



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

PURKUBETONIMURSKEEN TUOTTEISTAMISEN EDELLYTYKSET

CE-merkintä mahdollisuudet ja pH-neutralointi

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Ympäristötekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Topias Lahti

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniologia

LAHTI, TOPIAS:

Purkubetonimurskeen tuotteistamisen
edellytykset
CE-merkintämahdollisuudet ja pH-
neutralointi

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 32 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Insinööritoimisto Gradientti Oy, jolle tämä työ tehtiin osana yritykseltä tilattua betonimurskeen tuotteistamisen edellytysten selvityshanketta. Tässä työssä tarkasteltiin maarakentamiseen tarkoitettun purkubetonimurskeen CE-merkinnän mahdollisuuksia, joka on tuotteistamisen kannalta välttämätöntä uuden EU:n rakennustuoteasetuksen astuttua voimaan. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta tehdä betonimurskeesta ympäristöystävällisempää neutraloimalla sen emäksinen pH happaman valimon muottihiekan avulla.

Betonimurskeen CE-merkintämahdollisuuksia tutkittiin olemassa olevien standardointimenetelmien sekä materiaalin laboratoriotestausten avulla. Maarakentamisessa käytettävä kiviaines on mahdollista CE-merkitä harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 13242+A1 avulla. Työssä tarkasteltiin kyseisen standardin mukaisten testausten ja laadunvalvonnalle asetettujen kriteerien soveltuvuutta betonimurskeelle.

Betonimurskeen ja muottihiekan pH-ominaisuuksia tutkittiin sekä kenttäolosuhteissa, että laboratoriossa. pH:ta mitattiin kiviaineksen kanssa kosketuksissa olleesta vedestä. Tutkimusten lähtökohtana toimi samaiseen hankkeeseen tehty diplomityö, jossa tutkittiin betonimurskeen ympäristökelpoisuutta maarakentamiseen analyoimalla siitä veteen liukenevia haitta-aineita. Diplomityön yksi johtopäätös oli, että betonimurskeen läpi suotautunut vesi on hyvin emäksistä, joka lisää tiettyjen metallien, kuten kromin liukenemistä, joten sen pH:n neutralointimahdollisuuksia kannattaa tutkia.

Työn tuloksena saatiin, että maarakentamiseen tarkoitettun betonimurskeen voi CE-merkitä, mutta kaikki standardin mukaiset testimenetelmät eivät sovellu betonimurskeelle. Lisäksi standardin alkutestauksille ja laadunhallinnalle asettamat kriteerit vaativat purkubetonimurskeen tuottajilta normaalia vaativampaa laadunhallintajärjestelmää. Tutkimustulosten perusteella rakennusteknisesti kelpoisen betonimurskeen neutralointi ei ole mahdollista valimon muottihiekan avulla.

Asiasanat: betonimurske, CE-merkintä, maarakennus, muottihiekka, pH, tuotteistus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

LAHTI, TOPIAS: Requirements for productizing crushed
concrete
CE marking possibilities and pH
neutralization

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 32 pages, 2 pages of appendices

Spring 2013

ABSTRACT

This thesis was made for Insinööritoimisto Gradientti Ltd as a part of a project ordered from the company, where the aim was to investigate requirements for productizing crushed concrete. The aim of the thesis was to investigate the possibilities of obtaining CE-marking for crushed concrete used as an earth construction material. In addition, the possibilities of neutralizing its alkaline pH value with acidic mold sand were investigated.

The possibilities of obtaining CE-marking were investigated with existing standardization methods and by testing the material in a laboratory. Crushed concrete that is meant for earth construction material can be CE marked with a harmonized standard called SFS-EN 13242+A1. The aim of the thesis was to investigate requirements of the standard and compare them to the production properties of crushed concrete.

The pH neutralizing possibilities were investigated both in field and laboratory conditions. The pH value was measured from water that was infiltrated through the crushed concrete. The pH studies were based on a Master of Science thesis that was made for the same project as this thesis. The thesis was about environmental competence of crushed concrete used as an earth construction material. One of the conclusions was that its alkaline pH value can be harmful for the environment, so possibilities of its neutralization are worth investigation.

The result of this thesis was that crushed concrete used as an earth construction material can be CE marked, but all the test methods in the standard are not suitable for it. In addition, requirements for quality control that are set in the standard make a challenge for crushed concrete production. As a result of the pH neutralizing study it can be stated that neutralizing crushed concrete with acidic mold sand is not possible.

Key words: CE marking, crushed concrete, earth construction, mold sand, pH, productization

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	BETONIMURSKEEN MAANRAKENNUSKÄYTTÖÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ	4
2.1	Ympäristönsuojelulaki 86/2000	4
2.2	Valtioneuvoston asetus 591/2006, eli MARA-asetus	4
2.3	EU:n jätedirektiivi 2008/98/EY	7
3	CE-MERKINTÄ	10
3.1	EU:n rakennustuoteasetus	10
3.2	Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmä	11
3.3	Tehtaan sisäinen laadunvalvonta	12
3.4	Kiviaineksen CE-merkintä standardin SFS-EN 13242+A1 avulla	13
3.4.1	Tuotteen alkutestaus	14
3.4.2	Tuotteen laadunvalvonta	15
4	TEHDYT TUTKIMUKSET	16
4.1	Vesiliuosten happo-emäs -ominaisuuksia	16
4.2	Tutkittavien materiaalien kemialliset ominaisuudet	17
4.3	Rakeisuustutkimukset	18
4.4	pH:n neutralointimahdollisuuksien tutkiminen kenttäolosuhteissa	18
4.5	pH:n neutralointimahdollisuuksien tutkiminen laboratoriossa	19
4.6	Laboratoriotutkimukset nro 1	20
4.7	Laboratoriotutkimukset nro 2	20
4.8	Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaiset alkutestaukset	21
5	TULOSTEN TARKASTELU	22
5.1	Kenttätutkimusten tulokset	22
5.2	Laboratoriotutkimusten nro 1 tulokset	23
5.3	Laboratoriotutkimusten nro 2 tulokset	25
5.4	Alkutestauksen tulokset	26
6	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	33

SANASTO

AC	Attestation of Conformity. AC-luokka määrää tuotteen vaatimustenmukaisuuden osoittamistavan.
CE	Conformité Européene. Tuotteen CE-merkki osoittaa tuotteen täyttävän sitä koskevien EU:n direktiivien vaatimukset ja, että tuote on läpikäynyt mahdollisesti vaaditut tarkistukset.
EoW	End of waste. End-of-Waste-periaatteen mukaan jäte lakkaa olemasta jätettä, kun se on käynyt läpi hyödyn-tämistoimen ja kun tarpeellinen ja turvallinen tuote tuodaan markkinoille.
ETA	Eurooppalainen tekninen arviointi, voidaan myöntää rakennustuotteille, joille ei ole olemassa harmonisoitua tuotestandardia.
FPC	Factory Production Control. FPC-manuaalissa on ku-vattuna tehtaan sisäisen laadunvalvonnan menetelmät.
hEN	Harmonisoitu tuotestandardi, joka on Eurooppalaisen standardisoimisjärjestön CENin laatima CE-merkintään johtava tuotestandardi. Se määrittää tuote-ryhmäkohtaisesti tuotteilta selvitettävät ominaisuudet, valmistuksen laadunvalvonnan vaatimukset ja CE-merkinnässä ilmoitettavat tiedot.
InfraRYL2010	Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset -julkaisu, joka sisältää väyliä koskevia toimivuusvaatimuksia se-kä maa-, pohja-, kallio-, ja päällysrakenteita koskevat tekniset vaatimukset sekä teknisiä vaatimuksia raken-nustarvikkeille ja työn suoritukselle.
Jakava kerros	Maarakennustermi, ns. välikerros, joka sijoittuu yleen-sä pohjamaan tai suodatinkerroksen yläpuolelle ja kan-tavan kerroksen alapuolelle.
Kantava kerros	Maarakennustermi, jakavan kerroksen päälle rakennet-tava kerros, jonka päälle tulee vielä mahdolliset pääl-lystekerrokset.
Los Angeles -luku	Kuvaa kiviaineksen iskunkestävyyttä. Luku ilmoite-taan luokkana, esim. jos Los Angeles -luku on ≤ 35 , sen luokka on LA ₃₅ .

MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus 591/2006 eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.
Raekoko	Kiviaineksen raekoko määritetään alemman seulakoon (d) ja ylemmän seulakoon (D) avulla, joka merkitään d/D, esimerkiksi 0/63.
Suotovesi	Jonkin aineksen tai materiaalin läpi painovoimaisesti suodattunutta vettä, yleensä sadevettä.
YSL	Ympäristönsuojelulaki 86/2000.

1 JOHDANTO

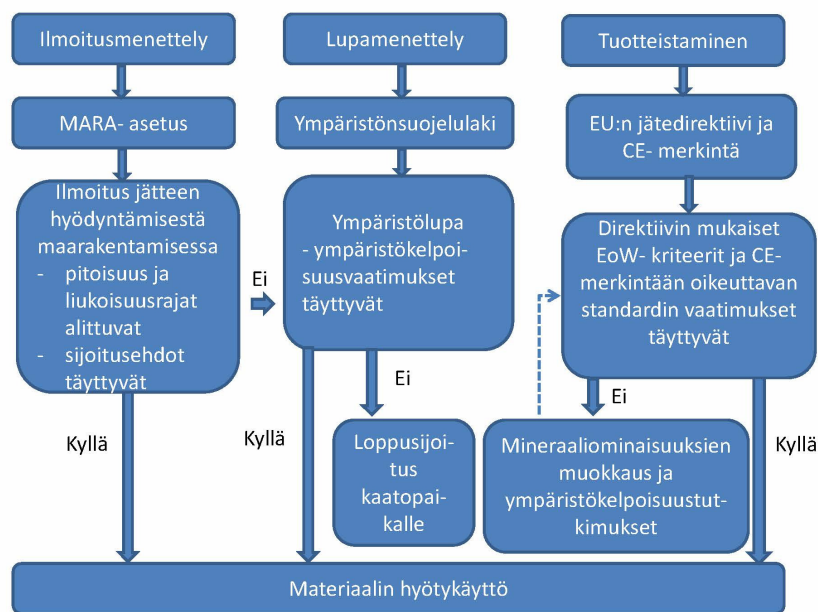
Tämä opinnäytetyö on tehty Insinööritoimisto Gradientti Oy:lle osana yritykseltä tilattua betonimurskeen tuotteistamisen edellytysten selvityshanketta. Hankkeessa tarkastellaan pääasiassa rakennus- ja ympäristötekniisiä mahdollisuuksia betonimurskeen tuotteistamiselle ja tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää hankkeeseen betonimurskeen CE-merkintämahdollisuuksia. Lisäksi työn puitteissa tehtiin tutkimus, onko betonimurskeesta mahdollista tehdä ympäristöystävällisempi tuote sekoittamalla siihen toista mineraaliseksi jätteeksi luokiteltavaa ainesta.

Suomessa syntyy betonijätettä arviolta noin 700 000 - 1 000 000 tonnia vuodessa, pääosin purkutyömailla. Betonin kierrätykselle on hyvät edellytykset, koska lajitteleva purkutekniikka mahdollistaa purkubetonin kokonaisvaltaisen hyödyntämisen. Suomessa syntyvästä betonijätteestä hyödynnetään noin 80 prosenttia, josta loppu päättyy loppusijoitukseen. Betonimurske soveltuu hyvin maarakentamiseen, sillä se sisältää reagoimatonta sementtiä ja näin ollen se lujittuu käytössä, jolloin saadaan parempia kantavuuksia kuin luonnonkiviaineilla. (Vakkuri 2011.)

Betonimurskeelle on olemassa markkinat, koska tällä hetkellä se kattaa maarakentamisessa vain noin prosentin käytetyistä kivimääristä. Suomessa on tälläkin hetkellä satoja tuhansia tonneja betonimursketta varastossa odottamassa. Suurimmat esteet betonin laajemmalle uusiokäytölle maarakentamisessa löytynee asenteista, vaikka oikealla tavalla jalostettu betonimurske on testein ja tutkimuksin todettu ympäristö- ja rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan jopa kalliomursketta paremmaksi. Ihmisillä on vielä paljon ennakkoluuloja kierrätysmateriaaleja kohtaan, ja monille purkubetoni on vain jätettä, jota pitäisi halutessaan saada ilmaiseksi. (Vakkuri 2011.)

Suomen lainsäädännön mukaan jätteen hyödyntäminen maarakentamisessa tarvitsee ympäristöluvan, paitsi sellaisten jätteiden kohdalla, jotka on vapautettu lupavelvollisuudesta erillisellä asetuksella. Teollisten jätteiden hyötykäytössä voidaan erottaa kolme erilaista toimintalinjaa. Betonimurskeen hyötykäyttöä maarakentamiseen ohjaa Valtioneuvoston asetus (591/2006) eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. MARA-asetus määrittelee normit, joiden puitteissa jätteen

hyödyntämiseen maanrakennusaineena riittää ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Jos betonimurske ei täytä asetuksen vaatimuksia, voidaan sen hyötykäytölle kuitenkin hakea tapauskohtaista ympäristölupaa. Kolmantena mahdollisuutena jätteen hyödyntämiseen on tuotteistaminen, jolloin status muuttuukin jätteestä tuotteeksi, jolloin siihen sovelletaan tuotelainsäädäntöä. Tuotteistamisen ensisijainen pyrkimys on saada erilaiset aineet ja materiaalivirrat jätelainsäädännön ulkopuolelle. Purkubetonin jätestatus onkin kenties suurin jarru betonimurskeen laajemmassa hyödyntämisessä. Kuviossa 1 on esitetty kaikki kolme mahdollista toimintalinjaa. (Alasaarela & Inkeröinen 2010, 43.)



KUVIO 1. Betonimurskeen hyötykäytön toimintalinjat (Alasaarela & Inkeröinen 2010, 44)

Uusi EU:n jätedirektiivi (2008/98/EY) mahdollistaa jätteen tuotteistamisen niin kutsutuilla EoW-kriteereillä, jolloin jätteen status muuttuu tuotteeksi. Uusi EU:n rakennustuoteasetus (305/2011) tekee CE-merkinnästä pakollisen kaikille niille rakennustuotteille, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettäville sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kiviaineksille on olemassa Eurooppalainen harmonisoitu tuotestandardi SFS-EN 13242+A1. Standardi koskee myös uusiokiviaineksia, eli teoriassa se mahdollistaa betonimurskeen CE-merkitsemisen. Tässä opinnäytetyössä

tutkitaan purkubetonin CE-merkinnän saamisen edellytyksiä ja mahdollisuuksia kyseisen standardin avulla.

Yhtenä EoW-kriteerien vaatimuksena on, että aineen tai esineen käytöstä ei aiheudu haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle. Ympäristökelpoisuuden arviointi on muutoinkin välttämätön osa maarakentamisen uusiomateriaalin tuottamisesta, joka voidaan tehdä materiaalin pitoisuusmääritysten ja liukoisuustestien avulla (Alasaarela, Pajukallio & Wahlström 2011). Mikael Rossi teki Lappeenrannan yliopistossa vuonna 2012 diplomityön Mineraalisen rakennusjätteen hyötykäyttö maarakentamisessa. Diplomityön tarkoituksena oli osoittaa betonimurskeen ympäristökelpoisuus maarakennuskäytössä määrittelemällä siitä liukenevia haitta-aineita. Kokeet suoritettiin Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy:n (nykyisen LADEC Oy:n) maaperän tutkimuskeskuksessa, jossa saatiin järjestettyä kokeelle lähes luonnonmukaiset olosuhteet. Liuenneita haitta-aineita tutkittiin betonimurskekerroksen läpi suotautuneesta sadevedestä. Tutkittavat haitta-aineet olivat Valtioneuvoston asetuksen 591/2006 liitteen 1 (403/2009) mukaisia. Rossin tutkimustyön tulos oli, että MARA-asetuksen (591/2006) kriteerit täyttävä betonimurske ei ole vaaraksi ympäristölle tai terveydelle, paitsi pH:n osalta, joka todettiin hyvin emäksiseksi ($\text{pH} > 11$). Lisäksi pH:n nousu vaikutti lisäävän tiettyjen metallien, kuten kromin liukoisuutta.

MARA-asetus ei aseta vaatimuksia betonimurskeen pH:lle, mutta emäksiset suotovedet, joiden $\text{pH} > 11$, voivat olla haitaksi ympäristölle ja terveydelle. Esimerkiksi monille kasveille suotuisin maaperän pH on 6 - 7 (Opetushallitus 2013). Vesien eliöstö on sopeutunut elämään pH-alueella 6 - 8 ja Suomessa juomavedelle on annettu pH:n ohjearvo 6,5 - 8,8 (Valtion ympäristöhallinto 2011). Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada kenttä- ja laboratoriotutkimuksin alustavaa tietoa mahdollisuudesta neutraloida MARA-asetuksen mukaisen betonimurskeen pH:ta toisella mineraalisella materiaalilla, joka tässä tapauksessa on valimon muottihiekka. pH:ta tutkitaan betonimurskeen kanssa kosketuksissa olleesta vedestä ja tavoiteltava pH-alue on 6 - 9, joka on valittu ympäristölle suotuisien ja talousveden pH-ohjearvojen perusteella.

2 BETONIMURSKEEN MAANRAKENNUSKÄYTTÖÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 Ympäristönsuojelulaki 86/2000

Ympäristönsuojelulain tavoitteita ovat muun muassa ympäristön pilaamisen ehkäiseminen, ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arvioinnin tehostaminen sekä jätteiden synnyn ja haitallisten vaikutusten ehkäiseminen. Ympäristönsuojelulain 7. pykälän mukaan maahan ei saa jättää tai päästää jätettä siten, että seurauksena on maaperän laadun huononeminen ja josta voi aiheutua vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Ympäristönsuojelulain 8. pykälässä kielletään aineen sijoittaminen tai käsittely siten, että tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua. Ympäristönsuojelulain 7. ja 8. pykälä ohjaavat siis betonimurskeen käyttöä maanrakennusaineena siten, että sen laadusta on oltava varmoja maaperän ja pohjaveden pilaamisen ehkäisemiseksi. (YSL 86/2000, 1§, 7§, 8§.)

Ympäristönsuojelulain 28. pykälän mukaan jätteen laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen tai käsittelyyn on oltava ympäristölupa, joka siis koskee myös jätetähtäksellistä betonimursketta. Ympäristönsuojelulain 12. pykälän mukaan Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa muun muassa jätteiden käsittelyä koskevia tarkempia säännöksiä ympäristön pilaantumisen vaaran ehkäisemiseksi. Betonimurskeen maanrakennuskäyttöä helpottamaan onkin annettu Valtioneuvoston asetus 591/2006. (YSL 86/2000, 12§, 28§.)

2.2 Valtioneuvoston asetus 591/2006, eli MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006), eli niin kutsuttu MARA-asetus astui voimaan 15. heinäkuuta 2006. MARA-asetuksen liitteitä on muutettu valtioneuvoston asetuksella 403/2009, joka tuli voimaan 15.6.2009. Asetuksen tarkoituksena on edistää jätteiden hyödyntämistä määrittelemällä edellytykset, joiden täytyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (86/2000) 28. pykälän mukaista maksullista ympäristölupaa, vaan sitä vastoin

riittää, että hyödyntämispaikan haltija tekee ympäristönsuojelulain (86/2000) 65. pykälän mukaisen ilmoituksen ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. (VNa 591/2006, 1§.) Kriteereitä ovat muun muassa asetuksessa annettujen haitta-aineiden pitoisuuksien ja liukoisuuksien raja-arvot. Jätteiden maanrakennuskäyttöä koskevan lainsäädännön perustana on, ettei ympäristönsuojelulain (86/2000) 7. ja 8. pykälän mukaisia pohjaveden ja maaperän pilaamiskieltoja rikota (Finnlund 2005, 2). Asetuksen 5. pykälä määrää, että jätettä sisältävän rakenteen paksuus saa olla enintään 150 cm ja rakenne ei saa joutua kosketuksiin pohjaveden kanssa (VNa 591/2006, 5§).

MARA-asetuksessa (591/2006) tarkoitettuja jätteitä voidaan hyödyntää 2. pykälän mukaisissa maa-rakennuskohteissa:

- 1) yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet;*
- 2) pysäköintialueet;*
- 3) urheilukentät sekä virkistys- ja urheilualueiden reitit;*
- 4) ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet.*

MARA-asetuksen (591/2006) liitteen 1 (403/2009) mukaan betonimurskeella tarkoitetaan jätettä, joka on valmistettu puretuista betonirakenteista tai uudisrakentamisen ja betoniteollisuuden betonijätteistä murskaamalla enintään 150 millimetrin kappalekokoon. Lisäksi murskatun betonin seassa saa olla korkeintaan 30 painoprosenttia tiiltä. Samaisessa liitteessä määritellään asetuksen soveltamisalaan kuuluvien jätteiden sisältämien haitallisten aineiden pitoisuuden ja liukoisuuden raja-arvot, joita tutkitaan seuraavista haitta-aineista: polyklooratut bifenyylit, polyaromaattiset hiilivedyt, mineraaliöljyt, liuenneet orgaaniset yhdisteet, antimoni, arseeni, barium, kadmium, kromi, kupari, elohopea, lyijy, molybdeeni, nikkeli, vanadiini, sinkki, seleeni, fluoridi, sulfaatti ja kloridi. Asetuksessa on erittäin kattavat vaatimukset betonimurskeen ympäristötekniisille ominaisuuksille, mutta rakennusteknisiä vaatimuksia ei juuri ole. MARA-asetuksen (591/2006) liitteessä 2

(403/2009) edellytetään betonimurskeen tuottajaa laatimaan laadunvarmistusjärjestelmä, jolla osoitetaan vaadittujen kriteerien ja toimintatapojen täytyminen.

Ympäristönsuojelulain (86/2000) 65. pykälän mukaisessa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle tehtävässä ilmoituksessa on oltava Valtioneuvoston asetuksen (591/2006) 6. pykälän mukaiset tiedot:

- 1) hyödyntämispaikan haltijan nimi ja yhteystiedot;*
- 2) tiedot hyödyntämispaikan sijainnista sekä sen läheisyydessä sijaitsevista pohjavesialueista ja niiden luokista sekä vedenotto-paikoista ja vesistöistä;*
- 3) tiedot maarakentamista koskevasta maankäyttö- ja rakennuslain, yleisistä teistä annetun lain tai maantielain mukaisesta suunnitelmasta, ilmoituksesta tai luvasta;*
- 4) jätteen luovuttajan nimi ja yhteystiedot;*
- 5) jätteen nimike ja selvitys siitä, että liitteessä 1 säädetyt raja-arvot alittuvat;*
- 6) jätteen määrä;*
- 7) selvitys jätettä sisältävästä rakenteesta, peittämiseen tai päällystämiseen käytettävästä materiaalista, varastoinnista ja muusta toiminnasta hyödyntämispaikalla sekä näihin liittyvistä tarpeellisista suojaustoimista;*
- 8) ajankohta, jolloin hyödyntäminen maarakentamisen aikana alkaa ja päättyy.*

MARA-asetus (591/2006) on voimaan tultuaan helpottanut betonimurskeen käyttöä, koska aikaisemmin jätteiden maanrakennuskäyttöä koskeva ympäristölupakäytäntö on ollut epäyhtenäistä (Finnlund 2005, 1). Vaikka betonimurskeen käyttö on asetuksen myötä helpottunut, ympäristölupa- ja ilmoitusmenettely osaltaan vähentävät betonimurskeen käytön halukkuutta. Sekä ilmoituksen tekeminen että ympäristöluvan hakeminen ovat aikaa ja rahaa vieviä prosesseja. Tästä syystä olisi otollinen aika saada tuotteistettua maanrakennukseen käytettävä betonimurske siten, että jätestatus muuttuisi tuotteeksi ja markkinoille saataisiin mahdollisimman ympäristöneutraali ja rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan maanrakentamiseen soveltuva materiaali. Uusi jättepuitedirektiivi (2008/98/EY) tarjoaa jätteen

tuotteistamismekanismiin, eli niin kutsutut End-of-Waste-kriteerit, joka on menettelytapa jätteen luokittelun päättymiselle (Alasaarela & Inkeröinen, 2010, 14).

2.3 EU:n jätedirektiivi 2008/98/EY

EU:n jätedirektiivissä (2008/98/EY) on säädetty jätehierarkia, jota sovelletaan ensisijaisuusjärjestyksenä jätteen syntymisen ehkäisemistä ja jätehuoltoa koskevassa lainsäädännössä ja politiikassa. Jätehierarkian ensisijaisuusjärjestys edesauttaa kierrätysmateriaalina käsitettävän purkubetonimurskeen käyttöä maarakentamisessa. Jätedirektiivin (2008/98/EY) 4. artiklan mukaan ensisijaisuusjärjestys on seuraavanlainen:

- 1) jätteen synnyn ehkäiseminen
- 2) jätteen valmistelu uudelleenkäyttöön
- 3) kierrätys
- 4) muu hyödyntäminen, esimerkiksi energiana
- 5) loppusijoittaminen.

Direktiivi (2008/98/EY) velvoittaa 28. artiklassa jäsenvaltioita laatimaan jätehuoltosuunnitelman, jonka takia Suomessa on laadittu Valtakunnallinen jättesuunnitelma (VALTSU). Suunnitelma sisältää Suomen jätehuollon päämäärät ja tavoitteet vuoteen 2016 mennessä. Betonimursketta koskevia tavoitteita ovat, että vuonna 2016 rakentamisen jätteistä hyödynnetään vähintään 70 % materiaalina ja energiana ja että maanrakentamisessa korvataan luonnonsoraa ja kalliomursketta teollisuuden ja kaivannaistuotannon jätteillä 5 % eli noin 34 miljoonaa tonnia. (Ympäristöministeriö 2008, 5.)

Jätedirektiivin (2008/98/EY) 6. artiklassa on kerrottu arviointiperusteet, milloin tietty jäte lakkaa olemasta jätettä. Tämä niin sanottu End-of-Waste-periaate tarkoittaa, että jäte lakkaa olemasta jätettä, kun se on käynyt läpi hyödyntämistoimen ja kun tarpeellinen ja turvallinen tuote tuodaan markkinoille. EoW-materiaalia tuottavalla yrityksellä on oltava kattava laadunhallintajärjestelmä, jolla osoitetaan kriteerien täyttyminen. (Blauberg 2012.)

Jätedirektiivin (2008/98/EY) 6. artiklan mukaiset yleiset edellytykset jäteominaisuuden päättymiselle ovat:

a) ainetta tai esinettä käytetään yleisesti tiettyyn tarkoitukseen;

b) aineelle tai esineelle on olemassa markkinat tai kysyntää;

c) aine tai esine täyttää tiettyjen tarkoitusten mukaiset tekniset vaatimukset ja on tuotteisiin sovellettavien olemassa olevien säännösten ja standardien mukainen;

d) ja aineen tai esineen käytöstä ei aiheudu haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle ja terveydelle

Näihin perusteisiin sisältyy tarvittaessa epäpuhtauksien raja-arvoja, ja niissä otetaan huomioon aineen tai esineen mahdolliset haitalliset vaikutukset ympäristölle.

Lisäksi jätedirektiivin (2008/98/EY) mukaan Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto esittävät, että jätteen määritelmän eri näkökohtien välillä ei saisi olla sekaannusta, ja asianmukaisia menettelyjä olisi tarvittaessa sovellettava jäteteeseen, joka lakkaa olemasta jätettä. Tiettyjen jätteen määritelmään liittyvien seikkojen tarkentamiseksi olisi selvennettävä sitä, milloin tietty jäte lakkaa olemasta jätettä. Mahdollisia jäteluokkia, joiden osalta jätteeksi luokittelun päättymistä koskevia vaatimuksia ja perusteita olisi Euroopan parlamentin ja Euroopan unionin neuvoston mukaan kehitettävä, ovat muun muassa rakennus- ja purkujäte sekä kiviaines. Direktiivin (2008/98/EY) mukaan Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto katsovat, että jätteeksi luokittelun päättymisen edellyttämä hyödyntämistoimi voi yksinkertaisimmillaan olla se, että jätteestä tarkastetaan, täyttääkö se aiemmin mainitut jätteeksi luokittelun päättymistä koskevat perusteet. (Jätedirektiivi 2008/98/EY.)

Rakennus- ja purkujätteeksi luokiteltava betonimurske täyttää pääosin kaikki direktiivissä luetellut yleiset edellytykset jäteominaisuuden päättymiselle. Se on yleisesti tiettyyn tarkoitukseen käytetty materiaali ja noudatettaessa valtakunnallista jätesuunnitelmaa käytön tulisi ainoastaan lisääntyä. Markkinat maanrakennuskäyttöön tarkoitettulla purkubetonimurskeella on olemassa, näin sanovat kaksi alan asiantuntijaa toimitusjohtaja Kari Kärkkäinen (2012) Purkupiha Oy:stä ja Rudus Oy:n kierrätysyksikön johtaja Tuomo Joutsenoja (2011). Betonimurskeen

rakennusteknisiä ominaisuuksia on tutkittu jo vuosikausia ja se on todettu jopa luonnonsoraa paremmaksi materiaaliksi sen keveytensä ja lujittumisominaisuuksien vuoksi. Betonimursketta on teknisesti mahdollista käyttää lähes kaikissa maa-rakentamisen käyttökohteissa korvaamaan rakeisuudeltaan vastaavia luonnon kiviaineita. Mahdollisesti tuotteistettava betonimurske on lainsäädännön mukaan CE-merkittävä, jonka avulla sen tekninen kelpoisuus tulisi osoitettua. Betonimurskeen ympäristökelpoisuutta arvioidaan tällä hetkellä valtioneuvoston asetuksen 591/2006 ja 403/2009 liitteen 1 mukaan, jonka asettamien haitallisten aineiden raja-arvojen alittuessa betonimurskeen hyötykäyttö ei tarvitse ympäristölupaa. Kyseiset haitta-aineet ja niiden raja-arvot voisivat hyvin toimia tuotteistetun betonimurskeen ympäristökelpoisuuden arviointikriteereinä, vaikka se ei enää tuotteenä MARA-asetuksen piiriin kuuluisikaan.

Direktiivin (2008/98/EY) mukainen ensimmäinen neuvoston asetus (333/2011) rauta-, teräs- ja alumiiniromun EoW-kriteereistä hyväksyttiin 31.3.2011. Lasin EoW-kriteerit on hyväksytty ja julkaistu 10.12.2012 ja asetusta sovelletaan 11.6.2013 lähtien. Myös kuparille, paperille ja kompostituotteille on tällä hetkellä valmisteilla EoW-kriteerit. (Ympäristöministeriö 2013b.)

3 CE-MERKINTÄ

CE-merkintä on valmistajan vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien EU-direktiivien sekä asetusten vaatimukset ja että tuote on käynyt läpi mahdollisesti vaadittavat tarkastukset. CE-merkintä mahdollistaa tuotteen vapaan liikkumisen Euroopan talousalueella, ja se on pakollinen, jos tuotetta koskeva direktiivi niin vaatii. Muita kuin direktiivin alaisia tuotteita ei voi CE-merkitä, mutta direktiivin alaisille tuotteille merkintää voi hakea monilla eri tavoilla. Joissakin tapauksissa riittää, että valmistaja vakuuttaa itse tuotteen täyttävän CE-merkinnän vaatimukset ja joissain tapauksissa vaaditaan vakuutus kolmannelta osapuolelta, joka on valmistajasta riippumaton arviointilaitos, eli niin kutsuttu ilmoitettu laitos. CE-merkki on aina kiinnitettyä tuotteeseen tai sen pakkaukseen. Mikäli tämä ei ole mahdollista, sen voi sijoittaa tuotteeseen liittyvään ohjeisiin tai muuhun asiakirjaan, kuten kuormakirjaan. (Euroopan komissio 2011; Suomen Standardisoimisliitto 2013.)

3.1 EU:n rakennustuoteasetus

Nykyisin voimassa olevan rakennustuotedirektiivin (89/106/ETY) tulee korvata rakennustuoteasetus (305/2011), joka astui osittain voimaan 24.4.2011 ja tulee kokonaisuudessaan voimaan 1.7.2013. Rakennustuoteasetus (305/2011) tuo tullessaan muutoksia ja tarkennuksia nykyiseen direktiiviin (89/106/ETY) verrattuna. Rakennustuoteasetus (305/2011) muun muassa kattaa selkeämmin rakennustuotteiden ympäristönäkökohdat koko elinkaaren ajalta kuin rakennustuotedirektiivi (89/106/ETY). Voimaan tultuaan se tekee CE-merkinnästä pakollisen kaikille niille markkinoille saatetuille rakennustuotteille, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, tai tuotteille, joille valmistaja on hankkinut eurooppalaisen teknisen arvioinnin. CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että rakennustuotteen ominaisuudet ovat eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset (Koponen 2013). CE-merkintää ei haeta viranomaisteitse, vaan tuotteen valmistaja vastaa siitä itse. Tuotteen käyttäjällä, eli tässä tapauksessa rakentajalla, on velvollisuus varmistua siitä, että tuote on teknisiltä ja ympäristöominaisuuksiltaan rakennuskohteeseen sopiva. Suomessa ympäristöministeriö on valtuuttanut TUKES:in (Turvallisuus ja





















kemikaalivirasto) toimimaan CE-merkittyjen rakennustuotteiden markkinavalvojana. (Ympäristöministeriö 2013a.)

Rakennustuoteasetuksen (305/2011) myötä CE-merkintään oikeuttavan tuotekohdaisen vaatimustenmukaisuusvakuutuksen korvaa suoritustasoilmoitus. Valmistaja tekee suoritustasoilmoituksen tuotteen testitulosten ja muiden selvitysten perusteella rakennustuoteasetuksen (305/2011) liitteessä 3 esitetyn mallin mukaisesti. Kun suoritustasoilmoitus on laadittu, voi tuotteen valmistaja kiinnittää CE-merkinnän rakennustuotteeseen. Rakennustuotteen CE-merkintä tulee periaatteessa olemaan kaksiosainen, kun tuotteen mukana toimitettavassa CE-merkissä tiedot ovat yksinkertaistetussa muodossa ja tuotteen kattavasti ilmoitetut ominaisuudet löytyvät suoritustasoilmoituksesta. Valmistajien on tehtävä suoritustasoilmoitus kaikille CE-merkityille rakennustuotteille viimeistään 1.7.2013. Suoritustasoilmoitus voidaan esittää joko valmistajan kotisivulla tai se toimitetaan asiakkaalle sähköisesti tai paperilla tuotteen mukana. Rakennustuoteasetuksen (305/2011) myötä tuoteryhmäkohtainen vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettely muuttuu nimeltään suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmäksi. (Koponen 2013.)


3.2 Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmä


Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmä kertoo, missä laajuudessa niin kutsuttu ilmoitettu laitos osallistuu tuotteen ominaisuuksien ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentamiseen. Tuotteen vaatimustenmukaisuuden osoittamistavat riippuvat siitä, mihin AC-luokkaan tuote kuuluu. Luokat ovat 1+, 1, 2+, 3 ja 4, joista 1+ edellyttää tiukinta ilmoitetun laitoksen varmennusta ja luokassa 4 valmistaja suorittaa kaikki CE-merkinnän toimenpiteet itsenäisesti. Taulukko 1 kuvaa sitä, missä laajuudessa ilmoitettu laitos osallistuu tuotteen laadunvalvontaan. Jos tuotteelta vaaditaan kolmannen osapuolen varmistus, ilmoitettu laitos antaa todistuksen tehtaan sisäisen laadunvalvonnan vaatimuksenmukaisuudesta. (Koponen 2013.) Suomessa ilmoitettuja laitoksia rakennustuoteasetuksen soveltamisalalla ovat: Contesta Oy, DNV Certification Oy, Finotrol Oy, Inspecta Sertifiointi Oy, Suomen ympäristökeskus, Symo Oy ja VTT Expert Services Oy (Ympäristöministeriö 2012).

TAULUKKO 1. Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmä (Virtanen 2011)

Kontrollikeinot	Vaatimustenmukaisuusmenettely (AC- luokat)				
	Ilmoitetun laitoksen todistus AC- luokissa 1+, 1 ja 2+, valmistajan vakuutus kaikissa				
	1+	1	2+	3	4
Tuotteen tyyppitestaus	 V tai L	 V tai L		 L	
Tehtaalta otettujen näytteiden testaus					
Tehtaalta , markkinoilta ta rakennuspaikoilta otettujen näytteiden testaus	 V tai L				
Tehtaan sisäinen laadunvalvonta					
Tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	 V tai L	 V tai L	 V tai L		
Tehtaan sisäisen valvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyntä	 T	 T	 T		

V = Varmistuselin T = Tarkastuselin L = Testilaboratorio

 = tehtaan sisäinen toimenpide

 = akkreditoidun laitoksen tarkastus/testaus

3.3 Tehtaan sisäinen laadunvalvonta

Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmän vaatimuksena on tehtaan sisäinen laadunvalvonta. Tehtaan sisäinen laadunvalvonta määritetään tehtaan tuotannon valvonnan käsikirjassa eli FPC-manuaalissa, joka on kirjallinen kuvaus siitä, miten yritys varmistaa tuotteiden vaatimustenmukaisuuden. Tehtaan tuotannon käsikirja koostuu muun muassa kirjallisista ohjeista, tuotannon prosessikuvauksista sekä laadunvalvontaraporteista. (PKY-Laatu 2012.)

ISO 9001-laaturjärjestelmä hyväksytään yleensä CE-merkinnän edellyttämäksi laadunhallintajärjestelmäksi, kunhan siinä on huomioitu tuotteiden tuote- ja viitestandardien vaatimukset. FPC-manuaali voi siis olla osa koko toiminnan kattavaa laaturjärjestelmää. Yritykset, joilla on CE-merkintää toteutettaessa ISO 9001 standardiin perustuva laaturjärjestelmä, voivat täydentää laaturjärjestelmää harmonisoidun tuotestandardin vaatimuksilla, jolloin myös FPC-järjestelmän vaatimukset toteutuvat. (PKY-Laatu 2012.)

FPC:ssä kuvataan ja määritetään ne prosessit, joilla on vaikutusta CE-merkinnän edellyttämiin ominaisuuksiin (PKY-Laatu 2012). Käytännössä ainakin seuraavat asiat on tultava FPC-manuaalissa ilmi (Torniainen 2008; PKY-Laatu 2012):

- kuvaus toiminnasta ja tuotannosta
- organisaation vastuuhenkilöt ja henkilöstön pätevyudet
- tuotannon raaka-aineet, työohjeet ja alihankinnat
- testaus- ja laadunvalvontamenetelmät
- poikkeamien käsittelytavat ja sisäiset auditoinnit
- logistiikka, varastoinnit ja kuljetukset.

3.4 Kiviaineksen CE-merkintä standardin SFS-EN 13242+A1 avulla

Maanrakennukseen käytettävä kiviaines on mahdollista CE-merkitä Eurooppalaisen standardin SFS-EN 13242+A1 avulla, joka on myös vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Se on maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettäville sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kiviaineksille tarkoitettu harmonisoitu tuotestandardi, jonka pohjalta kiviainestuotteeseen voi kiinnittää CE-merkinnän.

Standardi SFS-EN 13242+A1 määrittelee ominaisuudet kiviaineksille, jotka on valmistettu luonnonkiviaineksesta, keinokiviaineksesta tai uusiokiviaineksesta. Saadakseen tuotteelle CE-merkinnän valmistajan on aina vakuutettava tuotteensa olevan standardin vaatimustenmukainen. Kyseinen standardi mahdollistaa vaatimustenmukaisuuden arvioinnin maarakentamisessa käytettävälle kiviainekselle. Standardi asettaa teknisiä vaatimuksia kiviaineksen geometrisille, fysikaalisille, kemiallisille sekä säilyvyyteen vaikuttaville ominaisuuksille. Kyseisten ominai-

suuksien testaamisen ja tulosten ilmoittamisen tarve riippuu sovelluksesta loppukäyttökohteessa tai kiviaineksen alkuperästä.

Standardissa SFS-EN 13242+A1 kiviaineksen vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettelyn luokkia ovat 2+ ja 4. Tässä työssä tutkittavan betonimurskeen mahdollinen käyttötarkoitus, kuten jakavan tai kantavan kerroksen kiviaines, kuuluu luokkaan 4, eli valmistaja suorittaa itse kaikki CE-merkinnän vaatimat toimenpiteet. (Kuula-Väisänen 2012.) AC-luokassa 2+ valmistaja vakuuttaa itse tuotteen ominaisuuksien täyttävän standardin vaatimukset, mutta sen lisäksi ilmoitettu laitos tekee tuotannon laadunvalvonnan alkutarkastuksen ja valvoo jatkuvasti tarkastuksella tuotantoa (Virtanen 2011). Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaista laadunvalvontaa tekevät Suomessa tällä hetkellä Inspecta Sertifiointi Oy ja VTT Expert Services (Ehrukainen 2012). Standardi on tällä hetkellä uudistettavana ja uusi versio on odotettavissa keväällä 2013 (Kuula-Väisänen 2012).

3.4.1 Tuotteen alkutestaus

Kiviaineksen CE-merkintää haettaessa on suoritettava tuotteen alkutestaus. Alkutestauksen tarkoituksena on osoittaa tuotteen kelpoisuus aiottuun käyttötarkoitukseen, eli toisin sanoen kiviainekselle tehdään kaikki loppukäytön kannalta oleelliset standardin mukaiset testit. Lisäksi tulee tunnistaa erityisesti ne ainesosat, joista voi esimerkiksi vapautua polyaromaattisia hiilivetyjä tai muita vaarallisia aineita. Alkutestauksen testit on aina tehtävä EN-standardien mukaisesti ja tulokset on dokumentoitava tehtaan sisäisen laadunvalvonnan lähtökohdaksi. (Kuula-Väisänen & Valtonen 2006.) Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaan olennaiset alkutestaukset on tehtävä seuraavissa olosuhteissa:

- a) kun otetaan käyttöön uusi kiviainesten raaka-aine-esiintymä,*
- b) kun raaka-aineen luonteessa tai tuotanto-olosuhteissa on tapahtunut huomattava muutos, joka voi vaikuttaa kiviainesten ominaisuuksiin.*

Käytännössä purkubetonimursketta tehtaillessa jokainen uusi purkutyömaa voidaan katsoa uudeksi raaka-aine-esiintymäksi. Lisäksi tuotanto-olosuhteet vaihtelevat työmaittain ja raaka-aineen luonne määräytyy sen mukaan, minkä tyyppistä ja ikäistä rakennusta ollaan purkamassa. Jotta jatkuva alkutestaus voitaisiin vält-

tää, täytyy tehtaan sisäisen laadunvalvonnan kriteerit asettaa järkeviksi siten, että betonimurskeen laatua valvotaan jokaisella eri työmaalla työmaan koosta riippumatta.

3.4.2 Tuotteen laadunvalvonta

Standardi SFS-EN 13242+A1 velvoittaa seuraamaan kiviaineksen tuotannonai-kaista laatua. Standardi velvoittaa, että tehtaan sisäisessä laadunvalvonnassa on oltava määritettynä kiviaineksesta testattavat ominaisuudet sekä testaustiheydet. Lisäksi standardi vaatii jatkuvaa tuotteen silmämääräistä tarkastelua. Standardissa SFS-EN 13242+A1 on määritettynä kaikki, mitä kiviaineksesta tulee vaadittaessa testata ja kuinka usein. Nämä asiat on tullava ilmi myös tehtaan omissa laadunvalvonnan asiakirjoissa. Testattavat ominaisuudet valitaan käyttökohteen vaatimusten perusteella. Standardille SFS-EN 13242+A1 on laadittu täydentävä kansallinen soveltamisstandardi SFS 7005, jossa esitetään suositukset eri käyttökohteisiin tarkoitetuille kiviaineksille ilmoitettavista ja testattavista ominaisuuksista, sekä näille ominaisuuksille asetetut vähimmäisvaatimustasot tai luokat. Soveltamisstandardi ei aseta varsinaisia lopullisia vaatimuksia kiviainekselle, vaan kiviaineksen käyttäjä on vastuussa kiviaineksen soveltuvuudesta käyttökohteeseen. Kaikki standardin SFS-EN 13242+A1 mukaiset laadunvalvontatestit eivät tietysti sovellu betonimurskeelle, jolloin jotkin soveltamisstandardin SFS 7005 asettamat suositukset tiettyihin käyttötarkoituksiin eivät täyty. Tällaisia testejä ovat ainakin vedenimeytymiskyky sekä iskunkestävyys. (Kuula-Väisänen 2012.)

Betonimurskeen kertaluonteinen synty tapa vaikeuttaa sen tuotannon laadunhallintaa, varsinkin jos betoni murskataan ja lähetetään purkutyömaalta suoraan hyötykäyttäväksi, mutta toisaalta kun murske tulee yhdestä tietystä kohteesta, se voidaan luotettavammin taata ympäristö- ja rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan maarakennuskelpoiseksi. Sellaiset betonimursketuottajat, jotka keräävät raaka-aineen eri tuottajilta yhteen paikkaan jalostettavaksi, eivät voi taata raaka-ainelähteiden tasalaatuisuutta, mutta tuotannon laadunvalvontamenetelmät voivat muutoin olla yksinkertaisempia.

4 TEHDYT TUTKIMUKSET

Tässä työssä pyrittiin säätämään mineraalista materiaalia toisella mineraalisella materiaalilla ympäristökelpoisemman tuotteen aikaansaamiseksi, jonka vuoksi oli syytä tarkastella myös tutkittavien materiaalien kemiallisia ja mineralogisia ominaisuuksia. pH:hon vaikuttaa monet eri tekijät, kuten tutkittavan aineen molekyylit ja niiden reaktiot veden kanssa. Veden lämpötilavaikutuksia pH:hon ei otettu tutkimuksissa huomioon.

Tehdyissä tutkimuksissa käytettiin purkubetonista valmistettua 0/63 ja 0/90 betonimursketta. Betonimurskeen ja muottihiekan pH-ominaisuuksia tutkittiin sekä kenttä- että laboratorio-olosuhteissa. Sitä ennen tutkittavista kiviaineksista analysoitiin rakeisuudet kokeiden suunnittelun avuksi. Lisäksi betonimursketta lähetettiin standardin SFS-EN 13242+A1 mukaisesti alkutestauksiin, jotta saatiin lähtökohdat testien soveltuvuudesta betonimurskeelle.

4.1 Vesiliuosten happo-emäs -ominaisuuksia

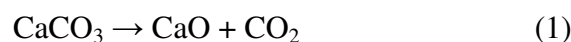
Brønstedin ja Lowryn esittämän teorian mukaan happo on yhdiste, joka voi luovuttaa H^+ -ionin, ja emäs on yhdiste, joka voi vastaanottaa H^+ -ionin, eli teoriassa vesiliuoksen pH:ta mitattaessa mitataan vedessä olevien vetyionien määrää. H^+ -ionit eivät voi esiintyä luonnossa omillaan, vaan ne ovat aina liittyneinä johonkin. Vesiliuoksessa hapot ovat yleensä oksoniumioneina H_3O^+ ja emäkset hydroksidiioneina OH^- . Mitä enemmän vedessä on H_3O^+ -ioneita, sitä happamampaa se on, ja vastaavasti OH^- -ionien määrä lisää vesiliuoksen emäksisyyttä. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2008, 147 - 148)

Laskukaavoissa yleisesti käytetyt merkinnät $[H_3O^+]$ ja $[OH^-]$ tarkoittavat H_3O^+ ja OH^- -konsentraatioita yksikössä mol/l. Vesiliuosten pH noudattaa seuraavia sääntöjä (Antila ym. 2008, 159):

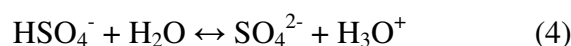
- 1) Jos $[H_3O^+] > [OH^-]$, niin liuos on hapan.
- 2) Jos $[H_3O^+] < [OH^-]$, niin liuos on emäksinen.
- 3) Jos $[H_3O^+] = [OH^-]$, niin liuos on neutraali.

4.2 Tutkittavien materiaalien kemialliset ominaisuudet

Kiviaineksen kanssa kosketuksissa olleen veden pH-arvoon vaikuttaa siis kiviaineksesta irtoavat kemialliset yhdisteet ja ionit sekä niiden määrä. Betoni koostuu hiekasta, murskatusta kiviaineksesta, vedestä ja sementistä (Mäkelä & Höynälä 2000). Raaka-aineena sementin valmistuksessa käytetään kalkkikiveä CaCO_3 , johon lisätään alumiinioksidia Al_2O_3 , rautaoksidia Fe_2O_3 ja piioksidia SiO_2 sisältäviä kiviaineksia. Raaka-aineet jauhetaan ja poltetaan, jolloin kalkkikivi reagoi siten, että jäljelle jää hiilidioksidia CO_2 sekä kalsiumoksidia CaO , eli kalkkia. Reaktioyhtälössä 1 on esitetty kalkkikiven käyttäytyminen poltettaessa. Polton aikana pii-, alumiini-, ja rautayhdisteet reagoivat kalkin kanssa muodostaen portlandklinkkeriä. Klinkkeri jäädytetään ja jauhetaan, jonka jälkeen siihen lisätään vielä kipsiä ja erinäisiä seosaineita. Kun valmis sementti sekoitetaan veteen, kalkki reagoi veden kanssa synnyttäen kalsiumhydroksidia reaktioyhtälön 2 mukaisesti. Reaktiossa syntynyt kalsiumhydroksidi on selitys betonin emäksisyydelle. (Antila ym. 2008, 223 - 225.)



Valimon muottihiekan pääraaka-aine on kvartsihiekkä, joka on kemialliselta nimitykseltään piioksidi (SiO_2). Kvartsi itsessään ei lisää sen kanssa kosketuksissa olleen veden happamuutta, koska se on hyvin pH-neutraali ($\text{pH} \approx 7$). Muottihiekan matala pH-arvo johtunee valumuottien tekoon käytetystä hartsin kovetteesta. Kyseinen kovete on bentseenisulfonihapon ($\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$) ja rikkihapon (H_2SO_4) seos. Rikkihappo reagoi veden kanssa kahdessa eri vaiheessa reaktioyhtälöiden 3 ja 4 mukaisesti, vapauttaen H_3O^+ -ioneita (Antila ym. 2008, 155).



4.3 Rakeisuustutkimukset

Ennen varsinaisia pH-tutkimuksia betonimurskeesta ja muottihiekasta lähetettiin näytteet sertifioituun laboratorioon rakeisuusanalyysiin. Muottihiekan tiedettiin olevan raekooltaan noin 0,35 mm:istä, joten siitä tutkittiin rakeisuus välillä 0 - 2 mm. Tulokset osoittivat, että 92,3 % muottihiekan raekokojakaumasta osuu välille 0,125 - 1,0 mm ja yhteensä 96 % läpäisi 1 mm seulan. Betonimurskeen rakeisuustulokset osoittivat sen olevan raekooltaan 0/63 mm:istä.

4.4 pH:n neutralointimahdollisuuksien tutkiminen kenttäolosuhteissa

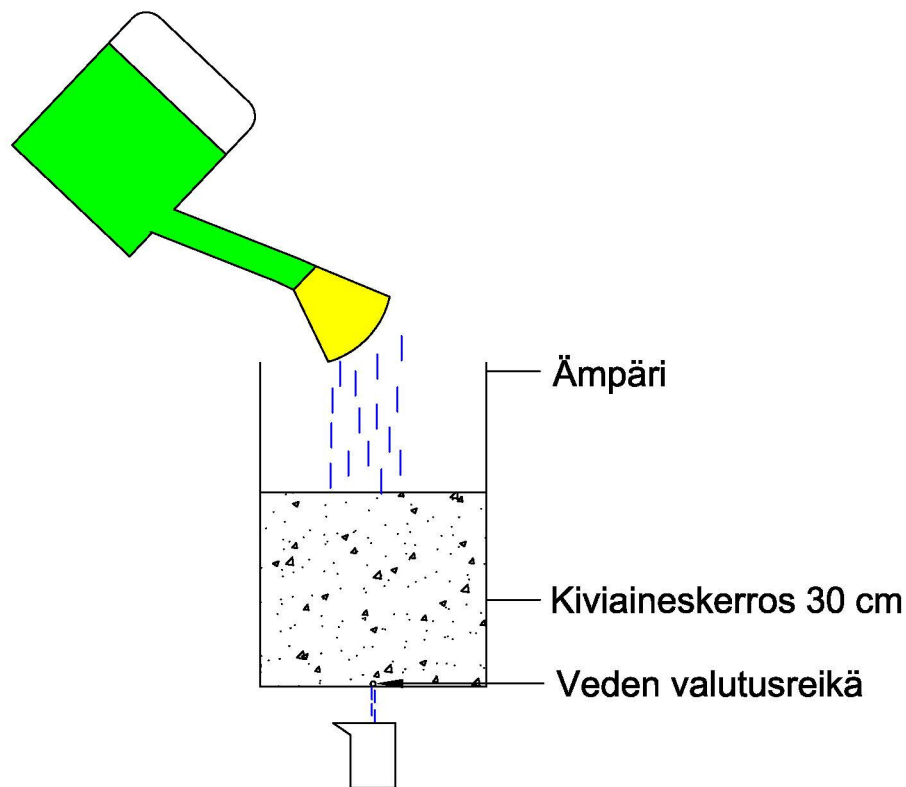
pH:n neutralointitutkimus aloitettiin kenttäkokeilla, jotka tehtiin mahdollisimman luonnonmukaisissa olosuhteissa. Tarkoituksena oli tutkia, onko betonimurskeen sekaan lisätyllä muottihiekalla vaikutusta betonimurskekerroksen läpi valuneen sadeveden pH:hon. Tutkimuksissa käytettyä sadevettä kerättiin kahden kuukauden ajan muovisaaveihin.

Betonimurskeen ja muottihiekan sekoitussuhteet valittiin rakeisuustulosten sekä InfraRYL 2010:n perusteella. InfraRYL 2010:ssä on annettu ohjealueet erikokoisten murskeiden rakeisuuskäyrille. Betonimurskeen rakeisuustulosten mukaisesti valittiin tarkasteltavaksi ohjealueeksi jakavan kerroksen 0/63 murskeen yksittäisten rakeisuustulosten leveä ohjealue, joka sallii 1 mm seulan läpäisevän 5 -25 painoprosenttia (Rakennustieto Oy 2010, 307). Koska muottihiekan rakeisuustutkimukset osoittivat sen olevan raekooltaan pääasiassa < 1 mm, niin sen osuus 0/63 murskeessa saa olla maksimissaan 25 painoprosenttia, ja minimissään 5 painoprosenttia. Tästä syystä betonimurskeen ja muottihiekan sekoitussuhteet valittiin seuraavasti:

- 1) 5 painoprosenttia muottihiekkaa ja 95 painoprosenttia betonimursketta
- 2) 15 painoprosenttia muottihiekkaa ja 85 painoprosenttia betonimursketta
- 3) 25 painoprosenttia muottihiekkaa ja 75 painoprosenttia betonimursketta

Kahdessa ensimmäisessä sekoitussuhteessa ei otettu huomioon betonimurskeen valmiiksi sisältämää alle 1 mm:n kiviainesta, mutta kolmannesta sekoitussuhteesta betonimurskeen sisältämä < 1 mm:n kiviaines seulottiin pois. Kustakin sekoitussuhteesta tehtiin kaksi rinnakkaiskoetta, joiden lisäksi analysoitiin betonimurskeen

ja muottihiekan pH:t erikseen. Tutkimusjärjestelyä on havainnoitu kuviossa 2. Aluksi muoviämpäriin laitettiin noin 30 cm paksu kerros kiviainesta. Sadevedestä mitattiin pH, minkä jälkeen sitä valutettiin kiviaineksen päälle kastelukannun avulla noin 2 - 4 litraa/näyte. Ämpäriin alareunaan oli porattu reikä, mistä kiviaineksen läpi valunut sadevesi oli mahdollista kerätä talteen, minkä jälkeen voitiin analysoida kiviaineksen läpi suotautuneen sadeveden pH. Tutkimuksissa pH:n analysointiin käytettiin kalibroitua YSI Professional Plus -kenttämittaria.



KUVIO 2. Kenttätutkimusten toteutus

4.5 pH:n neutralointimahdollisuuksien tutkiminen laboratoriossa

Betonimurskeen neutralointimahdollisuuksia tutkittiin kenttäkokeiden lisäksi pienemmässä mittakaavassa laboratorio-olosuhteissa. Tutkimukset suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan alan kemianlaboratoriossa. Tutkimukset tehtiin kahdessa eri osassa. Laboratoriotutkimuksissa nro 1 testattiin muottihiekan vaikutusta betonimurskeen pH:hon suhteessa muottihiekan määrään ja liukenemisaikaan. Laboratoriotutkimuksissa nro 2 tutkittiin, onko betonimurskeen raekoolla vaikutusta betonimurskeen ja muottihiekan sekoituksen pH-arvoon.

4.6 Laboratoriotutkimukset nro 1

Laboratoriotutkimuksen tavoitteena oli saada käsitystä siitä, miten muottihiekan määrä ja liukenemisaika vaikuttavat betonikiviaineksen pH:hon. Tutkimuksissa käytettiin muottihiekkaa sekä kenttätutkimuksissa betonimurskeesta erilleen seuloittua < 1 mm:istä kiviainesta. Tutkimuksia varten valmisteltiin viisi erilaista näytettä seuraavilla sekoitussuhteilla:

- 1) 100 % muottihiekkaa
- 2) 25 % betonimursketta ja 75 % muottihiekkaa
- 3) 50 % betonimursketta ja 50 % muottihiekkaa
- 4) 75 % betonimursketta ja 25 % muottihiekkaa
- 5) 100 % betonimursketta

Näytteet valmistettiin siten, että 100 ml:n dekantterilasiin mitattiin yhteensä 20 ml kiviainesta halutulla sekoitussuhteella, johon lisättiin 50 ml puhdistettua vettä, jonka jälkeen suspensio sekoitettiin. Kaikista viidestä eri sekoitussuhteesta valmistettiin kolme rinnakkaisnäytettä, eli tutkittavia näytteitä oli yhteensä 15.

Ensimmäiset pH-mittaukset tehtiin heti kun näytteet oli valmistettu, eli liukenevista ei ollut ehtinyt vielä tapahtua. pH-mittaukset tehtiin laboratorion Knick Norlab pH-meter 766 -mittarilla näytettä samalla sekoittaen. Mittausten jälkeen suspensiot peitettiin Parafilm-kalvolla ja jätettiin seisomaan. Seuraavat neljä mittausta tehtiin viikon välein kuukauden ajan ja viimeinen, eli kuudes mittaus tehtiin 1,5 kuukautta viidennen mittauksen jälkeen.

4.7 Laboratoriotutkimukset nro 2

Toisia laboratoriomittauksia varten haettiin uusi betonimurskenäyte, joka oli raekooltaan 0/90. Tutkimuksia tehtiin kolmella eri raekoolla: 8/16, 16/32 ja 32/90. Raekoot eroteltiin näytteestä seulomalla käyttäen 8 mm:n, 16 mm:n, 32 mm:n seuloja, jolloin tutkittava kiviaines saatiin kullekin seulalle jääneestä materiaalista. Kaikista eri raekoon betoneista valmistettiin kolme rinnakkaisnäytettä, joista kaksi valmistettiin sadeveteen ja yksi puhdistettuun veteen, joka toimi niin sanottuna nollanäytteenä. Kukin näyte valmistettiin siten, että punnittiin noin 225 grammaa betonimursketta 2 litran dekantterilasiin. Tämän jälkeen dekantteriin lisättiin

muottihiekkaa siten, että muottihiekan osuus oli 25 % seoksen koko painosta, eli noin 75 g. Tämän jälkeen dekanttereihin lisättiin vettä suhteessa 1:5, jossa oli yksi osa kiviainesta ja viisi osaa vettä olettaen, että yksi litra vettä painaa yhden kilogramman. Veden ja kiviaineksen suhdeluku on standardin SFS-ISO 10390:2005 ”Soil quality. Determination of pH” mukainen. Liuokset peitettiin foliolla, jotta vesi ei pääse haihtumaan, minkä jälkeen niiden annettiin seistä noin 1,5 kuukautta ennen pH-mittauksia. Mittaukset suoritettiin seisotuksen jälkeen samalla mittarilla kuin ensimmäisissä laboratoriotutkimuksissa.

4.8 Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaiset alkutestaukset

Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaisiin alkutestauksiin lähetettiin raekooltaan 0/90 betonimursketta. Näyte lähetettiin Tampereen teknillisen yliopiston maa- ja pohjarakenteiden yksikön laboratorioon, jossa betonimurskeelle tehtiin seuraavat standardin SFS-EN 13242+A1 mukaiset testit, jotka valittiin kantavaan tai jakaavaan kerrokseen käytettävän kiviaineksen vaatimusten perusteella: rakeisuus, hienoainemäärä, Los Angeles -luku, kloridipitoisuus, vesiliukoinen sulfaatti, karkean uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelutesti, kiintotiheys sekä vedenimeytymiskyky. Testit on valittu Kuula-Väisänen (2012) ehdotuksesta betonimurskeen alkutestauksen testiohjelmaksi.

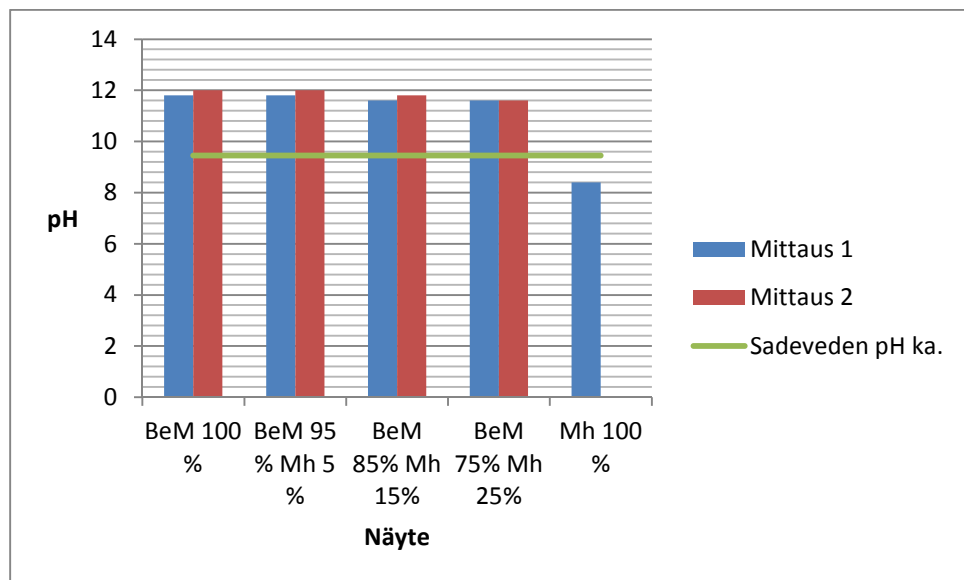
5 TULOSTEN TARKASTELO

5.1 Kenttätutkimusten tulokset

Kenttätutkimusten tulokset näkyvät taulukossa 2, jotka ovat kuvattuna myös pylväsdiagrammissa kuviossa 3. BeM on kirjainlyhenne betonimurskeelle ja Mh on lyhenne muottihiekalle.

TAULUKKO 2. Kenttätutkimusten tulokset

Seossuhde paino- prosentteissa	pH	
	Mittaus 1.	Mittaus 2.
BeM 100 %	11,8	12
BeM 95 % Mh 5 %	11,8	12
BeM 85% Mh 15%	11,6	11,8
BeM 75% Mh 25%	11,6	11,6
Mh 100 %	8,4	-
Sadevesi	9,4	9,5

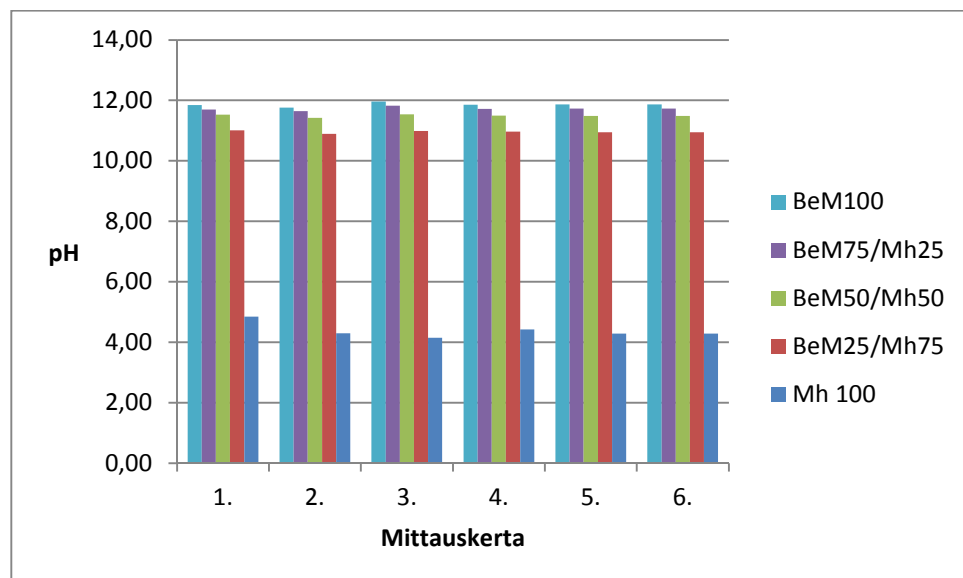


KUVIO 3. Kenttätutkimusten tulokset

Tulosten perusteella muottihiekan vaikutus betonimurskeen läpi suotautuneeseen sadeveteen on varsin mitätön, mutta pieni pH-arvon aleneminen on havaittavissa. Muottihiekalle saatu pH-arvo 8,4 oli vastoin ennakko-odotuksia, koska tulos osoittaa sen olevan reilusti emäksisen puolella. Lisäksi tutkimuksissa käytetylle sadevedelle mitattu pH = 9,4 - 9,5 on melko korkea, mikä mahdollisesti vääristää tuloksia, koska yleensä sadeveden pH on 6 - 7. Sadeveden emäksisyys saattaa johtua siitä, että vesi seisoj noin kuukauden ajan muovisaaveissa, jolloin se pääsi kosketuksiin ilman kanssa, josta on voinut liueta veteen erinäisiä ioneita. Lisäksi saavien pohjalla oli orgaanista ainesta, kuten puiden lehtiä, jotka mahdollisesti muuttavat sadeveden pH:ta.

5.2 Laboratoriotutkimusten nro 1 tulokset

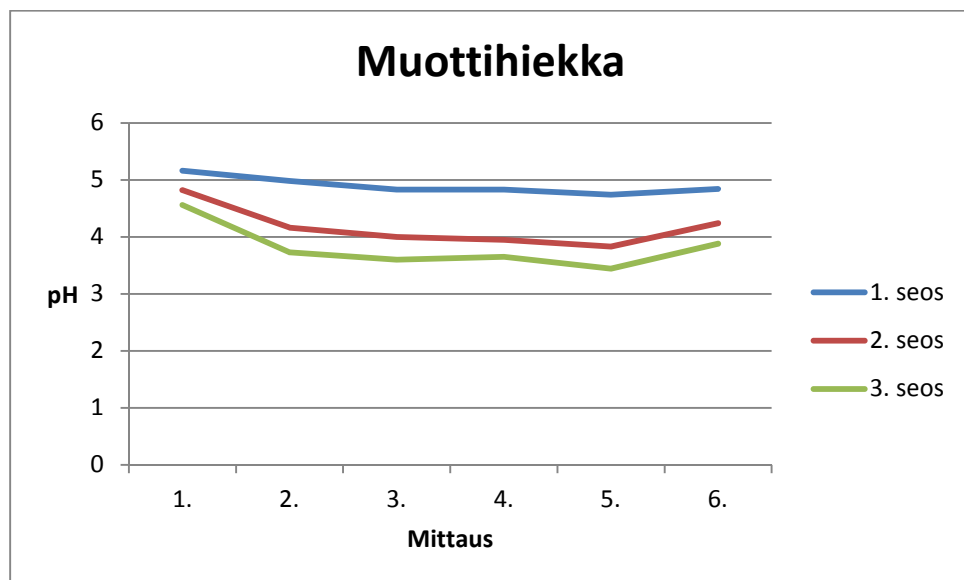
Laboratoriotutkimusten nro 1 tulokset löytyvät liitteestä 1. Kuviossa 4 näkyvät kunkin eri sekoitussuhteen pH-tulokset mittauskerroittain. Luvut kirjainlyhenteiden perässä kuvaavat kyseisen aineksen prosentuaalista osuutta.



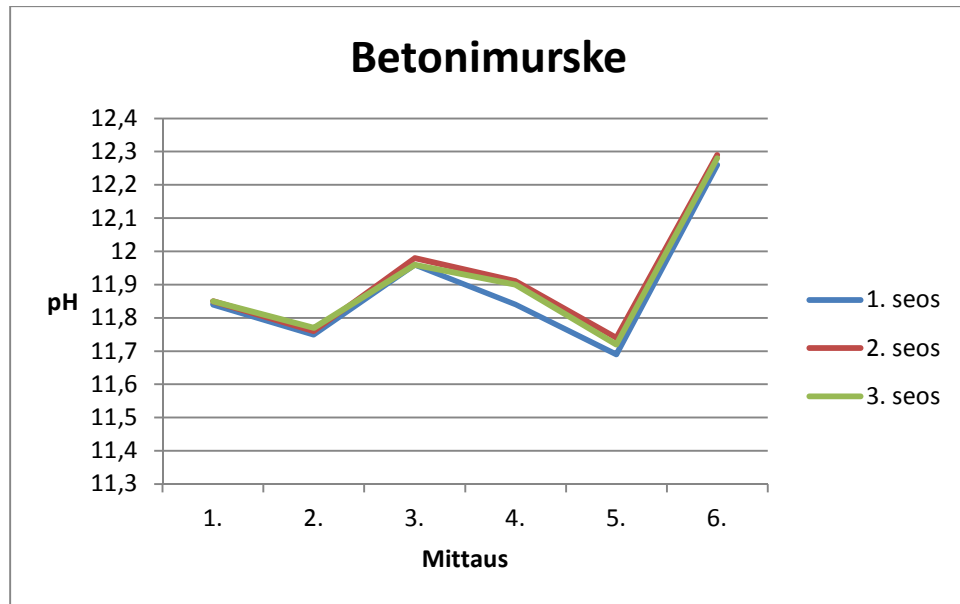
KUVIO 4. Kunkin sekoitussuhteen pH-arvot mittauskerroittain

Kuviosta 3 voi päätellä, että betonimurskeen sekaan laitetulla muottihiekalla on vaikutusta pH:hon. pH laskee porrasmaisesti sitä mukaa, mitä enemmän betonimurskeen seassa on muottihiekkaa. Liukenemisajalla ei tunnu olevan suurta merkitystä, koska ensimmäisen ja viimeisen mittauskerran pH-arvot ovat melko lailla samalla tasolla. Tavoitearvo pH = 9 jää niin kauas, että muottihiekan ei voi katsoa toimivan maarakennuskäyttöön tarkoitettun betonimurskeen neutralointiaineena. Lisäksi ainoa sekoitussuhde, joka voisi rakennusteknisesti olla mahdollinen, on 75 % betonimursketta ja 25 % muottihiekkaa.

Laboratoriotutkimuksissa muottihiekalle saadut pH-arvot vastaavat ennakkokäsitystä materiaalin happamuudesta, kuten kuviosta 3 nähdään. Kuvio 5 kuvaa muottihiekkaseosten pH-arvojen vaihtelun mittauskerroittain. Viivat kulkevat hyvin erillä toisistaan, mistä voisi päätellä, että muottihiekka ei ole kovin tasalaatuista. Tämä voi johtua siitä, että muottihiekan happamuuden mahdollista aiheuttajaa, eli kovetetta ei todennäköisesti ole tasaisesti muottihiekan seassa. Betonimurske sitä vastoin vaikuttaa olevan melko tasalaatuista, kuten kuviosta 6 voidaan päätellä.



KUVIO 5. Muottihiekan pH-arvojen vaihtelu



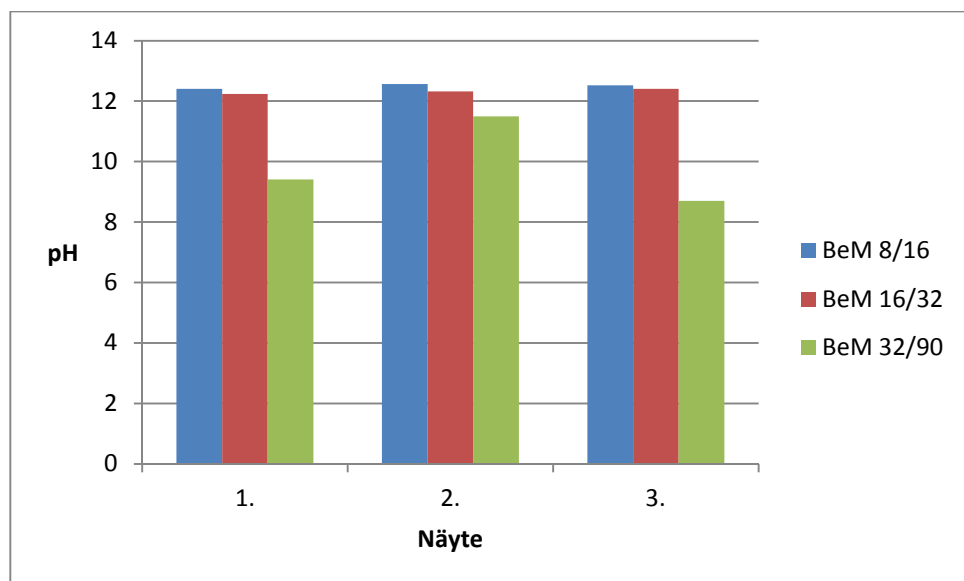
KUVIO 6. Betonimurskeen pH-arvojen vaihtelu

5.3 Laborioriotutkimusten nro 2 tulokset

Laborioriotutkimusten nro 2 tulokset on esitetty taulukossa 3 ja kuviossa 7. Tuloksista voidaan päätellä, että betonimurskeen raekoolla on merkitystä pH:hon, silloin kun siihen on sekoitettuna muottihiekkaa. Kuvioista 6 nähdään, että pH laskee portaittain sitä mukaa, mitä suuremmaksi betonimurskeen raekoko muuttuu. Raekoolla 32/90 tehty kolmas, eli tislattuun veteen tehty seos antaa viitteitä siihen, että muottihiekan avulla on mahdollista päästä alle $\text{pH} = 9$, jos betonimurskeen raekoko on oikea. Kyseisissä tutkimuksissa käytetyn tislattun veden pH oli 4,33, joka on melko hapan, sadeveden pH:ksi mitattiin 4,6. Tästä voisi päätellä, että tarpeeksi happamalla vedellä ja betonimurskeen oikealla raekoolla pH:n voisi saada neutraalimmaksi. Rakennusteknisesti on mahdotonta sekoittaa 25 %:a muottihiekkaa raekooltaan 32/90 olevan betonimurskeen sekaan, joten tutkimustuloksista voidaan päätellä, että betonimurskeen pH-neutralointi ei ole mahdollista sekoittamalla siihen muottihiekkaa, jos siitä halutaan rakennusteknisesti pätevää. Muottihiekan ja suurirakeisen betonimurskeen sekoitus on todennäköisesti siksi neutraalimpaa, että veden kanssa kosketuksiin pääsevän betonimurskeen kokonaispinta-ala on pienempi, kuin veden kanssa kosketuksiin pääsevä muottihiekan pinta-ala.

TAULUKKO 3. Laboratoriomittausten nro 2 tulokset

Raekoko	pH		
	1.	2.	3.
BeM 8/16	12,41	12,56	12,52
BeM 16/32	12,24	12,32	12,41
BeM 32/90	9,41	11,5	8,7



KUVIO 7. Laboratoriomittausten nro 2 tulokset

5.4 Alkutestauksen tulokset

Standardin SFS-EN 13242+A1 mukaisten alkutestausten tulokset olivat melko odotetut, varsinkin iskunkestävyyden ja vedenimeytymisen kohdalla. Iskunkestävyyttä kuvaava Los Angeles -luku oli 32, eli standardin mukaan se kuuluu luokkaan LA₃₅. Suomalaisessa kansallisessa standardissa SFS 7005:ssä, joka on laadittu tuotestandardia SFS-EN 13242+A1 täydentäväksi kansalliseksi soveltamisstandardiksi, esitetään suositukset, mitkä ominaisuudet on ilmoitettava kyseessä olevan tuotestandardin mukaisille CE-merkityille tierakenteiden kiviaineksille eri käyttökohteissa sekä näille ominaisuuksille asetetut vähimmäisvaatimustasot tai

luokat. Standardi SFS 7005 asettaa kantavaan kerrokseen käytettävän kiviaineksen iskunkestävyydelle enimmäisluokan LA₃₀, mutta hankekohtaisesti voidaan hyväksyä myös luokat LA₃₅ ja LA₄₀. Jakavaan kerrokseen tai salaojaan käytettävälle kiviainekselle ei ole annettu iskunkestävyysvaatimuksia.

Vedenimeytymiskyky oli 4,5 massaprosenttia, joka standardin SFS 7005 mukaan saa olla korkeintaan 1 massaprosenttia, jos kiviaines käytetään sitomattomaan tai hydraulisesti sidottuun jakavaan tai kantavaan kerrokseen. Kuula-Väisäsen (2013) mukaan kyseinen testi ei sovellu laisinkaan betonimurskeelle, koska se on hydraulisesti sitoutuvaa materiaalia, jonka kuuluukin imeä vettä. Standardissa SFS 7005 sanotaan, että jos vedenimeytymisestä ei täyty vaatimuksia, tulee kiviainekselle tehdä jäätymis-sulatuskestävyydesti, mutta sekään ei Kuula-Väisäsen mukaan (2013) sovellu betonimurskeelle, koska se ei kuvaa betonimurskeen luonnollista käyttäytymistä maarakenteessa. Jos vedenimeytymistestin tai jäädytys-sulatuskestävyydestin tulokset eivät täyty standardin asettamia vaatimuksia, materiaalin ei katsota olevan rapautumiskestävää. Todellisuudessa luonnonkosteassa tilassa olevan betonimurskeen pakkasrapautuminen on vähäistä (Varin 2006). Kuula-Väisäsen (2012) mukaan jatkossa betonimurskeen CE-merkintään ei todennäköisesti tulla vaatimaan vedenimeytymisen määrittämistä, mutta mahdollisesti asetuksen 591/2006 ja 403/2009 mukaisten vaarallisten aineiden liukeneminen tulee ilmoittaa. Muissa analyysituloksissa ei ollut huomautettavaa verrattaessa niitä standardissa SFS 7005 mainittuihin vaatimustasoihin.

6 YHTEENVETO

Tällä hetkellä betonimurske käsitetään jätteeksi, jonka statuksen muuttaminen tuotteeksi on hankalaa. Betonimurskeen tuotestatuksen saamiselle varteenotettavin väylä on mahdolliset EoW-kriteerit rakennus- ja purkujätteelle, joka on EU komission listoilla mahdollisena selvitettävänä EoW-materiaalina. Tuotestatuksen myötä betonimurske tulee CE-merkitä, joka on mahdollista tuotestandardin SFS-EN 13242+A1 avulla. Betonimurske ei täytä kaikkia tuotestandardia täydentävän kansallisen soveltamisstandardin SFS 7005 vaatimuksia tiettyihin käyttötarkoituksiin, mutta se ei estä sen CE-merkitsemistä. Pääasia on, että kiviaineksesta ilmoitetaan käyttökohteessa vaaditut asiat, minkä jälkeen kiviaineksen käyttäjä on vastuussa sen soveltuvuudesta käyttökohteeseen. Sekä tuotestandardi että kansallinen soveltamisstandardi ovat tällä hetkellä uudistettavana, kyseisten standardien tultua voimaan betonimurskeesta ei tarvinne testata esimerkiksi vedenimeytymistä.

Purkubetonin CE-merkitsemisen yksi haaste on standardin mukainen alkutestaus ja laadunvalvonta. Standardin määritelmän mukaan alkutestaus tulee tehdä aina, kun otetaan käyttöön uusi raaka-aine-esiintymä, mitä jokainen uusi purkutyömaa käytännössä on. Lisäksi se on tehtävä, kun raaka-aineen luonteessa tai tuotantolosuhteissa on tapahtunut huomattava muutos, joka voi vaikuttaa kiviainesten ominaisuuksiin, mikä taas määräytyy purettavan rakennuksen luonteen mukaan. Jatkuva alkutestaus voidaan välttää huolellisesti suunnittelulla ja kattavalla laadunvalvontajärjestelmällä, jolla voidaan taata jokaiselta eri purkutyömaalta peräisin olevan betonimurskeen laatu.

Tässä opinnäytetyössä saatujen tutkimustulosten perusteella betonimurskeen pH-neutralointi ei onnistu valimolta peräisin olevan muottihiekan avulla. Jos neutralointi olisi onnistunut, ei tiedetä, kuinka se olisi vaikuttanut sekoituksen sisältämien haitta-aineiden liukoisuuteen. Betonimurskeen pH-neutralointimahdollisuuksien tutkimista kannattaa kuitenkin jatkaa, koska sen korkea emäksisyys voi olla haitaksi ympäristölle eikä se silloin teoriassa täytä kaikkia EoW-kriteereitä. Erityisesti silloin, jos betonimurske aiotaan tuotteistaa, sen tulisi olla mahdollisimman ympäristöystävällistä.

LÄHTEET

Alasaarela, E. & Inkeröinen, J. 2010. Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa [viitattu 23.2.2013]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=118214&lan=fi>

Alasaarela, E., Pajukallio, A.-M. & Wahlström, M. 2011. Maarakentamisen uusiomateriaalit [viitattu 23.2.2013]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126084&lan=fi>

Antila, A.-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2008. Tekniikan kemia. 10. uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Blauberg, T.-J. 2012. Jätteen luokittelun päättymisen – End of Waste kriteerit [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa:

https://syke.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedostot/695/J%C3%A4tteen%20luokittelun%20p%C3%A4%C3%A4ttymisen%20.pdf

Ehrukainen, E. 2012. Rakennustuotteiden CE- merkintään siirtyminen [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: [http://www.infrary.fi/files/4273_CE-](http://www.infrary.fi/files/4273_CE-MerkinttilaisuusVaasa8.10.2012.pdf)

[MerkinttilaisuusVaasa8.10.2012.pdf](http://www.infrary.fi/files/4273_CE-MerkinttilaisuusVaasa8.10.2012.pdf)

Euroopan komissio. 2011. [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa:

http://ec.europa.eu/finland/news/press/101/10779_fi.htm

Euroopan unionin jätedirektiivi 2008/98/EY. Saatavissa: [http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:FI:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:FI:PDF)

Finnlund, M. 2005. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa:

http://www.ymparistonsuojeluviranhaltijat.fi/lammin_paivat/finnlund_lammi_2005.pdf

Koponen, A. 2013. EU:n rakennustuoteasetuksen käyttöönotto lähenee [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa:

<http://www.rakennusteollisuus.fi/Tuoteteollisuus/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset+ja+standardisointi/Rakennustuoteasetus/>

- Kuula-Väisänen, P. & Valtonen, J. 2006. Kiviainestuotannon laadunvalvonta CE-merkintää varten [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/1475_KiviainestuotannonlaadunvalvontaCE-merkintvarten.pdf
- Kuula-Väisänen, P. 2012. Re: Apua opinnäytetyöhön [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Lahti, T. Lähetetty 30.11.2012.
- Kuula-Väisänen, P. 2013. Re: Analyysitulosten tulkintaa [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Lahti, T. Lähetetty 4.3.2013.
- Kärkkäinen, K. 2012. Toimitusjohtaja. Purkupiha Oy. Haastattelu 13.12.2012.
- Mäkelä, H. & Höynälä, H. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Materiaalit ja käyttökohteet. Tekes. Teknologiakatsaus 91/2000. Helsinki.
- Opetushallitus. 2013. pH:n määrittäminen maanäytteestä [viitattu 24.2.2013]. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_ph_maanaytteesta.html
- PKY-Laatu. 2012. Laatu järjestelmät selkeästi – Blogi [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: <http://blogi.pkylaatu.fi/bid/184054/FPC-j%C3%A4rjestelm%C3%A4-AC-luokat-ja-CE-merkint%C3%A4>
- Rakennustieto Oy. 2010. InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 1: Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rossi, M. 2012. Mineraalisen rakennusjätteen hyötykäyttö maarakentamisessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelman diplomityö.
- Saarinen, E. 2008. Vanhojen kerrostalojen betoni uusiokäyttöön [viitattu 23.2.2013]. Saatavissa: http://www.uusiouutiset.fi/pdf/uu2008_7_s04-06.pdf
- SFS 7005. 2007. Sitomattomiin ja hydraulisesti sidottuihin materiaaleihin käytettäviltä kiviaineksilta maa- ja vesirakenteissa sekä tierakenteissa vaadittavat omi-

naisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 13242+A1. 2008. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-ISO 10390. 2005. Soil quality — Determination of pH. Geneve: The International Organization for Standardization.

Suomen standardisoimisliitto. 2013. CE-merkintä [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa: http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta/

Torniainen, P. 2008. CE- merkintä [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=puutuotealan%20seminaari%20kouvola&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CD0QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.kyamk.fi%2Ffolders%2FFiles%2FKT_palvelut%2FKT-palvelut%2FMets%25C3%25A4n%2520ja%2520puun%2520kurssit%2FPuutuotealan%2520seminaarimateriaali%2FTorniainen.pdf&ei=6KAwUZbnDofl4QSkFo&usg=AFQjCNEU8BJJ1yDy2SoOl3QpDEP4exyg5w&bvm=bv.43148975.d.bGE

Vakkuri, R. 2011. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti [viitattu 23.2.2013]. Saatavissa: www.betoni.com/Download/22599/BET1102_s46-51.pdf

Valtion ympäristöhallinto. 2011. pH-arvo [viitattu 24.2.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=387203&lan=FI>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060591>

Varin, P. 2006. Betoni- ja tiilimurskeet maarakenteiden materiaaleina. Tampereen teknillinen yliopisto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos. Rakennustekniikan osaston diplomityö.

Virtanen, M. 2011. Rakennustuoteasetus [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa:
<http://www.eurocodes.fi/Koulutus%20ja%20tapahtumat/2011%20seminaari/4%20Virtanen.pdf>

Ympäristönsuojelulaki 86/2000. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

Ympäristöministeriö. 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa Valtioneuvoston 10.4.2008 hyväksymä valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016 [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=83458&lan=fi>

Ympäristöministeriö. 2012. Ilmoitetut laitokset rakennustuoteasetuksen soveltamisalalla [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa:
www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=114591&lan=f

Ympäristöministeriö. 2013a. CE-merkintä pakolliseksi rakennustuotteille [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=133708&lan=fi>

Ympäristöministeriö. 2013b. Jätteen luokittelun päättymisen (end-of-waste) [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=26784&lan=fi>

Wikipedia. 2013. Kalkki [viitattu 6.4.2013]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kalkki>

LIITTEET

LIITE 1 Laboratoritutkimusten nro 1 tulokset

LIITE 1. Laboratoriotutkimusten nro 1 tulokset

Taulukko 1. Tulokset 12.11.2012

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	5,16	4,82	4,56	4,85
Mh75/BeM25	10,96	11,02	11,05	11,01
Mh50/BeM50	11,53	11,52	11,52	11,52
Mh25/BeM75	11,69	11,70	11,71	11,70
BeM100	11,84	11,85	11,85	11,85

Taulukko 2. Tulokset 19.11.2012

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	4,98	4,16	3,73	4,29
Mh75/BeM25	10,87	10,90	10,92	10,90
Mh50/BeM50	11,42	11,41	11,42	11,42
Mh25/BeM75	11,62	11,66	11,65	11,64
BeM100	11,75	11,76	11,77	11,76

Taulukko 3. Tulokset 26.11.2012

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	4,83	4,00	3,60	4,14
Mh75/BeM25	10,94	11,00	11,01	10,98
Mh50/BeM50	11,53	11,51	11,57	11,54
Mh25/BeM75	11,81	11,83	11,82	11,82
BeM100	11,96	11,98	11,96	11,97

Taulukko 4. Tulokset 3.12.2012

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	4,83	3,95	3,65	4,14
Mh75/BeM25	10,92	10,96	10,99	10,96
Mh50/BeM50	11,52	11,52	11,50	11,51
Mh25/BeM75	11,75	11,77	11,78	11,77
BeM100	11,84	11,91	11,90	11,88

Taulukko 5. Tulokset 10.12.2012

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	4,74	3,83	3,44	4,00
Mh75/BeM25	10,78	10,83	10,85	10,82
Mh50/BeM50	11,47	11,47	11,48	11,47
Mh25/BeM75	11,69	11,74	11,72	11,72
BeM100	11,87	11,88	11,88	11,88

Taulukko 6. Tulokset 25.1.2013

Näyte	pH			
	1.	2.	3.	k.a
Mh 100	4,84	4,24	3,88	4,32
Mh75/BeM25	11,01	11,01	11,07	11,03
Mh50/BeM50	11,89	11,85	11,86	11,87
Mh25/BeM75	12,12	12,14	12,13	12,13
BeM100	12,26	12,29	12,28	12,28