

Rami Lammi
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Reija Mäki
Kemiantekniikan koulutusohjelma

BETONISTEN RATAPÖLKKYJEN UUSIOKÄYTTÖ

2014

Esipuhe

Haluamme kiittää Liikennevirastoa tästä projektista ja mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyömme projektin pohjalta.

Projektissa mekaanisten ominaisuuksien tutkimuksesta vastasi Rami Lammi Satakunnan ammattikorkeakoulusta rakennustekniikan koulutusohjelmasta. Ratapölkkyjen kemiallisia ominaisuuksia tutki Reija Mäki Satakunnan ammattikorkeakoulusta kemiantekniikan koulutusohjelmasta.

Kiitämme yliopettaja Sirpa Sandelinia projektin vastuullisena päällikkönä toimimisesta ja projekti-insinööri Mikko Tapiolaa rakennustekniikan koulutusohjelmasta sekä laboratorio-insinööri Sirkka-Liisa Koskista kemiantekniikan koulutusohjelmasta käytännön töiden avustuksesta. Kiitämme myös VR Track Oy:n geologia Reino Kesolaa ja muita projektissa auttaneita taustatiedoista ja asiantuntija-avusta.

Kiitos opinnäytetyön ohjaamisesta ja opastamisesta kemiantekniikan lehtori Timo Hannelius ja rakennustekniikan tuntiopettaja Mari Uusitorppa.

Porissa 25.8.2014

Reija Mäki

Rami Lammi

BETONISTEN RATAPÖLKKYJEN UUSIOKÄYTTÖ

Lammi, Rami

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Mäki, Reija

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Elokuu 2014

Ohjaajat: lehtori Hannelius Timo (kemiantekniikan koulutusohjelma)

tuntiopettaja Uusitorppa Mari (rakennustekniikan koulutusohjelma)

Sivumäärä: 83

Liitteitä: 5

Asiasanat: betonipölkky, betonimurske, betonin kierrätys

TIIVISTELMÄ

Tässä Liikenneviraston tilaamassa opinnäytetyössä tarkasteltiin käytöstä poistettujen betonisten ratapölkkyjen soveltuvuutta uusiokäyttöön murskeena pääasiassa ratapenkereisiin. Myös muita uusiokäyttömahdollisuuksia tutkittiin sekä betonimurskeelle että kokonaisille pölkyille. Työ toteutettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun kemian- ja rakennustekniikan yhteistyönä.

Työssä selvitettiin pölkkyjen uusiokäyttöön liittyvää lainsäädäntöä ja mahdollisia käyttökohteita kierrätetyille pölkyille pohjautuen kirjallisuustietoihin sekä asiantuntijoiden ja valmistajien antamiin lausuntoihin. Työhön tehtiin kirjallisuusselvitykset pölkkyjen uusiokäytöstä ulkomailla ja betonia rapauttavasta alkalikiviainesreaktiosta. Alkalikiviainesreaktiosta syvennyttiin sen yleisimpään ja haitallisimpaan muotoon: alkalipiidioksidireaktioon. Reaktio on vielä vähän tunnettu, mutta reaktio on mahdollinen myös Suomen betonirakenteissa. Reaktion taloudelliset vaikutukset voivat olla huomattavia.

Ratapölkkyistä tehtiin kemiallisia analyysejä ja mekaanisia testejä Satakunnan ammattikorkeakoulun laboratorioissa sekä ulkoistettuna Porilabin akkreditoidussa laboratorioissa. Työn tarkoituksena oli tutkia, täyttääkö murske tekniset ja lainmukaiset kriteerit käytettäessä eri kohteisiin.

Mekaanisissa testeissä todettiin, että kapillaariveden nousua ei tapahdu murskeessa raekoon ylittäessä 1-4 mm. Pakastus-sulatuskokeissa havaittiin, että 4-20 % betonimurskeesta hajoaa pienemmiksi kappaleiksi. Melumittauksissa todettiin, että betonipölkkyjen pulveroinnissa ei synny poikkeuksellisen suurta ääntä. Tulosten mukaan pulverointi voidaan suorittaa lainmukaisesti 90 metrin päässä asuinalueesta.

Kemialliset analyysit osoittivat, että MARA-asetuksen raja-arvot alittuivat selvästi kaikkien tutkittavien haittakomponenttien osalta. Murskeesta sadeveteen liuenneet metallipitoisuudet olivat erittäin alhaisia ja osittain jopa määrittystarkkuuden alapuolella. Kokeiden tulosten mukaan voidaan todeta, että betonisten ratapölkkyjen murske on kemiallisesti puhdasta, eikä sen uusiokäyttö aiheuta haitallisia päästöjä ympäristöön.

RECYCLING OPTIONS FOR USED CONCRETE SLEEPERS

Lammi, Rami

Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering

Mäki, Reija

Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Chemical Engineering

August 2014

Supervisors: Senior Lecturer Hannelius Timo (Chemical Engineering)

Lecturer Uusitorppa Mari (Construction Engineering)

Number of pages: 83

Appendices: 5

Keywords: concrete sleeper, crushed concrete, concrete recycling

ABSTRACT

In this thesis ordered by the Finnish Transport Agency the removed crushed concrete sleepers' feasibility for reuse principally in railway beds was investigated. Also other reuse possibilities were studied for both crushed and whole sleepers. Thesis was carried out in cooperation of Satakunta University of Applied Science's Chemical and Construction Engineering.

Legislation and reuse possibilities of recycled sleepers were studied based on literature and statements of experts and manufacturers. Literature surveys of sleepers' reuse abroad and concrete decaying Alkali-Aggregate Reaction were made. Alkali-Silica Reaction is the most deleterious and common type of Alkali-Aggregate Reaction, and it was studied more closely. The reaction is not well known, but it is possible in concrete structures in Finland as well. Financial effects of the reaction can be considerable.

Chemical analyses and mechanical tests of sleepers were conducted in Satakunta University of Applied Science's laboratories and in Porilab's accredited laboratory. This study's purpose was to examine, does the crush meet the technical and legal criteria when used in different applications.

In mechanical tests it was discovered that the capillary water does not rise anymore in crushed concrete after the grain size exceeds 1-4 mm. In the freeze-thaw tests it was found out that 4-20 % of the crush disintegrates to smaller pieces. In the noise measurements it was seen that the crushing of concrete sleepers does not produce exceptional noise. According to the results the crushing can be carried out lawfully 90 meters away from residential area.

Chemical analyses indicated that all of the investigated detrimental elements were clearly below the limit values of Government Decree concerning the recovery of certain wastes in earth construction. Metal concentrations dissolved in rainwater were extremely low, partly even below detection limit. According to the test results it can be stated, that the crush of concrete railway sleepers is chemically pure and its reuse will not cause harmful discharges to environment.

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| TERMISTÖ..... | 7 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 2 LAINSÄÄDÄNTÖ | 11 |
| 3 KÄYTTÖKOHTEET | 13 |
| 3.1 Betoni | 13 |
| 3.2 Kokonaiset betoniratapölkkyt..... | 14 |
| 3.3 Betonimurske..... | 16 |
| 4 RATAPÖLKYN OMINAISUUDET..... | 19 |
| 4.1 Betonipölkkyjen koostumus | 19 |
| 4.2 Rakenteelliset ominaisuudet..... | 20 |
| 5 ALKALIKIVIAINESREAKTIO | 21 |
| 5.1 Johdanto..... | 21 |
| 5.2 Alkaliidioksidireaktio | 22 |
| 5.3 Reaktion syntyyn vaikuttavat tekijät | 23 |
| 5.4 Diagnosointi | 26 |
| 5.5 Alkalkivianesreaktio Ruotsissa | 26 |
| 5.6 Alkalkivianes- ja ettringiittireaktio Suomen ratapölkkyissä | 27 |
| 5.7 Riskien välttäminen | 29 |
| 6 TUTKIMUKSET | 32 |
| 6.1 Pitoisuuskokeet..... | 33 |
| 6.1.1 Johdanto | 33 |
| 6.1.2 Työn suoritus..... | 33 |
| 6.1.3 Tulokset..... | 34 |
| 6.1.4 Tulosten tarkastelu | 36 |
| 6.2 Liukoisuuskokeet..... | 37 |
| 6.2.1 Johdanto | 37 |
| 6.2.2 Työn suoritus..... | 37 |
| 6.2.3 Tulokset..... | 40 |
| 6.2.4 Johtokyvyn avulla laskettu teoreettinen maksimimäärä kalsiumille .. | 41 |
| 6.2.5 pH:n avulla laskettu teoreettinen maksimimäärä kalsiumille | 43 |
| 6.2.6 Kalkkikiven muodostuminen vesiliuoksissa..... | 45 |
| 6.2.7 Hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin esiintyminen vedessä ... | 47 |
| 6.2.8 Kalkkikiven käyttäytyminen maaperässä | 48 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 6.2.9 Tulosten tarkastelu | 48 |
| 6.3 Melumittaukset | 51 |
| 6.3.1 Johdanto | 51 |
| 6.3.2 Työn suoritus | 52 |
| 6.3.3 Tulokset | 54 |
| 6.3.4 Tulosten tarkastelu | 56 |
| 6.4 Pakastus-sulatuskoe | 57 |
| 6.4.1 Johdanto | 57 |
| 6.4.2 Työn suoritus | 57 |
| 6.4.3 Tulokset | 59 |
| 6.4.4 Tulosten tarkastelu | 63 |
| 6.5 Murskeen kapillaarisuus | 64 |
| 6.5.1 Johdanto | 64 |
| 6.5.2 Työn suoritus | 65 |
| 6.5.3 Tulokset | 66 |
| 6.5.4 Tulosten tarkastelu | 68 |
| 6.6 Paineellinen vedentunkeuma | 69 |
| 6.6.1 Johdanto | 69 |
| 6.6.2 Työn suoritus | 70 |
| 6.6.3 Tulokset | 74 |
| 6.6.4 Tulosten tarkastelu | 76 |
| 7 YHTEENVETO | 77 |
| LÄHTEET | 80 |

TERMISTÖ

AKR

Alkalikiviainesreaktio, sisältää alkalipiidioksidireaktion, alkalikarbonaattireaktion ja alkalisilikaattireaktion, jotka kaikki aiheuttavat betonin rapautumista. (1)

Alkalipiidioksidireaktio (ASR)

Englanniksi Alkali-Silica Reaction (ASR), yleisin alkalikiviainesreaktio, joka aiheuttaa betonin rapautumista. Reaktio tapahtuu sekä sementin että kiviaineksen alkalien ja kiviaineksen piidioksidin välillä.(1)

Betonimurske

Betonimurskeella tarkoitetaan jätettä, joka on valmistettu puretuista betonirakenteista tai uudisrakentamisen ja betoniteollisuuden betonijätteistä murskaamalla enintään 150 millimetrin kappalekokoon. Termi betonijäte saatetaan ymmärtää väärin, sillä betoni ei ole lähtökohtaisesti vaarallinen tuote, eikä se sisällä suuria määriä haittakomponentteja.(2)

B75, B86, B97

Raportissa tutkittavat betonipölkkyt. Numero kirjaimen perässä tarkoittaa betonipölkyn valmistusvuotta.(3)

Ettringiittireaktio

Betonissa syntyvä sulfaattien kemiallinen reaktio, joka aiheutuu korkeista 60 °C ylittävistä lämpötiloista. Reaktio aiheuttaa sementtikiven tilavuuden muutosta ja siten betonin rapautumista.(3,4)

Kuningasvesi

Voimakkaasti syövyttävä suola- ja typpihapon seos. Seoksen suhde on yleensä 3:1. Seoksesta käytetään myös nimeä aqua regia.

MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa(5)

Mikrosilika

Hienojakoista piidioksidia amorfisessa muodossa(6)

Massaprosentti

Jonkin aineen massan osuus prosentteina koko seoksen massasta. Käytetään lyhennettä m-%.

Pozzolaani

Pozzolaaneja ovat muun muassa lentotuhka ja mikrosilika. Termi tarkoittaa pii- tai pii- ja alumiinipitoisia materiaaleja, jotka reagoivat kalsiumhydroksidin ja veden kanssa muodostaen yhdisteitä, joilla on sementtimäisiä ominaisuuksia.(7)

Pulverointi

Betonipölkköjen murskaaminen. Pulverointi ei tarkoita betonin murskausta jauheeksi. Käytännössä tämä tarkoittaa että pulveroinnissa syntyvä murske on pienimmillään halkaisijaltaan alle 1 mm:n kokoista ja suurimmillaan 150 mm:n raekoon murskettua. (Reino Kesola, VR Track)

Raekoko

Kiviaineksen raekoko ilmoitetaan alemman (d) sekä ylemmän (D) seulakoon mukaisella merkinnällä eli d/D. Raekoon mittayksikkönä on millimetri.(8)

Tilavuusprosentti

Liuenneen aineen tilavuuden osuus koko liuoksen tilavuudesta

Uusiokäyttö

Tuote palautetaan käyttöön joko sellaisenaan tai muuttamalla sen käyttötarkoitusta.(9)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Liikenneviraston ja Satakunnan ammattikorkeakoulun kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ratapölkky murskeen soveltuvuutta käytettäväksi rautateiden pengerlevityksissä ja samalla tarkastella myös muita mahdollisia käyttökohteita sekä betonimurskeelle että kokonaisille pölkyille. Betonirakenteita rapauttavasta alkalikiviainesreaktiosta tehtiin kirjallisuusselvitys. Opinnäytetyöhön kuului lisäksi raportin tekeminen Liikennevirastolle. Työ toteutettiin rakennustekniikan ja kemiantekniikan yhteistyönä.

Betonisia ratapölkkyjä poistetaan vuosittain noin 50 000 kappaletta, eli yli 12000 tonnia. Pölkkyt varastoidaan mahdollista jatkokäyttöä varten. Betonipölkkyjen suunniteltu käyttöikä on 40 vuotta, jonka jälkeen ne vaihdetaan uusiin, ellei huoltotarkistuksissa ole aikaisemmin huomattu puitteita. Tarkoituksena on käyttää betonipölkkyt hyödyksi murskeena pengerlevityksissä teräsosat eriteltyinä. Teräsosat myydään romurautana ja kierrätetään.

Betonimurskeen tulee täyttää Suomen lain asettamat kriteerit, jotta sitä voidaan käyttää maarakennuksessa. Betonijätteen uusiokäyttöä murskeena säätelee laissa MARA-asetus. MARA-asetuksessa on määritelty haitallisten aineiden kokonaispitoisuusrajat sekä raja-arvot niiden liukoisuuksille, joita on tässä opinnäytetyössä tutkittu. Murske saa olla raekooltaan enintään 150 millimetrin kokoista ja se saa sisältää korkeintaan 30 % tiiltä. MARA-asetuksessa on määritelty muutama käyttökohde, joihin ei tarvitse hakea erillistä ympäristölupaa. Asetuksen mukaan mursketta saisi käyttää muun muassa ratapihalla ilman ympäristölupaa, mikäli asetuksen muut ehdot täyttyvät.(2,5)

Suomessa käytetään luonnon kiviainesta noin 70-80 miljoonaa tonnia vuodessa. Betonisten ratapölkkyjen mahdollinen uusiokäyttö vähentäisi luonnon kiviaineksen tarvetta ja pienentäisi kaatopaikkojen kuormitusta. Tarkoituksena olisi murskata ratapölkkyt samalla kun pölkkyt vaihdetaan uusiin, jolloin säästyttäisiin myös ylimääräisiltä kuljetuksilta ja päästöiltä.(10,11)

Jätebetonista kierrätetään Suomessa tällä hetkellä jo 80 % ja sitä käytetään pääasiassa murskeena maarakentamiseen. Tavoitteena olisi kuitenkin kierrättää yhä enemmän betonia eri muodoissa ja näin säästää ympäristöä.(10,11)

Opinnäytetyöhön tehtiin lisäksi kirjallisuusselvitykset betonimurskeen hyötykäytöstä sekä alkalikiviainesreaktioista Suomen olosuhteissa. Alkalikiviainesreaktio aiheuttaa betonirakenteiden ennenaikaista rapautumista. Aihetta on tutkittu Suomessa toistaiseksi melko vähän, eikä AKR:ta tunnisteta vielä hyvin.(1)

2 LAINSÄÄDÄNTÖ

Valtioneuvoston asetuksessa jätteistä rakennus- ja purkujätteellä tarkoitetaan 1. pykälän mukaan rakennuksen tai muun kiinteän rakennelman uudis- ja korjausrakentamisessa ja purkamisessa, maa- ja vesirakentamisessa tai muussa vastaavassa rakentamisessa syntyvää jätettä. Asetuksen tavoitteena on, että vuonna 2020 rakennus- ja purkujätteestä hyödynnetään 70 prosenttia muutoin kuin energiana tai polttoaineeksi valmistamisessa. (16 §)(12)

Ympäristölain tavoitteina ovat betonimurskeen hyötykäyttöön liittyen muun muassa jätteiden synnyn sekä niiden haitallisten vaikutusten ehkäiseminen, luonnonvarojen kestävä käyttö sekä kestävän kehityksen tukeminen. (1 §) (13)

Euroopan Unionin Jätedirektiivillä pyritään edistämään jätteen synnyn ehkäisyä, uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Jätedirektiivissä jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, joka poistetaan käytöstä tai aiotaan poistaa käytöstä.(14)

Valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus) betonimurskeella tarkoitetaan jätettä, joka on valmistettu puretuista betonirakenteista tai betonijätteistä murskaamalla enintään 150 millimetrin raekokoon. Betonijätteessä saa olla korkeintaan 30 massaprosenttia tiilimursketta (asetuksen liite 1). Asetuksen tarkoituksena on helpottaa ja edistää jätebetonin hyötykäyttöä. Pykälässä 5 luetellaan jätteen hyödyntämistä koskevat vaatimukset, joihin kuuluvat muun muassa haitallisten aineiden pitoisuuksien ja liukoisuuksien määrittely. MARA-asetuksessa on määriteltä liitteessä 1 raja-arvot haitallisten aineiden liukoisuuksille sekä pitoisuuksille betonissa. MARA-asetuksen tarkoituksena on helpottaa betonin uudelleenkäyttöä, ja mikäli betonin laatu täyttää asetuksen 5. pykälässä annetut kriteerit, sitä saa ilman erillistä ympäristölupaa käyttää seuraavissa kohteissa:

- 1) Yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien melusteet.
- 2) Pysäköintialueet.
- 3) Urheilukentät sekä virkistys- ja urheilualueiden reitit.
- 4) Ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet.(5)

Betonijätteen hyötykäytöstä maarakentamisessa on kuitenkin tehtävä ilmoitus ELY-keskukselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään merkitsemistä varten.(15)

Betonijätteitä tulisi siis käyttää mahdollisimman paljon kierrättämällä luonnonvarojen kestävästä käytöstä ja kehityksen tukemiseksi. Vertauksena esimerkiksi Hollannissa on vaadittu, että kierrätysmateriaalia käytetään julkisissa hankinnoissa.(11)

3 KÄYTTÖKOHTEET

3.1 Betoni

Betoni on maailman yleisin erityyppisissä rakenteissa ja rakennusosissa käytetty rakennusmateriaali. Betoni on turvallinen runkomateriaali sen lujuuden, massiivisuuden, paloteknisten ominaisuuksien ja terveydellisten lähtökohtien vuoksi. Betonia on ihmisen lähellä muun esimerkiksi kaivonrenkaissa, saunan lattioissa, pihakivissä, uima-altaissa ja asuntojen sisäseinissä. Betonia käytetään myös rakenteiden palotekniseen suojaukseen. Turvallisuutensa vuoksi sitä käytetään edellä mainittujen massiivisten rakenteiden lisäksi vesisäiliöissä, karjan ruokinta-astioissa ja jopa viinin valmistussäiliöissä. Maan sisällä betonia on muun muassa suurissa putkistoissa sekä viemäreissä ja betoni on myös johtava maahan upotettujen paalujen materiaali.(4,16,17)

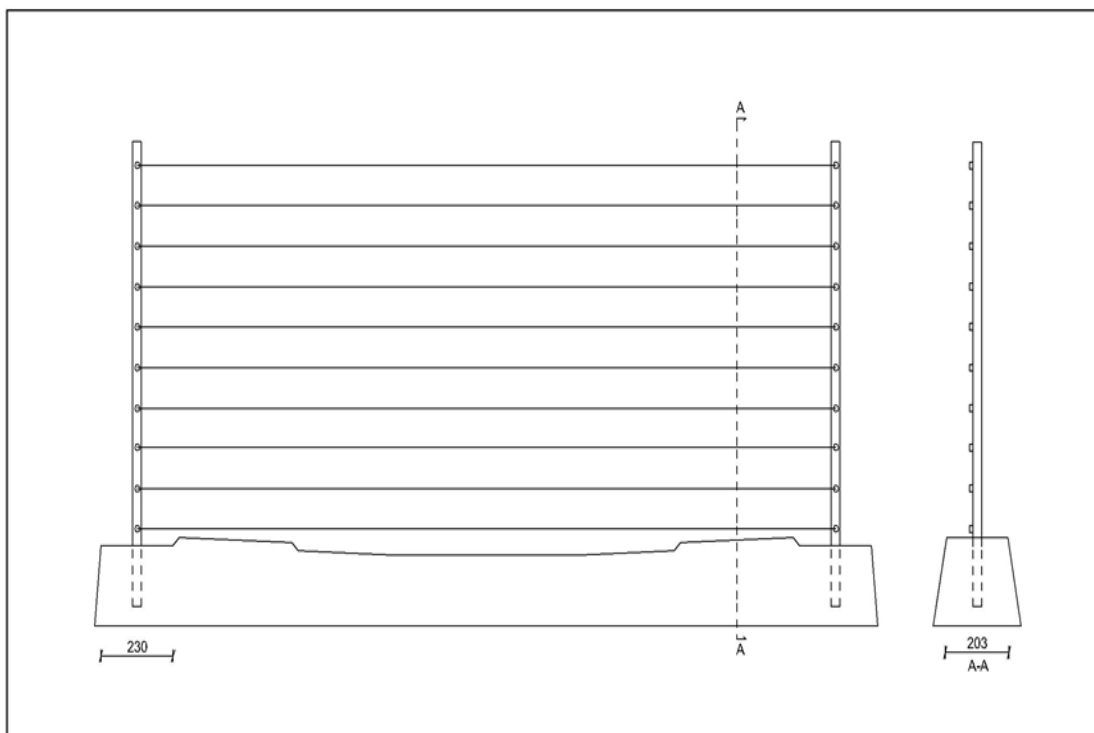
Betoni on yhdistelmämateriali, jossa kovettunut sementtiliima eli sementtikivi sitoo kiviainekset yhteen muodostaen lujan kokonaisuuden. Sementtikivellä tarkoitetaan sementin ja veden kovettumistulosta. Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja runkoaineet. Tärkein betonin osa-aineista on sementti. Sementti muodostaa veden kanssa kovan huokoisen mineraalin, joka kiinnittää runkoaineet sekä mahdollisen raudoituksen betoniin. Sementin raaka-aineita ovat kalkkikivi, kvartsi ja savi. Betonista suurin osa on kiviainesta.(4)

Pääaineiden lisäksi betonin valmistuksessa voidaan käyttää myös seos- ja lisäaineita, joilla saadaan muokattua betonin ominaisuuksia. Tämän opinnäytetyön kemiallisissa analyyseissa on todistettu, ettei betonista valmistetuissa ratapölkyissä ole ihmiselle vaarallisia haittakomponentteja eikä betonipölkyjen pulverointi aiheuta ympäristöön haitallisia päästöjä.(16)

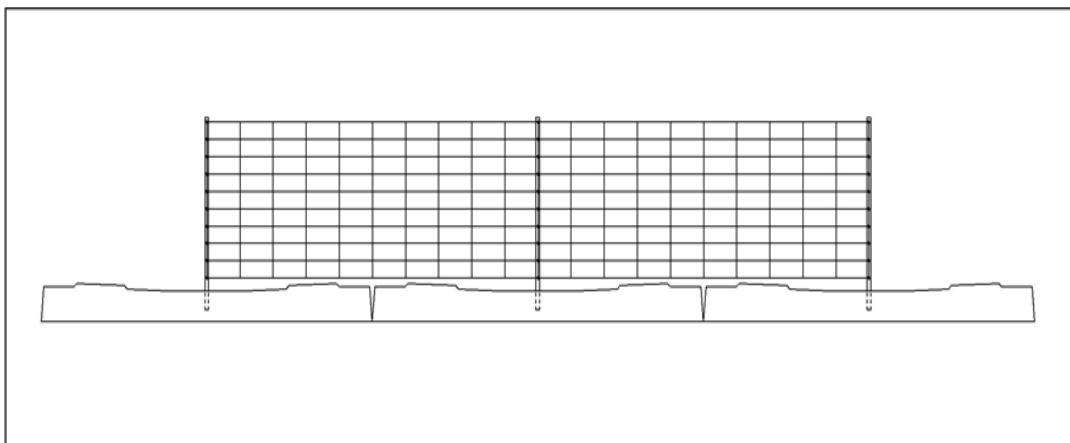
3.2 Kokonaiset betoniratapölkkyt

Etelä-Ruotsissa sijaitsevassa aurinkoenergiapuistossa hyödynnetään kierrätettyjä ratapölkkyjä aurinkopaneelien jalkalevyjen tukijärjestelmässä. Betonipölkkyt toimivat maatuentana ja osana aurinkopaneelien tukijärjestelmää. Tällaista tukijärjestelmää pidetään kestäväenä ja vankkana. Myös Saksassa ratapölkkyjä on käytetty aurinkopuistoissa tukijärjestelmiin.(18)(Tino Nanzka, Spitzke)

Mikäli betonipölkkyjä hyödynnettäisiin aurinkopaneelien tukijärjestelmän tapaan, betonisia pölkkyjä voisi käyttää esimerkiksi aitojen rakentamisessa. Kuvissa 1 ja 2 on mallinnettu betonipölkkyyn asennettava aitarakennelma. Mallissa betonipölkkyt toimisivat aitojen maatukina. Betonipölkkyihin porattaisiin reiät aitaolpille. Maahan upotettuina betonipölkkyjen rakenne toimisi samalla routanousua ehkäisevänä, sillä betonipölkkyt ovat ylöspäin kapenevia. Ideaa olisi mahdollista hyödyntää pitkissä aitarakennelmissä, kuten hirviadoissa. Näin mahdollistettaisiin vankka perusta aidalle.



Kuva 1 Mallinnus betonipölkkyyn asennetusta aitarakennelmästä



Kuva 2 Vaihtoehtoinen malli betonipölkkyihin asennettavasta aitarakennelmästä

Ulkomailla, kuten esimerkiksi Australiassa ja Iso-Britanniassa, kokonaisia ratapölkkyjä on käytetty tukimuureissa, karja- ja traktoriteinä sekä portaina ja puutarhoissa. Kuvassa 3 on ratapölkkyistä rakennettu tukimuri Australiassa. Ratapölkkyjä on käytetty kokonaisina myös joissain taideteoksissa. Kokonaisille ratapölkkyille voisi löytää monia käyttökohteita, mikäli ne todetaan teknisesti soveltuviksi niihin. Pölkkyjä voisi käyttää muun muassa meluvalleissa samalla tavoin kuin niitä on käytetty tukimuureissa. Kokonaisia ratapölkkyjä käytettäessä pitää kuitenkin ottaa huomioon rakenteiden tekniset vaatimukset.(19,20)



Kuva 3 Ratapölkkyistä tehty tukimuri Australiassa (20)

3.3 Betonimurske

Jätebetonista kierrätetään Suomessa vuosittain noin 75-80 %. Suurin osa kaikesta jätebetonista tulee purkutyömailta, betoniteollisuudesta ja ratapölkkyistä. Tällä hetkellä kuitenkin kierrätetään tai käytetään hyödyksi pääasiassa vain purkubetonia sekä betoniteollisuudessa syntyvää betonia. Pyrkimyksenä on kierrättää yhä enemmän jätebetonia, sillä yhä edelleen paljon käyttökelpoista materiaalia päätyy kaatopaikoille. Myös ulkomailla betoniset ratapölkkyt kierrätetään murskeena järjestelmällisesti ja uusiokäytetään. Suomessa ratapölkkyjä ei vielä kierrätetä yhtä tehokkaasti, vaikka asetetut ympäristökriteerit täytyisivätkin.(21)(Tino Nanzka, Spitzke)

Betonin murskauksessa teräkset erotellaan betonista usein magneetin avulla. Raudat myydään romurautana ja kierrätetään. Romuraudoista voidaan valmistaa uutta rautaa. Betonin murskaamiseen voidaan käyttää leuka-, keila- tai iskumurskaimia. Betonisia ratapölkkyjä murskataan tällä hetkellä vain Valkeakoskella kaivinkoneen leukamurskaimilla, joilla suoritetaan myös rautojen erottelu.(4)(Kari Salminen)

Betonijätteestä saatavaa lietettä voidaan käyttää joko kuivatettuna tai sellaisenaan maarakennuskohteissa, joille ei ole asetettu suuria teknisiä vaatimuksia. Suomen maaperä on monesti liian hapan, jonka vuoksi maa-aineksen pH:ta joudutaan nostamaan kalkilla. Betonilietteen kalkkipitoisuus ja pH-arvo ovat korkeita ja sitä voitaisiin käyttää kalkin tapaan maanparannusaineena. VTT:n tutkimuksen mukaan kaikkien tutkittujen betonitehtaiden lietteet täyttivät lannoitelaisissa annetut maanparannusaineiden vaatimukset. Tuore jätebetoni voidaan erotella lietteeksi ja karkeaksi kiviainekseksi pesureilla. Liette voidaan käyttää myös betonin valmistuksessa. Myös tässä opinnäytetyössä todettiin kokeellisesti, että betonimurskeen vesilietteen kalsiumpitoisuus ja pH olivat korkeita. Mursketta voitaisiin siis hyvin käyttää maanparannusaineena happamalle maalle. Murske ei ylitä myöskään MARA- asetuksen raja-arvoja haitallisten aineiden osalta, eli siitä ei liukenisi haitallisia komponentteja maaperään. (5,11,22)

Betoni jatkaa lujittumista vielä murskeenkin muodossa ja siksi sitä tarvitaan vain puolet tien kantavan kerroksen luonnonkiviaineksen määrästä. Murskatussa betonissa on jäljellä reagoimatonta sementtiä, joka lujittaa mursketta päästessään veden kanssa kosketuksiin. Betonin sementtipartikkelien sisään jää hydratoitumatonta sementtiä, joka paljastuu murskauksessa. Nämä partikkelit alkavat hydratoitua ja lujittavat mursketta. Betonimursketta käyttämällä voidaan saada parempia kantavuuksia. Betonimurske on lisäksi luonnonkiviainesta kevyempää, jonka vuoksi säästetään myös kuljetuskuluissa ja rakenteesta tulee kevyempi.(4,11)

Murskeelle on olemassa monia käyttökohteita, esimerkiksi salaojitusrakenteet, puutarhat, penkereet, tierakenteiden kerrokset lukuun ottamatta päällyskerrosta ja käyttö asfaltin runkoaineena. Suomen olosuhteissa betonimursketta ei kuitenkaan suositella käyttöä asfaltin runkoaineena. Mursketta on käytetty myös uuden betonin valmistuksessa. Tätä betonia on käytetty valtateilla ja kaduilla. Murskeen käytössä uudessa betonissa on huomattu olevan kuitenkin myös haittapuolia, koska betonin valmistus murskeen avulla vaatii enemmän vettä. Betonimursketta voidaan käyttää myös varastokentissä ja pysäköintialueissa. (21,23,24,25,26)

Italiassa ja Saksassa betonijäte saatetaan rakennusten purkamisen yhteydessä jättää niille sijoilleen, mikäli jatkotoimenpiteistä kyseisellä tontilla on päästy selville. Tällöin suurimmat kustannukset betonijätteen käsittelystä tulevat betonin murskaamisesta. Suomessa rakentamiseen liittyy paljon kuljetuksia, koska rakennusaineet ja rakennustyömaa sijaitsevat yleensä kaukana toisistaan. Suomessa suurimmat kustannukset betonijätteen uusiokäytöstä tulevatkin kuljetuslogistiikasta.(4) (Kari Salminen) (Tino Nanzka, Spitzke)

Suomalaisista yrityksistä muun muassa Rudus kierrättää betonia. Kierrätetty murske on Betoroc-mursketta, joka on peräisin teollisuudesta sekä purkukohteista. Suurimmaksi osaksi Betoroc-mursketta käytetään yhtä paksuina kerroksina, kuin mitä luonnonkiviainesta olisi kohteessa käytetty. (Tuomo Joutsenoja, Rudus Oy)

Suomessa betonimursketta on käytetty vuodesta 1994 asti esimerkiksi teiden sekä kenttien jakavassa ja kantavassa kerroksessa. Tielaitoksen selvityksessä betonimurskekerroksen minimipaksuudeksi suositellaan vähintään 150 millimetriä, jotta murske pääsee lujittumaan hyvin. Selvityksen mukaan betonimurskeen tekniset ominaisuudet soveltuisivat tiepenkereiden kaikkiin päällys- ja alusrakenteisiin. Tielaitoksen tutkimuksen mukaan hyödyllisintä olisi käyttää mursketta penkereiden kantavissa kerroksissa.(27)

4 RATAPÖLKYN OMINAISUUDET

4.1 Betonipölkkyjen koostumus

Pölkkyissä käytetty betoni sisältää suomalaista kiviainesta sekä sementtiä. Pölkkyissä käytetyn kiviaineksen pitää olla laadukasta, jotta pölkkyt kestävät kuormitusta ja säilyvät rapautumiselta pidempään. Kiviaines tutkitaan ennen käyttöönottoa, koska sen ominaisuuksille on olemassa rajoituksia. Suomessa pölkkyjen betonin kiviaineksessa on 60-80% graniittisia kiviä ja alle 5% liuskeita. Kiisupitoiset kivet eivät ole sallittuja. (Reino Kesola, VR Track)

Betonista on kiviainesta keskimäärin 60-85 tilavuusprosenttia. Sementtinä pölkkyissä käytetään usein Portland sementtiä, jonka koostumus on tavallisesti 67 % CaO, 22 % SiO₂, 5 % Al₂O₃, 3 % Fe₂O₃ ja 3 % muita komponentteja, kuten esimerkiksi alkalimetallien yhdisteitä. Sementin pääraaka-aineena käytetään kalsiumkarbonaattia eli kalkkikiveä (CaCO₃), joka polttamalla muunnetaan kalsiumoksidiksi (CaO). Sementin hydrataatio koostuu monista eri reaktioista sementin ainesosien reagoidessa veden kanssa. Hydrataatiossa vesi reagoi pääasiassa kalsiumsilikaattien ja kalsiumaluminaattien kanssa muodostaen kovettuvaa veteen liukenematonta materiaalia, sementtikiveä. Vesi-sementtisuhteella vaikuttaa merkittävästi betonin ominaisuuksiin. Pienellä vesi-sementtisuhteella materiaaliin voi jäädä paljon reagoimatonta materiaalia, ja vettä käytetään usein ylimäärin reaktion teoreettiseen tarpeeseen nähden. Liiallinen vesimäärä kuitenkin aiheuttaa huokoisuutta ja täten mahdollisesti lujuskatoa betoniin. (28,29)

Betonin valmistuksessa käytetään myös seos- sekä lisäaineita. Lisäaineina voidaan käyttää muun muassa notkistimia, huokostimia ja pigmenttejä noin 0,01-3 % sementistä sen ominaisuuksien parantamiseen ja veden määrän vähentämiseen valmistuksessa. Betonissa voidaan käyttää sementtiä korvaavina aineina lentotuhkaa, masuunikuonaa ja mikrosilikaa. Suomessa yleisimmin käytetty sementtiä korvaava aine on lentotuhka. Ratapölkkyissä ei kuitenkaan Suomessa ole käytetty lentotuhkaa, masuunikuonaa tai mikrosilikaa.

Betonipölkkyjen valmistuksessa käytetään lisäaineena huokostimia, jotka parantavat betonin pakkasenkestävyyttä. Ratapölkkyjen valmistuksessa käytetään myös muottiöljyä ja jälkihoitoainetta. Muottiöljynä on käytetty aikaisemmin mineraalipohjaisia öljyjä, mutta nykyään käytössä on kasviöljypohjainen öljy.(28) (Markku Järveläinen, Parma Rail Oy)(Sampsa Lehmusoksa, Lujabetoni Oy)

4.2 Rakenteelliset ominaisuudet

Työssä tutkittavat betoniset ratapölkkyt ovat B75, B86, B97. Betoninen ratapölkky painaa kokonaisuudessaan 240-280 kg, josta n. 7 kg on terästä. Raudoitukset ovat erilaisia betonipölkyn valmistusvuodesta riippuen. (Reino Kesola, VR Track)

Vanhemmat betonipölkkyt sisältävät neljä halkaisijaltaan 10 mm:n rautaa. Uudemmissa betonipölkkyissä on käytetty kahtatoista kolmilankaista (3 x 3 mm) rautapunosta. Betonisten ratapölkkyjen suunniteltu lujuusluokka on C50/60. Betonipölkkyjen teknisissä toimitusehdoissa betonipeitteen vähimmäispaksuudeksi on sallittu 30 mm lukuun ottamatta pölkkyjen päitä, joissa teräkset saavat ulottua pintaan saakka. Kuvasta 4 voidaan nähdä Porin rautatieaseman betonisia ratapölkkyjä.(28,30,31)



Kuva 4 Porin rautatieaseman ratapölkkyjä

5 ALKALIKIVIAINESREAKTIO

5.1 Johdanto

Joissain betonirakenteissa, kuten ratapölkyissä 1980-luvulla, on havaittu ennen aikaista rapautumista. Aikaisemmissa tutkimuksissa on epäilty rakenteiden kärsivän pakkasrapautumisesta tai ettringiittireaktiosta. Ettringiittireaktio johtuu betonissa olevien sulfaattimineraalien kemiallisesta reaktiosta, jotka johtavat tilavuuden kasvuun ja täten rapautumiseen. Ettringiitin muodostuminen johtuu usein betonin lämpökäsittelystä, koska reaktio vaatii yli 60 °C lämpötilan. Vasta lähiaikoina alkalikiviainesreaktioita on alettu tutkia rapautumisen mahdollisena ensisijaisena syynä tietyissä tapauksissa. AKR:n olemassaolo on kuitenkin esitetty jo 1940.(1,3)

Alkalikiviainesreaktio on melko yleinen Pohjois-Euroopan maissa kuten Tanskassa, Englannissa ja Islannissa. Sen on ennen uskottu olevan harvinainen Suomessa ja suomalaisia kivilajeja pidetään hyvinä ja reagoimattomina betonin raaka-aineina. Alkalikiviainesreaktio on vaikea erottaa muista rapautumisen lajeista ja etenkin Suomessa luonnon olosuhteiden johdosta se sekoitetaan pakkasrapautumiseen.(1,32,34)

Alkalikiviainesreaktioita on tunnistettu yli 50 eri maassa. Suomi on yksi harvoista maista, joka ei ole virallisesti tunnustanut alkalikiviainesreaktiota. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n tutkimuksen mukaan Suomessa on havaittu 50 ASR- tapausta vuoteen 2011 mennessä 15 vuodessa, mutta todennäköistä on, että kohteita on enemmän. VTT:n tutkimuksessa oli kriteerinä reaktiolle tyypillisen geelin esiintyminen.(32)

Maiden välisiä tutkimuksia ei juuri voida soveltaa, sillä maaperän kiviainestyyppit saattavat erota täysin toisistaan. Ruotsin ja Norjan kiviainekset muistuttavat Suomen kiviainesta, ja myös luonnon olosuhteet vastaavat Suomen olosuhteita, joten nämä maat ovat vertailukelpoisimpia Suomen kanssa alkalikiviainesreaktion suhteen.(32)

AKR:lle alttiimpia kohteita ovat rakenteet, jotka ovat tekemisissä kosteuden kanssa, kuten esimerkiksi sillat, uima-altaat, padot ja perustukset. Reaktiota voi kuitenkin ilmetä kaikissa betonirakenteissa.(1,32,33,34,35)

Raportissa syvennyttään alkalikiviainesreaktioista alkalipiidioksidireaktioon (ASR), jota pidetään reaktioista haitallisimpana ja yleisimpänä alkalikiviainesreaktiona. Muita alkalikiviainesreaktioita ovat alkalikarbonaatti- sekä alkalisilikaattireaktio. Alkalisilikaattireaktiota (englanniksi alcali-silicate reaction) ei sovi sekoittaa alkalipiidioksidireaktioon. Alkalikarbonaattireaktiossa tyypillisesti reagoiva kiviaines on savipitoista dolomiittista kalkkikiveä. Alkalisilikaattireaktio muistuttaa alkalipiidioksidireaktiota, ja jotkut tutkijat pitävätkin reaktioita samoina, mutta alkalisilikaattireaktio on huomattavasti hitaampi ja täten vähemmän haitallinen. Alkalipiidioksidireaktiolle hygroskooppisen geelin syntyminen on tyypillistä. Geeliä ei synny muissa alkalikiviainesreaktioissa. Usein alkalipiidioksidireaktio kuitenkin esiintyy yhdessä alkalisilikaattireaktion kanssa ja reaktioita on vaikea erottaa keskenään. Vähemmän haitalliselle alkalisilikaattireaktiolle tyypilliset reaktiiviset kiviaineet ovat muun muassa graniitti, jotkin liuskeet ja grauvakka, ja näitä kivilajeja esiintyy myös Suomessa.(1,32,34,36)

5.2 Alkalipiidioksidireaktio

Alkalipiidioksidireaktion uskotaan yleisesti johtuvan piidioksideja sisältävän kiviaineksen sekä sementin sisältämien alkalimetallien ja hydroksyyli-ionien reaktiosta. Sementin sisältämät alkalipiidioksidireaktion kannalta haitalliset alkuaineet ovat natrium (Na), kalium (K) sekä kalsium (Ca). Joidenkin tutkimusten mukaan alkalimetalleja tärkeämpi ominaisuus reaktion kannalta on hydroksyyli-ionien konsentraatio betonissa, eli sen emäksisyys. Hydroksyyli-ionit ovat pääasiassa peräisin sementin kalsiumhydroksidista. Rakennetta vahingoittaa yleensä reaktiosta johtuva betonin laajeneminen ja siitä seuraava halkeilu.(1,32)

Reaktiossa syntyy geeliä, joka on alkalimetallien ja piidioksidin reaktiotuote. Syntynyt geeli on hygroskooppista, eli se absorboi vettä. Geelin absorboidessa vettä sen tilavuus kasvaa ja aiheuttaa halkeilua.(1)

Geelin tilavuus on suurempi kuin sen lähtöaineiden tilavuus. Geelin koostumus vaihtelee runsaasti. Koostumukseen vaikuttaa lämpötila sekä sementin että kiviaineksen ominaisuudet. Tuore geeli on usein pihkamaista ja läpinäkyvää, mutta joutuessaan ilman kanssa kosketuksiin se muuttuu kovaksi ja valkoiseksi ja alkaa halkeilla. Geeli koostuu yleisimmin piidioksidista, kalsium-, natrium-, kalium- ja magnesiumoksidaista. Geelin koostumusta ja sen käyttäytymistä ei kuitenkaan tunneta vielä riittävän hyvin. Kuvassa 5 on ilman kanssa reagoitutta karbonoitunutta geeliä. (1,32)



Kuva 5 Reaktiogeeliä rautatiesillassa Lempäälässä (Reino Kesola, VR Track)

5.3 Reaktion syntyyn vaikuttavat tekijät

1. Sementin alkalipitoisuus sekä kiviaineksen ja sementin yhteinen alkalimäärä
2. Kiviaineksen koostumus
3. Reaktiivisten kiviainesten raekoko ja huokoisuus
4. Vesi-sementti suhde (w/c)
5. Kosteus
6. Lämpötila

Alkaliipiidioksidireaktion kannalta sementin ja kiviaineksen ominaisuudet ovat merkittäviä. ASR:n lähtöaineena toimivat sekä sementin että kiviaineksen sisältämät alkalit sekä hydroksyyli-ionit ja kiviaineksen sisältämä piidioksidi. Pääosin alkalit ovat peräisin sementistä, mutta osa voi tulla myös kiviaineksestä. ASR:n kannalta merkittävin alkalimetalli sementissä on natrium (Na) ja toiseksi merkittävin kalium (K). Hydroksyyli-ionien merkittävin lähde on sementin kalsiumhydroksidi. Alkaliin kokonaismäärä ilmaistaan natrium-ekvivalenttia käyttäen, joka tutkitaan happouutolla. Happouuton vuoksi myös kiviaineksestä voi liueta alkaleja.(1,32)

Na-ekvivalentti = 1 massaprosentti Na₂O + 0.658 massaprosentti K₂O

Suosittelava arvo sementin alkalipitoisuudelle on alle 0,6 massaprosenttia, betonille alle 3 kg/m³. Reaktio voi kuitenkin tapahtua alhaisemmilla arvoilla ja sitä ei välttämättä tapahdu korkeammilla arvoilla. ASR johtuu niin monesta eri muuttujasta, että tapauksia on vaikea ennustaa pelkästään kemiallisen koostumuksen pohjalta. Suomessa lähes kaikkien sementtien alkalipitoisuus on lähes 1 m-% tai jopa yli, vain valkosementillä arvo on 0,22 m-%. Korkeasta sementin alkalipitoisuudesta huolimatta kovin montaa ASR:n vaurioittamaa kohdetta ei ole Suomessa vielä todettu. Betonin sisällä voi olla myös hajontaa alkalipitoisuudessa ja siellä voi olla alkalikeskittymiä. Alkaleita esiintyy sementissä luonnostaan, mutta joissain tapauksissa seosaineiden, kuten lentotuhkan lisääminen tai meriveden käyttö valmistuksessa lisää pitoisuuksia entisestään. Myös sementin ominaispinta-ala vaikuttaa betonin ominaisuuksiin. Esimerkiksi Islannissa on betonissa käytetty pesemättömänä merenpohjasta otettua kiviainesta. Kiviaines on sisältänyt suoloja merivedestä ja lisännyt betonin alkalipitoisuutta. Alkaleita voi absorboitua betoniin meri- ja pohjavesistä sekä pakkasenestosuolauksesta.(1,32,38)

Kiviaineksestä ei voi yksinkertaisesti sanoa, mikä kiviaines reagoi ja mikä ei. Reagointi ei riipu yksistään reaktiivisen komponentin pitoisuudesta, vaan myös siitä, millaisessa muodossa materiaali esiintyy. Esimerkiksi amorfiset, huonosti kiteytyneet tai lasiset kivilajit ovat reaktiivisempia kuin stabiilimmat muodot. Aikaisemmasta kiviaineksen käytöstä sekä kenttäkokeista saa kuitenkin luotettavaa suuntaa antavaa tietoa kiviaineksen käyttäytymisestä.(1,32)

ASR:n syntymiseen vaikuttaa koostumuksen lisäksi käytettävä raekoko ja kiviaineksen huokoisuus, jotka vaikuttavat ominaispinta-alaan. Raekoon pienentyessä ja huokoisuuden kasvaessa ominaispinta-ala kasvaa. Ominaispinta-alan kasvaessa syntyy enemmän kontaktipintaa sementin ja kiviaineksen välille, mikä edistää reaktioiden syntymistä. Suomessa käytetty kiviaines on pääasiassa graniittista soraa tai kalliomurskettä. Suomalaisista kiviaineksista reaktiivisimpina pidetään kvartsirikkaita liuskeita.(1,32,33)

Alkaliipiidioksidireaktioon vaikuttavat kiviaineksen ja sementin ominaisuuksien lisäksi merkittävästi myös olosuhteet. Reaktiossa vesi toimii ionien kantaja-aineena, ja reaktiotuotteena syntynyt geeli absorboi vettä, joka aiheuttaa sen tilavuuden kasvua ja täten halkeilua betonissa. Yleisesti haitallisena pidetään yli 80% suhteellista ilmankosteutta. Pienen vesi-sementtisuhteen (w/c) tai seosaineiden käyttö saattaa ehkäistä reaktiota. Tavallisesti käytetty vesi-sementtisuhte on noin 0,35-0,55, vaikka sementin hydrataatioon teoreettisesti riittäisi $w/c = 0,24$. Vettä on siis ylimäärin betonissa jo valmistusvaiheessa, jotta mahdollisimman suuri määrä sementistä reagoisi. Lämpötila vaikuttaa reaktionopeuteen. Mitä korkeampi lämpötila, sitä nopeammin kemialliset reaktiot yleensä tapahtuvat. Joissain tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että lämpötila ei vaikuta lopullisen laajenemisen määrään, ainoastaan reaktion nopeuteen. Muun muassa Tanskassa on asetettu raja-arvot sementin ja kiviaineksen ominaisuuksille betonin käyttökohteen mukaan rajallisen raaka-aineiden määrän vuoksi, jolloin raja-arvot ottavat huomioon myös ympäristön vaikutuksen.(1,32,33,34)

5.4 Diagnosointi

Yksittäiset testit tai havainnot eivät riitä varmistamaan alkalipiidioksidireaktion osuutta betonin laajenemiseen tai halkeiluun. Betoni voi laajentua ja halkeilla monista eri syistä. Alkalipiidioksidireaktiolle ominainen geeli voi tukkia mikrohalkeamat, mutta ei välttämättä ole alkuperäinen syy betonin laajenemiseen. Muut reaktiot, jotka tulisi ottaa huomioon ennen laboratorio testejä, ovat seuraavat:

1. Pakkasrapautuminen
2. Alkalisilikaattireaktio
3. Alkalikarbonaattireaktio
4. Ettringiittireaktio

Tyypillisesti ASR näkyy verkkomaisena karttahalkeiluna betonin pinnassa. Pakkasrapautuminenkin havaitaan samankaltaisena betonin pinnalla, mutta ASR:ssa halkeilu jatkuu syvemmälle rakenteeseen. Karttahalkeilun yhteydessä voi halkeamissa esiintyä kosteutta tai värimuutoksia. Halkeamissa voidaan havaita geeliä, jonka ominaisuudet vaihtelevat. Tyypillistä ASR:lle ovat myös kartiomaiset pintalohkeamat, joiden pohjasta voi joskus löytää geeliä. Laboratoriokokeissa saadaan varmuus ASR:sta. Analyyseissä voidaan käyttää esimerkiksi ohuthietutkimusta, pyyhkäisyelektronimikroskooppia (SEM), tai röntgendiffraktiota. Alkalipiidioksidireaktiolle tyypillisiä ovat betonissa tapahtuvat mikrohalkeamat. Mikrohalkeamia tutkiessa on hyvä tarkastella betonin ydintä laajenemisen toteamiseksi. Mahdollisista ASR:n vahingoittamista kohteista otetaan kairasydännäytteet, joista valmistetaan ohuthieitä petrografisiin analyyseihin.(1,32,33,34)

5.5 Alkalikiviainesreaktio Ruotsissa

Scaniassa Ruotsissa havaittiin vuonna 1983 uuden kiviaineksen sisältävän reaktiivista pii- ja hiekkakiveä. Alkalipiidioksidireaktiota löydettiin pääasiassa kosteiden sisätilojen rakenteissa.(37)

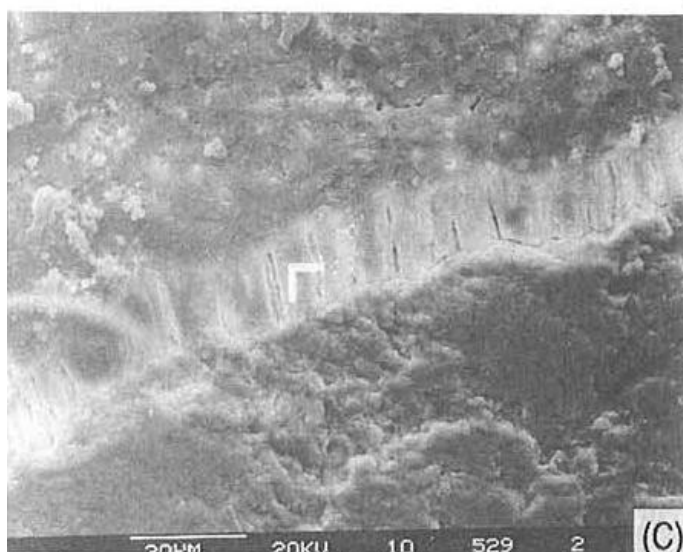
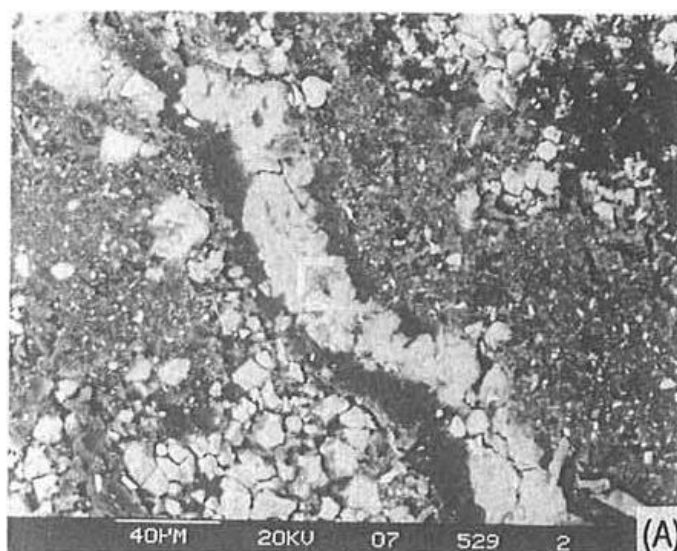
ASR:ta todettiin myös ulkotiloissa esimerkiksi maanvaraisissa betonilaatoissa ja betoneissa, jotka omaavat korkean tiheyden, sekä rakenteissa, jotka ovat höyrynsulun vaikutuksesta altistuneet kosteudelle. Reaktio huomattiin betonilaattoihin syntyneistä kartiolohkeamista. Aiemmin käytetty sementti oli matala-alkali sementtiä, eikä se ollut aiheuttanut ASR:ta. Reaktio ilmeni sementin vaihtamisen jälkeen. Sementti sisältää nykyisin enemmän alkaleja kuin ennen, sillä matalan alkalipitoisuuden omaavan sementin valmistus vaatii paljon energiaa ja on kallista. Nykyään sementin valmistuksessa käytetään lämmönvaihtimia energian säästämisen edistämiseksi, mutta niiden käyttö kasvattaa alkalien määrää sementissä. Matala-alkalisementillä tarkoitetaan sementtiä, joka sisältää alle 0,6 % alkalimetalleja. Keskitason alkalisementti sisältää noin 1 % alkaleja.(32,37)

5.6 Alkalikiviaines- ja ettringiittireaktio ratapölkyissä

Suomessa 1960–1970-luvuilla valmistetuissa ratapölkyissä havaittiin rapautumista jo kymmenessä vuodessa valmistuksen jälkeen. Aikaisemman tutkimuksen mukaan (Tepponen & Eriksson, 1987) rapautuminen johtui lämpökäsittelyn aiheuttamasta ettringiittireaktiosta. Ratapölkkyt esikuumennettiin 750-800 °C asteessa. Myöhemmin tehdyn Australialaisen tutkimuksen (Shayan & Quick, 1994) mukaan alkuperäinen syy rapautumiselle suomalaisissa ratapölkyissä on kuitenkin saattanut olla alkalikiviainesreaktio.(39,40)

Australiassa ratapölkkyt ovat kärsineet alkalikiviainesreaktiosta. Suomen ratapölkkyjen rapautuminen muistutti rapautumista Australiassa, mutta syy oli Tepposen ja Erikssonin tutkimuksen mukaan eri. Australiaan lähetettiin vanhasta ratapölkystä yksi näyte tutkittavaksi. Alkuoletuksena oli, että AKR olisi rapautumisen pääsyy myös Suomen ratapölkyissä. AKR:n aiheuttamat halkeamat altistavat betonirakenteen muille rapautumismuodoille, ja pakkasrapautumisen uskotaankin kiihdyttäneen Suomessa pölkkyjen halkeilua. Ettringiitin muodostumista pidettiin halkeilun viimeisenä vaiheena.(40)

Tutkimuksessa löydettiin AKR:n geeliä. Näytteen mikrorakennetta tutkittiin ja löydöksiä tehtiin sekä alkalikiviainesreaktiosta että ettringiittireaktiosta. Ohuthietutkimuksessa havaittiin paljon mikrohalkeamia, joissa osassa havaittiin AKR-geeliä ja pienemmässä määrin ettringiittiä sekä kalsiumkarbonaattia. Näyte skannattiin pyyhkäiselektronimikroskoopilla ja eri koostumuksia tutkittiin EDX:lla (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy). Kuvassa 6 nähdään AKR geelin ja ettringiitin mikroskooppiset koostumuserot. Tuloksena oli, että ettringiitti täytti jo olemassa olevia halkeamia eikä aiheuttanut niitä. Kiviaineksena näytteessä oli pääasiassa hienorakeista liusketta, jossa oli biotiittia, kvartssia, kloriittia, muskoviittia ja aktinoliittia pienenevässä järjestyksessä.(40)



Kuva 6 Mikro kuvat A) ASR:n geeliä, C) ettringiittiä (Shayan & Quick, 1994)(40)

Australialaisen tutkimuksen mukaan ettringiitin muodostumisella on ollut pienempi vaikutus kuin AKR:lla. Tulos kuitenkin perustuu yhteen näytteeseen. Esimerkiksi VTT:n tekemässä tutkimuksessa ASR:sta havaittiin, että saman kohteen näytteiden tuloksissa oli paljon hajontaa. Ongelma korjaantui Suomessa 70-luvulla, kun kuumennuskäsittely jätettiin pois pölkkyjen valmistuksesta, mutta myös muita muutoksia oli tehty samalla. Esimerkiksi alkalien määrää sementissä oli pienennetty. Tutkimuksesta voi päätellä, että myös suomalaisessa kiviaineksessa esiintyy vakavaakin alkalikiviainesreaktiota tiettyjen olosuhteiden vallitessa.(32,40)

AKR:ta ja ettringiitin muodostumista on kuitenkin hankala erottaa toisistaan ja usein ne toimivat samanaikaisesti. Molemmat aiheuttavat silmin havaittavaa samanlaista halkeilua ja laajenemista erilaisista kemiallisista reaktioista huolimatta. Ettringiittireaktio tarkoittaa betonissa tapahtuvia sulfaattimineraalien reaktioita, jotka lämpötilan nousu yli 60 °C asteen laukaisee. Ettringiittireaktio tapahtuu usein nopeammin ja on haitallisempi kuin AKR. Reaktiot vahvistavat toisiaan, eikä edes laboratoriotutkimuksista voida varmasti sanoa, kumpi reaktio on rapautumisen käynnistänyt.(41)

5.7 Riskien välttäminen

ASR:ta voi ehkäistä pitämällä ilman suhteellinen kosteus alle 80 %:ssa. Betonia kuitenkin käytetään usein kosteissa olosuhteissa ja se on todettu hyväksi rakennusmateriaaliksi tiiviytensä ja kestävyytensä ansiosta. Betonia käytetään kosteissa olosuhteissa esimerkiksi uima-altaissa, padoissa, vesijohdoissa ja viemäreissä sen kosteuden kestävyuden vuoksi. Kosteus kuitenkin edistää reaktiota, joten tällaisissa ympäristöissä voisi olla kannattavaa käyttää matala-alkali sementtiä sisältävää betonia, jonka kiviaines on todettu hyväksi. (32)

Laboratoriotutkimukset sementin alkalipitoisuudesta ja kiviaineksen ominaisuuksista ovat tärkeässä roolissa reaktion ehkäisemiseksi. Tutkimukset ovat kuitenkin hitaita ja ne eivät välttämättä ole luotettavia, koska reaktioon vaikuttavat monet eri tekijät. Globaalia tutkimustapaa ei ole vielä kehitetty. Tärkeää ASR:n ehkäisyssä olisikin yhdistää kenttäkokeiden sekä laboratoriotutkimusten tuloksia.(32)

Kiviaineksen aikaisemmasta käyttäytymisestä käytännössä saa arvokasta tietoa reaktiivisuudesta, ja laboratoriotestauksesta saa suuntaa antavaa tietoa kiviaineksen sekä sementin reaktiivisuudesta. Laboratoriotestauksen kannalta olisikin tärkeää kehittää yhtenäinen testausmenetelmä, joka soveltuu Suomen kiviainekselle, ja määrittää näiden testien tuloksille raja-arvot. Kenttäkokeiden sekä laboratoriotulosten perusteella voisi olla mahdollista paikallistaa reaktiiviset kiviainekset Suomessa. Monista VTT:n tutkimuksen ASR-kohteista ei kuitenkaan ollut tietoa betonin valmistustavasta ja kiviaineesta, ja nämä ominaisuudet olisikin hyvä kirjata etenkin suurempien reaktiolle alttiiden betonirakennelmien kohdalla. Koulutus aiheesta edistäisi reaktioiden tunnistamista, ja kenttäkokeisiin olisikin hyvä luoda yhtenäiset ohjeet ASR:n todentamiseen.(1,32,33,34)

Pozzolaanisten tai mineraalisten materiaalien käyttö sementin seosaineena on havaittu joissain tutkimuksissa ehkäisevän ASR:n syntymistä, koska ne vähentävät sementin alkalisuutta ja muuttavat sen ominaisuuksia. Sementin seosaineina on käytetty lentotuhkaa, mikrosilikaa ja masuunikuonaa. Joissain tapauksissa seosaineet kuitenkin lisäävät alkalipitoisuutta ja kiihdyttävät reaktion syntyä. Seosaineiden käyttöä ja niiden vaikutusta olisi hyvä tutkia lisää. Seosaineiden tutkimukset pitää tehdä aina tapauskohtaisesti, sillä niiden koostumukset vaihtelevat suuresti. Seosaineet saattavat sisältää suuria määriä alkaleja, jotka voivat toimia myös ASR:n lähtöaineina. Suomessa lentotuhkan ja kuonien käyttö betonissa on yleistä, mikä on saattanut hillitä ASR:n esiintymistä. Kaikissa betonirakenteissa ei kuitenkaan seosaineita voida käyttää betonin ominaisuuksien muuttumisen vuoksi, vaan käyttö pitää suunnitella myös rakenteen teknisten vaatimusten mukaisiksi. Islannissa on käytetty mikrosilikaa noin 7,5 massaprosenttia sementissä jo vuodesta 1983 lähtien, ja käytöstä on saatu hyviä tuloksia. Ennen mikrosilikan käyttöönottoa Islannissa oli huomattavan paljon ASR:ta rakennuksissa. Kuitenkin suuret määrät mikrosilikaa, yli 15 m-%, ovat kiihdyttäneet alkalipiidioksidireaktiota. Seosaineita käytettäessä pitää ottaa huomioon myös niiden vaikutus betonin muihin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen ja elastisuuteen.(1,32,34)

Alkanutta reaktiota voidaan myös hidastaa pinnoittamalla materiaali, jolloin kosteutta ei pääse betoniin, tehostamalla kosteudenpoistoa ja estämällä mahdollisten suolojen pääsy materiaaliin esimerkiksi merivedestä tai pakkasenestosuolauksesta. Betonimateriaalit, joita käytetään kosteissa olosuhteissa, voitaisiin pinnoittaa jo etukäteen, mikäli se nähdään tarpeelliseksi.(1)

6 TUTKIMUKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin ratapölkky murskeen ominaisuuksia sekä kemiallisten, mekaanisten että fysikaalisten ominaisuuksien kannalta. Mekaanisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin lukeutuvat pakastus-sulatuksen vaikutus raekokoon, veden tunkeuma, sekä kapillaari-ilmion tutkiminen. Kokeilla selvitettiin betonimurskeen soveltuvuutta tien eri rakennekerroksiin. Työhön kuuluivat myös betonipölkkyjen murskausprosessin melumittaukset, joissa selvitettiin mahdollisten meluhaittojen vaikutusta asuinrakennuksille.

Kemiallisista ominaisuuksista tutkittiin liukoisuuksia veteen luonnon olosuhteita simuloiden sekä pölkkyjen sisältämien haitallisten aineiden kokonaispitoisuuksia. Työssä selvitettiin myös pakastus-sulatuksen vaikutusta liukoisuuksiin. Liukoisuuksille ja pitoisuuksille on MARA-asetuksessa säädetty raja-arvot, joihin saatuja tuloksia on verrattu. Osa kemiallisista tutkimuksista teetettiin alihankintana Porilabissa, sillä pitoisuudet olivat erittäin alhaisia ja vaativat tämän vuoksi tarkempia laitteita. Kaikki MARA-asetuksen vaatimat analyysit teetettiin standardien mukaisesti.

Betonipölkkyjen pulveroinnista syntyvän pölyn on väitetty aiheuttavan haittaa ihmisen terveydelle ja ympäristölle. Yksi syy pölkkyjen uusiokäytön vastustamiseen on, että betonipölkkyjen vaarallisuuteen saatetaan yhdistää rautateissä aiemmin käytetyt puiset ratapölkkyt, jotka on kyllästetty kreosootilla. Betonisten ratapölkkyjen valmistuksen tai huollon yhteydessä ei kreosootia käytetä. (Reino Kesola, VR Track)

6.1 Pitoisuuskokeet

6.1.1 Johdanto

Pitoisuuskokeissa selvitettiin ratapölkky murskeen sisältämät haitallisten aineiden määrät. Työ toteutettiin kahdella eri happouutolla, kuningasvesiuutolla sekä vahvalla typpihappouutolla. Näytteitä oli kolmea eri ratapölkky mallia: B75, B86 ja B97, joissa numerot kuvaavat pölkkyjen valmistusvuosia.

6.1.2 Työn suoritus

Työ suoritettiin uuttamalla 1 gramma ratapölkkyjauhetta, jonka raekoko oli alle 1 mm, 100 ml:aan väkevää typpihappoa tai kuningasvettä. Näytteitä sekoitettiin magneettisekoittajalla vuorokausi, jotta kaikki liukeneva materiaali ehti varmasti liueta. Tutkimus tehtiin jokaiselle ratapölkky mallille samalla tavoin kahdella eri hapolla.

Porilabille lähetettiin pitoisuuskokeita varten näyte B75 ratapölkystä. Porilab teetti työn alihankintana Eurofins Scientific Finland Oy:n laboratoriossa. Näytteen raekoko oli 30-40mm. Näytteeksi valittiin vanhin ratapölkky malli, sillä sen ajateltiin sisältävän pölkkyistä suurimmat haitallisten aineiden pitoisuudet. Ympäristövaatimukset pölkkyjen valmistuksessa ovat olleet tiukemmat myöhempään tuotettujen pölkkyjen aikaan. Myös tieto haitallisista aineista ja niiden vaikutuksista on ollut laajempaa myöhempinä vuosina. Näyte tutkittiin MARA-asetuksen osoittamien standardien mukaisesti (SFS-EN 12506, SFS-EN 13370). Laboratoriossa näyte pystyttiin tutkimaan hyvin tarkoilla laitteilla.(2)

Typpihappo- sekä kuningasvesiliuoksista analysoitiin haitallisten metallien kokonaispitoisuuksia liekkiatomiabsorptiospektrometriä eli liekki-AAS:a käyttäen, joka on MARA-asetuksen mukaisesti standardoitu menetelmä. Liekki-AAS menetelmällä tutkitaan alkuainepitoisuuksia liuoksista ja se perustuu atomien säteilyn absorptioon.

Laite sumuttaa näytteen nestemäisenä liekkiin, jossa näyte atomisoituu. Laitteessa on jokaisella alkuaineella oma ontto katodilamppu, joka säteilee alkuaineelle ominaista aallonpituutta. Mitä enemmän liuoksessa on alkuainetta, sitä enemmän absorboi säteilyä. Laitteen tarkkuus riippuu alkuaineesta, mutta yleensä tulokset ovat tarkkoja alueella 1-10 mg/l eli 1-10 ppm. Analyysiä varten valmistetaan jokaiselle tutkittavalle alkuaineelle standardiliuokset, joiden pitoisuudet tunnetaan. Standardiliuokset analysoidaan, jolloin saadaan standardisuora, jonka mukaan laite analysoi tutkittavan näytteen pitoisuuden. Usein standardiliuokset valmistetaan konsentraatioalueella 1-5 ppm, jolla alueella standardisuora on lineaarisin. Jotta mittaukselliset tulokset ovat luotettavia, näytteen pitoisuuden pitää osua standardisuoralta. (2)

Näytteet laimennettiin puhtaaseen ionivaihdettuun veteen suhteilla 1:10, 1:100 ja 1:1000. Vertailun vuoksi tehtiin yksi ylimääräinen näyte käyttäen B75 jauhetta ilman magneettisekoitinta.

6.1.3 Tulokset

Tutkittavien happoliuosten metallipitoisuudet olivat niin pieniä, että ne eivät yltäneet standardisuoralta kalsiumia ja rautaa lukuun ottamatta. Kalsium ja rauta eivät ole haitallisia metalleja eikä MARA-asetuksessa vaadita niiden tutkimista. Kalsiumin ja raudan pitoisuudet on kirjattu taulukkoon 1. Kalsium on sementin pääraaka-aine, ja on ilmeistä, että pääasiassa betonimurskeesta liukenee vain sitä. Sementissä on myös noin 3 massaprosenttia rauta(III)oksidia raaka-aineena. Muita metalleja, joita näytteistä analysoitiin, oli arseeni (As) kupari (Cu), kromi (Cr), nikkeli (Ni), lyijy (Pb) ja sinkki (Zn), joita voidaan pitää haittakomponentteina. Näiden metallien pitoisuudet olivat niin pieniä, ettei liekki-AAS menetelmä soveltunut niiden analysointiin.

Taulukko 1 Kalsiumin ja raudan pitoisuudet murskeessa.

| Näyte | Ca (g/kg) | Fe (g/kg) | Ca (m-%) | Fe (m-%) |
|-----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| B75 + HNO ₃ | 115,4 | 11,43 | 11,5 | 1,1 |
| B75 + AR | 112,1 | 23,2 | 11,2 | 2,3 |
| B75 + AR (ei sekoitettu) | 120,2 | 18,68 | 12 | 1,9 |
| B86 + HNO ₃ | 101,7 | 8,99 | 10,1 | 0,9 |
| B86 + AR | 96,1 | 17,39 | 9,6 | 1,7 |
| B97 + HNO ₃ | 98,1 | 10,54 | 9,8 | 1,1 |
| B97 + AR | 93,2 | 25,05 | 9,3 | 2,5 |

,jossa HNO₃= typpihappo, AR = kuningasvesi ja m-% = massaprosentti

Porilabille lähetetystä B75 näytteestä saatiin kattavat tulokset. Tutkimukset tehtiin MARA-asetuksen standardien mukaisesti akkreditoitussa Eurofinsin laboratoriossa ja näytteestä määritettiin metallien lisäksi myös muut MARA-asetuksessa vaadittavat aineet. Muut määritettävät aineet eivät yltäneet mittausrajoille. Liitteestä 3 sivulta 2 löytyvät tarkemmat selostukset kaikista tutkituista aineista. Taulukkoon 2 on koottu Eurofinsilla tutkitun näytteen metallipitoisuudet.

Taulukko2 Betonimurskeen metallipitoisuudet kuningasvesiuutolla (Eurofins).

| Alkuaine | Pitoisuus (mg/kg ka) | MARA raja-arvo (mg/kg ka) |
|--------------|----------------------|---------------------------|
| Arseeni (As) | 23 | 50 |
| Kadmium (Cd) | 0,3 | 10 |
| Kromi (Cr) | 39 | 400 |
| Kupari (Cu) | 37 | 400 |
| Lyijy (Pb) | 12 | 300 |
| Sinkki (Zn) | 74 | 700 |

,jossa ka tarkoittaa kuiva-ainetta.

6.1.4 Tulosten tarkastelu

Kaikki oppilaitoksen laboratoriossa tutkitut näytteet olivat tuloksiltaan tasaisia valmistusvuodesta riippumatta, ks. taulukko 1. Pitoisuuskokeissa tutkittiin raudan ja kalkin pitoisuuksia murskeessa, vaikka MARA-asetus ei kyseisiä tutkimuksia vaadi. Rauta ja kalkki eivät ole myöskään haittakomponentteja. Kalsium ja rauta ovat sementin raaka-aineita. Kalsiumia näytteissä oli 9-12 m-%, rautaa 1-2,5 m-%. Kokeella todennettiin, että pääasiassa betonimurske koostuu kalsiumista. Eurofinsilla alihankintana teetetyt standardien mukaiset testit kattavat MARA-asetuksen vaatimukset, ja kaikki analysoidut aineet ovat huomattavasti alle raja-arvojen. Muita tutkittavia aineita kuningasvesiuutossa tutkittujen lisäksi olivat muun muassa polyklooratut bifenyylit (PCB), öljyhiilivedyt ja aromaattiset hiilivedyt. Muiden analysoitujen aineiden määrät olivat kuitenkin niin pieniä, että ne eivät yllä edes määrittämissä rajoihin. Liitteessä 5 on vertailtu kokonaispitoisuuksien arvoja MARA-asetuksen raja-arvoihin.(2)

Kuningasvesiuutossa kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet olivat MARA-asetukseen verrattuna noin kymmenesosa raja-arvoista, jonka perusteella murskeen käyttö on turvallista, eikä se aiheuta haitallisia ympäristöpäästöjä. Arseenin pitoisuus 23 mg/kg oli puolet raja-arvosta. Arsenia esiintyy luonnostaan Suomen maaperässä, enimmillään jopa 44 mg/kg. Saadut tulokset kokonaispitoisuuksille alittivat reilusti MARA-asetuksessa annetut raja-arvot, joten niiden perusteella ratapölkky mursketta on turvallista käyttää. Kokonaispitoisuuksien määrittämisessä käytetään kuitenkin kuningasvesiuuttoa, joka liuottaa myös aineita, jotka eivät tavallisissa luonnon olosuhteissa liukenisi. Kuningasvesiuutto liuottaa myös osan betonissa käytetystä kiviaineksesta. Tämän vuoksi ympäristön kannalta tärkeämpi ominaisuus murskeen hyötykäytölle onkin mahdollinen haitallisten aineiden liukoisuudet veteen, jota on tutkittu liukoisuuskokeissa. (2,42)

6.2 Liukoisuuskokeet

6.2.1 Johdanto

Liukoisuuskokeissa määritettiin haitallisten aineiden liukoisuuksia sadeveten ja sadevettä hieman happamampaan veteen. Tutkimuksessa simuloitiin Suomen luonnon olosuhteita pakastus-sulatuskokeissa, jotta saataisiin selville miten murske käyttäytyy todellisissa luonnon olosuhteissa. Tavoitteena oli selvittää, liukeneeko murskeesta jäätymis-sulamisen aiheuttaman rapautumisen vuoksi tavallista enemmän epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien liukoisuus on ympäristön kannalta tärkeä kriteeri ja myös MARA-asetuksessa on asetettu standardi (SFS-EN 12457-3, 2-vaiheinen ravistelutesti) liukoisuuksien tutkimiseen sekä raja-arvot liukoisuuksille, ks. liite 1. Pakastus-sulatuskokeiden loppuvaiheen näytteistä lähetettiin myös näytteet tarkempaan analysointiin Porilabille.(2)

Näyte B75 pölkystä lähetettiin Porilabille standardien mukaiseen tutkimukseen. Näytteen raekoko oli 30-40 mm. Porilabilta näyte lähetettiin edelleen Eurofins Scientific Finland Oy:lle. Näytteet analysoitiin MARA-asetuksen osoittaman standardin, 2-vaiheinen ravistelutesti (SFS-EN 12457-3), mukaisesti.(2)

Vertailun vuoksi tutkittiin myös erikseen B86 jauheen, sementtijauheen, puhtaan kalsiumhydroksidin ja ruokintakalkin pH:ta ja johtokykyä vesiliuoksissa.

6.2.2 Työn suoritus

Näytteet valmistettiin jokaisesta ratapölkymallista (B75, B86, B97) sekä jauheista että 30-40 mm raekoon kappaleista. Vertailunäytteenä tutkittiin myös rautatien varrelta otettua luonnonkiviainesta, jonka raekoko oli myös 30-40 mm. Näytteet lisättiin näytepurkkeihin ja niihin lisättiin sadevettä. Jauheille käytettiin neste-kiinteä suhdetta 10, isommille kappaleille noin 1,5. B75 jauheesta ja 30-40 mm murskeesta sekä luonnonkiviaineksesta tehtiin myös näytteet, joissa käytettiin sadeveden sijaan happamampaa vettä, jonka pH oli 4. Jauheita punnittiin purkkeihin 5 g ja niihin lisättiin 50 ml sadevettä tai hapanta vettä.

Soraa ja 30-40 mm mursketta punnittiin noin 100 g ja niihin lisättiin 150 ml vettä. Kuvassa 7 ja 8 on näyteastiat, joissa sadevettä on lisätty jauheeseen sekä murskeeseen.



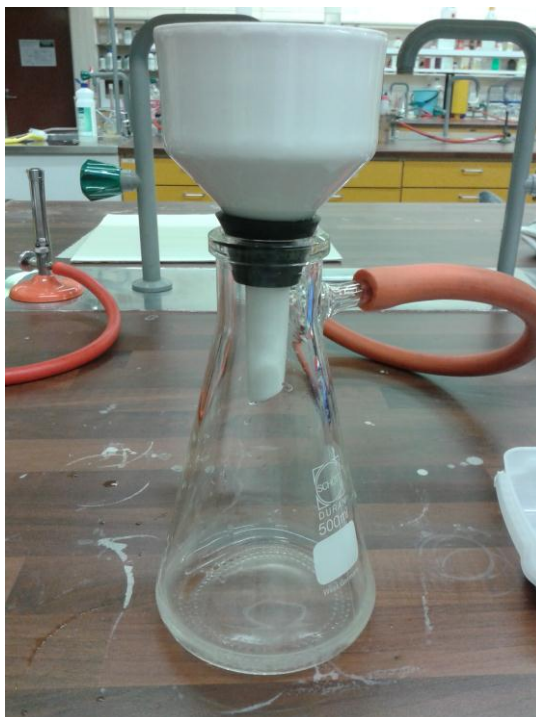
Kuva 7 Betonijauhe ja sadevesi

Kuva 8 Betonimurske (30...40 mm) ja sadevesi

Kaikista näytteistä valmistettiin viiden kappaleen sarjat pakastus-sulatuskokeisiin. Näytteet valmistettiin sarjana, jotta niitä voitiin tutkia pakastus-sulatuskokeen eri vaiheissa. Näytteet tutkittiin ennen kokeita, niiden aikana ja pakastus-sulatuskokeen jälkeen. Alku- ja loppuvaiheen näytteistä tehtiin myös rinnakkaisnäytteet testien luotettavuuden kasvattamiseksi. Alkuvaiheen rinnakkaisnäytteissä jouduttiin kuitenkin käyttämään eri päivänä kerättyä sadevettä, jonka ominaisuudet olivat hieman erilaiset alkuperäiseen sadeveteen nähden. Lämpötilat vaihtelivat välillä $-30\text{ °C} \dots +40\text{ °C}$. Keskivaiheen näytteet tutkittiin 4 vuorokauden pakastuksen jälkeen ja loppunäytteet 10 vuorokauden jälkeen. Työ suoritettiin samalla tavoin kuin 6.4 pakastus-sulatuskoe, ks. kuva 13 lämpötilavaihtelusta.

Vertailunäytteet valmistettiin samalla tavoin, kuin näytteet pakastus-sulatuskokeeseen. Näytteet olivat B86-jauhetta, sementtijauhetta, kalsiumhydroksidijauhetta ja ruokintakalkkia. Neste-kiinteä suhde oli 10 ja nesteenä käytettiin sadeveden sijasta deionisoitua vettä.

Pakastus-sulatusnäytteet suodatettiin imusuodatuksella Büchner-suppilolla veden erottamiseksi niistä, ks. kuva 9. Kuiva-aineet punnittiin ja vesinäytteistä mitattiin sekä pH että johtokyky. Metallien liukoisuudet määritettiin myös liekki-AAS:lla.



Kuva 9 Näytteiden imusuodatus

pH-mittaukset tehtiin sadevedelle ja pH 4:n vedelle ennen näytteisiin lisäämistä. pH:n arvo kertoo hyvin muutoksista liuoksien ominaisuuksissa ja se on nopeasti mitattavissa. pH kuvaa vetyionien aktiivisuutta. Alle 7 pH arvo on hapan, 7 neutraali ja yli 7 emäksinen. Asteikko on logaritminen. Mittari kalibroitiin aina ennen käyttöä tulosten luotettavuuden varmistamiseksi.

Johtokyky indikoi hyvin liuenneiden ionien määrää. Mittari on hyvin herkkä ja kertoo nopeasti muutoksista ionien määrässä. Johtokykymittaus on myös hyvin nopea tapa saada tietoa liuenneista ioneista. Johtokyky on riippuvainen liuoksen pH:sta, koska pH:n muutokset neutraalista vapauttaa joko vety- tai hydroksyyli-ioneja. Johtokyky riippuu myös lämpötilasta, mutta käytetyissä mittareissa on automaattinen lämpötilakompensaatio. Johtokyvyn arvo on riippuvainen myös vapaiden ionien laadusta. Pienemmät ionit, kuten vetyionit, ovat mobiileja ja nostavat tuntuvasti johtokykyä. Mittarin toimintavarmuus tarkistettiin aina ennen määrittämiä mittaamalla synteettisesti valmistettujen liuosten johtokyvyt deionisoidulle vedelle, vesijohtovedelle, 0,01 mol/l ja 0,001 mol/l natriumkloridiliuoksille.

Johtokyky ja pH arvot mitattiin kaikille näytteille. Myös kaikki rinnakkais- ja vertailunäytteet, sekä sadevesi että happamampi vesi (pH=4) tutkittiin. Vertailun vuoksi mitattiin deionisoidun veden, vesijohtoveden ja kummankin NaCl liuoksen ominaisuudet.

6.2.3 Tulokset

Liitteessä 4.1 nähdään tulokset näytteiden pH-arvoista, johtokyvystä ja kuiva-aineiden massoista. Sadevesien ja happamamman pH 4-liuoksen pH:t ja johtokyvyt ennen kokeita löytyvät taulukosta 3. Sadevesi 2:ta käytettiin ainoastaan alkuvaiheen rinnakkaisnäytteille. Liitteessä 4.8 esitetään tulokset alku- ja loppuvaiheen rinnakkaisnäytteiden sekä erillisten vertailunäytteiden johtokyvyistä ja pH-arvoista. Liekki-AAS:lla tutkittiin näytteistä arseenin, kalsiumin, kromin, kuparin, lyijyn, nikkelin, raudan ja sinkin pitoisuuksia. Sekä alku-, keskivaihe- että loppunäytteissä pakastus-sulatuskokeessa liukoisuudet eivät yltäneet mittausrajoille kalsiumia lukuun ottamatta. Laitteen mittaustarkkuus on noin 0,5-1 mg/l. Kalsiumin liukoisuudet veteen nähdään liitteestä 4.2.

Taulukko 3 Käytettyjen vesien ominaisuudet

| | Sadevesi 1 | Sadevesi 2 | pH 4-liuos |
|-------------------|------------|------------|------------|
| pH | 5,77 | 6,3 | 4,0 |
| Johtokyky (µS/cm) | 33 | 59 | 37 |
| Lämpötila (°C) | 24,2 | 24,2 | 21,5 |

Porilabissa analysoitiin pakastus-sulatuskokeen loppuvaiheen näytteitä tarkemmalla ICP - (induktiivisesti kytketty plasma – optinen emissio) laitteella. Analysoitavat metallit olivat: kromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Arseni määritettiin GFAAS:llä (grafiittiuuni-atomiabsorptiospektrometri). Viisi näytettä (4,8,24,32 ja 40), ks. liite 4.1, valittiin edustamaan mahdollisimman hyvin koko materiaalia. Näytteestä 4 analysoitiin kaikki edellä mainitut metallit. Muista näytteistä analysoitiin vain arseni ja lyijy, jotka ovat haitallisimpia ympäristölle. Tulokset nähdään liitteissä 4.1...4.7.(43)

Eurofins laboratorion tulokset standardinmukaisesta kaksivaiheisesta ravistelutestistä murskeelle on koottu liitteeseen 3.3.

6.2.4 Johtokyvyn avulla laskettu teoreettinen maksimimäärä kalsiumille

Liukoisuuskokeissa saatujen johtokykyjen arvojen perusteella voidaan teoreettisesti laskea kalsiumhydroksidin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) maksimipitoisuus vesiliuoksissa ionien molaaristen johtokykyarvojen avulla, olettaen, että vesinäytteet eivät sisällä muita ioneita. Tulos on täten maksimiarvo kalsiumhydroksidia, jota vastaavalla johtokyvyn arvolla voi olla, koska muita sadeveden sisältämiä ioneita ei huomioida. Edelleen oletetaan, että kalsiumhydroksidi on täysin liuennut happamaan sadeveteen, mikä on hyvinkin todennäköistä $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -pitoisuuden ollessa tasolla 1 g/l. Kalsiumhydroksidia liukenee puhtaaseen veteen 25 °C-asteen lämpötilassa n. 1 g/l.

$$K = \sum_{i=1}^N \lambda_{m,i} c_i \quad (1)$$

,jossa K = johtokyky (S/cm)

$\lambda_{m,i}$ = ionien molaarinen konduktiivisuus äärettömän laimeassa vesiliuoksessa lämpötilassa 25 °C (Scm^2/mol)

c_i = konsentraatio (mol/l)

$$K_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = (\lambda_{m,\text{Ca}^{2+}} + 2\lambda_{m,\text{OH}^-}) c_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \quad (2)$$

Laskennassa käytetään keskivaiheen jauhamaisten liukoisuusnäytteiden johtokykyjen arvojen keskiarvoa 6806,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sillä niiden johtokyvyt olivat mittauksissa suurimmat, eli niihin on liuennut eniten kalsiumhydroksidia. Kaavasta ratkaistaan johtamalla $\text{Ca}(\text{OH})_2$:n konsentraatio sadevesinäytteissä seuraavasti:

$$c_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{K}{\lambda_{m,\text{Ca}^{2+}} + 2\lambda_{\text{OH}^-}} \quad (3)$$

$$c_{Ca(OH)_2} = \frac{0,0068067 \text{ S/cm}}{119 \text{ Scm}^2/\text{mol} + 2 \cdot 198,3 \text{ Scm}^2/\text{mol}} = 0,0132 \text{ mol/l}$$

Konsentraation ja moolimassan perusteella voidaan laskea kalsiumhydroksidin pitoisuus liuoksessa milligrammoina:

$$pitoisuus = c_{Ca(OH)_2} M_{Ca(OH)_2} = 0,0132 \text{ mol/l} \cdot 76 \text{ g/mol} = 1 \text{ g/l} \quad (4)$$

Pitoisuuden avulla saadaan laskettua kalsiumhydroksidille teoreettinen maksimimäärä, jota sitä on tällä johtokyvyllä voinut liueta kiloa betonia kohden, kun sadeveden tilavuus $V_{sadevesi} = 50 \text{ ml}$ ja jauheen massa $m_{jauhe} = 5 \text{ g}$ ovat tunnettuja:

$$m_{Ca(OH)_2} = pitoisuus \cdot V_{sadevesi} = 1 \text{ g/l} \cdot 0,05 \text{ l} = 0,05 \text{ g} \quad (5)$$

Kun saatu massa jaetaan näytteen jauheen massalla $m_{jauhe} = 5 \text{ g}$, saadaan kalsiumhydroksidin määrä laskettua grammaa betonijauhetta kohden, josta saadaan kiloa betonijauhetta kohden kertomalla arvo tuhannella.

$$\frac{m_{Ca(OH)_2}}{m_{jauhe}} \cdot 1000 \text{ g} = \frac{0,05 \text{ g}}{5 \text{ g}} \cdot 1000 \text{ g} = 10 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \quad (6)$$

Teoreettinen maksimimäärä keskivaiheen jauhenäytteissä kalsiumhydroksidin liuenneisuudelle on siis 10 grammaa yhtä kiloa betonijauhetta kohden. Pelkän liuenneen kalsiumin määrä saadaan laskettua moolimassojen avulla:

$$\frac{M(Ca)}{M(Ca(OH)_2)} \cdot 10 \text{ g/kg} = \frac{40 \text{ g/mol}}{76 \text{ g/mol}} \cdot 10 \text{ g/kg} = 5,26 \text{ g/kg} \quad (7)$$

Saatu teoreettinen maksimi-arvo kalsiumin liuenneisuudelle vastaa hyvin liekki-AAS-menetelmällä mitattuja arvoja keskivaiheen näytteissä. Suurin saatu AAS:lla mitattu arvo on 4,12 g/kg. Johtokyky on erittäin herkkä mittari ja mittaa myös muiden läsnä olevien ionien johtokykyä, minkä takia teoreettisesti saatu arvo on hieman suurempi kuin kokeellisesti mitattu.

Arvot ovat kuitenkin erittäin lähellä toisiaan, jonka perusteella voidaan sanoa, että kalsiumhydroksidin lisäksi näytteissä ei juurikaan muita ioneita ole.

6.2.5 pH:n avulla laskettu teoreettinen maksimimäärä kalsiumille

Liukoisuusnäytteiden pH-arvojen avulla saadaan laskettua teoreettisesti kalsiumin määrä liuoksissa. Laskuissa pitää kuitenkin ottaa huomioon, että näytteissä käytetty sadevesi on hieman hapanta, eli sisältää vetyioneita (H^+), jotka neutraloivat kalsiumhydroksidin hydroksyyli-ioneita (OH^-). Yksi vetyioni reagoi yhden hydroksyyli-ionin kanssa vedeksi. Näytteissä käytetty sadeveden pH oli 5,77 ennen murskeiden lisäämistä veteen. Tällöin veden vetyionikonsentraatio on:

$$pH = -\log[H^+] \quad (8)$$

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-5,77} = 1,7 \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Laskusta saatu vetyionikonsentraatio vastaa kulutettujen hydroksyyli-ionien konsentraatiota, ja tämä arvo pitää lisätä tuloksiin määrittettäessä kalsiumionien (Ca^{2+}) konsentraatiota. Laskuissa käytetään keskivaiheen sadevesinäytteiden, joihin on lisätty betonijauhetta, pH-arvojen keskiarvoa $pH = 11,83$, jolloin pOH:

$$pOH = 14 - pH = 14 - 11,83 = 2,17 \quad (10)$$

pOH:n avulla saadaan ratkaistua vapaiden hydroksyyli-ionien konsentraatio näytteessä:

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-2,17} = 6,76 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \quad (11)$$

Hydroksyyli-ionien konsentraation avulla saadaan laskettua liuenneiden kalsiumionien määrä liuoksessa. Kalsiumhydroksidin liukenemisen reaktioyhtälö on seuraava:



Reaktioyhtälön mukaan kaksi hydroksyyli-iona vastaa yhtä kalsiumionia, joten kaavasta 11 laskettu hydroksyyli-ionikonsentraatio pitää jakaa kahdella:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{6,76 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}}{2} = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \quad (13)$$

Moolimassan avulla saadaan kalsiumin pitoisuus näytteessä:

$$\text{pitoisuus} = c(\text{Ca}^{2+})M(\text{Ca}^{2+}) = 3,381 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \text{ g/mol} = 0,135 \text{ g/l} \quad (14)$$

Sadeveden määrä näytteessä on $V_{\text{sadevesi}} = 50 \text{ ml}$, jonka avulla saadaan liuenneen kalsiumin massa:

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \text{pitoisuus} \cdot V_{\text{sadevesi}} = 0,135 \text{ g/l} \cdot 0,05 \text{ l} = 0,00675 \text{ g} \quad (15)$$

Näytteessä jauhetta käytettiin 5 g, jonka vuoksi tulos jaetaan viidellä ja kerrotaan edelleen tuhannella grammalla, jotta saadaan tulos kiloa betonijauhetta kohti:

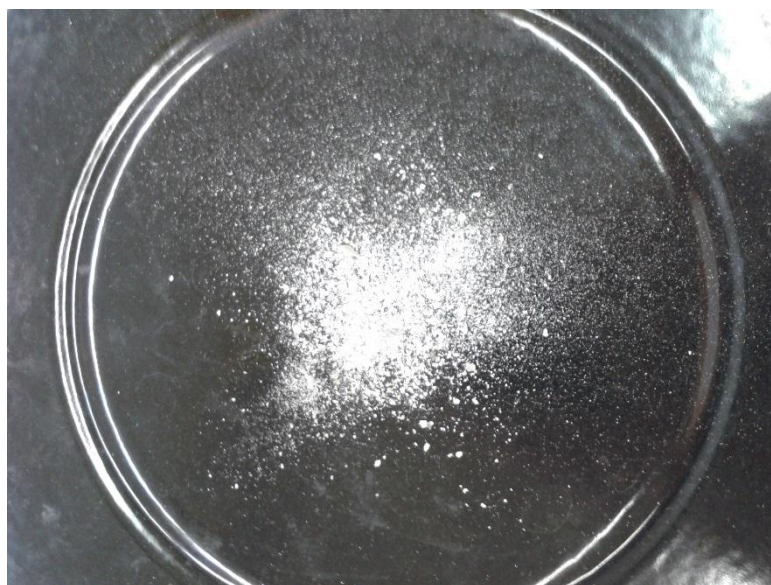
$$\frac{0,00675 \text{ g}}{5 \text{ g}} \cdot 1000 \text{ g} = 1,35 \text{ g/kg} \quad (16)$$

Arvo on selvästi alempi, kuin johtokyvyn avulla saatu 5,26 g/kg. Johtokyvyn avulla laskettuun tulokseen vaikuttavat kuitenkin muutkin ionit, joita ei ole otettu huomioon. pH:n avulla ratkaistu kalsiumin määrä taas on hieman alakanttiin verrattuna keskimääräisiin AAS:illa mitattuihin arvoihin liitteessä 4.2.

Liuoksessa on kuitenkin saattanut olla komponentteja, jotka ovat vaikuttaneet näytteen pH:ta alentavasti, ja täten kaikki kuluneet hydroksyyli-ionit eivät välttämättä näy pelkästään laskemalla lähtökohdan sadeveden matalan pH:n kuluttamia ioneita. Osa kalsiumhydroksidista on myös voinut muuttua muotoaan kalsiumkarbonaatiksi. Kalsiumkarbonaatti on heikko emäs, kun taas kalsiumhydroksidi on vahva emäs ja nostaa enemmän pH:n arvoa.

6.2.6 Kalkkikiven muodostuminen vesiliuoksissa

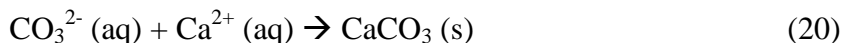
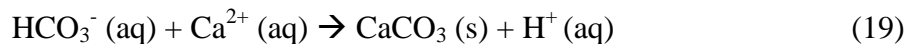
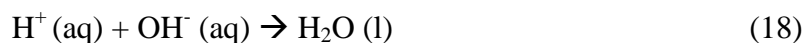
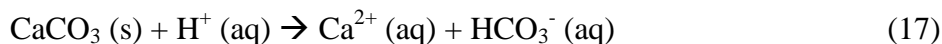
Loppunäytteissä havaittiin, että purkin reunoille ja kanteen oli kiteytynyt valkoista ainetta. Myös suodatusvaiheessa suodatinpaperille jäi kiinteää jauhetta, ks. kuva 10. Astiasta ei kuitenkaan pakastus-sulatuskokeessa ole päässyt haihtumaan nestettä, sillä purkit olivat suljettuja, joten nestemäärän väheneminen ei ole voinut johtaa kiteytymiseen. Valkoinen jauhe oli huonosti veteen liukenevaa. Kiteytynyt jauhe tunnistettiin kalsiumkarbonaatiksi (CaCO_3) eli kalkkikiveksi.



Kuva 10 Kiinteää valkoista ainetta suodatinpaperin pinnalta, ympyrän D noin 10 cm

Betonista liuennut kalsiumhydroksidi on pH:n noustessa ja ajan kuluessa reagoi veden sisältämän bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) kanssa. Sadevesi on hapanta ja sen vetyionit reagoivat kalsiumhydroksidin kanssa. Happamassa vedessä kalkkiyhdisteiden liukoisuus kasvaa. Vetyioneita syntyy myös bikarbonaatin reaktiossa kalsiumin kanssa.

Sadeveden ja kalsiumhydroksidin reaktioita:



Kalsiumkarbonaatti on huomattavasti kalsiumhydroksidia niukkaliukoisempaa. Näiden yhdisteiden liukoisuuksia voidaan vertailla liukoisuustulojen avulla. Kalsiumhydroksidia voi liueta veteen seuraavasti:



$$\text{Liukoisuustulo: } K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 8 \cdot 10^{-6} \quad (22)$$

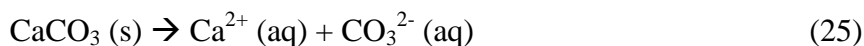
$$x \cdot (2x)^2 = 8 \cdot 10^{-6} \rightarrow x = 0,0126 \text{ mol/l} \quad (23)$$

,jossa x = kalsiumhydroksidin konsentraatio

Pitoisuutena laskettuna, kalsiumhydroksidin moolimassa $M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 76 \text{ g/mol}$:

$$\text{Pitoisuus: } 0,0126 \text{ mol/l} \cdot 76 \text{ g/mol} = 0,9576 \text{ g/l} \approx 960 \text{ mg/l} \quad (24)$$

Kalsiumkarbonaatin liukeneminen veteen:



$$\text{Liukoisuustulo: } K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 4,8 \cdot 10^{-9} \quad (26)$$

$$x^2 = 4,8 \cdot 10^{-9} \rightarrow x = 6,92 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \quad (27)$$

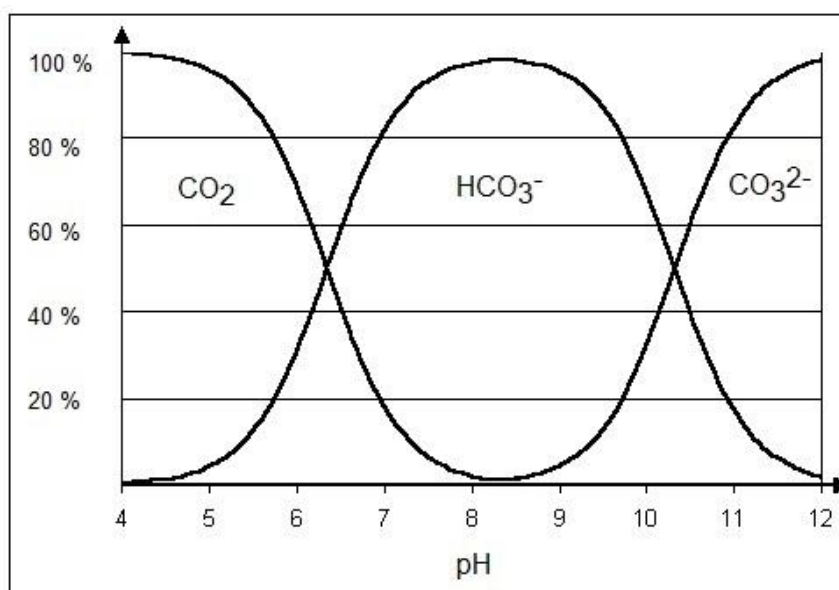
Pitoisuutena laskettuna, kalsiumkarbonaatin moolimassa $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g/mol}$:

$$\text{Pitoisuus: } 6,92 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \cdot 100 \text{ g/mol} = 0,00692 \text{ g/l} \approx 6,9 \text{ mg/l} \quad (28)$$

Liukoisuustulojen perusteella kalsiumhydroksidia voi liueta veteen siis noin 140-kertainen määrä kalsiumkarbonaattiin verrattuna. Saatu tulos tukee hyvin teoriaa, että kalsium on reagoinut ajan kanssa näytteissä kalsiumhydroksidista kalsiumkarbonaatiksi, koska kalsiumkarbonaatti on huomattavasti niukkaliukoisempi. Alku- ja keskivaiheen pakastus-sulatuskokeen näytteissä huomattavaa kalkkikiven kiteytymistä ei vielä havaittu, mutta kun näytteet olivat olleet kymmenen päivää pakastuksessa, kalkkikivi oli alkanut kiteytymään.

6.2.7 Hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin esiintyminen vedessä

Hiilidioksidin (CO_2), bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) tasapaino ja niiden esiintyminen vedessä on riippuvainen veden pH:sta, katso kuvaaja 1. pH:n ollessa hieman hapan vedessä esiintyy pääasiassa hiilidioksidia ja vähän bikarbonaattia. Veden muuttuessa alkaliseksi pH:n ollessa noin 7-10 bikarbonaatti on yleisin esiintymismuoto, ja pH:n ylittäessä 10 karbonaatti on vallitseva. Tutkituissa vesinäytteissä pH oli kaikissa 11-12, eli yleisin muoto, joka esiintyy kyseisissä olosuhteissa, on karbonaatti. Karbonaatti reagoi herkästi kalsiumin kanssa kalkkikiveksi, joka myös kokeissa todettiin.

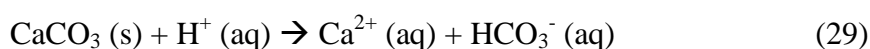


Kuvaaja 1 Hiilidioksidi-, bikarbonaatti- ja karbonaattitasapaino (44)

6.2.8 Kalkkikiven käyttäytyminen maaperässä

Kalsiumkarbonaattia eli kalkkikiveä käytetään yleisesti maaperän happamuuden säätelyyn. Suomen maaperä on usein liian hapan kasveille ja maan kalkitsemisella pyritään luomaan hyötykasveille optimaaliset kasvuolosuhteet. Kalkkikiven maan neutraloiminen perustuu sen kykyyn sitoa vetyioneita. Kalkkikiven reagoiessa happaman veden kanssa muodostuu kalsium- ja bikarbonaatti-ioneita.

Kalkkikiven reaktio vetyionin kanssa:



6.2.9 Tulosten tarkastelu

Pakastus-sulatuskokeen näytteiden pH:t ja johtokyvyt nousivat odotetusti korkeiksi verrattuna sadeveden ominaisuuksiin ilman mursketta. Taulukkoa 3 vertaillen liitteen 4.1 pH- ja johtokykyarvoihin näkee selkeää arvojen nousua, kun sadeveteen lisätään mursketta. Korkea johtokyky johtuu pääasiassa korkeasta pH:sta, jolloin vapaat hydroksyyli-ionit ovat vastuussa sähkönkuljetuksesta. Kaikkien näytteiden pH:t ja johtokyvyt olivat samaa tasoa, jonka perusteella voidaan olettaa, että eri vuosina valmistettujen pölkkyjen ominaisuudet liukoisuuden kannalta ovat melko samanlaiset. pH:n arvot kaikilla betoninäytteillä rinnakkaisnäytteet mukaan lukien olivat välillä 11,1...11,9 eli valmistusvuodella ja murskeen raakoolla ei ollut suurta merkitystä tuloksiin. pH:n ja johtokyvyn arvot kasvoivat lievästi alkunäytteitä verratessa keskivaiheen näytteisiin. 30-40 mm raekoon murskenäytteillä oli hieman alemmat pH:t kuin jauhemaisilla näytteillä. Johtokyvyn arvot 30-40 mm murskekappaleilla olivat kuitenkin puolet pienempiä, kuin jauhenäytteiden arvot, joten tuloksia tarkastellessa pitää huomioida myös raekoon vaikutus. Rinnakkaisnäytteiden tuloksista liitteessä 4.8 näkee hyvin tulosten tasaisuuden ja hyvän toistettavuuden. Rinnakkaisnäytteiden pH- ja johtokyky mittaukset vastaavat erinomaisesti alkuperäisnäytteiden tuloksia. Tulosten perusteella johtokyky- ja pH-mittaukset murskenäytteille ovat luotettavia ja toistettavuus on hyvä.

Vertailunäytteiden tutkimuksessa huomattiin, että B86 pölkystä valmistettu jauhe nostaa liuoksen pH:n ja johtokyvyn arvoa vähemmän, kuin puhdas sementti tai synteettinen kalsiumhydroksidi ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Sementtijauhe- ja kalsiumhydroksidiliuoksilla johtokyky oli lähes kaksinkertainen verrattuna ratapölkkyjauheeseen. Ruokintakalkki ei nosta paljoa veden pH:ta eikä johtokykyä. Tuloksiin liitteeseen 4.8 on kirjattu myös deionisoidun- ja vesijohtoveden pH- ja johtokykyarvot, joiden avulla näkee hyvin jauheiden lisäämisen vaikutuksen kyseisiin ominaisuuksiin. Kokeet suoritettiin deionisoidun veden kanssa. Sementti- ja kalsiumhydroksidijauheet nostivat veden pH:n noin kolminkertaiseksi ja johtokyvyn noin 600-kertaiseksi. Tuloksista näkee hyvin, että johtokyky on erittäin herkkä mittari ja reagoi rajusti jo pieniin muutoksiin liuoksissa.

Loppunäytteiden pH:t ja johtokyvyt olivat suurimmaksi osaksi alhaisemmat kuin alku- ja keskivaiheen näytteiden. Tämä johtuu kalkin uudelleen kiteytymisestä näytteissä, jota oli nähtävissä purkin reunoissa ja kansissa. Murskeen sekoittaminen veteen nosti liuoksen pH:n korkeaksi, mutta tässä on huomioitava, että näytteet liuotettiin erittäin pieneen vesimäärään ja jauheilla on suuri ominaispinta-ala. Kalkkia käytetään maanparannusaineena, koska pääasiassa Suomen maaperä on liian hapan. Kalsiumia ei tarvitse MARA-asetuksen mukaan analysoida ja se ei ole haitallinen aine ympäristölle vaan ennemminkin hyödyllinen. Liekki-AAS tekniikalla ei pystytty mittaamaan näytteiden metallipitoisuuksia, mikä osoittaa, että tutkittavien alkuaineiden pitoisuudet olivat erittäin alhaisia, jopa olemattomat.

Porilabin laboratoriossa analysoiduista pakastus-sulatuskokeen loppuvaiheen näytteistä ei löydetty merkittäviä pitoisuuksia tutkittuja alkuaineita. Pitoisuudet olivat erittäin pieniä, mikrogrammoja litrassa. Näytteessä 4, josta analysoitiin arseeni, kromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki, eivät arseenin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet yltäneet edes mittausrajoille. Kromia, kuparia ja sinkkiä analysoitiin muutama mikrogramma litrassa, mikä tarkoittaa muutamaa miljardisosaa. Määrät ovat käytännössä katsoen merkityksettömiä. Myöskään muista betonimurskenäytteistä, joista analysoitiin lyijyä ja arseenia, eivät tulokset yltäneet mittausrajoille. Mittausraja arseenille oli $2 \mu\text{g/l}$ ja lyijylle $10 \mu\text{g/l}$.

Näyte 40 oli luonnonkiviainesnäyte ratapihalta, ja se oli ainoa näytteistä, jonka arseenipitoisuus ylitti mittausrajan. Näytteen 40 arseenipitoisuus oli kuitenkin vain 4 µg/l, eli sekin on hyvin pieni.

Teoreettisesti sekä johtokyvyn että pH:n avulla lasketut kalsiumin maksimimäärät vastasivat erinomaisesti kokeellisesti saatuja tuloksia. Johtokyvyn ja pH:n arvoihin voi myös mahdollisesti vaikuttaa muut liuoksissa olevat ionit, mutta kokeellisesti saadut tulokset vastasivat erittäin hyvin teoreettisia laskelmia, joten voidaan olettaa että muita ioneita ei juuri liuoksissa esiinny. Pääasiassa betonimurskenäytteistä liukenee siis vain kalsiumia. Näyteastioihin kiteytynyt valkoinen aine todistettiin teoreettisten liukoisuuslaskelmien avulla niukkaliukoiseksi kalkkikiveksi, joka maaperässä säätelee liiallista happamuutta. Kalsiumhydroksidia voi liueta 140-kertainen määrä kalsiumkarbonaattiin verraten, minkä vuoksi kiteytymistä alkoi näytteissä tapahtua reaktion edetessä. Myös hiilidioksidin (CO₂), bikarbonaatin (HCO₃⁻) ja karbonaatin (CO₃²⁻) esiintyminen vedessä eri happamuuksissa tukee teoriaa kalsiumhydroksidin (Ca(OH)₂) reagoimisesta kalsiumkarbonaatiksi (CaCO₃). Emäksisissä olosuhteissa yleisin muoto on karbonaatti, joka reagoi kalsiumin kanssa kalkkikiveksi. Kaikissa näytteissä pH:t olivat välillä 11-12.

Eurofins analysoi murskenäytteestä asetusten mukaiset liukoisuuksien arvot. Kaikki analysoidut haitalliset aineet alittivat määrittämissä raja-arvoissa. Testissä tehdyt johtokyky- ja pH-mittaukset olivat samaa luokkaa aikaisempien tutkimusten kanssa, kun ottaa huomioon neste-kiinteäsuhteet. (ks. liitteet 3.3 ja liite 4.1) Ainoat metallit, joiden pitoisuudet ylittivät mittausten toteutamisrajan, olivat barium 3,7 mg/kg kuiva-ainetta, sulfaatti 24 mg/kg ka ja liuennut orgaaninen hiili (DOC) 16 mg/kg ka. Raja-arvo bariumille on 20 mg/kg ka, sulfaatille 1000 mg/kg ka ja liuenneelle orgaaniselle hiilelle (DOC) 500 mg/kg ka.

Kokonaispitoisuudet sekä liukoisuudet olivat huomattavasti MARA-asetuksessa vaadittuja alhaisempia. Liitteessä 5 On vertailtu Eurofins laboratorion tuloksia MARA-asetuksen vaatimuksiin.(2)

6.3 Melumittaukset

6.3.1 Johdanto

Betonipölkkyjen murskaaminen ja uusiokäyttö on aiemmin aiheuttanut vastustusta ja muun muassa Ely-keskus on pitänyt pulverointia haitallisena. Murskausta on vastustettu esimerkiksi siksi, että murskausprosessin väitettiin aiheuttavan asuinrakennuksille meluhaittoja ja ympäristölle haitallista pölyämistä.(45)

Suurin syy pölyämisen pelkoon on todennäköisesti se, että betonipölkkyjen murskaamisesta käytetään Suomessa virallisesti termiä pulverointi. Pulverointi saatetaan terminä käsittää väärin, sillä nimityksestään huolimatta pulveroinnilla tarkoitetaan betonipölkkyjen murskaamista määrittelemättömään raekokoon. Pulveroinnissa syntyvä betonimurske on pienimmillään alle 1 mm:n ja suurimmillaan 150 mm raekoon mursketta. Betonipölkkyjen sisältämät raudat erotellaan pulveroinnin yhteydessä. Suomessa käytettävällä nykyisellä murskausmenetelmällä betonipölkkyjen pulveroinnissa saatu murske seulotaan vasta jälkikäteen haluttuun raekokoon. Tällä hetkellä betonipölkkyjä pulveroidaan vain Valkeakoskella. Pulveroinnissa käytetään kaivinkoneeseen liitettävää leukamurskainta. Kuvasta 11 nähdään pulveroinnissa käytetty kaivinkone. (Reino Kesola, VR Track)(Kari Salminen)

Opinnäytetyötä varten tehtiin melumittaus betonipölkkyjen murskaamiseen liittyen. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, kuinka paljon melua pulverointi nykyisin käytetyllä menetelmällä aiheuttaa ja kuinka etäällä asutuksesta pulverointi tulee suorittaa. Tutkimuksessa otettiin myös kantaa asuinrakennuksille syntyvästä meluhaitasta. Melumittauksen suoritus toteutettiin standardia EN ISO 3744:2009 mukailleen. Mittauksissa käytettiin myös standardin SFS 4578 määäämiä menetelmiä. Mittaustuloksien ja Valtioneuvoston päätöksen melutason ohjearvoista mukaan laskettiin lainmukainen etäisyys pulveroinnin suorittamiseksi asuinalueesta päiväsaikaan. Valtioneuvoston päätöstä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä.(46)



Kuva 11 Pulveroinnissa käytetty kaivinkone. Kaivinkoneeseen on asennettu leukamurskain.

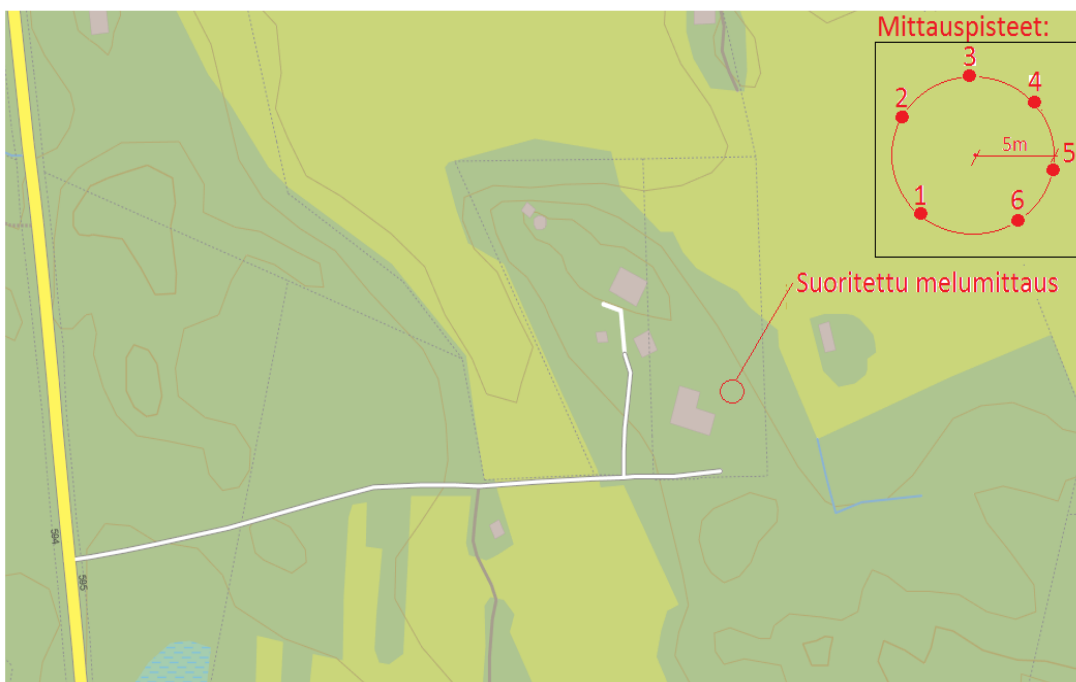
6.3.2 Työn suoritus

Mittausten alussa kirjattiin vallitsevat sääolosuhteet. Säähavaintojen kirjaamisessa käytettiin Forecan Pirkkalan säähavainnointiaseman mittaustietoja ja anemometriä, jonka avulla mitattiin 5 minuutin tuulen nopeuden keskiarvo. Työtä jatkettiin merkkamalla maahan mittauspisteet murskauksessa käytettävän kaivinkoneen ympärille. Kuvasta 12 voidaan nähdä mittauspisteiden sijoitus. Mittausetäisyys kaivinkoneesta oli viisi metriä, jota lisättiin standardin EN ISO 3744:2009 ohjeistamasta neljästä metristä työturvallisuuden lisäämiseksi. Mittausetäisyyden vaihtaminen on otettu huomioon laskelmien kaavoissa.

Melumittaukset suoritettiin mittaamalla äänenpainetaso kymmenessä eri pisteessä kaivinkoneen ympäriltä kaivinkoneen pulveroidessa betonipölkkyjä. Kaivinkoneen suorittamaan pulverointiin kuului pölkkyjen murskaus ja niiden sisältämien rautojen erottelu.

Mittauksia tehtiin kuusi yhden metrin korkeudelta, sekä neljä kahden metrin korkeudelta. Mittauspisteiden sijoituksella pyrittiin luomaan ääntä tasaisesti jakava puoliavaruusmalli. Mittaustuloksia kirjattiin yhdestä mittauspisteestä viiden sekunnin välein. Näin jatkettiin 5 minuuttia jokaisen mittauspisteen kohdalla. Yhdestä mittauspisteestä tuli siis 60 tulosta. Kaikki mittauspisteiden tulokset summaamalla mittaustuloksia saatiin yhteensä 600. Melumittarin asetuksissa käytettiin SFS 4578 standardin määäämiä A-ekvivalenttitason painotusta, sekä aikapainotusta S (slow). Melumittauksessa käytettiin Cirrus CR:2520 melumittaria.

Mitattujen tulosten keskiarvojen avulla laskettiin ensin äänenpainetaso L_{PA} . Ratkaistun äänipainetason avulla ratkaistiin äänitehotaso L_{WA} . Äänitehotason, sekä Valtioneuvoston päätöksen melutason ohjearvoista asettaman päiväohjearvon avulla laskettiin pulveroinnin vähimmäisetäisyys asuinalueesta.



Kuva 12 Melumittausten suorituspaikka ja mittauspisteiden sijoitus kaivinkoneen ympäriltä.

Mittaukset suoritettiin metrin korkeudelta pisteistä 1-6. Pisteistä 1,2,4 ja 6 suoritettiin mittaukset myös kahden metrin korkeudelta.

6.3.3 Tulokset

Mittaustilanteessa vallinneet sääolosuhteet ja säähavainnointiasema:

Pirkkalan havainnointiasema

Päivämäärä: 3.7.2014

Vallitseva sää: Puolipilvinen

Ilmanpaine: 1007,0 hPa

Suhteellinen kosteus: 64 %

Lämpötila: +19 C°

Tuulen suunta: Lounaaseen

Tuulen nopeus: 12 m/s

Murskausta suorittanut kaivinkone osoitti lounaaseen.

Syntyneen äänen luonne: Kaivinkoneesta lähtevä ääni on tasaista, murskauksesta syntyvä ääni vaihtelevaa.

Mittausten kesto: 5 min / mittauspiste

Melumittausten kokonaiskesto: 50 min

Mittauksista saadut tulokset ovat mittauspöytäkirjassa liitteessä 2, jossa on yksikkönä desibeli, dB. Jokaisen mittauspisteen tulosten keskiarvo on lisätty äänenpainetason laskennan kaavaan.

Laskenta suoritettiin standardin EN ISO 3744:2009 ohjeiden mukaan.

Äänenpainetaso (L_{PA}):

$$L_{PA} = 10 * \lg * \left(\frac{1}{10} (10^{7,29} + 10^{7,46} + 10^{7,62} + 10^{8,39} + 10^{8,20} + 10^{7,86} + 10^{8,04} + 10^{8,43} + 10^{7,46} + 10^{7,79}) \right) \quad (30)$$

, jossa $L_{PA} = 80,15$ eli laskennallinen 10 pisteen keskiarvo

Äänitehotaso (L_{WA}):

$$L_{WA} = L_{PA} + 10 * \lg (2\pi * (5m)^2 / (1m)^2) \text{ dB} \quad (31)$$

$$L_{WA} = 80,15 + 10 * \lg (2\pi * (5m)^2 / (1m)^2) \text{ dB}$$

, josta ratkaistuna $L_{WA} = 102,1$ dB

Äänitehotason kaavasta ratkaistun tuloksen mukaan laskettiin, kuinka kaukana pulverointi tulisi suorittaa, jotta Valtioneuvoston päätöksen melutason ohjearvoista asettama päiväohjearvo alitettaisiin.

Kaavaan sijoitettava desibeliraja (L_A) = 55 dB

55 dB:ä on meluntorjuntalain asumiseen käytettävien alueiden ulkona tehtävän työn päiväohjearvo.(46)

Ratkaistu r eli vähimmäisetäisyys asuinalueesta:

$$L_{WA} = L_A + 10 * \lg(2\pi * r^2) \text{ dB} \quad (32)$$

$$102,11 = 55 + 10 * \lg(2\pi * r^2) \text{ dB}$$

, josta ratkaistuna $r = 90,45 \text{ m}$

Pulverointi voitaisiin suorittaa 90 metrin päässä asuinalueesta. Tämä laskentatapa ei ota kuitenkaan huomioon ilmassa vaimenemista. Todellisuudessa ääni vaimenee ilmassa kulkeutuessaan ja erilaisten luonnossa esiintyvien objektien, kuten puiden vaikutuksesta.

Ilmassa vaimeneminen huomioon otettaessa:

$$L_{WA} = L_A + 10 * \lg(2\pi * r^2) + 0,005 * r \quad (33)$$

$$102,11 = 55 + 10 \lg(2\pi * r^2) + 0,005 * r$$

, josta ratkaistuna $r = 86,08 \text{ m}$

Opinnäytetyössä on myös ratkaistu kuulosuojauksen vaativan 85 dB:n etäisyys. Laskussa ei ole huomioitu äänen tuulessa vaimenemista.(48)

Kaavaan sijoitettava desibeliraja (L_A) = 85 dB

$$L_{WA} = L_A + 10 * \lg(2\pi * r^2) \text{ dB} \quad (34)$$

$$102,11 = 85 * \lg(2\pi * r^2) \text{ dB}$$

, josta ratkaistuna $r = 2,85 \text{ m}$

6.3.4 Tulosten tarkastelu

Betonipölkkyjen pulverointia voidaan nykyisellä menetelmällä suorittaa lain mukaisesti 90 metrin päässä asuinalueesta. Äänen ilmassa vaimenemisen huomioon otettaessa tulisi asuinalueesta työskennellä 86 metrin päässä. Kuulosuojainten käyttöä vaaditaan 3 metrin etäisyydellä pulveroinnista. Tulos ei ole yllättävä, sillä suurin osa mittaustuloksista alittaa kuulosuojauksen vaativan 85 dB rajan. Tämä tarkoittaa käytännössä, että vain kaivinkoneen kuljettajan pitäisi käyttää kuulosuojaimia. Vertauksena esimerkiksi ohiajavasta rekasta voi syntyä yli 90 dB ääni ja bussin sisätiloissa melukuorma voi olla 80-90 dB.(47,48)

Mittauspaikan lähistöllä oli varastorakennus, sekä varastoituja betonipölkkyjä. Nämä tekijät ovat äänen heijastuksen kautta saattaneet vaikuttaa mittaustuloksiin ja aiheuttavat pienen virhemarginaalin tuloksessa. Äänen heijastusta aiheuttavien objektien poistaminen olisi kuitenkin edullisempaa lopputulokselle ja pulverointi voitaisiin suorittaa tällöin lähempänä asuinalueetta. Lopputulos 90 metriä on siis epäedullisimpien olosuhteiden mukaan laskettu. Leukamurskaimilla suoritetusta pulveroinnista syntyneen äänen ei havaittu poikkeavan huomattavasti kaivinkoneen normaalista käyttöönsä.

Betonipölkkyjen murskausta saatetaan vastustaa, koska pulverointiin yhdistetään myös rakennusten betonijätteen uusiokäytössä käytettävät murskauslaitokset sekä tehdastoiminta ja tätä kautta ympäristölle haitallinen teollisuus. Samalla betonijätteen uusiokäytön termistö saattaa olla harhaanjohtava, sillä pulveroinnissa ei valmisteta betonipulveria.

Pulveroinnin huomattiin aiheuttavan murskauksen aikaista betonin pölyämistä, mutta kuten opinnäytetyön kemiallisissa kokeissa todettiin aikaisemmin, betoni ei sisällä juurikaan haittakomponentteja ja betonijätettä voitaisiin käyttää jopa maanparannusaineena. Pulveroinnin yhteyteen voitaisiin silti kehittää pölyämisen estämiseksi erilaisia kastelutekniikoita ja betonijätettä on kasteltu joissakin tapauksissa purkamisen yhteydessä esimerkiksi vesitykeillä.(49)

Melumittausten tulos osoittaa että pulverointia on mahdollista suorittaa ulkotiloissa, mikäli toiminta suoritetaan 90 metrin päässä asuinalueesta. Leukamurskaimilla suoritettavasta pulveroinnista ei aiheudu meluhaittaa juurikaan. Kaivinkoneella suoritettu pulverointi säästää tilantarvetta verrattuna suuren murskauslaitoksen toimintaan, eikä nykyinen pulverointimenetelmä vaadi suurta tehdastoimintaa. Lisäksi prosessi voidaan toteuttaa melko vähäisin henkilöresurssein. Betonipölkkyjen pulverointi voitaisiin suorittaa jopa rautateiden varrella pölkkyjen uusimisen yhteydessä, mikäli lainmukaisesta etäisyydestä asuinalueeseen huolehditaan.

6.4 Pakastus-sulatuskoe

6.4.1 Johdanto

Betonimursketta on teknisesti mahdollista käyttää tierakenteissa kaikissa tien päälly- ja alusrakenteen kerroksissa pengertäytteestä sekä suodatinkerroksesta kantavaan kerrokseen saakka. Tierakenteita rasittavat eri vuodenaajoista johtuvat ympäristötekijät. Erilaisia kuormittavia ympäristötekijöitä ovat muun muassa sade, routiminen, auringon säteily, jäätyminen ja sulaminen.(27,50)

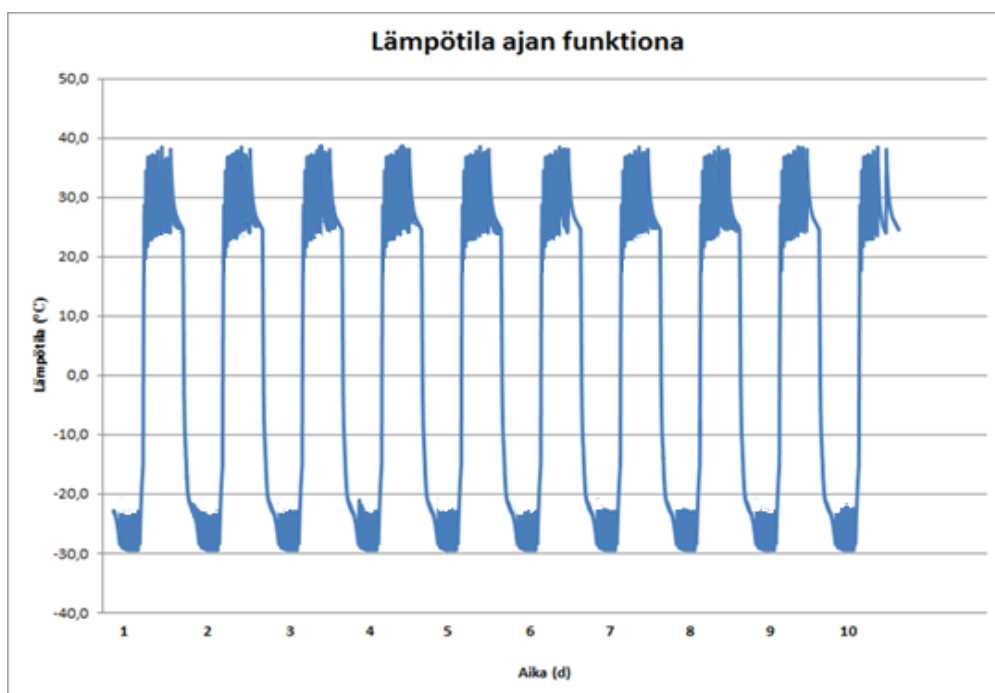
Opinnäytetyöhön pyrittiin mallintamaan ympäristökuormituksesta johtuva betonimurskeen pakastus-sulatus rapautuminen luonnon olosuhteissa. Kokeessa tarkasteltiin pakastus-sulatuksen vaikutusta murskeen raekokoon, kun mursketta käytetään maarakenteissa. Koe suoritettiin vertailuna myös soramurskeelle.

6.4.2 Työn suoritus

Koe aloitettiin seulomalla B86 pölkystä valmistettu betonimurske kuivaseulonnalla haluttuihin raekokoihin. Pakastus-sulatuskokeessa käytetyt betonimurskeen raekoot olivat 2/4, 8/16 ja 31,5/63. Kokeen tulosten vertailuksi mukaan otettiin myös 31,5/63 soramursketta, jolle suoritettiin samat toimenpiteet, kuin betonimurskeelle.

Kuivaseulonnan jälkeen seuloille jäänyt murske pestiin vedellä suihkuttamalla niin, että murskeessa mahdollisesti oleva hienoaines saatiin irrotettua. Murskeiden vesikäsitteilyn jälkeen näytteet asetettiin lämpökaappiin 24 tunniksi, jotta ylimääräinen vesi saatiin haihdutettua murskeesta. Lämpökaapin lämpötila oli 115 °C. Murskeen kuivauksen jälkeen lämmön annettiin tasaantua vuorokausi normaalissa huoneen lämpötilassa. Lämmön tasaantumisen jälkeen murskeet punnittiin ja murskeiden massat kirjattiin ylös myöhempää vertailua varten.

Punnituksen jälkeen murskeet asetettiin erillisiin astioihin, joihin lisättiin vesijohtovettä niin, että murske peittyi astiassa kokonaan veteen. Tämän jälkeen näytteet asetettiin pakastimen pohjalle kymmeneksi vuorokaudeksi. Pakastimeen oli lisätty lämmitin ja lämpötila-anturi. Pakastin sekä lohkolämmitin ajastettiin toimimaan vuorotellen niin, että pakastin oli ensin päällä 11 tuntia, jonka jälkeen pakastin ja lämmitin olivat molemmat tunnin pois päältä. Tämän jälkeen lohkolämmitin oli ajastettu lämmittämään 11 tuntia, jonka jälkeen pakastin ja lämmitin olivat molemmat tunnin pois päältä. Näin pyrittiin välttämään laitteiden liian nopeasta lämmönvaihtelusta aiheutuva mahdollinen vaurioituminen. Kuvasta 13 voidaan havaita pakastus-sulatuskokeen aikainen lämpötilan vaihtelu. Lämpötilan vaihtelua mitattiin dataloggeri Grant 2040 -laitteella. Grant 2040 oli ohjelmoitu mittaamaan pakastimen sisäistä lämpötilaa minuutin välein.



Kuva 13 Jääditys-sulatus kokeen aikaiset lämpötilat

Kymmenennen pakastuksen jälkeen näytteet otettiin pois pakastimesta. Näytteille tehtiin silmämääräinen havainnointi kokeen jälkeen ja huomattiin, että betonimurskenäytteistä oli selvästi irronnut kiviainesta näyteastian pohjalle.

Näytteitä pidettiin huoneen lämmössä vuorokausi, jonka jälkeen testinäytteet seulottiin pesuseulonnalla. Irronneen kiviaineksen määrä ja koko havainnoitiin ensin silmämääräisesti, jonka mukaan valittiin pesuseulonnassa käytettyjen seulojen koot. Pesuseulonnan jälkeen murskenäytteet asetettiin kuivauskaappiin vuorokaudeksi kuivumaan. Lämpökaapin lämpötila oli 115 °C. Kuivauksen jälkeen murskenäytteiden lämpötilan annettiin tasaantua vuorokausi, jonka jälkeen näytteet punnittiin.

6.4.3 Tulokset

Betonimurskeessa huomattiin selvää kiviaineksen irtoamista toisin kuin soramurskeessa, josta ei irronnut kiviainesta käytännössä lainkaan. Taulukkoon 4 on kirjattu pakastus-sulatuskokeiden irronneen aineen massa. Kuvaajissa 2, 3 ja 4 on havainnoitu betonimurskeiden irronneen massan kokojakaumaa. Pakastus testinäytteestä B86 (31,5/63) irtosi selkeästi eniten kiviainesta. Raekoon 31,5/63 betonimurskeen suuren irronneen massan määrä voi johtua myös murskeessa jo olleista halkeamista tai lohkeamista, johon veden jäätymisen ja sulaminen on päässyt vaikuttamaan. Betonimurskeesta irtosi kaiken kokoisia kappaleita, toisin kuin soramurskeesta.

Taulukko 4 Pakastus-sulatus-kokeiden tuloksia betoni- ja soramurskeelle

| Materiaali | Raekoko (d/D) | m (alku) | m (loppu) | irronnut massa | lisätty vesi |
|------------|---------------|----------|-----------|----------------|--------------|
| B86 | 2/4 | 360,70 g | 331,86 g | 28,84 g | 200 ml |
| B86 | 8/16 | 499,89 g | 480,40 g | 19,49 g | 250 ml |
| B86 | 31,5/63 | 501,58 g | 398,35 g | 103,23 g | 250 ml |
| Soramurske | 31,5/63 | 536,58 g | 535,87 g | 3,71 g | 250 ml |

PESUSEULOTTU KIVIAINESNÄYTE B86 (31,5/63) PESUSEULASARJALLA

Seuloille jäi seuraavat määrät näytettä:

Seulatonni:

| | |
|----------|----------|
| 31,5mm | 398,35 g |
| 16 mm | 97,12g |
| 4 mm | 1,36 g |
| 1 mm | 0,9 g |
| 0,5 mm | 0,42 g |
| 0,063 mm | 0,48 g |
| Pohja | 2,95 g |

| | |
|----------|----------|
| 31,5 mm | 398,35 g |
| 16 mm | 97,12 g |
| 4 mm | 1,36 g |
| 1 mm | 0,9 g |
| 0,5 mm | 0,42 g |
| 0,063 mm | 0,48 g |
| pohja mm | 2,95 g |
| | |
| | |
| | |
| | |

Kunkin seulan läpäisyarvo:

| seula #mm | seulalle jäänyt | | läpäisyarvo |
|-------------------------|-----------------|------|-------------|
| | g | % | % |
| pohja | 2,95 | 0,6 | - |
| 0,063 | 0,48 | 0,1 | 0,6 |
| 0,5 | 0,42 | 0,08 | 0,7 |
| 1 | 0,9 | 0,18 | 0,78 |
| 4 | 1,36 | 0,27 | 0,96 |
| 16 | 97,12 | 19,4 | 1,23 |
| 31.5 | 398,35 | 79,4 | 20,63 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Yhteensä | 501,58 | | |
| Rakeisuusluku H: | | | |

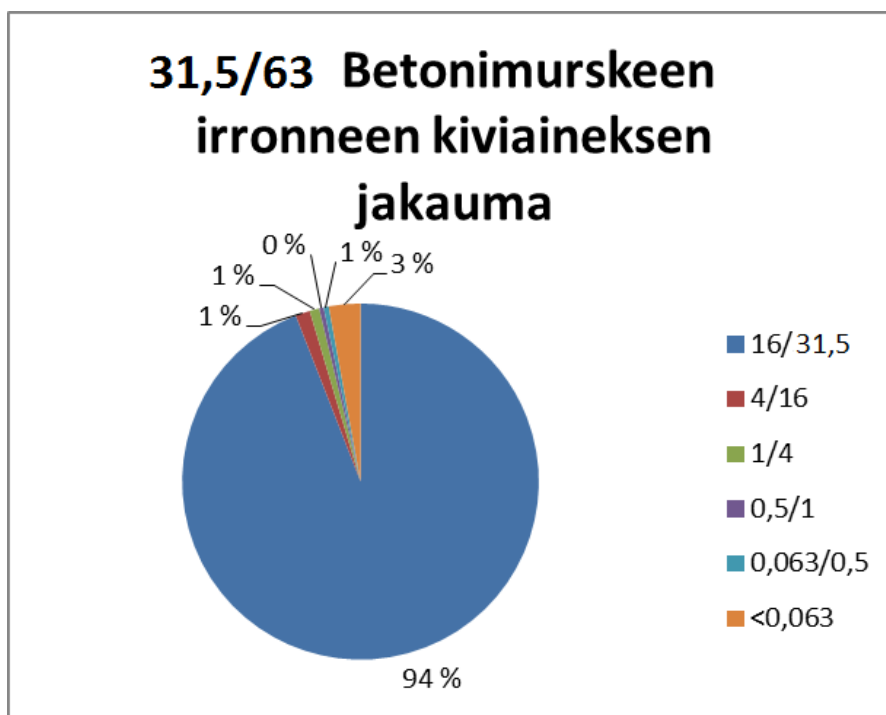
Seulonnasta saadut tulokset:

| B86 (8 / 16mm) | |
|----------------|-----------|
| Seula | massa (g) |
| 8/16 | 480,40 |
| 4/8 | 10,63 |
| 1/4 | 4,89 |
| 0,5/1 | 1,71 |
| 0,063/0,5 | 1,49 |
| <0,063 | 0,77 |

| B86 (2 / 4mm) | |
|---------------|-----------|
| Seula | massa (g) |
| 2/4 | 331,86 |
| 1/2 | 9,21 |
| 0,5/1 | 12,88 |
| 0,063/0,5 | 6,22 |
| < 0,063 | 0,63 |

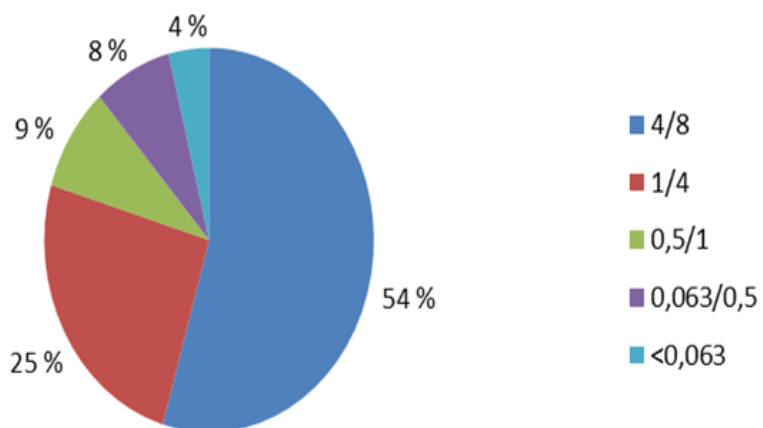
| Soramurske (31,5 / 63mm) | |
|--------------------------|-----------|
| Seula | massa (g) |
| 32/64 | 535,87 |
| 0,063/0,5 | 0,09 |
| <0,063 | 0,83 |

Betonimurskeesta irronnut kiviaines ympyräkaavioilla havainnoituna:



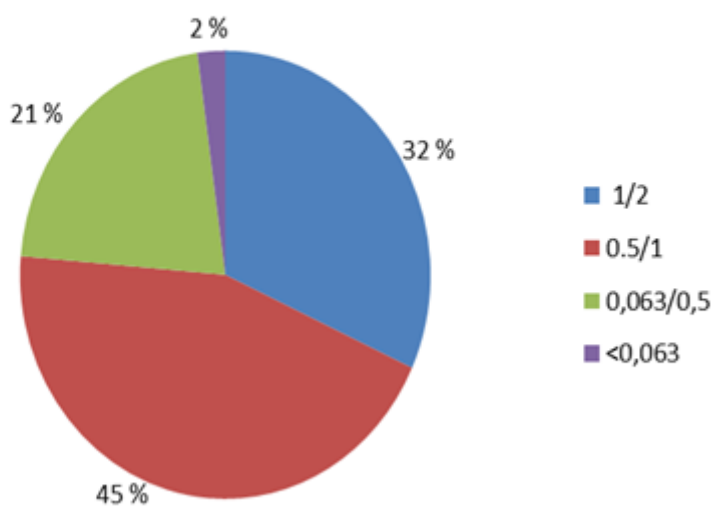
Kuvaaja 2

8/16 Betonimurskeen irronneen kiviaineksen jakauma



Kuvaaja 3

2/4 Betonimurskeen irronneen kiviaineksen jakauma



Kuvaaja 4

6.4.4 Tulosten tarkastelu

Betonimurskeessa huomattiin selvää kiviaineksen irtoamista soramurskeeseen verrattuna. Betonimurskeista irtosi kaiken kokoisia kappaleita, kun taas soramurskeesta irtosi vain todella vähän pieniä kappaleita. Suuren raekoon 31,5/63 betonimurskeesta irronneiden kappaleiden on ajateltu johtuvan murskeessa jo olleista halkeamista tai lohkeamista, joiden kautta jäätyminen on päässyt vaikuttamaan. Murtumisprosentti oli betonimurskeessa 4...20 %. Betonimurskeella havaittiin murtumista raekoosta riippumatta.

Murskeen muuttuminen hienonemisen myötä on yksi määräävä tekijä tarkasteltaessa teiden alusrakennekerrosten käyttöikää rajoittavia muuttujia. Murskeen hienonemisen myötä routiminen mahdollistuu, jolloin routanousujen seurauksena tierakenteet eivät toimi enää tutkitulla tavalla. Rapautuminen voi johtaa siihen, ettei murske enää johda rakenteesta vettä pois ja rakenteesta vedenläpäisevyys kärsii. murskeen hajoaminen pienemmiksi kappaleiksi saattaa siis vaikuttaa routivuuteen, ja opinnäytetyössäkin tutkittu veden kapillaarinen nousu tapahtuu juuri hienommalla raekoolla. Liian hienoainespitoinen murske antaa paremman siirtymärakenteen vedelle täyttäessään suurempien rakeiden väliin jäävää tyhjää tilaa. Murskeen hienonemisen määrä pakastus-sulatuksessa vaikuttaa myös taloudelliseen käyttöikään.

Todellisuudessa luonnossa ei kuitenkaan tapahdu yhtä nopeita ja suuria lämpötilanvaihteluita ja murskeen hajoaminen saattaa olla pitkällä aikavälillä oikeasti hitaampaa. Rapautumisen seurauksena kärsineen murskeen murtuminen kuitenkin saattaa pahentua toistokuormituksessa tai tukemisen yhteydessä. Pakastus-sulatuskokeen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina murskeen todellisen käyttäytymisen suhteen pitkällä aikavälillä ja kenttäkokeilla saatettaisiin saada toisenlaisia tuloksia. Kriittisessä tarkastelussa voidaan todeta myös, etteivät murskeet ole tierakenteissa kokeen tapaan suoraan upotettuina veteen, eikä veden jäätyminen pääse vaikuttamaan murskeisiin samalla tavalla.(51,52)

Opinnäytetyön murskeen kapillaarikokeessa todettiin myös, että mikäli murske seulotaan, kapillaarivesi ei pääse vaikuttamaan murskeeseen. Oikeanlaisella murskeen käytöllä voitaisiin siis ehkäistä pakastus-sulamisen aiheuttamaa rapautumista. Tutkimustulosten perusteella betonimurske on kuitenkin soramurskeeseen verrattuna rapautumisaltis.

Pelkillä pakastus-sulatuskokeen tuloksilla ei voida tehdä lopullisia johtopäätöksiä murskeen soveltuvuudesta maarakenteisiin, sillä maasta nousevan nesteen kapillaarinen käyttäytyminen murskeessa vaikuttaa myös betonimurskeen soveltuvuuteen maarakentamiseen. Pakastus-sulatuskokeen tulosten perusteella mursketta ei pidettäisi kuitenkaan sopivana käyttökohteeseen, jossa teknisenä vaatimuksena olisi hyvä pakastus-sulatuskestävyys.

6.5 Murskeen kapillaarisuus

6.5.1 Johdanto

Murskeilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia riippuen niiden suunnitellusta käyttökohteesta. Murskeen ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa kiviaineslaji sekä raekoko.(8)

Kapillaarisuus ja routivuus vaikuttavat erityisesti erilaisissa maarakenteissa kuten teissä ja kaduissa. Maarakenteet jakautuvat erilaisiin kerroksiin, joissa jokaisessa voidaan käyttää erilaista mursketta riippuen murskeen halutuista ominaisuuksista. Kapillaarisuuden katkeaminen ja vedenläpäisevyys ovat vaatimuksina maarakennuskohteiden rakenneosissa. Esimerkiksi suodatinkerros vaatii kapillaarisen veden nousun katkeamisen. Suodatinkerroksessa käytettävän murskeen on johdettava rakenteesta tuleva vesi pois ja ehkäistävä tai hidastettava routimista. Kapillaarinousun testaamiseksi rakennettiin kuvan 14 mukainen koejärjestely.(24,53)

6.5.2 Työn suoritus

Kapillaarisuuden testaus aloitettiin rakentamalla erillinen kapillaarikoejärjestelmä. Testiä varten kuivaseulottiin B75 betonipölkystä valmistettu betonimurske. Betonimursketta ei vesikäsitelty erikseen koetta varten. Betonimurskeet asetettiin koeputkeen, jonka alle asetettiin vesilasi. Vesilasin ja koeputken väliin asetettiin tukiverkko. Testien aikana vettä syötettiin hiljalleen tukiverkkoon niin, että tukiverkko pysyi jatkuvasti kosteana. Näin pyrittiin luomaan luonnon olosuhteita kuvaava kapillaari-ilmiö, jossa kosteasta maaperästä nousee vettä maarakenteisiin. Testien välillä koeputki pestiin ja kuivattiin ja murske vaihdettiin toiseen. Nesteen korkeus murskeessa mitattiin 30 sekunnin välein ja testi valokuvattiin.

Testejä suoritettiin kolme. Jokaisessa testissä koeputkeen asetettiin noin 130 mm korkea patsas mursketta. Ensimmäisessä testissä käytettiin alle 1 mm raekoon betonimursketta. Nesteen huomattiin nousevan pienen raekoon murskeessa hyvin nopeasti, joten toisessa testissä käytettiin suurempaa 1/4 raekoon mursketta. Toisessa testissä nesteen nousu murskeessa pysähtyi 5 minuutissa. Testi lopetettiin 32 tunnin kuluttua, koska nesteen korkeudessa ei havaittu muutoksia. Kolmannessa testissä käytettiin alle 1 mm raekoon mursketta yhdistettynä 1/4 raekoon murskeeseen, koska toisessa testissä murskeen nousu pysähtyi. Neste nousi koko murskepatsaan korkeudelle, mutta oli huomattavasti hitaampaa kuin pelkän alle 1 mm raekoon murskeessa.



Kuva 14 Kapillaarisuuden testauksen koejärjestely. Kuvan murskeen raekoko on <1mm.

6.5.3 Tulokset

Tuloksista todettiin, että veden kapillaarinen nousu loppui jo pienen raekoon kohdalla. Alle 1 mm raekoon käyttäminen suuremman murskeen joukossa sai kapillaarisen nousun jatkumaan. Alle yhden millimetrin murskeen ja 1/4 murskeen sekoituksessa veden nousu mukaili pienempää kiviainesta. Hyvin pientä raekokoa käytettäessä veden kapillaarinen nousu oli huomattavan nopea. Kuvaajassa 5 on mallinnettu kapillaarisuustestien veden korkeudet ajan funktiona.

Lopulliset veden nousukorkeudet betonimurskepatsaissa:

Betonimurske 0/1 mm, murskepatsas 125 mm

Lopullinen veden nousukorkeus 125 mm, aika 18 min

Betonimurske 1/4 mm, murskepatsas 125 mm

Lopullinen veden nousukorkeus 20 mm, aika 5min

Betonimurske 0/4 mm, murskepatsas 130 mm

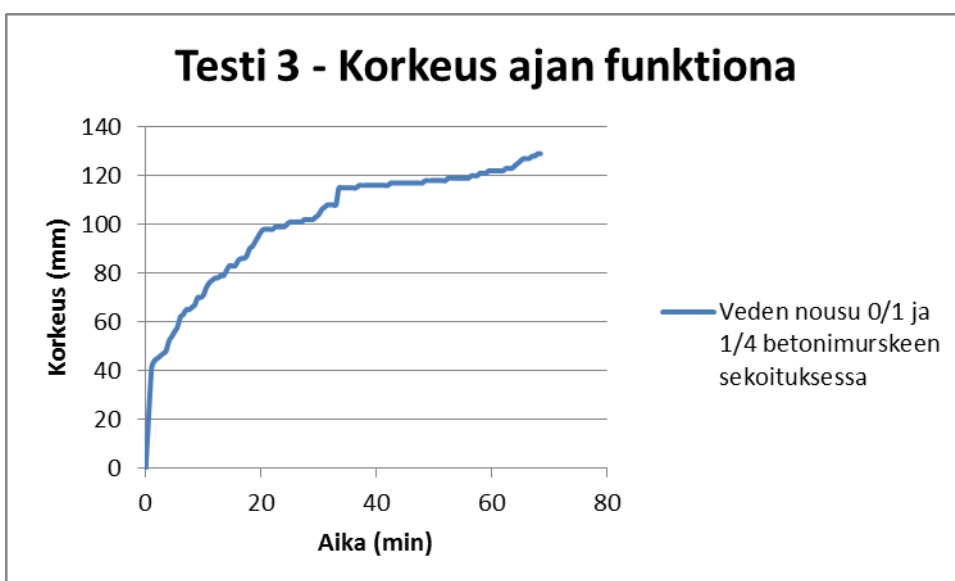
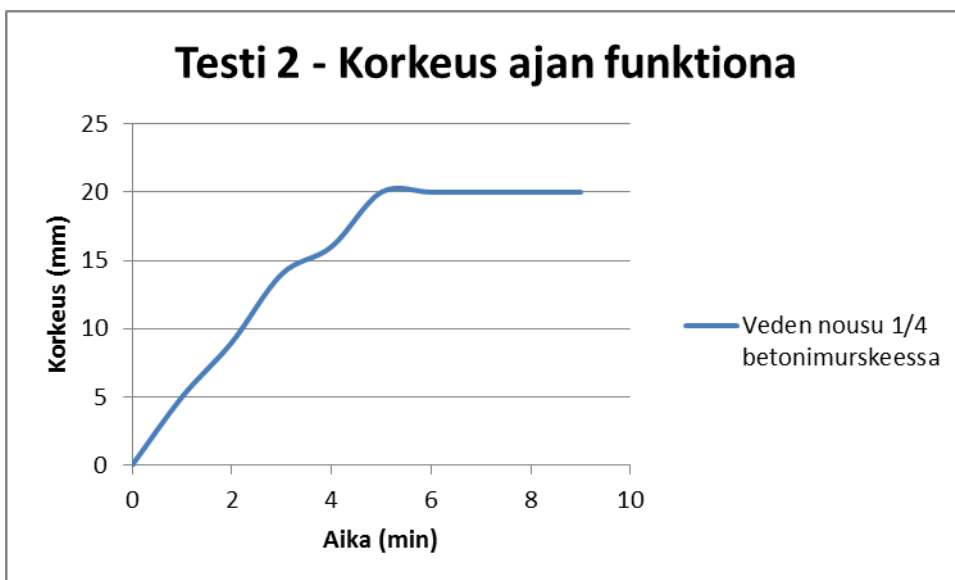
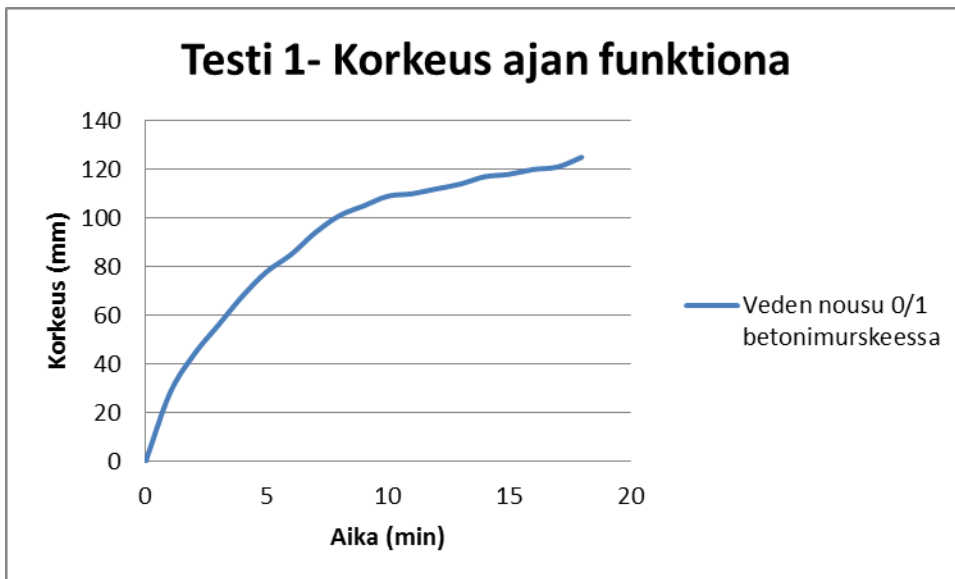
Lopullinen veden nousukorkeus 130 mm, aika 67 min

Laskettu veden kapillaarinousun nopeus betonimurskepatsaissa:

Testi 1 Betonimurske 0/1 = 0,116 mm/s = 12×10^{-2} mm/s = 12×10^{-5} m/s

Testi 2 Betonimurske 1/4 = 0,067 mm/s = $6,7 \times 10^{-2}$ mm/s = $6,7 \times 10^{-5}$ m/s

Testi 3 Betonimurske 0/4 = 0,032 mm/s = $3,2 \times 10^{-2}$ mm/s = $3,2 \times 10^{-5}$ m/s



Kuvaaja 5 Kapillaarisuustestien vedennousua havainnoivat kaaviot

6.5.4 Tulosten tarkastelu

Veden nousu tapahtui nopeasti pienellä raekoolla. Käytännössä maarakennuskohteissa ei kuitenkaan käytetä jauhemaista 0/1 mm betonimursketta. Veden kapillaarinen nousu kuitenkin pysähtyi jo melko pientä raekokoa käytettäessä. Kaikissa testeissä huomattiin nesteen nousevan hyvin nopeasti veden ensikosketuksesta betonimurskeeseen. Nopean ensinousun jälkeen veden nousu pysähtyi kokonaan suuremmalla raekoolla.

Pienemmän ja suuremman murskeen yhdistelmässä veden nousu oli selvästi hitaampaa kuin alle 1 mm raekoon murskeella, mutta neste nousi kuitenkin koko murskeen korkeudelle. Tuloksiin saattoi osaksi vaikuttaa veden kosketuspinta koeputken reunoilla. Veden nousu katkesi 1/4 mm murskeella 20 mm:iin.

Betonimursketta voidaan tulosten mukaan pitää hyvin kapillaarisuutta katkovana maarakenteen kerrosmateriaalina, mikäli raekoko on vähintään 1/4 mm. Tulosten mukaan 1/4 mm:n ja suuremman raekoon betonimurske soveltuisi kapillaaristen ominaisuuksiensa mukaan esimerkiksi maarakenteiden suodatinkerrokseen, joka vaatii kapillaarisen veden nousun katkaisemisen. Suodatinkerroksessa käytettävän murskeen on johdettava rakenteesta tuleva vesi pois rakenteesta. Murske, jonka raekoko on 1/4 mm, on vielä erittäin pientä, eikä sitä yksistään käytetä maarakentamisessa. Kapillaarisen veden aiheuttamaan routimiseen voidaan myös vaikuttaa säätelemällä betonimurskeen rakennekerrospaksuutta.

Veden kapillaarinen nousu vaikuttaa yleisesti maalajien routivuuteen. Routivuutta arvioidaan maalajien rakeisuuskäyrien perusteella. Rakeisuuskäyrä muodostuu seulonnasta saatujen läpäisyprosenttien tulosten mukaan. Standardissa 5884 Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä on esitetty routimisen rakeisuusohjealueet myös betonimurskeelle.

Kapillaarisuuskokeella voidaan osoittaa että betonimurskeen seulonnalla voidaan saada varmuus sen routimattomuudesta. Tällöin betonimursketta voitaisiin suositella useampiin käyttökohteisiin.

Myös murskausmenetelmällä vaikuttaa syntyvän murskeen raekokoon ja rakeisuuskäyrään. Mikäli leukamurskaimella suoritettavan pulveroinnista saatavan murskeen routivuutta haluttaisiin arvioida, pitäisi murskeen näytteenottoa hajauttaa ja toistaa. Näytteitä pitäisi ottaa myös pulveroinnissa syntyvän murskeen kaikista eri kerroksista ennen kuin saataisiin tarpeeksi kattava tieto syntyvän murskeen oikeasta raekoko jakaumasta ja rakeisuuskäyrästä.

Kokeiden tuloksista voidaan päätellä, että murskeen hienoaineksen määrä vaikuttaa eniten veden käyttäytymiseen murskeessa. Tierakenteiden routivuuteen voidaan vaikuttaa myös rakennekerrospaksuudella.(54)

6.6 Paineellinen vedentunkeuma

6.6.1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin paineellisen veden tunkeumasyyvyys B97 betonisesta ratapölkystä leikattuun palaseen. Tunkeumakoe tehtiin sovelletusti SFS-EN 12390-8 standardia mukaillen. Standardi on osa standardisarjaa, jolla testataan kovettuneen betonin ominaisuuksia. Koekappaleen tulee olla muodoltaan kuutiomainen, lieriömäinen tai prismamainen. Kuvasta 15 nähdään betonipölkystä leikattu koekappale. Periaate oli kohdistaa betonin pintaan vedenpaine (500 ± 50 kPa eli $5 \pm 0,5$ bar). Kappaletta tuli standardin mukaan pitää paineistettuna 72 ± 2 tuntia. Tunkeumakokeen suoritusta jouduttiin osin soveltamaan ja paineistuksen aikaa lyhennettiin 24 tuntiin, koska laitteessa ei ole turvallista suljettua vedensyöttöjärjestelmää eikä syöttöä voitu jatkuvasti valvoa.

Vedenpaineistuksen jälkeen kappale purettiin laitteesta. Vedenpaineistettu pinta pyyhittiin ylimääräisen veden poistamiseksi ja kappale punnittiin. Tämän jälkeen kappale halkaistiin ja vesirintaman tunkeumasyyvyys mitattiin ja mallinnettiin. Suurin tunkeumasyyvyys mitattiin ja merkittiin raporttiin yhden millimetrin tarkkuudella. Koekappaleen halkaisussa asetettiin vedenpaineen vaikutuksen alaisena ollut pinta alaspäin. Halkaisun jälkeen tunkeutumisrintama merkittiin koekappaleeseen.

6.6.2 Työn suoritus

Lähtötiedot:

Tunnus: Betonipölkky B97 (Lujabetoni)

Kappaleen muoto: Kuutiomainen

Kappaleen lujuusluokka: C50/60

Valmistusvuosi: 1997

Ikä: 17 vuotta

Betonin sisältämät raudat: Kaksitoista kolmilankaista jännepunosta

Näytteen massa kuivana: 30 161 g

Vedentunkeumalaite: Betonin testauslaite 2003, Test bench for hardened concrete depth of penetration of water under pressure



Kuva 15 Pölkystä betonileikkurilla leikattu koekappale

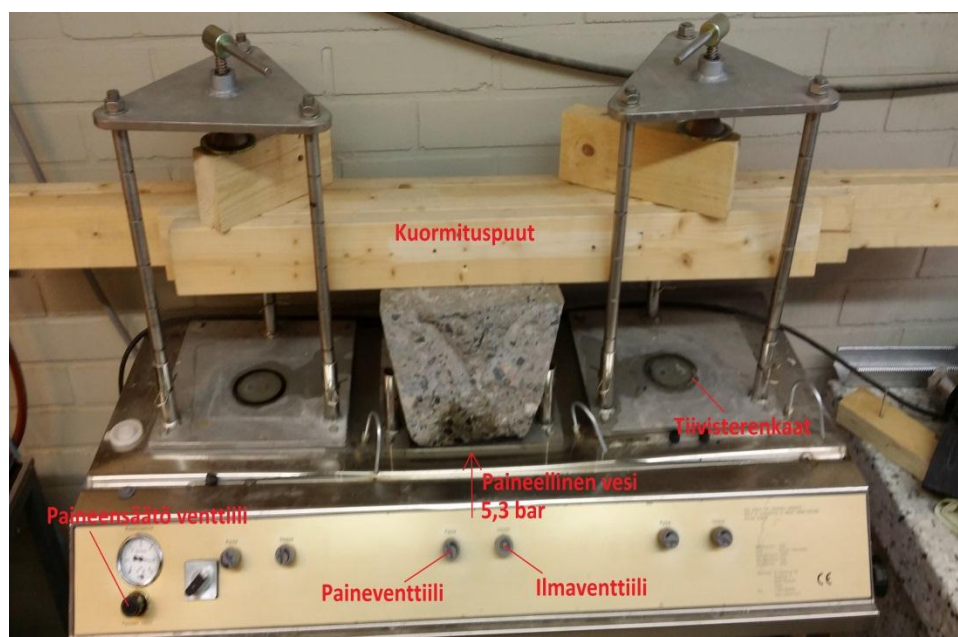
Testi aloitettiin leikkaamalla B97 betonipölkystä kappale. Koekappale on betonipölkyn päästä. Koekappaleen muottipinnan puoleiseen pintaan rikottiin vasaran sekä taltan avulla halkaisijaltaan 75 mm ympyrän muotoinen alue, jotta sementtiliima saatiin poistettua pinnasta ja betonin kiviaines saatiin näkyviin. Näin vesi pääsi tunkeutumaan testin vaatimalla tavalla testilaitteiston tiivisterenkaan sisäpuolelta.

Koekappaletta kuivattiin lämpökaapissa +115 °C:ssa kolme vuorokautta veden täydellisen haihtumisen varmistamiseksi. Kappaleen annettiin jäähtyä kolme vuorokautta, jotta välttyttiin lämmön vaikutukselta massaan punnituksen aikana. Lämmön tasaantumisen jälkeen koekappale punnittiin.

Ennen vedentunkeumakokeen aloitusta testilaitteiston tiivisterenkaan ulkopuolelle lisättiin lisätiivisteeksi superlon vaahtomuovia, jolla varmistettiin vedenpaineistuksen aikaisten vuotojen ehkäisy.

Tunkeumakoe aloitettiin asettamalla koekappale vedentunkeumalaitteeseen ja keskittämällä kappale vedenpaineen kohdistusalueeseen. Kappaleen kiinnitys ja tukeminen toteutettiin sovelletusti lisäämällä testilaitteistoon erilliset kuormituspuut. Vesitiiviyslaitteisto ja koejärjestelyt näkyvät kuvassa 16. Koekappale puristettiin laitteeseen niin, ettei paineistuksen aikaisia sivuvuotoja syntynyt. Seuraavaksi jatkettiin poistamalla laitteen putkistosta ilma. Ilmausventtiili avattiin täysin ja paineventtiiliä avattiin hitaasti, jotta saatiin poistettua mahdollinen ilma testilaitteiston putkistosta. Ilmanpoiston jälkeen paineventtiili avattiin täysin ja koekappaleen rikottuun muottipinnan puoleiseen pintaan altistettiin paineensäätöventtiiliä säätämällä 5,3 baarin paine. Koekappaleen paineistusta jatkettiin yhden vuorokauden.

Vesitiiviyslaitteistoon on liitetty kaksi vesitankkia, joiden läpi vesi kulkee vesitiiviyslaitteiston putkistoon ja sitä kautta kohdistusalueeseen. Molemmat vesitankit säädettiin syöttämään vettä vesitiiviyslaitteistolle. Paineistuksen aikana tarkasteltiin koekappaleen ulkopintoja mahdollisten paineistuksesta syntyvien kosteusläikkien havaitsemiseksi.

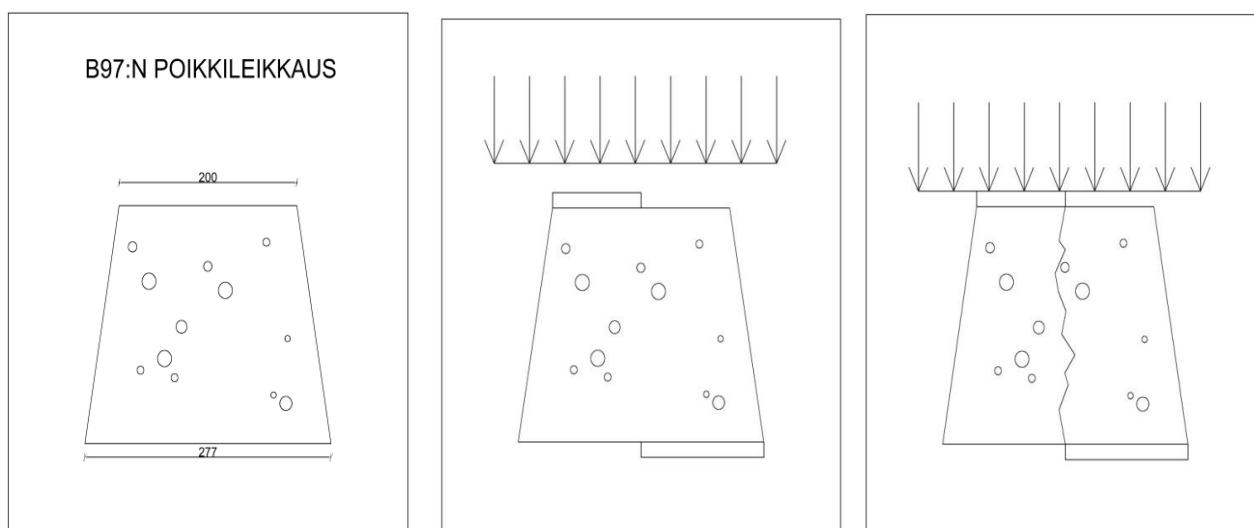


Kuva 16 Vesitiiviyslaitteisto ja kiinnitysjärjestelyt

Paineellinen vedentunkeumakoe lopetettiin standardin ohjeistamasta 72 ± 2 tunnista poiketen 24 tunnin kuluttua kokeen aloittamisesta. Vedentunkeuman lopetus suoritettiin avaamalla ilmaventtiili ja sulkemalla paineventtiili. Yläosan puristinlevy avattiin ja kuormituspuut poistettiin koekappaleen poistamiseksi. Koekappaleen irrotuksen jälkeen ulkoiset tunkeumajäljet merkittiin koekappaleeseen liidulla.

Vedelle altistettu muottipinnan puoleinen pinta kuivattiin, jotta välttyttiin punnitustulokseen vaikuttavalta ylimääräiseltä nesteeltä. Tämän jälkeen koekappale punnittiin ja uusi massa kirjattiin ylös. Koekappaleen punnituksen jälkeen suoritettiin halkaisu betonipuristinta käyttäen. Kappaleen leikkaaminen suoritettiin kahden metallipalan avulla. Toinen pala asetettiin koekappaleen alle, toinen päälle niin, että halkaisualaa saatiin mahdollisimman paljon ja halkaisujäljestä saataisiin mahdollisimman hyvä.

Kuvaan 17 on mallinnettu betonipölkyn poikkileikkauskuva betonileikkurilla leikatusta leikkauspinnasta päin. Kuvissa näkyy miten metallipalat asetettiin koekappaleen päälle ja alle, jotta kappale saatiin halkaistua keskeltä. Kuvasta 18 nähdään koekappaleen leikkauspinta halkaisun jälkeen.



Kuva 17 Havainnoiva kuvasarja koekappaleen halkaisusta



Kuva 18 Koekappaleen leikkauspinta halkaisun jälkeen

Kappaleen leikkaamisen jälkeen näyte kuvattiin, sekä vedentunkeumakohdat merkittiin liidulla. Havaittiin, että vesi haihtuu nopeasti syvimmästä tunkeumakohdasta. Syvin tunkeumasyvyyys mitattiin ja merkattiin ylös. Halkaistusta koekappaleesta mallinnettiin leikkauskuva, kuva 19 ja vedentunkeumakuvio, kuva 20. Leikkauskuvan yläpinta on koekappaleen muottipinnan puoleinen osa ja pohja valupinnan puoleinen pinta. Leikkauskuvaan on mallinnettu myös vedentunkeuma.

Poikkeamat standardimenetelmästä:

Vesitiiviyslaite tasaa koekappaleeseen kohdistuvaa vedenpainetta epätasaisin väliajoin ja imee tällöin vettä vesitankista. Seuranta-aika vähennettiin 24 tuntiin, koska laitetta ei voitu valvoa kolmea vuorokautta tauotta ja varottiin tästä aiheutuvia laite- sekä vesivahinkoja. Koekappaleen kiinnitysjärjestelyitä muokattiin koekappaleen koon ja kuormitustankojen säätöreitysten portaakkuuden vuoksi. Koekappaleen kiinnitys ja tukeminen toteutettiin sovelletusti lisäämällä testilaitteistoon erilliset kuormituspuut.

6.6.3 Tulokset

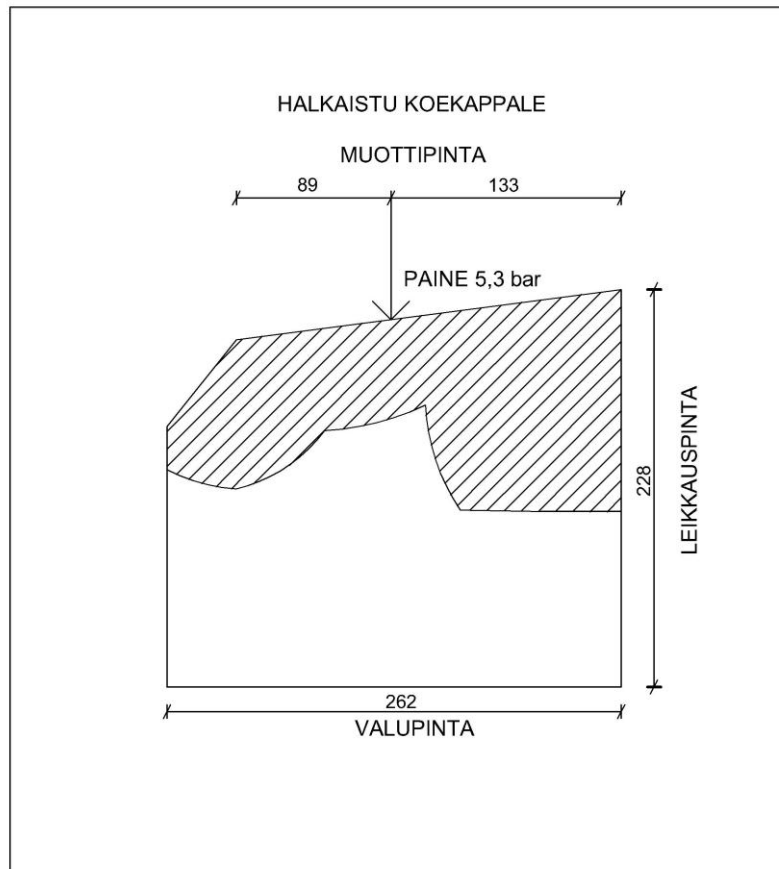
Koekappaleen halkaisussa onnistuttiin ja tunkeuman syvyys saatiin selkeästi mitattua halkaistusta kappaleesta.

Näytteen massa ennen koetta: 30 161 g

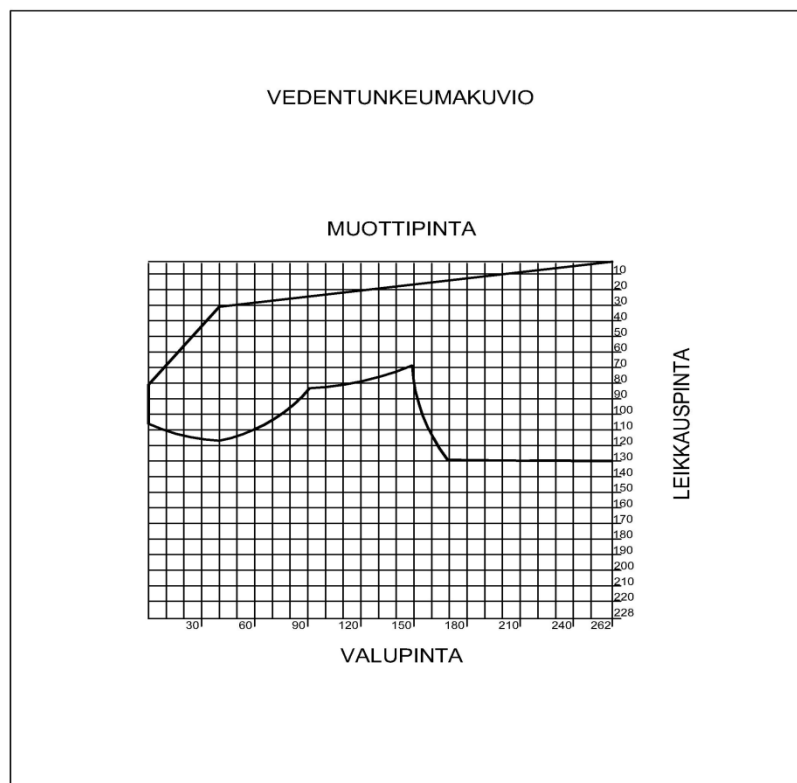
Näytteen massa vesitiiviyskokeen jälkeen: 30 340 g

Massan lisäys veden vuoksi: + 179g eli lisäystä ~0,6 %

Veden tunkeumasyyvyys: 130 mm



Kuva 19 Kappaleen leikkauskuva. Mittayksikkönä on millimetri.



Kuva 20 Vedentunkeumakuvi. Mitta-asteikko millimetreissä.

6.6.4 Tulosten tarkastelu

Koekappaleen paineistamisessa ja halkaisussa onnistuttiin hyvin ja paineellisesta vedentunkeumasta saatiin selkeä tulos. Vaikka standardin ohjeistamasta koeajasta poikettiin kaksi vuorokautta, vesi tunkeutui koekappaleessa syvimmillään 130 millimetriin, joka on yli puolet koekappaleen koko korkeudesta. Betoni on vesitiivis, kun tunkeumasyyvyys on korkeintaan 100 mm. Vedentunkeuman syvyyttä 130 mm vuorokauden paineistuksessa voidaan pitää merkittävänä. Kokeen tuloksen mukaan betonipölkkyä voidaan pitää kuitenkin vaurioituneena.(55)

Tarkastelussa olleesta pölkystä ei ole tietoja, miksi se oli alun perin poistettu käytöstä. Betonisten ratapölkkyjen on huomattu joissain tapauksissa kärsivän ennenaikaisesta rapautumisesta, mutta varmaa syytä rapautumiselle ei ole. Ratapölkkyjen vaurioitumisen on ajateltu johtuvan mm. huonosta pakkasenkestävyydestä, ettringiittireaktiosta tai alkalikiviainesreaktiosta. Vedentunkeumakokeen avulla ei kuitenkaan voida yhdistää vaurioitumista suoraan mihinkään edellä mainituista reaktioista. Betonisille ratapölkkyille tehdään järjestelmällisesti huoltotarkastuksia ja ratapölkkyt vaihdetaan uusiin, mikäli niissä havaitaan ennen aikaista rapautumista.

Tunkeumasyyvyyden tulokseen saattoivat vaikuttaa koekappaleen pinnassa jo olleet halkeamat. Myös pölkyn leikkaaminen betonileikkurilla on saattanut vaikuttaa veden tunkeumasyyvyyteen, sillä syvin tunkeumakohta oli juuri leikkauspinnan puolella. Tulosten mukaan paineellinen vesi tunkeutui selkeästi betonipölkkykappaleeseen. Tällaista veden paineellisuutta ei kuitenkaan tavata luonnonolosuhteissa vaan erikoisrakenteissa, kuten uimahallien tai patojen rakenteissa.(55)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia betonipölkkyjen soveltuvuutta uudelleenkäytettäväksi. Tärkeimpänä tutkimustuloksena pölkkyjen uudelleenkäytön kannalta voidaan pitää liukoisuus- sekä pitoisuuskokeiden tuloksia, jotka alittivat selvästi MARA-asetuksessa määritetyt raja-arvot. Ainoa liukoisuuskokeissa betonimurskeesta merkittävästi liennut aine oli kalsium, joka on ympäristölle haitaton. Kalkkia pidetään esimerkiksi hyödyllisenä viljelymaan parannusaineena. Liukoisuus- ja pitoisuuskokeiden tulosten mukaan betonipölkkyistä tehty murske soveltuu hyvin maarakennuskäyttöön.(2)

Kierrätetyille ratapölkkyille on useita käyttökohteita sekä kokonaisina että murskeena. Kokonaisina pölkkyjä käytetään ulkomailla muun muassa aurinkopaneelien tukijärjestelmissä, tukimuureissa, portaina ja puutarhoissa. Kokonaisia pölkkyjä voisi mahdollisesti hyödyntää myös meluvälleissa ja muina tukirakenteina. Betonijäte kierrätetään usein murskeen muodossa. Jätteestä voidaan saada esimerkiksi pesureiden avulla hyödyllisiä lietteitä, joita voitaisiin mahdollisesti käyttää maanparannusaineina happamalle maalle tai betonin valmistuksessa. Murske on erittäin hyvä materiaali teiden eri rakennekerroksissa sekä pengerlevityksissä. Murske on luonnonkiviainesta kevyempää ja se lujittuu käytössä päästessään veden kanssa kosketuksiin siinä jäljellä olevan reagoimattoman sementin vuoksi. Mursketta käytetään myös salaojitusrakenteissa, puutarhoissa ja uuden betonin valmistuksessa. Pölkkyjen kierrätys säästää luontoa vähentämällä kuljetusten ja uuden sementin valmistuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä, pienentämällä kaatopaikkojen kuormitusta ja säästämällä luonnonkiviainesta.(11,18,19,20,22,25)

Alkalikiviainesreaktio on mahdollinen myös Suomen olosuhteissa, ja aihetta olisi hyvä tutkia enemmän. Lisäksi reaktion tutkimustapoja pitäisi kehittää. Reaktio saatetaan usein sekoittaa Suomessa pakkasrapautumiseen ja muihin rapautumismuotoihin, sillä varmuus AKR:sta saadaan vasta laboratoriotutkimuksilla. Aiheesta olisi hyvä kouluttaa ihmisiä ja kehittää betonien kenttätutkimusta, jotta reaktio tunnistettaisiin nykyistä paremmin. Reaktion syntymisen ennaltaehkäisy on myös taloudellisesti kannattavaa.(32)

Opinnäytetyöhön tehtiin selvitys nykyisestä betonipölkkyjen pulveroinnissa syntyvästä meluhaitasta. Valtioneuvoston asetuksen ja ohjearvojen mukaan lasketuksi lainmukaiseksi pulveroinnin vähimmäisetäisyydeksi asuinalueesta saatiin 90 metriä. Kuulosuojauksen vaatimaksi etäisyydestä saatiin 3 metriä, mikä tarkoittaa käytännössä, että vain kaivinkoneen kuljettaja tarvitsisi kuulosuojauksen. Mitatut tulokset olivat käytännössä kaikki alle 90 dB:n. Esimerkiksi linja-auton sisämelu voi tuottaa 80-90 dB ja ohiajava rekka yli 90 dB. Pulveroinnista syntyvää melua ei siis tutkimustulosten mukaan pidetä arjen melulle altistumisesta poikkeavana.(47)

Kapillaarisuuskokeiden tulosten mukaan veden kapillaarinen nousu katkeaa jo hyvin pienirakeista betonimursketta käytettäessä. Tulosten mukaan 1-4 mm ja suuremman raekoon betonimursketta voidaan pitää soveltuvana maarakenteisiin, joissa vaaditaan kapillaariveden nousun katkoa. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi teiden jakavat- ja suodatinkerrokset. Muita mahdollisia kohteita ovat kenttärakenteiden kuten kaatopaikkarakenteiden pintamaakerrokset. Esimerkiksi Rudus Oy Suomessa käyttää jo betonimursketta maarakentamisessa.(14,56)

Betonimurskeen huomattiin murenevan jonkin verran pakastus-sulatuskokeissa. Kokeissa käytetty korkea lämpötilavaihtelu simuloi Suomen vuodenaikojen vaihteluja. Tulosten perusteella betonimurske siis murenee jonkin verran jäätymiselle ja sulamiselle altistuessaan pitkäaikaiskäytössä. Mikäli käyttökohteen teknisenä vaatimuksena on hyvä jäätymis-sulamiskestävyys, tulisi betonimurskeen hyödyntämistä käyttökohteessa harkita.

Vedentunkeumakokeessa tunkeumasyvyydeksi saatiin 130 mm, joka on yli puolet koekappaleen korkeudesta. Koekappaleessa olleet halkeamat sekä betonileikkurilla leikkaaminen ovat saattaneet vaikuttaa tuloksiin. Tutkimustuloksen mukaan betonipölkystä leikattu koekappale ei ole vesitiivis. Paineellista vettä esiintyy erikoisrakenteissa, kuten uima-altaissa ja padoissa, mutta ei luonnon olosuhteissa.(55)

Tutkimuksen lopputuloksena on, että betonimurske on kemiallisesti puhdas tuote, josta ei leviä ympäristöön haitta-aineita. Betonin uudelleenkäytön termistö, kuten betonijäte ja pulverointi voivat aiheuttaa vääranlaisia mielikuvia ja aiheuttavat siksi vastustusta. Pulveroinnista syntyvän äänen ei myöskään todettu olevan haitallisella tasolla, mikäli pulverointi suoritetaan 90 metrin päässä asuinalueesta. Murskeen rapautuminen pakastus-sulatuksessa voi rajoittaa sen käyttöä tiettyihin kohteisiin. Kokonaisten ratapölkkyjen uusiokäyttö kohteissa, joissa vaaditaan vesitiiviyttä, voi olla kyseenalaista. Toisaalta kyseistä ominaisuutta vaaditaan vain erikoisrakenteilta.

Koska murskeen routivuudesta tai lujittuvuudesta ei olla täysin varmoja, betonipölkkyjen murske lajiteltaisiin Tiehallinnon mukaan BeM IV-luokan murskeeksi. Tällainen murske soveltuu taloudellisesti sekä teknisesti parhaiten pengermateriaaliksi.(27)

LÄHTEET

1. Swamy, R. N. (Ed) 1992. The Alkali-Silica Reaction in Concrete. Taylor & Francis
2. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa annetun valtioneuvoston asetuksen liitteiden muuttamisesta. 2009. Viitattu 14.7.2014 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090403>
3. Rantala, Tommi. 2013. Betoniratapölkyn vaurioitumismekanismit. Viitattu 14.7.2014. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-35_betoniratapolkyn_vaurioitumismekanismit_web.pdf
4. Suomen Betoniyhdistys. 2004. Betonitekniiikan oppikirja. Helsinki, Suomen Betonitieto Oy.
5. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 2006. Viitattu 14.7.2014. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>
6. Wikipedia, piidioksidi. Viitattu 24.7.2014. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Piidioksidi>
7. Wikipedia, pozzolana. Viitattu 28.7.2014. <http://en.wikipedia.org/wiki/Pozzolana>
8. Kuula-Väisänen, Pirjo. Kivi- ja maa-aineksen ominaisuuksien määrittäminen ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. Viitattu 24.7.2014. <http://www.kainuunetu.fi/UserFiles/d763e312-4069-4815-82bd-f6886b1871ca/Web/Kivi%20ja%20kaivos/Kivi-%20ja%20maa-aineksen%20ominaisuuksien%20m%C3%A4ritt%C3%A4minen%20ja%20soveltuvuus%20eri%20k%C3%A4ytt%C3%B6tarkoituksiin.%20Pirjo%20Kuula-V%C3%A4is%C3%A4nen%20Tampereen%20Teknillinen%20yliopisto.pdf>
9. RT 96-10611. Rakennusjätteet. 1996. Helsinki, Rakennustieto. Viitattu 24.7.2014. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
10. Motiva. 2014. Viitattu 7.7.2014. http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/materiaalitehokkuuden_edistaminen_kunnissa/yhdyskuntasuunnittelu_ja_infrarakentaminen/uusiomateriaalit_maarakentamisessa
11. Vakkuri, Riikka. 2011. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. Betoni-lehti 2, 46-51. Viitattu 14.7.2014
12. Valtioneuvoston asetus jätteistä. 2012. Viitattu 21.7.2014. <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20120179>
13. Ympäristön suojelulaki. 2000. Viitattu 21.7.2014. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>
14. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2008. Viitattu 21.7.2014 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32006L0123>

15. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa. Viitattu 18.8.2014. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistonsuojelulain_mukaiset_ilmoitukset/Jatteiden_hyodyntaminen_maarakentamisessa
16. Betoni. Mihin betonia käytetään. Viitattu 18.8.2014. <http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/mihin-betonia-kaytetaan>
17. Betoni. Betonin ominaisuudet ja käyttö. Viitattu 18.8.2014. <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto>
18. Mounting Systems GmbH. Viitattu 24.7.2014. <http://ww3.mounting-systems.info/en/news-reader/id-200-kw-solarpark-in-sweden.html>
19. Blue Bear trading. Viitattu 24.7.2014. <http://www.bluebeartrading.co.uk/category/products/concrete-sleepers-products/>
20. Australian retaining walls. Viitattu 17.7.2014. <http://www.australianretainingwalls.com/blog/127/upper-coomera3>
21. Gull, Mikael. 2011. Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa. AMK-opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.7.2014.
22. Heilä, Sampsa. 2011. Betoniteollisuus kohti suljettua kiertoa. Betoni-lehti 2, 42-45. Viitattu 14.7.2014
23. Braen, Dirk. 2013. Buying Crushed Concrete for Driveways & Patios. Viitattu 14.7.2014 <http://www.braenstone.com/buy-crushed-concrete-driveways-patios>
24. Mäkelä, Harri & Höynälä, Harri. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Materiaalit ja käyttökohteet. Helsinki, Tekes.
25. U.S. Department of transportation, Federal Highway Administration. 2004. Recycled Concrete Study Identifies Current Uses, Best Practices. Viitattu 14.7.2014. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/04apr/01.cfm>
26. Lapin ELY-keskus, Alatervo, Jukka. 2013. Jätteiden maarakennushyötykäyttö. Viitattu 18.8.2014
27. Tielaitos. 2000. Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohjeet. Viitattu 14.7.2014. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/tiel_3200594_betmurskeohje.pdf
28. Rudus. Betonikoulu osa 2: Mitä betoni on? Viitattu 24.7.2014. <http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-2-mita-betoni-on->
29. Viirola, Heli & Raivio, Paula. 2000. Portlandsementin hydrataatio. Viitattu 24.7.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf>

30. Finnsementti. Sementtistandardi. Viitattu 14.7.2014.
<http://www.finnsementti.fi/sementti/laatu/sementtistandardi>
31. Ratahallintokeskus. 2008. Esijännitetyt betoniratapolkyt. Viitattu 18.8.2014.
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_esijannitetyt_betoniratapolkyt.pdf
32. Pyy, Hannu, Holt, Erika & Ferreira, Miguel. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa.
33. Pyy, Hannu & Holt, Erika. 2010. Onko Suomessa ongelmaa nimeltä alkali-kiviainesreaktio? *Betoni-lehti* 4, 46-48. Viitattu 7.7.2014
34. Hobbs, D. W. 1988. Alkali-silica reaction in concrete. London, Thomas Telford Ltd.
35. Mansikka, Heli. 2014. Harvinainen alkalikiviainesreaktio viivästyttää Tampereen uintikeskuksen remonttia. *Yle uutiset*. Viitattu 7.7.2014.
http://yle.fi/uutiset/harvinainen_alkalikiviainesreaktio_vii_vastyttaa_tampereen_uintikeskuksen_remonttia/7060914
36. Punkki, Jouni & Suominen, Veli. 1994. Alkalikiviainesreaktio Norjassa – ja Suomessa? *Betoni-lehti* 2, 30-32. Viitattu 7.7.2014
37. Nilsson, Lars-Olof & Peterson Olof. 1983. Alkali-silica reactions in Scania, Sweden – a moisture problem causing pop-outs in concrete floors. Viitattu 7.7.2014.
lup.lub.lu.se/record/1290462/file/1594285.pdf
38. Finnsementti. Suomalainen sementti. Viitattu 7.7.2014.
www.finnsementti.fi/files/pdf/Sementti-opas.pdf
39. Tepponen, Pirjo & Eriksson, Bo-Erik 1987. Damages in concrete railway sleepers in Finland. Oslo, Nordic Concrete Research.
40. Shayan, A. & Quick G.W. Alkali-aggregate reaction in concrete railway sleepers from Finland. Viitattu 8.7.2014. <http://www.vtt.fi/files/sites/aar/008.pdf>
41. Martin Renaud-Pierre, Bazin Céline & Toutlemonde François. 2012. Alkali aggregate reaction and delayed ettringite formation: common features and differences. Viitattu 9.7.2014. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/85/23/67/PDF/doc00013865.pdf>
42. Tarvainen, Timo. 2004. Arseeni maaperässä. Viitattu 24.7.2014.
arkisto.gtk.fi/ej/ej45/ej45_pages_45_49.pdf
43. Hosmed. ICP-OES (optinen). Viitattu 24.7.2014. <http://hosmed.fi/tuote/icp-plasma-optinen>
44. JoNova. 2011. The chemistry of ocean pH and acidification. Viitattu 11.9.2014.
<http://joannenova.com.au/2011/11/the-chemistry-of-ocean-ph-and-acidification/>

45. Akaan seutu, Antola, Tarja. 2013. Betonipölkkyjen murskaushanke vastatuulella. Viitattu 16.7.2014. <http://akaanseutu.fi/2013/04/04/betonipolkkyjen-murskaushanke-vastatuulella>
46. RT YM1-21012. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. 1992. Helsinki, Rakennustieto. Viitattu 28.7.2014. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/21012.html.stx>
47. Lohjan kaupungin www-sivut. Viitattu 28.7.2014. <http://www.lohja.fi/Liitetiedostot/Kaupunkisuunnittelu/ymp%C3%A4rist%C3%B6yksikk%C3%B6/Melutasoja.pdf>
48. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuville vaaroilta. 2006.
49. Tornion, Keminmaan ja Tervolan ympäristölautakunta. 2012. Maansiirto Veikko Mykkälä Ky:n ympäristölupa. Viitattu 1.9.2014.
50. Dettenborn, Taavi. 2013. Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Viitattu 16.7.2014.
51. Ratahallintokeskus, Nurmikolu, Antti. 2004. Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa. Viitattu 1.9.2014. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2004-a4_murskatun_kalliokiviaineksen_web.pdf
52. Tiehallinto. 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Viitattu 1.9.2014. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>
53. RATU 16-0252. Täyttö. 2003. Helsinki, Rakennustieto. Viitattu 16.7.2014. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
54. Tiehallinto, Saarelainen, Seppo. 2001. Tierakenteen routamitoitus. Viitattu 1.9.2014. <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/18-routamitoitus.pdf>
55. Tuomainen, Noora. 2013. Pienempi hiilijalanjälki vihreällä lattiabetonilla. AMK opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.8.2014.
56. Rudus Oy:n www-sivut. Viitattu 28.7.2014. www.rudus.fi

LIITE 1

MARA-asetuksen raja-arvot
pitoisuuksille ja liukoisuuksille

| Haitallinen aine | Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta | Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------|------------------|---------------------|
| | Perustutkimukset | Laadunvalvontatutkimukset | | | | |
| | Pitoisuus | Liukoisuus | Liukoisuus | Pitoisuus | Liukoisuus | Liukoisuus |
| | | (L/S = 10 l/kg) | (L/S = 10 l/kg) | | (L/S = 10 l/kg) | (L/S = 10 l/kg) |
| | | Peitetty rakenne | Päälystetty rakenne | | Peitetty rakenne | Päälystetty rakenne |
| PCB | 1 | | | 1 | | |
| PAH | 20 | | | | | |
| Mineraaliöljyt | 500 | | | | | |
| DOC | | 500 | 500 | | | |
| Antimoni (Sb) | | 0,06 | 0,06 | | | |
| Arseeni (As) | 50 | 0,5 | 0,5 | 50 | | |
| Barium (Ba) | | 20 | 20 | | | |
| Kadmium (Cd) | 10 | 0,02 | 0,02 | 10 | 0,02 | 0,02 |
| Kromi (Cr) | 400 | 0,5 | 0,5 | 400 | 0,5 | 0,5 |
| Kupari (Cu) | 400 | 2 | 2 | 400 | 2 | 2 |
| Elohopea (Hg) | | 0,01 | 0,01 | | | |
| Lyijy (Pb) | 300 | 0,5 | 0,5 | 300 | 0,5 | 0,5 |
| Molybdeeni (Mo) | | 0,5 | 0,5 | | | |
| Nikkeli (Ni) | | 0,4 | 0,4 | | | |
| Vanadiini (V) | | 2 | 2 | | | |
| Sinkki (Zn) | 700 | 4 | 4 | 700 | | |
| Seleeni (Se) | | 0,1 | 0,1 | | | |
| Fluoridi (F ⁻) | | 10 | 50 | | | |
| Sulfaatti (SO ₄ ²⁻) | | 1 000 | 6 000 | | 1 000 | 6 000 |
| Kloridi (Cl ⁻) | | 800 | 800 | | | |

PCB: polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä

PAH: polysykliset aromaattiset hiilivedyt

Mineraaliöljyt: hiilivetyjakeet C10-C40

DOC: liuennut orgaaninen hiili

Melumittauksen mittauspöytäkirja

Yksikkönä on dB

| | 1 (h=1m) | 2 (h=1m) | 3 (h=1m) | 4 (h=1m) | 5 (h=1m) | 6 (h=1m) | 7 (h=2m) | 8 (h=2m) | 9 (h=2m) | 10 (h=2m) |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1 | 74,9 | 80,2 | 80 | 85 | 82,6 | 74,9 | 80,7 | 87,4 | 79,1 | 74,2 |
| 2 | 85 | 74,5 | 76,4 | 86 | 82,5 | 79,6 | 81,2 | 85,1 | 76,2 | 69,9 |
| 3 | 73,8 | 85 | 74,6 | 84,7 | 78,4 | 77,5 | 81,5 | 86 | 82 | 83,2 |
| 4 | 72,8 | 89 | 78,7 | 87,4 | 80 | 76,6 | 78,9 | 84,9 | 83,1 | 76,1 |
| 5 | 77,7 | 80,5 | 75,2 | 86,1 | 79,7 | 77,5 | 85,5 | 87,3 | 73,8 | 79,1 |
| 6 | 73,5 | 71,1 | 77,7 | 84,5 | 79,8 | 76,6 | 80,4 | 89,1 | 80 | 77,8 |
| 7 | 80,5 | 72,3 | 77,1 | 87 | 86,6 | 77,3 | 78,1 | 84,9 | 83,2 | 82,4 |
| 8 | 82,6 | 86,4 | 83,5 | 84,4 | 83,1 | 76,5 | 80,2 | 84 | 77,4 | 76,5 |
| 9 | 82 | 76 | 85 | 87 | 81,5 | 79,4 | 80,4 | 83,6 | 86,5 | 86,5 |
| 10 | 72,9 | 72,9 | 75 | 83,9 | 85,6 | 82 | 80 | 86,4 | 76,2 | 76,6 |
| 11 | 74 | 83 | 76,9 | 86,6 | 86,5 | 79,1 | 79 | 85,1 | 84,7 | 83,3 |
| 12 | 81,6 | 77,1 | 77 | 83,3 | 82 | 82,4 | 79,3 | 85,8 | 76,5 | 81,9 |
| 13 | 72,9 | 74 | 81 | 83,9 | 82,4 | 78,2 | 73,4 | 86,2 | 75,1 | 78 |
| 14 | 81 | 76,5 | 76,1 | 85 | 82 | 83 | 78,5 | 84,1 | 80,3 | 77,2 |
| 15 | 78,1 | 76,8 | 84,8 | 82,4 | 82,1 | 79 | 83,5 | 89 | 77,7 | 83,7 |
| 16 | 73,3 | 82 | 83,4 | 84,7 | 83,9 | 80,7 | 79,4 | 86,3 | 84,2 | 78 |
| 17 | 76,8 | 87 | 78,5 | 82,9 | 80,5 | 82,4 | 79,1 | 84,7 | 76,2 | 81,8 |
| 18 | 80,3 | 74 | 74,6 | 87 | 80,4 | 78,9 | 81,9 | 86,1 | 78,2 | 73,5 |
| 19 | 83,4 | 76,1 | 76,4 | 84,5 | 81,5 | 79,4 | 83,4 | 84,7 | 73,3 | 75,4 |
| 20 | 83,3 | 85 | 77 | 84,1 | 81 | 80,8 | 83,3 | 83,8 | 75,2 | 84,1 |
| 21 | 73,2 | 73,6 | 76,6 | 83,6 | 86,3 | 77,8 | 80,9 | 86,1 | 76 | 76,9 |
| 22 | 71,8 | 84 | 79 | 84,1 | 82,5 | 80 | 79,4 | 83,8 | 80,2 | 73,2 |
| 23 | 79,1 | 84,9 | 81,2 | 87,4 | 82,3 | 79,4 | 84,7 | 85 | 74,7 | 84,4 |
| 24 | 71,7 | 73,9 | 76,6 | 86,7 | 83,2 | 77,6 | 82,6 | 84,1 | 88,5 | 74,2 |
| 25 | 82 | 85,6 | 83,1 | 85,3 | 82,3 | 78,9 | 82,3 | 84,5 | 76,2 | 76,5 |
| 26 | 70,6 | 73,4 | 75,4 | 83,2 | 81,8 | 81,2 | 80,2 | 83,4 | 87 | 83,2 |
| 27 | 76,5 | 78,9 | 76,5 | 85,3 | 83,1 | 80 | 80,4 | 84,7 | 73,8 | 79,4 |
| 28 | 76,8 | 74,2 | 73,8 | 91,3 | 85 | 78,7 | 82,4 | 83 | 77,1 | 90,4 |
| 29 | 70,6 | 73,6 | 75,5 | 84,1 | 83,3 | 78,6 | 80,1 | 82,9 | 79,1 | 77 |
| 30 | 68,7 | 76 | 73,4 | 83,2 | 82,7 | 83,1 | 79,5 | 86,9 | 73,2 | 88 |
| 31 | 68,3 | 74,1 | 91,3 | 84 | 88 | 79 | 81,4 | 84,1 | 79,2 | 87,4 |
| 32 | 68,5 | 72,6 | 78,2 | 86,1 | 84,1 | 77,6 | 79,1 | 87,3 | 73,1 | 76,6 |
| 33 | 68,5 | 76 | 83,5 | 84 | 85,2 | 81,9 | 78,4 | 84,3 | 70 | 74,3 |
| 34 | 68,6 | 71,5 | 75,5 | 84,8 | 83 | 79,9 | 82,1 | 83 | 69,7 | 76,4 |
| 35 | 68,8 | 70,8 | 77 | 85 | 81,1 | 78,5 | 80 | 83,8 | 69,7 | 73,6 |
| 36 | 68,8 | 70 | 75,5 | 82,9 | 86,7 | 78,9 | 83,1 | 83,3 | 69,6 | 75,6 |
| 37 | 68,9 | 70,1 | 74,9 | 81,9 | 82,9 | 80,1 | 79,3 | 84,8 | 70 | 80,5 |
| 38 | 69 | 70,1 | 75,1 | 83,9 | 83,6 | 77,2 | 79,2 | 83,3 | 70,3 | 74,3 |
| 39 | 69,3 | 70,2 | 88 | 83,5 | 82 | 80,2 | 81 | 83,9 | 70,5 | 81,6 |
| 40 | 69 | 70,1 | 74,6 | 82,5 | 84 | 79,2 | 80,7 | 84,9 | 70 | 73,2 |
| 41 | 69,1 | 70,2 | 72,3 | 82,1 | 81,5 | 79,8 | 80,1 | 84,3 | 69,8 | 74,8 |
| 42 | 69,3 | 70,3 | 72,2 | 82 | 79,6 | 81,5 | 79,6 | 83,7 | 70 | 73,1 |
| 43 | 69 | 70 | 72,1 | 82,1 | 80,8 | 80,1 | 80 | 86,2 | 69,7 | 79 |
| 44 | 69,3 | 70,1 | 72,1 | 82,1 | 80,3 | 78,3 | 80 | 82,3 | 69,9 | 75 |
| 45 | 69,3 | 70,3 | 72,3 | 82,1 | 80,4 | 80,2 | 78 | 83,7 | 70 | 75,8 |
| 46 | 69,1 | 70,1 | 72,2 | 81,9 | 80,4 | 79,1 | 81,5 | 86,5 | 69,9 | 73,4 |
| 47 | 68,8 | 70,1 | 72 | 82 | 80,1 | 79,2 | 79,4 | 80,9 | 69,8 | 73,7 |
| 48 | 69 | 70,2 | 72,1 | 82 | 80,4 | 77,4 | 84 | 81,7 | 69,7 | 72,1 |
| 49 | 69,1 | 70,4 | 72,1 | 82 | 80,3 | 76 | 80,9 | 82,2 | 69,8 | 73,7 |
| 50 | 69,1 | 70,5 | 72,2 | 81,8 | 80,1 | 75,7 | 81 | 82 | 69,8 | 75 |
| 51 | 69 | 70,2 | 72,2 | 82,2 | 80 | 75,9 | 78 | 81,9 | 69,8 | 75,7 |
| 52 | 69,1 | 70,3 | 72,1 | 81,8 | 79,9 | 75,6 | 81,7 | 81,9 | 69,9 | 75 |
| 53 | 69,2 | 70,1 | 72,1 | 81,9 | 80 | 75,7 | 81 | 81,9 | 69,7 | 76,1 |
| 54 | 68,9 | 70,1 | 72,3 | 82,1 | 80 | 75,8 | 79,4 | 82 | 70 | 80,5 |
| 55 | 69,4 | 70,4 | 72,3 | 82 | 79,8 | 75,9 | 78,3 | 82,1 | 69,8 | 75,3 |
| 56 | 69,3 | 70,3 | 72,1 | 82,1 | 79,8 | 75,9 | 81,2 | 82,2 | 69,8 | 83,7 |
| 57 | 69,4 | 70,1 | 72 | 82 | 79,8 | 75,8 | 79 | 81,9 | 69,8 | 73,9 |
| 58 | 69,2 | 70,5 | 72 | 82 | 80,2 | 75,7 | 78,1 | 81,9 | 70 | 83,1 |
| 59 | 69,2 | 70,4 | 72 | 82 | 80,1 | 75,8 | 79,8 | 82 | 69,9 | 72,9 |
| 60 | 69,3 | 70,2 | 72 | 82 | 80,3 | 75,7 | 80 | 81,9 | 70 | 75,8 |
| ka | 72,87 | 74,63 | 76,27 | 83,89 | 81,98 | 78,58 | 80,43 | 84,25 | 74,57 | 77,89 |



Testausseoste 2014-2258-1
Erillisnäyte

1(1)
23.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Maksaja
Kiinteistö Oy Porin SAMK Festum
Oy

Tiedepuisto 3
28600 Pori

PL 203
28101 Pori

| | | | | |
|--------------------|-----------------|--------------|------------------|---------------------|
| Näytetiedot | Näyte | Erillisnäyte | | |
| | Näyte otettu | 05.06.2014 | Näytteen ottaja | Asiakas |
| | Saapunut | 05.06.2014 | Näytteenoton syy | Yksityinen tutkimus |
| | Tutkimus alkoi | 05.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 23.06.2014 | | |

Näyte: Ratapölkky C75
Näytteenottoaika: Porin rautatieaseman ratapölkky

| | | | | |
|---|-----------|---------|--|----------|
| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2258-1 | Epävarm2 |
| Näytteen lähetyksen ulkopuoliseen laboratorioon | | | Erillisnäyte lähetyksen 5.6.2014 | |

Lausunto **2258-1:** Näyte tutkittiin alihankintana Eurofins Scientific Finland Oy:n laboratoriossa. Alihankintalaboratorion testausseoste on ohessa.

Tarja Vikman
Kemisti

PORILAB

Porilab
Tarja Vikman
Tiedepuisto 4
28600 PORI

Tutkimustodistus



Todistus: AR-14-FN-001730-01

Asiakaskoodi: FN0000062

Näyttenumero: 494-2014-00002938
Näyte: Ratapolkky C75
Asiakkaan viite: T 65-60200
Näyte-erän tunniste: Porin rautatieasema, 6.6.2014
Näyte-erän ottaja:
Näyte-erän ottopäivä:

Näytteet vastaanotettu: 06.06.2014

| Tutkimus | Tulos | Yksikkö | U | Menetelmä | Laboratorio | |
|-----------|----------------------------|---------|----------|------------------------------|-------------|--------|
| (a) | KOKONAISPITOISUUDET | | | | | EUDEFR |
| (a) AN01C | Kuiva-ainepitoisuus | 96.4 | % | EN 14346 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Naftaleeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Asenaftyleeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Asenafteeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Fluoreeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Fenantreeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Antraseeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Fluoranteeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Pyreeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Bentso(a)antraseeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Kryseeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Bentso(b)fluoranteeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Bentso(k)fluoranteeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Bentso(a)pyreeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Indeno(1,2,3-cd)pyreeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Dibentso(ah)antraseeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Bentso(ghi)peryleeni | < 0.05 | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN01B | Summa 16 EPA-PAH | - | mg/kg ka | EN 15527 / ISO 18287 | EUDEFR | |
| (a) AN0VP | Öljyhiilivedyt >C10-C21 | < 40 | mg/kg ka | DIN EN 14039 / LAGA KW 04 | EUDEFR | |
| (a) AN0VP | Öljyhiilivedyt >C21-C40 | < 40 | mg/kg ka | DIN EN 14039 / LAGA KW 04 | EUDEFR | |
| (a) AN0VP | Öljyhiilivedyt >C10-C40 | < 40 | mg/kg ka | DIN EN 14039 / LAGA KW 04 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 28 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 52 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 101 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 153 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 138 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 180 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB 118 | < 0.01 | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) AN01G | PCB-7 Summa | - | mg/kg ka | DIN EN 15308 / DIN ISO 10382 | EUDEFR | |
| (a) | KUNINGASVESIUUTTO | | | | | EUDEFR |
| (a) AN00Z | Arseeni (As) | 23 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |
| (a) AN012 | Kadmium (Cd) | 0.3 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |
| (a) AN013 | Kromi (Cr) | 39 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |
| (a) AN014 | Kupari (Cu) | 37 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |
| (a) AN010 | Lyijy (Pb) | 12 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |
| (a) AN017 | Sinkki (Zn) | 74 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 | EUDEFR | |

Asiakirjojen osittainen kopioiminen on kielletty. Testaustulos koskee vain tutkittua näytettä. Lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin. Akkreditoituidut menetelmät on arvioitu tutkimuksen suorittaneen laboratorion oman maan akkreditointielimen toimesta. Tämä tutkimustodistus on luotu sähköisesti ja se on tarkastettu ja hyväksytty. Mittausepävarmuuksien osalta lisätietoja saatavilla pyydettäessä.

Sivu 1/2

Eurofins Scientific Finland Oy

Hatanpäänkatu 3 A
33900 Tampere
Finland

Y-tunnus 1514462-1
www.eurofins.fi
Environment@eurofins.fi
ResultsEnvironment@eurofins.fi
p. 03 230 6504

| | | | | | |
|-----|-------------------------------|--------------------------------------|---------|--------------|-------------------|
| (a) | 2-VAIHEINEN RAVISTELUTESTI | | | EN 12457-3 | EUDEFR |
| (a) | FR0ET | pH (L/S=2) | 12,6 | DIN 38404-C5 | EUDEFR |
| (a) | FR0EQ | pH (L/S=8) | 12,3 | DIN 38404-C5 | EUDEFR |
| (a) | FR0ES | Sähkönjohtokyky (L/S=2) | 9020 | μS/cm | EN 27888 |
| (a) | FR0ER | Sähkönjohtokyky (L/S=8) | 7530 | μS/cm | EN 27888 |
| (a) | LIUKOISET PITOISUUDET | | | | EUDEFR |
| (a) | FR09L | Antimoni (Sb), L/S=10 | < 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09M | Arseeni (As), L/S=10 | < 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09N | Barium (Ba), L/S=10 | 3.7 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09Q | Kadmium (Cd), L/S=10 | < 0.003 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09R | Kromi (Cr), L/S=10 | 0.04 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09T | Kupari (Cu), L/S=10 | < 0.05 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09W | Elohopea (Hg), L/S=10 | < 0.002 | mg/kg ka | EN 1483 |
| (a) | FR09P | Lyijy (Pb), L/S=10 | 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09U | Molybdeeni (Mo), L/S=10 | < 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09V | Nikkeli (Ni), L/S=10 | < 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09X | Seleen (Se), L/S=10 | < 0.01 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09Y | Vanadiini (V), L/S=10 | < 0.1 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR09Z | Sinkki (Zn), L/S=10 | < 0.1 | mg/kg ka | EN ISO 17294-2 |
| (a) | FR0A5 | Fluoridi (F), L/S=10 | < 2.0 | mg/kg ka | EN ISO 10304-1 |
| (a) | FR0A3 | Kloridi (Cl), L/S=10 | < 10 | mg/kg ka | EN ISO 10304-1/-2 |
| (a) | FR0A4 | Sulfaatti (SO ₄), L/S=10 | 24 | mg/kg ka | EN ISO 10304-1/-2 |
| (a) | FR0A2 | Liuennot org. hiili (DOC), L/S=10 | 16 | mg/kg ka | EN 1484 |

(a) = Akkreditoitu menetelmä

U = Laajennettu mittausepävarmuus, k=2

Laboratoriolyhenteet

EUDEFR - Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg), GERMANY - DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00



Tampere 19.06.2014
Salla Tuulos-Tikka
ASM / Kemisti
+358 32306501

Asiakirjojen osittainen kopioiminen on kielletty. Testaustulos koskee vain tutkittua näytettä. Lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin. Akkreditoitujen menetelmät on arvioitu tutkimuksen suorittaneen laboratorion oman maan akkreditointielimen toimesta. Tämä tutkimustodistus on luotu sähköisesti ja se on tarkastettu ja hyväksytty. Mittausepävarmuuksien osalta lisätietoja saatavilla pyydettyäessä.

Sivu 2/2

Eurofins Scientific Finland Oy

Hatanpäänkatu 3 A
33900 Tampere
Finland

Y-tunnus 1514462-1
www.eurofins.fi
Environment@eurofins.fi
ResultsEnvironment@eurofins.fi
p. 03 230 6504

LIITE 4.1

Pakastus-sulatuskokeiden näytteiden tuloksia

| | Näyte | Analyyysi | m (g) | V (ml) | pH | cond. (µS/cm) | m(ka, g) | |
|----|-------|----------------|------------|--------|-----|---------------|----------|--------|
| 1 | B75 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 11,57 | 5200 | 4,72 |
| 2 | B75 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 11,85 | 6910 | 4,78 |
| 3 | B75 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,71 | 6020 | 4,75 |
| 4 | B75 | jauhe + sv | Porilab | 5 | 50 | 11,71 | 5320 | 4,75 |
| 5 | B75 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,73 | 6100 | - |
| 6 | B75 | 30-40mm + sv | alku | 101,42 | 150 | 11,48 | 2160 | 98,75 |
| 7 | B75 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 97,05 | 150 | 11,77 | 6320 | 94,04 |
| 8 | B75 | 30-40mm + sv | loppu | 103,3 | 150 | 11,57 | 3710 | 99,83 |
| 9 | B75 | 30-40mm + sv | loppu | 102,58 | 150 | 11,5 | 2570 | - |
| 10 | B75 | jauhe + ph 4 | alku | 5 | 50 | 11,64 | 5260 | 4,74 |
| 11 | B75 | jauhe + ph 4 | keskivaihe | 5 | 50 | 11,86 | 6750 | 4,67 |
| 12 | B75 | jauhe + ph 4 | loppu | 5 | 50 | 11,67 | 5570 | 4,79 |
| 13 | B75 | jauhe + ph 4 | loppu | 5 | 50 | 11,67 | 5070 | - |
| 14 | B75 | 30-40mm + ph 4 | alku | 101,2 | 150 | 11,26 | 1180 | 98,27 |
| 15 | B75 | 30-40mm + ph 4 | keskivaihe | 100,74 | 150 | 11,57 | 3020 | 97,85 |
| 16 | B75 | 30-40mm + ph 4 | loppu | 102,78 | 150 | 11,12 | 1320 | 100,23 |
| 17 | B75 | 30-40mm + ph 4 | loppu | 100,41 | 150 | 11,32 | 2690 | - |
| 18 | Sora | sora + ph 3,7* | alku | 95,93 | 150 | 8,06 | 19,6 | 95,76 |
| 19 | Sora | sora + ph 4 | keskivaihe | 94,85 | 150 | 8,67 | 27,2 | 94,77 |
| 20 | Sora | sora + ph 4 | loppu | 103,15 | 150 | 8,16 | 22,9 | 103,10 |
| 21 | Sora | sora + ph 4 | loppu | 97,94 | 150 | 7,39 | 17,6 | - |
| 22 | B86 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 11,73 | 5890 | 4,74 |
| 23 | B86 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 11,84 | 6740 | 4,76 |
| 24 | B86 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,67 | 5230 | 4,80 |
| 25 | B86 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,67 | 5700 | - |
| 26 | B86 | 30-40mm + sv | alku | 98,95 | 150 | 11,5 | 2220 | 96,87 |
| 27 | B86 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 93,12 | 150 | 11,64 | 5580 | 90,54 |
| 28 | B86 | 30-40mm + sv | loppu | 93,27 | 150 | 11,23 | 3680 | 90,92 |
| 29 | B86 | 30-40mm + sv | loppu | 95,86 | 150 | 11,24 | 2860 | - |
| 30 | B97 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 11,71 | 5140 | 4,80 |
| 31 | B97 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 11,8 | 6770 | 4,80 |
| 32 | B97 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,63 | 5370 | 4,81 |
| 33 | B97 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 11,63 | 5670 | - |
| 34 | B97 | 30-40mm + sv | alku | 95,8 | 150 | 11,5 | 2030 | 93,65 |
| 35 | B97 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 97,42 | 150 | 11,69 | 6760 | 95,24 |
| 36 | B97 | 30-40mm + sv | loppu | 94,11 | 150 | 11,31 | 3760 | 91,70 |
| 37 | B97 | 30-40mm + sv | loppu | 99,08 | 150 | 11,34 | 3830 | - |
| 38 | Sora | sora + sv | alku | 91,43 | 150 | 8,11 | 38 | 91,36 |
| 39 | Sora | sora + sv | keskivaihe | 95,76 | 150 | 8,64 | 37,9 | 95,68 |
| 40 | Sora | sora + sv | loppu | 93,98 | 150 | 8,5 | 50,5 | 93,95 |
| 41 | Sora | sora + sv | loppu | 99,19 | 150 | 7,82 | 38,5 | - |

| | | | | |
|------------|----------|--------------|---------------------------------|-----------------------|
| Alku | 3.6.-14 | sv: sadevesi | m: murskeen massa (g) | alku t: 24,2 °C |
| Keskivaihe | 6.6.-14 | | V: veden tilavuus (ml) | keskivaihe t: 23,6 °C |
| Loppu | 12.6.-14 | | cond: johtokyky (µS/cm) | loppu t: 22,3 °C |
| | | | m(ka,g): kuiva-aineen massa (g) | |

LIITE 4.2

Pakastus-sulatuskokeiden kalsiumin liukoisuudet

| | Näyte | | Analyyysi | m (g) | V (ml) | Ca (mg/kg ka) |
|----|-------|----------------|------------|--------|--------|---------------|
| 1 | B75 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 1430 |
| 2 | B75 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 3460 |
| 3 | B75 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 3390 |
| 4 | B75 | jauhe + sv | Porilab | 5 | 50 | - |
| 5 | B75 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 3480 |
| 6 | B75 | 30-40mm + sv | alku | 101,42 | 150 | 8,0 |
| 7 | B75 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 97,05 | 150 | 326 |
| 8 | B75 | 30-40mm + sv | loppu | 103,3 | 150 | 283 |
| 9 | B75 | 30-40mm + sv | loppu | 102,58 | 150 | 114 |
| 10 | B75 | jauhe + ph 4 | alku | 5 | 50 | 1440 |
| 11 | B75 | jauhe + ph 4 | keskivaihe | 5 | 50 | 3640 |
| 12 | B75 | jauhe + ph 4 | loppu | 5 | 50 | 3040 |
| 13 | B75 | jauhe + ph 4 | loppu | 5 | 50 | 2760 |
| 14 | B75 | 30-40mm + ph 4 | alku | 101,2 | 150 | 7,8 |
| 15 | B75 | 30-40mm + ph 4 | keskivaihe | 100,74 | 150 | 125 |
| 16 | B75 | 30-40mm + ph 4 | loppu | 102,78 | 150 | 104 |
| 17 | B75 | 30-40mm + ph 4 | loppu | 100,41 | 150 | 125 |
| 18 | Sora | sora + ph 3,7* | alku | 95,93 | 150 | 5,9 |
| 19 | Sora | sora + ph 4 | keskivaihe | 94,85 | 150 | 5,8 |
| 20 | Sora | sora + ph 4 | loppu | 103,15 | 150 | 12,4 |
| 21 | Sora | sora + ph 4 | loppu | 97,94 | 150 | 4,1 |
| 22 | B86 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 2550 |
| 23 | B86 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 3630 |
| 24 | B86 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 2770 |
| 25 | B86 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 3270 |
| 26 | B86 | 30-40mm + sv | alku | 98,95 | 150 | 7,1 |
| 27 | B86 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 93,12 | 150 | 318 |
| 28 | B86 | 30-40mm + sv | loppu | 93,27 | 150 | 373 |
| 29 | B86 | 30-40mm + sv | loppu | 95,86 | 150 | 197 |
| 30 | B97 | jauhe + sv | alku | 5 | 50 | 1550 |
| 31 | B97 | jauhe + sv | keskivaihe | 5 | 50 | 4100 |
| 32 | B97 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 3290 |
| 33 | B97 | jauhe + sv | loppu | 5 | 50 | 4120 |
| 34 | B97 | 30-40mm + sv | alku | 95,8 | 150 | 10,83 |
| 35 | B97 | 30-40mm + sv | keskivaihe | 97,42 | 150 | 380 |
| 36 | B97 | 30-40mm + sv | loppu | 94,11 | 150 | 286 |
| 37 | B97 | 30-40mm + sv | loppu | 99,08 | 150 | 324 |
| 38 | Sora | sora + sv | alku | 91,43 | 150 | 0,4 |
| 39 | Sora | sora + sv | keskivaihe | 95,76 | 150 | 9,1 |
| 40 | Sora | sora + sv | loppu | 93,98 | 150 | 13,7 |
| 41 | Sora | sora + sv | loppu | 99,19 | 150 | 13,2 |

sv: sadevesi

m: murskeen massa (g)

V: veden tilavuus (ml)

ka: kuiva-aine



Testausseleoste 2014-2547-1
Vesinäyte



1(1)
26.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Tiedepuisto 3
28600 Pori

| | | | | |
|--------------------|-----------------|------------|------------------|---------------------|
| Näytetiedot | Näyte | Muu vesi | Näytteen ottaja | Asiakas |
| | Näyte otettu | 19.06.2014 | Näytteenoton syy | Yksityinen tutkimus |
| | Saapunut | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus alkoi | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 25.06.2014 | | |

Näytteen taustatiedot: Betonimurskeen pakastus sulatuskoe, vesinäytteet
Näyte: 4

| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2547-1 | Epävarmuus |
|-----------|--|---------|----------|------------|
| | | | Muu vesi | |
| ARSEENI * | sis.men.V8:GfAAS perustuu:SFS 5502:5074-90 | µg/l | <2 | |
| KROMI * | sis.men. ICP-OES | µg/l | 7 | ±0,7 |
| KUPARI * | sis.men. ICP-OES | µg/l | 11 | ±1 |
| LYIJY * | sis.men. ICP-OES | µg/l | < 10 | |
| NIKKELI * | sis.men. ICP-OES | µg/l | <2 | |
| SINKKI * | sis.men. ICP-OES | µg/l | 6 | ±0,9 |

*=näyte testattu akkreditoitulla menetelmällä. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Tarja Vikman
Kemisti

PORILAB



Testausseoste 2014-2548-1
Vesinäyte



1(1)
26.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Tiedepuisto 3
28600 Pori

| | | | | |
|--------------------|-----------------|------------|------------------|---------------------|
| Näytetiedot | Näyte | Muu vesi | | |
| | Näyte otettu | 19.06.2014 | Näytteen ottaja | Asiakas |
| | Saapunut | 19.06.2014 | Näytteenoton syy | Yksityinen tutkimus |
| | Tutkimus alkoi | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 25.06.2014 | | |

Näytteen taustatiedot: Betonimurskeen pakastus sulatuskoe, vesinäytteet
Näyte: 8

| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2548-1 | Epävarmuus |
|----------|---|---------|--------|------------|
| ARSEENI | * sis.men.V8:GfAAS perustuu:SFS 5502,5074:-90 | µg/l | <2 | |
| I.YI.JY | * sis.men. ICP-OES | µg/l | <10 | |

*-näyte testattu akkreditoitulla menetelmällä. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Tarja Vikman
Kemisti

PORILAB

Tulos koskee vain testattua näytettä. Selosteen osittainen kopiointi on kielletty.

PORILAB, Tiedepuisto 4, 28600 Pori, Puh: 02 621 1100, Fax: 02 635 3738, e-mail: porilab@pori.fi www.pori.fi/porilab



Testausseloste 2014-2549-1
Vesinäyte



I(1)
26.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Tiedepuisto 3
28600 Pori

| Näytetiedot | Näyte | Muu vesi | Näytteen ottaja | Asiakas |
|-------------|-----------------|------------|------------------|---------------------|
| | Näyte otettu | 19.06.2014 | Näytteenoton syy | Yksityinen tutkimus |
| | Saapunut | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus alkoi | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 25.06.2014 | | |

Näytteen taustatiedot: Betonimurskeen pakastus sulatuskoe, vesinäytteet
Näyte: 24

| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2549-1 Muu vesi | Epävarmuus |
|-----------|---|---------|--------------------|------------|
| ARSEENI * | sis.men.V8:GFAAS perustuu:SFS 5502,5074:-90 | µg/l | <2 | |
| LYIJY * | sis.men. ICP-OES | µg/l | <10 | |

*=näyte testattu akkreditoitulla menetelmällä. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Tarja Vikman
Kemisti

PORILAB

Tulos koskee vain testattua näytettä. Selosteen osittainen kopiointi on kielletty.

PORILAB, Tiedepuisto 4, 28600 Pori, Puh: 02 621 1100, Fax: 02 635 3738, e-mail: porilab@pori.fi www.pori.fi/porilab



Testausseoste 2014-2550-1
Vesinäyte



I(1)
26.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Tiedepuisto 3
28600 Pori

| Näytetiedot | Näyte | Muu vesi | Näytteen ottaja | Asiakas |
|-------------|-----------------|------------|------------------|---------------------|
| | Näyte otettu | 19.06.2014 | Näytteenoton syy | Yksityinen tutkimus |
| | Saapunut | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus alkoi | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 25.06.2014 | | |

Näytteen taustatiedot: Betonimurskeen pakastus sulatuskoe, vesinäytteet
Näyte: 32

| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2550-1 Muu vesi | Epävarmuus |
|-----------|---|---------|--------------------|------------|
| ARSEENI * | sis.men.V8:GfAAS perustuu:SFS 5502,5074:-90 | µg/l | <2 | |
| LYIJY * | sis.men. ICP-OES | µg/l | <10 | |

* näyte testattu akkreditoitulla menetelmällä. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Tarja Vikman
Kemisti



Testausseleste 2014-2551-1
Vesinäyte



1(1)
26.06.2014

Satakunnan Ammattikorkeakoulu


Tiedepuisto 3
28600 Pori

| Näytetiedot | Näyte | Muu vesi | Näytteen ottaja | Asiakas |
|-------------|-----------------|------------|------------------|---------------------|
| | Näyte otettu | 19.06.2014 | Näytteenottaja | Yksityinen tutkimus |
| | Saapunut | 19.06.2014 | Näytteenoton syy | |
| | Tutkimus alkoi | 19.06.2014 | | |
| | Tutkimus valmis | 25.06.2014 | | |

Näytteen taustatiedot: Betonimurskeen pakastus sulatuskoe, vesinäytteet.
Näyte: 40

| Analyysi | Menetelmä | Yksikkö | 2551-1 Muu vesi | Epävarmuus |
|----------|---|---------|--------------------|------------|
| ARSEENI | * sis.men. V8:GfAAS perustuu: SIS 5502,5074:-90 | µg/l | 4 | ±0,8 |
| LYIJY | * sis.men. ICP-OES | µg/l | < 10 | |

*=näyte testattu akkreditoitulla menetelmällä. Akkreditointi ei koske lausuntoa.


Tarja Vikman
Kemisti

PORILAB

Rinnakkais- ja vertailunäytteet

Rinnakkaisnäytteet

| | Alkuvaihe | | Alkuvaihe 2 | | Loppuvaihe | | Loppuvaihe 2 | |
|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Näyte | pH | Johtokyky ($\mu\text{S/cm}$) | pH | Johtokyky ($\mu\text{S/cm}$) | pH | Johtokyky ($\mu\text{S/cm}$) | pH | Johtokyky ($\mu\text{S/cm}$) |
| C75 jauhe+sv | 11,57 | 5200 | 11,75 | 5270 | 11,71 | 6020 | 11,73 | 6100 |
| C75 30-40 mm+sv | 11,48 | 2160 | 11,6 | 2840 | 11,57 | 3710 | 11,5 | 2570 |
| C75 jauhe+pH4 | 11,64 | 5260 | 11,8 | 5420 | 11,67 | 5570 | 11,67 | 5070 |
| C75 30-40 mm+pH4 | 11,26 | 1180 | 11,39 | 1540 | 11,12 | 1320 | 11,32 | 2690 |
| sora + pH4 | 8,06 | 19,6 | 8,11 | 17,7 | 8,16 | 22,9 | 7,39 | 17,6 |
| B86 jauhe+sv | 11,73 | 5890 | 11,83 | 5600 | 11,67 | 5230 | 11,67 | 5700 |
| B86 30-40 mm+sv | 11,5 | 2220 | 11,59 | 2690 | 11,23 | 3680 | 11,24 | 2860 |
| A96 jauhe+sv | 11,71 | 5140 | 11,81 | 5240 | 11,63 | 5370 | 11,63 | 5670 |
| A96 30-40 mm+sv | 11,5 | 2030 | 11,57 | 2420 | 11,31 | 3760 | 11,34 | 3830 |
| sora + sv | 8,11 | 38 | 7,15 | 74,7 | 8,5 | 50,5 | 7,82 | 38,5 |

,jossa sv = sadevesi
2 = rinnakkaisnäyte

Vertailunäytteet

| Näyte | pH | Johtokyky ($\mu\text{S/cm}$) | Lämpö- tila ($^{\circ}\text{C}$) |
|---------------------|-------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| B86 jauhe | 11,91 | 2830 | 21,4 |
| Sementti | 12,05 | 5650 | 21,3 |
| Ca(OH) ₂ | 12,28 | 6930 | 21,5 |
| Ruokintakalkki | 8,25 | 184,5 | 21,5 |
| Deionisoitu vesi | 4,74 | 9,6 | 20,7 |
| Vesijohtovesi | 7,59 | 165,3 | 21,4 |
| 0,0001-M NaCl | 4,97 | 126,3 | 21,3 |
| 0,001-M NaCl | 5,12 | 1168 | 21,3 |

,jossa Ca(OH)₂=synteettinen kalsiumhydroksidi
NaCl=synteettinen natriumkloridiliuos

MARA-asetuksen vertailu Eurofins:n tuloksiin

| | Kokonaispitoisuudet | | Liukoisuudet | |
|--|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| | MARA-asetuksen | Eurofins:n | MARA-asetuksen | Eurofins:n |
| | raja-arvot (mg/kg ka) | tulokset (mg/kg ka) | raja-arvot (mg/kg ka) | tulokset (mg/kg ka) |
| PCB | 1 | - | | |
| PAH | 20 | - | | |
| Mineraaliöljyt | 500 | < 40 | | |
| DOC | | | 500 | 16 |
| Antimoni (Sb) | | | 0,06 | < 0,01 |
| Arseeni (As) | 50 | 23 | 0,5 | < 0,01 |
| Barium (Ba) | | | 20 | 3,7 |
| Kadmium (Cd) | 10 | 0,3 | 0,02 | < 0,003 |
| Kromi (Cr) | 400 | 39 | 0,5 | 0,04 |
| Kupari (Cu) | 400 | 37 | 2 | < 0,05 |
| Elohopea (Hg) | | | 0,01 | < 0,002 |
| Lyijy (Pb) | 300 | 12 | 0,5 | 0,01 |
| Molybdeeni (Mo) | | | 0,5 | < 0,01 |
| Nikkeli (Ni) | | | 0,4 | < 0,01 |
| Vanadiini (V) | | | 2 | < 0,1 |
| Sinkki (Zn) | 700 | 74 | 4 | < 0,1 |
| Seleen (Se) | | | 0,1 | < 0,01 |
| Fluoridi (F ⁻) | | | 10 | < 2,0 |
| Sulfaatti (SO ₄ ²⁻) | | | 1000 | < 24 |
| Kloridi (Cl ⁻) | | | 800 | < 10 |

DOC: liuennut orgaaninen hiili

PCB: polyklooratut bifenyylit

PAH: polysykliset aromaattiset hiilivedyt

ka: kuiva-aine

MARA-asetuksen raja-arvot on peitetyle rakenteelle, koska sulfaatin ja fluoridin osalta raja-arvot ovat tiukemmat peitetyle rakenteelle kuin päällystetylle.