



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MAAKOSTEAN BETONIN KÄYTTÖ TASOKIVEYSTEN ALLA

TEKIJÄ: Sakari Vepsäläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Sakari Vepsäläinen	
Työn nimi Maakostean betonin käyttö tasokiveysten alla	
Päiväys	6.5.2013
Sivumäärä/Liitteet	43
Ohjaaja(t) Pt. tuntiopettaja Juha Pakarinen, Lehtori Raimo Lehtiniemi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupunki/Rakennustarkastaja Matti Sutinen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia maakostean betonin käyttöä tasokiveysten alla, sekä kokeilla eri muuttujien, kuten esimerkiksi työstöajan ja sementtimäärän vaikutusta maakostean betonin lujuuteen. Tavoitteena oli löytää oikeat työtavat maakostean betonin työstämiseen ja saada selville betonin lujuuteen oleellisesti vaikuttavia tietoja, joita voidaan hyödyntää työmaalla.</p> <p>Työssä tutustuttiin aluksi aihetta käsittelevään kirjallisuuteen ja selvitettiin mahdollisia ongelmia maakostean betonin käsittelyssä. Ongelmia olivat mm. työstöajan venyminen liian pitkäksi ja tiivistämisen laiminlyönti. Tämän jälkeen betonilaboratoriossa tehtiin taivutuslujuuskokeita, joilla pyrittiin löytämään asiat, jotka vaikuttavat oleellisesti valmiin maakostean betonin lujuuteen. Kokeita tehtiin mm. käyttämällä erilaisia suhteituksia ja työstöaikoja. Työssä kokeiltiin myös kivituhkan soveltuvuutta maakostean betonin runkoaineeksi.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laboratoriokokein varmistettua tietoa lujuuteen vaikuttavista seikoista maakosteassa betonissa. Saatuja tuloksia voidaan käyttää apuna työmaalla, sekä työn valvonnassa, kun tiedetään kuinka eri työvaiheet ja betonimassan koostumukset vaikuttavat betonin lopulliseen lujuuteen.</p>	
Avainsanat maakosteaa, betoni, päällyste, kiveys	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Sakari Vepsäläinen			
Title of Thesis Use of dry mix concrete under paving stones			
Date	6 May 2013	Pages/Appendices	43
Supervisor(s) Mr. Juha Pakarinen, Full-time teacher; Mr. Raimo Lehtiniemi, Lecturer			
Client Organisation /Partners City of Kuopio/Building Inspector Matti Sutinen			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the use of dry mix concrete under paving stones. More closely the aim was to find the best ways to work with dry mix concrete and to find matters affecting the strength of dry mix concrete. The work was commissioned by the city of Kuopio.</p> <p>The work began by studying the source literature and finding current possible problems in dry mix concrete work. After that the strength tests were made in a concrete laboratory. The strength tests were made with different concrete mixtures and different methods of work. The use of stone ash in dry mix concrete was also tested.</p> <p>As a result of this thesis, matters affecting the strength of dry mix concrete were ensured by the laboratory tests. The results can be used by building inspectors and construction foremen for better results and stronger concrete.</p>			
Keywords dry mix concrete, pavement, paving stones			
public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TASOKIVEYKSET	8
2.1	Luonnonkiveykset.....	8
2.1.1	Nupukivet	8
2.1.2	Noppakivet.....	8
2.1.3	Luonnonkivilaatat.....	8
2.1.4	Kenttäkivet.....	9
2.1.5	Liuskekivet.....	9
2.2	Betoniset kivet ja laatat	9
2.3	Reunatuet	10
2.4	Luonnonkivituotteiden materiaalivaatimukset.....	11
2.5	Betonikivituotteiden materiaalivaatimukset.....	11
3	KIVEYKSEN PÄÄLLYSRAKENNE	12
3.1	Asennusalusta.....	12
4	KIVEYKSEN SAUMAUS JA KIINNITYS.....	14
4.1	Saumaustyypit	14
4.1.1	Saumaushiekka ja kivituhka	14
4.1.2	Märkä sementti-hiekka-vesiseos	14
4.1.3	Bitumisaumaus.....	15
4.1.4	Betoni	15
4.2	Kivien kiinnitys asennusalustaan	15
5	MAAKOSTEA BETONI	16
5.1	Maakostean betonin käsittely.....	16
5.1.1	Maakostean betonin valmistus, toimitus ja levitys	16
5.1.2	Kiveyksen teko maakostean betonin päälle	17
5.1.3	Laadunvalvonta työmaalla.....	18
5.2	Maakostean betonin sisältö.....	18
5.2.1	Kiviaines	20
5.2.2	Filleri.....	22
5.2.3	Sementti.....	23
5.2.4	Vesi.....	24

5.2.5	Raudoitus	25
6	TAIVUTUSLUJUUSKOKEET MAAKOSTEASTA BETONISTA	26
6.1	Koevedokset.....	34
6.2	Testit sorasta.....	35
6.2.1	Sementtimäärän vaikutus lujuuteen	35
6.2.2	Työstöajan vaikutus lujuuteen.....	36
6.2.3	Jälkihoidon vaikutus lujuuteen.....	37
6.2.4	Lujuuden kehittyminen	38
6.2.5	Testit kivituhkasta.....	38
6.3	Laboratoriokokeiden kaikki tulokset	40
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	42

LÄHTEET

ALKUSANAT

Kiitän työssä mukana ollutta Kuopion kaupungin henkilöstöä mielenkiintoisesta aiheesta ja työn ohjauksesta.

Lisäksi kiitän työni ohjaajia Savonia-ammattikorkeakoulusta. Erityiskiitos kuuluu vielä Savonia-ammattikorkeakoulun projekti-insinööri Eemeli Lehmusoksalle, joka auttoi todella paljon laboratorio-kokeiden suorittamisessa.

1 JOHDANTO

Idea tälle opinnäytetyölle tuli Kuopion kaupungin rakennusvalvonnasta. Kaupungin torityömaalla oli ollut ongelmia kiveysten asennuskerroksena toimivan maakostean betonin lujuudessa. Joissain liikenteen rasituksen alaisilla paikoissa betonikerros oli vaurioitunut ja kiveys ja betonikerros oli joudutte tekemään uudestaan. Maakostea betonია on tutkittu paljon vähemmän kuin normaalia juoksevaa betonia, eikä aiheesta löydy paljon kunnollista tietoa alan ammattikirjallisuudesta. Tässä työssä pyritään saamaan lisää tietoa, joka voi auttaa estämään vastaavien vaurioiden synty jatkossa.

Työn tavoitteena on löytää oikeat tavat käsitellä maakostea betonია ja etsiä mahdolliset ongelmat maakostean betonin käsittelyssä jotka voivat aiheuttaa betonin lujuuden heikentymistä. Työssä tutkitaan myös eri muuttujien, kuten työstöajan ja suhteituksen, vaikutusta valmiin betonin lujuuteen. Työ aloitetaan kartoittamalla nykyiset ongelmat ja työtavat maakostean betonin käsittelyssä tilaajan kanssa, jonka jälkeen perehdytään alan kirjoihin ja tutkimuksiin. Saatuja tietoja analysoimalla tehdään suunnitelma laboratoriokokeista jotka suoritetaan Savonia-ammattikorkeakoulun betonilaboratoriossa. Kokeissa tutkitaan mm. sementtimäärän, työstöajan ja jälkihoidon vaikutusta kovettuneen betonin lujuuteen. Lisäksi tutkitaan soran lisäksi kivituhkan soveltuvuutta maakostean betonin kiviaineksi. Laboratoriokokeet suoritetaan standardin SFS-EN 12390-5 taivutuslujuuskokeina.

Tuloksena toivotaan tietoa maakostean betonin lujuuteen oleellisesti vaikuttavista asioista, joita voidaan hyödyntää työmaalla ja rakennusvalvonnassa. Saatujen tietojen avulla pyritään estämään kiveyksen asennuskerroksena toimivan maakostean betonin vauriot jatkossa ja sitä myötä saamaan kustannussäästöjä.

2 TASOKIVEYKSET

Katujen ja kaupunkirakenteiden päällysteet ovat yksi näkyvimmistä elementeistä kaupunkirakentamisessa. Päällysteiden pääasiallisena tehtävänä on toimia liikenteen kulutuskerroksena ja yleisin päällyste varsinkin ajoradoilla on perinteinen asfaltti. Kiveyksiä käytetään usein elävöittämään ja jakamaan maisemaa mm. toreilla, suojateilla ja pihakaduilla. Kiveykset toimivat myös arkkitehtuurisena tekstuurina luoden maisemalle arvontuntoa ja tyylikkyyttä.

Kiveykset pyritään tekemään arkkitehtuurisesti kauniiksi ja kaupunkikuvaan sopivaksi, sekä riittävän kuormituksen kestäväksi. Tilasta riippuen kiveykset joutuvat kestämaan erilaisia kuormia ja varsinkin raskaasti liikennöidyillä alueilla kivien ja lattojen, sekä niiden alle jäävien rakennekerrosten tulee olla riittävän lujia. Kivet ja laatat jaetaan eri tyypeihin niiden muodon mukaan ja niille on asetettu omat laatuvaatimukset.

2.1 Luonnonkiveykset

Luonnonkiviset rakenteet ovat hyvin kulutusta ja kuormia kestäviä rakenteita. Luonnonkivet eivät menetä muotoaan raskaan kuormituksenkaan alla ja ne kestävät hyvin haitallisia nesteitä, kuten öljyä ja liuottimia. Luonnonkivet ovat monimuotoisempia ja ilmeikkäämpiä kuin betonikivet ja niitä käytetään usein mm. torialueilla elävöittämään maisemaa.

2.1.1 Nupukivet

Nupukivi on lohkoamalla tai sahaamalla valmistettu suorakulmainen kivituoite, jonka mitat ovat yleensä 140 mm * 140 mm * 250 mm (korkeus * leveys * pituus). Nupukiven pintakäsittelyvaihtoehtoja ovat poltettu, ristipäähakattu ja lohkottu pinta. (Katu 2002, 114.) Kiven vedenimukyky tulee olla vähemmän kuin 0,3 paino-prosenttia. Kivien tulee olla standardien SFS-EN 1342 ja SFS 7017 mukaiset. (MaaRYL 2010, 135.)

2.1.2 Noppakivet

Noppakivi on lohkoamalla tai sahaamalla graniitista tai muusta lujasta kivilajista valmistettu kuution muotoinen kivi, jonka sivunpituudet vaihtelevat 50 mm ja 140 mm välillä. Yleisin noppakiven koko nykyisin on 90 mm * 90 mm * 90 mm. Noppakiven yläpuoli on suhteellisen tasainen ja alapuoli hieinan yläpuolta pienempi, mutta vähintään $\frac{3}{4}$ osaa yläpuolen koosta. (Katu 2002, 114.) Kiven vedenimukyky on vähemmän kuin 0,3 paino-prosenttia. Kivien tulee olla standardien SFS 7017 ja SFS-EN 1342 mukaiset. (MaaRYL 2010, 134.)

2.1.3 Luonnonkivilaatat

Luonnonkivilaatat ovat yleensä suorakulmion muotoisia aihioista sahaamalla valmistettuja laattoja. Sivut ovat useimmiten sahattuja, mutta toisinaan myös lohkottuja. Laattojen paksuus on yleensä 80 mm ja enimmäiskooksi suositellaan 600 mm * 600 mm. Suuremmilla laatoilla tulee selvittää kiven

kestävyys liikennekuormalle. Myös laatan muoto vaikuttaa kestävyYTEEN. (Katu 2002, 114—115.)
Luonnonkivilaatat asennetaan pääsääntöisesti maakostealla betonilla tehtyyn alustaan (MaaRYL 2010, 133).

2.1.4 Kenttäkivet

Kenttäkivet ovat luonnossa hionoutuneita pyöreitä kiviä, jotka ovat suurimmalta läpimitaltaan 70 - 250 mm (Katu 2002, 115). Liikenteen tai huoltokoneiden rasituksen alaisilla alueilla läpimitan tulisi olla yli 150 mm, mutta maakosteaan betoniin asennettavat kivet voivat olla myös pienempiä. Kivien muodon tulee olla sellainen, että riittävän tasaisen pinnan tekeminen on mahdollista. (MaaRYL 2010, 135.) Muita kenttäkiveyksistä käytettäviä nimityksiä ovat mm. mukulakivi, vierinkivi, pyörökivi ja seulanpääkivi (Katu 2002, 115).

2.1.5 Liuskekivet

Liuskekivet ovat ohuehkoja kivilaattoja, jotka on valmistettu lohkoamalla kerrostuneesta kivilajista. Liuskekivien muoto voi olla vapaa tai suorakulmainen. Yleisiä käyttökohteita liuskekiville on piha-alueet, sekä sisä- ja ulkotilat, joihin halutaan monimuotoista pintaa.

Yksittäisen kiven pinta-alan tulee olla vähintään 0,20 m². Kivien materiaalin tulee olla väritykseltään ja lohkeavuudeltaan samanlaista. Kivien paksuus on vähintään 40 mm asennushiekkaan asennettuna ja vähintään 20 mm betoniin asennettuna. Liikennöidyillä alueilla kivet tulee asentaa betoniin. (MaaRYL 2010, 135.)

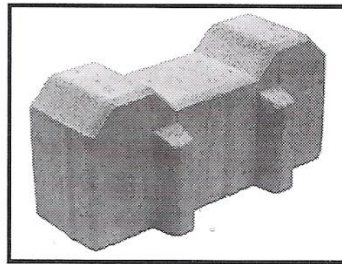
2.2 Betoniset kivet ja laatat

Betonikivet ja -laatat valmistetaan muottiin valamalla. Molemmat voidaan värjätä pinnaltaan tai kokonaan lähes minkä väriseksi tahansa. Kivet ja laatat pintakäsittelään yleensä hiekkapuhaltamalla, pesubetonipintaamalla tai niihin jätetään muotissa muodostunut pinta. Betonikivet ovat 50 - 100 mm paksuja, joista yleisin paksuus on 80 mm. Betonikivet lajitellaan suorakaidekiviin ja reunaprofiloituihin kiviin. (Katu 2002, 115.)

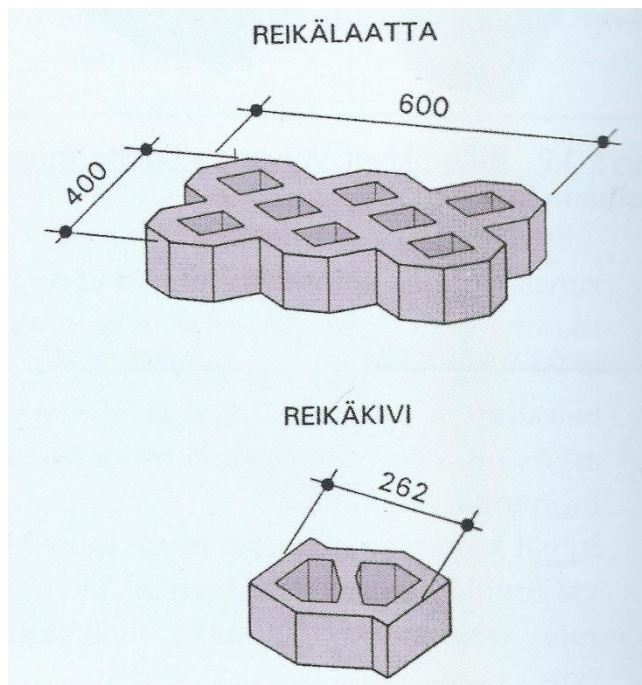
Suorakaidekivien sivusuhteet vaihtelevat 1 : 1 - 3. Reunaprofiloitujen kivien reunat muodostavat rakenteen, joka estää niitä liikkumasta toisiinsa nähden. Betonikivet voivat olla myös kaarevia, jolloin niistä voidaan asetella erilaisia kaarevia ja pyöreitä ladontoja. (Katu 2002, 115.) Raskaan kuormituksen alaisilla alueilla voidaan käyttää 100 mm paksua kiveä ja piha-alueilla ja muilla kevyen kuormituksen alaisilla alueilla voidaan käyttää 60 mm paksua kiveä (Öhrnberg ym. 2006, 12).

Betonilaatat ovat 40 - 80 mm paksuja ja sivukoot vaihtelevat 300 * 300 mm:n ja 500 * 500 mm:n välillä (Katu 2002, 115). Ajoneuvoliikenteen alaisilla alueilla betonilaattojen paksuus tulee olla vähintään 80 mm ja sivumitan alle 420 mm (Öhrnberg ym. 2006, 14).

Maisemointiin ja pintamaan sitomiseen haluttuun kaltevuuteen voidaan käyttää betonisia reikälaattoja, reikäkiviä (kuva 2), sekä nurmikiviä (kuva 1). Näitä kiviä käyttämällä voidaan yhdistää vettä läpäisevä nurmipinta, sekä liikennettä kestävä kivipinta. (Öhrnberg ym. 2006, 14.)



Kuva 1. Nurmikiviä (Öhrnberg ym. 2006, 14).



Kuva 2. Reikälaatta ja -kivi (Öhrnberg ym. 2006, 14).

2.3 Reunatuet

Reunatuet ovat teillä ja kaduilla sijaitsevien korokkeiden, kuten jalkakäytävien ja keskisaarekkeiden, reunoja. Reunatuet voivat olla joko luonnonkivistä tai betonista (kuva 3) tehtyjä. Reunatukia käyte-

tään ohjamaan pintavesien virtausta ja ehkäisemään näiden aiheuttamaa eroosiota, sekä estämään korotetun alueen purkaantumista kadulle. Reunatuet ovat joko upotettavia tai liimattavia. Upotettavat reunatuet suositellaan asennettavaksi maakostean betoniin. (Öhrnberg ym. 2006, 14–15.)



Kuva 3. Betonisia reunakivityyppejä (Öhrnberg ym. 2006, 15).

2.4 Luonnonkivituotteiden materiaalivaatimukset

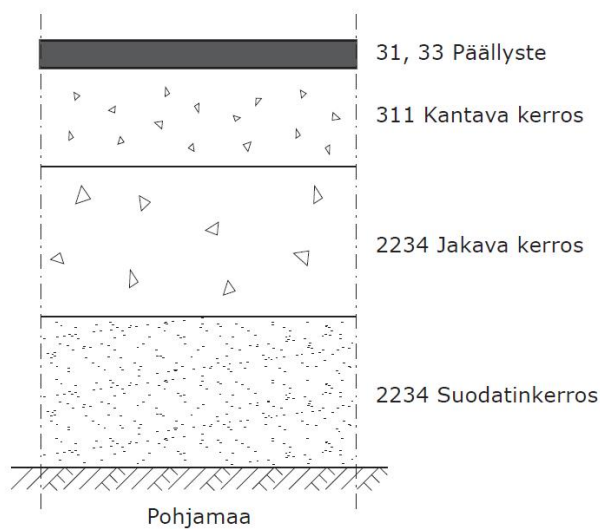
Luonnonkivituotteet tulevat olla CE-merkittyjä ja standardien SFS-EN 1338, SFS-EN 1339 ja SFS 7017 mukaisia. Jos tuotteissa ei ole CE-merkintää, ominaisuudet tulee osoittaa rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla tai asianomaisen ministeriön tuotehyväksynnällä. Kivilajin tulee olla tunnettu. Kivissä ei saa olla lohkeamia, rapautumia tai lujuutta haittaavia halkeamia. Kivien kelpoisuus tarkistetaan silmämääräisesti ennen työn aloitusta ja vielä työn aikanakin. Kiven alkuperätiedot tulee olla ilmoitettu standardin SFS-EN 12440 mukaisesti. (MaaRYL 2010, 132.)

2.5 Betonikivituotteiden materiaalivaatimukset

Betonikivituotteet tulevat olla CE-merkittyjä ja standardien SFS-EN 1338, SFS-EN 1339 ja SFS 7017 mukaisia. Jos tuotteissa ei ole CE-merkintää, ominaisuudet tulee osoittaa rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla tai asianomaisen ministeriön tuotehyväksynnällä. Vaatimustenmukaisuus tulee tarkistaa ennen tuotteiden asentamista. Suunnitelma-asiakirjoissa osoitetaan kivien laatuluokat, koko, reunaviisteet, pintakäsittely ja muut tarvittavat vaatimukset, kuten liukastumisvastusvaatimukset. (MaaRYL 2010, 128.)

3 KIVEYKSEN PÄÄLLYSRAKENNE

Kiveykset vaativat hyvin tehdyn päällysrakenteen välttääkseen mm. roudan ja liikenteen aiheuttamat vauriot. Kuva 4 kuvaa päällysrakenteen periaatetta. Kiveyksissä päällysteeseen kuuluu itse kiveys ja sen asennusalusta. Päällyste rakennetaan kantavan kerroksen päälle, joka joutuu kestäämään suurikin kuormia varsinkin raskaasti liikennöidyillä alueilla. Kantava kerros voidaan tehdä joko sitomattomaksi tai sidotuksi. Sidottu kerros voidaan tehdä mm. sementti-, bitumi-, komposiitti- tai maasuunihiekkastabilointina (MaaRYL 2010, 127). Sitomaton kerros tehdään lujasta kiviaineksesta ilman sitoutumisen mahdollistavia aineita. Kantavana kerroksena voi toimia myös muikin suunnitelmien mukainen kerros.

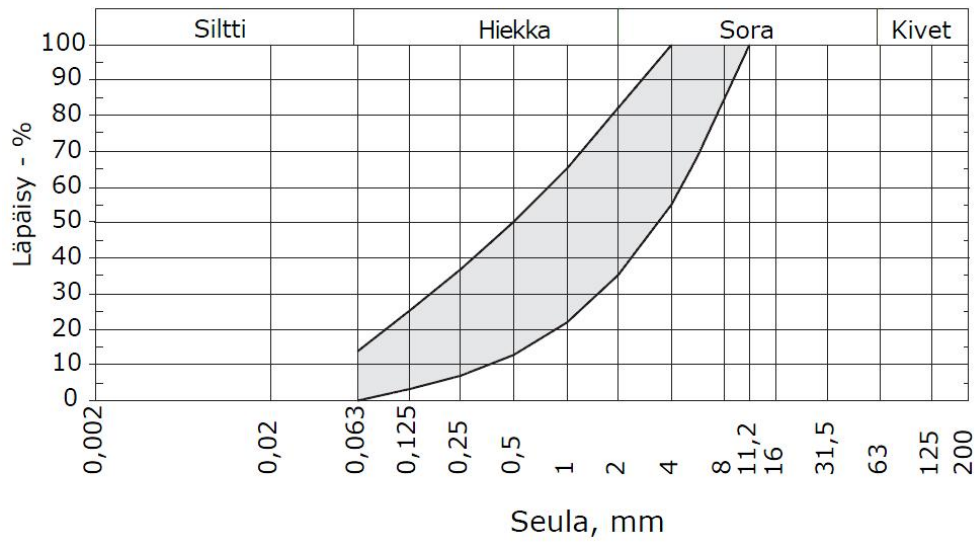


Kuva 4. Kerrosten sijainti rakenteessa (MaaRYL 2010, 125).

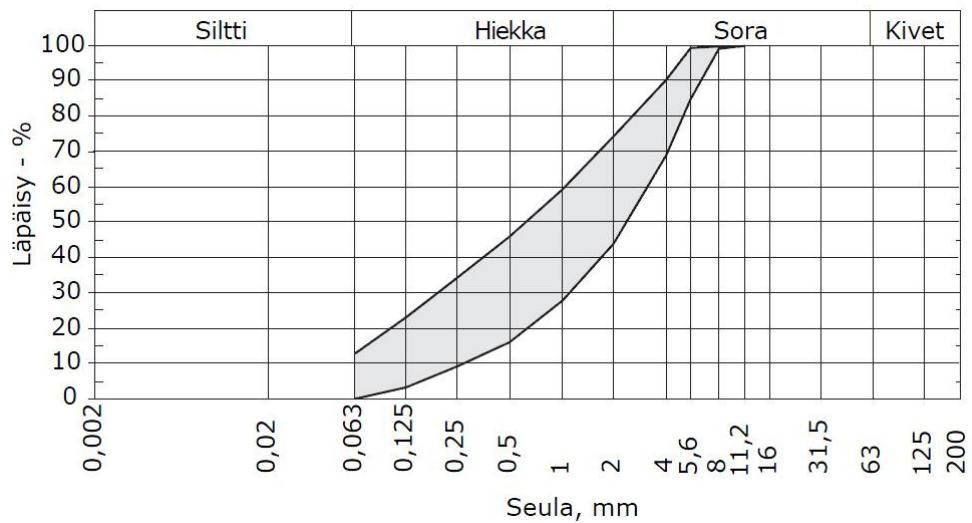
3.1 Asennusalusta

Kantavan kerroksen päälle levitetään asennushiekka, asennusbetoni tai asfalttibetonikerros kiveyksen asennusalustaksi. Betonia tai asfalttibetonia suositellaan käytettäväksi raskaasti kuormitetuilla alueilla, jolloin rakenteesta tulee joustamaton. Betoni on joko maakostea (K10) tai suurempien rasi- tusten alla normaalia betonia (K30).

Asennushiekan rakeisuuden ohjealue on esitetty kuvassa 5. Asennushiekkana voidaan käyttää myös kivituhkaa, jonka rakeisuuden ohjealue on esitetty kuvassa 6. Hiekka laitetaan yleensä murskeesta tehdylle kantavalle kerrokselle. Asennushiekan toimittajan tulee osoittaa vaatimustenmukaisuus riit- tävin dokumentein, kuten esimerkiksi sertifikaatein tai tuote- tai tutkimuslosteella. (InfraRYL 2010, 354.) Asennushiekka voidaan levittää käsin tai suuremmilla alueilla koneellisesti. Kuvassa 7 on esi- tetty mahdollinen tapa levittää hiekka koneellisesti.



Kuva 5. Kivien ja laattojen asennushiekan rakeisuuden ohjealue (InfraRYL 2010, 354).



Kuva 6. Asennushiekkana käytettävän kivituhkan rakeisuuden ohjealue (InfraRYL 2010, 354).



Kuva 7. Asennushiekan levittämistä (Öhrnberg ym. 2006, 54).

4 KIVEYKSEN SAUMAUS JA KIINNITYS

Kiveyksen saumauksella on tärkeä merkitys kiveyksen kantavuuden kannalta. Hyvin tehty saumaus sitoo kivet toisiinsa ja jakaa kuormitusta laajemmalle alueelle. Huonosti tehty saumaus voi aiheuttaa kivien irtoamista ja suurien pistekuormien muodostumista asennusalustalle. Kiveys tulee olla saumattu ennen kuin sillä sallitaan liikenne.

4.1 Saumaustyytit

Kiveyksen saumaamiseen on olemassa erilaisia vaihtoehtoja. Käytettävään saumaustyytiin valintaan vaikuttaa mm. kiveystyyppi, ulkonäkövaatimukset, sekä käytettävä kiveyksen hoito- ja puhdistuslusto. Sitoutumattomat saumaustyytit eivät kestä pitkään koneellista puhdistusta.

4.1.1 Saumaushiekka ja kivituhka

Saumaushiekka on oltava rakeisuudeltaan riittävän hienoa, esim. 0/1 mm. Hiekkaan voidaan lisätä sementtiä 5 paino-% betonisekoittimen avulla juuri ennen hiekan levittämistä. Sementin tulee täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset ja sen tulee olla CE-merkittyä. (MaaRYL 2010, 132.) Saumaushiekka ei sovellu hyvin koneellisesti puhdistettavien alueiden saumaukseen.



Kuva 8. Saumaushiekan levitystä (Öhrnberg ym. 2006, 41).

4.1.2 Märkä sementti-hiekka-vesiseos

Märkä sementti-hiekka-vesiseoksessa on hiekkaa ja sementtiä suhteessa 1/1. Seokseen lisätään vettä niin, että massa on juoksevaa. Seosta käytetään mm. laattojen saumaukseen. Sementin tulee täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset ja sen tulee olla CE-merkittyä. (MaaRYL 2010, 133.)

4.1.3 Bitumisaumaus

Bitumisaumausseos Tiebitumia, jossa on 50% bitumia ja 70% kalkkikivijauhetta. Tiebitumin sekoituslämpötila on +170 - 180 °C ja valutuslämpötila +150 °C. (MaaRYL 2010, 135.) Bitumisaumausta käytettäessä tulee huomioida sen vaikutus kiveyksen ulkonäköön. Tumma saumasaine voi tehdä koko kiveyksen ulkonäöstä häiritsevän.

4.1.4 Betoni

Kivityksen saumaukseen voidaan käyttää maakostea tai juoksevaa betonia. Varsinkin juoksevaa betonia käytettäessä tulee varoa kivien sotkemista betonilla. Betonilla tehty saumaus on luja ja joustamaton, sekä soveltuu koneellisesti hoidettavien alueiden saumaukseen.

4.2 Kivien kiinnitys asennusalustaan

Hiekkaan asennettavat kivet asennetaan suoraan hiekan päälle ja tärytetään asentamisen ja saumauksen jälkeen tiiviiksi kerrokseksi. Maakosteaan betoniin kiviä asennettaessa kaikenlainen kuormitus ennen riittävän kuormituslujuuden saavuttamista on kielletty. Kivet voidaan kiinnittää maakosteaan betoniin joko suoraan betoniin tai laittamalla sementtiliimaa betonin ja kiven väliin (ns. limutus).

5 MAAKOSTEA BETONI

Maakostealla betonilla tarkoitetaan betonia, joka sisältää normaalia betonia vähemmän vettä ja sen massan rakenne tulee olla irtonainen. Massasta tulee voida kuitenkin puristaa koossa pysyvä pallo. Kovettuneen maakostean betonin lujuus on yleensä juoksevaa betonia heikompi. Maakostea betonia käytetään yleisesti mm. reunatukien tuennassa ja liikenteen rasitusten alaisten kiveysten asennuskerroksena.

5.1 Maakostean betonin käsittely

Maakostean betonin käsittely poikkeaa normaalin juoksevan betonin käytöstä oleellisesti. Maakostean betonimassan käsittelystä ei ole välttämättä kaikilla työntekijöillä läheskään niin paljon kokemusta kuin normaalin betonin käsittelystä ja tällöin voi tulla työtavoissa virheitä, joihin työnjohto ja rakennusvalvonta ei pääse aina puuttumaan. Kaikilla maakostean betonimassan parissa työskentelevillä tulisi olla perustiedot massan oikeaoppisesta käsittelystä ja heidän on aina noudatettava näitä ohjeita. Esimerkiksi tiivistämisen laiminlyönti aiheuttaa maakostean betonin huonoa sitoutumista ja tätä myötä myös heikkoa lujuutta.

5.1.1 Maakostean betonin valmistus, toimitus ja levitys

Maakostea betonimassa valmistetaan yleensä betonitoimittajien sekoitusasemilla ja toimitetaan betoniautoilla työmaalle. Työmaan ja sekoitusaseman välinen pitkä matka voi aiheutua ongelmaksi, koska massa tulisi levittää ja tiivistää noin kahden tunnin sisällä valmistuksesta. Pienissä kohteissa massa voidaan valmistaa myös työmaalla, jolloin massaa voidaan tehdä aina riittävän vähän ja se saadaan käytettyä riittävän nopeasti.

Työmaalla tulee olla valmistauduttu maakostean massan vastaanottamiseen ja pyrkiä massan mahdollisimman nopeaan levitykseen ja tiivistämiseen. Työntekijöiden on oltava selvillä omista tehtävistään betonoinnin aikana, koska itse betonoinnin aikana opastamiseen ei ole aikaa. Betonikerroksen alle jäävän maakerroksen tulee olla tehty tiiviksi. Jos alla oleva maakerros pettää, voi betoniin kohdistua suuria vetorasituksia, joita se ei kestä hyvin ilman raudoitusta.

Massan levitykseen soveltuu esimerkiksi asfalttilevitin (Öhrnberg ym. 2006, 51). Pienemmissä kohteissa massa voidaan levittää myös käsin. Betonin kerrospaksuus tehdään suunnitelmien mukaisesti, usein kiveyksen alle tuleva maakostea betoni on paksuudeltaan 100 mm ±20 mm, kiveystyyppin ja kohteen mukaan.

Betonille ei sallita liikennettä ennen riittävän lujuuden saavuttamista. Tarvittaessa kivetettävä alue jaetaan osiin ja työt ajoitetaan niin ettei liikenteelle aiheudu suuria häiriöitä. Taulukosta 1 nähdään kuormituslujuuden saavuttamisikä eri lämpötiloilla yleisementillä ja rapidsementillä, edellyttäen ettei betoni pääse jäätymään välillä. Syksyllä käytetään ilman ja keväällä maan lämpötilaa. Väliarvot taulukosta interpoloidaan suoraviivaisesti. Taulukon arvot ovat suuntaa-antavia, sillä betonin koostumus

ja tiivistys vaikuttavat oleellisesti sitoutumiseen. Lentotuhka hidastaa betonin sitoutumista lisättyinä sideaineeseen ja jos lentotuhkaa on sementissä yli 20 paino-% ja keskimääräinen lämpötila enintään +15 °C, taulukon arvoja ei voida käyttää. Jos tuhkan määrä on enintään 20 paino-% ja keskimääräinen lämpötila yli +15 °C, taulukkoa voidaan käyttää. (Mörönen ym. 2001, 14.)

Taulukko 1. Lujuusluokan K10 betonin kuormitusiän arvio (Mörönen ym. 2001, 14).

Keskimääräinen kovettumislämpötila °C	Sideaine	
	CEM II A 42,5	CEM II A 42,5 R
	Kuormitusikä, vrk	
25	11	4
20	14	5
15	19	7
10	27	9
5	42	14

Jos lämpötila laskee +5 °C:seen on ryhdyttävä talvibetonointitoimenpiteisiin. Talvibetonointi voidaan tehdä lämmitetyssä sääsuojassa. Tällöin tulee varmistua riittävästä lämpötilasta sääsuojassa, sekä lämpötilan riittävän pitkästä ylläpidosta, ettei massa jäädy ennen riittävän lujuuden saavuttamista. Taulukosta 2 nähdään jäätymislajuuden saavuttamisikä. Vaadittavan lämmitysajan pienentämiseksi rapidsementin käyttö on suositeltavaa. Sääsuojan tulee suojata hyvin tuulelta ja vedolta ja sen turhaa aukomista on vältettävä. Tilassa tulee olla jatkuva lämpötilanseuranta. Lämmittimenä voidaan käyttää nestekaasu-, polttoöljy- tai sähkökäyttöistä kuumailmalämmittintä. Lämmityksessä pyritään ennemmin kahden pienen kuin yhden suuren lämmittimen käyttöön laiterikon tai -häiriöiden varalta. (Mörönen ym. 2001, 14 ja 17.)

Taulukko 2. K10 betonin jäätymislajuuden saavuttamisikä (Mörönen ym. 2001, 14).

Keskimääräinen kovettumislämpötila °C	Sideaine	
	CEM II A 42,5	CEM II A 42,5 R
	Jäätymislajuuden saavuttamisikä, vrk	
15	9	4
10	12	5
5	18	8

Levitetty betonimassa tulee tiivistää välittömästi levityksen jälkeen. Tiivistys tulee tehdä lopulta täryttämällä esim. tärylevyllä riittävän tiivin lopputuloksen saamiseksi. Tiivistetyn betonin pinnan riittävästä kosteudesta tulee huolehtia jälkihoitamalla se esimerkiksi peittämällä se muovilla ja/tai kastelamalla vedellä. Auringon paiste, korkea lämpötila ja tuuli nopeuttavat betonin pinnan kuivumista, jolloin kastelu ennen peittämistä voi tulla tarpeeseen.

5.1.2 Kiveyksen teko maakostean betonin päälle

Maakostea betoni vaatii aina kulutuskerroksen päälle. Kiveysten korkoasemaa voidaan nostaa laittamalla jo valmiin betonikerroksen päälle tuoretta betonia. Kivien ja betonin väliin voidaan laittaa sementtiliimaa (ns. limutus) parantamaan kivien kiinnittymistä betonikerrokseen. Kiveys tehdään suunnitelmien mukaisesti ja se saumataan ennen kuin liikenne sallitaan.

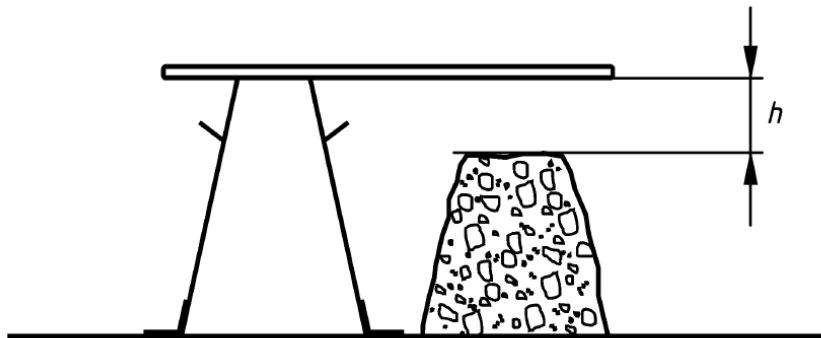
5.1.3 Laadunvalvonta työmaalla

Vaikka betonitoimittaja huolehtii betonin laadunvarmistuksesta, on myös työmaalla tehtävä koekappaleita betonista laadun varmistamiseksi. Työmaalla on oltava henkilö, joka huolehtii koekappalemuoteista, koekappaleiden tekemisestä, sekä näiden asianmukaisesta säilytyksestä. (Uusitalo ym. 2012, 53.)

5.2 Maakostean betonin sisältö

Maakostea betoni koostuu yleensä lähinnä kiviaineksesta, sementistä ja vedestä. Filleriä saatetaan käyttää pienentämään betonin tyhjätillaa. Normaaliin juoksevaan betoniin käytettäviä lisäaineita, kuten notkistimia, kiihdyttimiä, hidastimia ja huokostimia ei maakosteassa betonissa juurikaan käytetä.

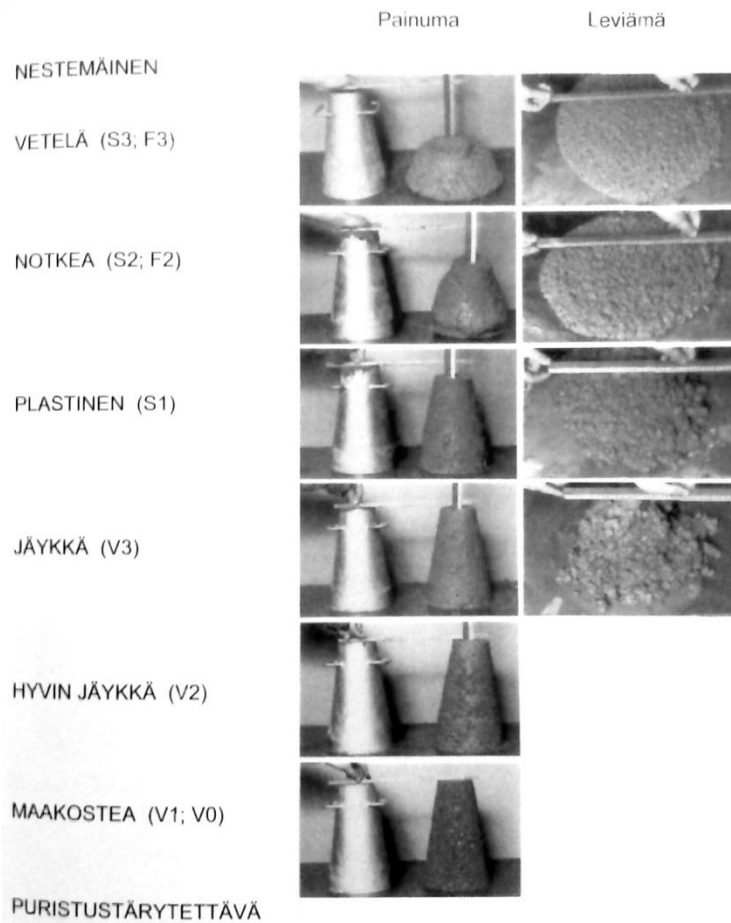
Betoni voidaan määritellä maakosteaksi painumakokeella tai VB-kokeella. Betonitehtaat mittaavat betonin notkeutta myös sekoittimen pyörintävastustuksella. Painumakoe tehdään kuvan 9 mukaisesti kartiolla, joka on asetettu kovalle vettä imemättömälle alustalle. Kartio täytetään kolmena kerroksena ja jokainen kerros tiivistetään sullomalla sitä 20 mm:n paksuisella pyöreäpäisellä terässauvalla, niin ettei sauva uppoa alempaan kerrokseen. Kun viimeinen kerros on tiivistetty, tasataan muotti sen yläreunaan asti ja nostetaan se varovasti pois. Taulukosta 3 ja kuvasta 10 nähdään betonimassan notkeusluokitukset. (Uusitalo ym. 2012, 29.)



Kuva 9. Painuman mittaus (SFS-EN 12350-2).

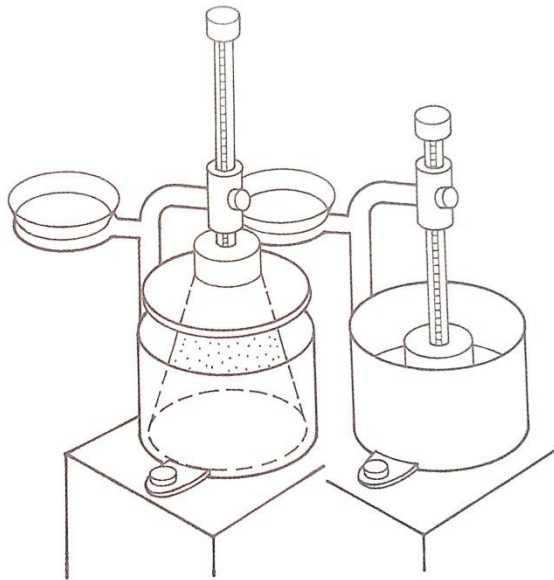
Taulukko 3. Betonimassan notkeusluokitus (Uusitalo ym. 2012, 29).

Notkeusluokka	Notkeuden likimääräiset raja-arvot	
	Betonikartion painuma mm	VB-koje Betonikartion muodonmuutosaika s VB
Nestemäinen	>150	—
Vetelä	150—100	1—2
Notkea	100—60	2—3
Plastinen	60—30	3—5
Jäykkä	30—0	5—10
Hyvin jäykkä	—	10—20
Maakostea	—	20—40
Puristustäryttävä	—	>40



Kuva 10. Betonimassan notkeusluokat (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 71).

VB-koee eli muodonmuutosaikakoe tehdään tärypöydällä, johon on kiinnitetty kuvan 11 mukaisesti lieriön muotoinen teräsastia, sekä tangon varassa ylös ja alas liikkuva läpinäkyvä muovilevy joka sopii tarkasti teräsastiaan. Muita tarvittavia välineitä ovat painumakokeen kartiomuotti, sulloinsauva ja sekunttikello. Kartio täytetään lieriön sisällä samalla tavalla kuin painumakokeessa, jonka jälkeen kartio poistetaan ja muovilevy asetetaan betonista tehdyn kartion päälle ja tangon asteikolta katsotaan painuma-arvo. Tämän jälkeen tärytys ja sekunttikello käynnistetään samanaikaisesti. Kun muovilevy koskettaa koko pinta-alaltaan betonimassaa tärytys lopetetaan ja aika otetaan ylös. Kulunut aika kertoo massan notkeuden sVB-yksikköinä. (Uusitalo ym. 2012, 29.)



Kuva 11. VB-koe laitteisto (Uusitalo ym. 2012, 29).

5.2.1 Kiviaines

Maakostean betonin kiviaines on yleensä suoraan luonnosta otettua soraa. Betonivalmistajat käyttävät betonissa soran lisäksi filleriä eli hienoainesta, jolla rakeisuuskäyrää saadaan tehtyä betonin ominaisuuksille paremmaksi. Kiviaineksena voidaan käyttää myös muita tuotteita kuten kivituhkaa. Käytettävä kiviaines riippuu betonin käyttökohteesta ja vaadittavasta lujuudesta, sekä kiviainesten sen hetkisestä saatavuudesta ja kustannuksista. Kiviaineksen ominaisuuksista mm. rakeisuus, raemuoto, puhtaus, tiheys ja lujuus vaikuttaa betonin lujuuteen.

Kiviainekset nimetään raekoon mukaisesti käyttämällä merkintää d/D , josta d on raekoon alanimellisraja ja D ylänimellisraja. Kiviainekset jaetaan hienoihin, karkeisiin, koostekiviaineksiin sekä luonnonlajittelemiin kiviainekseen 0/8. Kiviaineslajien nimellisrajat ovat:

Hieno	$D=4$ mm,	$d=0$ mm
Karkea	$D/d=2$ tai $D=11,2$ mm tai $D/d>2$ ja $D>11,2$ mm	
Koostekiviaines	$D=45$ mm,	$d=0$ mm
Luonnonlajittelema 0/8	$D=8$ mm,	$d=0$ mm

(Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 33.)

Kiviaineksen rakeisuudella tarkoitetaan kiviaineksen sisältämien eri kokoisten rakeiden painosuhdetta. Rakeisuus määritetään yleensä kuivaseulonnalla. Kuivaseulonnassa punnitaan jokaisen erikokoisen läpäissyt kiviaines, joiden tuloksista voidaan piirtää rakeisuuskäyrä joko käsin tai yleisemmin tietokoneohjelmistoilla. Normaaliseulasarjan silmäkoot ovat 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5 ja 63 mm. Pesuseulonnalla voidaan lisäksi määrittää kiviaineksen hienoainespitoisuus, eli raekooltaan 0,063 mm:ä pienempi aines. Pesuseulonnan periaatteena on kiviaineksen peseminen vedellä 0,063 mm:n seulasarjan päällä, jolloin tästä pienempi aines huuhtoutuu pois veden mukana. Tä-

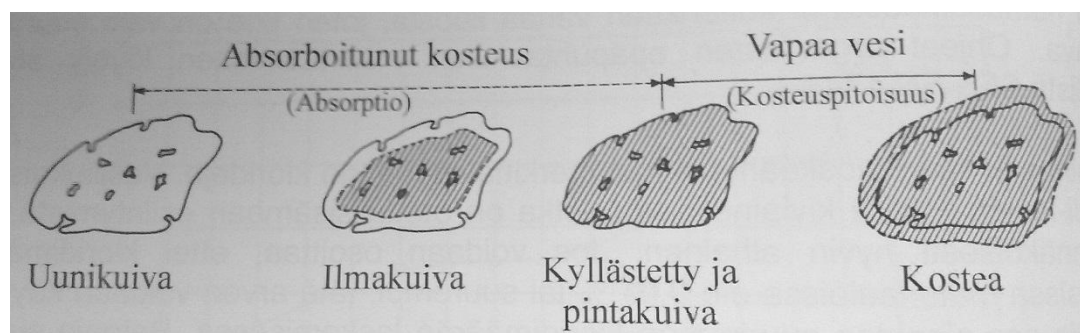
män jälkeen kiviaines kuivataan uunissa, jonka jälkeen se punnitaan. Hienoainepitoisuus voidaan näin laskea, kun paino ennen pesua on tiedossa. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 33.)

Raemuotona pyöreät ja sileät rakeet antavat betonin massalle parhaan työstettävyyden ja vaativat vähiten sementtiliimaa. Luonnosta otettua sora on yleensä suhteellisen pyöreää raemuodoltaan, mutta murskattu kiviaines on kuutiomaista tai jopa puikkomaista. Muotoarvon määrittäminen voidaan tehdä yli 8 mm:n kiviainesrakeille. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 36.)

Kiviaines ei saa sisältää humusta, eli kasvi- ja eläinkunnan lahoamisjätteitä, eikä merkittäviä määriä klorideja tai sulfaatteja. Kiviaines ei saa sisältää myöskään muita epäpuhtauksia kuten öljyä, roskaa tai savea, eikä se saa olla jäässä tai sisältää jäätä tai lunta. Kiviaineksessa tai vedessä oleva sokeri hidastaa tai jopa estää betonin kovettumisen. Hienojakoinen pii voi synnyttää sementin alkalien kanssa alkalipiireaktion, joka rapauttaa betonia. Suomalaisella kiviaineksella tämä ei ole ollut ongelma. Kiviaineksen tulee olla radioaktiivitonta. Tämäkään ei ole yleensä ongelma suomalaisella kiviaineksella. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 32 ja 37.)

Kiviainekset ovat usein taivasalla ja niiden kosteus vaihtelee usein. Kiviaineksen kosteuspitoisuus tulee mitata, jotta betonin todellinen vesimäärä voidaan määrittää. Kosteuspitoisuus määritetään standardin SFS-EN 1097-5 mukaisesti punnitsemalla näyte, kuivattamalla näyte uunissa +105 °C:ssa ja punnitsemalla se taas. Kiviaineksesta tulee määrittää myös absorptio eli vedenimu, vuoden 2004 betoninormien mukaan. Absorptio määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti. Kuvassa 12 näkyy kiviaineksen eri kosteusolomuodot. Absorboitunut vesi on kiviaineksen avoimiin pintahuokosiin imeytynyttä vettä. Kiviaineksen absorptio kasvaa mitä enemmän kiviaines on rapautunut. Rapautumaton kiviaines imee vettä noin 0,3 - 0,5 %:a ja hieman rapautunut kiviaines voi imeä yli 1 %:n vettä. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 37–38.)

Nykyisten vuonna 2005 voimaan astuneiden betoninormien mukaan betonin koostumusta määrittäessä vain kiviaineksen mukana tuleva vapaa vesi lasketaan betoniin lisätyksi vedeksi. Näin ollen puhutaan betonin tehollisesta vesimäärästä ja tehollisesta vesi-sementtisuhteesta. Jos kiviaineksen kokonaiskosteuspitoisuus on pienempi kuin kiviaineksen absorptio, vähennetään massa lisätystä vesimäärästä kiviainekseen vielä imeytyvän veden määrä tehollista vesimäärää laskettaessa. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 38.)



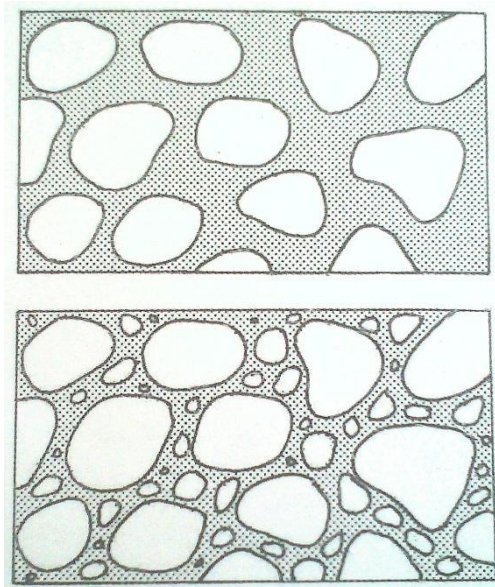
Kuva 12. Kiviaineksen kosteusolomuodot (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 38).

Kiviaineksen tiheys tulee olla tiedossa betonin suhteitukseen. Suomalainen graniittiperäinen kiviaines on kiintotiheydeltään keskimäärin $2\,680\text{ Kg/m}^3$. Suhteituksessa kiviaineksen tiheytenä käytetään vedellä kyllästetyn ja pintakuivan kiviaineksen tiheyttä, joka on määritetty standardin SFS 1097-6 mukaisesti. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 38.) Kiintotiheys voi vaihdella kivilajityypin mukaan yli 100 kg/m^3 :lle, joka voi aiheuttaa betonin suhteitukseen useamman prosentin tilavuusvirheen. Samasta paikasta otetun kiviaineksen tiheys ei poikkea yleensä oleellisesti. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 22.)

Kiviaineksesta voidaan vielä tutkia mm. sen kulutuskestävyys ja pakkasenkestävyys. Yleensä näitä tutkitaan vain vaativiin kohteisiin kuten tiebetonointiin. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 39.)

5.2.2 Filleri

Betoniin lisättävää hienoainesta kutsutaan filleriksi. Filleri on raekooltaan enimmäkseen alle $0,063\text{ mm}$. Sitä lisätään betoniin parantamaan tiiveyttä ja vähentämään näin ollen betonin tyhjätilaa. Kuvasta 13 nähdään kuinka betonin tyhjätila pienenee, kun pienemmät rakeet täyttävät isompien rakeiden välejä. Kun rakeisuus on suunniteltu niin, että rakeista syntyy tiivis ja hyvin koossa pysyvä pakkaus, valmiin betonin ilmapitoisuus laskee ja sementtiliimaa ei tarvita niin paljon täyttämään tyhjätilaa. Rakeisuudelle on esitetty useita ohjearvoja, mutta ne ovat vain ohjearvoja ja lopulliseen betonin työstettävyyteen, koossapysyvyyteen, lujuuteen, tiiveyteen ja taloudellisuuteen vaikuttaa voimakkaasti myös kiviainesten raemuoto ja puhtaus. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 34–35.)



Kuva 13. Rakeisuuden vaikutus betonin tyhjätilaan (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 19).

Hienoaineksen laadulla on myös merkitystä ja yleensä jos hienoaines sisältää paljon suuren ominaispinta-alan omaavia aineksia, kuten savea tai hienojakoista kiillettä, sillä on negatiivinen vaikutus lujuuteen. Jos taas hienoaines sisältää hienojakoista ja kovaa kiviainesta, sillä voi olla positiivinen vaikutus lujuuteen. Hienoaineksen laadun arvioimiseen soveltuvia kokeita ovat esimerkiksi standardin SFS-EN 933-8 mukainen hiekkaekvivalenttitesti, jossa tutkitaan kiviaineksen lietteen kokoonpuristu-

vuutta, sekä standardin SFS-EN 13179-2 mukainen bitumilukutesti. Muita hienoaineksen laadun arvioimiseen soveltuvia kokeita ovat ominaispinta-alan määrittäminen typpiadsorptiolla, laserdiffraktio ja röntgensedimentaation perustuvat raekokoanalyysit, Andreasenin pipetti ja hydrometri menetelmät, mikroskooppitutkimukset sekä röntgendiffraktioanalyysi. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2007, 22.)

5.2.3 Sementti

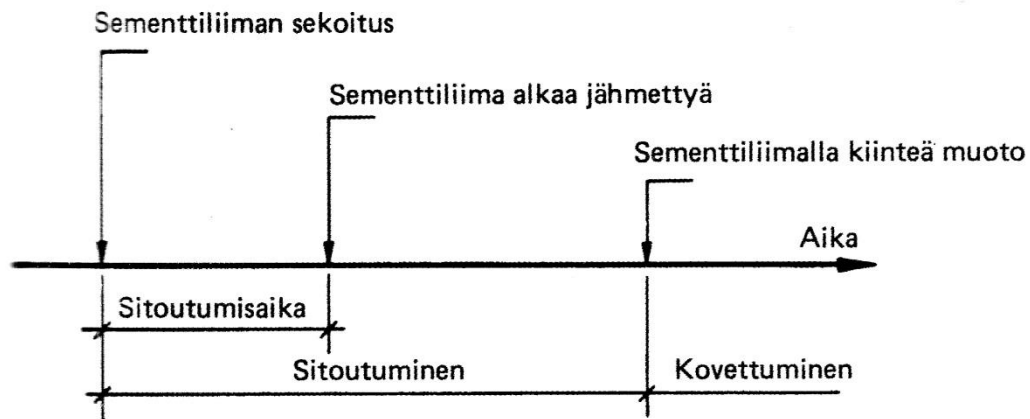
Betoniin käytettävien sementtien tulee täyttää sementtistandardin SFS-EN 197-1 vaatimukset ja sen tulee olla CE-merkittyä. Sementit lajitellaan viiteen päälajiin niiden koostumuksen perusteella: (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 42.)

CEM I	Portlandsementti
CEM II	Portlandseossementti
CEM III	Masuunikuonasementti
CEM IV	Pozzolaaniseimentti
CEM V	Seossementti

Nämä lajit lajitellaan vielä eri sementtilajeihin riippuen käytetystä seosaineesta ja seosainemäärästä. Sementtistandardiin kuuluu 27 erilaista sementtilajia. Sementin seosaineita ovat masuunikuona (S), kalkkikivi (L tai LL), silika (D), pozzolaanit (P tai Q), lentotuhka (V tai W) ja poltettu luiske (T). Merkinnot A, B ja C riippuvat seosainemäärästä. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 42–43.)

Sementtiin merkitään vähintään sementtilajin tunnus, lujuusluokkaa kuvaava luku ja varhaislujuutta kuvaava kirjain. Lujuusluokkia on kolme, joissa lujuudella tarkoitetaan sementin saavuttamaa puristuslujuutta 28 vuorokauden ikäisenä. Lujuusluokat ovat 32,5; 42,5 ja 52,5. Lujuusluokan perään merkitään vielä varhaislujuusluokitus, joita ovat N ja R. N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta ja R korkeaa varhaislujuutta. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 43.)

Maakostean betonin laitetaan sementtiä yleensä vähintään 250 kg/m³:lle. Suuremmalla sementtimäärällä voidaan saavuttaa suurempia lujuuksia kovettuneella betonilla. Sementtinä voidaan käyttää yleissementtiä (CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N) tai rapidsementtiä (CEM II/A-LL 42,5 R). Rapidsementillä saavutetaan nopeampi kovettumisaika, josta on apua mm. talvibetonoinnissa ja muissa kohteissa, joissa vaaditaan nopeaa kovettumista. Kuva 14 kuvaa sementin sitoutumisen ja kovettumisen vaiheita.



Kuva 14. Sementin sitoutuminen ja kovettuminen (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 53).

Sementti tulee aina säilyttää kosteudelta suojattuna ilmatiiviissä tilassa, koska sementti imee ilmasta kosteutta ja hiilidioksidia. Tämä aiheuttaa sementin paakkuuntumista ja sitoutumishäiriöitä. Puolta vuotta vanhempaa säkitettyä sementtiä ei suositella ostettavaksi. Finnsementti Oy:n säkittämässä sementtisäkeissä on aina ilmoitettu pakkauspäivämäärä. Ilmatiiviissä suljetussa tilassa sementin säilyvyys on lähes rajaton. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 58.)

Sementtiä käsiteltäessä tulee käyttää riittäviä suojavälineitä. Valmistettaessa betonia sementin kulku silmiin ja hengityselimiin tulee estää silmä- ja hengityssuojaimin. Jos sementtiä joutuu kuitenkin silmiin, on silmää huudeltava runsaalla vedellä. Koska sementti on emäksistä ja voi ärsyttää ihoa, tulee massaa käsiteltäessä oltava vähintään suojakäsineet.

5.2.4 Vesi

Betonin valmistukseen soveltuu yleensä aina juomakelpoinen vesi, joka voidaan ottaa vesijohtoverkostosta tai luonnosta. Humuspitoiset suovedet ja teollisuuden tai asumajätteiden saastuttamat vedet eivät kelpaa betonin valmistukseen ilman tarkempia tutkimuksia. Suovedet ovat happamia ja sisältävät usein mm. sulfideja, sulfaatteja ja humusta. Betonin kovettuminen saattaa estyä kokonaan suovettä käytettäessä. Vedessä ei myöskään saa olla paljon sokeria, eikä klorideja. Jo 0,1 prosentin osuus sokeria vedessä voi estää betonin kovettumisen. Veden kloridipitoisuuden tulee olla yleensä enintään 0,03 painoprosenttia. Myös öljyt ja rasvat voivat heikentää sementin hydratoitumista. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 62–63.)

Yleisesti ottaen jos vesi ei haise tai maistu pahalta, sekä näyttää puhtaalta, sitä voidaan käyttää betonin valmistukseen. Vesi ei myöskään saa vaahdota, eikä sisältää paljon leviä ja muita pieneliöitä. Veden kelpoisuuden arvioinnin voi tehdä sitoutumiskokeella tai tarkemmalla veden kemiallisella analyysillä. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 63.)

Maakosteaan betoniin tulee laittaa mahdollisimman vähän vettä, jotta sen rakenne pysyy irtonaisena. Sementti vaatii hydratoitumiseen noin 25 % vettä omasta painostaan ja tämän lisäksi vettä sitoutuu fysikaalisesti geelihuokosiin noin 15 % sementin painosta. Näin ollen vettä voidaan sanoa

vaadittavaan noin 40 % sementin painosta. Veden määrää betonissa kuvaillaan vesi-sementtisuhteella. (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 53.)

Vesi-sementtisuhte w on

$$w = \frac{v}{s}$$

missä v on vesimäärä (kg/m^3)

ja s on sementtimäärä (kg/m^3)

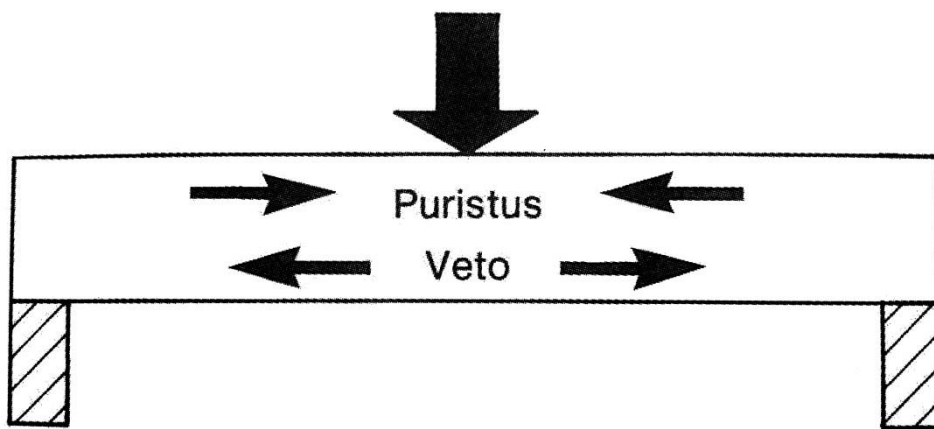
Maakostean betonin vesi-sementtisuhteena käytetään yleisesti noin 0,4:ää. Tästä paljon suurempi vesi-sementtisuhte tekisi massasta nestemäisempää ja paljon pienempi suhde taas estäisi sementin hydratoitumista.

5.2.5 Raudoitus

Yleensä maakostea betonia ei raudoiteta, jolloin se ei kestä suuria vetorasituksia. Raudoituksella voi parantaa mm. betonin lohkeamiskestävyyttä, kun raudoitus ottaa vastaan pistekuorman aiheuttavat vetorasitukset. Raudoituksen puuttuminen entisestään edellyttää pohjatöiden tekoa hyvin maakostean betonikerroksen alla. Pohjarakenne tulee tehdä tiiviksi ja routimattomaksi.

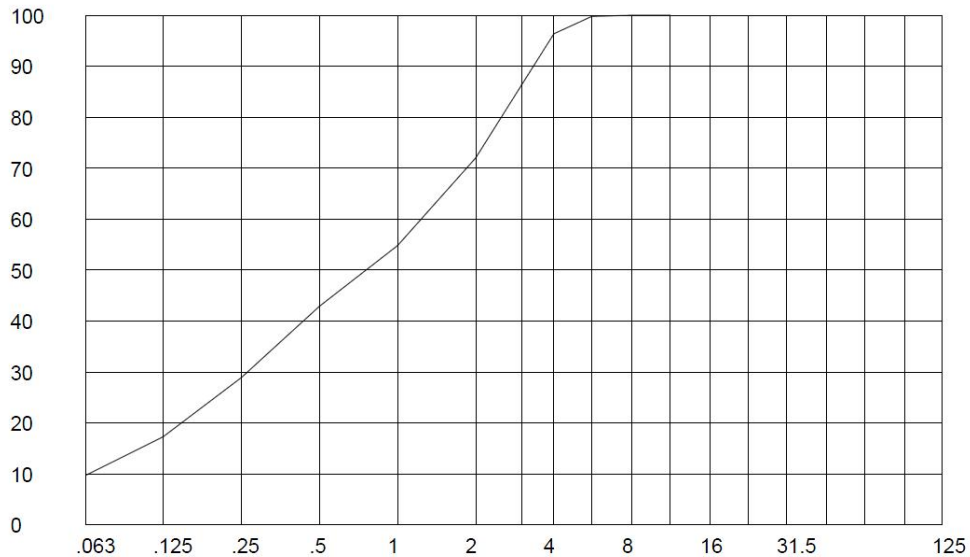
6 TAIVUTUSLUJUUSKOKEET MAAKOSTEASTA BETONISTA

Opinnäytetyöhön kuuluivat myös laboratoriokokeet, jotka suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun betonilaboratoriossa. Varsinaisia testejä tehtiin mm. erilaisilla suhteituksilla, raaka-aineilla, sekä työ-tavoilla. Jokaista testiä tehtiin neljä kappaletta riittävän hajonnan ja varmuuden saamiseksi tuloksiin. Työssä tehtiin taivutuslujuuden mittauksia, koska maakosteaa betonia ei yleensä raudoiteta ja se joutuu itse ottamaan esim. liikenteen aiheuttamat vetorasitukset vastaan. Maakostealle betonille ei yleensä myöskään anneta suuria puristuslujuus vaatimuksia, joten puristuslujuuden muutoksia ei erikseen mitattu. Kuvassa 15 näkyy pistekuorman aiheuttamat puristus- ja vetokuormat betonille. Testit tehtiin standardin SFS-EN 12390-5 mukaisina taivutuslujuuskokeina.

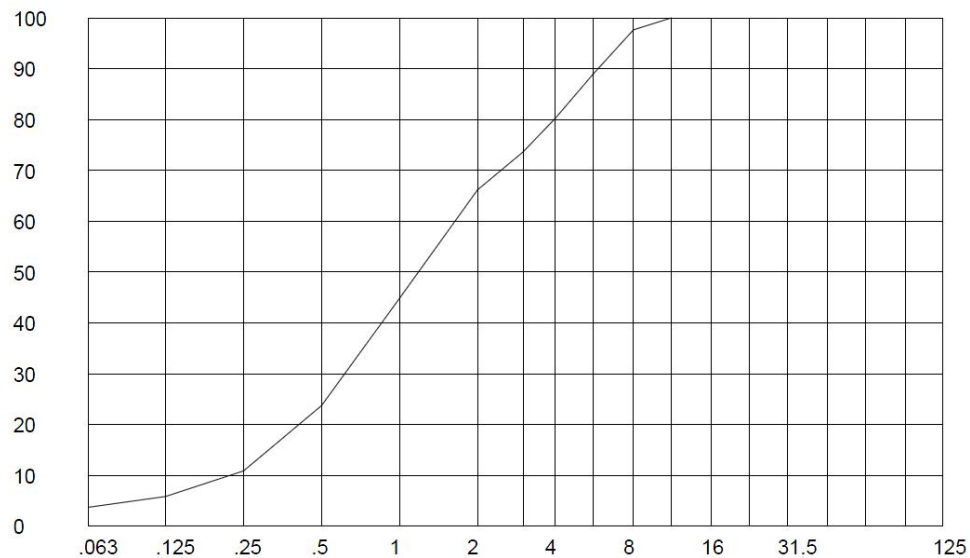


Kuva 15. Pistekuorman aiheuttamat puristus- ja vetokuormat (Uusitalo ym. 2012, 33).

Perus kiviaineksena käytettiin luonnonsoraa, jonka rakeisuuskäyrä on kuvassa 16. Kivituhkan rakeisuuskäyrä on esitetty kuvassa 15. Rakeisuudet tutkittiin Savonia-ammattikorkeakoulun PANK-hyväksytyssä laboratoriossa standardin SFS-EN 933-1 mukaisella kuivaseulontamenetelmällä. Lisäksi hienoaineksen määrä tutkittiin erikseen pesuseulonnalla.



Kuvio 1. Kivituhan rakeisuuskäyrä. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013



Kuvio 2. Soran rakeisuuskäyrä. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

Sementtinä käytettiin rapidsementtiä (CEM II A 42,5 R) ja sen kiintotiheys on noin 3 100 kg/m³.

Ilman määräksi oletettiin jokaisessa suhteituksessa 2 %. Betonin todellinen ilmamäärä vaihtelee suhteituksen ja tiivistyksen mukaan.

Laboratoriotilan lämpötila oli keskimäärin +21 °C ja ilman suhteellinen kosteus oli 20 %. Koekappaleet tulee säilyttää +20 ±2 °C:n lämpötilassa vedessä tai ilmassa, jonka suhteellinen kosteus on oltava vähintään 95 %. (Uusitalo ym. 2012, 36.) Tässä työssä koekappaleet säilytettiin vedessä väestösuojassa, jossa ilman lämpötila oli keskimäärin +20 °C ja veden lämpötila +18 °C.

Kiviainesten tiheys mitattiin standardia SFS-EN 1097-6 soveltaen mitaten kiviainekset vedessä, uuni-kuivana, sekä pintakuivattuna. Suhteituksessa käytettiin kiviaineksen kiintotiheyden arvoa pinta-

kuivattuna. Soran kiintotiheyden arvo pintakuivattuna oli $2\,670\text{ kg/m}^3$:lle ja kivituhkan $2\,690\text{ kg/m}^3$:lle. Absorption arvo soralla oli $0,3\%$ ja kivituhkalla $0,1\%$.

Betonin suhteituksen laskeminen tehtiin eri aineiden tiheyksien avulla laskemalla. Betonin perusyhtälö on:

$$V_b = \frac{Q_k}{\rho_k} + \frac{Q_s}{\rho_s} + \frac{Q_v}{\rho_v} + V_i \quad (1)$$

missä Q_k ja ρ_k ovat kiviaineksen määrä ja tiheys
 Q_s ja ρ_s ovat sementin määrä ja tiheys
 Q_v ja ρ_v ovat veden määrä ja tiheys
 V_i on ilman määrä, joka oletetaan yleensä olevan $20\text{ dm}^3/\text{m}^3$
 V_b valetun ja tiivistetyn betonin määrä ($1\,000\text{ dm}^3$)
 (Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011, 123.)

Tästä saadaan laskettua massaan tarvittava kiviaineksen määrää, kun sementin ja veden määrä, sekä kaikkien aineiden tiheys on tiedossa. Kiviaineksen osuus tilavuudesta saadaan laskettua näin:

$$Q_k = \left(1 - \frac{Q_s}{\rho_s} - \frac{Q_v}{\rho_v} - \frac{\text{ilmapitoisuus (\%)}}{100\%} \right) * Q_k \quad (2)$$

Veden osuus valmiista betonista lasketaan kertomalla vesi/sementti-suhde sementin määrällä. Esimerkiksi jos sementin määrä valmiissa betonissa on 250 kg/m^3 :lle, niin veden määrä on $0,4 * 250\text{ kg/m}^3$:lle, eli 100 kg/m^3 :lle. Maakostean betonin, jonka kiviaines on soraa ja johon laitetaan sementtiä 250 kg/m^3 :lle, suhteitus laskettiin näin:

$$Q_k = \left(1 - \frac{250\text{ kg/m}^3}{3\,100\text{ kg/m}^3} - \frac{100\text{ kg/m}^3}{1\,000\text{ kg/m}^3} - \frac{2\%}{100\%} \right) * 2\,670\text{ kg/m}^3 \quad (3)$$

$$Q_k = 2\,134,277\text{ kg/m}^3$$

Veden tiheytenä on laskelmissa käytetty $1\,000\text{ kg/m}^3$:lle. Tulokset suhteitukseen ovat siis:

Kiviaineksen määrä	$2\,134,277\text{ kg/m}^3$
Sementin määrä	250 kg/m^3
Veden määrä	100 kg/m^3
Ilmapitoisuus	2%

Kun tarvittavan valmiin betonin tilavuus on tiedossa, voidaan eri aineiden määrä laskea kertomalla tilavuus laskelmissa saaduilla arvoilla. Suhteitusten laskemisessa käytettiin apuna työtä varten tehtyä kuvan 16 mukaista excel-tilukkoa, jolla saatiin laskettua nopeasti eri kokeiden vaatimat ainesmäärät. Jokaiseen testiin massan määrä ylimitoitettiin hieman massan riittävyyden varmistamiseksi. Yksinkertaistamisen vuoksi filleriä ei lisätty lainkaan suhteituksiin. Kiviaineksa kuivatettiin laboratorioissa pitkään ennen käyttöä, joten kiviaineksesta mahdollisesti tulevaa vettä ei sisällytetty laskelmiin sen hyvin vähäisen määrän vuoksi.

<u>Ainesmäärät</u>				
Ilma	2	%	Vesi/sementti-suhde	0,4
Sementti	250	kg/m ³		
Vesi	100	kg/m ³	<u>Tilavuuspainot</u>	kg/m ³
Kiviaines	2134,277	kg/m ³	Kiviaines	2670
			Sementti	3100
			Vesi	1000
Testi 1			Yhteensä aineksia	kg
Testikappaleita	4,1		Kiviaines	43,75269
Kappaleen tilavuus	0,005		Sementti	5,125
Tilavuus yht.	0,0205		Vesi	2,05

Kuva 16. Suhteituksessa käytetty excel-tilukko. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Valmiit massat testattiin standardin SFS-EN 12350-2 mukaisella painumakokeella (kuva 17), jotta voitiin varmistaa massan olevan maakosteaa.



Kuva 17. Painumakoe. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013



Kuva 18. Valumuotti. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Kokeessa betoni valettiin kuvan 18 mukaiseen 100 mm * 100 mm * 500 mm kokoiseen muottiin. Koekappaleet tiivistettiin proctor-vasaran ja opinnäytetyötä varten valmistetun tiivistyslevyn avulla. Tiivistyslevy oli hieman muotin sisäosaa pienempi, jotta massa saatiin tiivistettyä hyvin. Aluksi muotit täytettiin reilusti reunusten yli, jonka jälkeen tiivistyslevyä lyötiin proctor-vasaran avulla muutamia kertoja (kuva 19). Massaa lisättiin muotteihin sitä mukaa kun valun pinta laski muotin reunojen alle. Yhteensä iskuja proctor-vasaralla tehtiin 25 kappaletta per muotti. Lopulta pinta vielä tasattiin tarvittaessa muotin reunojen mukaisesti (kuva 20). Tiivistyksen jälkeen muotit peitettiin muovilla kuvan 21 mukaisesti.



Kuva 19. Koekappaleiden tiivistystä. Kuva: Eemeli Lehmusoksa 2013



Kuva 20. Koekappaleet tiivistettynä ja tasattuna. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013



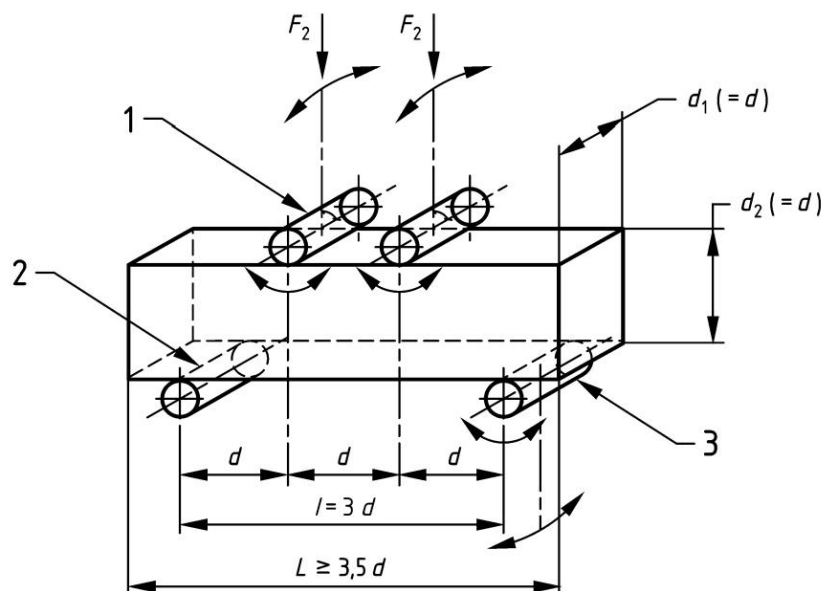
Kuva 21. Muotit peitettynä muovilla. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Muotit tulee purkaa aikaisintaan 16 tunnin ja viimeistään kolmen vuorokauden päästä valmistuksesta (Uusitalo ym. 2012, 36). Tässä työssä jokainen muotti purettiin noin vuorokauden ikäisenä, jonka

jälkeen koekappaleet upotettiin veteen (kuva 22). Valupäivästä laskettuna seitsemän vuorokauden päästä kappaleet testattiin kuormituslaitteella.



Kuva 22. Koekappaleet vedessä. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013



Kuva 23. Koekappaleiden kuormitusjärjestelyt (SFS-EN 12390-5).

Kuormituskokeet tehtiin standardin EN 12390-4 vaatimukset täyttävällä Fiskarsin kuormituslaitteella. Kuormituslaitteessa on kuvan 22 mukaisesti alapuolella kaksi kuormitustukea (2 ja 3), joista toinen voi kiertyä ja kallistua, sekä yläpuolella kaksi kuormituksenjakajaa (1), jotka voivat molemmat kiertyä ja kallistua. Vaadittava kuormitusnopeus R lasketaan kaavalla:

$$R = \frac{s * d_1 * d_2}{l} \quad (4)$$

missä s on jännityksen kasvunopeus (Mpa/s)
 d_1 ja d_2 ovat koekappaleen sivujen mitat (mm)
 l on kuormitustukien välimatka (mm)
 (SFS-EN 12390-5)

Jännityksen kasvunopeuden tulee olla välillä 0,04-0,06 MPa/s (SFS-EN 12390-5), josta valittiin kasvunopeudeksi 0,05 MPa/s. Koekappaleiden sivujen mitat on 100 mm ja kuormitustukien välimatka on 300 mm. Tästä saatiin laskettua:

$$R = \frac{0,05 \frac{MPa}{s} * 100 \text{ mm} * 100 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} \quad (5)$$

$$R = 1,667 \frac{MPa}{s}$$

Kuormitusnopeus testeissä on siis 1,667 MPa/s. Arvo asetettiin testauslaitetta ohjaavaan tietokoneeseen, joka pyrkii pitämään kuormitusnopeutta tasaisena.

Palkin taivutuslujuus saadaan laskettua kuormituslaitteesta saadun suurimman kuormitusvoiman avulla, jolloin palkki hajoaa, kaavalla:

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2} \quad (6)$$

missä f_{cf} on taivutuslujuus (Mpa)
 F on suurin kuorma (N)
 l on kuormitustukien välimatka (mm)
 d_1 ja d_2 ovat palkin sivujen mitat (mm)
 (SFS-EN 12390-5)

Jokaisen testin taivutuslujuudet saadaan nopeasti laskettua taulukkolaskentaohjelmalla, kun kaavaan sijoitetaan tunnetut arvot:

$$f_{cf} = \frac{F * 300 \text{ mm}}{100 \text{ mm} * (100 \text{ mm})^2} \quad (7)$$

$$f_{cf} = F * 0,0003 \frac{1}{\text{mm}^2}$$

Kun jokaista testiä oltiin tehty neljä kertaa, tulosten keskiarvo laskettiin ja tätä arvoa käytettiin lopullisissa tuloksissa.

6.1 Koevedokset

Ennen varsinaisia testejä tehtiin koevedokset, jossa kokeiltiin vesi/sementti-suhteen vaikutusta massan muotoon, sekä testattiin käytännön koejärjestelyt. Koevedosten betoni suhteutettiin noin 200 kg/m^3 sementtiä sisältäväksi. Soran ja sementin sekoitukseen lisättiin asteittain vettä ja sekoitettiin betonimyllyssä. Massan koostumusta kokeiltiin välillä ja veden lisäys lopetettiin kun vesi/sementti-suhteeksi tuli 1,0. Vaikka veden määrä oli poikkeuksellisen suuri maakosteaan betoniin, pystyi massasta tekemään vielä koossa pysyvän pallon. Veden suuri määrä johtunee mm. sementin vähäisestä määrästä suhteessa kiviaineksen määrään, sekä pitkästä työstöajasta. Lopuksi laskettiin massan lopullinen suhteitus.

Kun palkit olivat kovettuneet seitsemän vuorokautta, ne testattiin testauslaitteella. Kappaleet mitattiin tarkasti tukien väliin ja tukien päällä käytettiin vielä kumipaloja tasaamaan kuormitusta koko tuen pituudelle (kuva 24).



Kuva 24. Ensimmäinen koevedos valmiina kuormitukseen. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Palkkeja kuormitettaessa törmättiin ongelmaan kuormituslaitteen kanssa. Laite ei toiminut kunnolla, kun sitä käytettiin ns. voimaohjauksella, eli laitettiin lisäämään voimaa tasaisesti suunnitelmien mukaisesti. Ongelma ratkaistiin asettamalla laite pitämään sopivaa tasaista vauhtia, jolloin itse voima ei lisääntynyt tasaisesti. Kuormituksen aikana tarkkailtiin laitteen ilmoittamaa voimaa ja sen lisäystä ja voiman lisäyksen todettiin pysyvän keskimäärin tyydyttävästi suunnitellussa $1,667 \text{ MPa/s}$:ssa.

Seuraavat testikappaleet tehtiin suhteittamalla sementtiä massaan 400 kg/m^3 . Vesi/sementti-suhteena käytettiin 0,7:ää, joka osoittautui liian suureksi, jonka seurauksena massasta tuli vetelää. Kappaleiden lujuudeksi tuli huomattavasti kaikkia muita testejä suuremmat arvot. Kuvista 25 ja 26 nähdään, että betonista ei tullut maakosteaa ja sen rakenne näyttää enemmän normaalilta betonilta.



Kuva 25. Koekappale; sementtiä 400 kg/m^3 ; $v/s=0,7$. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013



Kuva 26. Koekappale; sementtiä 400 kg/m^3 ; $v/s=0,7$. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

6.2 Testit sorasta

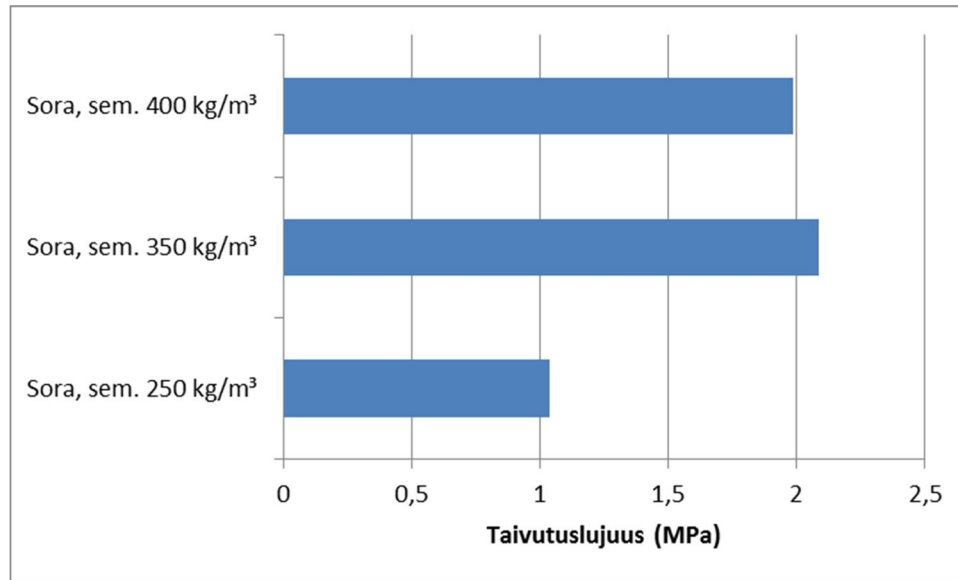
6.2.1 Sementtimäärän vaikutus lujuuteen

Sementin vaikutusta valmiin betonin lujuuteen testattiin kolmella eri sementtimäärällä. Suhteitukset tehtiin laittamalla sementtiä 250 kg/m^3 :lle, 350 kg/m^3 :lle ja 400 kg/m^3 :lle. Kiviaineksena käytettiin soraa ja vesi/sementti-suhteeksi määrättiin 0,4. Jokaisen massan notkeus testattiin vielä painumakokeella, jolla kaikki massat todettiin maakosteiksi.

Kun sementtimäärä pysyi enintään 350 kg/m^3 :ssa, massa oli todella helppoa työstää ja sekoittaa. Massasta sai puristeltua koossa pysyvän pallon, mutta se ei kuitenkaan tarrautunut kiinni mihinkään. Kun sementtimäärä nousi 400 kg/m^3 :lle, massan työstettävyyys heikkeni. Sementti ei sekoittunut

enää niin hyvin soran ja veden kanssa kuin muilla suhteituksilla, sekä massasta tuli tahmeaa ja sen sementtipaakkuja tarttui mm. painumakokeen kartioon ja tiivistyksessä käytettyyn levyyn.

Tuloksista (kuvio 3) huomattiin, että sementtimäärän nostaminen 250 kg/m^3 :sta 350 kg/m^3 :lle kaksinkertaisti taivutuslujuuden arvon. Sementtimäärän vielä tästä korkeammaksi nostaminen ei enää auttanut, johtuen todennäköisesti massan huonommasta sekottuvuudesta.

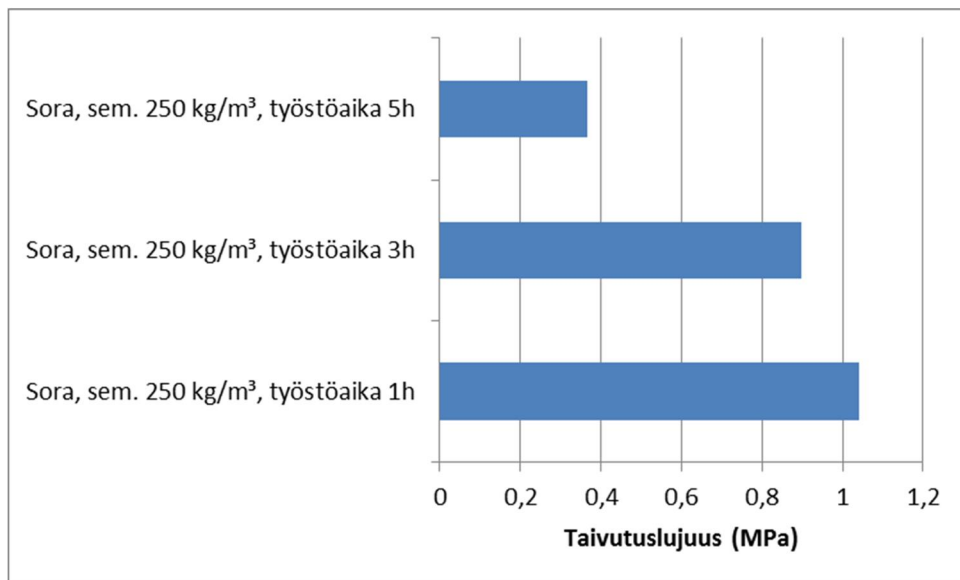


Kuvio 3. Sementtimäärän vaikutus taivutuslujuuteen. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

6.2.2 Työstöajan vaikutus lujuteen

Useissa oppaissa kerrotaan, että maakostea betoni tulee levittää ja tiivistää noin kahden tunnin sisällä sen teosta. Kokeilimme kuinka työstöajan nostaminen jopa viiteen tuntiin vaikuttaa kovettuneen betonin lujuteen. Työstöajalla tarkoitetaan tässä sitä aikaa, joka kuluu siitä hetkestä lähtien kun kiviaines, sementti ja vesi on sekoitettu keskenään. Sekoitettu massa jätettiin laboratorioon ilman suojaamista ja massan levitys ja tiivistys aloitettiin, kun tavoiteaika oli kulunut. Kokeiden suhteituksessa käytettiin sementtiä 250 kg/m^3 :lle ja vesi/sementti-suhteena 0,4:ää. Kiviaineksena oli sora.

Työstöaikoina kokeiltiin kolmea ja viittä tuntia. Lisäksi vertailtiin aiemmin tehtyä koetta samalla suhteituksella, jossa työstöaika oli noin tuntia. Tuloksista (kuvio 4) huomattiin, että vielä kolmen tunnin työstöaika ei vaikuttanut betonin lujuteen merkittävästi, mutta työstöajan venytys viiteen tuntiin teki betonista heikkoa. Kolme tuntia seissyt betoni oli vielä suhteellisen normaalia työstää ja sen rakenne oli irtonaista. Viisi tuntia seissyt betoni oli rakenteeltaan paukkuista, koska sementti oli aloittanut jo sitoutumisensa. Muotteja purettaessa viiden tunnin työstöajalla tehdyt koekappaleet murenevivat reunoistaan hieman ja niitä käsiteltäessä piti käyttää erityistä varovaisuutta.

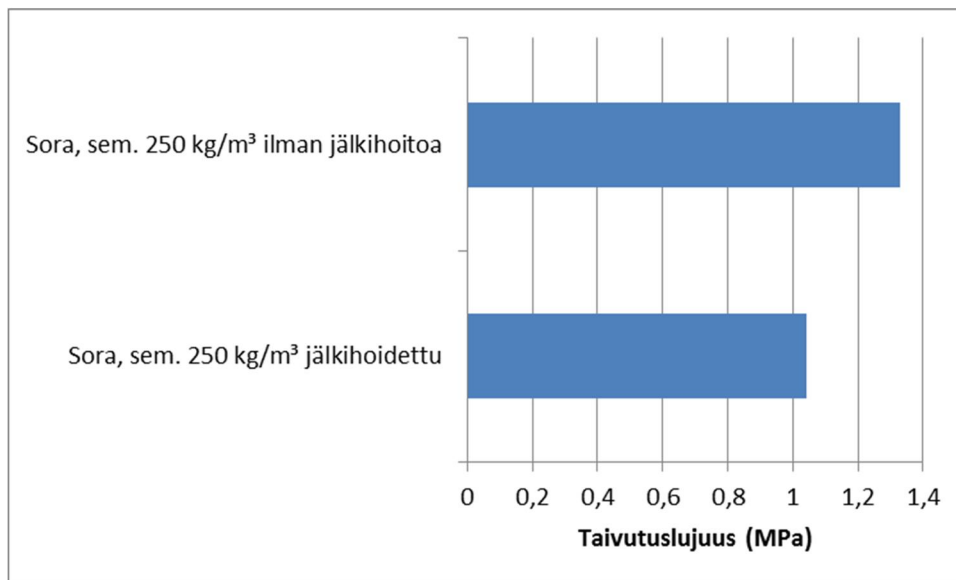


Kuvio 4. Työstöajan vaikutus taivutuslujuuteen. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

6.2.3 Jälkihoidon vaikutus lujuuteen

Maakostea betoni suositellaan yleisesti jälkihoidettavaksi peittämällä tai kastelemalla vedellä. Laboratoriotestillä kokeiltiin kuinka jälkihoidon tekemättä jättäminen vaikuttaa betonin taivutuslujuuteen. Testissä betonikappaleet jätettiin kovettumaan pöydälle ilman peittämistä tai kastelua, kun muissa testeissä kappaleet olivat ensin peitettynä ja sen vuorokauden jälkeen veden alla. Betonin suhteituk-
sessa sementtiä laitettiin 250 kg/m³:lle.

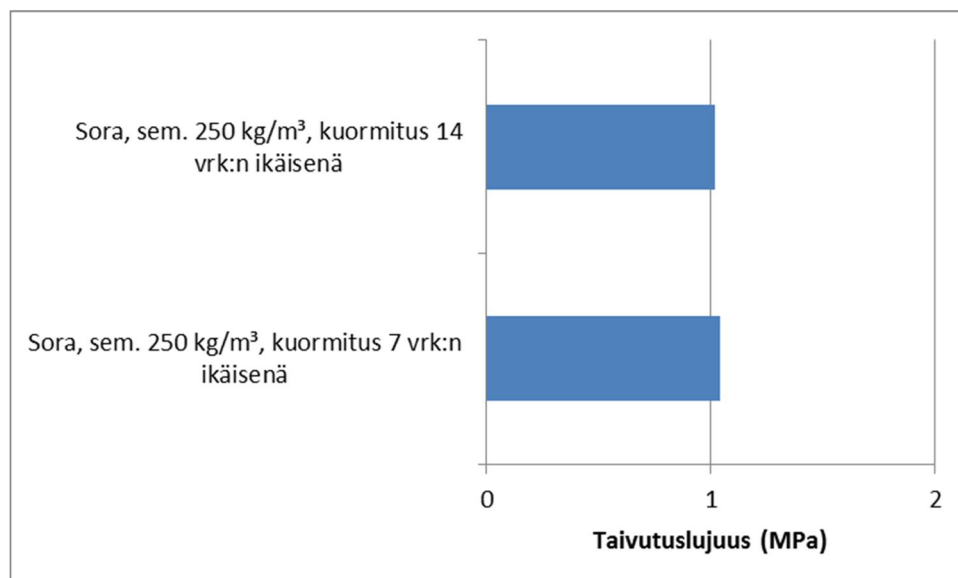
Kokeessa saadut tulokset (kuvio 5) yllättivät, koska kuivassa olleet betonikappaleet saavuttivat suuremman taivutuslujuuden kuin veden alla olleet. Tulokset eivät ole kuitenkaan sikäli vertailukelpoisia, koska kuivassa olleet kappaleet olivat noin +21 °C:n lämpötilassa ja veden lämpötila jossa toiset kappaleet olivat oli noin +18 °C. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että jälkihoidolla ei ole välttämättä kovinkaan suurta merkitystä betonin lujuuteen. Täytyy huomioida, että laboratorio-olosuhteissa ei kuitenkaan esim. aurinko ja tuuli pääse kuivattamaan betonia niin nopeasti kuin työmaalla. Jonkinlainen jälkihoito betonille kannattanee tehdä työmaalla, jotta voidaan olla varmoja betonin riittävästä kosteudesta.



Kuvio 5. Jälkihoidon vaikutus taivutuslujuuteen. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

6.2.4 Lujuuden kehittyminen

Koekappaleiden taivutuslujuutta testattiin viikon ja kahden viikon kuluttua valusta. Suhteituksena käytettiin muissakin testeissä usein käytettyä, jossa sementtiä laitettiin 250 kg/m³:lle ja vesi/sementti-suhteena käytettiin 0,4:ää. Tuloksista (kuvio 6) huomataan, että taivutuslujuus ei kasvanut enää viikon jälkeen lainkaan. Jos oltaisiin käytetty yleissementtiä rapidsementin sijaan lujuudenkehitys olisi todennäköisesti jatkunut vielä viikon jälkeen. Myös koekappaleiden säilytyspaikan alhaisempi lämpötila olisi todennäköisesti aiheuttanut hitaamman lujuudenkehityksen.



Kuvio 6. Lujuudenkehitys. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

6.2.5 Testit kivituhkasta

Kivituhka on kivimurskaamossa sivutuotteena syntyvää kiviainesta. Raekoko on melko pieni, yleensä noin 0/6 mm. Kivituhkaa käytetään sellaisenaan mm. pihateiden päällysteinä ja pihakiveysten asennuskerroksena.

Kivituhkasta tehtiin koekappaleet kahdella eri suhteituksella, joista toiseen laitettiin sementtiä 400 kg/m^3 :lle ja toiseen 300 kg/m^3 :lle. Vesi/sementti-suhteena käytettiin sama $0,4$:ää kuin soralla tehdyissä kokeissa. Ilmamääräksi suhteituslaskussa oletettiin 2% , jota käytettiin myös muissa testeissä. Todellisuudessa valmiin betonin ilmamäärän voi olettaa olevan suurempi, johtuen kivituhkan koostumuksesta. Molemmista massoista tehtiin painumakoe, joissa todettiin massan olevan maakoostea (kuva 27).



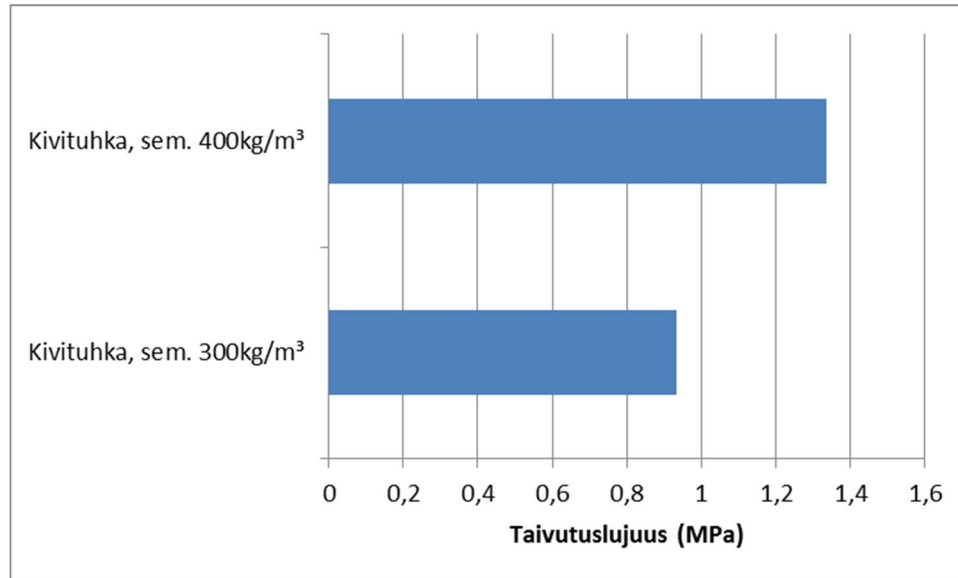
Kuva 27. Painumakoe kivituhkasta tehdyllä massalla. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Kivituhkasta tehty massa painui tiivistettäessä kasaan huomattavasti enemmän kuin sorasta tehty massa. Kunnollisen tiivistämisen merkitys korostuikin kivituhkasta tehdyssä massassa, kun massasta tehtiin yksi koekappale joka tiivistettiin vain käsin painamalla. Tämä koekappale mureni käsiin kun sen muotit purettiin (kuva 28).



Kuva 28. Kivituhkasta tehty palkki ilman tiivistystä. Kuva: Sakari Vepsäläinen 2013

Tuloksista (kuvio 7) huomataan, että kivituhkasta tehtyihin kappaleisiin tulee laittaa sementtiä huomattavasti enemmän kuin sorasta tehtyihin kappaleihin, jos pyritään saamaan yhtä korkea taivutuslujuus.

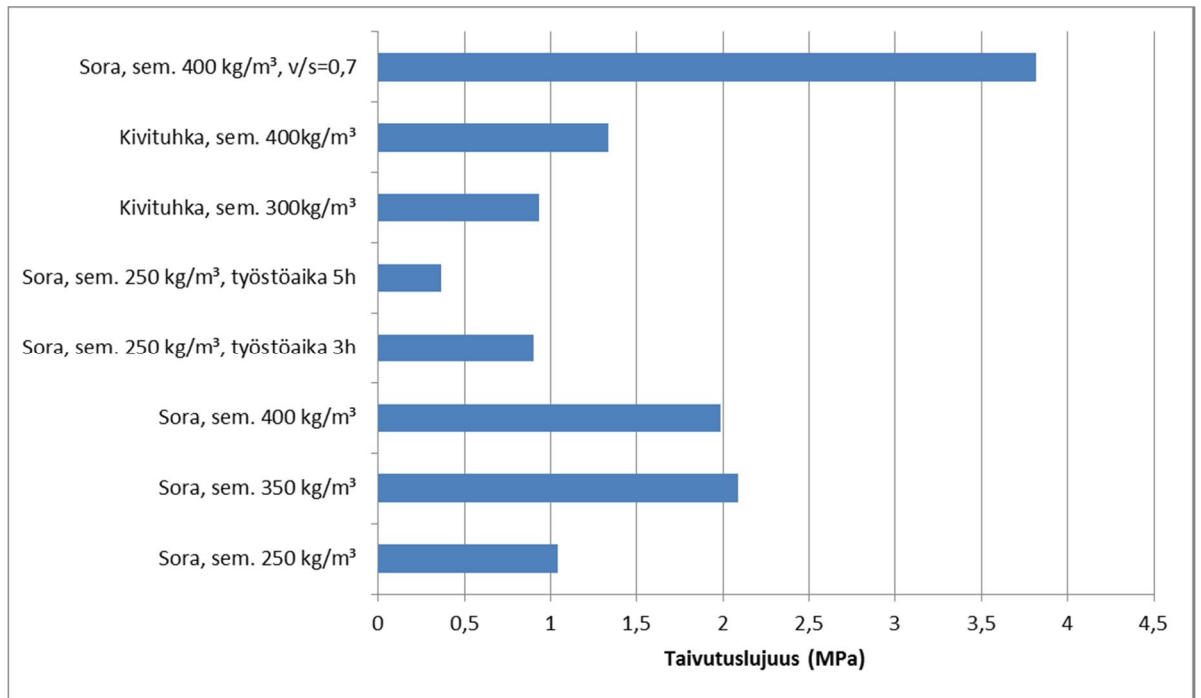


Kuvio 7. Kivituhkalla tehtyjen kappaleiden taivutuslujuus. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

6.3 Laboratoriokokeiden kaikki tulokset

Tuloksista huomataan, että sementtimäärän nostaminen parantaa betonin taivutuslujuutta huomattavasti, kunhan sementtimäärä ei nouse liian suureksi, niin ettei sen sekoittamisesta tule vaikeaa. Työstöajan nouseminen kohtuuttomaksi taas teki betonista huomattavan heikkoa. Tuloksista jätettiin jälkihoidon vaikutuksesta tehdyt testit pois vertailukelvottomuuden vuoksi.

Kuviossa 8 näkyvä parhaimman taivutuslujuuden saanut suhteitus ei ole maakostea betonia, vaan vetelää betonia, jonka vesi/sementti-suhde on 0,7. Tulos otettiin mukaan kuvaajaan vertailun vuoksi, jotta nähdään kuinka paremman taivutuslujuuden valettava nestemäinen betoni saavutti. Kaikkien muiden testien vesi/sementti-suhde oli 0,4.



Kuvio 8. Tulokset. Kuvio: Sakari Vepsäläinen 2013

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa maakosteasta betonista, josta olisi apua betonimassan käsittelyssä. Työssä saatiinkin laboratoriokokein varmistettua tietoa maakostean betonin lujuuteen vaikuttavista asioista. Mahdollisia tutkittavia asioita maakosteassa betonissa on paljon ja tästä syystä kokeet pyrittiin pitämään yksinkertaisina ja keskittymään oleellisiin asioihin. Kokeissa ei pyritty hakemaan täydellistä betonin suhteitusta vaan tutkimaan eri muuttujien vaikutusta betonin lopulliseen lujuuteen. Tuloksista saatiin tietoa jota voi hyödyntää betonia tehdessä, tilatessa, sekä käytettäessä työmaalla.

Laboratoriokokeissa huomattiin muun muassa, että kolmen tunnin aika betonin valmistuksen ja levityksen ja tiivistämisen välillä laski betonin taivutuslujuutta noin 15 % verrattuna tunnin työstöaikaan. Työstöajan noustessa viiteen tuntiin betonin taivutuslujuus laski jo noin 65 % verrattuna tunnin työstöaikaan. Kokeissa huomattiin myös, ettei jälkihoidolla ole välttämättä niin suurta merkitystä kuin kirjallisuudessa on kerrottu. Tulee ottaa kuitenkin huomioon, että laboratoriossa olosuhteet ovat erilaiset kuin oikealla työmaalla.

Sementin lisäys suhteituksessa lisäsi oletetusti betonin lujuutta. Sementtiä käytetään maakosteassa betonissa usein noin 250 kg/m^3 :lle. Sementtimäärää nostettaessa 350 kg/m^3 :lle valmiin betonin taivutuslujuus jopa kaksinkertaistui. Sementtimäärää vielä tästä nostettaessa lujuus ei enää parantunut, johtuen massan huonosta sekoituvuudesta. Tiivistyksen vaikutusta maakostean betonin lujuuteen ei varsinaisesti tutkittu. Pari koekappaletta tehtiin ilman kunnollista tiivistystä ja ne murenivat käsiin. Tiivistäminen onkin välttämätön työvaihe maakosteaa betonia levitettäessä. Ilman riittävää tiivistystä betoni ei saavuta läheskään samoja lujuuksia kuin asianmukaisesti tiivistettäessä.

Maakosteassa betonissa riittää vielä paljon tutkittavaa ja varsinkin teollisuuden sivu- ja jätetuotteiden käyttöä betonissa, kuten kivituhkan, on varmasti hyvä tutkia lisää kestävä kehityksen kannalta.

LÄHTEET

InfraRYL 2010 Osa 1 Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustieto Oy

MaaRYL 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy

MÖRÖNEN Lassi, PITKÄNEN Pertti ja SALPARANTA Liisa 2001. Ulkotilojen luonnonkivinen tasokiveys – Päällysteen suunnittelu- ja laatuohje. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Saatavissa: <http://finstone.fi/suunnittelu/pdf/suunnitteluohjed.pdf>

SFS-EN 12350-2 TUOREEN BETONIN TESTAUS. OSA 2: PAINUMA. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-5 KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 5: KOEKAPPALEIDEN TAIVUTUSLUJUUS. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2007. Betonin kiviainekset 2007. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2011. Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

UUSITALO Jukka, IHANAMÄKI Jouko, RAJALA Raimo ja VALLIN Olavi 2012. Betonityöt. Helsinki: Rakennustieto Oy

ÖHRNBERG Kari, SAIKKONEN Juha, HEINO Matti, MATTILA Petri ja PETROW Seppo 2006. Betonityöt ympäristörakentamisessa. Rakennusteollisuus RT ry