
Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa

Ympäristöteknologia

Mikael Gull
EYY8SY

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Maansiirtoliike R. Heiskanen Oy:lle. Työn ohjaajana toimi laboratorioinsinööri Juha Pakarinen, opettaja Teemu Räsänen ja urakoitsija Jyrki Heiskanen.

Haluan kiittää Jyrki Heiskasta mahdollisuudesta päästä mukaan mielenkiintoiseen betonijätteen hyödyntäminen maanrakentamisessa -hankkeeseen. Haluan myös kiittää yhteistyökumppaneita hyvistä tiedoista ja neuvoista. Lopuksi haluan vielä kiittää avovaimoani Siru Paanasta työn eteenpäin viemisestä sekä lastani Metteä ilosta ja valosta.

31.10.2011 Kuopio

Mikael Gull

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Mikael Gull			
Työn nimi Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa			
Päiväys		Sivumäärä/Liitteet	106/3
Ohjaaja(t) Juha Pakarinen, Laboratorio insinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Maansiirtoliike R. Heiskanen Oy/Jyrki Heiskanen			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja kerätä tietoa betonijätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. Siilinjärvelle esirakennetaan yritystontteja käyttämällä Lujabetonin jätebetonia. Murskaus- ja maarakennusurakoitsijana toimii Maansiirtoliike R. Heiskanen. Kyse on koehankkeesta, jonka onnistuessa betonijätettä ruvetaan hyödyntämään laajemmin. Hankkeella on merkittäviä ympäristönäkökohtia, koska Lujabetonin kuljetusmatkat lyhenevät merkittävästi, Siilinjärven kunta saa ilmaista rakennusmateriaalia ja Maansiirtoliike R. Heiskanen saa pitkäaikaisia työmaita ja arvokasta työkokemusta.</p> <p>Työssä tutkittiin betonijätteen hyödyntämiseen liittyvää lainsäädäntöä, joista merkittävin on vuonna 2006 voimaantullut Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Asetuksen tarkoituksena on helpottaa, nopeuttaa ja ennen kaikkea kannustaa jätebetonin hyötykäyttöön. Lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin uusiomateriaalitekniikkaa ja erilaisten betonimuotojen käsittelytekniikkaa, betonilietteiden käsittelyprosesseja ja laitteistoja sekä laattojen ja palkkien murskaustekniikoita. Käsittelymenetelmät selostettiin kuvien kera.</p> <p>Työssä on kuvattu maarakennustekniikoita, maarakenteen kantavuutta, kantavuusmittauksia ja rakenteen tiiviyden merkityksestä niin teoriassa kuin käytännössäkin. Käytännön osuudessa on selostettu seikkaperäisesti esirakentamistoimenpiteitä ja betonin pulverointia. Lisäksi on kerrottu vielä kenttämittauksista ja tuloksista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin dokumentoitua esirakennusprojekti, jossa käytettiin betonijätettä. Koekentästä tuli erittäin kova ja kantava. Hyvä kantavuus todettiin levykuormitus- ja -loadman kantavuuskokeilla. Koekenttää rakennettaessa huomattiin, että jätebetoni kovettuu uudelleen murskauksen jälkeen. Koerakentamisesta betonijätteellä saatiin myönteisiä kokemuksia. Lisäksi saatiin tietoa eri betonimuotojen geoteknisistä ominaisuuksista.</p>			
<p>Avainsanat esirakentaminen, betonijäte, betonimurske, betoniliete, kierrättäminen, kantavuus ja tiiviyys.</p>			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Mikael Gull			
Title of Thesis Utilizing Concrete Waste in Earth Construction			
Date	20 November 2011	Pages/Appendices	106/3
Supervisor(s) Mr. Juha Pakarinen, Laboratory Engineer			
Project/Partners Maansiirtoliike R. Heiskanen Oy/Jyrki Heiskanen			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to survey and collect information on utilizing concrete waste in earth construction. Business lots for companies are preconstructed with Lujabetoni`'s concrete waste in Siilinjärvi. Maansiirtoliike R. Heiskanen operates as the crush and earth construction contractor. This was a test project and the success of which means that concrete waste will be utilized in a large scale. The environmental point of view is significant because Lujabetoni`'s transport distances shorten significantly, the municipality of Siilinjärvi gets free construction material and Maansiirtoliike R. Heiskanen long-term sites and precious work experience.</p> <p>The first step was to analyse legislation concerning concrete waste utilisation, of which the most important is the Council of State decree on the utilization of some waste in earth construction, which came into effect in 2006. The purpose of the decree is to make it easier, faster and above all encourage the utilisation of waste concrete. Secondly, one site was studied in practice, reuse material techniques and different concrete elements handling techniques were studied. At the site concrete is handled in many different forms, from concrete sludge to over 40 meters roof ridge beam. Concrete sludge treatment processes and apparatus and slab and beam crushing techniques are described. Treatment procedures are described with pictures.</p> <p>As a result of the thesis is a document of a preconstruction project carried out with concrete waste. The test field became very hard and the load-bearing capacity was good. Good load-bearing capacity was verified by thin load and Loadman load-bearing capacity tests. It was noticed that a field built of concrete waste solidifies again after crushing. Test building with concrete waste was a positive experience. In addition information on the geotechnical characteristic of concrete waste element was received.</p>			
<p>Keywords</p> <p>preconstruction, waste concrete, recycling, crushed concrete, concrete sludge, compactness, bearing capacity</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
2	BETONIJÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄÄ LAINSÄÄDÄNTÖÄ.....	10
2.1	EU-lainsäädäntö ja jätedirektiivi.....	10
2.2	Jätelaki.....	11
2.2.1	Määritelmät ja tavoitteet.....	11
2.2.2	Soveltamisala.....	12
2.2.3	Jätteen haltijan velvollisuudet.....	12
2.2.4	Jätehuolto.....	13
2.2.5	Viranomaiset.....	13
2.3	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.....	14
2.3.1	Asetuksen tavoite ja tarkoitus.....	14
2.3.2	Asetuksen soveltamisala.....	14
2.3.3	Jätteen hyödyntämistä koskevat vaatimukset.....	15
2.3.4	Soveltamisalaan kuuluvat jätteet ja niiden laadunhallinta.....	15
2.3.5	Laadunvarmistusjärjestelmä.....	16
2.3.6	Laadunvalvontatutkimukset.....	16
2.3.7	Ilmoitus ympäristösuojelun tietojärjestelmään.....	17
2.4	Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista.....	18
2.4.1	Kaatopaikan määritelmä.....	18
2.4.2	Kaatopaikkatyypit.....	18
2.5	Jäteverolaki.....	19
2.6	Ympäristönsuojelulaki.....	20
3	MAANRAKENNUS- JA MATERIAALITEKNIKKAA.....	21
3.1	Uusi materiaalitekniikka.....	21
3.2	Stabilointi maanrakentamisessa.....	22
3.3	Ylärakenteen rakennekerrokset.....	25
4	BETONIN KIERRÄTYS.....	27
4.1	Hyötykäytön historiaa.....	27
4.2	Jätebetoni.....	28
4.3	Betonimurskeen perustiedot.....	29
4.4	Betonimurskeen valmistus.....	30
4.5	Murskaustekniikka.....	30
4.6	Työmaatekniikka.....	31
4.7	Betoroc-murske.....	31

4.8	Ympäristökelpoisuus	32
4.9	Betoninkierrätyksen tulevaisuus	32
5	KIERRÄTYSPROSESSIT JA LAITTEISTOT	34
5.1	Murskatun betonin uusiokäyttö kiviaineeksena	34
5.2	Massan ominaisuudet.....	34
5.3	Betonimurskeen hyödyntämisen edellytykset	34
5.4	Betonin murskaus.....	36
5.4.1	Betonijätteen laadun merkitys.....	36
5.4.2	Murskauslaitokset.....	37
5.4.3	Betonimurskeen seulonta	38
5.4.4	Raudoituksen ja muiden epäpuhtauksien poistaminen	39
5.4.5	Betonijätteen pulverointi	40
5.4.6	Betonijätteen käyttö maarakenteessa sitomattomissa kerroksissa	41
5.4.7	Betonijätteen käyttö maarakenteessa sitovissa kerroksissa	41
5.4.8	Betonimurske asfaltin raaka-aineena.....	42
5.4.9	Betonimurskeen maarakennuskäytön ohjeistus.....	43
5.4.10	Euroopan normitus	44
6	BETONILIETTEEN KIERRÄTYS.....	45
6.1	Pestyn kierrätyskiviaineksen käyttö	45
6.2	Ylijäämäbetonilietteen käyttö	45
6.2.1	Betonilietteen muodostuminen	45
6.2.2	Betonilietteen perusominaisuudet.....	46
6.2.3	Betonilietteen uusiokäyttö.....	46
6.2.4	Vedenpoisto	47
6.2.5	Betonilietteiden rakeistus.....	47
6.3	Betonilietteen käyttö maarakentamisessa.....	48
6.3.1	Ympäristökelpoisuus ja tutkimukset.....	48
6.3.2	Betoniliete	48
6.3.3	Lietteen stabilointi.....	49
7	MAARAKENTEEN KANTAVUUS JA DEFORMAATIO	50
7.1	Kantavuusmittauslaitteet.....	52
7.1.1	Levykuormituskoe	52
7.1.2	Pudotuspainolaitteet.....	55
7.2	Kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	56
7.2.1	Lämpötilan vaikutus kantavuuden mittaamiseen.....	56
7.2.2	Kuormituksen aikatekijä.....	57
7.2.3	Kuormituskestävyyssmitoitus	57
8	TIIVIYS.....	58

8.1	Tiivyyden määritelmä.....	58
8.2	Tiiveyden kenttämittausmenetelmät.....	60
8.3	Tiivyyden merkitys	64
8.4	Tiivyyteen vaikuttavat tekijät	65
9	TEOLLISUUSTONTIN ESIRAKENTAMINEN	71
9.1	Tietoa alueesta ja alueen sijainti	71
9.1.1	Suoritetut tutkimukset	72
9.1.2	Pohjaolosuhteet.....	73
9.1.3	Tonttien rakennettavuus	73
9.2	Koetontin rakentaminen betonijätteestä	74
9.3	Sopimukset.....	74
9.4	Osapuolten roolit ja vastuut	75
9.5	Työtapaselostus	76
9.5.1	Ensimmäiset toimenpiteet.....	76
9.5.2	Raivaustyöt ja työmaatien teko	78
9.5.3	Leikkaustyöt	80
9.5.4	Penger- ja täyttötyöt	81
9.5.5	Jätebetonin kuljettaminen työmaalle	84
9.5.6	Betonijätteen varastointi tehtaan pihamaalla	86
9.5.7	Tontin täyttäminen ja betonimateriaalin käsittelyä työmaalla.....	91
9.5.8	Kentän tiivistäminen	95
9.5.9	Työturvallisuuteen liittyviä asioita.....	96
9.5.10	Leikkaus- ja täyttötöiden toleranssit ja laadunvalvonta	97
9.5.11	Tarkepiirustukset.....	97
10	KENTTÄMITTAUKSET JA TULOKSET	98
11	MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTIA.....	101
11.1	Loadman kannettava pudotuspainolaite	101
11.2	Levykuormituskoe	101
11.3	Jyrämittarit.....	102
12	JOHTOPÄÄTÖKSET	103
	LÄHTEET.....	105
	LIITTEET	
	Liite 1 Esirakentamisen tasauspiirustus	
	Liite 2 Leikkaukset 3-3 ja 4-4	
	Liite 3 Pohjatutkimuskartta	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia betonijätteen hyödyntämistä maanrakentamisessa sekä siihen liittyvää betonimurskaustekniikkaa. Työssä myös selvitetään pehmeikköalueen esirakentamiseen soveltuvan menetelmän käyttöä laajassa mittakaavassa. Esirakentamismenetelmänä on hyödyntää betoniteollisuuden ylijäämäbetonia maanrakentamisessa ja korvata näin luonnonkiviainesta. Siilinjärven Jukolaan kaavoitetulla ja rakenteilla olevasta pienteollisuusalueesta noin puolet sijoittuu löyhälle savisesta siltistä koostuvalle maaperälle. Tarkoituksena on vahvistaa pehmeikkötontteja betonijätteellä. Vuonna 2011 keväällä alkanut Betonijätteen hyödyntäminen maanrakentamisessa – hanke jatkuu usean vuoden jopa kymmenien vuosien ajan, mikäli koekohteesta saadut tulokset ovat hyviä.

Siilinjärven kunnalla ei juuri ole kokemusta betonijätteen hyödyntämisestä maanrakentamisessa, joten on ensiarvoisen tärkeää kerätä kokemusta ja tietoa sekä kehittää oikeanlaista tekniikka betonijätteen käsittelyyn. Testaaminen ja rakentaminen ovat pitkäjänteistä työtä. Aina uusilla kokeilla ja koerakenteille edetään askel askeleelta kohti teknisesti ja taloudellisesti toimivaa lopputulosta. Hanke toteutetaan yhteistyössä Maansiirtoliike R. Heiskanen Oy:n, Lujabetoni Oy:n ja Siilinjärven kunnan kanssa. Siilinjärven kunta omistaa tontit, Lujabetoni toimittaa rakennusmateriaalin ja Maansiirtoliike R. Heiskanen murskaa betonin ja esirakentaa tontin. Jos työ onnistuu hyvin, rakennetaan Jukolan teollisuusalueen muutkin tontit betonijätteestä. Teollisuustonttien ensimmäinen rakennusvaihe on puiden kaataminen, raivaus ja pintamaiden poistaminen. Toinen vaihe on betonijätteen kuljettaminen, murskaaminen ja levittäminen. Tämän jälkeen on vielä kentän tiivistäminen ja kantavuuskokeiden tekeminen.

Kyse on koehankkeesta, jonka onnistuessa betonijätettä ruvetaan hyödyntämään laajemmin Jukolan teollisuusalueen kolmen tontin lisäksi Radantauksen alueella. Rakennushankkeella on myös merkittäviä ympäristönäkökohtia esimerkiksi Lujabetonin kuljetusmatkat lyhenevät, kun ei tarvitse enää kuljettaa hukkabetonia Heinälammirinteen jätekeskukselle. Siilinjärven kunta saa puolestaan ilmaista täyttömateriaalia teollisuustonteilleen. Hanke on esimerkillinen, koska Itä-Suomen alueella betonijätettä ei ole juuri käytetty maanrakentamisessa, toisin kun Etelä- ja Länsi-Suomessa.

Suomessa käytetään vuosittain keskimäärin 100 miljoonaa tonnia luonnon maa-ainesta rakentamisessa. Teollisesta toiminnasta ja purkukohteista syntyy suuria määriä maarakentamiskäyttöön soveltuvaa betonijätettä. Suomessa luonnonkiviainesta riittää vielä kohtuullisesti maarakennusmateriaaliksi, mutta varsinkin kasvavien asutuskuskuksien lähistöiltä on vaikea saada uusia ympäristölupia maa-ainesotamoita varten, joten kuljetusmatkat kasvavat ja kiviaineksen hinta nousee. Näin ollen kierrätys- ja jätemateriaalit ovat kustannustehokkaita, lyhyemmät kuljetusmatkat kuin luonnonkiviaineksella ja kaatopaikkatilaa säästyy.

Betonijätteen uusiokäytöllä pyritään säästämään sora- ja hiekkavarantoja sekä lyhentämään kuljetusmatkoja. Maa-ainesten kierrätys on kestävä kehityksen mukaista niin ekologisessa kuin taloudellisessakin mielessä. Tuotteen elinkaaren mukaan betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa on optimaalista elinkaariajattelun pohjalta. Betonin elinkaari on lähes rajaton.

Kierrätys on tätä päivää ja se tuo säästöä. Teollisuustontin rakenteissa käytettävä täyttömateriaali on puhdasta teollisuuden betonijätettä. Jätteestä huolimatta betonia on turvallista käyttää, sillä Lujabetoni ottaa säännöllisesti näytteitä kuljetettavasta betonijätteestä. Tämän jälkeen betonikappaleet murskataan, levitetään kentäksi ja tiivistetään jyrällä. Betonimateriaalia ei sijoiteta pohjavesialueille tai vedenottamoiden suojavyöhykkeille. Pohjois-Savon ELY-keskus on rekisteröinyt betonijätteen hyödyntämistoiminnan ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.

2 BETONIJÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄÄ LAINSÄÄDÄNTÖÄ

2.1 EU-lainsäädäntö ja jätedirektiivi

Uusin jätedirektiivi (2008/98/EY) on julkaistu 22.11.2008. Kansallisesti direktiivi on pantava voimaan joulukuussa 2010. Uuden jätedirektiivin tavoitteena on vähentää jätteen syntyä entisestään ja edistää jätteen käyttöä materiaalina. Tarkoituksena on edistää jätteen uudelleen käyttöä ja kierrätystä sekä vähentää jätteen päätymistä kaatopaikalle. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY)

Jätedirektiivissä on asetettu hierarkia, jonka mukaan jätteen synnyn ehkäisy on jätehuollon kannalta ensisijainen ja jätteen kaatopaikalle vieminen viimeinen toimenpide. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.)

Jätehierarkia
1. ehkäiseminen
2. valmistelu
3. kierrätys
4. hyödyntäminen esim. energiana
5. loppukäsittely

Uuden direktiivin myötä tuotteen ja jätteen rajanveto selkeytyy. Esimerkiksi sivutuotteelle tehtyjen hyödyntämistoimien ansiosta jäte lakkaa olemasta jätettä, kun se täyttää tietyt kriteerit. Kriteerejä on laadittu rakennus- ja purkujätteille, tuhkille, kuonille, kompostille sekä kierrätyspaperille. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.)

Jätedirektiivissä on myös määritelty, milloin yhdyskuntajätteen polttaminen on hyödyntämistä. Tämän avulla pyritään energiatehokkuuteen ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen. Direktiivin mukaan vaarattomasta rakennus- ja purkujätteestä on kierrätettävä 70 % vuoteen 2020 mennessä. Tämän lisäksi jäsenvaltioiden on laadittava kansalliset jätteen synnyn ehkäisyn ohjelmat ja jätehuoltosuunnitelmat. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.)

Vanha jätedirektiivi on vuodelta 1975. Uuteen jätedirektiiviin yhdistettiin nykyisen jätedirektiivin (2006/12/EY) lisäksi ongelmajätedirektiivi (91/689/ETY) ja osa jäteöljydirektiiviä (75/439/ETY). (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY).

Direktiivin mukaan jäsenvaltioiden tulee ensisijaisesti estää ja vähentää jätteiden tuottaminen ja toissijaisesti hyödyntäminen jätteenä. Jätteiden hyödyntämisessä tulee huomioida, ettei hyödyntämistoiminnasta aiheudu haittaa tai vaaraa ihmisen terveydelle tai ympäristölle. Jäsenvaltioilla tulee olla riittävä käsittelyverkosto, jotta yhteisö voi olla omavaraisessa jätteenkäsittelyssä. Jäsenvaltioilla pitää myös olla jätehuoltosuunnitelma, joka sisältää seuraavat asiat: käsiteltävien ja hyödynnettävien jätteiden alkuperä, laji ja määrä, yleiset tekniset vaatimukset, tiettyjä jätteitä varten vaadittavat erityisluvut, jätteiden käsittelyyn sopivat laitokset ja alueet. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.)

Direktiivi velvoittaa rekisteröimään yritykset ja laitokset, joiden toiminta ei ole luvanvaraista, mutta jotka keräilevät ja kuljettavat jätelajikkeita ammattimaisesti tai järjestettävät jätteen välittämistä tai varastointia muiden puolesta. Toiminnanharjoittajalla on kirjanpitovelvollisuus jätteen laadusta, määrästä, ja alkuperästä sekä määränpäästä, kuljetustavasta ja käsittelymenetelmistä. Kirjanpito tulee tarvittaessa luovuttaa viranomaisille. Viranomaisten on tehtävä tarkastuksia luvanvaraisissa ja rekisteröidyissä yrityksissä ja laitoksissa. Jätteen huolehtimiskustannuksista vastaa saastuttaja. Jätteen haltija on ensisijainen maksaja. Komissio valvoo direktiivin määräysten toteutusta ja sisällyttämistä jäsenmaakohtaisiin lakeihin. Komissio vaatii joka kolmas vuosi sektorikohtaisen kertomuksen, joka kattaa asiaankuuluvat direktiivit. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.)

2.2 Jätelaki

Jätelaki on annettu 3.12.1993 ja sitä ohjaa Euroopan Unionin Neuvoston antama direktiivi jätteistä. Jätelaki on kansallinen sovellus direktiivissä annetuista määräyksistä. Jätelakia tarkentaa jäteasetus ja erilaiset muut valtioneuvoston asetukset ja päätökset. Niistä keskeisin on valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006), valtioneuvoston päätös rakennusjätteistä (294/1997) ja jäteverolaki (495/1996). (Laki 1072/1993.)

2.2.1 Määritelmät ja tavoitteet

Jätteellä tarkoitetaan ”ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä”. Jäteasetuksen liitteessä 1 on listattu jäteluokat, eli tuotteet ja materiaalit, jotka määritellään jätteeksi. Jätteen hyödyntäminen tarkoittaa ”toimintaa, jonka tarkoituksena on ottaa talteen ja käyttöön

jätteen sisältämä aine tai energia” (Laki 1072/1993 3 §:n 10 kohta). Jätelain mukaan myös kierrätys luetaan hyödyntämiseksi. Käsittely mielletään toiminnaksi, jonka tarkoituksena on jätteen vaarattomaksi tekeminen tai lopullinen sijoittaminen. Jätelain pääasiallinen tavoite on tukea kestävästä kehitystä edistämällä luonnonvarojen järkevää käyttöä sekä ehkäistä ja torjua jätteistä aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle. (L1072/1993.)

2.2.2 Soveltamisala

Jätelakia sovelletaan koskemaan jätettä, sen synnyn ehkäisemistä ja sen haitallisten tai vaarallisten ominaisuuksien vähentämistä. Lisäksi jätelaki koskee jätteen hyödyntämisen edistämistä, jätehuollon muuta järjestämistä sekä roskaantumista ja tällaisen alueen puhdistamista. Jätelaki ei koske jätteitä, joista on säädetty muussa lainsäädännössä. Jätteistä aiheutuvaa ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen kuuluu ympäristösuojelulakiin. Tätä lakia ei sovelleta räjähdysvaarallisista aineista annetussa laissa tarkoitettuun räjähdystarvikkeen jätteeseen, ydinenergialaissa tarkoitettuun ydinjätteeseen, säteilylaissa tarkoitettuun radioaktiiviseen jätteeseen eikä merensuojelulaissa tarkoitettuun luvan nojalla mereen sijoitettavaan jätteeseen. (L1072/1993.)

2.2.3 Jätteen haltijan velvollisuudet

Jätteen haltijalla on selvilläölovelvollisuus, mikä tarkoittaa, että haltijan on oltava selvillä hallussaan olevasta jätteestä. Tärkeimpiä asioita, jotka jätteen haltijalla pitää olla tiedossa: mitä jäte on; paljonko sitä on, mistä se on peräisin, mitkä ovat sen jätehuollon kannalta merkittävimmät ominaisuudet ja onko jätteellä terveys- tai ympäristövaikutuksia. Jätteen haltijalla on myös kirjanpitovelvollisuus, mikäli toiminnalla on ympäristölupa tai toimija on ongelmajätteen tuottaja tai sen ammattimainen kuljettaja. (L1072/1993.)

Kirjaa on pidettävä mm. syntyneen, kerätyn, varastoidun, kuljetetun, hyödynnetyn, käsitellyn, myydyn ja välitetyn jätteen määrästä, lajista, laadusta ja alkuperästä. Yleisellä huolehtimisvelvollisuudella laissa tarkoitetaan sitä, että kaikessa toiminnassa on pyrittävä siihen, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän. Lisäksi on huolehdittava, ettei jätteestä aiheudu merkityksellistä haittaa tai vaikeutta jätehuollon järjestämiselle, eikä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (L1072/1993.)

2.2.4 Jätehuolto

Jätehuollolla tarkoitetaan jätelaissa "jätteen keräystä, kuljetusta, hyödyntämistä ja käsittelyä sekä näiden toimintojen tarkkailua ja käsittelypaikan jälkihoitoa" (JätelL 3 §:n 8 kohta). Jätelain mukaan jätteen haltijalla on velvollisuus erotella jäte, pyrkiä hyödyntämään se ja järjestämään jätehuolto niin, ettei siitä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (L1072/1993.)

Jätelain hierarkian mukaan jätteen syntyä on pyrittävä ehkäisemään. Kun jätettä kuitenkin syntyy, on se ensisijaisesti pyrittävä käyttämään uudelleen tai hyödyntämään sen sisältämä aine. Toissijaisesti jätteestä pyritään ottamaan talteen sen sisältämä energia. Viimeisenä käsittelyvaihtoehtona on jätteen poltto ilman energian talteenottoa tai sijoittaminen kaatopaikalle. Jätehuollosta ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, eikä jätettä saa hylätä tai käsitellä hallitsemattomasti. Jätteet on myös kerättävä ja pidettävä toisistaan erillään, mikäli se on terveydelle tai ympäristölle hyödyllistä tai aiheellista jätehuollon asianmukaisen järjestämisen kannalta sekä teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. Erilaatuiset ongelmajätteen on myös pidettävä toisistaan ja muista jätteistä erillään. (L1072/1993.)

Jätteestä aiheutuvista kustannuksista vastaa jätteen haltija tai edellinen haltija. Jättemaksut määrittelee kunta, jolla on jätelain nojalla mahdollisuus periä korkeampi maksu lajittelemattomasta kuin lajitellusta jätteestä, myös kierrätyskelpoisesta jätteestä voidaan periä pienempi maksu kuin hyödyntämiseen kelpaamattomasta jätteestä, joka joutuu kaatopaikalle. Määritellyistä jätetaksoista voidaan poiketa yksittäistapauksessa. (L1072/1993.)

2.2.5 Viranomaiset

Jätelain viranomaisina toimivat ympäristöministeriö, ympäristökeskukset ja kuntien ympäristönsuojeluviranomaiset. Ympäristöministeriö toimii johtavana, kehittäväenä ja ohjaavana viranomaisena, sekä valvoo jätteen maastavientiä, maahantuontia ja jätelain alaisia siirtoja Suomen alueen kautta. Alueelliset ympäristökeskukset kehittävät ja ohjaavat laissa annettuja säännöksiä alueellaan, sekä toimivat valvovana virnaomaisena. Kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen tehtävä on valvoa

laissa määrättyjä säännöksiä kunnissa. Jätteen kansainvälisiä siirtoja valvoo tullilaitos yhdessä Suomen ympäristökeskuksen kanssa. (L1072/1993.)

2.3 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa

2.3.1 Asetuksen tavoite ja tarkoitus

Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa tarkoituksena on edistää jätteiden hyödyntämistä määrittelemällä ne edellytykset, joiden täytyessä asetuksessa määriteltyjen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristölupaa. Kevennetty ja selkeytetty ilmoitusmenettely lupamenettelyn sijaan parantaa jätteiden kilpailuasemaa luonnonmateriaaleihin verrattuna. Asetuksella pyritään kuitenkin varmistamaan, että ympäristösuojelun korkea taso säilyy. (VNa 591/2006.)

2.3.2 Asetuksen soveltamisala

Asetusta sovelletaan tällä hetkellä jätteenä pidettävän betonimurskeen sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkien laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen seuraavissa maarakentamiskohteissa:

- yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet
- pysäköintialueet
- urheilukentät, virkistys- ja urheilualueiden reitit
- ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet. (VNa 591/2006.)

Toteutuksen tulee kuitenkin noudattaa maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) tarkoitettua katusuunnitelmaa, yleisen alueen toteuttamissuunnitelman, luvan tai ilmoituksen mukaisesti taikka yleisistä teistä annetussa laissa (243/1954) tai maantielaissa (503/2005) tarkoitettua tiesuunnitelmaa. (VNa 591/2006.)

Asetusta ei sovelleta tärkeillä tai muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla (luokat I-II), eikä kaivojen läheisyydessä, vaan tällöin toimintaan tarvitaan edelleen lupa. Asetuksen soveltamisalat on tarkasti määritelty siksi, ettei todellisuudessa

loppusijoittamiseksi tarkoitettua toimintaa naamioitaisi jätteen hyödyntämiseksi ilman ympäristölupaa. (VNa 591/2006.)

2.3.3 Jätteen hyödyntämistä koskevat vaatimukset

Asetuksen mukaisessa jätteiden hyödyntämisessä on ympäristösuojelulain ja jätelain lisäksi noudatettava seuraavia vaatimuksia:

- haitallisten aineiden liukoisuus ja pitoisuus eivät saa ylittää VNa:n liitteen 2 mukaisesti mitattuna liitteessä 1 esitettyjä raja-arvoja
- haitallisten aineiden liukoisuus ei saa lisääntyä sekoitettaessa keskenään asetuksen soveltamisalaan kuuluvia jätteitä tai lisättäessä kalkkia, sementtiä tai muita vastaavia aineita
- käytetään vain rakenteen vaatima määrä jätettä, enintään 150 senttimetriä
- jäte ei saa joutua kosketuksiin pohjaveden kanssa ja etäisyys talousvesikaivoihin on oltava yli 30 metriä
- jätettä sisältävä rakenne on peitettävä tai päällystettävä
- jätteen varastointi ja muu toiminta järjestetään niin, että jätteen joutuminen ympäristöön estetään, eikä toiminnasta saa aiheutua muutakaan haittaa tai vaaraa ympäristölle tai terveydelle
- varastointi hyödyntämispaikalla voidaan aloittaa aikaisintaan neljä viikkoa tai peitettynä kymmenen kuukautta ennen hyödyntämistä. (VNa 591/2006.)

Peittämisellä tarkoitetaan jätettä sisältävän rakenteen suojausta vähintään 10 senttimetrin paksuisella kerroksella luonnon kiviainesta, esimerkiksi soraa, hiekkaa tai kalliomurskettä. Tällä pyritään estämään jätteen leviäminen ympäristöön. Päällystämällä tarkoitetaan jätettä sisältävän rakenteen suojaamista vettä läpäisemättömällä materiaalilla, esimerkiksi asfaltilla. Päällysteen tyhjätila saa olla enintään 5 prosenttia. (VNa 591/2006.)

2.3.4 Soveltamisalaan kuuluvat jätteet ja niiden laadunhallinta

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa soveltamisalaan kuuluville jätteille tulee tehdä perustutkimukset ja laadunvarmistustutkimuksia. Perustutkimuksissa selvitetään jätteen ominaisuudet sen haitattomuuden osoittamiseksi. Laadunvarmistustutkimuksilla tarkkaillaan, että jätteen ominaisuudet

pysyvät annettujen raja-arvojen mukaisina. Laadunhallintaa kuuluu laadunvarmistustutkimusten lisäksi laadunvarmistusjärjestelmä. (VNa591/2006.)

2.3.5 Laadunvarmistusjärjestelmä

Jätteen luovuttajalla tulee olla laadunvarmistusjärjestelmä, jonka on sisällettävä seuraavat kohdat:

- laadunvalvontatutkimukset, jotka sisältävät mm. Näytteenottosuunnitelman, tutkittavien aineiden raja-arvot, poikkeamien käsittelyn ja seuranta-asiakirjat
- nimetyt vastuuhenkilöt ja näiden pätevyudet
- ohjeet jätteen vastaanotosta, varastoinnista, käsittelystä ja toimittamisesta hyödyntämispaikkaan
- laadunvarmistusjärjestelmän arviointi- tai auditointisuunnitelman
- tarvittaessa puhtausvaatimukset, esimerkiksi jätteeseen kuulumattoman aineksen osuuden
- seurannan ja raportoinnin, jotka sisältävät laadunvalvontapöytäkirjat, laatu-poikkeamat ja niihin liittyvät toimenpiteet sekä hyödynnettäväksi toimitetun jätteen määrät, laatu ja toimituskohteet. (Vna 591/2006.)

2.3.6 Laadunvalvontatutkimukset

Laadunvarmistustutkimuksessa selvitetään vakioiduin analyysi- ja testausmenetelmin jätteen koostumus ja haitallisten aineiden liukoisuus. Lisätutkimuksia on tehtävä vähintään viiden vuoden välein, mikäli toiminnassa tapahtuu muutoksia. Tutkimusten tarkoituksena on todentaa, että jäte vastaa edelleen perustutkimusten arvoja. Betonimurskeen osalta perustutkimukset voidaan tehdä luovuttajakohtaisesti. Samalla tarkistetaan laadunvarmistusjärjestelmän ajantasaisuus. (VNa 591/2006.)

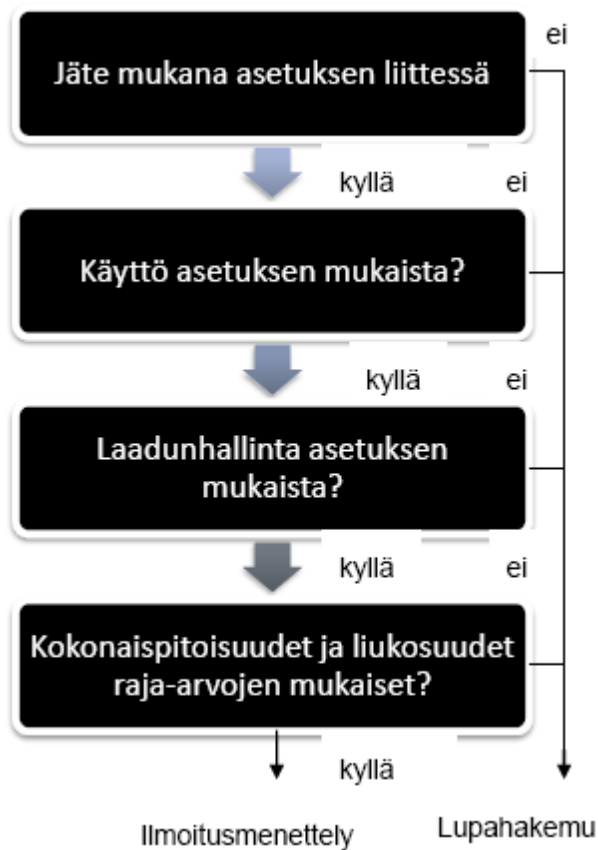
Jätteen laatua pitää seurata laadunvalvontatutkimuksilla, vähintään viidellä perättäisellä näytteenottosuunnitelman mukaisella tutkimuksella. Mikäli laatua ei ole seurattu, voidaan asetuksen mukaista käyttöä arvioida jokaisesta jäte-erästä perustutkimuksilla. Laadunvarmistustutkimuksissa tarkastetaan kullekin jätteelle kriittisiksi määritellyt aineet. Saadut tulokset saavat ylittää yksittäistapauksessa 30 %:lla raja-arvon, muuta kunhan kahden vuoden aikana tehtyjen kokeiden keskiarvo ei ylitä raja-arvoa. Asetuksen liitteessä 1 on määritelty soveltamisalaan kuuluvat jätteet

ja niiden sisältämien haitallisten aineiden raja-arvot. Liitteeseen on koottu erikseen perustutkimusten ja laadunvarmistustutkimusten raja-arvot. (VNa 591/2006.)

Näytteenottajalla täytyy olla riittävä asiantuntemus näytteiden ottamisesta. Näytteenotossa on noudatettava seuraavia standardeja: SFS-EN 932-1, SFS-EN 932-2 sekä standardiluonnosta prEN 14899. Standardien vaatimuksista voidaan poiketa, mikäli niiden noudattaminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti kohtuullisesti toteutettavissa. (VNa 591/2006.)

2.3.7 Ilmoitus ympäristösuojelun tietojärjestelmään

Jätteen hyödyntämisestä on tehtävä ilmoitus ympäristösuojelun tietojärjestelmää, vaikka se ei vaadi ympäristölupaa. Jätedirektiivi ja jätelaki näin velvoittavat. Ympäristöhallinnon verkkosivuilta saa tulostettavan lomakkeen, jolla ilmoituksen voi tehdä. Se toimitetaan alueelliseen ympäristökeskukseen. Ilmoituksen pääasiallinen tarkoitus on, ettei jätteiden dumpausta naamioida maarakentamisen yhteydessä hyödyntämiseksi. Alla olevasta kuvasta voi katsoa, riittääkö pelkkä ilmoituksen tekeminen tietojärjestelmään jätteen hyödyntämisestä vai tarvitaanko siihen ympäristölupa. (VNa 591/2006)



Kuva 1. Ilmoitusmenettelyn käytön ehdot

2.4 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista

2.4.1 Kaatopaikan määritelmä

Valtioneuvoston päätöksen tavoitteena on suojella pinta- ja pohjavesiä, maaperää ja ilmaa ja torjua ilmastonmuutosta ja sitä vastaavia ympäristövaikutuksia. Päätöksellä ohjataan kaatopaikkojen suunnittelua, perustamista, rakentamista, käyttöä, hoitoa, käytöstä poistamista ja jälkihoitoa, sekä jätteiden sijoittamista niille, ettei niistä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (VNp 861/1997.)

Kaatopaikalla tarkoitetaan jätteiden käsittelypaikkaa, jossa jätettä sijoitetaan maan päälle tai maahan. Kaatopaikkana ei pidetä paikkaa, jossa jätettä puretaan sekä lajitellaan, yhdistetään tai valmistellaan muulla tavoin siirrettäväksi muualle esikäsiteltäväksi, käsiteltäväksi tai hyödynnettäväksi. Kaatopaikkana ei pidetä paikka, jossa, alle kolmen vuotta jätettä varastoidaan ennen sen hyödyntämistä tai esikäsittelyä eikä alle yhden vuoden pituisia jätteen varastointia ennen sen käsittelyä. (VNp861/1997 2 §:n 1 kohta.)

Kaatopaikka luokkia on kolme: ongelmajätteiden, tavanomaisen jätteiden ja pysyvien jätteiden kaatopaikat. Ympäristösuojelulain nojalla kaatopaikoille on haettava ympäristölupa. (VNp 861/1997.)

2.4.2 Kaatopaikkatyypit

Pysyvän kaatopaikan jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka ei liukene, pala tai reagoi muiden aineiden kanssa aiheuttaen vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Pysyvän jätteen kaatopaikoille voidaan hyväksyä ilman testausta lasipohjoisia kuitumateriaaleja, lasia ja lasipakkauksia, maa- ja kiviaineksia, rakentamisesta ja purkamisesta syntyvää betonia, tiiltä, laattoja ja keramiikkaa. (VNp 861/1997.)

Tavanomaisten jätteiden kaatopaikoilla tarkoitetaan paikkaa, minne ei saa viedä ongelmajätettä. Yleisesti tavanomaiselle kaatopaikalle voidaan sijoittaa yhdyskuntajätteitä ja niihin rinnastettavia kaupan, teollisuuden ja muiden laitostan jätteitä. Nämä jätteet voidaan hyväksyä kaatopaikoille ilman testausta. (VNp 861/1997.)

Ongelmajätteen kaatopaikalla tarkoitetaan paikkaa, jonne viedään jätettä, joka voi kemiallisen tai jonkin muun ominaisuuden takia aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Ongelmajätteiden kaatopaikalle sijoitettavien aineiden on täytettävä valtioneuvoston päätöksessä ilmoitettujen aineiden kohdalla liukoisuuksille annetut raja-arvot sekä orgaanisen hiilen kokonaismäärälle, hehkutushäviölle ja happoneutralointikapasiteetille annetut raja-arvot. (VNp 861/1997.)

Valtioneuvoston päätöksen kaatopaikoista mukaan kaatopaikan pitäjän on oltava perillä kaatopaikalla olevasta jätteestä. Aina kun viedään jätteitä kaatopaikalle, on annettava tieto jätteen alkuperästä, jätenimikkeestä, ongelmajätteistä on oltava valtioneuvoston päätöksen mukainen jätteen siirtoasiakirja ja lisäksi on oltava jätteen perusmäärittelyä koskevat asiakirjat, ellei kyseessä ole asumisessa syntyvästä tai siihen rinnastettavasta jätteestä. (Vnp861/1997.)

2.5 Jäteverolaki

Jäteverolain mukaan kaatopaikalle toimitettavasta jätteestä peritään valtiolle jäteveroa 40 euroa tonnilta jätettä, joka toimitetaan kaatopaikalle ennen 1.1.2013. Tämän jälkeen jäteveron osuus on 50 euroa tonnilta jätettä. Veroa ei tarvitse maksaa lajitelluista jätteistä eikä jätteistä, joita voidaan hyödyntää kaatopaikalla rakenteissa tai rakennuksissa. Verottomana jätteenä ei kuitenkaan pidetä lasijätettä eikä halkaisijaltaan yli 150 mm kokoisia betonikappaleita. (L495/1996.)

Kaatopaikalla laissa tarkoitetaan jätteen käsittelypaikkaa, jonne jätettä sijoitetaan maan päälle tai maahan. Kaatopaikkaa ylläpitää kunta tai joku muu kunnan lukuun. Toinen vaihtoehto on, että ylläpito on pääasiassa toisten tuottamien jätteiden sijoittamista varten, mutta ei kuitenkaan, jos kyse samaan konserniin kuuluvan yrityksen tuottamista jätteistä. (L495/1996.)

Kaatopaikkana ei pidetä aluetta, jossa säilytetään jätettä väliaikaisesti korkeintaan kolme vuotta ennen sen käsittelyä tai hyödyntämistä. Laki ei myöskään koske aluetta, jonne sijoitetaan vain maa- ja kallioperäisiä aineksia, tai paikkaan jossa jäte hyödynnetään. (L495/1996.)

Jäteveroa ei tarvitse maksaa kaatopaikalle saastuneesta maa-aineksesta, jotka voidaan sijoittaa kyseiselle kaatopaikalle, keräyspaperin puhdistuksessa syntyvästä siistausjätteestä, voimalaitoksen rikinpoistojätteestä ja lentotuhkasta, eikä jätteestä,

jota voidaan hyödyntää kaatopaikalla sen perustamisen, käytön, käytöstä poistamisen tai jälkihoidon kannalta tarvittaviin rakenteisiin tai rakennuksiin. Näihin ei lueta kuitenkaan kuuluvaksi lasijätettä, eikä halkaisijaltaan yli 150 millimetrin kokoista betonijätettä. Epäselvyyksien välttämiseksi jäteveron maksamisen suhteen kannattaa hyödyntää kaatopaikkojen palveluita, joissa hyödynnettävien jätteiden vastaanottohinnat ovat yleensä edullisia tai perustamalla ympäristöviranomaisen hyväksymiä välivarastointialueita, joissa jätteet kerätään lajipuhtaasti erilleen. Jätteiden välivarastoinnin edellytyksenä on, että jätteet käytetään hyödyksi tai viedään asianmukaiseen käsittelyyn ennalta suunnitellusti. Tällöin välivarastointialuetta ei katsota kaatopaikaksi, eikä se näin kuulu jäteveron piiriin. (L495/1996.)

2.6 Ympäristönsuojelulaki

Tämän hetkinen ympäristönsuojelulaki on astunut voimaan 1.3.2000. Ympäristönsuojelulain tavoitteena on:

- ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja pilaantumisesta aiheutuvien vahinkojen vähentäminen ja poistaminen
- terveellisen, turvallisen, luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoisen ympäristön turvaaminen
- jätteen synnyn ja sen haitallisten vaikutusten ehkäiseminen
- ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arvioinnin tehostaminen ja huomioiminen kokonaisuutena
- luonnonvarojen kestävä käytön edistäminen
- parantaa kansalaisten vaikutusmahdollisuuksien ympäristöä koskevassa päätöksenteossa
- torjua ilmastonmuutosta ja tukea muuten kestävä kehitystä. (L86/2000)

Lakia sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista, toimintaan josta syntyy jätettä ja jätteen laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen tai käsittelyyn. (L495/1996.)

3 MAANRAKENNUS- JA MATERIAALITEKNIKKAA

3.1 Uusi materiaalitekniikka

Uudella materiaalitekniikalla tarkoitetaan teknologiaa, jossa hyödynnetään teollisuuden sivutuotteita, pilaantuneita maita ja vanhoja rakenteita. Uusiomateriaalitekniikka on kehitetty viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tulokset ja kokemukset ovat olleet lupaavia, mutta yritysten mielenkiinto on hiipunut seuraavien asioiden takia:

- Ympäristöhyväksyntä on hankalaa ja aikaa vievää.
- Tuotehyväksynnän käytäntö puuttuu.
- Mitoitus perusteita tarvitaan lisää.
- Tuotantoketjut eivät ole tarpeeksi kehittyneet.
- Elinkaariarvioinnin kokemukset puuttuvat .

Uusiomateriaalien kilpailukykyyn vaikuttavat merkittävästi kuljetuskysymykset. Tuotanto- ja varastointipaikkojen sijainnit suhteessa käyttöpaikkaan vaihtelevat suuresti. Useimmiten käytetään lähimpänä olevaa materiaalia. Uusiomateriaalien käytön rajoitteina ovat seosten tekniset ja ympäristölliset ominaisuudet. Uusiomateriaalien edistäminen edellyttää aktiivista yhteistyötä kaikilta tahoilta: rakennuttajilta, urakoitsijoilta, materiaalin tuottajilta, viranomaisilta, suunnittelijoilta ja tutkijoilta. Uusiomateriaalien käytön esteeksi on todettu ympäristölupiin liittyvät toiminnot, aikaviiveet ja kustannukset. Nämä eivät ole sinänsä esteitä materiaalien käytölle, mutta vaikuttavat toimijoiden halukkuuteen ryhtyä uusiomateriaalien käyttäjäksi. Tulevaisuuden tavoitteena on saada käyttökelpoisia uusiomateriaaleja tehokkaaseen ja kestäväseen käyttöön maarakentamisessa. Tavoitteena on, että 10 % neitseellistä kiviainesta korvataan uusiomateriaaleilla 2015 vuoteen mennessä, verrattuna 2005 vuoden tilaa. (Inkeröinen & Alasarela 2010)

Uusiomateriaalien käytölle asetettiin seuraavia tavoitteita:

- uusiomateriaalien tuote- ja ympäristöhyväksynnälle selkeät menettelytavat ja kriteerit
- tilaajien tulisi käyttää ekologista kestävyyttä tukevaa suunnittelua
- kotimaisilla ja kansanvälisillä markkinoilla tulee olla käytettävänä valmiiksi kehitettyjä uusiomateriaalituotteita ja -rakentamistekniikoita
- materiaali- ja tuotetiedon kokoaminen ja levittäminen

Uusiomateriaaleihin kuuluu ylijäämämaita, vanhoja maarakenteiden materiaaleja, teollisuuden sivutuotteita ja pilaantuneita maa-aineksia. (Inkeröinen & Alasaarela 2010)

3.2 Stabilointi maanrakentamisessa

Betonia käytetään yleisesti pohjanvahvistamisessa. Pohjanvahvistusrakenteiden tehtävänä on estää rakenteiden painuminen ja tuoda rakenteelle kantavuutta. Kokonaispainumalle on annettu sallitut tasot. Pohjarakenteiden tehtävänä on varmistaa maapohjan geotekninen katokyky eli stabiliteetti. (Hautalahti, Halkola & Puumalainen 2007)

Pohjanvahvistusmenetelmiä on useita. Pohjanvahvistusmenetelmillä pyritään parantamaan rakenteen geoteknisiä ominaisuuksia. Geoteknisiä ominaisuuksia voidaan parantaa huokostilavuutta pienentämällä, poistamalla vettä maasta tai täyttämällä maan huokostilavuutta sideaineilla. Taulukosta 1 on esitetty pohjanvahvistusmenetelmiä, joita on yleisimmin käytetty maarakennuksessa. (Hautalahti, Halkola & Puumalainen 2007)

Taululukko 1. Pohjanvahvistusmenetelmien ryhmittely (RIL 166, 1986).

Syvätiivistys	Täryhuuhtelu Syvätärytys Räjäytykset Pudotustiivistys Tiivistyspaalutus Syrjäytysinjektointi
Esikonsolodointi	Ylikuormitus (ylipenger, vesitankit, vakuumi)
Injektointi	Sementti- tai bentoniitti-injektointi Kemiallinen injektointi Kalkkilieteinjektointi Elektrokineettinen injektointi Vesisuihkuinjektointi Syrjäytysinjektointi
Stabilointi	Pilaristabilointi Massastabilointi Stabilointi kaivamalla ja täyttämällä Terminen stabilointi (jäähdytys, poltto)
Maan lujitteet	Sora- ja murskepillarit Maan naulaus Juuripaalut Lujiteluiskat, -verkot, -kankaat ja -kalvot

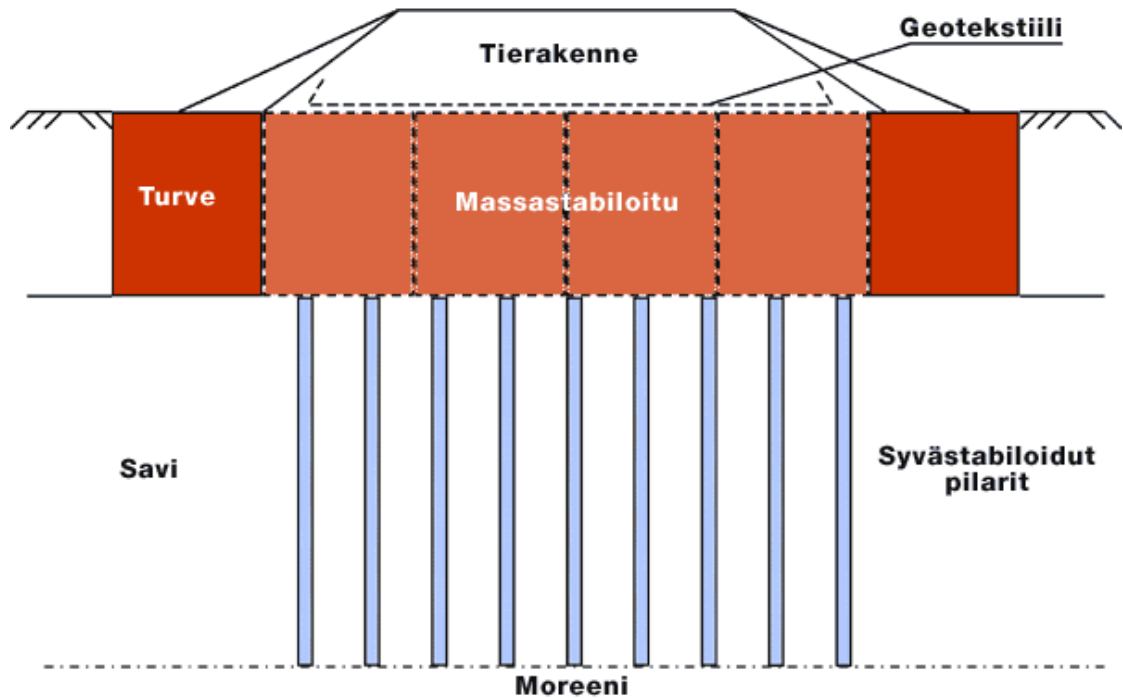
Syvästabiloinnissa ylärakenteilla tulevat kuormat siirretään stabiloiduilla pilareilla joko kantavaan maapohjaan tai kokonaan tai osittain maakerroksen varaan. Painumat riippuvat pilarin kokoonpuristumisesta tai niiden päällä tai olla olevan maakerrosten kokoonpuristumisesta. Massastabiloinnissa heikosti kantavat pintamaat stabiloidaan kokonaisuudessaan tarvittaessa useamman metrin syvyydeltä. (Hautalahti ym. 2007, 17)

Massanvaihdossa vaihdetaan kokonaan tai osittain runsaasti kokoonpuristuvat ja heikot luonnonmaa-ainekset kantavilla kerroksilla. Painuma aiheutuu rakenteen kokoonpuristumisesta. (Hautalahti ym. 2007, 18)

Kevennyksessä maan rakennekerroksia korvataan keveämmällä materiaalilla joko koko rakenteen osuudelta tai osittain. Osittaisessa kevennyksessä täytyy tietää kevennyksen alapuolelle jäävien pohjakerrostumien kerrokset, jotta kokoonpuristuminen pysyy suunnitelluissa ja sallituissa rajoissa. Yleisimpiä kevennysmateriaaleja ovat kevytsora, kevytsorabetoni, EPS-solumuovi, rengasrouhe, vaahtolasi, kivituhka, lentotuhka, terästeollisuuden masuunikuona, vaahtobetoni, palaturve ja puunjalostuksen sivutuotteet. (Hautalahti ym. 2007, 19)

Käyttämällä maarakentamisessa maa- ja kiviaineksia kevyempiä rakennusmateriaaleja saadaan rakenteen painoa pienemmäksi. Tämän ansiosta saadaan pohjamaahan kohdistuva kuormitus ja sen aiheuttama paino pienemmäksi. Maarakenteiden stabiloinnin ja keventämisen ansiosta maaperän lujuus ja jäykkyys lisääntyvät ja maapohjasta tulee vahvempi ja painumaerot pienenevät ja rakenteen geotekninen kantavuus paranee. (Hautalahti ym. 2007, 16)

Kuormituksen siirtorakenteiden tehtävänä on siirtää ylärakenteille tuleva kuormitus pohjarakenteille, kuten kuvasta 1 voi nähdä. Siirtorakenteiden suunnitellussa täytyy varmistaa päälly- ja pohjarakenteiden yhteistoiminta. Siirtorakenteena voidaan käyttää myös massastabilointia (syvä- tai pintastabilointia). Massastabilointimenetelmässä pehmeään maaperään sekoitetaan sideainetta kaivinkoneeseen liitetyllä sekoitinkalustolla, jolloin maakerrokseen muodostuu sideaineen vaikutuksesta tasaisesti lujittunut homogeeninen vyöhyke, jonka varaan maarakenteet voidaan perustaa. (Eskola, Mroueh, Juvankoski & Ruotoistenmäki 1999, 21)



Kuva 2. Massastabiloinnin periaatekuva (Kaaviokuva SCC Viatek Oy)

3.3 Ylärakenteen rakennekerrokset

Eristyskerros

Eristyskerroksesta käytetään myös nimitystä suodatinkerros, jonka ensisijaisina tehtävinä on pohjamaan ja rakennekerrosten erottaminen toisistaan ja estää näiden sekoittuminen, pohjamaassa olevan kapillaarisen vedennousun katkaiseminen päällysrakenteisiin, vedenvirtauksen aiheuttaman maalajien sekoittamisen ehkäiseminen ja rakenteessa olevan ja rakenteeseen tulevat veden poisjohtaminen. Eristyskerroksen tehtävänä on myös ehkäistä tai ainakin hidastaa roudan tunkeutumista routivaan pohjamaahan ja lisäksi tasata routanousueroja. (Eskola ym.1999, 21)

Jakava kerros

Jakavan kerroksen pääasialliset tehtävänä on kuormituksen jakaminen pohjamaalle ja routivan pohjamaan routimisen ehkäiseminen. Jakava kerros mitoitetaan rakennuskohteen käytön mukaan ja sillä pitää olla riittävä kantavuus. Jakavalle kerrokselle annetaan tietyt rakeisuusvaatimukset ja se voidaan tehdä sitomattomana tai hienorakeisemmasta materiaalista sidottuna kerroksena. (Eskola ym.1999, 21)

Kantava kerros

Kantavan kerroksen tehtävänä on tuoda maarakenteelle kantavuutta, jäykkyyttä ja jakaa kuormitusta jakavalle kerrokselle ja sitä kautta pohjamaahan. Kantavan rakenteen täytyy olla muuttumatonta, lujaa, routimatonta, sopivasti vettä läpäisevää materiaalia sekä tiivistettävyyden- ja rakeisuusominaisuuksien tulee olla optimaaliset. Kantava kerros voi olla sidottua tai sitomatonta. Sideaineena voidaan käyttää bitumia. (Eskola ym.1999, 21)

Kulutuskerros tai päällyste

Kulutuskerroksen tai päällysteen tehtävänä on kestää ja vastaanottaa liikenteestä muodostuvaa kuormaa ja taata ajoneuvoille tasainen pinta sekä olla alla oleville kerroksille mekaanisena suojana. Päällysteen pitää olla kulutusta kestävä, sileää, valoa heijastamatonta ja vettä läpäisemätöntä. (Eskola ym.1999, 21)

4 BETONIN KIERRÄTYS

4.1 Hyötykäytön historiaa

Jätebetonia on hyötykäytetty jo pitkään Keski-Euroopassa ja Japanissa, etupäässä maarakentamisessa. Suomessa ontelolaattateollisuus on hyötykäyttänyt 80-luvun lopulta ylijäämäpaloja, murskannut ja uusiokäyttänyt niitä omassa tuotannossaan. Hyrylän ontelolaattatehtaalla kaikki ylijäämäbetoni on murskattu 90-luvun alusta lähtien. (Kivekäs, 1999.)

Lohjan Rudus Ympäristöteknologia alkoi vuonna 1992 kehittämään betonin uusiokäyttöä maarakentamisessa, koska sillä alalla betonimurskeen ominaisuuksia voidaan parhaiten hyödyntää. Betonimursketta käytettäessä uuden betonin runkoaineena, joudutaan siitä seulomaan hienoaines (0...8) pois, koska se lisää veden ja sementin määrää betonin valmistuksessa. Hienoainesta syntyy lähes puolet betonimurskeen tuotannosta ja sille on vaikea löytää hyötykäyttöä. Maarakennuskäytössä hienoaines on välttämätöntä hyvän tiiviyden saavuttamiseksi ja uudelleenkovettumisen aikaansaamiseksi. Keski-Euroopassa betonimurske käytetään 90-prosenttisesti maarakentamisessa, toisaalta käyttöä betonin runkoaineena on voimakkaasti yritetty kehittää. (Kivekäs, 1999.)

Betonijätteestä valmistettu betonimurske on peräisin rakennus- ja purkutyömaalta sekä betonteollisuudesta. Tilastokeskuksen mukaan kiviainespohjaista rakennus- ja purkutyömaiden kokonaisjättemäärä on noin 700 000 tonnia. Kiviainespohjaisen jätteen osuus on 28 % kokonaisjättemäärästä rakennus- ja purkutyömailla. Betonijätteen on oltava lajiteltua ja se ei saa sisältää epäpuhtauksia, kuten muovia, eristeitä, bitumia tai puuta. Betonijätettä, joka sisältää ongelmajätteitä tai muita haitallisia aineita, kuten asbestia, öljyä tai raskasmetalleja ei hyväksytä uusiokäyttöön. (Hakari 2007, 17.)

Suomessa syntyvää todellista betonijättemäärää on vaikea arvioida, koska tilastointi on hajanaista ja vähäistä. Pääkaupunkiseudulla 1994–1995 tehdyn työmaaselvityksen mukaan suurin osa betonijätteestä kulkeutuu kaikkien tilastojen ohi luvallisiin ja luvattomiin maarakennuskohteisiin. Syntymäärää on vaikea arvioida, mutta siitä huolimatta betonin kierrättäminen järkevää purkukohteissa ja betonteollisuuden parissa. Betonijätettä syntyy merkittävästi purkutyömailla, ontelolaattatehtailla ja ratapölkkyjä uusittaessa. Kaikesta jätebetonista syntyy purkutyössä 60–80%. (Hakari 2007, 18.)

4.2 Jätebetoni

Suomessa syntyy vuosittain jätebetonia noin miljoona tn, josta noin 75 % kierrätetään. Betoni- ja tiilijäte käyvät hyvin maanrakennusmateriaaliksi. Niillä voidaan korvata luonnonmateriaaleja ja ne ovat yleensä luonnonmateriaaleja halvempia. Suuren betonijätemäärän käsittelyyn ja sijoittamiseen tarvitaan ympäristölupa tai vähintään ilmoitus elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. Ilmoitusmenettelyn tarkoituksena on valvoa, että toiminta on hallittua ja suunnitelmallista ja sijoitettavan jätteen laatu on asianmukaista. Betonia ei saa sijoittaa pohjavesialueille. (Lausunto jäteverotuksen kehittäminen - muistio, Infra Ry)

Ympäristöviranomaisen vaatii myös jätteen ympäristökelpoisuuden selvittämistä. Mikäli jätteen sijoittaja ei ole maanomistaja, on maanomistajan suostumus pyydettävä, koska maanomistaja vastaa viime kädessä jätteen hyödyntämisestä. Yleinen vaatimus on, että betonijäte on pienennettävä 150 mm:n raekokoon ja betoniteräksiset on poistettava. Betonirauditus voi haitata myöhempää rakentamista ja määräyksen tarkoituksena on estää jätteen hautaaminen maahan. (Lausunto jäteverotuksen kehittäminen - muistio, Infra Ry)

Maarakentamisessa käytetyt betonimateriaalit voivat sisältää erilaisia epäpuhtauksia. Yleisimpiä haitta-aineita ovat vesieristeenä käytetyt kivihiilipiki sekä PCB ja lyijy, joita on käytetty vanhoissa elementtisaumoissa. Monet raskasmetallit ovat peräisin maaleista. Betonirakenteet voivat siis olla likaisia tai voivat likaantua rakennuksen käytön aikana. Näin ollen betonin alkuperän selvittäminen ja ympäristökelpoisuuden tutkiminen on tärkeää. (Helsingin kaupungin ympäristökeskus, 2005.)

Betonijätteen hyödyntäminen on mahdollistunut jäteveron ja jätebetonin 150 mm:n raekokosäännön ansiosta. Raekooltaan alle 150 mm:n raudaton betonimurska, luokitellaan maa- ja kiviainekseksi. Vuonna 1998 tuli voimaan jätevero, jonka myötä betonin hyötykäyttömäärä kymmenkertaistui vuodessa ja edelleen siitä kymmenkertaistui. Säästöä on syntynyt ja kaatopaikalle päätyvän jätteen määrä on vähentynyt ja luonnon kiviaineksia on korvattu betonilla maarakentamisessa. (Helsingin kaupungin ympäristökeskus, 2005.)

4.3 Betonimurskeen perustiedot

Betonimateriaali muutetaan maarakennuskäyttöön murskaamalla tai muulla mekaanisella käsittelyllä, haluttuun raekokoon. Raaka-aine täytyy tarkastaa ennen kun sitä käytetään rakennusmateriaalina. Tarkastus tehdään useimmiten aistinvaraisesti tai käyttäen apuna kuormauskalustoa. Betonijätteestä pitää erottaa murskausvaiheessa raudat kierrätykseen terästeollisuuden raaka-aineeksi ja muut epäpuhtaudet. (Hakari 2007, 21)

Betonimurskeen geotekniset ominaisuudet määräytyvät Suomessa olevien laatuluokkien mukaan. Käytössä olevia laatuluokkia on BeM I, BeM II, BeM III, BeM IV. Laatuluokka määräytyy puhtausasteen ja rakeisuuden mukaan (Hakari 2007, 21):

Luokka I. Betonijäte, maksimisivunmitta 0,5 metriä. Betonikappaleiden suurimman yksittäisen sivun pituus saa olla 0,5 metriä. Betonikappaleet saavat sisältää betoniteräkset. Betoniteräksien tulee olla katkaistu betonikappaleiden mittaiseksi.

Luokka II. Betonijäte, sivunmitta 0,5-1 metriä. Betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli puoli metriä, mutta alle yhden metrin. Betonikappaleet saavat sisältää betoniteräksiä. Betoniteräksien tulee olla katkaistu betonikappaleiden mittaiseksi.

Luokka III. Betonijäte, sivunmitta 1-5 metriä. Betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli metrin, esimerkiksi ontelolaatat, pilarit, palkit. Mikäli betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli 5 metriä, ne ovat erittäin runsaasti raudoitettuja tai vaikeasti varastoitavia, niitä ei oteta vastaan tässä luokassa, vaan luokassa ”Betonijäte, erikoiskappaleet”.

Luokka IV. Betonijäte, erikoiskappaleet. Betonielementtejä ja -kappaleita, jotka ovat erittäin suuria tai vaikeasti rikottavia ja varastoitavia, esimerkiksi ratapölkkyt, sillat ja laiturit, järeät koneperustukset ja vastaavat. Tähän luokkaan kuuluvien betonijätteiden tuomisesta on sovittava etukäteen.

Luokka V. Betonijäte, sisältää tiiltä. Saa sisältää luokkien I ja II mukaista betonijätettä sekä tiiltä enintään 20 paino- %.

Luokka VI. Tiilijäte. Tiilijätteeksi luetaan poltetut tiilet, kalkkihiekkatiilet ja kevytbetonituotteet. Tiilijäte saa sisältää muurauslaastin.

Mikäli betoni- ja tiilijäte ei täytä minkään em. luokan ehtoja, sitä ei oteta vastaan. Tällaiset kuormat on vietävä kaatopaikalle. (Hakari 2007, 19.)

4.4 Betonimurskeen valmistus

Betonimursketta valmistetaan purkutyömailta ja betonitehtailta syntyvästä betonijätteestä. Betonitehtaiden betonijäte on luotettavampaa ja puhtaampaa kuin purkutyömaalta tuleva betoni. Betonin käsittely ja vieminen kaatopaikalle on kallista, joten suositeltavaa on murskata ja pulveroida betoni rakennustyömaalla ja käyttää täyttömaana samalla tontilla tai muualla. (Wahlström, Mroueh & Laine-Ylijoki 2005.)

Betonimurskeen valmistukseen soveltuvat kaikenlaiset betoni- ja sementtituotteet. Betonin murskaus ja pienentäminen voi tapahtua työmaalla tai erillisellä vastaanotto- ja murskausalueella. Ensin betoni paloitellaan ja sitten murskataan siirrettävillä murskausasemilla. Pienemmissä purkukohteissa käytetään betoninpulveroijaa. Betonimurskaukseen voidaan käyttää leuka-, kartio- tai iskupalkkimurskainta. Teräkset erotetaan magneetin avulla betonimurskeesta. Betonimurske seulotaan haluttuun raekokoon yleisimmin 0...150 millimetriin. (Wahlström ym. 2005.)

4.5 Murskaustekniikkaa

Ontelolaattatehtailta syntyvä ylijäämäbetoni on kierrätykselle ihanteellista materiaalia, koska se ei sisällä terästä ja muita epäpuhtauksia. Purkutyömailta tulevasta materiaalista on eroteltava puu, muovi, metallit, tiili, yms. mahdollisimman tarkasti. Sekalaisesta rakennusjätteestä betonia ei voida erotella niin hyvin, että se kelpaisi vaativaan hyötykäyttöön. Lajitteleva purkutekniikka on kehittynyt pitkälle. Kaivinkoneeseen on asennettavissa betonia leikkaavia saksia ja pulveroijia on tarjolla runsaasti. (Kivekäs, 1999.)

Ennen murskausta on betonijäte esipaloiteltava 0,5-1 metrin kokoisiin paloihin, jotta ne voidaan syöttää murskaimeen. Betoniteräksiä ei poisteta vielä murskausvaiheessa. Murskauksen voi tehdä joko yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Yksivaiheinen murskaus tehdään iskupalkkimurskauksella ja kaksivaihemurskauksen voi tehdä leukamurskaimen ja kartiomurskaimen avulla. Betonimurskeen laatuun ja murskauskustannuksiin vaikuttavat murskaimen tyyppi. (Kivekäs, 1999.)

Oikea raekokojakauma ja raemuoto ovat tärkeitä hyötykäytön kannalta. Vain sellainen betonimurske voidaan saada kovettumaan maarakenteissa. Betoniteräkset erotellaan betonimurskeen seasta erillisellä magneettierottimella. On tärkeää saada kaikki teräkset eroteltua betonimurskeesta, koska teräspätkät aiheuttavat rengasrikoja kumipyöräisille työmaakoneille. (Kivekäs, 1999.)

Purkubetonijätteen seassa on aina jonkin verran epäpuhtauksia, joten jäte olisi hyvä lajitella jo työmaalla. Epäpuhtauksien poistamiseen on olemassa pesu- ja puhallustekniikoita ja laitteita. Lopullisen materiaalin painosta saa olla 1 % epäpuhtauksia. (Kivekäs, 1999.)

Terästen ja epäpuhtauksien erottelun jälkeen betonimurske seulotaan 0-150 mm:n raekokoon tai pienemmäksi. Betonimurskaus on betoniterästen, epäpuhtauksien ja vähäisen määrän takia selvästi kalliimpaa kuin kivenmurskaus. Kustannuksia kateetaan jätteestä saatavalla vastaanottomaksulla. Näin saadaan kierrätys mahdolliseksi taloudellisesti. (Kivekäs, 1999.)

4.6 Työmaatekniikka

Työtekniikka kuljetuksen, levityksen ja tasauksen osalta tapahtuu samalla tavalla kuin kalliomurskeenkin. Betonimurskeen tiivistys vaatii jonkin verran enemmäntyötä. Suositeltavaa on vähintään viisi yliajokertaa kymmenen tonnin täryjyrällä. Betonimurskeen kastelun tarve on selvästi suurempi kuin kalliomurskeen, jotta kovettuminen olisi mahdollista. Kastelua suositellaan kuukauden ajan. (Kivekäs, 1999.)

4.7 Betoroc-murske

Ulkomailla betonimursketta on käytetty sellaisenaan soran korvikkeena, eikä tietyvästi ole hyödynnetty betonimurskeen uudelleenkovettumispotentiaalia. Suomessa Lohjan Rudus Ympäristöteknologia on kehittänyt Betoroc-murskeen, joka saadaan uudelleenkovettumaan maarakenteissa. Kovettunut Betoroc-murske antaa maarakentajalle vähintään kaksinkertaisen kantavuuden verrattuna kalliomurskeeseen. Tätä voidaan hyödyntää ohentamalla maarakenteiden paksuuksia, jos routamitoitus antaa periksi. Ainakin kalleimpia materiaaleja voidaan korvata halvemmilla materiaaleilla, esimerkiksi suodatinhiekillä. Tämän ansiosta maarakennuksen kokonaiskustannukset ja ympäristövaikutukset pienenevät luonnonmateriaalien käytön sekä kuljetussuoritteiden vähenemisen vuoksi. (Kivekäs, 1999.)

Betoroc-murskeella tehty ensimmäinen koetie toteutettiin Uudenmaan tiepiirin kanssa kesällä 1994 välillä Korso-Nikkilä. Tien jakava kerros korvattiin Betoroc-murskeella 500 metrin matkalla. Tämän jälkeen on rakennettu lukuisia tie-, katu-, ja kenttäkohteita ympäri maata. Jokaisessa kohteessa Betoroc-murske on antanut selvästi luonnonkiviainesta paremmat tulokset kantavuuden osalta. (Kivekäs, 1999.)

4.8 Ympäristökelpoisuus

Ympäristökelpoisuutta on tutkittu ensimmäisestä koekohteesta lähtien VTT:n kemiantekniikan laboratoriossa liukoisuuskokein. Kokeissa käytetty Betoroc-murske on valmistettu ratapölkyistä, purkubetonista ja ontelolaattajätteestä. VTT kemiantekniikka on laatinut laadunvalvontajärjestelmän alla olevan taulukon mukaisesti. (Kivekäs, 1999)

Taulukko 2 Liukoisuuskokeen raja-arvot
(Kivekäs, 1999.)

Haitta-aine	Raja-arvo (mg/kg)
Sulfaatti	750
Kromi	0,5
Kadmium	0,02
Kupari	0,4
Lyijy	1,0

Betonin raaka-aineet eivät sisällä ympäristölle haitallisia aineita. Betonilietteen kierrätys veden osalta on otettava huomioon korkea pH-arvo johdettaessa vettä kunnalliseen viemäriverkkoon. Laitetekniikan osalta kierrätysvedellä on pumppuja ja putkistoja kuluttava vaikutus. Kovettumat ja tukkeumat pumpuissa, venttiileissä ja putkistoissa aiheuttavat ongelmia. (Kivekäs, 1999.)

4.9 Betoninkierrätyksen tulevaisuus

Jo pelkästään Lohjan Rudus on perustanut vuoden 1997 loppuun mennessä betoni- ja tiilijätteen vastaanottoalueita Helsinkiin, Tampereelle, Turkuun, Kuopioon, Vaasaan

ja Ouluun. Lisäksi yli 3 000 tonnin yhteydessä kierrätys järjestetään projektikohtaisesti. Näin taataan valtakunnallinen jätehuoltotavoite. (Kivekäs, 1999.)

Lohjan Ruduksen kehittämä Betoroc-murske on tuotteistettu ja sille taataan uudelleen-koventuminen maarakenteissa oikean valmistustekniikan ansiosta. Kovettuminen varmistetaan ennakkokokein. Betoroc-murskeelle on laadittu suunnitteluohjeet, joissa esitetään E-moduuli arvoksi 500–1000 MN/m². Tie- ja katurakenteiden lisäksi ohjeissa esitetään monia muitakin käyttömahdollisuuksia betonimurskeelle maarakentamisessa. (Kivekäs, Lohjan Rudus 1999)

5 KIERRÄTYSPROSESSIT JA LAITTEISTOT

5.1 Murskatun betonin uusiokäyttö kiviaineksena

Suomessa kaikesta kiviaineksesta noin 95 % käytetään maarakentamisessa. Näin ollen betonimurskeen potentiaalisin käyttö on nimenomaan maarakentamisessa. Betonimurskeen käyttö on helppoa kun se valmistetaan tasalaatuisesta lähdemateriaalista. Hyvää lähdemateriaalia saadaan purettavista silloista ja muista erikoislujista kantavista rakenteista ja elementtituotannosta. Jos uusiokiviainesta käytetään 10–30 % koko kiviaineksesta, betonin ominaisuudet eivät merkittävästi muutu. Betonista tehtyjen maarakenteiden säilyvyyteen tulee kiinnittää huomiota. Tietyissä tapauksissa ja käyttökohteissa on mahdollista korvata koko kiviaines betonimurskeella. (Hotanen 2005, 10)

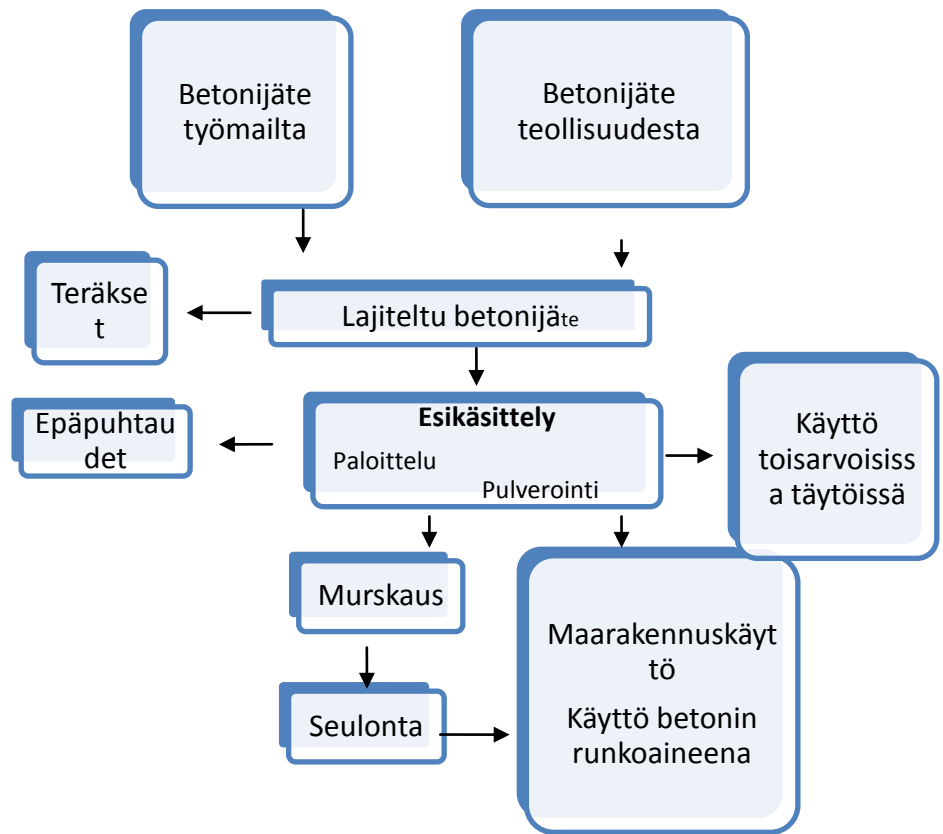
5.2 Massan ominaisuudet

Betonimurskeen vedenimu on 5-10-kertainen luonnonkiviainekseen verrattuna. Vedenimu on vähäisempi, mikäli betonimurskeen laastiosuus on pieni tai se on hyvin tiivistä. Betonimurskeen tasainen kastelu parantaa sen käytettävyyttä. (Hotanen 2005, 11.)

Kosteuspitoisuuden on todettu olevan suhteessa muodostuvan sementtipasta-kiviainesrajapinnan lujuuteen ja edelleen betonin lujuuteen. Laadukasta betonimursketta voidaan valmistaa lujasta betonista. Hyvälaatuinen betonimurske ei sisällä rakeisuudeltaan alle 4 mm:n ainesta juurikaan. (Hotanen 2005, 11.)

5.3 Betonimurskeen hyödyntämisen edellytykset

Tärkeimpänä edellytyksenä betonijätteen käytölle on, että se sisältää mahdollisimman vähän muita aineita. Epäpuhtauksien määrä tulisi olla vähäistä, koska liukoisuudelle on asetettu tiukat raja-arvot. Liukoisuusarvojen alittaminen ei tuota vaikeuksia silloin kun käsiteltävä betoni pelkkää betonia. Jätebetonin hyödyntäminen vaatii jalostamista, paitsi jos käytetään kokonaisia betonielementtejä. Betonijätteen jalostusprosessi voi olla yksi tai monivaiheinen. (Hotanen 2005, 12.)



Kuvio 1. Betonijätteen jalostusprosessi (Hotanen 2005, 12.)

Betonijäte esikäsitellään usein ennen sen murskausta. Aina se ei ole tarpeen, mutta pääsääntöisesti se kannatta tehdä. Esikäsitellyllä helpotetaan murskausta, poistetaan suurimmat epäpuhtaudet sekä osa teräksistä. Betonijätteen pienentäminen tehdään pulveroimalla tai paloittelemalla. Pelkästään paloiteltua jätebetonia ei voida sellaisenaan käyttää hyödyksi, vaan se pitää jatkokäsitellä, pulveroinnilla. Pulveroitua betonijätettä voidaan käyttää sellaisenaan täyttöihin. Kuviossa 1 on esitetty betonin jalostusprosessit. (Hotanen 2005, 13.)

Pulveroinnilla tarkoitetaan, betonikappaleiden palakoon pienentämistä. Käsitellyllä saadaan poistettua suurin osa teräksistä pois. Tyypillinen betonikappale koko on ennen pulverointia 30–70 cm ja pulveroinnin jälkeen 0-15 cm. Pulverointilaite on kaivinkoneeseen kiinnitettävä lisälaitte, jolla betonia murennetaan. (Hotanen 2005, 13.)

Käyttökelpoisin betonijätteen käsittelytapa on murskaus tai pulverointi ja murskaus. Murskauksen etuja on, että myös betoniteräksiset saadaan hyötykäyttöön ja epäpuh-

taudet eroteltua tehokkaasti seulonnalla ja laadunvalvontaprosessilla. Murskatulla betonijätteellä voidaan korvata arvokkaita luonnonkiviaineksia. (Hotanen 2005, 13)

Palakoon pienentäminen pelkällä pulveroinnilla on kannattavaa, jos esimerkiksi tehdasalueella tai purkukohteella on tarvetta täyttömassoille. Pulveroinnin kustannukset ovat yleensä melko korkeat ja lopputuotteen arvo alhainen, joten se ei aina ole järkevin vaihtoehto. Pulveroitu betonijäte ei ole kaikilla rakennuspaikoilla suotavaa, koska se vaikeuttaa myöhempää rakentamista. Esimerkiksi kaivantojen teko pulveroidusta betonijätteestä on haastavaa. (Hotanen 2005, 14.)

Betonijätteen käsittelyllä on kaksi vaihtoehtoa: joko murskata betoni syntymäalueella tai toimittaa se murskattavaksi betonijätteen vastaanottokeskukseen. Tärkein betonijätteen hyödyntämisen edellytys on riittävä ja toimiva vastaanottokeskusverkosto, johon betonijäte voidaan toimittaa sellaisilta paikoilta, jossa murskausta ei voida tehdä tilan tai ympäristöasioiden takia. (Hotanen 2005, 14.)

Jäteveron voimaantumisen jälkeen on syntynyt lähes kaikki vastaanottokeskukset. Tällä hetkellä niitä on noin 30. Tarvetta vastaanottoalueiden lisäämiseen kuitenkin olisi, koska jätebetonin kuljettaminen on kallista. (Hotanen 2005, 14.)

5.4 Betonin murskaus

5.4.1 Betonijätteen laadun merkitys

Betonin murskausta on tehty eri puolilla maailmaa jo pitkään, etenkin Läntisissä teollisuusmaissa. Alueellista vaihtelua on paljon eri maiden välillä. Keski- ja Pohjois-Euroopassa rakennusjätteiden ja betonin kierrätys on pidemmällä kuin Etelä-Euroopassa. Betonijätteen hyödyntämisellä ratkaisevia tekijöitä ovat kullakin alueella vallitseva kiviainestilanne ja väestön tiheys. Hyvälaatuisen kiviaineksen huono saatavuus ja korkea hinta ovat asioita, jotka ovat johtaneet jätebetonin hyödyntämiseen. Tiheään asutetuilla alueilla jätteen loppusijoituksen vaatima tilaa on vaikea löytää, joten tarve jätteen hyödyntämiselle on tullut osittain myös pakon edestä. (Hotanen 2005, 14.)

Betonin murskaukseen käytettävät murskaimet ovat melko identtisiä kiviaineksen murskaukseen tarkoitettujen murskaimien kanssa. Betonin murskaus vaatii erityisominaisuuksia, koska betoni pehmeämpää materiaalia kuin luonnonkivi. (Hotanen 2005, 14.)

Murskauksesta syntyvän lopputuotteen laatuun vaikuttaa monta tekijää. Jätebetonin syntyperästä johtuvia tekijöitä ovat betonin lujuus, runkoaineen maksimiraekoko ja raudoitus. Murskaukseen vaikuttavista tekijöistä merkittävin on betonissa käytettävän raudan määrä, rautojen halkaisija, esijännitykset ja erikoisraudakappaleet kuten vahvikeraudat ja pulttauslevyt. Jätebetonin sisältämä raudoitusmäärä vaihtelee huomattavasti betonikappaleen ja teollisuuslaitoksen sisällä. Betonin lujuus vaikuttaa murskauskapasiteettiin, kustannuksiin ja kuluvien osien kulumisnopeuteen. (Hotanen 2005, 15.)

Ennen kaikkea lopputuotteen rakeisuus ja puhtaus riippuvat betonijätteen laadusta, murskaintyyppistä ja murskausprosessissa käytettävistä vaiheista. Betonijätteen epäpuhtauksien määrä on suoraan verrannollinen lopputuotteen epäpuhtauksien määrään. (Hotanen 2005, 15.)

Betonijätteen käsittelyn tarve riippuu murskaintyyppistä ja murskaimen kidan mittasuhteista. Esikäsitteilyn tarkoituksena on betonijätteen kappalekoon pienentäminen, jotta materiaalin syöttäminen murskaimeen helpottuu. Kappalekoon pienentäminen tehdään yleensä kaivinkoneeseen liitettävillä lisävarusteilla iskuvasaralla, leikkurimurskaimella tai pulveroijalla. Kappalekoon pienentämisen ohella tarkoituksena on myös katkaista pitkät raudat, jotka voivat tukkia murskaimen tai haitata muuten murskausprosessia. (Hotanen 2005, 16.)

5.4.2 Murskauslaitokset

Murskauslaitokset koostuvat murskaimista ja seuloista sekä näihin liittyvistä lisälaitteista ja varusteista. Murskauslaitoksen vaiheilla tarkoitetaan murskauskertojen lukumäärää. Kiviaineksen murskauslaitosten tapaan betonimurskauslaitokset voivat olla hyvin erilaisia ja kokoisia. Suurimmat kiinteät murskauslaitokset ovat neljävaiheisia ja kokonaispainoltaan satoja tonneja. Pienimmät yksivaiheiset siirrettävät murskauslaitokset painavat alle 20 tonnia. Murskauslaitoksen kokoonpanoon vaikuttavia tekijöitä ovat:

- tarvittava kokonaiskapasiteetti
- tarvittava kapasiteetti työmaalla
- käytettävissä oleva tila
- betonijätteen laatu
- haluttu lopputuotteen laatu
- tarve murskata myös kovaa kiveä

Yleisesti ottaen betonin murskaus suoritetaan vähemmissä vaiheissa ja pienemmillä laitoksilla kuin kivenmurskaus. Suurimpana syynä tähän on murskauspaikkakohtaiset määrät. Toisena syynä on iskumurskaimen käytön sopivuus ja hyvä murskaussuhde. Täytyy myös huomioida, että betonin murskaus tapahtuu tehdasalueilla ja purkukohteilla, joissa on rajoitettu tila. Käytettävien murskauslaitosten on syytäkin olla pienikokoisia ja helposti siirrettäviä. (Hotanen 2005, 16.)

Useimmiten betonin murskaus tapahtuu yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Yksivaiheisessa murskauksessa käytetään isku- tai leukamurskainta. Iskumurskain soveltuu parhaiten yksivaiheeseen murskaukseen. Monivaiheisessa murskauksessa paras tyyppi esimurskaukseen on leukamurskain. Jälkimurskauksessa voidaan käyttää isku, leuka- tai kartiomurskainta. (Hotanen 2005, 17.)

5.4.3 Betonimurskeen seulonta

Murskauksen jälkeen betonimurske kuten tavanomainen luonnonkiviaineskin ovat seulottava. Seulonta homogenisoi tehokkaasti materiaalin. Betonimurskeen osalta seulonta on usein välttämätöntä myös siksi, ettei murskeen joukkoon pääse betonikappaleita, jotka sisältävät raudoitusta. (Hotanen 2005, 18.)

Betonimurskeen seulonnassa käytetään samoja seuloja kuin tavanomaisen kiviaineksen seulonnassa. Pölyämisen estämiseksi betonimurske on usein kasteltava. Betonimurskeen seulonnassa käytettävien seulaverkkojen neliömäärä on oltava suurempi kuin kiviaineksen seulonnassa, koska betonin sisältämä hienojakoinen sementtipöly tukkii seulaverkkoja normaalia kiviainesta enemmän. (Hotanen 2005, 18.)

Seulojen tukkeutumisesta riippuen maksimiraekooltaan hienojen laitteiden alle 12 mm tekeminen on vaikeaa. Suomen olosuhteissa betonimurskeesta tehdään yleensä yhtä tai kahta lajitetta. Murskeen joukossa olevia epäpuhtauksia voidaan poistaa käsityötä. Betonijätteen seassa olevat suuremmat epäpuhtaudet on yritettävä poistaa mahdollisimman hyvin joko käsin tai koneellisesti ennen betonijätteen syöttämistä murskaimeen. Murskaimessa useimmat epäpuhtaudet, esimerkiksi puutavara, pilkkoutuvat hyvin pieneksi, joten pienen puusälän poisottaminen lopputuotteesta on

hyvin vaikeaa. Liian suuret epäpuhtausmäärä voivat rajoittaa tai vaarantaa lopputuotteen halutunlaisen käytön. (Hotanen 2005, 18.)

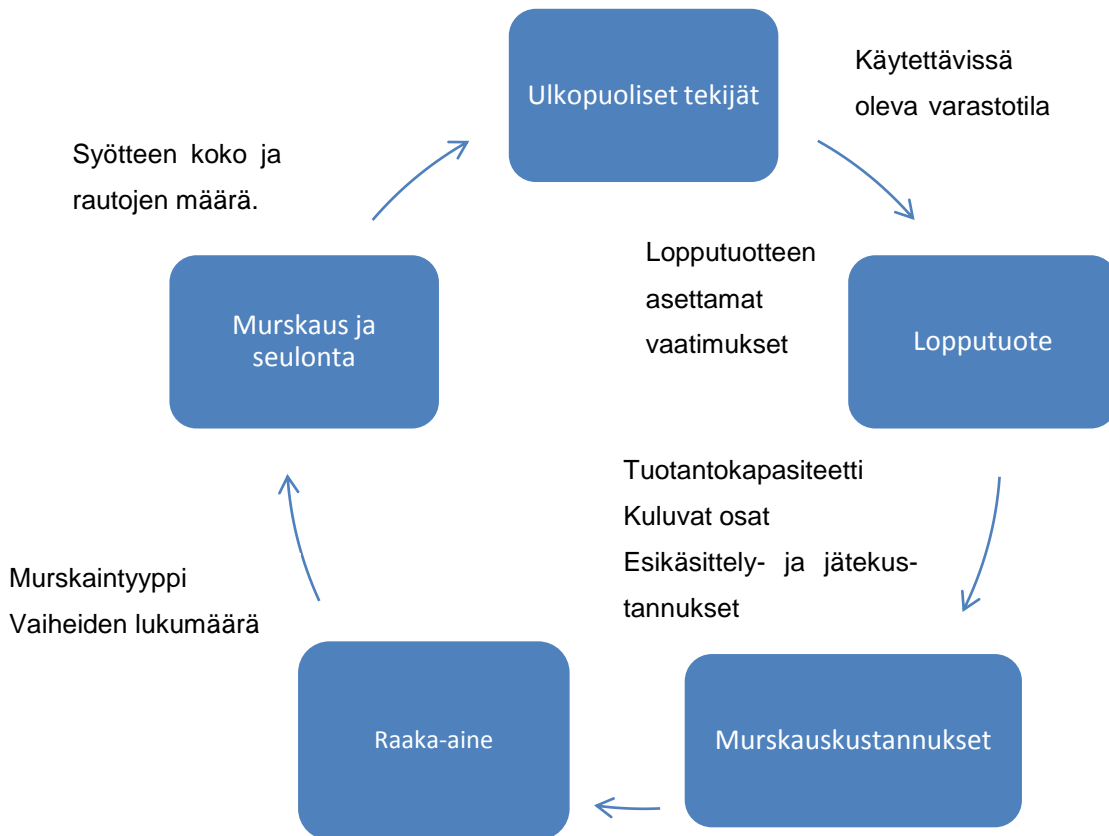
Jätteiden poistaminen ennen murskausta on työvaihe, jonka toteuttamiseen liittyy monia ongelmia. Käsityönä tehtävä poisottaminen on työturvallisuuden kannalta hyvin riskialtista. Sen vuoksi betonijätteen vastaanotossa pitää kiinnittää erityisen paljon huomiota siihen, että betonijäte sisältäisi mahdollisimman vähän muita materiaaleja. (Hotanen 2005, 19.)

5.4.4 Raudoituksen ja muiden epäpuhtauksien poistaminen

Betonin sisältämän raudoituksen poistaminen betonijätteen seasta on oleellinen osa erottelua. Raudoituksen poistoon käytetään magneetinerotinta, joka sijaitsee yleensä murskaimen jälkeen. Magneetinerottimia voi olla useampia. Raudoitus voidaan tiettyissä tapauksissa poistaa myös käsityönä, mutta tämä ei käy suuremmissa kohteissa. (Hotanen 2005, 20.)

Betonijäte voi sisältää jonkin verran kevyitä epäpuhtauksia, kuten paperia, eristeitä, puuta ja muovia. Paras tapa näiden poistamiseen on erotella ne käsin tai koneellisesti betonijätteestä ennen murskausta. Epäpuhtauksien erilaisista ominaisuuksista ja kappalekoosta johtuen yksinkertaista poistamistapaa ei ole. Yleensä ainoa mahdollinen erottelutapa on käsin. Lajittelija voi myös poistaa materiaalia ennen sen joutumista murskausprosessiin. Pääsääntöisesti lajittelija poistaa ylimääräiset materiaalit seuralta. Käsityönä tapahtuvalla lajittelulla voidaan tehokkaasti poistaa yksittäiset, suuret ja haitalliset epäpuhtaudet. (Hotanen 2005, 21.)

Lopputuote asettaa betonin murskauksessa tiettyjä vaatimuksia niin raaka-aineelle kuin murskausprosessille. Raaka-aineen tulee olla sellaista, että se voidaan jalostaa käytettävissä olevalla murskauskalustolla. Murskauskustannukset on pyrittävä pitämään mahdollisimman pieninä. Oleellimmat kokonaiskustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat tuotantokapasiteetti, kulutusosa- ja raaka-aineen esikäsittely kustannukset. (Hotanen 2005, 22.)



Kuvio 2. Betonimurskausprosessin keskeisiä riippuvuussuhteita. (Hotanen 2005, 23.)

5.4.5 Betonijätteen pulverointi

Betonijätteen pulverointi sopii hyvin ja on usein jopa välttämätön esikäsittelyvaihe ennen murskausta, mutta ainoana käsittelynä se yleensä yksin riittää. Pulveroidun jätebetonin käyttö on suositeltavaa, jos esimerkiksi tehdasalueella on tyhjää täyttötilaa varastokenttää varten. Pääsääntöisesti jätebetoni kannattaa useimmiten murskata. Murskaamalla betonijätteestä saadaan korkea- ja tasalaatuinen uusiotuote. Lisäksi epäpuhtaudet saadaan hyvin poistettua ja betonimurskeella on huomattavasti enemmän käyttömahdollisuuksia ja sen arvo on murskattuna suurempi kuin pulveroituna. Pulveroitu betonijäte kelpaa vain toisarvoisiin täyttöihin. Kuviossa 2 on esitetty betonin murskauksen riippuvuus suhteita. (Hotanen 2005, 23.)

Ongelmana on myös tällä hetkellä pulveroitua betonijätettä koskevan tutkimusaineiston ja ohjeistuksen puute. Jätebetonista valmistetun uusiotuotteen markkinoille tuontiin pitäisi olla pitkät ja laajat tutkimukset niin teknisistä kuin ympäristökelpoisuuteen liittyvistä ominaisuuksista. Ohjeistuksen puuttuminen aiheuttaa sen, että jokaisessa rakennuskohteessa on rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan erikseen mietittävä edellytykset käyttää pulveroitua betonijätettä. Lisäksi murskaamaton ja luokittelema-

ton betonijäte vaatii aina ympäristöluvan. Betonin käyttö pulveroituna on siis järkevä vaihtoehto vain harvoissa tapauksissa. (Hotanen 2005, 23.)

5.4.6 Betonijätteen käyttö maarakenteessa sitomattomissa kerroksissa

Ympäri maailmaa betonimurskeesta yli 90 % käytetään maarakentamisessa. Muut käyttökohteet ovat joko kannattamattomia tai kehitysasteella. Poikkeuksena ovat valtiot, joissa kiviaineen otto on kielletty tai hyvin rajoitettu. Näissä maissa betonimursketta käytetään suuria määriä betonin runkoaineena. Maarakentamisessa pääasiallinen betonimurskeen käyttö on maarakenteiden sitomattomat kerrokset: teiden, katu- ja piha- ja pysäköintialueiden päällysrakennekerrokset. Betonimursketta on myös mahdollista käyttää myös putkikaivantotöissä, ympäristörakentamisessa, talorakennuksen maatoissa ja erilaisissa täyttö- ja pengertöissä. (Hotanen 2005, 24.)

Betonimursketta on käytetty paljon eri puolilla maailmaa sitomattomissa rakennekerroksissa. Niissä on myös paljon käytetty luonnon kiviainesta ja teollisuuden sivutuotteita, jotka täyttävät kullekin rakennekerrokselle asetetut vaatimukset. Vaatimukset liittyvät materiaalin lujuusominaisuuksiin ja rakeisuuteen. Betonimurskeen lujuusominaisuudet ovat paremmat kuin luonnonkiviaineksen. Betonimurskeen hydrauliset ominaisuudet, jotka saavat aikaan betonimurskeen lujittumisen, tekevät siitä jäykemmän ja paremmin kantavan kuin luonnonkiviaineksestä tehdyt rakenteet. (Hotanen 2005, 26.)

Laajinta betonimurskeen käyttö sitomattomissa kerroksissa on Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Hollannissa ja Tanskassa betonimurskeen käyttöä on tutkittu paljon ja myös normitustyö on pitkällä. Suomessa betonimurskeen käyttöä on tutkittu 90-luvun alkupuolelta lähtien. (Hotanen 2005, 27.)

5.4.7 Betonijätteen käyttö maarakenteessa sitovissa kerroksissa

Betonimursketta käytetään jonkin verran maabetonin ja asfaltin runkoaineena erityisesti Pohjois-Amerikassa. Usein käyttö maabetonin tai asfaltin runkoaineena ei ole kannattavaa. Maabetonia eli sementillä sidottua rakennekerrosta käytetään yleensä kantavassa kerroksessa. Maabetonirakenteen etuja maarakenteessa ovat sen suuri jäykkyys sekä hyvät deformaatio-ominaisuudet. ”Deformaatio tarkoittaa tapahtumaa, jossa kiveen syntyy siirroksia, hiertovyöhykkeitä, rakoja, poimuja ja suuntautunutta

rakennetta puristavien tai venyttävien voimien vaikutuksesta”. (Geologinen sanakirja) Betonimurskeella voidaan korvata luonnon runkoaines maabetonissa joko osittain tai kokonaan. Käyttämällä betonimursketta runkoaineena voidaan saavuttaa samat lujuudet hieman pienemmällä sementtimäärällä. Tämä perustuu siihen, että betonimurske sisältää aina hieman sitoutumatonta sementtiä, joka voi optimikosteudessa ja tiivistettynä kovettua uudelleen rakenteessa. (Hotanen 2005, 27.)

Maabetonirakenteen rakentaminen ei poikkea normaalista, kun käytetään luonnonkiviaineksen tilalla betonimursketta. Massan sekoittaminen voidaan tehdä joko asema-sekoitteisena tai paikalla sekoittaen. Levittäminen tehdään asfaltinlevittimellä ja tiivistetään riittävän painavalla jyrällä. Suomessa tehtiin tutkimus vuonna 1995 ja koekohteenä toimi tie. Tutkimuksessa havaittiin, että betonimurskeeseen tarvittiin hieman vähemmän sementtiä kuin luonnonkiviainekseen. Laboratorio tutkimukset ja seurantamittaukset osoittivat, että betonimursketta voidaan käyttää ongelmitta maabetonin runkoaineena. Tällöin säästetään hieman sementtimäärässä. Säästö sementtimäärässä ei ole kovin suuri, koska maabetonityömaat ovat massamenekeiltään erittäin suuria ja betonimurskeen saatavuus on rajoitettua, varsinkin kohtuullisilla kuljetusetäisyyksillä. (Hotanen 2005, 27.)

5.4.8 Betonimurske asfaltin raaka-aineena

Betonimurskeen hyvät käyttökokemukset sitomattomissa kerroksissa aiheuttavat sen, että muut käyttötavat maabetoninkäytön tapaan jäävät vähemmälle kiinnostukselle ja kannattamattomiksi. Muutamissa maissa betonimursketta käytetään asfaltin runkoaineena. Suomessa asfaltin runkoaineena betonimursketta on käytetty vain koemielessä, vaikka se olisi täysin mahdollista. Betonimurske täyttää asfaltin runkoaineena tiukat tekniset laatuvaatimukset. Betonimurske on seulottava moneen fraktioon, jotta siitä voidaan suhteuttaa sopivanlainen rakeisuuskäyrä. (Hotanen 2005, 28.)

Betonimurskeen kulutuskestävyysominaisuudet ovat pääsääntöisesti huonoja ja lujuuteen liittyvät kiviainesominaisuudet eivät täytä vaatimuksia, jotka on asetettu päällysteille, joilta vaaditaan kulutuskestävyyttä. Lisäämällä kovaa kiviainesta betonimurskeeseen saadaan kulumiskestävyttä parannettua jonkin verran, mutta betonimurskeesta ei saada kulutuskestävyydeltään kuitenkaan hyvää päällystettä. Tällaisia päällysteitä ei kannata käyttää vilkkaasti liikennöidyillä teillä. (Hotanen 2005, 28.)

Betonimurskeella on huono tiivistettävyyden, johtuen sen hienoaineksen suuresta ominaispinta-alasta ja veden absorptiosta. Hienoaineksen ominaisuuksien takia myös sideaineen kulutus on runsaampi, mikä johtaa massan hinnan nousemiseen. Myös veden kestävyys on hieman heikko eikä täytä asfalttinormien vaatimusta. Päälysteen laatua voitaisiin parantaa erottamalla hienoaines ja korvata se kalkkifillerillä. Runkoaineen ylimääräiset käsittelyt nostavat kustannuksia ja samalla syntyy käyttökelvotonta jätettä. (Hotanen 2005, 29.)

Betonimurskeella on muutamia hyviä ominaisuuksia, mutta sen käyttö asfaltin runkoaineena ei ole mielekästä. Erityisesti Suomen olosuhteissa nastarengaskuormitus rasittaa valtaosaa asfalttipäälysteistä. Maissa, joissa ei ole nastarengaskulutusta, voidaan käyttöä harkita. Suomessa on tällä hetkellä saatavissa huomattavasti parempilaatuisia kiviaineksia kohtuullisin kustannuksin. (Hotanen 2005, 29.)

5.4.9 Betonimurskeen maarakennuskäytön ohjeistus

Suomessa betonimurskeen maarakennuskäyttö on ohjeistettu sitomattomien rakennekerrosten osalta 90-luvun lopulla. Maarakennusmateriaalien merkittävimmät käyttäjät Suomessa ovat Tielaitos ja kunnat. Nämä tahot ovat myös ottaneet päävastuun betonimurskeen käytön ohjeistamisesta. Julkaistuja mitoitus- ja työohjeita on ainakin Tielaitoksen ”Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa” ja Kuntaliiton ”Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys 97, Betonimurske kadun päällysrakenteessa 2000”. Betonimurskeen käyttöä on ohjeistettu myös talonrakentamisen tarpeita varten. ”RIL 132 – Talonrakentamisen maatyöt” kertoo siitä enemmän. (Hotanen 2005, 30.)

Tällä hetken ohjeistuksessa betonimurskeet ovat jaettu neljään laatuluokkaan, joista huonoimmankin luokan murskeella on tiukat laatuvaatimukset. Laadunvalvontaohjelman lopputuloksena ovat halutut tekniset laatuvaatimukset täyttävä ja ympäristön kannalta riskitön uusiotuote. Asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa on laki, mikä mahdollistaa tiettyjen jätteiden hyödyntämisen maarakentamisessa ilman ympäristölupaa. (Hotanen 2005, 30.)

5.4.10 Euroopan normitus

Jätteiden määrän vähentäminen, teollisuuden sivutuotteiden ja uusiomateriaalien hyötykäytön lisääminen on tavoitteena koko EU:n alueella. Sivutuotteiden ja uusiomateriaalien hyötykäyttöä ollaan tutkimassa ja luomassa ohjeistusta monissa Euroopan maissa kansallisesti. Keskeisimpiä organisaatioita yhteistyössä ovat kansainväliset järjestöt OECD, RILEM ja CEN. Nämä organisaatiot ovat perustaneet kansainvälisiä työryhmiä. Merkittävä taho on myös European Demolition Association (EDA), johon kuuluu purku-urakoitsijoita, jätteen jalostajia ja muita alalla toimivia yrityksiä eri puolilla Eurooppaa. Sivutuotteiden ja uusiomateriaalien normitusta koskee sama ongelma kuin kiviainesnormitusta Euroopassa, eli kansallisen ja kansainvälisen normituksen yhteen sovittaminen on erittäin vaikeaa ja pitkäkestoista. (Hotanen 2005, 31.)

6 BETONILIETTEEN KIERRÄTYS

Suomen betonitehtaissa vuodessa valmistetaan betonia noin 5 miljoonaa kuutiometriä. Tuotanto- ja kuljetuskaluston pesussa, sahauksessa, hionnassa sekä pesubetonipintojen pesussa syntyy betonilietettä 2 % tuotannon määrästä. Betonilietteen lisäksi syntyy paljon sivutuotetta joko tuoreena ylijäämäbetonina tai kovettuneena betonina. Teknisesti vaikeimmat ongelma-alueet ja taloudellisesti suurimmat kustannustekijät muodostuvat pesu-, sahaus- ja hiontalietteiden käsittelystä. (Hotanen 2005, 30.)

6.1 Pestyn kierrätyskiviaineksen käyttö

Pestyjä eli tuorekierrätettyjä kiviaineksia ovat sellaiset, jotka on otettu talteen kierrätysprosesseissa, toisin sanoen pesuvedestä tai betonimassasta. Pesty kiviaines soveltuu teknisiltä ominaisuuksiltaan erinomaisesti maarakennuskäyttöön jopa paremmin jopa kuin vastaava luonnonkiviaines. Ympäristökelpoisuuden kannalta pestyn kiviaineksen käytölle ei ole mitään estettä, koska sen mahdollisesti sisältämien haitallisten aineiden määrät ovat marginaalisia. Myös betonilietteiden osalta, joihin haitalliset aineet kertyvät, maarakennuskäytölle ei ole todettu olevan estettä. (Hotanen 2005, 30.)

Pestyä kiviainesta voidaan käyttää sellaisenaan myös valmistettavassa betonissa. Pestyn kierrätyskiviaineksen raekoko on yleensä suurempi kuin 0,25 mm. Jos sitä käytetään betonissa, se on huuhdeltava niin hyvin, että rakeiden välisiä sidoksia ei esiinny ja sen tasainen sekoittuminen muun kiviaineksen kanssa on mahdollista. (Hotanen 2005, 32.)

6.2 Ylijäämäbetonilietteen käyttö

6.2.1 Betonilietteen muodostuminen

Betonimateriaalin kierrätyksessä hyöty- tai uusiokäytössä syntyy: sivutuotteita, uusioraaka-aineita, uusiomateriaaleja ja uusiotuotteita. (Hotanen 2005, 32.)

Betonilietettä voidaan pitää tuotannossa syntyvänä sivutuotteena, joka voidaan ottaa käyttöön uusioraaka-aineena. Sitä voidaan sellaisenaan käyttää uusiomateriaalina tai siitä voidaan valmistaa teknisesti ja markkinapotentialin kannalta käyttökelpoista

uusiomateriaalia. Tällöin siitä tulee jo uusiotuotetta. Maarakentamisen kannalta liete on sekä sellaisenaan että prosessoituna uusiomateriaalia ja vasta siitä valmistettu rakenne on uusiotuote. (Hotanen 2005, 33.)

Betonilietteestä prosessoitujen tuotteiden tulee olla teknisesti luotettavia ja taloudellisesti kilpailukykyisiä. Tämä vaatii materiaalitekniistä kehitystyötä sekä käytännön järjestelyjä. (Hotanen 2005, 33.)

6.2.2 Betonilietteen perusominaisuudet

Ympäristökelpoisuus betonilietteiden osalta ei ole ongelma, kunhan ne käsitellään ja sijoitetaan oikein. Liete sisältää samoja aineita kuin betoni, eli luonnonkiviainesta, sementtiä, lentotuhkaa ja muita betonissa käytettyjä lisäaineita. Betonitehtailla analysoidut lietenäytteet alittavat maanparannusaineille asetetut raja-arvot. (Hotanen 2005, 27.)

Hyötykäytön kannalta betonilietteen rakeisuus ei ole ainoa ominaisuus, jolla on merkitystä. Liete on erittäin emäksistä, pH:n ollen yleensä 12–13. Liete voi sisältää myös hydratoitunutta sementtiä, jolla on sitovia ominaisuuksia. Lietteeseen jääneillä lisäaineilla voi olla merkitystä, jos lietettä käytetään osa-aineena vaativissa materiaaleissa. (Hotanen 2005, 32.)

6.2.3 Betonilietteen uusiokäyttö

Ympäristöasioiden kannalta paras ratkaisu on lietteen hyödyntäminen sitä tuottavalla tehtaalla tai mahdollisimman lähellä sitä. Hyviä kohteita ovat paikalliset maa- viherrakennuskohteet sekä erilaiset täytöt. (Hotanen 2005, 33.)

Liete on kaikkiaan hyvää hienojakoista materiaalia, jolle on mahdollista löytää useita käyttötapoja, lietteen prosessoinnin kautta. Hyötykäytön esteeksi voi tulla taloudelliset ongelmat kuten kuljetus, välivarastointi ja kausiluonteiset pienet lietemäärät. Myös tehtaiden välinen lietteen kosteuden- ja laadunvaihtelut voivat olla ongelma. (Hotanen 2005, 31.)

Liete soveltuu periaatteessa maa- ja viherrakennuskäyttöön. Jos lietettä ei stabiloida, kysymykseen tulee lähinnä täytöt. Maarakennuskäytössä tulee huomio kiinnittää pro-

sessoimattoman lietteen liettymisen ja kulkeutumisen estämiseen. Sateisina aikoina lietteen kuljetus ja levittäminen voi olla hankalaa. Betonilietettä käytetään joko juoksevana tai kokkareisena. Erityisesti märän lietteen herkkä lietettyminen on ongelma. (Hotanen 2005, 22.)

6.2.4 Vedenpoisto

Vedenpoistolaitteistona käytetään suotopuristinta, minkä avulla saadaan vesimäärä laskettua alle 40 %:iin. Se helpottaa lietteen kuljetettavuutta ja parantaa sen käytettävyyttä selvästi. Lietteiden murskaus hiekkamaiseksi tai märän lietteiden rakeistus parantaisi jo oleellisesti sen käytettävyyttä monissa käyttökohteissa. Jos vedenpoisto tai hienomman lietteen erottaminen ei aina tule kysymykseen, tällöin vesimäärän poistamiseen voidaan käyttää itseensä absorboivia aineita. Nämä superabsorboijat ovat suurimolekyylisiä polymeeripohjaisia aineita. Ne voivat imeä lietteestä 200-kertaisesti oman määränsä vettä lisäämättä oleellisesti lietetilavuutta. Se helpottaa oleellisesti kuljetusta ja läjitystä. (Hotanen 2005, 33.)

On kuitenkin olemassa aineita ja menetelmiä, joissa superabsorboivaa ja lietteiden lujuttavaa materiaalia käytetään yhtäaikaaisesti. Japanissa on käytössä lietteiden käsittelymenetelmä, joka perustuu voimakkaasti absorboivan aineen sekä lietteen lujittavan sideaineen yhteiskäyttöön. Lietemassan käsittelymäärä on 100–1500 kg/h. Prosessoinnissa saadaan maarakennuskäyttöön soveltuvaa helposti käsiteltävää ja lujittuvaa materiaalia. Raekooltaan alle 0,075 liete muuttuu materiaaliksi, jonka raekoko on 0,1–10 mm. (Hotanen 2005, 34.)

6.2.5 Betonilietteiden rakeistus

Karkeasti ottaen betonielementti- ja tuotetehtaan hiontalietteiden oletetaan soveltuvan lannoitekäyttöön ja valmisbetonitehtaan lietteiden maarakennuskäyttöön. Valmisbetonitehtaan liete sisältää enemmän kovettumatonta sementtiä kuin muut käytetyt lietteet. (Hotanen 2005, 34.)

6.3 Betonilietteen käyttö maarakentamisessa

6.3.1 Ympäristökelpoisuus ja tutkimukset

Ympäristökäyttämisen ja -soveltuvuuden kannalta uusiomateriaalit tulee tutkia. Lisäksi niiden laajempi käyttö vaatii koerakennuskohteissa tehtyjä mittauksia ja seuranta, koska uusiomateriaalien sopivuudesta erilaisissa kohteissa ei ole samanlaista kokemusta kuin perinteisistä materiaaleista. Maarakennuskäyttö edellyttää tutkimuksia laboratoriossa ja koerakenteilla kuten:

- käyttökelpoisuuden arviointia
- käyttöön hyväksymistä
- maarakenteiden suunnittelua ja mitoitusta
- rakennekokeita ja koerakenteita

Laboratoriossa voidaan tutkia seuraavia ominaisuuksia:

- standardoidut liukoisuustestit
- rakeisuus, kiintotiheys, plastiset ominaisuudet
- geotekniset laboratoriokokeet: huokoisuus, kapillaarisuus, vedenläpäisevyys, eroosioherkkyys
- tiiviyskokeet
- routimiskokeet
- pakkasenkestävyys- ja lämmönjohtavuuskokeet
- kantavuuskokeet
- erilaisia lujuuskokeita (Hotanen 2005, 34.)

6.3.2 Betoniliete

Betoniliete on maarakennusmateriaaliksi erittäin hienojakoista. Lietteeseen vaikuttaa, minkälaisesta prosessista se on tullut. Alle 0,020 mm aineksen osuus noin 46 % ja alle 0,074 mm aineksen osuus 94 %. Lietteen kosteuspitoisuus on hyvin suuri noin 55 % ja vaihtelee prosessointitavan, kuivumisajan sekä olosuhteiden mukaisesti. Häiriintyneenä liete muuttuu juoksevaksi ja sen käsittely kuten kuljetus, levitys ja tasaus vaikeutuvat. Lietteen tehokas kuivattaminen on liian kallista. (Hotanen 2005, 35.)

Maalajien routivuus voidaan arvioida hienoaineksen määrän pohjalta silloin, kun tarkkuusvaatimukset eivät ole suuret. Routanousukokeella saadaan huomattavasti luotet-

tavampi käsitys lietteen routivuudesta. Maalajiluokituksestaan hieno betoniliete on routivaa materiaalia. Se ei sovellu moneltakaan osin käytettäväksi vaativissa kantavuus – ja pysyvyysvaatimuksen omaavissa maarakennuskohteissa. (Hotanen 2005, 31.)

Hieno liete soveltuu käytettäväksi sellaisenaan kohteisiin, jossa ei ole suuria maarakennusteknisiä vaatimuksia ja painuminenkin on sallittua. Tällaisia ovat viherrakennuskohteet, maisemointi, piharakenteet, pengertäytteet, meluvallit, kaatopaikkarakenteet ja erilaiset täytöt. (Hotanen 2005, 36.)

Rakennuspaikalla liete on peitettävä muulla materiaaleilla ja lietteen leviäminen veden mukana ympäristöön on estettävä. Tärkeille pohjavesialueille lietettä ei tulisi käyttää, muuten sen ympäristökelpoisuus ei ole ongelma. (Hotanen 2005, 36.)

6.3.3 Lietteiden stabilointi

Lietteiden käyttö- ja geoteknisiä ominaisuuksia, kestävyyttä sekä käyttömahdollisuuksia maarakennuksessa voidaan lisätä. Lietteiden laajempi käyttö vaatii ominaisuuksien selvittelyä. Betonilietteiden stabilointiin vaadittavan sideainemäärä on kohtalaisen suuri. Betoniliete soveltuu parhaiten hieman lujitettuihin ja pois kaivettavissa oleviin täyttömassoihin. Betonilietteiden taloudellista käyttöä varten tarvitaan jatkokehitystä ja uusia ideoita. Sideainemäärän pienentäminen on mahdollista lietettä kuivattamalla tai voimakkaasti kosteutta sitovia lisäainetta. (Hotanen 2005, 37.)

7 MAARAKENTEEN KANTAVUUS JA DEFORMAATIO

Kantavuustermi tulee geotekniikasta. Sillä ilmaistaan maapohjan kykyä kestää staattista kuormaa murtumatta. Se kuvaa tietyn rakenneosan ominaisuuden lisäksi koko rakenteen keskimääräistä kokonaisjäykkyyttä. Geotekninen kantavuus on lujuusarvo, jota käytetään erilaisten rakenteiden mitoituksessa. (Kalliainen, Luomala, Jäniskangas 2011, 15.)

Tien rakentamisessa kantavuudella kuvataan tierakenteen kykyä kestää liikennekuormitusta. Oleellista on pitää painumat niille annettujen rajojen sisällä. Kantavuuden lukuarvo perustuu yksinomaan palautuviin muodonmuutoksiin. Kantavuuden käsite on monimutkainen, koska sillä ymmärretään rakenteen kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Kantavuus ei kuvaa suoraan tiivistyksen laatua, vaikka siihen perustuvia laatuvaatimuksia onkin olemassa. (Kalliainen ym. 2011, 16.)

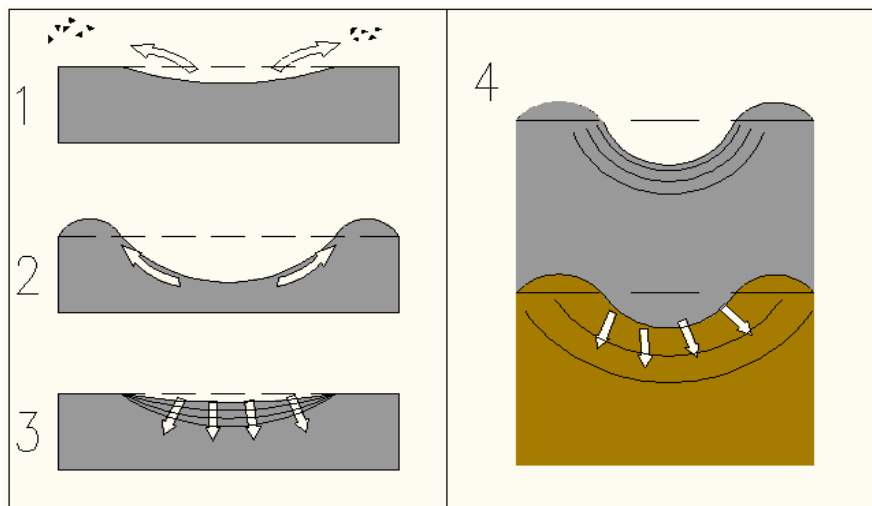
Kantavuus on käsite, jota on yleisesti käytetty kuvaamaan tierakenteen kykyä kestää liikennekuormitusta. Kantavuus on ominaisuus, joka kuvaa epäsuorasti materiaalin lujuutta, joka vastustaa pysyviä muodonmuutoksia toistuvien rasitusten alaisena. Kantavuus ei kuvaa vain tietyn rakenneosan ominaisuuksia, vaan se on koko rakenteen keskimääräinen jäykkyys. (Kalliainen ym. 2011, 16.)

Deformaation käsitettä käytetään lähinnä tie- ja katurakentamisessa, mutta liittyy se osaltaan myös maarakentamiseen. Deformaatio käsitettä käytetään kuvaamaan koko katurakenteessa ilmeneviä pysyviä muodonmuutoksia paitsi päällysteen kulumisesta johtuvia. Taulukkoon 4 on koottu deformaation aiheuttavia mekanismeja katurakenteen eri osissa. (Kalliainen ym. 2011, 15.)

Taulukko 4. Deformaation syntymekanismit ja niihin vaikuttavat tekijät katurakenteen eri osissa. (Kalliainen ym. 2011, 15.)

Rakennekerros	Deformaation aiheuttava mekanismi (vaikuttavat tekijät, pois lukien nastarengaskuluminen)
Kulutuskerros	Tiivistyminen ja plastinen deformaatio (kiviaines, bitumi, tiivistys, kuormitus ja sen luonne, lämpötila, vesi)
Sidekerros	Tiivistyminen ja plastinen deformaatio (kiviaines, bitumi, tiivistys, kuormitus ja sen luonne, lämpötila, vesi)
Sidottu kantava	Tiivistyminen, leikkautuminen ja murtuminen (Kiviaines, bitumi, tiivistys, kuormitus pysyvyys, lämpötila, vesi)
Sitomaton kantava	Tiivistyminen, leikkautuminen (kiviaines, tiivistys, kuormitus, rapautuminen jäätyminen ja sulaminen ja vesi)
Sitomaton jakava	Tiivistyminen, leikkautuminen (kiviaines, tiivistys, kuormitus, jäätyminen ja sulaminen, vesi)
Sitomaton suodatin	Tiivistyminen, leikkautuminen (kiviaines, tiivistys, kuormitus, jäätyminen ja sulaminen, vesi)
Penger	Tiivistyminen, leikkautuminen (kiviaines, tiivistys, kuormitus, jäätyminen ja sulaminen, vesi)
Pohjamaa	Tiivistyminen, leikkautuminen -routiminen ja konsolidaatio (pohjamaan tyyppi, olosuhteet: tiivistys, kosteus, lämpötila ja kuormitus)

Deformaatioilmiöitä ovat päällystekerroksen plastinen deformatuminen, sitomattoman rakenteen deformaatio sekä päällystekerroksen tiivistyminen (kuva 3). Päällystekerroksen plastisessa deformaatiossa asfalttimassa siirtyy sivuille ja pursuaa ylöspäin. (Kalliainen ym. 2011, 15.)



Kuva 3. Kuluminen (1), deformaatio (2), tiivistyminen (3) sekä näiden yhteisvaikutus (4). (Kalliainen ym. 2011, 25.)

Sitomattomien rakenteiden deformaatioilla tarkoitetaan kaikkien päällystekerrosten alapuolella olevien katurakenteiden tiivistymistä, leikkautumista, murtumista tai näiden yhteisvaikutusta. Sitomattomien kerrosten deformaatio johtuu myös kuormituksesta sekä materiaalin tilaominaisuuksista, joihin kuuluvat aksiaalinen ja deviatoorinen jännitys, tiiviys, kosteus ja kuormituskertaluku. Päällystekerroksen deformaatio on lähinnä rakenteen kattava funktio, johon vaikuttaa kiviaines, tyhjä tila sekä päällysteen laatu ja määrä. (Kalliainen ym. 2011, 17.)

Deformaation kannalta ongelmallisia kohteita ovat vapaissa maantieolosuhteissa etenkin raskaasti liikennöidyt tiet. Kaupunkialueilla vaikeimpia paikkoja ovat valohjatut risteykset, linja-autokaistat ja -pysäkit sekä terminaalit. Erityisen suuria ongelmia aiheuttaa satama-alueiden varikkoalueilla, kun kuormitukset ovat suuria, staattisia ja pistemäisiä. (Kalliainen ym. 2011, 16.)

7.1 Kantavuusmittauslaitteet

Kantavuusarvojen mittauksia voidaan tehdä monella eri tavalla ja niiden mittaamiseen on kehitetty useita eri menetelmiä. Kantavuus määritetään rakenteen pinnalta, yleisimmin levykuormituslaitteella, KUAB-pudotuspainolaitteella ja Heavy Loadman -pudotuspainolaitteella. (Kalliainen ym. 2011, 20.)

7.1.1 Levykuormituskoe

Levykuormituslaite on ensimmäinen teiden ja katujen kantavuuksien mittaamiseen käytetty mittalaite. Se on Pohjoismaissa hyvin laajassa käytössä tie- ja maarakenteiden muodonmuutos- ja tiiviysominaisuuksien mittauksissa. Levykuormituslaitteen käyttö on aloitettu Suomessa jo 1950-luvulla. Sillä tehdyissä mittauksissa mitataan kadun pintarakenteen painumaa 300 mm halkaisijaltaan olevan kuormituslevyn alta. Mitattavan kohdan tulee olla vaakasuora ja tasainen. Jos kohta ei ole tasainen, se pitää tasoittaa tasaushiekalla. Tasaushiekan tiivistämiseksi levy tulee kuormittaa 3,5 kPa:n kuormalla. (Siika 2006, 22.)

Tarvittava kuormitus saadaan hydraulisella tunkilla, jonka vastapainona toimii kuorma-auto tai kaivinkone. Painuman mittaus tapahtuu kuormituslevyn kehälle 120°:n välein mittakelloilla, jolloin painumat luetaan ja kirjataan käsin. Mittaus voidaan toteuttaa myös yhdellä mitta-anturilla, kuten kuvassa 4. Yhdellä anturilla mitattaessa mittavälineen pään tulee tunkeutua tunnetun säteen pallonpinnalle, täten saadaan eliminoitua kuormituslevyn taipuma. (Kalliainen ym. 2011, 22.)



Kuva 4. Levykuormituskokeen suorittaminen. Vastapainona kaivinkone. Valokuva Mikael Gull 2011

Kantavuutta mitataan kuormittamalla tutkittavaa kohtaa 0...60 kN ja askelvälinä 10 kN:a. Painumat kirjataan myös 10 kN:n välein, kun rakenteen painumanopeus on hidastunut alle $0,01 \text{ mm}/\text{min}$. Maksimikuormituksen jälkeen paine alennetaan noltaan ja vastaava painuma otetaan talteen. Toisena laisessa mittausmenettelyssä levykuormituslaite kuormitetaan suoraan 60 kN:iin ilman väliportaita. Eri menetelmillä mitatut tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Levykuormituskokeen kuormitus vaikuttaa rakennekerroksista riippuen vajaan metrin syvyyteen asti. Laitteistolla pääs-

tään keskimäärin $\pm 5\text{...}10 \text{ MN/m}^2$ tarkkuuteen. Tutkittavan kantavuuden ja tiiviyden arvioinnissa käytetään yksittäistuloksista laskettuja keskiarvoja ja keskihajontaa, koska esimerkiksi yksittäinen suurehko kivi pinnan alla vaikuttaa huomattavasti tulokseen. (Kalliainen ym. 2011, 22.)

Ympyrän muotoista levyä kuormittaessa painuma lasketaan Boussines`n kaavalla

$$s = k_1(1-\mu^2) \frac{p * a}{E} \quad (1).$$

Kaavassa

s = painuma (mm)

k_1 = kerroin, jonka arvo on $\pi/2$, olettaessa levyn olevan jäykkä tai 2 olettaessa levyn olevan taipuisa

μ = Poissonin luku

p = puristusaine (kPa)

a = kuormituslevyn säde (m)

E = kimmomoduli (MPa)

Kimmomoduli E saadaan laskettua yhtälöstä (2). kaavassa Poissonin luku on sisällytetty kertoimeen k .

$$E = \frac{k * p * a}{s} \quad (2).$$

Kertoimen k arvo riippuu Poissonin luvusta sekä levyn taipuisuudesta. Yleisimmin k :n arvona käytetään 1,5:tä, kun se vaihtelee välillä 1,18...2,00. Kantavuusarvo eli E -moduuli lasketaan sijoittamalla suurin käytetty eli 60 kN:n kuormitusaine ja painuman s arvoksi vastaava painuma. (Kalliainen ym. 2011, 19.)

Kantavuuskokeen ensimmäisestä vaiheesta saatua tulosta merkitään alaindeksillä 1 (E_1) ja toisesta vaiheesta saatua alaindeksillä 2 (E_2). Lopputuloksena käytetään sitä E_2 :n arvoa, joka saadaan suurimmalla käytetyllä kuormituksella. Tiiviyden tarkkailua varten käytetään sitomattomien rakenteiden osalta suhdetta E_2/E_1 . Jos edellä mainittu arvo on suurempi kuin annettu raja-arvo, voidaan todeta, että levykuormituskoe on sillä kohtaa puutteellista. Raja-arvo on yleensä 2,2. Levykuormituskokeella määritetty kantavuusarvo on E_2 -arvo. (Kalliainen ym. 2011, 23.)

Levykuormituskoe on staattinen kuormitustapahtuma keston ollessa 2 min. Kuormituksen kesto vaihtelee riippuen rakenteen painumisnopeudesta. Tämä johtuu siitä,

että kuormitus nousee vasta, kun painumisnopeus on hidastunut alle $0,01 \text{ mm}/\text{min}$. (Kalliainen ym. 2011, 24.)

7.1.2 Pudotuspainolaitteet

Pudotuspainolaitetta käytetään etenkin rakenteen parannustarpeen selvittämiseksi. Sen avulla mittaus on nopea toteuttaa eikä tarvita erillistä vastapainoa. Pudotuspainolaitteen kuormitus on nopea, joten paljon vettä sisältävän hienojakoisen pohjamaan kantavuuden mittaaminen on epäluotettavaa, koska vesi ei liiku huokosissa ja pohjamaa ei käyttäydy staattisen kuormituksen tavoin. Tällainen maa-aines tuottaa pudotuspainomittauksissa levykuormituskoetta suurempia kantavuuksia. Pudotuspainolaitteen kuormitusvaikutus ei tunkeudu yhtä syväälle rakenteeseen kuin levykuormituskokeessa. Kuormituksen syvyysulottuvuus on noin 1,5 kuormituslevyn halkaisija. (Siika 2006, 22.)

Heavy Loadman -pudotuspainolaite



Heavy Loadman on alun perin kehitetty mittaamaan rakeisten maarakennekerrosten ja sidottujen maakerrosten kantavuuksia. Loadman on henkilöauton perävaunuun tai pakettiauton sisätiloihin asennettavissa oleva pudotuspainolaite. Laitteen kokonaismassa on noin 100 kg, josta pudotuspainon osuus on 50 kg. Kuormituslevynä käytetään 300 mm halkaisijaltaan olevaa teräslevyä ja pudotuspainon pudotuskorkeus on 70 cm. Kuormitusvoima on noin 50 kN ja kuormitusimpulssin kesto noin 30 ms. Laitteen ohjaus tapahtuu kannettavan tietokoneen avulla. Laite sisältää omat akut ja pudotuspainon nostaminen tapahtuu paineilmansylinterin avulla.

Kuva 5. Kantavuusmittauksia loadman pudotuspainolaitteella.

Valokuva Mikael Gull 2011

Heavy Loadman -pudotuspainolaitteella mittaaminen pe rustuu vapaasti putoavan painon aiheuttaman kuormituslevyn liikkeeseen. Laite sisältää omat akut ja pudotuspainon nostaminen tapahtuu paineilmansylinterin avulla. Heavy Loadman -

pudotuspainolaitteella mittaaminen perustuu vapaasti putoavan painon aiheuttaman kuormituslevyn liikkeeseen. Pudotuspainon osuessa kuormituslevyyn rekisteröi anturi aiheutuneen kiihtyvyyden. Painuma mitataan joko kiihtyvyydianturin tai geofonin eli sesmisen anturin avulla. Kimmomoduuli arvo E lasketaan integroimalla anturin mittausulos taipumaksi. Loadman -laitteisto soveltuu parhaiten hienorakeisten maakerrosten kantavuuden mittaamiseen. (Siika 2006, 18)

KUAB 50 -pudotuslaite

KUAB 50 on 1970-luvulla kehitetty perävaunuun tai traileriin asennettava pudotuspainolaite (kuva 5). Vetoautoon asennetaan kiinteästi laitteen keskusyksikkö ja käyttöjärjestelmä. Taipuman mittaus tapahtuu seitsemän geofonin avulla KUAB-pudotuslaitteessa. Geofonit ovat 0, 200, 300, 450, 600, 900 ja 1200 mm:n etäisyydellä kuormituslevyn keskipisteestä. Kuormituslevynä toimii 300 mm:n halkaisijaltaan oleva teräslevy, jonka alaosassa on 20 mm:n kumivaimennin. (Siika 2006, 18)

Trailereineen laitteen kokonaispaino on noin 1300 kg. Pudotuspainon pudotuskorkeus on säädettävissä neliportaisesti ja mittapisteen kuormitusvoimaa voidaan vaihdella 12 kN:sta 50 kN:iin. Kuormituspulssin kesto on 24 ms, mittausalue 5 mm ja mittaus-tarkkuus 1 µm. Lisävarusteena on yleensä lämpömittari ilman ja kadun pinnan lämpötilan mittaamiseen. Lisäksi vetoautossa on GPS-paikannusjärjestelmä mittapisteiden sijaintitietojen tallentamista varten. (Siika 2006, 19.)

7.2 Kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä

7.2.1 Lämpötilan vaikutus kantavuuden mittaamiseen

Asfaltoiduilla alueilla päällysteen jäykkyys vaikuttaa merkittävästi kantavuusarvoihin. Lämpötilan alentuessa ja kuormitusajan kasvaessa asfalttipäällysteen jäykkyysmoduuli kasvaa. Jäykkyyden merkitys korostuu koko kadun rakenteessa, päällystepaksuuden kasvaessa. (Kalliainen ym. 2011, 24.)

Levykuormituslaitteen ja pudotuspainolaitteen lämpötilakorjauskertoimet perustuvat sidottujen kerrosten paksuuden ja keskimääräisen pintalämpötilan mittaamiseen. Levykuormituslaitteelle on kehitetty TVH:n laatima korjauskäyrästä. Pudotuspainolaitteelle on laadittu lämpötilakorjausdiagrammi Helsingin kaupungin rakennusviraston, Tiehallinnon ja VTT:n toimesta. (Kalliainen ym. 2011, 25.)

Suomessa käytetään lämpötilankorjauksen vertailulämpötilana 20 °C. Kantavuusmittauslaitteiden erilaisten kuormitustavan takia tulisi lämpötilan mittaustavan olla kaikilla samanlainen. (Kalliainen ym. 2011, 26.)

Kantavuusmittauksia tehtäessä asfalttipäällysteen päältä tulee huomioida kuormitus-aika. Kuormitusajalla on merkittävä vaikutus päällysteen jäykkyyssmoduulin muuttumiseen, kuten yllä olevasta kuvasta voi huomata. Tutkimuksissa on huomattu jäykkyyssmoduulin arvon pienentyneen kymmenenkertaisesti kuormitusajan pidennettyä 0,1 sekunnista 100 sekuntiin. (Kalliainen ym. 2011, 27.)

7.2.2 Kuormituksen aikatekijä

Pudotuspainolaitteen 20–30 sekunnin mittainen kuormitus katurakenteeseen vastaa hyvin 80 km/h maantienopeutta raskaalla ajoneuvolla. Levykuormituskokeessa kuormitus aika on noin 2 minuuttia ja kuormitus nousee vaiheittain. Kuormitusta vastaava tilanne on ruuhkaisessa kaupunkiliikenteessä, jossa ajoneuvot seisovat välillä paikoillaan. Levykuormituskoe vastaa hyvin myös lastaus- ja pysäköintialueiden rasituksia. (Siika 2006, 30.)

Karkeilla kiviaineksilla muodonmuutokset tapahtuvat kohtalaisen nopeasti. Hienora-keisilla maalajeilla taas huokosvedenpaine vaikuttaa huomattavasti rakenteen kokoonpuristuvuuteen (kuva 7). Vedellä kyllästynyttä maakerrosta kuormittaessa kestää jonkin aikaa, ennen kuin se alkaa kokoonpuristua. Tehtäessä pudotuspainokokeita vedellä kyllästyneissä hienojakoisissa maalajeissa huokosvedenpaine ei ehdi tasaantua. (Siika 2006, 30.)

7.2.3 Kuormituskestävyyssmitoitus

Routamitoituksen takia rakenteen tulee olla Suomen olosuhteissa melkoisen paksu. Aiemmillä vuosikymmenillä on tienrakennuksessa käytetty lähes pelkästään luonnonmateriaaleja ja kuormituskestävyydelle kantavuus on osoittautunut hyväksi indikaattoriksi. Kantavuusmitoituslukuarvot on nimenomaan annettu luonnonmateriaaleille, hiekoille ja sorille. Kantavuusmitoituslukuarvot ovat osoittautuneet huonosti toimiviksi stabilointiin ja uusiomateriaaleihin sovellettuna. (Siika 2006, 28.)

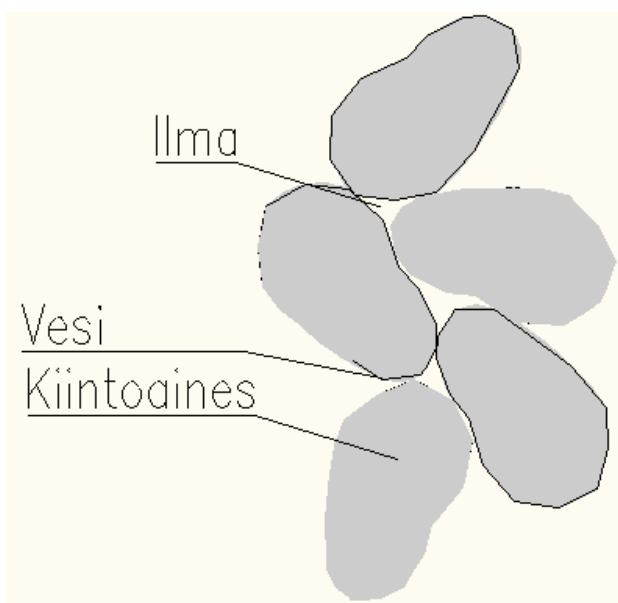
8 TIIVIYS

Rakenteen tiivys on tärkeimmistä rakennettavan kohteen muodonmuutuskäyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä. Hyvin ja huolellisesti tiivistetty pengker pysyy koossa ja säilyttää muotonsa. Nykyisten tiivyyttä ja kantavuutta koskevissa laatuvaatimusten ja ohjeistuksessa on huomattu olevan joitakin ristiriitoja. Joissakin rakennuskohteissa on jäänyt epäselväksi aiheutuvatko kantavuuden ja tiivyyden vaatimusten alitukset väärästä materiaalista vai puutteellisesta tiivistämisestä. Sopivien tiivyyden tarkkailumenetelmien soveltamisen ongelliseksi tekee eristys- ja välikerrosten materiaalien karkearakeisuus. (Kalliainen ym. 2011, 35.)

8.1 Tiivyyden määritelmä

Maarakenteen tiivys on käsite, jonka avulla arvioidaan karkeatakeisten maakerrosten lujuus- ja kantavuusominaisuuksia. Luonnon maamateriaalissa on kiviaineksen lisäksi vettä ja ilmaa (kuva 8). Materiaalin tiivys määräytyy näiden kolmen komponentin suhteessa. Mitä enemmän rakenne sisältää kokonaistilavuudestaan kiviainesta, sitä tiiviimpi rakenne on. Tiivyyttä kuvaavia suureita ovat:

- tiheys
- huokoisuus
- huokosluku
- suhteellinen tiivys
- tiivysaste



Kuva 8. Maa-aineksen komponentit. (Kalliainen ym. 2011, 27.)

Rakenteessa olevan veden tiheys määritetään kuivana, jolloin tiheyttä nimitetään kuivairtitiheydeksi (t/m^3) tai kuivatilavuuspaino (kN/m^3) sen mukaan käytetäänkö yksikkönä tilavuuden massaa vai siihen kohdistuvaa painovoimaa. Kiviaineksen raekokojakautumaan vaikuttaa oleellisesti tietyllä työmäärällä saavutettavan kuivairtitiheys ja lisäksi maa-aineksen kiintotiheys vaihtelee. Kiintotiheydellä tarkoitetaan ehjän huokosettoman kiven tiheyttä. Huokoisuus tarkoittaa maan huokostilavuuden ja kokonaistilavuuden suhdetta prosentteina. Maa-aineksen tiiviyttä voidaan arvioida hyvin huokoisuuden avulla. Huokoisuuden ollessa nolla, maa-aines on tiiveintä, silloin kiintoaines täyttää koko tilavuuden. Huokosluku tarkoittaa taas huokostilavuuden ja kiinteän maa-aineksen tilavuuden suhdetta. Huokoisuus ja huokosluku riippuvat siis toisistaan. Huokosluvun ja sen maksimin ja minimin avulla voidaan määrittää suhteellinen tiiviys seuraavasti:

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}, \quad (3)$$

missä e on huokosluvun arvo kyseisessä tilassa
 e_{max} on maan löyhintä tilaa vastaava huokosluku arvo
 e_{min} on maan tiiveintä tilaa vastaava huokosluvun arvo.

(Kalliainen ym. 2011, 36.)

Edellä oleva kaava toimii oikeastaan vain hiekalla, koska huokosluvun maksimin ja minimin määrittäminen on hankalaa. Tiivystilaa tarkastellaankin useimmiten yhtälön 4 mukaisesti, jossa verrataan rakennekerroksessa saavutettua tiheyttä tietyllä työmäärällä laboratoriossa saavutettavaan kuivairtitiheyteen. Näin saadaan määriteltyä tiivysaste.

$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \quad (4)$$

missä ρ_d on kuivairtitiheys
 ρ_{dmax} on maksimikuivairtitiheys

Tiivysaste ilmoitetaan prosenttilukuna verrattuna Proctor-sullonnalla saavutettuun tiheyteen. Proctor-kokeessa maanäyte sullotaan kerroksittain sylinterin muotoiseen muottiin pudottamalla maanäytteen päälle heijaria tietyltä korkeudelta tietyn kertamäärä. Maamateriaalin vesipitoisuutta vaihtelemalla toistetaan koe useita

kertoja. Maksimitilavuuspaino ja optimivesipitoisuus saadaan näin selville. Suomessa on käytössä yleisesti ns. parannettu Proctor-sullonta. (Kalliainen ym. 2011, 36.)

8.2 Tiiviyden kenttämittausmenetelmät

Volymetri

Volymetrikokeessa kaivetaan kuoppa rakennekerrokseen, josta otetaan talteen kaikki rakeet ja mitataan kuopan tilavuus. Kuopan tilavuus mitataan joko veden (vesivolymetrikoel) tai hiekan (hiekkavolymetrikoel) avulla. (Siika 2006, 29.)

Vesivolymetrikokeessa rakenteeseen kaivettuun kuoppaan asetetaan ohutseinäinen kumipussi, joka täytetään vedellä. Kuopan tilavuuden ilmoittaa sen sisältämän veden määrän. Vesivolymetrikoel aloitetaan tasaamalla maanpinta ja asettamalla tutkittavaan kohtaan tiiviisti paikalleen pohjalevy, jossa on keskellä mittauslaitteelle sopiva reikä. Levyn päälle nostetaan volymetri mitattaessa niin, että laitteiston mäntä on yläasennossaan. Sitten mäntä painetaan kädensijoista alaspäin niin, että painemittarin lukema on 0,2 bar. Männän varresta luetaan mitta-asteikon avulla alkulukema. Sen jälkeen volymetri nostetaan pois mäntä yläasennossaan ja reikälevy kehyksenä kaivetaan kuoppa. Kuopan sisältämä maa-aines punnitaan ja kuivataan. Volymetri nostetaan paikalleen, jolloin kumipussi asettuu kuoppaan. Männällä painetaan jälleen sama 0,2 baria, jolloin saadaan loppulukema. Männän korkeuslukemien erotuksen avulla saadaan laskettua kuopan tilavuus. Kuivatilavuuspaino lasketaan kuopan sisältämän kuivatun maa-aineksen paino jaettuna kuopan tilavuudella. Tätä tulosta verrataan laboratoriossa määritettyyn Proctor-tiheyteen ja lasketaan tiiviyssaste. (Siika 2006, 30.)

Vesivolymetrillä saa huonosti mitattua kalliomurskerakennetta. Vesivolymetrin haittoja ovat pieni näytekooko ja jäykkä kumikalvo, joka ei tunkeudu kaikkiin koloihin. Mitattu tilavuus jää todellista tilavuutta pienemmäksi, mikä muuttaa tilavuuspainon taas suuremmaksi. Vesivolymetrin käyttö on nopeampaa kuin muiden volymetriensä. Sen käyttö on mahdollista myös sateella ja talvellakin kunhan muistaa täyttää laitteen veden sijasta pakkasnesteellä. (Siika 2006, 32.)

Hiekkavolymetrikokeessa kuoppa taas täytetään tilavuuspainoltaan tunnetulla tasaraeisella hiekalla (raekoko 1...2 mm). Kuopan sisältämän maa-aineksen painon ja kuoppaan käytetyn hiekkamäärän perusteella saadaan laskettua maa-aineksen tilavuuspaino. Hiekkavolymetrikoel soveltuu myös karkeiden maarakenteiden tutkimis-

seen, sillä kolot kuopassa eivät vaikeuta hiekan valumista niihin. Hyvin avoimessa materiaalissa hiekka saattaa mennä pitkälle huokostilaan, jolloin materiaalin tiheys määritetään liian pieneksi. Koe onnistuu vain täysin kuivalla säällä. (Siika 2006, 32.)

Säteilymittauslaite

Säteilymittauslaitteella kuten Troxlerilla mitataan säteilylähteen lähettämän radioaktiivisen säteilyn kulkeutumista mitattavan kerroksen läpi laitteessa olevaan vastaanottiin. Säteilyn tiheys on suoraan verrannollinen väliaineen tiheyteen. Mittaus voidaan suorittaa sekä suoramittauksena (mittaussyvyys säädettävissä) että pinta- eli heijastusmittauksena. (Siika 2006, 33.)

Suoramittauksessa laite asetetaan tasatulle maapohjalle ja sauvan päässä sijaitseva säteilylähde työnnetään rakenteen sisään. Karkearakeisissa rakennekerroksissa sauvan tarvitseman reiän tekeminen kerrokseen on hankalaa. Kalliomurskeesta tehtyyn rakenteeseen reiän tekeminen on vaikeaa sauvalle. Tällöin voidaan apuna käyttää teleskooppirakenteista mittaputkea ennen rakenteen tiivistämistä, jolloin mittaus voidaan toistaa samasta kohdasta tiivistystyön jälkeen. (Siika 2006, 33.)

Pintamittauksessa määritetty tilavuuspaino edustaa lähinnä pinnan tiheyttä mitattavassa rakenteessa ja säteilylähdettä ei työnnetä missään vaiheessa rakenteeseen. Rakenteen pinnan tasaisuus vaikuttaa pintamittauksen tarkkuuteen, sillä pinnan epätasaisuudet tulkitaan tyhjätilaksi. (Siika 2006, 34.)

Itsemittaavat jyrät

1970-luvun lopulla syntyi ajatus, että jyrää voisi hyödyntää tiivistämisen ohella myös mittalaitteena. Tavoitteena oli, että kuljettaja voisi reaaliaikaisesti seurata tiivistystyön edistymistä ja onnistumista. Muutamia jyrävalmistajia kehittäi ideaa ja seurauksena syntyi hieman toisistaan poikkeavia mittaustapoja. Jatkuva dynaaminen tiivistystarkkailumenetelmä kehitettiin tiukimpiin laatuvaatimuksiin entisten pistemäisten laadunvalvontamenetelmien sijaan. (Siika 2006, 34.)

Kaikissa mittausmenetelmien sovelluksissa mitataan valssin kiihtyvyyttä. Maarakenteen jäykkyyttä kuvaava arvo lasketaan kiihtyvyyden perusteella. Laskenta tapahtuu jyrässä olevassa mikroprosessorissa ja tulostetaan reaaliajassa kuljettajan näytölle. Näyttölaitteita on monenlaisia, kuten analoginen viisarinäyttö, digitaalinen palkkinäyttö, pelkkä numeroarvo tai karttasovellus, jossa mittaustulokset esitetään väreillä. Laitteissa itsessään on myös tulostusmahdollisuus, joten mittaustulokset saadaan suoraan tulostettua paperille. (Siika 2006, 34.)



Kuva 9. Itsemittaavan jyrän komponentit. Valokuva Mikael Gull 2011

Tärytiivistäminen on dynaamisesti hyvin monimutkainen prosessi. Valssin liike on tiivistyksen alussa jaksollista, sillä liike aiheutetaan epäkeskisen massan pyörimisliikkeellä valssin sisällä. Aluksi valssi on jatkuvassa kosketuksessa maan kanssa ja vähitellen maan jäykkyyden kasvaessa valssi alkaa irtoilla maasta aiheuttaen hyppytämistä. Edelleen tiivistäessä täryn kosketus maahan muuttuu kaksoishypyksi, jolloin valssi irtoaa maasta jokaisen täryliikkeen aikana. Kaksoishypyissä valssi heiluu puolelta toiselle koskettaen maata vain toisella reunalla aina kerrallaan. Tämän jälkeen voidaan joutua tilanteeseen, jossa valssin liike on täysin kaoottista eli ennalta arvaamaton. Kuvassa 9. on esitetty jyrän komponentit (Siika 2006, 34.)

Jyrän mittaustulos voidaan kalibroida vastaamaan levykuormituskokeella mitattua kantavuutta melko tarkasti paikoittain. Kalibrointi pitää tehdä materiaali- ja jyräkohtaisesti, sillä täysin samanlaisten jyrien mittauserot poikkeavat toisistaan. Eri mittaus-tapaa käyttävien jyrien mittaustuloksia ei voida verrata keskenään. Huomattavana etuna on, että mittaukset antavat tietoa kantavuuden vaihtelusta ja tiivistystyö voidaan kohdentaa huonommin tiivistetyille alueille. (Siika 2006, 35.)

Karkearakeiset materiaalit antavat suuremmat mittauserot kuin hienorakeiset materiaalit. Kalibrointi on siis tehtävä jokaisessa kohteessa aina erikseen. On myös huomioitava, että jyrässä mittaussyvyys on yleensä suurempi kuin kerralla tiivistettävissä oleva kerrospaksuus. Jyrän mittaussyvyys riippuu maan ominaisuuksista, valssin staattisesta viivakuormasta, amplitudista ja taajuudesta. (Siika 2006, 35.)

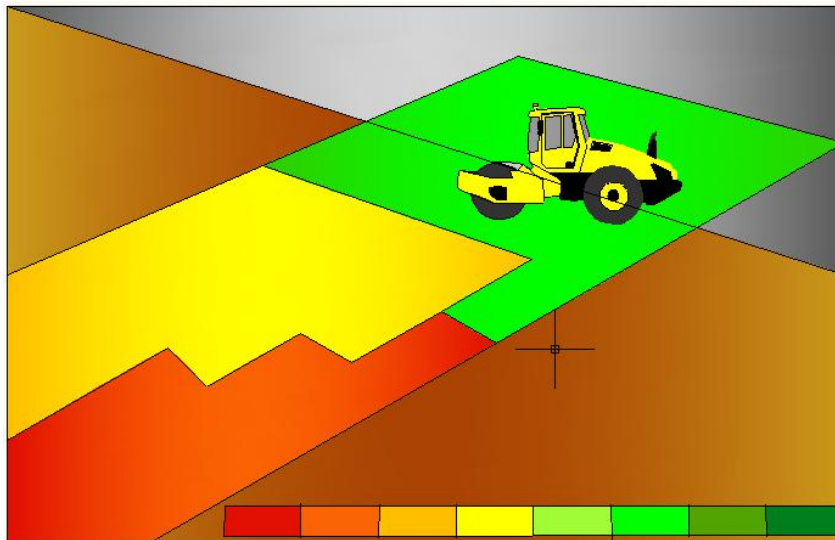
Uusimmissa sovelluksissa käytetään GPS-paikannusta jyrän sijainnin määrittämiseen ja mittaustulos esitetään karttamuodossa (kuva 10). Tämän avulla jyrän kuljettaja voi helposti havainnoida missä kohdin tarvitaan vielä lisää tiivistämistä. Sovelluksen avulla vältetään myös ylimääräinen tiivistäminen kohdissa, joissa vaadittu kantavuus on jo saavutettu. Suomessa GPS-paikantimella varustettua tiivistyskalustoa ei juuri ole, mutta tällä saralla kehitys etenee myös vauhdilla. (Siika 2006, 36.)

Jyrien tiivysmittareiden avulla selvitetään ainoastaan alueellisia kantavuusvaihteluita. Muilla pistemäisillä mittauslaitteilla, useimmiten levykuormituskoneella, kalibroidaan mittaustulokset määrävälein vastaamaan levykuormituskokeen E_2 -kantavuutta. (Siika 2006, 36.)

Tiivysmittarilla varustetun jyrän käyttö ainoana tiiviyden tarkkailumenetelmänä on monesta syystä ongelmallista. Mittaustulokseen vaikuttaa ainakin:

- tiivistettävä materiaali
- jyrän merkki ja malli
- pohjamaan kerroksen kantavuus
- tiivistettävän kerroksen paksuus
- valssin amplitudi ja taajuus
- ajonopeus
- jyrän paino

Yhdenkin yllä mainitun muuttujan muuttuessa jyrän tiivysmittarin lukema heittää huomattavasti ja tulokset eivät ole enää vertailukelpoisia.



Kuva 10. GPS-tekniikkaa hyödyntävä tiivistystyö. Vihreä väri kertoo hyvästä tiiviydestä ja punainen väri huonosta tiiviydestä. Piirroskuva Mikael Gull 2011

Vario-jyrät

Valssin amplitudia ja taajuuden säätöjä optimoimalla voidaan vähentää tiivistystyömäärää. Jyrävalmistajat ovatkin kehittäneet Vario-tyyppisiä laitteita ja jyrän automaattikkaa siten, että jyrä valitsee itse mitä amplitudia ja taajuutta missäkin kohtaa on hyvä käyttää. Alku vaiheessa, kun kantavuus on vielä heikkoa jyrä käyttää suurta amplitudia ja pientä taajuutta. Vastaavasti kantavuuden lisääntyessä jyrä pienentää amplitudia ja kasvattaa taajuutta. Menetelmä takaa hyvän ja tehokkaan menetelmän päällysrakenteen tiivistämiseen, mutta syvempien rakenteiden tiivistäminen voi jäädä toivottua pienemmäksi. Kyseinen menetelmä tuo säästöä ennen kaikkea polttoaineen kulutukseen ja jyrän käyttökustannuksiin. Kehiteltävää jyrrien mittalaitteissa vielä on, koska jyrä ei tunne eri materiaaleja eikä kerroksien paksuuksia. (Siika 2006, 37.)

8.3 Tiiviyden merkitys

Löyhä eli huonosti tiivistetty maarakenne tiivistyy ajan kuluessa muun muassa sääolojen ja ulkoisten kuormitusten, kuten liikennekuorman ja tärinän vaikutuksesta. Löyhän rakenteen jälkitiivistyminen on nopeinta heti rakentamisen jälkeen ja hidastuu ajan kuluessa. Jälkitiivistyminen eli painuminen voidaan välttää lähes kokonaan tekemällä tiivistystyö huolellisesti kerroksittain. Hyvin tiivistetty maarakenne pysyy koossa ja säilyttää muotonsa löyhää rakennetta paremmin ja pidempään. (Siika 2006, 37.)

Toistuvasti kuormitetun maarakenteen muodon muutokset ovat osittain palautuvia eli kimmoisia ja osittain palautumattomia eli pysyviä. Palautuvat kuormitukset eivät yleensä haittaa rakenteen toimintaa. Sen sijaan pysyvät muodonmuutokset aiheuttavat epätasaisuutta, mikä johtaa päällysteen ja rakenteen ennenaikaiseen rikkoutumiseen ja lisääntyneeseen kunnossapitotarpeeseen. (Siika 2006, 37.)

Maarakenteen lujuus

Maa-aineksen lujuusominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi maarakenteen tiivistila. Tiiviyden myötä karkearakeisen materiaalin leikkauskestävyyskulma (kitkakulma) kasvaa materiaalin tiiviyden myötä. Esimerkiksi hiekkamateriaalilla leikkauskestävyyskulman arvo voi vaihdella tiivistilan vaikutuksesta eri lähteiden mukaan jopa kymmenen astetta. (Siika 2006, 38.)

Taulukko 5. Maalajin tiiviiden vaikutus leikkauskestävyysskulmaan. (Siika 2006, 33.)

Tiiviyys	Maalaji					
	Siltti	Hiekka	Sora	Moreeni	Sepeli	Louhe
Löyhä	26°	30°	34°	34°	30°	38°
Tiivis	33°	38°	40°	40°	38°	50°

Maarakenteen omasta painosta ja ulkopuolisesta kuormituksesta aiheutuu maahan leikkausjännityksiä. Maa murtuu, kun leikkausjännitykset kasvavat leikkauslujuutta suuremmiksi. Maan leikkauslujuus määräytyy koheesion, leikkauspinnan vallitsevan normaalijännityksen ja leikkauskestävyysskulman perusteella. (Siika 2006, 38.)

Karkearakeisilla maamateriaaleilla koheesio on nolla, jolloin niiden leikkauslujuus tarkastellaan pelkästään normaalijännityksen ja leikkauskestävyysskulman perusteella. Tällöin tiiviin hiekan leikkauslujuus on puolitoistakertainen löyhän hiekan leikkauslujuuteen verrattuna. (Siika 2006, 39.)

Leikkauslujuuden arvoa käytetään perustusten kantokykylaskelmissa. Kantokyvyllä tarkoitetaan kuormaa, jonka perustus kestää maapohjan murtumatta. Murtokuorma tiivillä hiekalla on noin viisikertainen löyhään hiekkaan verrattuna. Huolellinen tiivistäminen ja oikea materiaalivalinta on oikein tapa parantaa penkereen kantokykyominaisuuksia. (Siika 2006, 40.)

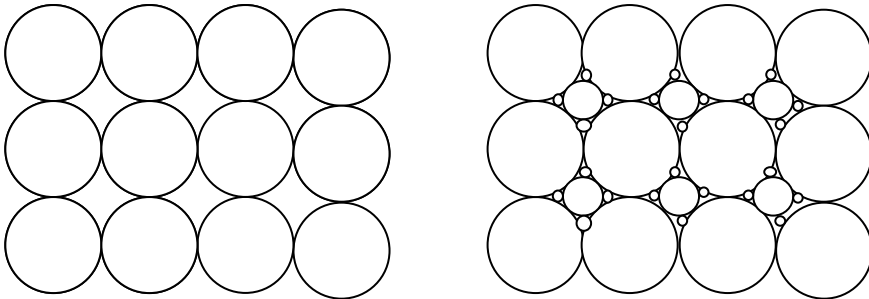
8.4 Tiiviyteen vaikuttavat tekijät

Tiivistämisellä parannetaan rakenteen lujuutta, jäykkyyttä ja tilavuuspainoa, niihin vaikuttaa materiaalin raekokojakauma, vesipitoisuus ja raemuoto. Merkittävin tekijä saavutettavaan tiiviyteen on kuitenkin tiivistystyöhön käytetty energia. Tiivistettävän kerroksen tiivistymiseen vaikuttaa tiivistyskalusto, työtapa, pohjamaan ominaisuudet, sekä rakenteen materiaali ja muoto. (Siika 2006, 41.)

Rakeisuus

Raekokojakautuma on tärkein tiivistymiseen vaikuttava materiaaliominaisuus. Kuivairtotiheyden maksimiin vaikuttaa suoraan raekokojakautuma. Karkeiden sora- ja murskemateriaalien kuivairtotiheys on suomalaisilla kivimineraalien kiintotiheyksillä maksimissaan 2,2 t/m³. Hiekkojen maksimi kuivairtotiheys on 2,0 t/m³. (Siika 2006, 41.)

Tasarakeinen materiaali, jossa kaikki rakeet ovat samankokoisia, tiivistyy huonosti, koska rakeiden väliin jää paljon tyhjätillaa (kuva 11). Näin ollen kuivairtitiheyden maksimi jää myös alhaiseksi. Sekarakeinen materiaali, jossa on kaikenkokoisia rakeita, tiivistyy paljon paremmin, sillä isompien rakeiden väliin jäävä tila täyttyy hienolla aineksella. (Siika 2006, 41.)



Kuva 11. Tasarakeinen ja sekarakeinen materiaali. (Siika 2006, 41.)

Materiaalin seka- tai tasarakeisuutta kuvataan raekokosuhteella $C_u = d_{60}/d_{10}$. Rakeisuuskäyrästä määritetään raekokosuhte läpäisyprosenttien 60 ja 10 kohdalta raekokojen suhteena. Maksimitiheys kasvaa raekokosuhteen kasvaessa. Suuri raekokosuhte tarkoittaa loivaa muotoa rakeisuuskäyrässä ja pienen raekokosuhteen omaavan materiaalin rakeisuuskäyrä nousee jyrkästi. Tasarakeisen materiaalin raekokosuhte on ≤ 5 , sekarakeinen, jos raekokosuhte on >5 mutta ≤ 15 ja materiaali on suhteistunut, jos sen raekokosuhte on >15 . (Siika 2006, 41.)

Materiaalin lajittumista aiheuttaa läjitys kiviaineksen ottopaikalla, kuormaus, kuljetus ja levitys rakennuspaikalla. Varsinkin vähän hienoainesta sisältävät kalliomurskeet lajittuvat helposti. Pahimmillaan alun perin kelvollinen materiaali muuttuu käyttökelvottomaksi raekokosuhteen tai hienoainespitoisuuden vaihtuessa ohjealueen ulkopuolelle. Kustannustehokas tapa tiivistysongelmien välttämiseksi on lajittumisen estäminen. Lajittumiseen ei useimmiten kiinnitetä tarpeeksi huomiota. (Siika 2006, 42.)

Vesipitoisuus

Saavutettavaan maksimitiheyteen vaikuttaa materiaalin vesipitoisuus etenkin hienorakeisilla maa-aineksilla. Proctor-kokeiden perusteella vesipitoisuuden merkitys ei ole täysin yksiselitteinen karkearakeisilla materiaaleilla. Forsblad (2000) on esittänyt, että hiekka tiivistyy parhaiten joko täysin kuivana tai täysin kyllästyneenä. Luonnonkosteaa hiekka sen sijaan tiivistyy sen sijaan hieman heikommin (kuva 12). (Siika 2006, 42.)

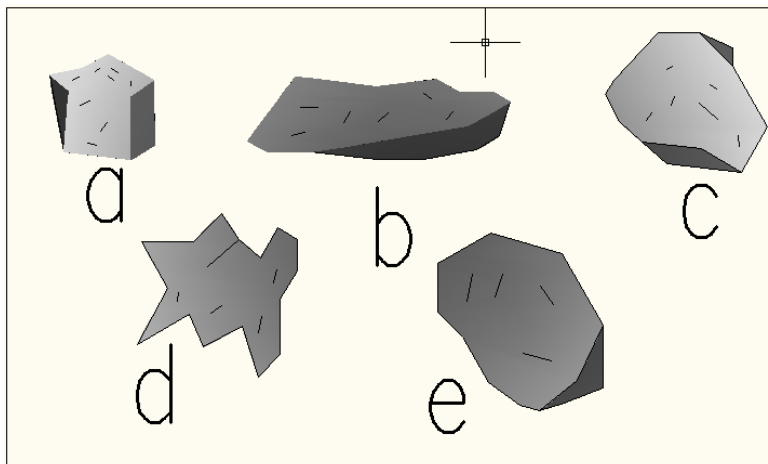
Proctor-sullonnassa tiivistäminen poikkeaa huomattavasti maastossa tehtäviin tärytiivistysmenetelmiin. Kentällä tiivistettäessä materiaali pääsee pakenemaan tiivistystyö-

tä toisin kuin Proctor-kokeessa. Veden vaikutus on käytännön tiivistystyössä laboratoriokoetta suurempi. Liian runsas veden käyttö pienentää suurinta kuivairtoihyettä hienorakeisilla materiaaleilla. Karkearakeisilla materiaaleilla vesi valuu nopeasti huokostilaa pitkin alusrakenteeseen. Erittäin runsas veden käyttö kuljettaa hienoaineksen mukanaan rakenteen pintakerroksista alempiin kerroksiin ja näin aiheutuu materiaalien lajittumista. (Siika 2006, 45.)

Liiallisen tiivistämisen vaikutuksesta materiaalin vedenläpäisevyys pienenee. Vedenläpäisemättömyydestä saattaa aiheutua materiaalin kantavuuden heikkenemistä saateella tai keväällä roudan sulaessa. (Siika 2006, 45.)

Raemuoto ja rakeiden pinnan karkeus

Materiaalin tiivistymiseen vaikuttavat myös materiaalin raemuoto ja pinnan karkeus. Etenkin litteät ja puikkomaiset rakeet heikentävät materiaalin maksimitiheyttä, lujuutta ja jäykkyyttä. Karkeapintaiset kappaleet tiivistyvät teoriassa huonommin, koska rakeiden liikkuminen keskenään on heikompaa. Toisaalta rakeiden välinen kitka on kuitenkin rakennetta vahvistama tekijä. (Siika 2006, 46)



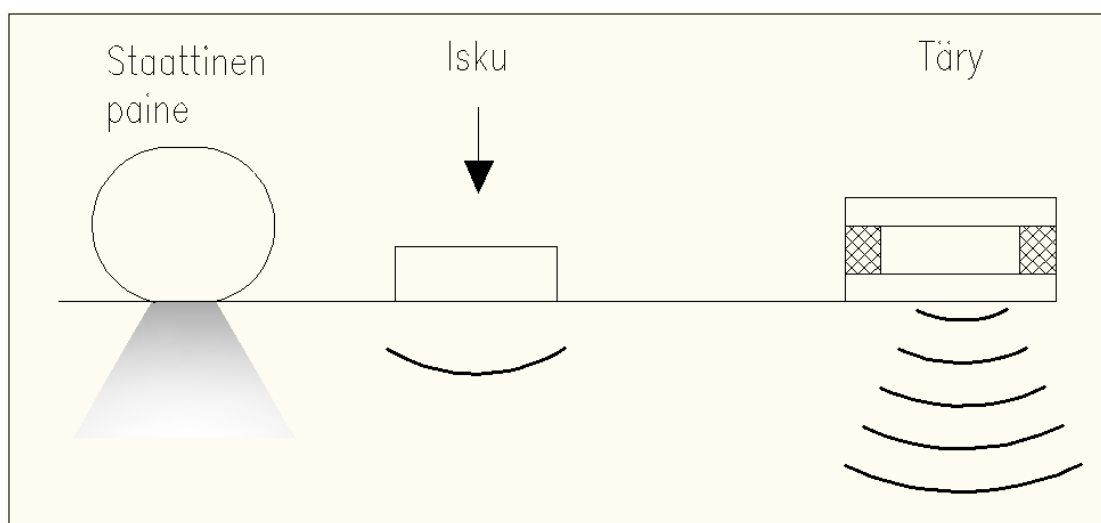
Kuva 13. Erilaisia raemuotoja: a) kuutiomainen, b) neulamainen, c) litteä rae, d) teräväsärmäisiä, e) pyöreäsärmäisiä rakeita. (Siika 2006, 46)

Edullisimpia ovat kuutiomaiset ja särmikkäät rakeet, jotka edesauttavat lujuuden ja jäykkyyden saavuttamista (kuva 13). Näin on etenkin murskatulla tai pulveroidulla betonimurskeella. Litteitä ja pitkulaisia rakeita sisältävien maa-aineksien tiiviys jää huonommaksi kuin pyöreitä ja kuutiomaisia rakeita sisältävät maalajit. (Siika 2006, 47)

Kalliomurskerakeiden pinnan karheus ja terävät särvät aiheuttavat sen, että rakenne tiivistyksen jälkeenkin pysyy harvana, joustavana ja epästabiilina. Tällöin on vaarana, että rakeiden kosketuspintojen kuluessa tapahtuu jälkitiivistymistä – rakenteen deformaation. (Siika 2006, 47)

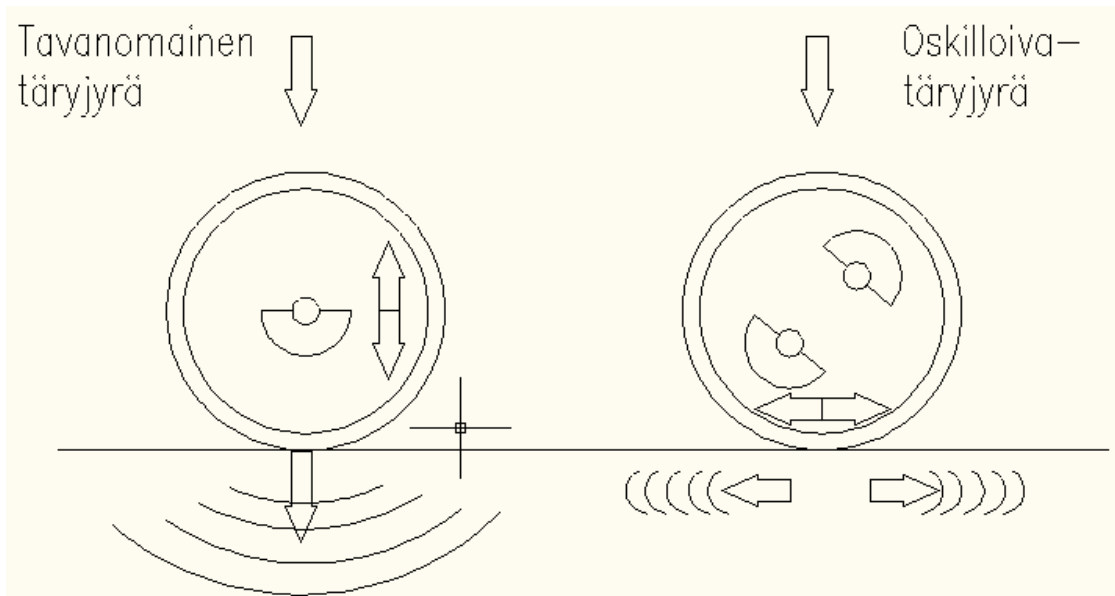
Työmenetelmät

Maarakenteen tiivistäminen tapahtuu staattisen paineen, iskun tai tärytyksen avulla. Karkearakeisia maakerroksia tiivistetään lähinnä yksinomaan tärytiivistystä. Myös staattista työtapaa hyödyntämää kumipyörä jyrää käytetään lähinnä kadunrakennustyömailla. Kumipyöräjyrä lähinnä vain painaa yksittäiset murskerakeet maarakenteeseen, mikä helpottaa autoilijoita. Pudotustiivistyksellä taas pystytään välittämään suuri määrä energiaa syvälle rakenteeseen, mutta menetelmä soveltuu pieniin paikallisiin kohteisiin ja se sekoittaa ja löyhdyttää pintarakenteita. (Siika 2006, 48)



Kuva 14. Maarakenteiden tiivistysmenetelmät (Forsblad, 2000)

Tiivistyksessä maarakeet liikutellaan mekaanisesti uuteen ja tiiviimpään järjestykseen. Tiivistyksessä tulisi käyttää mahdollisimman painavaa kalustoa ja energiamäärää, jonka rakeet kestävät rikkoutumatta. Tavallisimmin maarakennustyömailla, pois lukien kaivantotyömaat, käytetään tiivistämiseen pystysuunnassa täryttävää valssia. Oskilloivissa täryjyrissä värähtely tapahtuu myös vaakasuunnassa (kuva 14). Sen tarkoituksena on vähentää ympäristöhaittoja, kuten melua ja tärinää sekä ehkäistä materiaalin hienonemista. Oskilloivan valssin sisällä on kaksi epäkeskeistä massaa, jotka pyörivät valssin pituusakselin suhteen (kuva 15). Epäkeskisyyden ja pyörimisnopeuden ovat säädettävissä ja ne vaikuttavat valssin amplitudiin eli värähdysliikkeen taajuuteen. (Siika 2006, 49)



Kuva 15. Tavanomaisen ja oskilloivan täräjäjän toimintaperiaate (Ryynänen 1996)

Täräjäjän tiivistystehokkuuteen vaikuttaa teoriassa ainakin seuraavat seikat

- koneen massa
- ylityskertojen lukumäärä
- täräyttävien valssien lukumäärä
- täräyn taajuus ja amplitudi
- täräyn liikerata (oskilloiva/tavallinen)
- jyrän ajonopeus
- valssinhalkaisija
- vetävä tai passiivinen valssi

Koneen massan kasvaessa tiivistystyön syvyysvaikutus kasvaa. Ylityskertoja lisäämällä ei pystytä kuitenkaan vaikuttamaan tiivistyksen syvyysvaikutukseen. Jyrien syvyysvaikutus tulee tietää ennestään ja rakenne tulee rakentaa sellaisilla kerroksilla, että koko rakenteen tiivistäminen on mahdollista. Täytyy myös muistaa, että ylityskertojen lisääminen ei paranna tiiviyttä loputtomasti. Liiallinen tiivistäminen voi johtaa materiaalin hienonemiseen. (Siika 2006, 50)

Resonanssitaajuus maaperässä on noin 13–27 Hz. Jyrän liikkeet ovat epämiellyttäviä ja kone rasittuu mekaanisesti resonanssitaajuudella, vaikka tiivistys on tehokkainta tällöin. Yleensä valitaan hieman korkeampi resonanssitaajuus, käyttäen noin 25–50 Hz taajuutta. Pienet taajuuden muutokset eivät juuri vaikuta tiivistymiseen, mutta sen sijaan täräilyliikkeen iskunpituus vaikuttaa merkittävästi tiivistystyön tehokkuuteen. (Siika 2006, 50)

Täryliikkeen amplitudilla on vaikutusta tiivistymisen syvyysvaikutukseen. Louhetäyttöjen ja paksujen kerrosten tiivistämiseen käytetään suurta 1,5–2,0 mm amplitudia, jolloin tiivistyksen syvyysvaikutus on suuri. Paras lopputiivistystulos saadaan aikaan pienellä amplitudilla. Suuri amplitudi löyhdyttää taas rakenteen yläosaa. Liian suuri tiivistysenergia hienontaa laadultaan heikkoa kiviainesta. (Siika 2006, 51)

Tiivistysolosuhteet

Kerroksen paksuudesta ja tiivistysalustan jäykkyydestä riippuu tiivistystyön tehokkuus. Huonosti kantavalla pohjamaalla ei saavuteta yhtä hyviä tiiviyksiä kuin kantavalla pohjamaalla. Huonosti kantavalla alustalla tiivistysenergia häviää pohjamaan muodonmuutokseen. Huonosti kantavalla pohjamaalla tulee huomio kiinnittää pohjamaan häiriintymiseen. Tehokas tiivistys pehmeiköllä onnistuu parhaiten rakentamalla hyvin ohuita kerroksia ja käyttäen tiivistyksessä vain pientä amplitudia. (Siika 2006, 52)

Pohjamaan häiriintyminen voidaan estää myös käyttämällä, suodatinkangasta, lujiteverkkoa ja rakentamalla ensimmäinen kerros kohtuullisen paksuna. Tällöin pohjamaan häiriintymiseltä vältytään, mutta kerroksen alaosa jää väistämättä löyhäksi. (Siika 2006, 52)

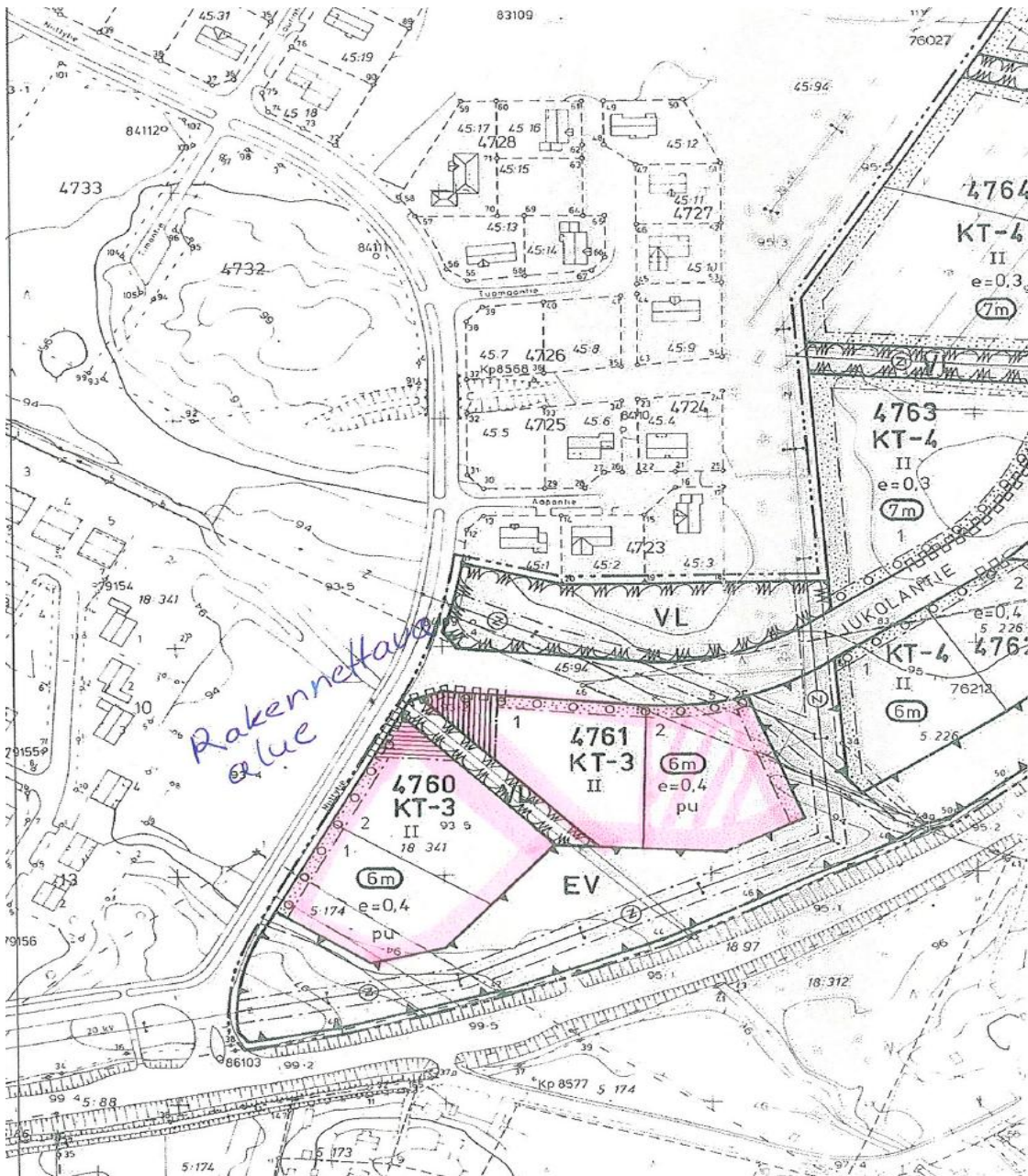
Routaantuneen materiaalin tiivistäminen ei onnistu. Rakennekerroksien välistä on ensiarvoisen tärkeää poistaa lumi ja jää, jos täytyy tiivistystyötä tekemään talvella. Materiaali täytyy myös pitää sulana, jottei se pääse jäätymään kesken rakennustyön. Jäätynyt maa sulaessaan löyhdyttää rakennetta. Jäätyneet paakut jäävät kokonaan tiivistämättä. (Siika 2006, 52)

9 TEOLLISUUSTONTIN ESIRAKENTAMINEN

Kaupunkien kasvu on aiheuttanut lähellä olevien ja helposti rakennettavien tonttimaiden vähenemisen. Näin ollen rakentaminen on suunnattu yhä heikommin kantaville alueille. Puitteet varsinaiselle rakentamiselle luodaan esirakentamisella. Sillä tarkoitetaan heikkojen maapohjien laadun vahvistamista maarakennustekniikan keinoin. Tavoitteena on stabiliteetin ja kantavuuden varmistaminen sekä painumien vähentäminen. Esirakentamisella parannetaan alueen rakennettavuutta ja luodaan hyvä käyttöaikainen taso.

9.1 Tietoa alueesta ja alueen sijainti

Jukolan teollisuusalueen rakennettavien tonttien pinta-alat ovat yhteensä noin 1,3 ha, joista ensimmäisen tontin pinta-ala on 0,3 ha. Jukolan teollisuusalue sijaitsee Itä-Siilinjärvellä Sulkavanniityn kaupunginosassa (kuva 16). Esirakennettavat tontit ovat Nilsiäntien (tie 75) vasemmalle puolella. Noin puolet ensin rakennettavasta tontista sijoittuu geoteknisesti haastavalle alueelle.



Kuva 16. Rakennettava alue. (Pöyry 2010)

9.1.1 Suoritetut tutkimukset

Siilinjärven Jukolan teollisuusaluetta tullaan laajentamaan. Ennen varsinaista rakentamista korttelit pintavaaitettiin ja kartoitettiin. Maaperätutkimukset on suoritettu painokairaamalla yhteensä 17 pisteestä, joista kolme häiriintyneitä maanäytteitä otettiin kolmesta pisteestä yhteensä 15 kappaletta. Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty tutkimuspistekartalla (liite 2) ja kairaustulokset ja maanäytteiden tutkimustulokset on esitetty leikkauspiirustuksessa.

9.1.2 Pohjaolosuhteet

Betonijätteellä rakennettavat tontit, sijaitsevat alavalla alueella. Jo rakennetut tontit ovat korkeammalla alueella, koska kallio on siellä lähempänä maanpintaa. Keväisin ja sateisina aikoina rakennettava alue on hyvin märkä ja vesi seisoo rakenteissa. Tämän takia pyydettiin Siilinjärven kuntaa raivaamaan ojaa, mikä johtaa Pieni-Sulkava järveen. Ojaa raivatessa huomattiin, että eräs asukas oli tehnyt padon ojaan puutarhan kastelua varten, tämän takia rakennettava tontti ei kuivettunut.

Korttelissa 4760 koillisosassa on pintakerroksena täyttökerros, joka on paksuudeltaan noin 1 - 3 metriä. Täyttökerros on moreenia. Täyttökerrosta ei ole enää korttelin lounaisosassa. Täyttökerroksen alapuolella ja lounaisosassa humusmaakerroksen alapuolella on hyvin löyhää savista silttiä 4,5–7,5 m:i paksuna kerroksena. Silttikerroksen alapuolella on moreenia. Kairaukset päättyivät 2,3–10,9 m:n syvyyteen maanpinnasta maapohjassa oleviin lohkaraisiin tai kallioon.

Korttelissa 4761 on humusmaakerroksen alapuolella hyvin löyhää savista silttiä 1,5 - 7,5 m:n paksuna kerroksena. Silttikerroksen alapuolella on moreenia. Kairaukset päättyivät 1,5 - 7,5 m:n syvyyteen maanpinnasta maapohjassa oleviin lohkaraisiin tai kallioon.

Perinteinen esirakennusmenetelmä, missä heikosti kantavat maa-ainekset kaivetaan pois ja tilalle ajetaan murskettä. Se on liian kallista ja sillä ei välttämättä saada tarpeeksi kantavaa pohjaa. Betonijätteellä rakentamalla saadaan rakenteesta huomattavasti kantavampi kuin kalliomurskeella, koska betoniaines kovettuu vielä levitettynä rakenteessa.

9.1.3 Tonttien rakennettavuus

Tontille tulevat rakennukset on perustettava kovaan pohjaan lyötyjen tukipaalujen varaan. Rakennusten alin lattia on rakennettava kantavana rakenteena. Maaperä on routivaa, joten routimiselle alttiit perustukset on routasuojattava. Lattioiden ja routasuojauksen kuivattamiseksi rakennus on salaojitettava.

9.2 Koetontin rakentaminen betonijätteestä

Siilinjärven Jukolan teollisuustontit eivät ole kelvanneet 25 vuoteen yrityksille ja rakentajille rakennuspaikaksi, koska tontit sijaitsevat pehmeikköalueella. Esirakentamisen tarkoituksena on luoda edellytykset aiemmin rakentamatta jääneille alueille niiden huonon kantavuuden tai muuten epäsuotuisten rakennusolosuhteiden takia. Huonosti kantavilla alueilla edellytetään yleensä aina esirakentamista. Esirakentaminen jää useimmiten kaupungin tai kunnan tehtäväksi, koska toimenpiteet ovat hyvin mittavia. Hyvillä rakentamisratkaisuilla saadaan heikosti kantavat tontit rakennuskelpoisiksi ja painumat kuriin.

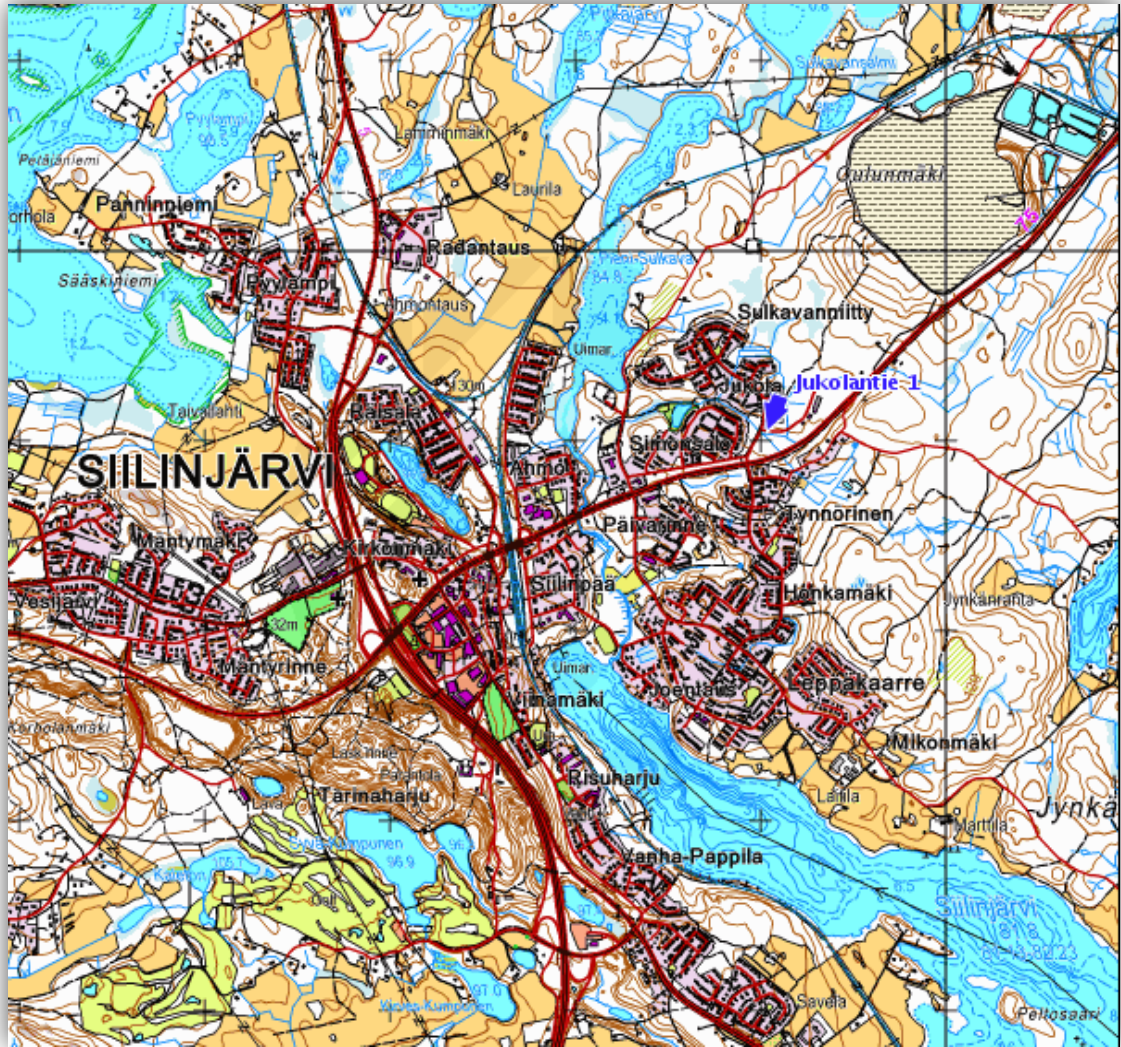
Karkeasti ottaen esirakentamisella tarkoitetaan kaikkia toimenpiteitä, joilla voidaan parantaa alueen rakentamismahdollisuuksia. Tarkoituksena on parantaa tonttien kantavuutta ja lujuutta ennen alueen varsinaista rakentamista. Tontit ovat huonosti kantavia, koska vesi seisoo maakerroksissa.

9.3 Sopimukset

Yhteistyösopimus betonijätteen hyödyntämisestä maanrakentamisessa on tehty Siilinjärvellä kolmen osapuolen kanssa. Sopimuksen osapuolet ovat Siilinjärven kunta, Lujabetoni Oy ja Maansiirtoliike R. Heiskanen. Siilinjärven kunnan omistamat teollisuustontit esirakennetaan Maansiirtoliike R. Heiskanen toimesta käyttäen hyväksi Lujabetoni Oy:ssä syntyvää, laadunvalvontasuunnitelman asetettuja vaatimuksia täyttämään betonijätettä.

Sopimuksen tarkoituksena on hankkia kokemuksia jätebetonin hyödyntämisestä maanrakentamisessa. Hankkeen onnistuessa osapuolten tavoitteena on jatkaa käytäntöä Jukolan teollisuusalueen kolmella muulla tontilla, sekä myöhemmin Radantauksen teollisuusalueen tonteilla. Osapuolilla on hankkeen päätyttyä velvollisuus antaa toisilleen tietoja toteutuneista kustannuksista.

Ensimmäinen rakentamiskohde sijaitsee Siilinjärven kunnassa Sulkavanniityn asemakaava-alueella korttelissa 4761, tontti numero 2. Rakennuspaikan pinta-ala on 3 210 m². Esirakentamissuunnitelman on tehnyt Pöyry Finland Oy. Kohteelle on myönnetty maisematyölupa 21.3.2011.



Kuva 17. Rakennuspaikan sijainti, Pohjakartta (C) Maanmittauslaitos lupanro 51/MML/11

9.4 Osapuolten roolit ja vastuut

Esirakentamisprojektissa vastuut ja tehtävät jakaantuivat seuraavasti:

Siilinjärven kunta vastaa

- koko hankkeen johtamisesta
- rakennuslupien ja meluilmoitusten hankinnasta
- puuston raivauksesta
- tiedottamisesta ja naapurien kuulemisesta
- työmaan johtamisesta ja valvonnasta
- työmaakokouksien koolle kutumisesta

- ELY:n päätöksen mukaisesta vuosi- ja loppuraportoinnista
- loppukatselmuksen suorittamisesta lupaviranomaisen kanssa.

Lujabetoni OY vastaa

- laadunvalvontasuunnitelman mukaisesta näytteenotosta
- näyteanalyysien teettämisestä
- tulosten toimittamisesta kunnan ympäristösuojeluviranomaiselle
- jätebetonin toimittamisesta omalla kustannuksellaan työmaalle tuotantoyksiköiltään Kuopion ja Siilinjärven tehtailta
- yhteys henkilön nimeämisestä hankkeeseen
- sopimuksesta urakoitsijan kanssa betonijätteen pilkkomisesta ja sen kustannuksista

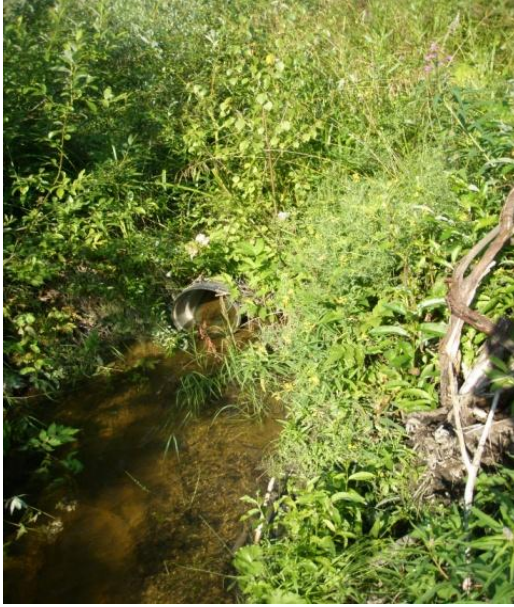
Maansiirtoliike R. Heiskanen Oy vastaa

- tontin esirakentaminen Pöyryn suunnitelman mukaisesti
- betonin pilkkomisesta ja sijoittamisesta tontille
- työmaatien ja vastaanottoalueen ylläpidosta sekä jätebetonin vastaanottamisesta tontilla
- esirakentamissuunnitelman mukaisten materiaalien hankkimisesta
- yhteys henkilön ja vastaavan työnjohtajan nimeämisestä hankkeeseen

9.5 Työtapaselostus

9.5.1 Ensimmäiset toimenpiteet

Esirakentamistyöhön kuuluu kortteleiden 4760 ja 4761 raivaus- ja leikkaustyöt sekä täyttötyöt tiivistykelpoisella, 1- ja 2-luokan (BeM 1, BeM 2) murskatulla jätebetonilla suunnitelmissa esitettyyn tasoon asti. Suunnitelman mukaan tontin ympärille tulisi kaivaa koko matkalle avo-oja. Työmaapalaverissa keskusteltiin työmaatiimin ja rakennusvalvojan kanssa ja tulimme siihen lopputulokseen, että tontin edustalla oleva oja peitetään ja vesi johdetaan nykyiseen avo-ojaan (kuva 18).



Kuva 18. Vanha oja, joka virtaa Nilsiäntien varrella. Valokuva Mikael Gull 2011

Uuden ojan rakentaminen olisi ollut hyvin työlästä ja tarpeetonta. Suunnitelmassa olevan ojan kohdalle oli aikoinaan läjitetty koko matkalle isoja kiviä, kun vesijohtoa ja kaukolämpöputkea oli rakennettu Yaralle. Näin ollen perkasimme, puhdistimme ja kunnostimme vanhan avo-ojan uuden kaivettavan ojan sijaan.



Kuva 19. Näkymä Jukolantieltä, kun puut on kaadettu ja kerätty, ennen raivaustöiden aloittamista. Valokuva Mikael Gull 2011

9.5.2 Raivaustyöt ja työmaatien teko

Ennen raivaustöiden aloittamista tontille kuljetettiin 0-96 mm:n mursketta viisi kuormaa perävaunulla varustetulla kuorma-autolla. Murskeesta tehtiin työmaatie avo-ojan yli tontin keskelle, jotta kaivinkoneella ja kuorma-autolla liikkuminen olisi mahdollista. Työmaatie kulki myös puron yli, joten puron kohdalle oli asetettava väliaikainen rumpuputki, jottei vesi tulvi rakennettavalle tontille (kuva 20). Raivaustyöt aloitettiin tontin edustalta Jukolantien varrelta Fiat-Hitachi EX 215 -merkkisellä kaivinkoneella, jonka painoluokka on 21 tonnia (kuva 8).



Kuva 20. Tontin raivausta tontin etualalta luiskakauhalla. Valokuva Mikael Gull 2011



Kuva 21. Työmaatin tekoa ja väliaikaisen rumpuputken asentamista. Valokuva Mikael Gull 2011

Korttelit raivattiin kannoista sekä hakkuujätteistä kantoharalla ja pintamaat poistettiin kokonaisuudessaan ennen täyttötöitä (kuva 22). Alueen metsän kaadosta ja isompien puiden keräämisestä huolehti tilaaja eli Siilinjärven kunta. Kannot läjitettiin väliaikaisesti työmaan reunalle kuivumaan ja varisemaan mullasta. Osa raivaus- ja hakkuujätteistä kuljetettiin jo Säyneenjoen kaatopaikalle, mutta kannot kuljetetaan myöhemmin, luultavasti ensi kesänä. Humuspitoinen multamaa kaavittiin myös kasalle tontin laidalle. Ylijäämämaita ei viedä vielä kaatopaikalle, koska niitä saatetaan vielä tarvita ojaluisissa.



Kuva 22. Risujen ja kantojen poistoa kantoharalla. Valokuva Mikael Gull 2011

9.5.3 Leikkaustyöt

Tontin leikkaustyöt noudattivat pitkälti maanpinnan muotoja. Kohdissa, joissa raivaustöiden jälkeisestä maanpinnan tasosta suunniteltuun täyttötasoon oli alle 0,6 metriä, maata leikattiin siten, että purkubetonitäyttöä tulee vähintään 0,6 metriä paksu kerros. Eli pintamaat poistettiin koko tontin alueelta ja ainoastaan tontin korkeimmilta kohdilta leikattiin maita. Ylijäämämaita ei juuri ollut, koska tontin korkeimmilta kohdilta maat siirrettiin peitettävän ojan päälle.



Kuva 23. Työmaatien tekoa. Valokuva Mikael Gull 2011

Lisäksi tontin ympärille on kaivettava vielä sivu- ja tieojat suunnitelmissa esitettyihin tasoihin pintavesien ohjaamiseksi kortteleiden 4760 ja 4761 väliseen laskuojaan.

Korttelin 4761 Jukolantien varrelle tuleva uusi tieoja tehdään siten, että nykyiset sadevesikaivot säilyvät ennallaan. Kaivot jäävät ojan pohjalle. Leikkaustyössä syntyneet kaivumaat käytetään lähinnä oijen luiskatäyttöihin sekä tontin läpi kulkevan ojan peittämiseen.

9.5.4 Penger- ja täyttötöyt

Ennen täyttötöiden aloittamista raivaus- ja kaivupohjalle levitettiin suodatinkangas, jonka käyttöluokka on N3. Suodatinkankaan tarkoituksena on estää purkubetonin ja rakennekerrosten sotkeutuminen pohjamaahan. Suodatinkangas päästää veden läpi, muttei maa-ainesta, samalla se toimii suodattavana materiaalina (kuva 23).



Kuva 24. Suodatinkangas on levitetty pohjamaan päällä. Valokuva Mikael Gull 2011

Tasauspiirustuksessa olevat tasauskäyrät esittävät purkubetonin täyttötason korkeutta. Betonijätteen täytön paksuus vaihtelee 0,6 metristä noin 1,5 metriin. Kaivettava pohjamaan korkotaso katsottiin tasolaserilla (kuva 24). Täyttö tehdään korkeintaan 0,5 metriä paksuina kerroksina ja jokainen kerros tiivistetään täryjyrällä. Kantavuusvaatimus kunkin kerroksen pinnassa on 80 MN/m^2 , $E_2/E_1 < 2,2$. Betonimurskeena käytetään 1- ja 2-luokan (BeM I, BeM II) betonijätettä, jonka on oltava routimatonta, rae-kooltaan 0...150 mm ja sen on täytettävä jakavan kerroksen laatuvaatimukset. Koe-kappaleiden 28 vuorokauden puristuslujuuden on oltava vähintään 0,8 Mpa.

Betonijäte saattaa sisältää toisinaan haitallisia aineita, joten betonijätteen toimittajan on osoitettava jätteen haitattomuus. Lujabetoni OY vastaa materiaalin ympäristökelpoisuudesta.



Kuva 25. Ensimmäiset betonijätetuormat työmaalle. Kuvassa etualalla on tasolaseri, jolla mitattiin pohjamaan korko. Valokuva Mikael Gull 2011

Kun pohjamaa oli kaivettu suunnitelmissa olevaan tasoon ja suodatinkangas asennettu pohjamaan päälle, niin sovittiin kuljetusliike Team Villasen kanssa, että betonijätteen toimittaminen voi alkaa. Pohjamaan korko katsottiin piirustuksista ja lähtötasona pidettiin tien korkeutta. Kaivinkoneen kuljettajalle näytettiin korkeudet tasolaserilla (kuva 25).

9.5.5 Jätebetonin kuljettaminen työmaalle

Lujabetonin kuljetuksia hoitaa useampi kuljetusliike, koska materiaalia vaihtelee valmisbetonista 40 metrin harjapalkkeihin. Kuljetusliike Team Villanen huolehtii tehtaan jätebetonin toimittamisen Jukolan työmaalle. Yllä olevassa kuvassa on Lujabetonin Siilinjärven tehtaan valmisbetoniasema.



Kuva 26. Valmisbetonin valmistuspaikka. Kuvassa betoniauto on valmisbetonin otto-
paikalla. Valokuva Mikael Gull 2011

Betonijätteen toimittaminen työmaalle alkoi ripeästi, koska ylijäämäbetonia oli varastoitu betonitehtaan kentälle muutaman vuoden ajan. Kuljetus tapahtui aluksi kahdella kolmiakselisella kuorma-autolla, mutta kuljetusliikkeen kiireiden takia toinen auto meni muihin tehtäviin. Suurin osa kuljetuksista hoidettiin siis yhdellä autolla, mikä riitti hyvin työmaatiimille. Kuljetusmatka Siilinjärven tehtaalta työmaalle on noin 5 kilometriä ja kuormien väli oli noin 20 minuuttia nopeimmillaan. Kuopion tehtaalta Jukolan työmaalle on noin 25 kilometriä, joten tämä väli oli taloudellisempaa ajaa täysperävaunu-kuorma-autolla (kuva 27).



Kuva 27. Kuljetusliike Team Villasen perävaunuyhdistelmä Kuopion tehtaalta. Valokuva Mikael Gull 2011

Yhden kuorman paino oli keskimäärin 10,5 tonnia, mutta kuutioissa se oli ainoastaan keskimäärin 5 kuutiota. Märkähieno betoniaines on todella painavaa materiaalia, joten kuorma-auton lavalla 11 tonnia on hädin tuskin lavan puolivälin. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 2 000 kg on yksi kuutio.

Toisinaan betonin läjitys työmaalle tuotti ongelmia, koska tehtaalla juoksevaa betonia oli laitettu lavalle pelkiltään ilman minkäänlaista suojaa. Ilman kunnollista muovisuoja betoni kovettuu lavan kiinni. Se vaikeutti kuorman kippaamista, kun lavan nosti ylös, niin kuorma ei liikahtanutkaan. (Kuvat 28 ja 29). Kuormalavat toisinaan suojattiin muovilla, mutta muovi valahti usein lavan pohjalle, kun betonia kipattiin lavalle. Muovisuojuksen pitäisi olla tarpeeksi suuri, jotta sen voisi sitoa kuormalavan ulkoreunoihin kiinni.



Kuvat 28. ja 29. Lavalle jämähtänyt betoni, jota yritetään routapiikillä ja pulverioijalla irrottaa. Valokuvat Mikael Gull 2011

9.5.6 Betonijätteen varastointi tehtaan pihamaalla



Kuva 30. Sekalaista ylijäämäbetonia tehtaan pihakentällä. Valokuva Mikael Gull 2011

Lujabetonin pihamaalle oli kerätty betonitehtaalta syntyvää betonijätettä noin vuoden ajan. Kasalle oli arviolta läjitetty noin 120 kuormaa (kuva 30). Betonijätettä muodostuu koko ajan lisää tuotannosta. Pihamaan varastokasassa oli betonia kaikissa muodoissa. Siinä oli erilaisia ja monen kokoisia laattoja, pilareita, elementtejä, valukappaleita, betonin kuljetusautojen pesubetonia, koepuristuskappaleita jne.



Kuva 31. Betonitehtaan jätebetonin varastokasa. Valokuva Mikael Gull 2011

Lujabetonilla syntyy betonijätettä noin 2 000 kuutiota vuodessa. Ylijäämäbetonia muodostuu melko tasaisesti kaikissa mahdollisissa muodoissa. Eniten tulee pesubetonia, hiomapölyä ja valukappaleiden jämiä. Valuja tehdessä suppiloon jää aina jonkin verran betonia, jolla tehdään sattumanvaraksi betonikappaleita (kuva 31). Kakosluokan ontelolaatat ja muut runsaasti terästä sisältävät betonikappaleet Lujabetoni yrittää myydä asiakkaille halvemmalla hinnalla. Ne, jotka eivät kelpaa muualle, kuljetetaan Jukolantien esirakennettavan tontin täyttöihin. Paljon tulee myös virheellisiä laattoja ja palkkeja. Laattoja menee jonkin verran rikki kuljetus- ja kuormaustehtävissä.

Betonitehtaalla on vuosia sitten tapahtunut suunnitteluvirhe, minkä johdosta Lujabetonille on jäänyt kaksi suurta harjapalkkia. (kuva 32). Kesän päätteeksi Maansiirtoliike R. Heiskasen kaivinkone kuljetettiin tehtaan pihalle kokeilemaan onnistuuko palkkien

särkeminen pulverointilaitteella. Harjapalkit olivat 35 metriä pitkiä ja painoivat 35 tonnia.



Kuva 32. Suurien harjapalkkien pulverointia tehtaan pihamaalla. Toinen palkki on pulveroituna kaivinkoneen edustalla. Valokuva Mikael Gull 2011

Palkkien murskaaminen onnistui hyvin. Yhden palkin pulverointiin meni yksi työpäivä. Suurin ongelman palkkien pienentämisessä oli runsas raudituksen määrä. Betoniteräksiset olivat pitkiä ja paksuja ja ne vaurioittivat kaivinkoneen letkuja ja lisälaitteita.



Kuva 33. Betoniautoni pesupaikalla. Valokuva Mikael Gull 2011

Betonitehtaalla betoniautojen pesuvedet kierrätetään. Betoniauto peruttaa pesupai-
kalle ja pesuvedet valutetaan altaaseen (kuva 33), mistä kiintoainne kerätään varas-
tokasalle (kuva 33) ja vesi jää altaaseen.



Kuva 34. Suojattu sisäallas, josta kierrätysvesi otetaan säiliöiden pesuun. Allas on
noin 4 metriä syvä. Valokuva Mikael Gull 2011

Ulkoaltaasta vesi pumpataan uppopumpulla sisäaltaaseen (kuva 34), mistä otetaan
taas pesuvesi betoniautojen säiliöiden pesuun. Samalla vedellä voidaan pestä useita
autoja ja vettä säästyy. Uutta ja puhdasta vettä käytetään ainoastaan painepesurissa
betoniauton viimeistelypesuun, koska painepesuri ei kestä kierrätysvettä. Kierrätys-
veden takia joudutaan vaihtamaan säännöllisesti uppopumppu, jolla pumpataan ul-
koaltaasta vettä sisäaltaaseen selkeytettäväksi.



Kuva 35. Ylijäämävalukappaleita hiomapölyn keskellä. Valokuva Mikael Gull 2011

Työmaatiimin pyynnöstä Lujabetoni otti kaivinkoneen lajittelemaan betonijätteitä (kuva 36), koska ensimmäiset jätekuormat olivat hyvin sekalaista materiaalia. Näin ollen työmaalla kului paljon aikaa läjitetyn betonimateriaalin lajitteluun. Lajittelu on yksinkertaisempi ja tehokkaampi tehdä betonitehtaalla kuin työmaalla. Lujabetonin kanssa tehdyn sopimuksen mukaan Maansiirtoliike R. Heiskanen saa korvauksen ainoastaan murskattavasta betonista, joten sekalaisten kuormien läjittäminen työmaalle tuotti ongelmia, koska kuormissa oli hienoa betoniainesta ja isoja betonikappaleita sekaisin. Kuljetusliikkeen kanssa sovittiin, että he tuovat joko karkeaa betonia tai hienoa betonia, muttei sekakuormia, koska sekakuormat vaikeuttavat laskuttamista ja työntekoa työmaalla.



Kuva 36. Varastokasaa lajitteleva kaivinkone. Valokuva Mikael Gull 2011

9.5.7 Tontin täyttäminen ja betonimateriaalin käsittelyä työmaalla

Tontin täyttäminen betonijätteellä aloitettiin Jukolantien varrelta eli tontin edustalta. Ensimmäiset kuormat olivat märkiä, koska talvella pesubetoni oli jäänyt kasalle. Kesän tullen kasa alkoi sulaa ja betonimateriaali muuttui vähitellen veteläksi puuroksi. Työmaalla märkä betoniaines levitettiin kentäksi ja sen annettiin kuivua. Märkä betoniaines kovettui keleistä riippuen noin viikossa todella kovaksi. Aluksi levitetty märkäbetoni hankaloitti kulkemista ja kuormien läjitystä tontille. Sitten kun betoni oli kuivunut, siitä tuli todella kantavaa ja kovaa. Täydessä kuormassa oleva kuorma-auto ei enää painunut. Mittakeppien lyöminen maahan tuotti vaikeuksia, koska hädin tuskin rautakanki upposi betonirakenteeseen.



Kuva 37. Työmaalla käytettyä kalustoa. Suodatinkangas etualalla. Valokuva Mikael Gull 2011

Betonikappaleiden pienentäminen tapahtui kaivinkoneeseen liitettävällä hydraulisella pulverointilaitteella. Jukolan työmaalla käytetty pulverointilaite on Hydra-Dem HR 20 Vuosimallia 2010 ja sen paino on 2 000 kg (kuva 38). Pulverointilaite toimii hydraulisesti ja se ottaa puristusvoimansa kaivinkoneen kääntövoimasta eli silloin, kun mursertaa betonia, niin ylävaunun kääntyminen hidastuu.

Kesän puolivälissä otimme toisen kaivinkoneen työmaalle, koska pulverointilaitteen vaihtaminen kauhaan ja toisinpäin oli työlästä ja aikaa vievää työtä. Toinen kone hoiti betoninmurskaamisen ja toinen kone materiaalin levittämisen.



Kuva 38. Betonin pulverointia. Valokuva Mikael Gull 2011

Kesän mittaan kokeilimme myös pesubetonin seulomista kaivinkoneeseen liitetyllä seulakauhalla (kuva 39). Tuttu kaivinkoneurakoitsija Hannu Larronmaa on paljon seulonut ruokamultaa, niinpä hänen kanssa mietittiin, että kokeillaan seulontaa myös hienolle betonimateriaalille. Seulonta onnistui hyvin. Seulakauhan toiminta perustuu pyöriin teriin. Seulovat terät eivät murskaa ainakaan kiveä, mutta rikkoivat kuitenkin jonkin verran betonikappaleita. Betonikappaleet ovat huomattavasti pehmeämpiä ja

hauraampia kuin luonnonkivet, koska pulverointilaite ja seulakauha rikkovat betonia, mutteivät kiveä.

Seulotun materiaalin raekoko oli noin 0 – 20 mm ja se oli tasalaatuista ja erinomaista rakennusmateriaalia. Seulottu betoniaines kovettui nopeasti, kun sen levitti tasalle. Seulonnan tarkoituksena oli tuottaa tasalaatuista materiaalia, sekä erotella isommat betonikappaleet pois hienoaineksen seasta.



Kuva 39. Seulontaa Volvo-merkkisellä kaivinkoneella. Valokuva Mikael Gull 2011

9.5.8 Kentän tiivistäminen

Kentän tiivistäminen tehtiin Bomag DH 213 D -merkkisellä täryvalssijyrällä ja jyrässä oli tiiviyksmittari (kuva 40). Jyrän tiiviyksmittarilla seurattiin kokoajan kentän tiivistymistä ja mittarinlukemat pääsääntöisesti kasvoivat ylityskertojen mukaan. Paikoitellen jyrämittarin lukemat eivät kaikissa tapauksissa kasvaneet tiivistyksen edetessä. Kuuden ylityskerran jälkeen tiiviyksarvot alkoivat pienentyä, mutta taas seuraavalla kerralla arvot saattoivat kasvaa. Välillä tiivistettävän rakenteen jäykkyys kasvaa ja toisinaan taas pienenee. Liiallisesta tiivistämisestä voi olla haittaa, koska rakenne voi hajota ja löyhtyä runsaan tiivistämistyön takia.

Jukolantien puoleisella alueella kenttä on huomattavasti kantavampi kuin kentän taka-reunalla. Jyrän tiiviyksmittari antoi tontin etualalta 300 MN/m^2 ja tontin taka-alalta taas $50\text{--}80 \text{ MN/m}^2$ suuruisia arvoja. Kenttää olisi pitänyt kastella jyräyksen edetessä, koska betonimateriaali hieman murtui jyräyksen takia. Kenttä antoi paljon periksi ja rakenne oli hyvin joustava. Joustavuus johtui pohjarakenteen pehmeystä. Pohjarakenne oli hyvin löyhää savistasilttiä, jonka päälle betonirakenne tehtiin. Pohjamaassa seisoivat myös paljon vettä, mutta ojan perkaamisen jälkeen rakenteet kuivettuivat paremmin. Jyräämisen jälkeen kentästä tuli hyvin tiivis, tasainen ja kova. Se helpotti työmaalla liikkumista ja mahdollista kenttämittausten tekemisen.



Kuva 40. Kentän tiivistäminen isokokoisella valssijyrällä. Valokuva Mikael Gull

9.5.9 Työturvallisuuteen liittyviä asioita

Pöyryn työtapaselityksen mukaan betonimurskeen väliaikaista läjitystä voidaan tehdä viereisellä tontilla 4760–1. Muilla tonteilla maapohjan huonon kantavuuden takia betonijätettä ei voida läjittää, vaan täyttö on tehtävä suoraan suunnitelman mukaiseen muotoon. Ennen työhön ryhtymistä oli työsuunnitelma esitettävä rakennuttajalle hyväksyttäväksi.

Esirakennettavan tontin (4761-2) koillisnurkan yli kulkee 20 Kv ilmajohto (kuva 41) ja yksi sähköpylväs sijaitsee rakennettavalla alueella. Työtä vaikeutti sähköpylväs ja siitä lähtevä harus. Harus osuu keskelle rakennettavaa tonttia ja se on muutenkin riskialttiissa paikassa sisäänajotien välittömässä läheisyydessä. Työskenneltäessä ilmajohdon läheisyydessä on noudatettava Savon Voima Oy:n antamia työturvallisuusohjeita. Kaivinkoneen työskentelyä vaikeutti sähkölinja, koska linjan alla työskennellessä piti koko ajan varoa, ettei koneen puomi osu linjaa. Samoin erityistä varovaisuutta vaati sähkötolpan ympäröityä kaivaminen, sillä pelkona oli, että kauha osuu harukseen tai pylvääseen ja pylväs kaatuu.



Kuva 41. Sähköjohto rakennettavan tontin yllä.

Valokuva Mikael Gull 2011

Kaivettaessa tontin ympärille tulevaa sivuojaa on huomioitava nykyinen 160 PEH vesijohto, joka jää osittain ojan alle. Vesijohdon sijainti on arvioitu, joten ennen kaivutyöhön ryhtymistä sijainti on varmistettava kaivamalla koekuoppia.

9.5.10 Leikkaus- ja täyttötöiden toleranssit ja laadunvalvonta

Täyttötöiden toleransseissa noudatetaan RIL 132–2000 ”Talorakennuksen maarakenteet” annettuja laatuluokan ii mukaisia toleransseja. Täyttöjen kantavuuden toteutemiseksi on suoritettava kantavuuskokeita vähintään 4 koetta per tontti, jokaisesta kerralla tiivistettävästä kerroksesta.

9.5.11 Tarkepiirustukset

Töiden valmistuttua ovat täyttöpohjat luiskineen sekä ojat pintavaahtava. Aineisto luovutetaan sähköisessä muodossa tilaajalle töiden vastaanottotarkistuksessa.

10 KENTTÄMITTAUKSET JA TULOKSET

Siilinjärven Jukolan työmaalla tehtiin mittauksia kahtena päivänä. 29.8.2011 ja 30.8.2011. Koekentän karkean rakeisuuden takia tiiviysmittauksia ei voitu ainakaan ensimmäisen täyttökerroksen jälkeen tehdä. Troxler-tiiviysmittaus vaatii, että kenttä on rakennettu hienosta aineksesta raekooltaan 0-32 mm. Pulverointitekniikalla ei voida saavuttaa raekooltaan 0-32 mm materiaalia. Betonimurskekenttä oli rakeisuudeltaan 0-150 mm. Alla oleviin taulukkoihin on koottu mittaustulokset loadman ja levykuormitus laitteella.

Taulukko 6. Loadman pudotuspainolaitteella mitatut kantavuudet ja kantavuussuhteet sekä E_2 -arvo muunnettu levykuormituskoetta vastaavaksi.

Kohde: Jukolantie	mitattu E_1 [MN/m ²]	mitattu E_2 [MN/m ²]	E_2 / E_1	Levykuormituskoetta vastaava E_2 [MN/m ²]
1	51	62	1.22	53.94
2	36	49	1.36	42.63
3	44	67	1.52	58.29
4	33	53	1.61	46.11
5	47	62	1.32	53.94
6	37	57	1.54	49.59

Mittaus pvm 29.8.2011

Kohde: Jukolantie	mitattu E_1 [MN/m ²]	mitattu E_2 [MN/m ²]	E_2 / E_1	Levykuormituskoetta vastaava E_2 [MN/m ²]
1	108	144	1.33	125
2	131	160	1.22	139
3	120	131	1.09	114
4	71	99	1.39	86

Mittaus pvm 30.8.2011

Kantavuusmittauksilla saadut E_2/E_1 ovat kaikissa mittauspisteissä reilusti alle yleisen vaatimustason levykuormituslaitteella $E_2/E_1 < 2.2$. ja pudotuspainolaitteella $E_2/E_1 < 1.9$. Hyvät kantavuusarvot viittaavat myös rakenteen hyvään tiivyyteen. (InfraRyl 2007)

Taulukko 7. Levykuormituskokeella saadut kantavuusarvot

Mittauspiste	S ₁	S ₂	E ₁	E ₂	E ₂ / E ₁
1	4.4	2.2	43.41	86.82	2.00
2	S ₁	S ₂	E ₁	E ₂	E ₂ / E ₁
3	4.5	2.38	42.44	80.25	1.89
4	S ₁	S ₂	E ₁	E ₂	E ₂ / E ₁
5	2.83	1.54	67.49	124.03	1.84

p = puristusaine (kPa) 0,060N / π*r²

a = kuormituslevyinsäde (m) 150

s = painuma (mm)

k = kerroin levyntaipuisuudesta riippuen 1.5

$$E = \frac{k * p * a}{s} \quad (5).$$



Kuva 44. Kantavuuskokeiden suorittaminen. Vasemmalla levykuormituskoe ja oikealla loadman-pudotuspainokoe. Valokuva Mikael Gull 2011.

Pöyryn tekemässä työtapaselostuksessa on ilmoitettu vähimmäiskantavuusarvoksi kunkin täyttökerroksen pinnasta 80 MN/m² ja E₂/E₁ ≤ 2,2. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty työmaalta saadut kantavuusarvot. Saadut arvot ovat yli tavoite arvojen, joten koekenttä on riittävän kantava.

Kantavuudet mitattiin levykuormituslaitteella ja Loadman pudotuspainolaitteella (kuva 44), Savonia-ammattikorkeakoulun geotekniikan laboratorion henkilökunnan kanssa yhteistyössä. Levykuormituslaitteen levynhalkaisija oli 300 mm ja kuormituspainena käytettiin 60 kN. Pudotuspainolaitteen levyn halkaisija oli 200 mm ja pudotuspaino 10 kg. Mittaukset suoritettiin välikerrosten päältä. Loadman pudotuspainolaitteella tehtiin 10 mittausta ja levykuormituslaitteella saatiin vain kolme edustavaa ja luotettavaa mittausta. Levykuormituskokeita häiritsi kaivinkoneiden pohjalevyn mataluus, koska mittalaite ei meinannut mahtua koneen alle. Jouduimme nostamaan konetta ilmaan laittamalla telojen alle puutavaraa ja kiviä.

Mitatut ja lasketut kantavuusmittausarvot E_2 , E-moduulit ja tiiviyssuhteet ovat esitetty taulukoissa 6 ja 7. Taulukossa 6 pudotuspainolaitteella saadut arvot ovat muutettu myös levykuormituslaitetta vastaaviksi.

11 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTIA

Yleisesti ottaen kaikkien laadunvalvonnassa käytettyjen mittausmenetelmien heikkoutena voidaan pitää niiden pistemäistä luonnetta. Eli yhdestä mittauksesta saatu tulos kuvaa ainoastaan sen pisteen tilannetta. Tämän takia mittauspisteet tulee kohdentaa kriittisiin ja edustaviin paikkoihin sekä tehtävä riittävästi mittauksia. Näin rakenteiden tilasta saadaan riittävän tarkka käsitys. (Kalliainen ym. 2011, 86.)

11.1 Loadman kannettava pudotuspainolaite

Loadman on kevyt kannettava pudotuspainolaite, joka mittaa laitteen sisällä olevan painon pudottamisen aiheuttamaa painumaa. Laitetta voidaan käyttää kaikilla rakennustyömailla ja kaikenlaisilla rakenteilla. Sillä voidaan tehdä kantavuus- ja tiiviyssmittauksia myös niissä kohteissa, joihin muilla mittalaitteilla ei päästä. Kannettavan pudotuspainolaitteen merkittävimmät edut ovat sen helppo liikuteltavuus ja mahdollisuus mitata myös pienessä tilassa. Toisaalta harvemmin kenttä- ja tiekohteissa tilanpuute on ongelma. (Kalliainen ym. 2011, 86.)

Pudotuspainolaitteella voidaan mitata tehokkaasti noin 1,5 kertaa kuormituslevyn halkaisijan. Näin ollen kevyellä pudotuspainolaitteella ei saada mitattua kuin rakenteen pinta osista ohuita kerroksia. Tämän takia pudotuspainolaitteella tehdyt kokeet Jukolan betonirakenteesta antoivat hyvin kantavia arvoja. Jätebetonista tehty rakenne oli pinnasta hyvin kova, koska betoni hydratoitui eli kovettui kuivumisen jälkeen. Näin ollen pintarakenne oli hyvin kova ja tiivis, mutta pohjamaa edelleen pehmeä ja joustava kuin ”vatsanahka”. Tästä johtuen kevyt pudotuspainolaite näytti kantavia arvoja, koska mittalaitteen mittaussyvyys ei ylettänyt kun rakenteen pintaosiin. (Kalliainen ym. 2011, 87.)

11.2 Levykuormituskoe

Levykuormituslaitteen käytöstä on pitkä kokemus kantavuusmittauksessa. Laitteen etuna on, että se käy yleisesti ottaen kaikille materiaaleille ja materiaalin rakeisuus ei vaikuta mittaustuloksiin. Levykuormituslaitteella saadaan selvitettyä luotettavasti rakenteen kantavuus ja tiiviyssuhde luotettavasti. (Kalliainen ym. 2011, 91.)

Levykuormituslaitteen luotettavuudesta huolimatta, sillä on myös heikkoutensa. Niitä ovat ainakin mittaukseen kuluva aika. Aikaa kuluu levyn tasaamiseen ja vastapainon asetteluun. Levykuormitus koe vaatii runsaasti tilaa mittaukseen tarvittavan vastapainon takia (kuva 41). Kyseinen koe on varsin pitkä verrattuna pudotuspaino kokeeseen. Levykuormituskokeen runsaasta ajankäytöstä huolimatta, saadaan vain kuitenkin pistemäinen mittaustulos. (Kalliainen ym. 2011, 91.)

11.3 Jyrämittarit

Jyrän tiiviysmittarin mukaan, tiiviysarvot kasvoivat tasaisesti ylityskertojen mukaan. Yli 8 ylityskerran jälkeen jyrä alkoi hieman hyppiä, minkä takia mittarin lukemat pienenevät. Tämä ei välttämättä kerro rakenteen kokonaisjäykkyyden heikentymisestä vaan jyrän heilahtelusta ja ajotavan muutoksesta. Samalla valssi murskasi betonimursketta todella hienoksi, mikä ei ainakaan parantanut tiiviys tuloksia. Alla olevasta kuvasta voi huomata, että jyrän valssi ei uppoa rakenteeseen, vaikka pohjamaa onkin hyvin pehmeää. Tämä johtuu siitä, että pulveroitua betonimurske kovettui tiiviiksi kentäksi sateiden ja tamppaamisen ansiosta. Kenttää tiivistettiin täyttötöiden yhteydessä ajamalla kaivinkoneella aluetta edestakaisin.



Kuva 45. Rakenteen tiivistystä jyrällä.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa betonijätteen hyödyntämisestä maanrakentamisessa, dokumentoida eri työvaiheita ja kantavuus kokeiden suorittaminen. Työ alkoi kuitenkin vaikeuksien kautta, koska Maansiirtoliike R. Heiskaselta puuttui kaivinkoneenkuljettaja. Rekrytoinnin jälkeen saimme kuljettajan, mutta kuukauden jälkeen hän otti lopputilin. Olimme taas ilman kuljettajaa. Sitten apuun tuli Heiskasen tuttu yksityisyrittäjä, jota pyysimme urakoimaan meille. Hän tuli murskaamaan betonia, mutta hän toi oman koneen mukanaan, koska hän ei jaksanut vaihtaa pulverointilaitetta kauhaan ja toisinpäin. Vaihtotoimenpiteissä meni aina hyvää työaikaa hukkaan.

Teollisuustonttien raivaaminen ja kaivaminen suunnitelmissa esitettyihin korkomerkintöihin tehtiin nopeasti. Pari viikkoa työmaan aloituksen jälkeen aloitettiin betonijätteen toimitus. Jätebetonia oli varastoitu Lujabetonin varastokentälle yli sata kuormaa. Tämän ansiosta saimme ensimmäisen täyttökerroksen tehtyä teollisuustontille yllättävän nopeasti. Täyttötöiden yhteydessä kokeilimme erilaisia työmenetelmiä. Töitä tehtiin toisinaan yhdellä kaivinkoneella toisinaan taas kahdella, kokeilimme myös kahta erilaista seulakauhaa, hydraulisesti kallistuvaa kauhaa sekä kiinteää tasa-huulilevystä kauhaa. Täyttötöitä oli tehtävä siten, että tontti kuivuu ja kaltevuudet ovat oikeaan suuntaan, joka kerroksessa. Huolella tehtyjen täyttökerrosten ansiosta tontti ei joutunut veden valtaan kovallakaan sateella.

Täyttötöiden jälkeen tiivistimme kentän täryjyrällä ja ylityskertoja oli keskimäärin viisi. Jyrän tiivystämättömän mukaan betonikenttä oli paikoitellen hyvin tiivistä. Tämän jälkeen teimme vielä kantavuuskokeita kahdella menetelmällä, pudotuspainolaitteella ja levykuormituskokeella. Kyseisillä laitteilla saadut arvot olivat hyviä ja ensimmäisestä täyttökerroksesta tuli hyvin kantava. Betonijätteellä tehdyn ensimmäisen teollisuustontin esirakentaminen onnistui. Tontti tiivistyy vielä ajan kanssa. Täyttötöiden yhteydessä huomattiin, että noin muutamassa kuukaudessa juokseva betoniliete kovetui, mutta esimerkiksi vuoden jälkeen betonikenttä on varmasti vielä kovempi. Näin ollen kantavuuskokeiden tekeminen myös tulevaisuudessa voisi olla aiheellista. Betonin hyötykäytöstä on kuitenkin paljon kokemusta maailmalla, mutta jokainen työmaa on yksilöllinen ja olosuhteet ovat aina erilaiset. Myös mahdollisten haitta-aineiden tutkiminen jälkeinpäin voisi olla aiheellista, vaikka betonia ei pohjavesialueella käytettäisi. Yhteistyö toimi saumattomasti Lujabetonin, Siilinjärven kunnan ja Maansiirtoliike R. Heiskasen välillä. Saatujen tulosten ja kokemusten mukaan betonijätehanketta tullaan varmasti jatkamaan Jukolan teollisuusalueen muillakin tonteilla sekä Radantaoksen alueella.

Ympäristöasioita tarkastellen rakentaminen onnistui hyvin, koska betonin pulveroinnista ei tullut juurikaan meteliä lähiasukkaille. Kaivinkoneen työskentelystä tuli enemmän ääntä kuin itse pulveroinnista. Ainoastaan kuormien kippaamisesta syntyi kovempia ääniä. Ennakkoluuloista huolimatta betonin pulveroinnista ei tullut pölyä. Kovalla tuulella ja helteellä muodostui pölyä. Pöly haittasi silloin työn tekoa ja lähiasukkaat sanoivat, että ikkunat likaantuivat. Alun perin myös mietimme, että likaantuuko Jukolantie kuorma-autojen renkaisiin tarttuneesta betonilietteestä. Yllättävää kyllä ei edes kovalla sateella asfaltitite sotkeutunut pahasti. Pientä sotkua tuli, mutta sitä tulee väistämättä kaikilla työmailla. Ainut huomio on, että kenttää olisi pitänyt kastella ajoittain, keskellä kesää kovilla helteillä.

Betonijätehanke on tuonut säästöä Siilinjärven kunnalle, koska se on saanut ilmaista rakennusmateriaalia. Myös Lujabetonin jätebetonin käsittelykustannukset ovat pienentyneet huomasti, koska kuljetusmatkat ovat 30 kilometrin sijasta 5 kilometriä ja betonin murskauskustannukset ovat edulliset. Maansiirtoliike R. Heiskanen on saanut tulevaisuutta ajatellen hyvää työkokemusta sekä tietoa ja taitoa betonijätteen hyödyntämisestä maanrakentamisesta.

Tutkimuksen ja kokemuksen perusteella teollisuustontin esirakentaminen onnistui erinomaisesti, koska uusimman tiedon mukaan koetontti on jo myyty. Varsinainen rakentaminen alkaa jo Kesäkuun lopulla, vaikka rakennusaikaa on sopimuksen mukaan 2013 asti. Tulevaisuutta ajatellen rakennuspaikalle voisi tuoda kiinteän murskausaseman, koska betonijättemäärät ovat suuret. Käsiteltävät betonijättemäärät ovat valtavia, näin ollen murskausasema tulee luultavasti halvemmaksi kuin kaivinkoneella pulveroiminen. Murskausasemalla saadaan tasalaatuista materiaalia ja raekokoa voidaan vaihdella tarpeen mukaan. Siilinjärven kunnan kanssa on myös jo sovittu muiden tonttien rakentamisesta. Seuraavien tonttien raivaaminen aloitetaan Joulukuun alussa 2011. Koerakentamisen perusteella Maansiirtoliike R. Heiskanen on kerännyt hyödyllistä tietoa betonin murskaamisen hinnoittelusta, ensimmäinen tontti hinnoiteltiin hieman alakanttiin. Kokemuksen myötä Maansiirtoliike R. Heiskanen voi pyytää tulevista betonijäte työmaista suuremman hinnan.

LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. *Direktiivit Euroopan unionin varallinen lehti* 22.11.2008. [viitattu 3.8.2011]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:fi:HTML>

Eskola, P., Mroueh, U.-M., Juvankoski, M. & Ruotoistenmäki, A. 1999. *Maarakentamisen elinkaarivaihto- ja -arviointi*. VTT: Espoo.

Hakari, M. 2007. *Sivutuotteiden maarakennuskäytön ohjeistus – betonimurske ja pääkaupunkiseudun kivihiihituhkat*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö [viitattu 6.6.2011]. Saatavilla: http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakennus/Pohja/D_Hakari_Miikka.pdf.

Hartikainen, O-P. 2002. *Maarakennustekniikka*. Helsinki: Otatieto.

Hautalahti, P., Halkola H. & Puumalainen N. 2007. *Kivikon teollisuusalueen stabiloinnin koerakentaminen*. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto. [verkkodokumentti] [viitattu 7.7.2011]. Saatavilla: <http://www.hel.fi>

Helsingin kaupungin Ympäristökeskuksen www-sivut 2005 [Viitattu 2.8.2011]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/hki/ymk/fi/Yritykset>

Hotanen, S. 2005. *Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa*. Helsinki: Nykypaino Oy.

Lausunto jäteverotuksen kehittäminen – muistiosta, Infra ry [Viitattu 2.8.2011]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/2802_Jteverotuksenkehittminen_Infrarylausunto300609.pdf

InfraRYL 2006. *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*. Osa 1, Väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustieto Oy

Inkeröinen, J. & Alasaarela, E. 2010. *Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa*. Ympäristöministeriön raportteja 13/2010. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.7.2011]. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=359266&lan=fi>

Jäteasetus A 22.12.1993/1390. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 3.8.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931390>

Jätelaki L 1993/1072. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 21.6.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>

Jäteverolaki L 2010/1126. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 3.8.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126>

Kalliainen, A., Luomala, H. & Jäniskangas, T. 2011 *Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2011.

Kivekäs, L. 1999. *Betonin Kierrätys*, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab
Artikkeli "Betonin ja betonirakenteiden ympäristövaikutukset". [verkkajulkaisu]. [viitattu 23.7.2011]
Saatavilla: <http://www.mcit.se/sgy/betolei.htm>

RIL 166, *Pohjarakenteet*. 1986. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

Siika, T. 2006. *Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus*. Helsingin kaupungin ympäristötuotanto Katulaboratorio.

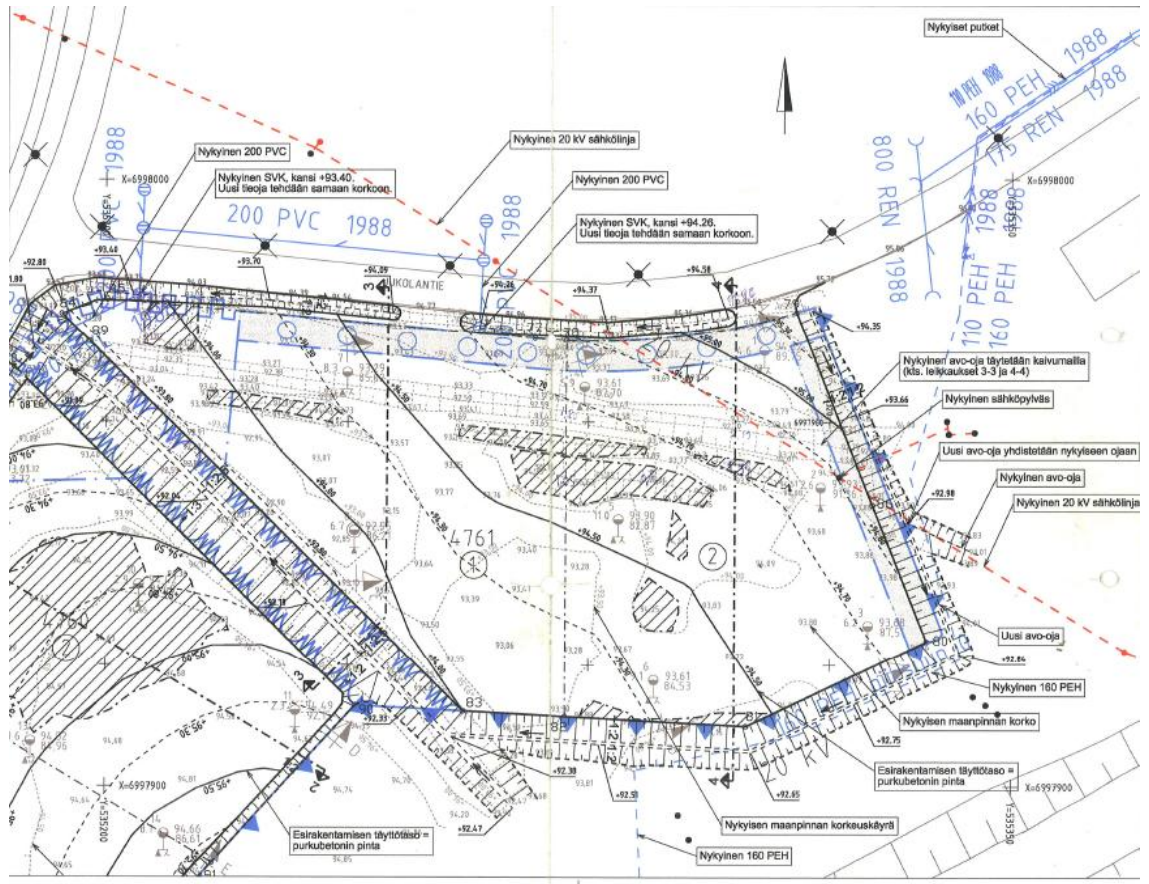
Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa A 28.6.2006/591. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 10.7.2011]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista P 4.9.1997/861. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 29.6.2011]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970861>

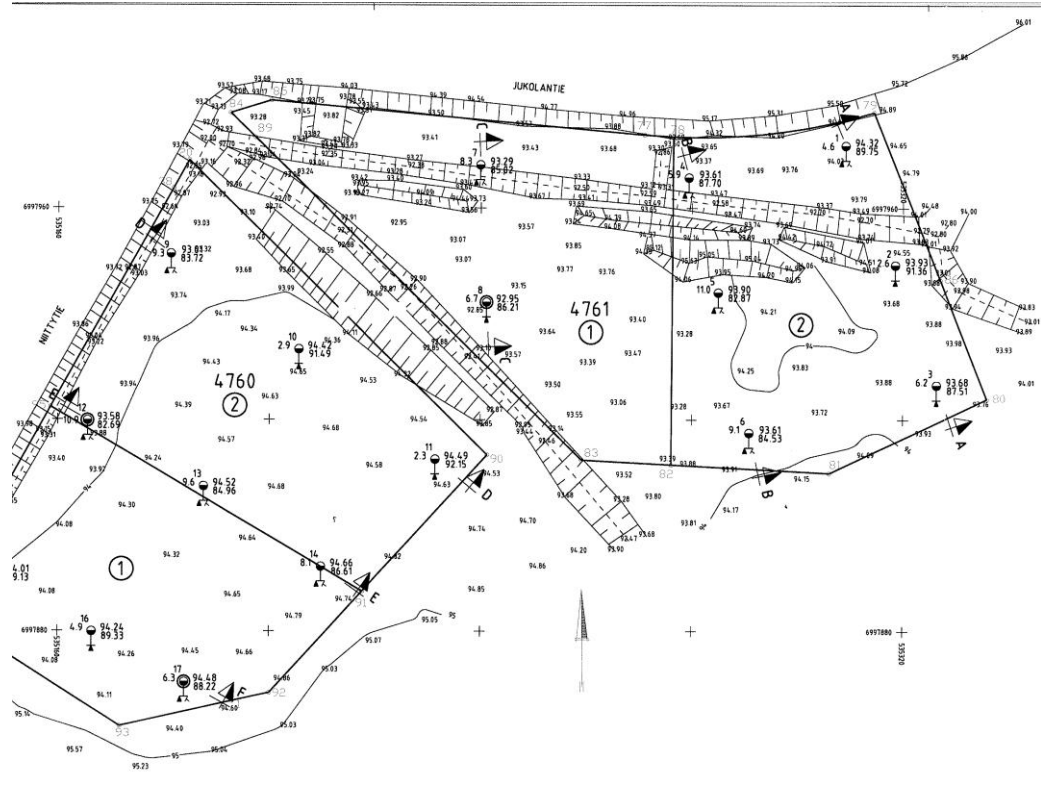
Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. & Mroueh, U. 2005. *Betoni- ja purkujätteiden käyttö maarakentamisessa - ympäristökriteerit*. Helsinki: ympäristöministeriö

Ympäristönsuojelulaki L 2000/86. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 17.6.2011]. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

Esirakentamisen tasauspiirustus.



Pohjatutkimuskartta





www.savonia.fi
