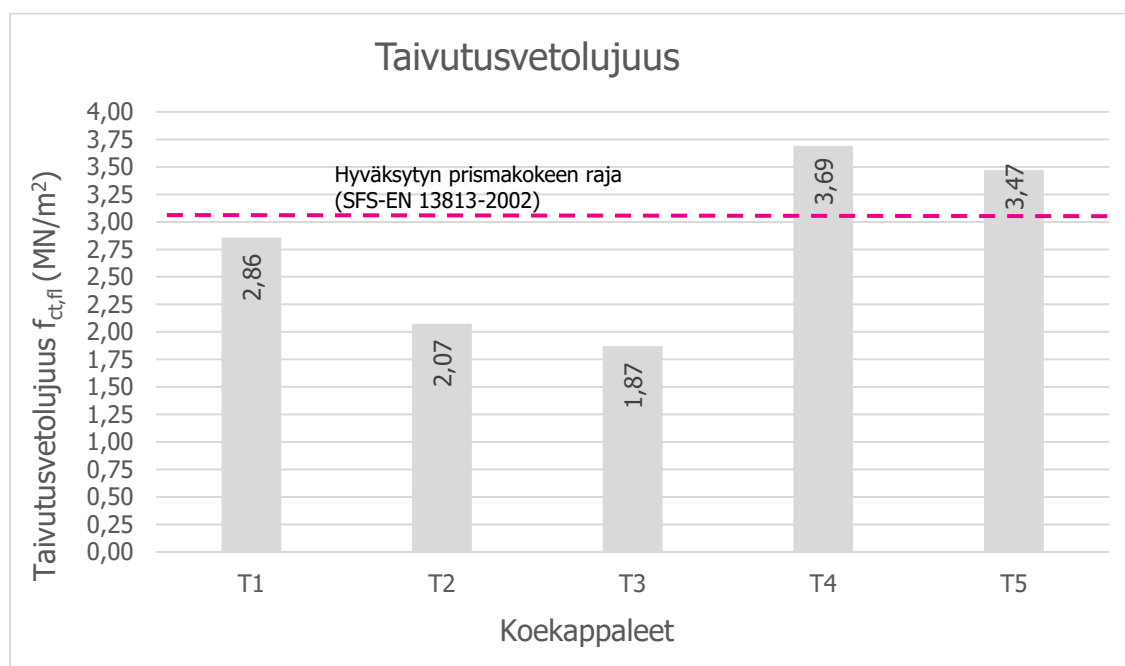
Taivutusvetolujuuksien keskiarvot,  $f_{ct,fl}$ , on esitetty taulukossa 17 sekä kuvassa 42. Yksikkönä käytetään  $\text{MN/m}^2$ . Taivutuslujuudet testattiin T1 laattaa pois lukien 37 ja 43 vuorokauden iässä. T1 laatan testausikä oli 118 vuorokautta. Kaikkien koekappaleiden testit toteutettiin niin sanottuna kahden pisteen kuormituksena. Taulukossa 17 on lisäksi laskettu betonin vetolujuuksien likiarvot,  $f_{ct}$ , jakamalla saadut tulokset kertoimella 1,7. Kerroin 1,7 voidaan käyttää nimenomaan SFS-EN 12390-5 mukaisen matalan testipalkin laskentaan, sillä muutoin betonin vetolujuuden määrittäminen on haastava toimenpide. Tarkemmat tulokset ovat luettavissa liitteessä 5.

Suurimmat taivutusvetolujuuksien arvot saatiin koekappaleista T1, T4 ja T5. Koekappaleet T1, T4 ja T5 hyväksyttiin lopullisiin tuloksiin mukaan, vaikka T1 koekappaleen tulos ei aivan yltänytkään prismakokeiden hyväksyttävän raja-arvoon. T4 ja T5 koelaattojen tulokset olivat linjassaan puristuslujuuksien kanssa, sillä myös niissä taivutusvetolujuuksien arvot olivat suurimmat. T4 koekappaleen

massa saavutti 3,69 MN/m<sup>2</sup> ja T5 3,47 MN/m<sup>2</sup> taivutusvetolujuuden. Ohjeellisena hyväksyttävä taivutusvetolujuuden prisma-arvona koostumuksenmukaisille betoneille voidaan pitää 3,00 MN/m<sup>2</sup>, joten laattojen arvot olivat 15–23 % suuremmat. Koelaatan T1 tulos oli 2,86 MN/m<sup>2</sup>, mikä jäi vain hieinan raja-arvosta. Tulokseen osaltaan saattoi vaikuttaa pitkä odotusaika valmistuksen ja testauksen välillä. Tämän vuoksi myös T1 laatan tulos voitiin lukea mukaan hyväksyttävien joukkoon. Hyväksyttävien koekappaleiden taivutusvetolujuuden keskiarvo oli 3,34 MN/m<sup>2</sup> ja niiden keskihajonta oli 0,43. Koekappaleiden T2 ja T3 tuloksien arvoissa näkyy puristuslujuuksien tavoin massassa olleet ongelmat ja niiden arvot jäivätkin siksi selvästi muita koekappaleiden massoja heikommaksi. T2 laatan keskiarvo oli 2,07 ja T3 vain 1,87 MN/m<sup>2</sup>.

TAULUKKO 17. Taivutusvetolujuuden keskiarvot sekä betonin vetolujuuden likiarvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Taivutusvetolujuuksien keskiarvo $f_{ct,fl}$ (MN/m <sup>2</sup> )	Betonin vetolujuuden likiarvo $f_{ct}$ (MN/m <sup>2</sup> )
T1	2,86	1,68
T2	2,07	1,22
T3	1,87	1,10
T4	3,69	2,17
T5	3,47	2,04



KUVA 42. Maakostean työmaabetonin taivutusvetolujuuksien arvot (Korolainen 2023, CC BY-SA)

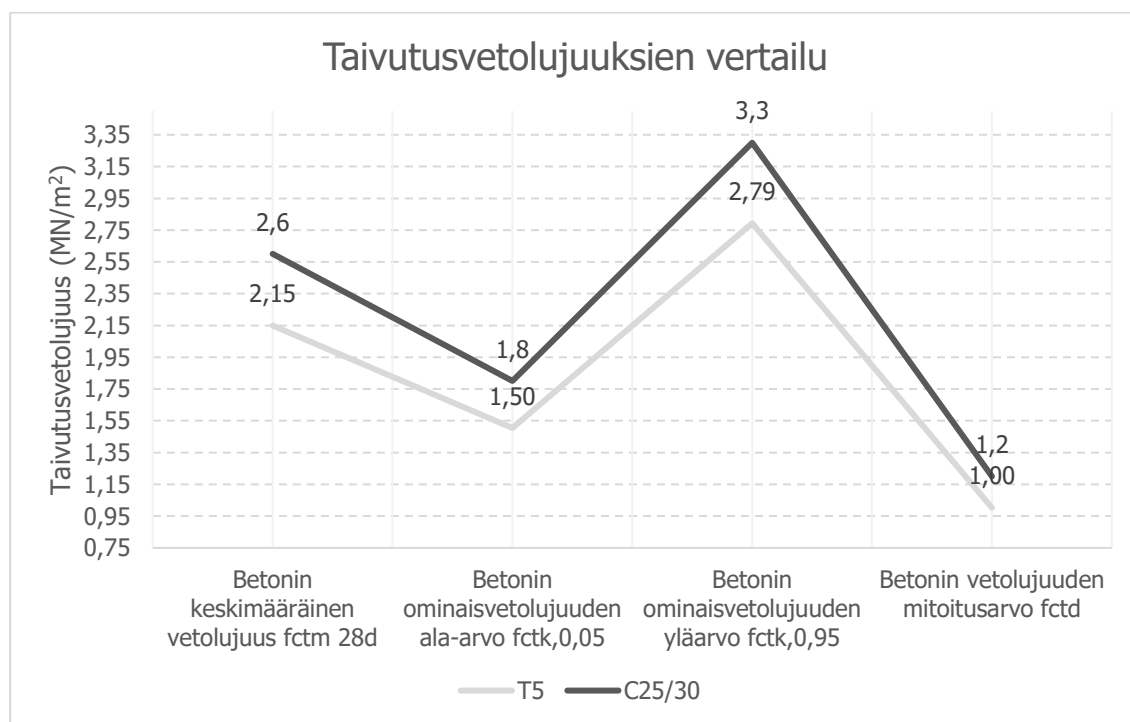
Jotta maakostea työmaabetonia voidaan verrata lujuusluokiteltuun C25/30 lattiabetoniin, on selvittävä betonin keskimääräinen vetolujuus,  $f_{ctm}$  28 vuorokauden ikäisenä. Se voidaan laskea kaavalla 51, kun tiedetään betonin lieriöpuristuslujuus  $f_{ck}$ . (Suomen Betonilattaiyhdistys ry 2018, 90–91.)

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \quad (51)$$

Taulukossa 18 on laskettu maakostean työmaabetonin koekappaleiden T1-T5 keskimääräisen vetolujuuden ominaisarvot 28 vuorokauden iässä, näiden 5 % ja 95 % fraktiilit  $f_{ctk,0,05}$  ja  $f_{ctk,0,95}$  sekä betonin vetolujuuden mitoitusarvot  $f_{ctd}$ . Vastaavat arvot C25/30 lattiabetonille on:  $f_{ctm}$  2,6,  $f_{ctk,0,05}$  1,8,  $f_{ctk,0,95}$  3,3. Näin ollen vetolujuuden mitoitusarvoksi saadaan C25/30 betonilla 1,2. Vertailun perusteella voidaan todeta, että koelaattojen T4 ja T5 massat olivat varsin lähellä C25/30 lattiabetonin vetolujuuksien arvoja. Vertailu on tehty graafiseen muotoon kuvassa 43, missä T5 koekappaleen tulokset on laitettu viivakaavioon päällekkäin C25/30 betonin kanssa.

TAULUKKO 18. Taivutusvetolujuuksien ominaisvetolujuuden muunnetut arvot 28d betonille sekä betonin vetolujuuden mitoitusarvo (Korolainen 2023)

Koe-kappale	Betonin keskimääräinen vetolujuus $f_{ctm}$ 28d	Betonin ominaisvetolujuuden ala-arvo $f_{ctk,0,05}$	Betonin ominaisvetolujuuden yläarvo $f_{ctk,0,95}$	Betonin vetolujuuden mitoitusarvo $f_{ctd}$
T1	1,57	1,10	2,04	0,73
T2	0,68	0,48	0,89	0,32
T3	1,35	0,94	1,75	0,63
T4	2,40	1,68	3,12	1,12
T5	2,15	1,50	2,79	1,00



KUVA 43. Taivutusvetolujuuksien vertailu maakostean työmaabetonin ja C25/30 lattiabetonin välillä (Korolainen 2023, CC BY-SA)

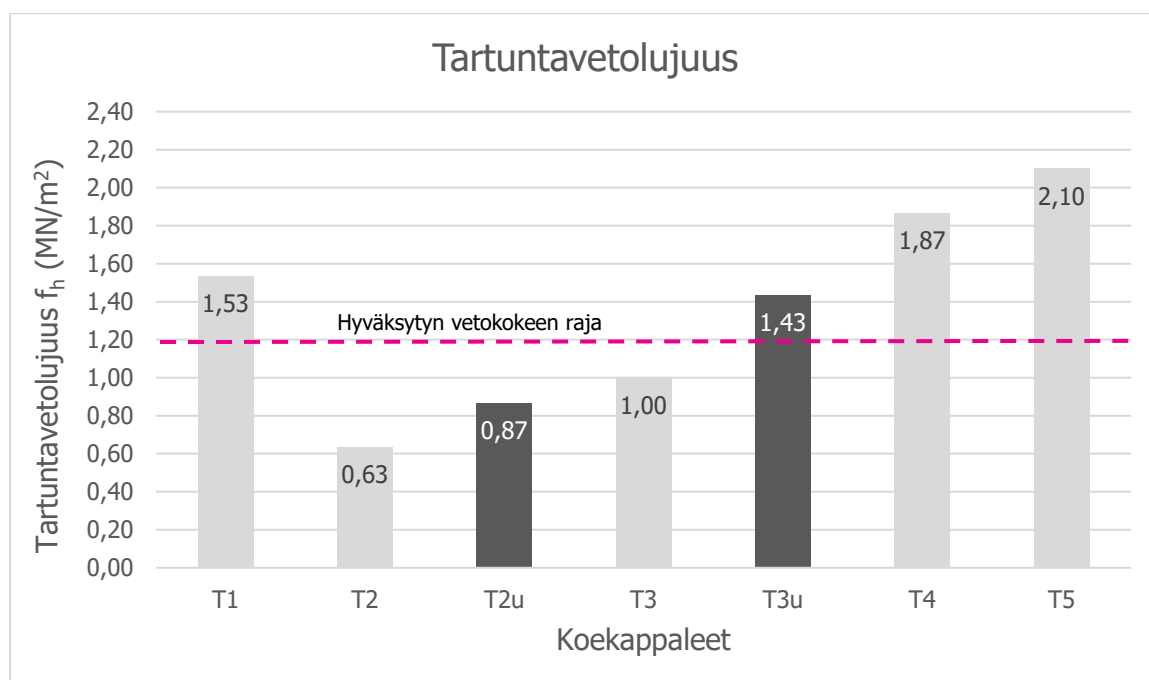
*Tartuntavetolujuus  $f_h$* 

Tartuntavetolujuudet testattiin kohtisuorana vetotestinä kohdistuen koekappaleiden pintaan. Vetolujuuksien keskiarvot,  $f_h$ , on esitetty taulukossa 19 sekä kuvassa 44. Yksikkönä käytetään MN/m<sup>2</sup>. Tarkemmat tulokset ovat luettavissa liitteessä 6.

TAULUKKO 19. Tartuntavetolujuuksien ja murtovoimien keskiarvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Murtovoiman keskiarvo (kN)	Tartuntavetolujuuden keskiarvo $f_h$ (MN/m <sup>2</sup> )
T1	6,62	1,53
T2	2,85	0,63
T2u	3,69	0,87
T3	4,15	1,00
T3u	6,10	1,43
T4	8,00	1,87
T5	9,01	2,10

Vetolujuuksien ohjeellisena vähimmäislujuutena koostumuksen mukaisen betonin pinnalle voidaan pitää 0,8–1,0 MN/m<sup>2</sup> arvoa, joka asettuu pienten ja keskisuurten rasitusluokkien väliin. Keskisuurille rasituksille sekä märkätiloissa käytettäville vedeneristeille on yleensä pinnan vetolujuuden raja-arvona käytetty 1,2 MN/m<sup>2</sup>, joten se valikoitui myös tähän testiin hyväksyttävän testin tavoitearvoksi. Koekappaleista suurin osa ylitti kyseisen raja-arvon. Ainoastaan koekappale T2 ja T3 jäi alle tavoitearvon. T2 laatassa ensimmäisellä vetokerralla kaikkien kolmen vetopisteen vetolujuudet jäivät alle 1,5 MN/m<sup>2</sup>, keskiarvo 0,63. Vetokoe uusittiin T2:V1 ja T2:V3 testikappaleisiin, koska niissä betonin murtuminen tapahtui pintakerroksesta ja myös tulos jäi alle 1,5 MN/m<sup>2</sup>. Toisen vetokerran jälkeen vetojen keskiarvoksi saatiin 0,87 MN/m<sup>2</sup>. Myös testikappaleen T3 testaus jouduttiin uusimaan kaikkien porakappaleiden osalta. T3:V1, T3:V2 sekä T3:V3 vetokappaleet murtuivat vetokappaleen tartuntapinnasta. Näissä kolmen ensimmäisen vedon murtovoiman keskiarvo jäi 4,15 kN ja vetolujuus tasan 1,00 MN/m<sup>2</sup>. Uusintavedoilla murtovoima nousi 6,10 kN ja vetolujuus kohosi 1,43 MN/m<sup>2</sup>. Näin ollen myös T3 testikappale voitiin ottaa mukaan hyväksytyjen tulosten sarjaan. Hyväksytyjen testikappaleiden keskiarvo ennen T3 uusintoja oli 1,63 MN/m<sup>2</sup> ja niiden keskihajonta 0,48. Uusintojen jälkeen keskiarvo nousi 1,73 MN/m<sup>2</sup> ja hajonta pienentyi 0,31. Parhaimmat vetolujuuden testiarvot saavutettiin jälleen koekappaleilla T4 ja T5, joista T5 vetolujuuden keskiarvo oli 2,10 MN/m<sup>2</sup> ja murtovoima kohosi 9,01 kN.



KUVA 44. Maakostean työmaabetonin tartuntavetolujuuksien keskiarvot (Korolainen 2023, CC BY-SA)

### 5.3 Kulutuskestävyys

Kulutuskestävyyksien kulumisen arvot testattiin Böhme-testinä koekappaleille T1, T2, T3 ja T5. Kuten kappaleessa 4.1.4 sanottiin, alussa tarkoitus oli tutkia molempien käytössä olevien hierontapojen vaikutusta kulutuskestävyyteen. Projektin edetessä kuitenkin päätettiin olla tutkimatta käsin hierrettyjä koekappaleita. Tämä siksi, että lähtökohtaisesti ne ajateltiin olevan heikompia lujuudeltaan koneelliseen hiertoon verrattuna. Lisäksi niiden määrällinen toteutus tänä päivänä on käytännössä olematon. Näin ollen ennen koekappaleiden valua kulutuskestävyyden kaikki testattavat koekappaleet olisivat olleet konehierrettyjä ja niiden rauditus olisi toteutettu rakenteellisella muovikuidulla. Vaikka koekappaleissa T2 ja T3 havaittiin muiden tehtyjen testien jälkeen ongelmia, päätettiin niidenkin kulutuskestävyyden testit kuitenkin toteuttaa, mutta tuloksia ei otettaisi mukaan arvioitaviin tuloksiin. T4 koekappaleen kulutuskestävyyden tarkastelua ei päätetty toteuttaa alkuperäisen suunnitelman mukaisesti sen käsihiertoisuuden takia.

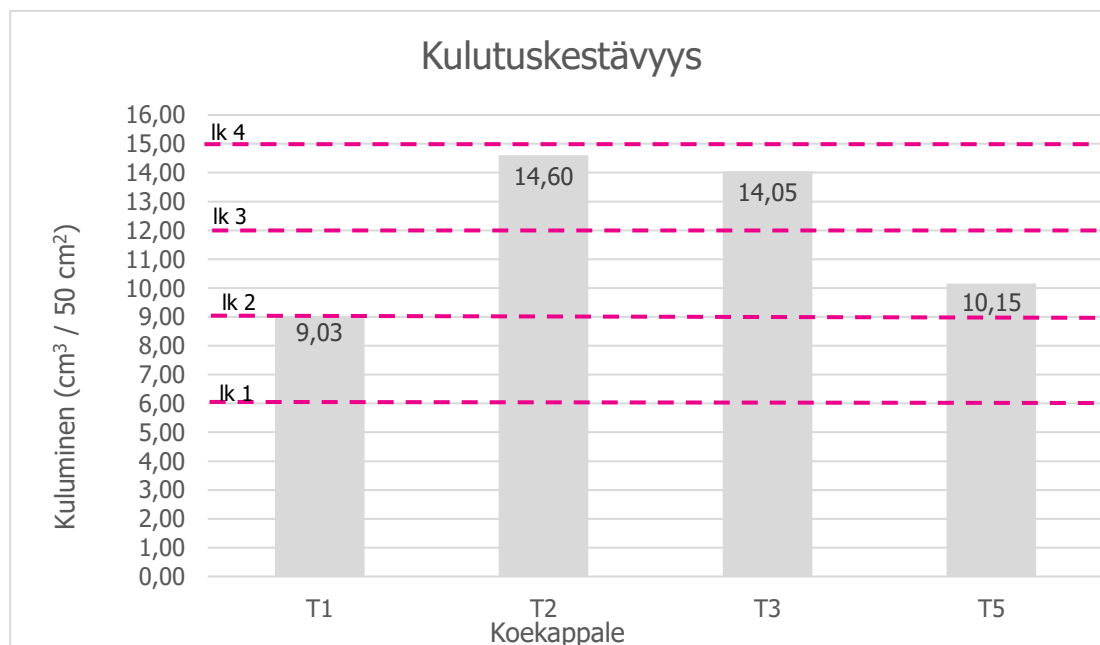
Tuloksissa on ilmoitettu koekappaleiden alkutiheys, kulutushiontakerroksen tiheys, painon muutos kokeen aikana, tilavuuden menetys kokeen aikana sekä tietenkin itse koekappaleen kulumisen. Näistä nimenomaan kulumisen arviointi on olennaisin arvo, jota voidaan verrata muihin betoneihin tarvittaessa. Kaikkien tulosten keskiarvot on esitetty taulukossa 20. Tulosten yksikkönä tiheyksille käytetään g/cm<sup>3</sup>, painnon muutokselle g, tilavuuden menetykselle cm<sup>3</sup> ja kulumiselle cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>. Kulumisen tulosten keskiarvot on lisäksi esitetty kuvassa 45 ja tarkemmat tulokset ovat luettavissa liitteessä 7.

TAULUKKO 20. Koekappaleiden kulumisen ja tilavuuden menetyksien keskiarvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Tiheys (g/cm <sup>3</sup> )	Tiheys* (g/cm <sup>3</sup> )	Painon muutos (g)	Tilavuuden menetys (cm <sup>3</sup> )	Kuluminen (cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup> )
T1	2,02	2,25	20,53	36,24	9,03
T2	1,81	2,01	29,93	14,83	14,60
T3	1,92	2,06	29,57	14,25	14,05
T5	2,00	2,14	20,90	9,94	10,15

\*kulutushiontakerroksen tiheys

Kulutuskestävyysluokkien raja-arvot oli esitetty jo aiemmin taulukossa 11. Kuten jo kappaleessa 2.8.4 kerrottiin, ei koostumuksen mukaiselle työmaabetonille ole yleensä asetettu kulutuskestävyyden osalta velvoittavia kriteerejä betonin pinnoittamisen vuoksi. Kulutuskestävyyden testit päätettiin kuitenkin toteuttaa, jotta pystytään selvittämään puhtaan maakostean työmaabetonin kulumisen ja näin ollen saamaan käsitys, mihin kulutuskestävyysluokkaan maakostea betoni asettuu. Tehtyjen testien perusteella koekappale T1 saavutti parhaimman lopputuloksen. Siinä kuluminen oli 9,03 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>. Kaikkien neljän koekappaleen kulumisen keskiarvo oli 11,96 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>. Näiden keskihajonta oli suuri, 2,78. Tämä johtuu T2 ja T3 laattojen heikommasta tuloksesta. Koska etukäteen oli tiedossa T2 ja T3 koekappaleiden massojen ongelmat, päätettiin niiden tulokset jätettiin ne tarkastelun ulkopuolelle. Tällöin hyväksyttävien koekappaleiden, T1 ja T4, kulumisen keskiarvoksi saatiin 9,59 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup> ja tulosten keskihajonnaksi 0,79.



KUVA 45. Maakostean työmaabetonin Bohme-kulutuskestävyyksien keskiarvot sekä eri kulutuskestävyysluokkien raja-arvot (Korolainen 2023, CC BY-SA).

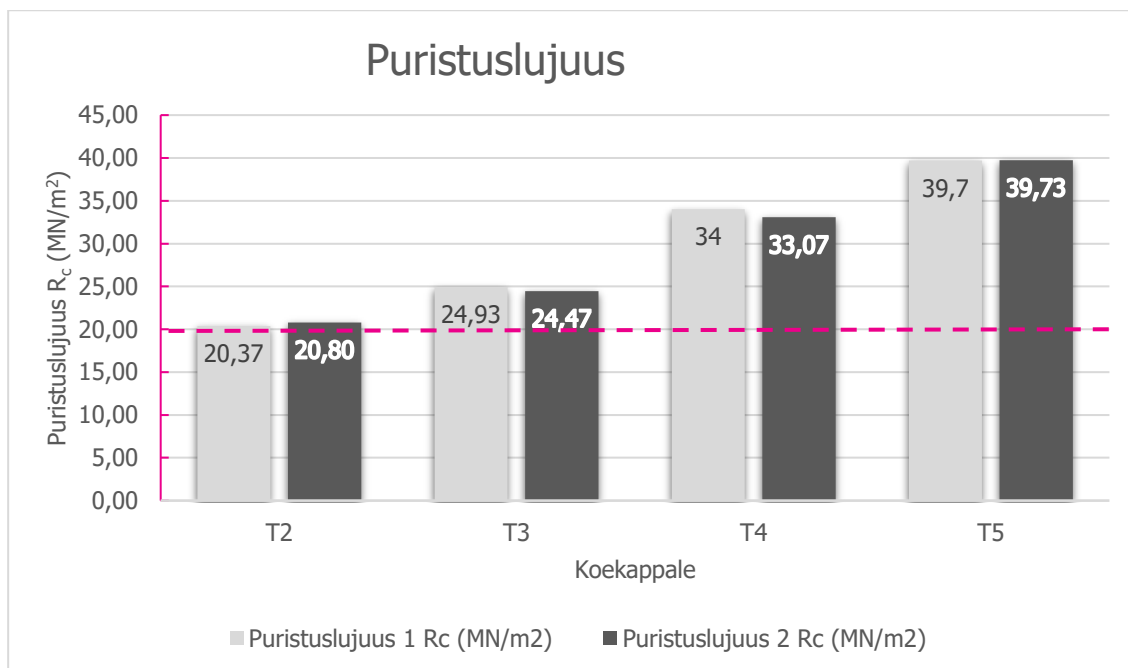
## 5.4 Prisma kokeet

Prismakokeet toteutettiin koekappaleista T2-T5. Prismojen tarkoituksena oli saada vertailutuloksia betonin tiheyksistä, puristus- ja taivutusvetolujuuksista. Prismakokeiden tulokset ilmoitetaan niin sanotusti muuntamattomina ja niiden puristus- ja taivutusvetolujuuksien tulokset on ilmoitettu taulukoissa 21 ja 22 sekä kuvissa 46 ja 47. Jotta prismakokeiden puristuslujuuden tulokset olisivat vertailukelpoisia C25/30 lattiabetonin kanssa, täytyy ne muuntaa vastaamaan 150 mm:n kuutiolujuuksia erillisten muuntokertoimien avulla. Yleensä muuntokertoimet tulevat betonin valmistajalta tai -toimitajilta, mitä tässä projektissa ei ollut saatavilla. Lisäksi prismanäytteistä mitattiin betonin tiheydet, jotka ilmoitettu taulukossa 22 ja kuvassa 48. Tarkemmat tulokset on luettavissa liitteessä 8.

TAULUKKO 21. Prisma kokeiden puristuslujuuksien keskiarvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Puristuslujuus 1 $R_c$ (MN/m <sup>2</sup> )	Puristuslujuus 2 $R_c$ (MN/m <sup>2</sup> )	$K_a$ , $R_c$ (MN/m <sup>2</sup> )	Keskihajonta
T2	20,37	20,80	20,58	0,31
T3	24,93	24,47	24,70	0,33
T4	34	33,07	33,53	0,66
T5	39,7	39,73	39,72	0,02

Puristuslujuudet prismoista on ilmoitettu 1 ja 2 arvoilla, jotka ovat prismakappaleen molempien päätyjen puristuslujuuksien arvot. Näistä on otettu vielä keskiarvot, jotka ilmoitettu tunnuksella  $K_a$ ,  $R_c$ . Suomen Betonilattiyhdistyksen BLY-ohjeen 7 mukaan prismakokeena suoritettujen puristuslujuuden hyväksyttävänä arvona pidettiin 20 N/mm<sup>2</sup>. Näin ollen tehtyjen testien perusteella, kaikkien koekappaleiden puristuslujuuksien keskiarvot saavuttivat hyväksytyyn puristuslujuuden raja-arvon. Koekappale T5 saavutti parhaimman tuloksen 39,72 MN/m<sup>2</sup>, minkä lisäksi näytteiden keskihajonta oli pieni, vain 0,02 yksikköä. T2 laatan tulos oli heikoin, 20,58 MN/m<sup>2</sup>, mikä oli myös odotettavissa perustuen muihin tehtyihin testeihin. Puristuslujuuksien 1 keskiarvo oli 29,75 ja puristuslujuus 2 keskiarvo 29,52 MN/m<sup>2</sup>. Keskihajonnat olivat 8,72 ja 8,53 kaikkien koekappaleiden välillä. Näin ollen kokonaiskeskiarvoksi muodostui 29,63 MN/m<sup>2</sup>. Prismatestien testistandardin mukaan  $\pm 10$  % poikkeamat testituloksissa puristuslujuuksien keskiarvoon verrattuna täytyy hylätä. Kaikki koekappaleiden puristuspalat olivat tämän sallitun rajan sisäpuolella. Suurimmat poikkeamat puristuslujuuksissa 1 oli testikappaleessa T2:1, jossa heittoa oli +5 %. Puristuslujuus 2 isoimmat poikkeamat olivat testikappaleissa T2:1, T2:2, T4:1 ja T4:2, missä kummassakin heittoa oli +8 %.



KUVA 46. Prismakuutiolujuuksien arvot puristuskokeesta 1 ja 2 (Korolainen 2023, CC BY-SA)

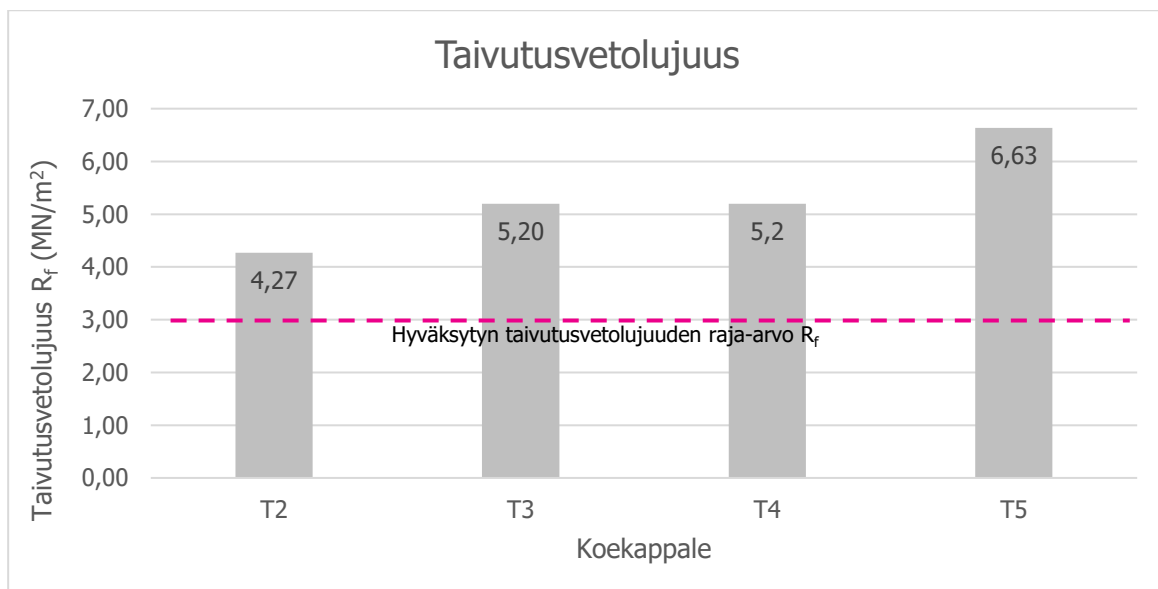
Prismakokeiden taivutusvetolujuuksien  $R_f$  keskiarvot on ilmoitettu taulukossa 22. Koekappaleiden T2-T5 prismatulosten keskiarvot taivutuksissa olivat  $5,33 \text{ MN/m}^2$  ja näiden keskihajonta  $0,98$ . Suurin tulos saavutettiin koekappaleella T5, missä lujuus nousi  $6,63 \text{ MN/m}^2$ . Taivutusvetolujuudet  $R_f$  eroavat merkittävästi kahden puristuspisteen taivutusvetolujuuksista  $f_{ct,fl}$ , missä koekappaleiden T2-T5 keskiarvo oli  $2,78 \text{ MN/m}^2$ . Kun tuloksista poistetaan hylätyt testit T2 ja T3, saadaan keskiarvoksi  $3,58 \text{ MN/m}^2$ . Taivutusvetolujuuksien erot  $R_f$  ja  $f_{ct,fl}$  välillä voivat johtua muun muassa prismamuotin pienemmästä pinta-alasta sekä erittäin tiivistä teräsmuottirakenteesta, jolloin muottiin sullottava betoni saadaan tiiviimmin puristettua ja tiivistettyä, kuin mitä vastaava isompi vanerimuottirakenne koekappaleissa.

TAULUKKO 22. Prismakokeiden taivutusvetolujuuksien ja tiheyksien keskiarvot (Korolainen 2023)

Koekappale	Taivutusvetolujuus, $R_f$ (MN/m <sup>2</sup> )	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
T2	4,27	2153,7
T3	5,20	2197,00
T4	5,2	2340,67
T5	6,63	2381,00

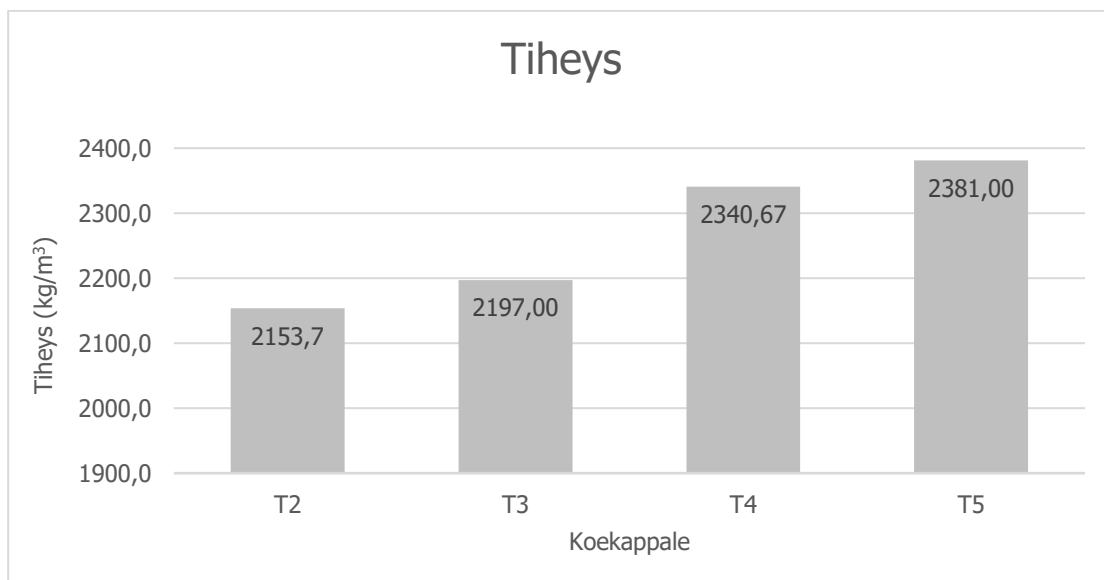
Suomen Betonilattaiyhdistyksen BLY-ohjeessa numero 7 taivutusvetolujuuden hyväksyttävänä raja-arvona pidetään  $3 \text{ N/mm}^2$  vähimmäistulosta. Testitulokset on esitetty yksikössä  $\text{MN/m}^2$ , mikä on sama kuin  $\text{N/mm}^2$  ( $1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$ ). Tehtyjen testien perustella kaikki koekappaleet saavuttivat varsin helposti kyseisen raja-arvon, mikä huomataan myös kuvasta 47.





KUVA 47. Taivutusvetolujuudet prismakokeesta (Korolainen 2023, CC BY-SA)

Prismakokeista saatiin myös vertailutulokset maakostean työmaabetonin tiheyksistä. Prismojen tiheydet olivat korkeammat kuin mitä vastaavasti puristuslujuuksien yhteydessä määritetyt laskennalliset tiheydet olivat. T2-T5 prismojen keskitiheys oli 2268 kg/m<sup>3</sup> ja suurin mitattu oli T5 prisman 2381 kg/m<sup>3</sup>. Vastaavat arvot laskennallisesti määritellyistä tiheyksistä oli keskitiheyden osalta 2024 kg/m<sup>3</sup> ja suurin tulos T4 koekappaleen 2116,67 kg/m<sup>3</sup>. Ero keskiarvojen välillä syntyi siis 11 %. Prismakokeista saadut tiheydet on esitetty kuvassa 48.



KUVA 48. Prismänäytteistä mitatut betonien tiheydet (Korolainen 2023, CC BY-SA)

## 6 TUTKIMUSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET JA LOPPUTULOS

Tämän kappaleen tarkoituksena on käsitellä ja analysoida tehtyjen laboratoriotestien tuloksia, pohtia tutkimusten luotettavuutta ja esiin tulleita haasteita sekä antaa ehdotuksia mahdollisille jatkotutkimustarpeille tulevaisuuteen.

*Tutkimuksen tavoitteet, niiden luotettavuus ja kohdatut haasteet:*

Tutkimusten tärkeimpänä tavoitteena oli saada lisätietoa maakostean työmaabetonin ominaisuuksista. Laboratoriotesteistä saatuja tuloksia verrattiin kahteen erinäiseen asiaan, C25/30 lujuusluokiteltuun lattiabetoniin ja sen ominaisuuksiin sekä Suomen Betonilattiayhdistyksen vuonna 2021 julkaisemassa BLY-ohje numero 7 oleviin maakostean betonin perustietoihin. Siellä maakostealle työmaabetonille on annettu tietyt perusvaatimukset, jotka lattioissa käytettävän betonin tulisi vähintään täyttää. Projektissa mukana olleet urakoitsijat valmistivat koekappaleet testaussuunnitelmien mukaisesti ja varsinaiset tutkimukset suoritettiin Sweco Finland Oy:n akkreditoitussa betonilaboratoriossa Vantaalla. Hankkeen aikana kohdattiin haasteita muun muassa urakoitsijan 1 toisen koekappaleen rikkoutumisen vuoksi, minkä seurauksena yksi vertailulaatta jäi testauksesta kokonaan pois. Alustavasta suunnitelmasta pitkittyneet aikataulut aiheuttivat myös testaukseen ongelmia. Varsinkin koekappaleen T1 testauksen aloittamisen viivästyminen lisäsi testituloksiin epätarkkuustekijöitä, koska koekappaleen valun ja testauksien alun välinen aika venyi yli kolmen kuukauden mittaiseksi. Myös moneen kertaan todetut epäonnistuneet koelaatat T2 ja T3 aiheuttivat alkuperäiseen suunnitelmaan poikkeavuutta, mikä saatiin kuitenkin paikattua nopealla reagoinnilla valmistamalla uudet laatat testaukseen.

*Prismat*

BLY-ohjeen 7 perusvaatimukset liittyivät tehtyihin prisma- ja taivutusvetolujuuden osalta. Tässä projektissa tehdyillä prismakokeilla tarkastettiin näiden perusvaatimustasojen täyttyminen sekä saatiin vertailutulokset puristus- ja taivutusvetolujuuksille. Puristuslujuuden vähimmäisarvo  $20 \text{ N/mm}^2$  sekä taivutuslujuuden  $3 \text{ N/mm}^2$  saavutettiin kaikkien koekappaleiden massoilla varsin helposti jopa koekappaleilla T2 ja T3. Puristuslujuuksien kaikkien koekappaleiden keskiarvo oli  $29,63 \text{ N/mm}^2$ , mikä lähentelee C30 tasoa. Tämän perusteella voidaankin sanoa, että BLY-ohjeen puristuslujuuden perusvaatimustaso on saavutettavissa työmaabetonilla varsin helposti. Myös taivutusvetolujuuden raja-arvo saavutettiin kaikilla koekappaleilla. Vetolujuuksien keskiarvo nousi  $5,33 \text{ N/mm}^2$ , minkä puolesta koekappaleiden betonit voitaisiin luokitella F5 vastaavalle tasolle. Näiden lisäksi prismakokeista määritettiin myös betonin tiheys, jonka keskiarvo oli  $2268 \text{ kg/m}^3$ . Saatujen testitulosten perusteella voidaan koekappaleiden T2-T5 massoille käyttää SFS-EN 13813-2002 lyhenteitä seuraavasti

T2: CT-C20-F4

T3: CT-C20-F5

T4: CT-C30-F5

T5: CT-C35-F6.

Prismakokeiden ja niiden tulosten vertailu muiden tehtyjen testien tuloksiin sekä C25/30 vertailubetonin kanssa osoittautui haasteelliseksi. Tämä johtui siitä, että prismakokeista saatavien tuloksien arvot ilmoitetaan niin sanottuna prismalujuuksina, jotka eivät täysin vastaa normaaleiden puristus- ja taivutusvetolujuuksien tuloksia. Esimerkiksi prismakokeista saatavien puristuslujuustestien erot normaaleihin puristuslujuuksien arvoihin verrattuna olivat testikappaleiden välillä 1,5–2,5-kertaiset. Sama suhde oli myös taivutusvetolujuuksilla. Erot johtuvat muun muassa muottirakenteesta sekä testikappaleiden koosta, sillä pienemmistä koekappaleista saadaan yleisesti ottaen suurempia lujuuksia. Myös prismoissa käytettävä teräsmuottirakenne on tiiviimpi kuin isommissa koekappaleiden muoteissa ja mahdollistaa betoniin sullonnan ja tiivistyksen normaalia lattiarakennetta tehokkaammin.

### *Puristuslujuus ja tiheys*

Puristuslujuuksien ja tiheyden tutkimisen tarkoituksena oli muun muassa saada selvyyttä erilaisten tiivistystapojen vaikutuksesta maakostean massan lujuteen ja tiiveyksiin, vertailla puristuslujuuksien tuloksia vastaaviin prismakokeista saatuihin arvoihin sekä vertailla lattiabetoniin. Ennako-odotukset työmaabetonin puristuslujuuksista olivat maltilliset, mikä pitikin paikkansa ja näkyi tuloksissa. Hyväksytyjen koekappaleiden tulosten korjattu keskiarvo jäi alle 18 MPa, mikä jäi alle prismakokeiden hyväksytyn raja-arvon 20 N/mm<sup>2</sup> (Mpa). Tuloksia ei kuitenkaan voitu suoraan keskenään verrata, sillä prismalujuuksille ei betonin valmistajilla ollut saatavilla muuntokertoimia, jolla niiden arvon olisi voinut muuntaa vastaamaan 150 mm:n kuutiolujuuksia. Tehdyt puristuslujuuden testikappaleet olivat kooltaan 74 mm, minkä seurauksena puristuslujuuksista saatiin määritettyä vain lieriölujuuksien arvot. Tämä johtui siitä, että 150 mm:n kuutiolujuuksien selvitystä varten porattavien testikappaleiden olisi pitänyt olla yli 75 mm kokoisia, jolloin kuutiopuristuksille tarkoitetut muuntokertoimet olisivat olleet käytettävissä. Tämä tieto selvisi vasta koekappaleiden tulosten analysointivaiheessa. Kuutiolujuuksien selvitys olisi antanut paremman vertailumahdollisuuden sekä prismakokeisiin että lujuusluokiteltuihin betoneihin nähden ja olisi ehdottomasti kannattanut tehdä.

Lieriölujuuksien tuloksien keskiarvoihin olisi vaikuttanut T2 ja T3 laattojen epäonnistuminen selkeästi, minkä vuoksi näiden koelaattojen testituloksia ei otettu mukaan keskiarvovertailuun. Lisäksi T1 laatan testauksen pitkä odotusaika vaikutti heikentävästi tuloksiin lisäten samalla kokeen epävarmuutta. Tämä näkyi esimerkiksi muista koekappaleista suurempana korjauskertoimen arvona. Tuloksista tehtiin myös havainnot eri tiivistyksen vaikutuksesta puristuslujuuteen, mikä oli yllättävä, sillä käsin tiivistetyn koekappaleen tulos oli puristuslujuudeltaan parempi kuin koneellisesti tiivistetyn. Tiheyden osalta tulos vastasi paremmin ennako-odotuksia ja tiheydet olivat linjassaan muiden tulosten kanssa, minkä pystyi selvästi havaitsemaan esimerkiksi epäonnistuneen T2 massan ja monissa testissä parhaan T4 massan väliltä. Eroavaisuus tiheyksissä oli laattojen välillä 11 prosenttia.

### *Taivutusvetolujuus*

Taivutusvetolujuuskokeiden tarkoituksena oli saada selville vertailutulokset betonin vetolujuudelle suhteessa C25/30 lattiabetoniin. Vetolujuuksien määrittäminen varsinkin maakostealle betonille on tärkeää tapauksissa, jos lattian raudoittamisessa käytetään pienempää teräsmäärää kuin mitä teoreettinen minimiraudoitus lujuusluokitellulle betonilla antaisi raudoituksen määräksi.

Taivutusvetolujuuksien testitulokset yllättivät positiivisesti ja nousivat ennako-odotuksia korkeammalle tasolle. Taivutusvedolle määritelty hyväksytyn prismakokeiden raja-arvon  $3 \text{ N/mm}^2$  saavutti testien kaksi parasta laattaa suhteellisen helposti, vaikkakin kahden pisteen taivutusvetolujuustestin tulokset eivät ole vertailukelpoiset prismakokeiden koekappaleista tehtyihin yhden pisteen testiin verrattuna. T4 ja T5 laatan lisäksi T1 pääsi hyvin lähelle sallittua raja-arvoa, vaikka T1 koelaatan kohdalla laatan valamisen ja testauksien välinen aika oli pitkä ja mahdollisesti lisäsi vähintäänkin tulosten epätarkkuuksia. Lattiabetoniin verrattuna kahden hyväksytyn koekappaleen tulokset ovat varsin lähellä vastaavia C25/30 lukuarvoja. Kuvan 43 tulosten vertailu osoittaa, että esimerkiksi betonin vetolujuuden mitoitusarvo ei juurikaan eroa koekappaleen T5 ja C25/30 lattiabetonin välillä.

### *Tartuntavetolujuus*

Tartuntavetolujuuksien osalta maakostea työmaabetoni saavutti testin parhaimmat lopputulokset, kun niitä verrataan BLY-ohje 7 hyväksytyyn raja-arvoon,  $0,8 \text{ N/mm}^2$ , nähden. Tehdyistä koekappaleista neljä viidestä saavutti hyväksytyn raja-arvon ja T4 ja T5 koekappaleiden tulokset saavuttivat jopa parhaimman lujuusvaatimustason  $2,0 \text{ N/mm}^2$ , mikä on määritelty pinnan vetolujuuden raja-arvoksi. Tehtyjen testien perusteella voi helposti todeta, että maakostean työmaabetonin vetolujuus on hyvä ja se soveltuu lujuuksien puolesta niin pienten- kuin keskiraskaiden rasiusten tiloihin. Vetolujuustestien eräänä konkreettisenä tavoitteena oli tutkia, tarvitaanko maakostealla työmaabetonilla valetuissa märkätilojen lattioissa vedeneristeen alla välttämättä käyttää erillistä tasoitetta parantamaan pinnan vetolujuuskapasiteettia. Monet vedeneristejärjestelmiä tarjoavat toimittajat mainitsevat tuotteidensa yhteydessä lattioiden ylitasoitukset tarvittaessa ennen varsinaisia vedeneristeitä ja yleisesti vedeneristeille määritetty pinnan vetolujuuden vähimmäisarvona on pidetty  $1,2 \text{ MN/m}^2$ . Tämä saavutettiin verrattain helposti kaikilla hyväksytyillä koekappaleilla, sillä niiden vetolujuuksien keskiarvo oli  $1,73 \text{ MN/m}^2$ .

### *Kulutuskestävyys*

Kulutuskestävydestä oli ennen testejä vähän tutkittua tietoa tarjolla ja myöskään projektin lattiaurakoitsijat eivät olleet teettäneet tuotteilleen virallisia kulutuskestävyden mittauksia pelkälle betonille. Lähtökohta testeille oli siis arvoitus, joskin kulutuskestävyden ei oletettu saavuttavan kovin merkittäviä arvoja. Testatuista koekappaleista T1 ja T5 olivat konehierrettyjä ja betonimassaltaan onnistuneita. T2 ja T3 olivat puolestaan käsihiertoisia ja niiden massan koostumuksessa oli yleisesti havaittuja ongelmia. Näin ollen testaukseen saatiin vain konehiertoiset koekappaleet ja vertailu

käsihiertoon jäi tekemättä. Vertailutulokset olisi ehdottomasti pitänyt saada toteutettua, jotta olisi nähty töstöjen vaikutukset.

Tehtyjen testien tuloksista havaitaan selkeästi T2 ja T3 koekappaleiden massoissa olleet puutteet. Näiden koekappaleiden kuluminen oli hyväksyttyjä laattoja 1,6-kertaa suurempia. Hyväksytyjen koekappaleiden T1 ja T5 keskiarvoksi saatiin  $9,59 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ . BLY-ohje 7 ei anna perustason vaatimuksia kulumiselle, mutta ennako-oletuksissa maakostean betonin uskottiin pääsevän vähintään kulutuskestävyysluokkaa 4 vastaaviin tuloksiin. Siellä sallittu kuluminen Böhme-mittauksilla suoritettuna on  $\leq 15 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ . Tehtyjen testien perusteella voidaan todeta maakostean työmaabetonin pääsevän varsin helposti 4-luokkaa vastaaviin tuloksiin, sillä myös T2 ja T3 laattojen arvot olivat luokan 4 vaatimustasoa parempia. Yhteensä kaikkien tehtyjen testien keskiarvoksi saatiin  $11,96 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ . Hyväksytyjen koekappaleiden keskiarvon perusteella voidaan todeta, että työmaabetonilla voidaan saavuttaa luokkaa A12 vastaava kulutuskestävyys. Tämä vastaa kulutuskestävyysluokkaa 3.

### *Ilmatiiveyden tutkimus*

Ilmatiiveyden testaamisen vaiheita on alustettu kohdassa 4.2. Testauksen ensimmäisten selvitysten jälkeen työn tilaajan kanssa päädyttiin ratkaisuun, että ilmatiiveyden tutkimusten eri vaihtoehtoja kartoitetaan ja selvitetään tarkemmin vuoden 2024 puolella ja tarvittaessa täysin omana projektina. Ratkaisuun vaikutti muun muassa se, ettei projektin aikana löytynyt yhtä yhteistä näkemystä toteuttaa ilmatiiveyden tutkimusta sekä selvitettyjen tutkimusratkaisujen odotettua kalliimmat hinnat. Kohdassa 4.2 kerrottua testausvaihtoehtoja haluttiin tutkia tarkemmin siksi, jotta tulevaisuudessa tehtävään projektiin saataisiin aikaan mahdollisimman kattava ja selkeäpiirteinen testausuunnitelma kenttäolosuhteisiin.

### *Yleiset havainnot ja opit tulevaisuuteen*

Kokonaisuudessaan tehdyt laboratoriotestit vastasivat suurimmalta osin odotettua tulostasoa. Testeistä saatiin selkeä kuva maakostean työmaabetonin vahvuuksista ja heikkouksista. Tartuntavetolujuus ja kulutuskestävyys osoittautui ennako-odotuksiin nähden paremmiksi, kun taas puristus- ja taivutusvetolujuuksien arvot jäivät odotettua heikoimmiksi. Testeistä saadun niin sanotun raakadatan käsittely osoittautui tulosten analysointivaiheessa huomattavasti oletettua työläämmäksi maakostean betonin kanssa, sillä pääosin testien käsittelyyn käytettävät taulukot ja muut työkalut olivat käytössä pääasiassa ominaisuuksien mukaisille betoneille. Myös vertailu prismakokeiden kanssa havaittiin haasteelliseksi, koska prismalujuudet eivät vastaa puristus- ja taivutusvetolujuuksien osalta normitestien tuloksia ja muuntaminen ei onnistu ilman betonitoimittajan antamia muuntokertoimia. Testit osoittivat lisäksi sen, että maakostea työmaabetoni on varsin herkkä tuote sekä ominaisuuksien että itse testaamisen suhteen, missä pienet puutteet massan koostumuksessa tai vääränlainen koekappaleiden käsittely testausten aikana voivat aiheuttaa merkittäviäkin eroja tuloksissa.

Testeistä saatiin arvokasta lisätietoa laboratorioissa suoritettavaan maakostean työmaabetonin testausprosessiin. Alla on listattuna kehitysehdotuksia testauksen suoritukseen seuraavia projekteja varten:

- Testaukseen otettavien kokeiden määrää syytä kasvattaa nykyisestä määrästä, jotta tarvittaessa projektin aikana ilmentyneet haasteet koekappaleiden betonissa eivät aiheuta ongelmia tulosten muodostamisessa ja analysoinnissa. Suositeltavaa on nostaa testikappaleiden määrä nykyisestä kolmesta kuuteen, jolloin tulosten keskihajontaa saadaan pienennettyä eikä yksittäiset virheet mittauksissa aiheuta keskiarvon merkittävää alentumaa.
- Betonikoekappaleiden määrä on hyvä nostaa alkuperäisestä neljästä vähintään kahdeksaan, jolloin virhemarginaali yhden tehdyn laatan kohdalla pienenee ja tarvittaessa ylimääräisiä laattoja voidaan hyödyntää varakappaleena. Lisäksi selkeästi suoraan havaitut vialliset betonierät voidaan heti poistaa testiohjelmasta, jolloin ne eivät pääse sekoittamaan tuloksia ja testausta.
- Koekappaleiden koko voi kaikissa laatoissa olla 1200 mm x 800 mm, mikä riittää tarvittavien pora- ja suorakaide testikappaleiden ottoon ja myös koneellinen hierto onnistuu yleisesti käytössä olevilla kalustoilla pienempiin laattoihin. Lisäksi kun laattojen koko on kaikissa sama, pienenee epävarmuustekijöiden määrä tiivistyksen laadussa.
- Puristuslujuuksien kuutiolujuus arvoja varten tehdyt porakappaleet on oltava > 75 mm halkaisijaltaan. Tällöin kuutiolujuuksien arvot pystytään määrittelemään olemassa olevien muuntoke-roimien avulla.
- Testaukset on pystyttävä toteuttamaan ± 10 päivän kuluttua siitä, kun koekappaleiden betonit ovat saavuttaneet 28 vuorokauden iän. Tämä vähentää epätarkkuuksia tuloksissa testattavien koekappaleiden välillä.
- Testauksessa betonin erikoispiirteet on määriteltävä märkäbetonia tarkemmin esimerkiksi porakappaleita otettaessa, jotta itse porauksessa ei materiaalirakennetta rikota liikaa kappaleen ympäriltä ja näin ollen pääse vaikuttamaan tuloksiin heikentävästi.
- Kaikista koekappaleista on otettava samat testit massan laadusta tai työtavoista riippumatta. Tällöin virhemarginaali tulosten analysointivaiheessa pienenee. Tämän lisäksi kaikista mas-saeristä on tehtävä prismakokeet, jolloin sama vertailudata on saatavilla kaikista tehdyistä koekappaleista.

Tehtyjen laboratoriotestien lopullisena johtopäätöksenä voidaan tehdä yhteenveto, että maakostea työmaabetoni soveltuu käytettäväksi pienten ja keskisuurien rasitusten maanvaraisissa alapohjara-kenteissa normaalin lattiabetonin rinnalla tai sen korvaavana tuotteena.

## 7 SUUNNITTELUOHJE TILAAJALLE

Opinnäytetyön tuotoksena tullaan laatimaan Suomen Betonilattiyhdistykselle suunnitteluohje maakostean työmaabetonin käytöstä. Ohjeen pääasiallisena tarkoituksena on toimia suunnittelijoiden apuna maakostean työmaabetonin käytössä ja suunnittelun apuna maanvaraisissa lattioissa, mutta sen hyödyntämistä voivat tehdä myös rakennuttajat, urakoitsijat sekä materiaalitoimittajat.

### 7.1 Ohjeiden laatiminen ja sisältö

Ohjeen laatiminen aloitettiin lokakuussa 2022 pidetyssä projektin aloituskokouksessa. Aloituskokouksessa päätettiin keskittyä nimenomaan ohjeen sisällössä enemmän suunnitteluun liittyviin asioihin ja varsinainen työmaan käyttöön soveltuvan työohjeen teko päätettiin rajata työstä pois. Aloituskokouksessa sovittiin työn alustavasta aikataulusta toteutukseen ja sisällön osalta siellä päätettiin rajata maakostean valmisbetonin osuus pois ohjeesta. Aloituskokouksessa keskusteltiin myös projektin tutkimusten toteuttamisesta ja siitä, kuinka niistä voitaisiin saada mahdollisimman luotettavasti tarvittavaa lisätietoa projektin aineistopohjaksi. Lisäksi koko projektia koskevia eettisiä näkökulmia pohdittiin, jossa keskusteltiin muun muassa miksi projektiin tehtävien tutkimusten suorittaminen on tarpeellista.

Ohjeen laadinnassa apuna oli Betonilattiyhdistyksen kokoama työryhmä, jonka opastuksella runkoa alettiin muotoilla. Ohjausryhmän kanssa yhteistyö toteutettiin säännöllisin väliajoin sovituilla kokouksilla sekä puhelin- ja sähköpostipalaverien. Kokouksia pidettiin projektin aikana yhteensä kuusi kappaletta, joista kirjoitettiin kokouspöytäkirjat päätetyn tiedon vahvistamiseksi. Pääasiassa kokouksissa suunnitteluohjeeseen liittyvät asiat ja päätökset olivat:

- 1.kokous: alustava aikataulu (ensimmäinen versio), projektin tavoitteet
- 2.kokous: alustava sisällysluettelo, radontestauksen poisjättäminen ja vaihtoehdoisen testaus-suunnitelman esittely
- 3.kokous: laboratoriotestien ja betonikoekappaleiden määrien hyväksyminen, alustavan testaus-suunnitelman hyväksyntä, suunnitteluohjeen ensimmäisen version julkaisu
- 4.kokous: alustavan kustannusarvion esittely ja hyväksyntä
- 5.kokous: ilmatiiveystestauksen päätös ja jatkoaikataulut, suunnitteluohjeen toisen version kommenttien läpikäynti
- 6.kokous: suunnitteluohjeen tilanteen ja valmistumisaikataulun päivittäminen.

Ohjeen sisällön kokoamisessa ilmeni haasteita työnteon aikana maakostean työmaabetonin vähäisen teoratiedon löytymisen vuoksi. Suomessa kirjallisuutta oli hyvin vähän tarjolla alan virallisissa julkaisuissa ja jonkin verran työn aineistona käytettiin tehtyjä päättö- ja diplomitöitä. Teoratiedon keräämisessä ja kokemuksissa turvauduttiin myös lattiaurakoitsijoille tehtyihin kyselyihin ja haastatteluihin. Alan kirjallisuutta olisi tietävästi jonkin verran ollut saatavissa Saksasta, mutta lähetettyihin kyselyihin ei koskaan vastattu projektin aikana. Myös työmaakohteiden vähyyys projektin aikana aiheutti jonkin verran ongelmia ohjeen kirjoittamiseen ja koko projektiin. Tämä johtui syksyllä 2023 koko rakennusala koskeneesta lamasta, minkä seurauksena useat rakennusurakoitsijat menivät

konkurssiin, eivätkä luonnollisesti lähteneet tekemään mitään ylimääräistä. Tämä vaikutti ennen kaikkea sopivien testauskohteiden sekä työn kuvamateriaalin saamiseen.

Ohjeen muoto ja ulkoasu hyväksyttiin Betonilattiayhdistyksessä ensimmäisten kokousten aikana. Keskeisimpinä sisältöinä haluttiin tuoda ohjeessa esille yleistä tietoutta maakostean työmaabetonin ominaisuuksista, hiilijalanjäljestä, soveltuvista käyttökohteista sekä tärkeimpänä onnistuneen betonilattian suunnittelusta maakostealla työmaabetonilla. Myös rakennesuunnittelijoille tärkeiden asioiden, lattian mitoittamista ja raudoituksen määrittelyä, haluttiin tuoda ohjeessa tiedoksi. Lattian mitoittamisessa keskityttiin kertomaan, voidaanko lujuusluokitelluille betoneille suunnattuja kaavoja käyttää maakostean betonin kanssa ja mihin asioihin mitoittamisessa kannattaa erityisesti keskittyä. Lattian raudoittamisessa keskityttiin selvittämään raudoitusten perusasioita, joita maakostealla betonilla tehdyissä lattioissa olisi hyvä ottaa huomioon. Lisäksi ohjeeseen haluttiin lisätä keskeisimpiä detaljeja maanvaraisiin betonilattioihin liittyen, joita voitaisiin soveltaa myös maakostean betonin käytössä. Detaljeissa keskityttiin pääasiassa raudoitusten ja tiivistysten yksityiskohtien kerrontaan ja niiden esitystapa päätettiin pitää ohjeellisena ja pelkistettynä. Ohjeen kirjallista osaa havainnollistettiin aiheeseen sopivilla kuvilla ja joka kappaleen tärkeimmät kohdat kiteytettiin yhteen täsmentävillä iskulauseilla. Ohjeen kuvamateriaali on hankittu alan julkaisuista, Betonilattiayhdistyksen jäsenyritysten materiaaleista sekä omista työmaalla ottamista kuvista.

Tulevan BLY-ohjeen ensimmäinen versio, maakostea työmaabetoni maanvaraisissa laatoissa, on luettavissa opinnäytetyön liitteenä 1. Versiossa on kuvattu tulevan suunnitteluohjeen rungon sisältö, joka perustuu tämän opinnäytetyöprojektin aineistohankintoihin sekä vuoden 2024 puolella tehtäviin maakostean työmaabetonin ilmatiiveystestauksiin. Virallinen versio ohjeesta julkaistaan vuoden 2024 aikana.



## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä maakostean työmaabetonin perusominaisuuksiin ja tiiveyteen, selvittää sen laajempaan käyttöä maanvaraisissa alapohjarakenteissa, saada suunnitteli-joille ja muille rakennusalan ammattilaisille lisätietoa maakostean työmaabetonin eri käyttömahdollisuuksista, selventää kaikille eri maakosteiden betonien eroja sekä poistaa yleisiä väärinkäsityksiä niiden ympäriltä. Tehtyjen selvitysten ja kerätyn tiedon perusteella luodaan tilaajalle ohje maakostean työmaabetonin suunnitteluun ja käyttöön.

Kokonaisuudessaan lähes kaikkiin projektin alussa asetettuihin tavoitteisiin pystyttiin vastaamaan. Maakostean työmaabetonilla valettujen alapohjarakenteiden ilmatiiveyksien sekä itse betonin tiiveyden testaaminen oli projektin ainoa konkreettinen asia, johon alkuperäisen aikataulun puitteissa ei saatu suunnitelman mukaisia tietoja. Tämän vuoksi tutkimusta näiden osalta tullaan hyvin todennäköisesti jatkamaan mahdollisesti hyvinkin nopealla aikataululla lähitulevaisuudessa. Etsityn teorian ja tehtyjen laborioritestien avulla pystytään kuitenkin valmistamaan tilaajalle alkuperäisen suunnitelman mukainen suunnitteluohje vuoden 2024 alkupuolella. Ohje saatetaan lopulliseen valmiuteen sen jälkeen, kun päätetään, missä laajuudessa ilmatiiveyden testaamista tullaan edistämään vielä tämän projektin puitteissa. Tehtyjen laborioritestien johtopäätöksenä voidaan kuitenkin tehdä yhteenveto, että maakostea työmaabetonia pystytään käyttämään pienten ja keskisuurien rasiusten maanvaraisissa alapohjarakenteissa lattiabetonin rinnalla tai korvaavana tuotteena. Tehtyjen laborioritestien tulokset on analysoitu tarkemmin kohdassa 6.

Projektin eettisten arvojen sekä tehtyjen tutkimusten luotettavuuden näkökulmaan pystyttiin vastaamaan projektin aloituskokouksessa sovitulla tavalla. Eettisiin ongelmakohtiin vastattiin perehtymällä maakostean työmaabetonin ominaisuuksiin ja vertaamalla niitä peruslattiabetoniin. Opinnäytetyön ja sen tutkimusten luotettavuuden näkökohtiin vastattiin tekemällä betonin testaukset virallisessa betonilaboratoriossa ja käyttämällä lähdemateriaaleina alan virallisia julkaisuja ennen kaikkea kansallisia standardeja ja normeja. Näiden aineistonkeruumenetelmien avulla saatiin kasattua tarpeita vastaava materiaalmäärä, jonka avulla projekti pystyttiin saattamaan loppuun saakka.

Oma työskentely sujui systemaattisesti ja pääpiirteissään projektin ennakkokaavailun mukaisesti. Lopulliseen yleisaikatauluun pystyttiin vastaamaan, vaikka alkuperäiseen aikatauluun nähden tehdyt laborioritestit viivästyivätkin. Aikatauluviiveet pystyttiin kuroma kiinni projektin edetessä tekemällä nopeita päätöksiä, esimerkiksi siirtämällä ilmatiiveyden mahdolliset tarkemmat jatkotutkimukset niiden omaan projektiin vuoden 2024 puolelle. Ulkomaalaisten lähdemateriaalien keräämisestä päätettiin luopua projektin suhteellisen aikaisessa vaiheessa, kun lähtötieto pyyntöihin ja kysymyksiin ei saatu pitkälläkään aikavälillä vastauksia. Nämä ennakoivat ratkaisut osaltaan myös mahdollistivat aikataulussa pysymisen.

Maakostean työmaabetonin tutkiminen ja siihen liittyvään aineistoon perehtyminen lisäsi vahvasti omaa osaamistani eri maakosteiden betoneiden ominaisuuksista, niiden valmistuksesta ja valmistuksen haasteista, suunnittelun ja suunnitteluratkaisujen ongelmakohdista. Lisäksi projektin työn tekemisessä tehdyt yleiset selvitykset lisäsivät osaamista myös lujuusluokitellulla betonilla valmistettujen

maanvaraisten lattioiden suunnittelusta ja ennen kaikkea mitoituksista. Perehtyminen lattioiden mitoittamisen vaiheisiin ja sen haasteisiin lisäsi yleisellä tasolla osaamista lattioiden rakenteista ja niiden erikoispiirteistä. Maanvaraisten lattioiden mitoittaminen on rakennesuunnittelijan työssä tärkeä hallittava osa-alue ja mitoittamista tullaan käsittelemään myös tulevassa tilaajalle tehtävässä suunnitteluohjeessa. Kokonaisuudessaan projektissa onnistuttiin vahvistamaan maakostean työmaabetonin ominaisuudet riittävän hyväksi ja käyttökelpoisiksi käyttää tietyissä maanvaraisissa alapohjarakenteissa. Lisäksi tehdyt testitulokset poistavat tiettyjä ennakkoluuloja ja harhapuheita maakosteasta työmaabetonista ja se ympäriltä sekä auttaa lukijaa ymmärtämään maakostean työmaabetonin eron muihin maakosteasta betonista valmistettuihin tuotteisiin.

Lähitulevaisuuden jatkotutkimuksen suuntaviivat ovat selkeät ja ne tulee kohdistumaan maakostean betonin ilmatiiveyden testaamiseen joko kenttä- tai laboratoriotestinä kappaleen 4.2 kerrottujen periaatteiden mukaisesti. Testaaminen tulee valmistella huolella, sillä vastaavan kaltaisista testeistä ei ole selkeää referenssiä olemassa. Valmisteluissa tulee ottaa ainakin huomioon kohteiden ja betonin ominaisuuden erikoispiirteet, testaukseen tarvittavat aika- ja resurssitarpeet sekä testauksen vuodenajan vaikutukset tuloksiin ja itse testiin. Pidemmällä aikajänteellä olevia mahdollisia jatkotutkimuksia voisivat olla esimerkiksi radonkaasujen tiiveystestaaminen diffuusiotestein, maakostean työmaabetonin kosteustekninen toimivuus ja käyttäytyminen erilaisissa vaihtuvissa olosuhteissa, maakostean työmaabetonin sulfaatinkesto ja erilaisten sementtilaatujen vaikutukset massan ominaisuuksiin sekä työmaan laadunvalvonnan kehittäminen ja testaamisen yhtenäistäminen koostumuksen mukaisilla betoneilla esimerkiksi prismakokeiden avulla.

## LÄHTEET

Aalto-yliopisto, Betoni, perustietoa arkkitehtiopiskelijalle, toinen painos. Pdf-tiedosto. Teknillinen korkeakoulu Arkkitehtuurin laitos 2010. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/06/Betoni-Perustietoa-arkkitehtiopiskelijalle-2010.pdf>. Viitattu 1.9.2023.

Anttalainen, Ari-Pekka. Työnjohtaja. Sweco Finland Oy. Haastattelu 30.10.2023.

Anttonen, Riikka / Sariola Laura. Maakostean betonin hiilijalanjälki Raportti. Heikkinen Yhtiöt Oy. Julkaistu 9.2.2023.

Asetus 2011/305/EU: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus rakennustuotteiden kaupan pitämisestä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 4.4.2011. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:fi:PDF>. Viitattu 10.6.2023.

BLY-OHJE 7. Paikalla sekoitettava pumpattava maakostea betoni 2021. Pdf-tiedosto. [http://www.bly.fi/File/BLY-OHJE\\_7-2021\\_Paikalla\\_sekoitettava\\_pumpattava\\_maakostea\\_beton.pdf?506345](http://www.bly.fi/File/BLY-OHJE_7-2021_Paikalla_sekoitettava_pumpattava_maakostea_beton.pdf?506345). Viitattu 6.3.2023.

BLY 14. Betonilattiat kortisto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2012. <http://www.bly.fi/File/BLY-14.pdf?rnd=1356602833>. Viitattu 13.4.2023.

BLY 18. Maakostean betonin käyttö mosaiikkibetonilattioissa. Pdf-julkaisu. Julkaistu 2016. <http://www.bly.fi/File/BLY-18.pdf?878036>. Viitattu 6.3.2023.

Betoniteollisuus ry. Verifioitu elinkaariarvio (LCA). Pdf-tiedosto. Julkaistu 2020. [https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio\\_valmisbetonit-1.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valmisbetonit-1.pdf). Viitattu 12.6.2023.

Bekafloor-tuotekortti 2019, Bekason Oy. Julkaistu 1.10.2019.

Ecofloor 2018. EcoFloor Bremat esittelyvideo. Video. YouTube-videopalvelu. <https://www.youtube.com/watch?v=m8L8nXrtokc>. Viitattu 9.4.2023.

Grönthal, Niko 2023. Toimitusjohtaja. Bekason Oy. Puhelinhaastattelu 20.4.2023.

Husu, Joonas 2019. Maakostean betonin kuivuminen, seuranta ja kuivumisen edesauttaminen työmaolosuhteissa. Opinnäytetyö. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus. Saimaan ammattikorkeakoulu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168048/Husu\\_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168048/Husu_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Kanto, Tomi 2023. Yksikönpäällikkö. Heikkinen Yhtiöt Oy. Haastattelu 11.4.2023.

Komonen, Juha 2022. Betonilattioiden mittaukset. Luento. Betonilattiapäivät 18.5.2022.

Petrow, Seppo 2010. Maanvaraiset betonilattiat, 36–41. <https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2015/09/BET1001-36-41.pdf>. Viitattu 17.5.2023.

Pulko, Valeria 2019. Ennen vuotta 1930 valmistettujen betonien ominaisuudet ja korjausmenetelmät. Opinnäytetyö. Building Technology. Aalto-yliopisto. [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/41699/master\\_Pulko\\_Valeria\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/41699/master_Pulko_Valeria_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viitattu 20.3.2023

RT 103123 Radonin torjunta. Ohjekortti 2019. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.

RT 103010 Maakostea betoni. Tuotetieto 2018. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.

RT 14-11197 Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Ohjekortti 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö

RT 80-10974 Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Ohjekortti 2009. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö

RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Rudus 2022. Valmisbetonihinnasto 1.9.2022. Verkkojulkaisu. <https://www.rudus.fi/hinnasto-ja-esitteet/hinnastot/betonihinnasto>. Viitattu 4.7.2023.

Salminen, Esa 2021. Suomalaisen betonin hiilijalanjälki, 86–91. [https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101\\_86-91.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101_86-91.pdf). Viitattu 12.6.2023.

Schadewitz, Aki 2011. Tekninen päällikkö, Contesta Oy. Luento. Betonilattian valmistuksen sudenkuopat. Betonilattiapäivät 2011.

Suomen Betonitieto ry 2023. Betonitöiden laadunvarmistus. Verkkojulkaisu. <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/laadunvarmistus.html>. Viitattu 20.7.2023.

Suomen Betoniyhdistys ry 2018. BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018. 6. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 1994. BY 37 Jyräbetoniohjeet 1994. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

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

Sisäilmayhdistys ry 2008. Terveelliset tilat. Maanvastainen betonilaatta. Verkkojulkaisu. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Maanvastaiset-rakenteet/Maanvastainen-betonilaatta>. Viitattu 15.3.2023.

SFS-EN 206. 2014. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 12350-2. 2019. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 12390-1. 2001. Testing hardened concrete. Part 1: shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS 5445. 1988. Betonin vetolujuus. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 12390-6. 2010. Kovettuneen betonin testaus. Osa 6. Koekappaleiden halkaisuvetolujuus. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 12390-5. 2019. Kovettuneen betonin testaus. Osa 5. Koekappaleiden taivutuslujuus. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 13813. 2002. Tasoitemassat ja lattiatasoiteet. Tasoitemassat. Ominaisuudet ja vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. 2015. Eurokoodi 2: betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 196-1. 2016. Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

Sisäilmayhdistys 2008. Maanvastainen betonilaatta. Verkkojulkaisu. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Maanvastaiset-rakenteet/Maanvastainen-betonilaatta>. Viitattu 29.5.2023.

Tielaitos 1998. Hydraulisilla sideaineilla sidottujen materiaalien laadunvarmistus, osa 1. Valokuva. <https://core.ac.uk/download/pdf/83994063.pdf>

Tielaitos 1994. Betonipäällysteen valinta ja talous. <https://core.ac.uk/reader/83993730>

Virtanen, Miika 2023. Laadunvarmistuspäällikkö. Sweco Finland Oy. Haastattelu 20.9.2023.

Ympäristöministeriö 2019. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Verkkojulkaisu. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Kuormat\\_lisays\\_2019-5070311E\\_F267\\_47BC\\_A593\\_AEAA20EA31FE-153592.pdf/4194d6a0-63c4-3965-34bb-4b2f159cd372/Kuormat\\_lisays\\_2019-5070311E\\_F267\\_47BC\\_A593\\_AEAA20EA31FE-153592.pdf?t=1603260658544](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf/4194d6a0-63c4-3965-34bb-4b2f159cd372/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf?t=1603260658544). Viitattu 1.10.2023.