

TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ
MAARAKENTAMISESSA

CAIM-hanke

Hannu Juola

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Hannu Juola	Vuosi	2018
Ohjaaja(t)	Pekka Kämäräinen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö maarakentamisessa		
Sivu- ja liitesivumäärä	66 + 30		

Opinnäytetyöni tavoitteena oli tutkia kiertotalouden mahdollisuuksia maarakentamisessa sivutuotteiden hyötykäytön perspektiivistä. Kemin kaupungin ja Lapin ammattikorkeakoulun yhteisen CAIM-tutkimushankkeen kautta vertailtiin kolmea eri teollisuuden sivutuotetta rinnakkain samassa rakennuskohteessa. Opinnäytetyössä selvitettiin sivutuotteiden lainsäädäntöä, ominaisuuksia ja eroavaisuuksia sekä toisiinsa että luonnonmateriaaliin verrattuna.

Työssä esiteltiin kiertotalouden mahdollisuuksia Suomessa nykyhallinnon asetamien tavoitteiden mukaisesti. Lisäksi työssä esiteltiin sivutuotteiden hyötykäytön lainsäädäntöä, asetuksia sekä riskiarviointia julkaistujen raporttien ja tutkimuksien pohjalta. Raporttien ja aiempien tutkimusten tarkastelun lisäksi tehtiin kenttätutkimusta CAIM-hankkeessa routaseurantaa termisen talven läpi ja laboratoriotutkimuksia.

Tulokset osoittivat sivutuotteiden potentiaalin rakennusmateriaaleina. Niiden ominaisuudet suodatinkerroksena ovat kilpailukykyisiä luonnonmateriaaleihin verrattuna. Eristävyys on sivutuotteilla jopa parempi samanarvoisissa kerroksissa. Lainsäädäntö ja asetukset ovat kehittyneet viime vuosina, ja oikein tulkittuna ne eivät rajoita toimintaa vaan mahdollistavat sitä. Kun asetusten periaate ja lähtökohdat ymmärretään, hyötykäytön suurin rajoite on lainsäädännön sijaan varautunut suhtautuminen kiertotalouteen.

Avainsanat

kiertotalous, sivutuote, kuona-aine, pohjatuhka, lentotuhka, ympäristökriteerit, haitta-ainepitoisuudet

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Hannu Juola	Year	2018
Supervisor	Pekka Kämäräinen		
Subject of thesis	Utilization of Byproducts in Earth Construction		
Number of pages	66 + 30		

The thesis studied the possibilities of circular economy in earth construction, through the utilization of byproducts. The objective was to compare the attributes of three byproducts in one common location, used in a research project conducted by the town of Kemi and the Lapland University of Applied Sciences. The objective was also to examine the legislation of byproduct utilization as well as the attributes and the differences between the studied materials.

The possibilities of circular economy were introduced through the set agendas of the Finnish government. Additionally, the thesis examined the legislation, the regulation and risk assessment of the byproduct use through published articles and reports. The introduction of utilization was re-enforced with the field examination results of the CAIM research project.

The results of this thesis showed the potential of these byproducts as a construction material. Their properties as an insulation layer are more than promising. The field studies showed that with an equal layer thickness the insulation with these byproducts was superior to the natural materials. The legislation and regulation of byproduct use has evolved from restricting to enabling. When the principals and the basis of legislation are understood, the largest restriction in byproduct use is in attitudes.

Key words

byproduct, circular economy, bottom ash, slag, environmental criteria, toxicant

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KIERTOTALOUS	9
2.1	Kiertotalous Suomessa	9
2.2	Sivutuote.....	10
3	TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ TIERAKENTAMISESSA	12
3.1	Euroopan unionin jätepolitiikka	12
3.2	Suomen kansallinen jätepolitiikka	13
3.3	Ympäristölupaan perustuva hyötykäyttö	14
3.4	Ilmoitusmenettelyn soveltaminen	15
4	SUOMESSA SOVELLETTAVAT SIVUTUOTTEIDEN YMPÄRISTÖKRITEERIT	16
4.1	Ympäristökriteerien lähtökohdat	16
4.2	Liukoisuusraja-arvojen johtaminen	18
5	MAARAKENTAMISESSA KÄYTETTÄVIEN TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN RISKINARVIOINTI.....	21
5.1	Materiaaliominaisuudet	21
5.2	Haittatekijöiden mahdolliset toksiset vaikutukset	23
6	SIVUTUOTTEIDEN MAARAKENNUSKÄYTÖN ELINKAARIARVIOINTI.....	26
6.1	Elinkaarianalyysi	26
6.2	Sivutuotteiden hyötykäytön vaiheita.....	27
6.3	Ympäristökuormitukset ja -vaikutukset.....	28
6.4	Elinkaaren aikaisten ympäristökuormitusten arviointi	29
7	CAIM-HANKE	31
8	OKTO-ERISTE	32
8.1	Alkuperä.....	32
8.2	Ominaisuudet.....	34
9	FILL-R-KEVYTKIVIAINES	36
9.1	Alkuperä.....	36

9.2	Ominaisuudet.....	38
9.3	Haitta-ainepitoisuudet	38
10	POHJATUHKA.....	40
10.1	Alkuperä.....	40
10.2	Ominaisuudet.....	42
10.3	Haitta-ainepitoisuudet	42
11	KOULULAISENPOLKU	44
11.1	CAIM-hankkeen rakennussuunnitelma	44
11.2	Rakennusvaiheen haasteet	46
11.3	OKTO-1	47
11.4	Hiekka.....	48
11.5	Pohjatuhka.....	50
11.6	OKTO-2	52
11.7	Fill-R	53
12	TULOKSET.....	55
12.1	Pakkasmäärä ja routamittaukset.....	55
12.2	OKTO-1	57
12.3	Hiekka.....	58
12.4	Pohjatuhka.....	59
12.5	OKTO-2	60
12.6	Fill-R	61
13	POHDINTA	62
	LÄHTEET.....	63
	LIITTEET	66

ALKUSANAT

Suuri Kiitos Leeamaria Välitalolle, Jarmo Alaojalle ja Pekka Kämäräiselle avusta, vinkeistä ja neuvoista tämän prosessin aikana.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

RT	Rakennustieto
BREF	Best available techniques Reference
MARA	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa
YSA	ympäristönsuojeluasetus
YSL	ympäristönsuojelulaki
LCA	Life Cycle Assessment
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
EU	Euroopan unioni
SITRA	Suomen itsenäisyyden juhlarahasto
AIKO	Alueelliset innovaatiot ja kokeilut- rahasto

1 JOHDANTO

Kiertotalouden mahdollisuudet ovat laajat. Suomen valtio on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet kiertotalouden kehitykselle sekä Suomen nostamiselle kiertotalouden kärkimaaksi. Teollisuuden energiantuotanto sekä luonnonmateriaalien jalostus synnyttävät vuosittain suuria määriä sivutuotteita. Kun kiertotalouden ytimessä on tuotteiden elinkaaren maksimointi ja tuotantoprosessien tehostaminen, tulee teollisuudelle mahdollisuuksia sivutuotteidensa kehitykseen. Näiden tuotteiden hyötykäyttö mahdollistaa tuottajille lisäansioita kulujen sijaan.

Maarakentamiseen käytetään vuosittain suuria määriä luonnonkiviaineita rakennuskohteissa ympäri Suomen. Tavoiteltaessa luonnonmateriaalien kestäväää käyttöä tulee materiaaleille löytää vaihtoehtoja. Teollisuuden sivutuotteet muodostavat hyvän vaihtoehdon luonnonmateriaaleille. Suurien tuotantovolyymien sekä ympäri maan tapahtuvan valmistuksen myötä vaihtoehto on myös realistinen. Kun käytännön ratkaisut ovat mahdollisia, sivutuotteiden yleistyminen riippuu enää ajatusmallien muuttumisesta.

Sivutuotteiden käyttöä säätelee jäte- ja ympäristölain asettamat ehdot ja säännökset. Kun jäte- ja ympäristölain säädöksiä asettamat kriteerit täyttyvät, on sivutuotteiden hyödyntäminen helppoa. Käytön reunaehdot on tiiviisti sidottu haitta-ainepitoisuuksien raja-arvoihin sekä liukoisuuteen. Tämän ymmärtäminen on keskeisessä roolissa sivutuotteiden hyötykäytön tehostamisessa.

Tämä opinnäytetyöni tutustuu kiertotalouden nykytilaan Suomessa. Käsittelen sivutuotteiden hyötykäytön merkitystä kiertotaloudelle ja hyötykäyttöön kohdistuvia kriteerejä ja mahdollisuuksia. Selvitän, mihin jäte- ja ympäristölainsäädännön kriteerit perustuvat, kuinka kriteerien mukainen hyötykäyttö käytännössä on mahdollista sekä minkälaisia elinkaariarvioita ja riskejä sivutuotteisiin kohdistuu.

Taustoitukseen lisäksi opinnäytetyössäni tutustutaan kolmeen teollisuuden sivutuotteeseen CAIM-tutkimushankkeen kautta. OKTO-eristeeseen, pohjatuhkaan sekä Fill-R-kevytkiviaineeseen. Vertailen sivutuotteita rinnakkain samassa kohteessa yhden termisen talven yli kestävässä routatutkimuksessa, laboratoriokohteissa sekä käytännön rakentamisessa. Tutkin, miten näiden yleisten sivutuotteiden ominaisuudet ja toimivuus eroaa toisistaan maarakentamisessa.

2 KIERTOTALOUS

2.1 Kiertotalous Suomessa

Ihmisen toiminta ja teollisuuden voimakas kasvu vie kohti maapallon kantorajoja. Sen sijaan, että tuotamme uusia tuotteita kuin liukuhihnalta, on ajatus käännettävä omistuspohjaisesta kulutuksesta palveluiden käyttämiseen. Tässä kiertotalousajattelussa tuote ei omista vain yksinkertaista elinkaarta, jonka jälkeen tuotteen hyöty on mitätön. Tuotteesta suunnitellaan lähtökohtaisesti sellainen, että se pysyy käytössä mahdollisimman pitkään ja alkuperäisen elinkaaren päätyttyä tuote säilyy kierrossa muuttaen käyttötarkoitustaan. Tämä tehostaa raaka-aineiden hyötykäyttöä ja hidastaa kulutuksen kokonaisvauhtia. (Kiertotalous 2018; Kierrolla kärkeen 2016.)

Kiertotaloudessa käsitellään tuotteiden elinkaaren monimuotoisuuden lisäksi kierrätystä. Kierrätyksessä valmiista jätteestä kehitetään tuotteita, tai jäte jatkokäsitellään siten, että sen elinkaari saa jatkoa. Tämän myötä jätteelle muodostetaan arvo, joten jäte tuottaa sen sijaan että kuluttaa kaatopaikkasijoituksessa muodostuvien kulujen myötä. Kolmantena kiertotalouden muotona on sivutuotteiden kehitys ja hyötykäyttö. Sivutuotteiden tehokkaalla käytöllä ja tuotekehityksellä teollisuus saa suuremman hyödyn alkuperäisestä toiminnastaan. Sivutuotteet sekä jätteet ja niiden kierrätys ovatkin usein toisiaan lähellä, mutta eivät sama käsite. (Kiertotalous 2018; Kierrolla kärkeen 2016.)

Suomen nykyisen hallituksen yksi tavoitteista on nostaa Suomi kiertotalouden kärkimaaksi vuoteen 2025 mennessä. Vuoden 2014 lopussa aloittanut Sitran kiertotaloustyö ajaa päämäärää tavoittelemalla Suomesta kiertotalousyhteiskuntaa jo 2019 loppuun mennessä. Voimakasta kiertotaloutta vauhditetaan nykyisillä puhtaiden ratkaisujen kehittämiseen ja biotalouteen keskittyvillä hankkeilla. Hallituksen laskelmien mukaan kiertotalous tuo 2030-vuoteen mennessä noin 3 miljardin euron vuotuisen arvonlisän kansantaloudellemme. Sitra, laaja ministeriöiden verkosto sekä ryhmä yksityisiä toimijoita ovat laatineet Kiertotalouden tiekartan. Sen työn tuloksena on syntynyt suunnitelma, jota on vahvistettu toimenpideohjelmalla. Suunnitelma hyödyntää Suomen perinteisiä vahvuusalueita: metsien

käyttöä, ruuantuotantoa, teollisuutta, liikennettä ja hallintoa. (Kierrolla kärkeen 2016.)

2.2 Sivutuote

Sivutuotteeksi luokiteltavien tuotteiden määrittely on tarkka. Vain tuotantoprosessissa syntyviä jäännöstuotteita, jotka syntyvät päätuotteen ohella, voidaan luokitella sivutuotteiksi. Tämä määritelmä ei rajaa ulos tuotteita, jotka syntyvät kulutuksen jäännöksenä, jätevirroista tai muusta yhdyskuntajätteestä. Sivutuotteeksi luokiteltavat tuotteet tulee tarkastella tapauskohtaisesti kokonaisarviona. Siinä täytyy ottaa huomioon jätelain tavoitteet sekä muut tapaukseen vaikuttavat tosiasialliset seikat. (Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia 2014.)

Sivutuotetta koskevat jätelain arviointiperusteet, joiden kaikkien tulee täytyä samanaikaisesti, ovat:

- *"Aineen tai esineen jatkokäytöstä tulee olla varmuus:*
 - *Jatkokäytön varmuutta voi osoittaa se, että materiaalilla on kysyntää (olemassa olevat pysyvät markkinat), tuottaja saa taloudellista hyötyä sivutuotteesta (verrattuna vastaaviin jätehuollon kustannuksiin) tai sivutuotteen tuottajan ja vastaanottajan välillä on pitkäaikainen sopimus. Aineen tai esineen positiivinen taloudellinen arvo ei yksistään riitä osoitukseksi jatkokäytön varmuudesta.*
 - *Suunnitelmallisuus voi olla osoituksena jatkokäytön varmuudesta. Suunnitelmallisuus osoittaa, että aineen tai esineen käytölle on olemassa tarve ja käyttökohteet sekä sen käytön tekniset edellytykset on yleisellä tasolla määritetty.*
 - *Sivutuote voidaan käyttää samaan tarkoitukseen kuin vastaava tarkoituksellisesti tuotettu tuote.*
 - *Vain mahdollisuus jatkokäytöstä ei ole osoitus jatkokäytön varmuudesta.*
- *Ainetta tai esinettä voidaan käyttää sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunneltu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti:*
 - *Jos materiaalia joudutaan käsittelemään jätteenkäsittelylle tarkoitettuihin tekniikoihin, ennen kuin se voidaan käyttää, voi se olla osoituksena materiaalin luokitukselta jätteeksi.*
 - *Tavallista teollista käytäntöä voi olla esimerkiksi materiaalin koon ja muodon muuttaminen mekaanisin menetelmin, suodattaminen, pesu, kuivaus tai jatkokäytön kannalta tarpeellisen aineen lisäys sekä laadunvalvontatoimet, jos vastaavantyyppistä käsittelyä tehdään myös neitseelliselle materiaalille.*
- *Aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana:*

- *Materiaalin tavanomaista pidempiaikainen varastointi jatkoproses-*
sointia varten voi olla osoituksena siitä, että kyse ei ole tuotantopro-
sessin olennaisesta osasta eikä sitä voida pitää sivutuotteena.
- *Jatkokäyttöä edeltävien tarvittavien toimien (ks. edellä tavanomai-*
nen teollinen käytäntö) tulee kytkeytyä tuotantoprosessiin (huomi-
oitava esimerkiksi toimialan BREF).
- *Materiaalin toimittaminen tuotantolaitoksen ulkopuolelle jatkokäsit-*
telyä varten voi olla osoitus siitä, ettei materiaali synny erottamatto-
mana osana tuotantoprosessia. Tuotantolaitosten erikoistuessa
tämä ei kuitenkaan kaikissa tapauksissa olisi aina osoitus tuotanto-
prosessien erillisyydestä.
- *Aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ym-*
päristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö ko-
konaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäris-
tölle.” (JL 5.2 §.)

Jos tuotannossa valmistuva tuote täyttää kaikki ylläolevat ehdot, on se sivutuote. Näin ollen sivutuote ei ole jätelaissa määritelty jäte, joten siihen ei kohdenneta jätelakia tai sen nojalla annettuja säännöksiä. (Jätelain eräiden säännösten tul-
kintalinjauksia 2014.)

3 TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ TIERAKENTAMISESSA

3.1 Euroopan unionin jätepolitiikka

Euroopan unionin jätestrategian mukaiset yleistavoitteet ovat ohjenuora, jonka mukaan esitykset lainsäädännön päivittämiseksi luodaan. Yleistavoitteet tarkistetaan noin kymmenen vuoden välein. Tämänhetkinen jätestrategia on laadittu 2015 ja on voimassa 2023 saakka. Yleistavoitteet sisältävät teemakohtaisia strategioita, joiden tavoitteina on mm. jätteiden synnyn ehkäiseminen, kierrätys sekä luonnonvarojen kestävä käyttö. Näiden strategioiden on sovittava yhteen keskenään ja yhdenmetytyn tuotepolitiikan kanssa. Tuotepolitiikan yhtenä tavoitteena on edistää tekniikoita, jotka kuluttavat vähemmän luonnonvaroja ja vähentävät luonnon pilaantumista. (Ojanen, Kilpeläinen & Reinikainen 2006, 9 – 14.)

Luonnonvarojen kestävä käytön strategia sisältää ympäristöä koskevan toimintaohjelman mukaan viisi tehtävää: ”1) arvio Euroopan unionin materiaali- ja jätevirroista, 2) poliittisten toimenpiteiden tehokkuuden sekä luonnonvaroihin ja jäteteeseen liittyvien tukien vaikutusten tarkastelu, 3) tavoitteiden ja päämäärien asettaminen luonnonvarojen käytön tehokkuudelle sekä käytön vähentämiselle, 4) sellaisten tekniikoiden edistäminen, jotka parantavat ekotehokkuutta ja raaka-aineiden, energian, veden ja muiden luonnonvarojen kestävä käyttöä ja 5) erilaisten toteutusvälineiden kehittäminen, esim. tutkimus ja luonnonvarojen käytön tehokkuuden indikaattorit.” (Ojanen ym. 2006, 9 – 14.)

Tämän myötä jätestrategian tavoitteena on vaikuttaa jäsenmaiden käytäntöihin esimerkiksi luomalla uusia kaatopaikkasijoitusta korvaavia vaihtoehtoja. Lisäksi pyritään vaikuttamaan kiertotalousajatteluun ja sitä kautta sivuvirtatuotteiden hyötykäyttöön. Tienrakennuksessa käytettävien jättemateriaalien kohdalla on kuitenkin huomioitava maaperän laatu ja pohjavesi. Suuritehoisten (yli 50 MW) polttolaitosten tuottamien sivuvirtatuotteiden käytöstä on säädetty oma BREF-asia kirja. Siinä määritellään sivutuotteiden hyödyntäminen ja uudelleenkäyttö parhaaksi vaihtoehdoksi jätteille. (Ojanen ym. 2006, 9 – 14.)

3.2 Suomen kansallinen jätepolitiikka

Jätteiden hyötykäyttöä koskeva lainsäädäntö kansallisella tasolla kuuluu jätelain (17.6.2011/646) piiriin. Siinä säädetään huolehtimisvelvollisuudet jätteiden synnyn ehkäisystä, sen määrän ja haitan vähentämisestä sekä jätehuollon järjestämisestä. Tämän lisäksi teollisuuden sivutuotteiden käyttöä maarakentamisessa ohjaa ympäristölainsäädäntö. Siinä tärkeimpänä ympäristönsuojelulaki (527/2014), jonka 4. luvussa säädetään ympäristöluvan tarpeesta eri toiminnoille. Sen mukaan jätteiden laitospolttaminen tai ammattimainen hyötykäyttö tarvitsee ympäristöluvan. Tie- ja maarakennushankkeissa ympäristölupakäytäntö on koettu usein liikaa aikaa vieväksi ja kalliiksi prosessiksi. Tämän takia hyödyntämiskelpoinen jäte jää usein käyttämättä. Jätteiden laitospolttamista tai ammattimaisesti hyötykäyttöä on kevennetty YSL 30§ 1 momentilla, jossa tietyillä poikkeuksilla voidaan käyttää ilmoituskäytäntöä alueelliselle ympäristökeskukselle. Tässä rajoitteena ovat mm. haitta-ainepitoisuusrajat, joita MARA-säädös luettelee. (Ojanen ym. 2006, 15 – 19.)

Vaikean byrokratian vastapainoksi Suomen valtio kannustaa jätteiden ammattimaisesti hyötykäyttöä verotuksellisin keinoin. Se lisää kannattavuutta verrattuna kaatopaikkasijoitukseen, sillä kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä on säädetty jäteverolaissa (495/1996). Sen mukaan verotus koskee kunnallisille tai toisten jätteilille perustettua yksityistä kaatopaikkaa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin jätteiden sijoittaminen yrityksen itse omistamalla maalle, mikä ei kuulu jäteveron piiriin. Tämä on suurten teollisuuskonsernien piirissä yleistä. Näin ollen jätevero ei koske suurteollisuuden jätteitä. Jätteiden hyötykäyttöön tulisi kannustaa myös muilla työkaluilla verotuksen ja potentiaalisen myyntivoiton lisäksi. (Ojanen ym. 2006, 15 – 19.)

Keventämällä ympäristölainsäädäntöä ja sen alle kuuluvaa lupa- ja ilmoituskäytäntöjä, valtio pystyisi tehostamaan jätteiden hyötykäyttöä. Jätteiden sijoitus kaatopaikoille vähenee, ja voimakkaan ympäristölainsäädännön myötä kaatopaikalle sijoitetaan vain teknisesti vaikeita jätteitä. Tähän kuitenkin lukeutuu metsä- ja energiateollisuudessa syntyviä tuhkia vuosi vuodelta enemmän. Syynä on ympä-

ristölainsäädännön raskas ja taloudellisesti kallis rakenne. Tiettyjen jätelajien, kuten teollisuuden tuottamien tuhkien, kohdalla lupamenettelyistä vapauttamisesta voitaisiin säättää kansallisilla asetuksilla. (Ojanen ym. 2006, 9 – 15.)

3.3 Ympäristölupaan perustuva hyötykäyttö

Ympäristölupa jätteiden hyödyntämiseen haetaan aluehallintovirastolta niissä tilanteissa, joissa jätettä käytetään vähintään 20 000 tonnia vuodessa (YSA 4.9.2014/713 1§.). Alle 20 000 tonnia vuodessa oleville määrille ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta (YSA 4.9.2014/713 2§). Tienrakentamiseen suhteutettuna tienstabilointiin kuluu noin 400 tonnia lentotuhkaa kilometriä kohti. Kunnan myöntämällä ympäristöluvalla voidaan stabiloida 12,5 km tietä. Tavanomaiseen tierakenteeseen kuluu noin 1600 tonnia lentotuhkaa kilometrillä. Kunnan ympäristöluvalla voidaan rakentaa noin 3,1 km tietä. Näin ollen pienet teiden rakenteen kunnostamiskohteet tai stabiloinnit voidaan teettää kunnan sisäisen ympäristöluvan mukaisesti. (Maijala 2005.)

Tierakennushankkeessa, jossa jätteen hyötykäyttöä varten anotaan ympäristölupa, tulee lupahakemuksessa kuvata jätteen hyödyntämistä ja käsittelyä varten selvitys seuraavista asioista:

1. *”hyödynnettäväksi tai käsiteltäväksi aiotun jätteen laadusta ja määrästä*
2. *alueesta, jolta jätettä aiotaan ottaa hyödynnettäväksi tai käsiteltäväksi*
3. *hakijan järjestämästä jätteen keräyksestä ja kuljetuksesta*
4. *jätteen hyödyntämisestä ja käsittelystä sekä kaaviopiirros hyödyntämisen tai käsittelyn kulusta*
5. *hyödyntämisen tai käsittelyn tuottaman jätteen lajista, laadusta ja määrästä sekä siinä syntyvän jätteen hyödyntämisestä tai käsittelystä*
6. *vakavaraisuudesta tai tarvittaessa vakuudesta tai muusta vastaavasta järjestelystä*
7. *hakijan käytettävissä olevasta alan asiantuntemuksesta.”*

(Ojanen ym. 2006; Maijala 2005.)

Tyypillisesti maarakennusasian lupaprosessiin kuluu aikaa muutama kuukausi. Esimerkiksi Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella tie- ja maarakennushankkeiden lupaprosessit kestävät vireillepanosta päätökseen noin kaksi kuukautta. Käsittelyaikaan vaikuttaa hankkeen laajuus sekä vaativuus. (Ojanen ym. 2006.)

3.4 Ilmoitusmenettelyn soveltaminen

Ympäristölupakäytännön vaikea ja raskas rakenne on todettu epätarkoituksenmukaiseksi jätteiden hyötykäytön kannalta maarakentamisessa. Osaltaan tämä on saanut aikaan ympäristöministeriön esityksen pohjalta YSL 30 §:n 1 momentin mukaisen valtioneuvoston asetuksen (591/2006) eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Tämä hallintomenettelyn keventäminen on mahdollistettu sen periaatteen pohjalta, että ympäristösuojelulain ja jätehuoltolain huolehtimisvelvollisuuksia ei rikota. Asetuksen soveltamisalaan kuuluu seuraavat maarakennustyöt:

1. *Yleiset tiet, kadut, pyörätiet, jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät, tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet*
2. *Pysäköintialueet*
3. *Urheilukentät sekä virkistys- ja urheilualueiden reitit*
4. *Ratapihat sekä varastointikentät ja tiet teollisuusalueilla, jätteenkäsittelyalueilla ja lentoliikenteen alueilla.*

(Ojanen ym. 2006, 23-27.)

Asetuksen mukainen ilmoitusmenettelyn soveltaminen edellyttää maankäyttö- ja rakennuslain mukaista hyväksytyä katusuunnitelmaa, lupaa tai ilmoitusta taikka yleisistä teistä annetussa laissa (243/1954) tai maantielaisissa (503/2005) tarkoitettua ilmoitusta. Ilmoitusmenettelyä ei sovelleta vedenhankintaan tarkoitetuilla pohjavesialueilla. (Ojanen ym. 2006, 23 – 27.)

Ilmoitusmenettelyn vaatimukset jätteelle ovat vähintään samat kuin ympäristöluvassa. Tämän lisäksi jätteen tulee olla jätehuollollisesti merkittävä. Merkittävyydellä tarkoitetaan tässä jätteen teknistä kykyä korvata luonnonmateriaaleja ja käyttökelpoisuutta. Jos jäte täyttää asetuksen mukaiset edellytykset, on varmistettava, että hyödyntämiskelpoisuudesta on riittävästi käyttökokemusta ja perustietoa. Käyttökelpoisuutta voidaan osoittaa esimerkiksi jätteelle tehtävillä perusmäärittelytutkimuksilla eli karakterisoinnilla. (Mroueh, Wahlström, Laine-Ylijoki & Mäkelä 2006.)

4 SUOMESSA SOVELLETTAVAT SIVUTUOTTEIDEN YMPÄRISTÖKRITTEERIT

4.1 Ympäristökriteerien lähtökohdat

Sivutuotteita arvioitaessa haitta-ainepitoisuuksien vertailutasot riippuvat saatavan tiedon ja tutkimuksien määrästä. Tästä syystä vertailutasot voivat olla kansallisia tai muissa maissa esitettyjä ohjearvoja. Ohjearvot maaperässä ovat haitta-aineen tai aineryhmän pitoisuuksia, joilla määritellään maaperän saastuneisuus. Ohjearvoiksi voidaan luokitella joko tavoite-arvoja tai raja-arvoja. Tavoite-arvoiksi luokitellaan pitoisuudet, joiden ekotoksilogiset riskit ovat merkityksettömiä. Tarkan määritelmän mukaan se tarkoittaa, että 95 % lajeista on turvassa 95 % varmuudella. (Sorvari 2000; Assmuth 1997.)

Raja-arvot ovat suurempia kuin tavoitearvot. Kansallisella tasolla, Valtionneuvoston asetuksen mukaan kaikki tavoitearvot alittava maaperä katsotaan saastumattomaksi. Jos yksi tai useampi haitta-aine ylittää raja-arvon, katsotaan maa-aines saastuneeksi. Mikäli haitta-ainepitoisuudet osuvat raja-arvon ja tavoitearvon väliin, luokitellaan maa-aines mahdollisesti saastuneeksi. Tämän yksinkertaisen luokittelun perusteella pystymme päättämään sivutuotteen maaperäsuojelliset perusteet. Tavoitearvot alittavan sivutuotteen katsotaan olevan haitta-ainepitoisuuksiltaan puhdasta maata. (Sorvari 2000; Seppänen 2000.)

Sivutuotteiden haitta-ainepitoisuudet ja niiden olomuodot vaihtelevat sivutuotteen valmistusmenetelmän myötä. Valmistusmenetelmä myös vaikuttaa niiden liukoisuuteen. Esimerkiksi korkeassa lämpötilassa valmistettujen sivutuotteiden, kuten kuona-tuotteet, haitta-aineet ovat hyvin stabiilissa ja liukenemattomassa muodossa. Liukoisuus sekä haitta-ainepitoisuudet määrittelevät sivutuotteen kaatopaikkakelpoisuuden. Pitoisuuden raja-arvojen mukaan tuote on kaatopaikkakelpoista tai ongelmajätettä. Kaatopaikkakelpoisten jätteiden välillä on kuitenkin paljon eroja. Tämä johtuu kaatopaikan luokituksesta. Tästä syystä sivutuotteen käytökelpoisuutta on vaikea johtaa kaatopaikkakelpoisuuden kautta. (Sorvari 2000; Mroueh 1996; Ympäristöministeriö 1997.)

Maa-aineksen pitoisuudet ovat yleensä johdettu maaperän kynnyks- ja riskiperusteisista raja-arvoista. Tämän vuoksi ne eivät sovellu suoraan sivutuotteen kelpoisuuden arviointiin. Ne kuitenkin toimivat suuntaa-antavina arvoina, kun halutaan määrittää sallitut kuormitukset sivutuotteelle. Niiden avulla voidaan myös arvioida sivutuotteen aiheuttaman kuormituksen merkitystä maaperässä. (Sorvari 2000.)

Liukoisuus on merkittävin tekijä sivutuotteilla. Haitta-aineiden liukoisuus ja määrä kuvaavat parhaiten maarakennuksessa käytetyn, peitetyn sivutuotteen ympäristölle kohdistuvia haittavaikutuksia. Liukoisuuden arvioinnissa ongelmana on tulosten laatu. Suurin osa kokeista suoritetaan laboratorio-olosuhteissa, joten tulokset joudutaan ekstrapoloimaan pitkälle ajanjaksolle arvioitaessa haitta-aineiden todellista vaikutusta. Rakennuskohteessa sivutuotteeseen kohdistuu sekoitumista ja laimentumista. Jotta nämä pystytään ottamaan huomioon, lisätään liukoisuustuloksiin kerroinluku. Tämä heikentää kokonaistuloksia, sillä yleispäteviä kertoimia on vaikea muodostaa, ja niiden sovellettavuudessa joudutaan aina tekemään kompromisseja. (Sorvari 2000; McBath 1995.)

Liukoisuusarvojen vaikutus vesien laatuun ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen haitta-aineiden raja-arvoihin. Suomessa veden laatuvaatimukset määritellään terveysriskeihin ja teknis-esteettisiin riskeihin perustuen. Näiden mukaan säädetään laatuvaatimukset ja suositukset talousvedelle, jolloin ne rajoittuvat vedenhankintaan soveltuviin pintavesiin sekä pohjaveteen. Kun muuhun kuin vedenhankintaan soveltuvilla vesistöillä ei ole tarkkoja laatukriteerejä, ei vesistöjen laatuvaatimukseen perustuvia raja-arvoja voida käyttää muualla kuin vedenhankintaan kaavoitetulla alueella. Tästä johtuen sivutuotteiden sijoittamista pohjavesialueille pyritään välttämään. (Sorvari 2000, 58 – 64.)

Sivutuotteen ympäristökelpoisuus voidaan määrittää myös sijoitusympäristön ominaisuuksien mukaan. Tässä tärkeimpiä ominaisuuksia ovat pohjavesimuodostumat, vesistöjen etäisyydet sivutuotteeseen sekä maaperän laatu. Maaperän laatu voi vaihdella suuresti. Pelkästään asutuksen määrä alueella voi vaikuttaa maaperään. Tästä johtuen maaperän laatu määritetään näytteidenotolla ja analyysityöllä. Maarakennuksessa alueet voivat kuitenkin olla suuria, kuten tieran- kennuskohteissa. Ympäristökelpoisuuden määrittäminen sijoitusympäristön mukaan tulisi tällöin kalliiksi suuren näytteidenotto määrän vuoksi. (Sorvari 2000, 58 – 64.)

4.2 Liukoisuusraja-arvojen johtaminen

Sivutuotteiden liukoisuusraja-arvot määritellään sijoitustyyppin mukaan. Päälystetyn, peitetyn sekä kiinteätetyn rakenteen raja-arvot eroavat toisistaan, koska suotoveden määrä on jokaisessa eri. Liukenemismekanismi ja liukoisuusmäärä ovat suhteellisia suotoveden määrään. Raja-arvomäärittelyksiä muodostettaessa parametreiksi valittiin keskimääräisiä suomalaisia ympäristö- ja ilmasto-olosuhteita. Sivutuotteiden ominaisuudet valittiin teknisesti käyttökelpoisten tuotteiden ominaisuuksista. (Sorvari 2000, 69 – 77.)

Parametriarvoiksi Jaana Sorvarin raportin mukaan on listattu seuraavat:

- 1) ”Sallitun kuormituksen määrittelyyn liittyvät parametrit
 - sallittu pitoisuusnousu α
 - materiaalin alapuolisen maakerroksen paksuus h_s
 - tarkasteluajanjakso J
 - materiaalin kerrospaksuus h
- 2) Sijoitusympäristöä koskevat parametrit
 - maaperän tavoitearvot T_s
 - maa-aineksen kuivatiheys ρ_s
 - materiaalin läpi suotautuvan veden määrä N_i
 - lämpötilaolosuhteet \rightarrow lämpötilakorjaustekijä f_{tem}
 - aika, jona materiaali on jatkuvasti kosteana x
 - maaperästä testeissä liukenevat haitta-ainepitoisuudet, E_{soil}
- 3) Sivutuotteen ominaisuuksia kuvaavat parametrit
 - materiaalin kuivatiheys d_c
 - haitta-ainekohtaiset kappaluvut k .”

(Sorvari 2000.)

Ympäristöolosuhteet parametriarvoissa ovat Suomessa erilaiset verrattuna suurimpaan osaan EU-maita. EU:n käyttämät yleiset parametrit määräytyvät maa-aineksen saveksen ja orgaanisen aineksen funktiosta. Tässä oletusarvot ovat 25 % ja 37 %. (Assmuth 1997; Seppänen 2000) Tämä vastaa tyypillistä silttimaata. Suomessa maaperäaineksesta yleisin on moreenipohjainen maa-aines. Moreenin osuus Suomen pinta-alasta on 54 % paksupeitteisenä ja 14 % ohutpeitteisenä. (Koljonen 1992.)

Laskukaavat parametrien määrittämiseksi:

Rakeinen sivutuote: (Aalbers ym. 1996.)

$$E_{\max}(L/S = 10) = E_{\text{soit}} + \frac{I_{\max}}{d_c \times h \times f_{\text{ext},n}} \quad (1)$$

$$I_{\max} = \frac{\alpha}{100} \times T_s \times \rho_s \times h_s \quad (2)$$

$$f_{\text{ext},n} = \frac{1 - e^{-\kappa \times \frac{J \times N_s}{d_c \times h}}}{1 - e^{-\kappa \times 10}} \quad (3)$$

Tässä

E_{\max} = yksittäisen haitta-aineen sallittu maksimiliukoisuus kolonnitestissä L/S-suhteessa 10 (mg kg^{-1})

L/S = liukoisuustestissä käytetty nesteen määrän suhde kiinteän näytteen määrään (l kg^{-1})

E_{soit} = korjaustekijä, joka ottaa huomioon maaperästä (luontaiset pitoisuudet) kolonnitestissä liukenevan haitta-aineen määrä (mg kg^{-1})

I_{\max} = sallittu maksimikuormitus maaperään määritellyn tarkasteluajan (J, vuosi) aikana (mg m^{-2})

d_c = jätemateriaalin kuivatiheys (kg m^{-3})

h = jätemateriaalista tehdyn rakennekerroksen kokonaispaksuus (m)

$f_{\text{ext},n}$ = ekstrapolointikerroin, jolla muunnetaan liukoisuuskokeen (L/S-suhte = 10) liukoisuus vastaamaan liukoisuutta tarkasteluajan J aikana

α = sallittu pitoisuusnousu jätemateriaalirakenteen alapuolisessa maakerroksessa (%)

T_s = tarkasteltavan haitta-aineen maaperän tavoitearvo (mg kg^{-1})

ρ_s = jätemateriaalirakenteen alapuolisen maakerroksen kuivatiheys (kg m^{-3})

h_s = tarkasteltavan jätemateriaalirakenteen alapuolisen maakerroksen paksuus (m)

J = tarkasteluajanjakso, jolle sallittu kuormitus on määritelty (a)

N_s = jätemateriaalirakenteen läpi suodautuvan veden määrä sijoituspaikalla (mm a^{-1})

κ = yksittäisen haitta-aineen liukenemisnopeutta kuvaava vakio, linearisoidun liukoisuuskäyrän kulmakerroin ($\ln c = \ln c_0 - \kappa \times L/S$; tässä c = haitta-aineen pitoisuus, mg l^{-3})

Kiinteytetty sivutuote: (Aalbers ym. 1996.)

$$E_{\max}(64d) = \frac{I_{\max}}{f_{\text{est,v}}(h, x\%, D_e) \times f_{\text{tem}}} \quad (4)$$

Tässä

E_{\max} = sallittu maksimipäästö 64 vuorokauden (d) diffuusiotestissä (mg m^{-2})

$f_{\text{est,v}}(h, x\%, D_e)$ = korjauskerroin, jolla liukoisuuskokeen (kesto 64d) tulos ekstrapoloidaan tarkastelu-aikaan J; tässä otetaan huomioon jätemateriaalin haitta-ainepitoisuuden pienenemisestä aiheutuva diffuusion heikentyminen ("exhaustion"), tarkastelu-aikana tapahtuvat diffuusiokertoimien (D_e) muutokset ja aika, jona materiaali on kosteana sijoituspaikalla (x%)

f_{tem} = korjauskerroin, joka ottaa huomioon eron laboratoriolämpötilan ja jätemateriaalin sijoituskohteessa vallitsevan keskimääräisen lämpötilan välillä

Kun diffuusiokertoimen muutosta ja haitta-aineen pitoisuuden muutosta ei oteta huomioon, kaava supistuu muotoon (Wahlström ja Laine-Ylijoki, 1997):

$$E_{\max}(64d) = \frac{I_{\max}}{24 \times f_{\text{est,v}}(x\%) \times f_{\text{tem}}} \quad (5)$$

5 MAARAKENTAMISESSA KÄYTETTÄVIEN TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN RISKINARVIOINTI

5.1 Materiaaliominaisuudet

Sivutuotteiden riskiarvioinnin peruste tulee olla luotettavan tiedon varassa. Tieto perustuu sivutuotteen ominaisuuksista sekä koostumuksesta kerättyyn tietoon. Jotta tietoa voidaan tarkastella riskiarvioinnin perusteena, täytyy sivutuotteen valmistuksessa käytetyt raaka-aineet ja kemikaalit olla tiedossa. Tiedot koostumuksesta voidaan hankkia joko vastaavien sivutuotteiden tutkimusraporttien pohjalta tai sivutuotteen kemiallisista analyyseistä. Valmistusmetodin mukaan voidaan muodostaa tietoa sivutuotteen olomuodosta. Esimerkiksi energiatuotannossa valmistuvat sivutuotteet esiintyvät usein oksideina tai silikaatteina. Yllämainittujen tietojen mukaan pystytään muodostamaan alustava arvio siitä, onko sivutuotteella ominaisuuksia, jotka ovat mahdollisesti ympäristölle haitallisia. (Wahlström ym. 1999, 17.)

VTT:n julkistaman tutkimuksen mukaan sivutuotteen ominaisuuksista kerättävässä lähtötiedossa tulee olla:

- *Tarkasteltavan materiaalin tausta (syntytapa) ja laatuvaihtelut*
- *Kemiallinen koostumus*
- *Liukoisuusominaisuudet*
- *Mineralogia, spesiaatio*
- *Kemialliset ominaisuudet (mm. puskurikapasiteetti, termodynaaminen stabiilisuus, mahdollisesti biologisesti hajoavan orgaanisen aineen osuus, herkkyys pH- ja redox-muutoksille)*
- *Biologinen hajoaminen (mm. pysyvyys)*
- *Fysikaaliset ominaisuudet (mm. raekokojakauma, tiheys, huokoisuus)*
- *Mekaaniset ominaisuudet*
- *Mahdollinen reaktiivisuus ja syttyvyys*
(Wahlström ym. 1999.)

Taulukko 1. Asetuksen mukaisesti erilaisissa rakenteissa hyödynnettävien jätteiden sisältämien haitta-aineiden suurin sallittu liukoisuus (mg/kg L/S-suhteessa 10 l/kg) ja kokonaispitoisuus (mg/kg) rakennekohtaisesti sekä rakenteessa käytetyn jätteen enimmäiskerros-paksuus. (MARA-luonnos 2016.)

Haitta-aine	Rakenne						
	Väylä ja reitti ¹ jätteen kerros-paksuus ≤ 1,5 m		Kenttä ¹ jätteen kerros-paksuus ≤ 1,5 m		Valli jätteen kerros-paksuus ≤ 5,0 m	Pohjarakenne jätteen kerros-paksuus ≤ 1,5 m	Tuhkamursketie jätteen kerros-paksuus ≤ 0,2 m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,31	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseni (As)	1	2	0,2	1,7	0,5	2	2
Barium (Ba)	62	100	6,9	25	21	100	85
Kadmium (Cd)	0,1	1	0,02	0,2	0,05	1	0,23
Kromi (Cr)	1,9	10	0,33	10	1	10	4,6
Kupari (Cu)	50	50	34	50	50	50	50
Lyijy (Pb)	0,6	10	0,1	10	0,8	10	1,2
Molybdeeni (Mo)	1,6	10	0,3	0,9	0,9	10	4,2
Nikkeli (Ni)	2,8	10	0,5	1,5	1,3	10	6,3
Seleen (Se)	0,4	0,5	0,1	0,25	0,24	0,5	0,5
Sinkki (Zn)	50	50	12	50	43	50	50
Vanadiini (V)	2,4	10	0,44	4,4	1,2	10	6,2
Elohopea (Hg)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Kloridi (Cl) ²⁾	3200	15000	660	1900	1800	15000	4700
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻) ²⁾	5900	20000	1200	3400	3400	20000	6500
Fluoridi (F ⁻) ²⁾	50	150	9,4	28	27	150	130
Kokonaispitoisuus (mg/kg)							
Bentseeni	0,07	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,15
TEX ³⁾	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	4	5	5	5	5
PAH-yhdisteet ⁴⁾	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet ⁵⁾	10	10	3,4	10	10	10	10

PCB-yhdisteet ⁶⁾	1	1	1	1	1	1	1
PBDE-yhdisteet ⁷⁾	50	50	50	50	50	50	50
Öljyhiilivedyt C10-C40	500	500	500	500	500	300	500

1) Hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 400 tonnia

2) Kun rakenne sijaitsee enintään 500 m etäisyydellä merestä, sovelletaan seuraavia raja-arvoja: kloridi 50 000 mg/kg, fluoridi 5000 mg/kg ja sulfaatti 50 000 mg/kg

3) Tolueneeni, etyylibentseenin ja ksyleenien summaparametri

4) Antraseeni, asenafteneeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, benots(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)perylenei, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, ja pyreeni (summapitoisuus)

5) Fenoli, o-kresoli, m-kresoli, p-kresoli ja bisfenoli-A (summapitoisuus)

6) Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 (summapitoisuus)

7) Polybromatut difenyylicetterit, kongeneerit 47, 99, 100, 153, 154, 183 ja 209 (summapitoisuus)

5.2 Haittatekijöiden mahdolliset toksiset vaikutukset

Sivutuotteiden haitta-ainepitoisuudet (taulukko 1) ja niiden liukoisuus ovat suuresti kiinni valmistustavasta sekä liukoisuudesta. Energiateollisuudesta valmistuvat sivutuotteet, kuten tuhkat, ovat herkkiä vapauttamaan haitta-aineita huuhtoutuvan veden mukaan. Yleisimmät haitta-aineet, joita ympäristöön sivutuotteista vapautuu, ovat pölyn lisäksi kloridi ja sulfaatti sekä raskasmetalleista kromi, vanadiini ja molybdeeni. Seuraavaksi esittelen nämä kuusi haittatekijää sen mukaan, miten ne VTT:n tutkimuksessa on esitetty. (Wahlström ym. 1999, 40.)

1) Pöly

Pölypäästöjen määrää ilmassa tarkastellaan ja mitataan leijuman kautta. Siinä mitataan pölyhiukkasten hiukkasmäärää tietyn matkan päässä lähteestä. Leijuman kokonaismäärään vaikuttaa hiukkaskoko, päästökorkeus sekä sää- ja maasto-olosuhteet. (Wahlström ym. 1999, 41.)

Suomessa Valtionneuvoston päätöksen ohjearvot kokonaisleijumalle (TSP) ovat:

- *”Vuosikeskiarvon enimmäispitoisuus 50 µg/m³ (vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste)*
 - *Vuorokausipitoisuus 120 µg/m³.”*
- (VNp 480/96.)

Kokonaisleijumaa tärkeämpi tieto ihmisen kannalta on, kuinka paljon leijumasta on pienhiukkasia. Pienhiukkanen, alle 10 µm:n hiukkanen, pääsee ihmisten keuhkoihin hengityksen kautta. Näillä hengitettävillä hiukkasilla oletetaan olevan terveydelle haitallisia vaikutuksia, sillä ne voivat kulkeutua henkitorveen ja keuhkoputkiin saakka. Varsinkin alle 5 µm:n pienhiukkaset ovat vahingollisia terveydelle, koska ne pääsevät keuhkorakkuloihin saakka ja voivat sitoutua niihin. (Wahlström ym. 1999.)

2) Kloridi

Kivihiilen ja öljyn poltosta ilmaan vapautuva kloridi on luonnossa esiintyvä syklinen alkuaine. Polttoprosessien lisäksi klorideja vapautuu merestä märkä- ja kuivalaskeumana sekä ihmisen toimesta maatalouden, tienkunnossapidon (suolaus) sekä jätehuollon myötä. Kloridi on ihmisen ja kasvien aineenvaihdunnalle välttämätön aine. Sitä esiintyy Suomen pohjavesistöissä keskimäärin 17,1 mg/l.

Hyvässä talousvedessä on kloridia alle 100 mg/l, suuremmissa konsentraatioissa esiintyy makuhaittoja. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (päättös nro. 74) talousveden kloridin teknis-esteettinen vaatimus on alle 100 mg/l ja tavoitepitoisuus alle 25 mg/l. (Wahlström ym. 1999, 41; Lahermo, Väänänen, Tarvainen & Salminen 1996.)

3) Sulfaatti

Sulfaatti on rikkiyhdiste, jota esiintyy epäorgaanisina ja orgaanisina yhdisteinä vedessä, kaasuissa ja kiinteissä aineissa. Rikki on ihmisille, eläimille ja kasveille elintärkeä aine. Suurina määrinä sillä kuitenkin on ihmisille ulostava ja ärsyttävä vaikutus. Suomessa luontainen sulfaattipitoisuus vedessä on vähäinen. Tavallisessa purovedessä pitoisuus sedimenttityypistä riippuen noin 35 mg/l. Pohjavedessä keskimäärin 18 mg/l. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (päättös nro. 74) talousveden sulfaatin teknis-esteettinen vaatimus on alle 150 mg/l ja tavoitepitoisuus alle 50 mg/l. (Wahlström ym. 1999, 42.)

4) Kromi

Tunnettuja kromiyhdisteitä maaperässä on noin 40 mineraalissa. Niistä tärkein on kromiitti (FeCr_2O_4). Kromiyhdisteitä käytetään mm. ruostumattoman teräksen valmistuksessa, metallien pintakäsittelyssä, maalien ja sementtien valmistuksessa sekä puutavaran kyllästyksessä. Kromia voi joutua ympäristöön näiden tuotteiden päästöistä sekä fossiilisten polttoaineiden käytöstä. (Lahermo ym. 1996; Huvinen 1989; Jaakkola & Kokko 1992.)

Kromi voi olla haitallista ihmisille, kaloille ja kasveille kolmi- ja kuusiarvoisena yhdisteenä. Toisaalta pienissä määrin se on elintärkeä ihmisen aineenvaihdunnalle. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (päättös nro. 74) talousveden kromipitoisuus ei saa ylittää 50 µg/l. (Wahlström ym. 1999, 42.)

5) Molybdeeni

Molybdeeni esiintyy luonnossa molybdeenisulfidina sekä lyijy- ja rautamolybdaatina. Pelkistetyssä muodossa sitä käytetään teräksen lisäaineena, maalipigmenttinä, lakoissa, musteissa, lannoitteessa sekä lasissa ja keramiikassa pinnoitteena. Ympäristöön molybdeeniä pääsee näiden tuotteiden valmistuksen yhteydessä, maatalousmaan lannoituksen yhteydessä ja kalkituksen kautta. Ihmisille

molybdeenin on hivenaine, jonka tarve on 0,1–0,3 mg/vrk. Suurina annoksina se on kuitenkin myrkyllinen. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (päätös nro. 74) talousveden molybdeenin raja-arvo on 0,07 mg/l. (Wahlström ym. 1999, 43.)

6) Vanadiini

Vanadiinia esiintyy maaperässä 50 eri mineraalissa. Keskimääräinen pitoisuus maakuoressa on 100–170 mg/kg ja pohjavedessä 0,04–2,0 µg/l. (Lahermo ym. 1996.) Vanadiinia pääsee ympäristöön maaöljyjalosteiden ja kivihiilen poltosta. Se on pienissä määrin elintärkeä ravintoaine. Sen ongelma kuitenkin on, että vain vähän tarvittavaa määrää suurempi annos on ihmiselle myrkyllinen. Myrkytyksen oireita ovat mm. yskä, nuha, kurkkukipu, silmien punoitus sekä keuhkoputkentulehdus. Keskimääräisesti ihminen saa ravintonsa kautta 13–30 µg/vrk. Myrkyllinen määrä on vain muutama kymmenen µg enemmän. Tarkkaa myrkytyksen aiheuttamaa määrää ei ole, sillä se on verrannollinen ihmisen painoon ja ikään. (Byrne & Kosta 1978; Randahl, Dock & Christiansson 1997.) Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (päätös nro. 74) ei ole terveysperusteista raja-arvoa vanadiinille. (Wahlström ym. 1999, 43.)

6 SIVUTUOTTEIDEN MAARAKENNUSKÄYTÖN ELINKAARIARVIOINTI

6.1 Elinkaarianalyysi

Elinkaarianalyysi on elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointia. Kohteena voi olla maarakennuksessa käytetty tuote, tuoteryhmä, materiaali, prosessi tai opittu toiminto. Analyysin tavoitteena on arvioida tutkittavan kohteen ympäristövaikutuksia sen koko vaikutusjakson ajan. Tarkastelu tulee kohdistaa elinkaaren eri vaiheisiin yksitellen. Tarkastelussa tunnistetaan, arvioidaan ja kirjataan elinkaarivaiheen materiaali- ja päästövirrat sekä niiden haittavaikutukset ja tekijät. (Eskola & Mroueh 1998, 9 – 14.)

Analyysin ensisijaisia käyttäjiä ovat yritykset, jotka tuottavat, myyvät, kehittävät tai markkinoivat sivutuotteita. Analyysin pohjalta he voivat muodostaa johtopäätöksiä kehitys- ja parannustarpeista. Saadusta tiedosta voidaan myös muodostaa vertailupohja tuote-, menetelmä- ja materiaalivaihtoehtoista. Tämä analyysi antaa yrityksille elintärkeää tietoa siitä, onko sivutuote potentiaalinen myyntituote vai ei, ja onko sivutuotteen mahdollinen hyöty myyntiarvossa vai jälleensijoitusarvossa. Analyysiarvion toinen hyöty on yhteiskunnallinen. Niiden pohjalta pystymme ohjaamaan lainsäädäntöä ja asetuksia käyttäen tuloksia määräysten valmistelun pohjatietona. (Eskola & Mroueh 1998, 9 – 14.)

Ongelma elinkaariarvoissa on, että niiden sisältö ja laajuus eivät ole tarkkaan määriteltäviä. Menetelmien standardisointi poistaisi sivutuotteista julkaistavien tietojen ristiriitaisuuden. Toisistaan itsenäiset tutkimukset tuottavat eri tuloksia, sillä niiden lähtökohdat ja menetelmät ovat erit. Todennäköisyys sille, että elinkaarianalyysit tullaan jossain vaiheessa toteuttamaan kansainvälisen, yhteiseksi hyväksytyyn standardin mukaan, on pieni. Tämä johtuu siitä, että analyysejä tuotetaan ja rahoitetaan käyttökohteen, tavoitteen tai menetelmän mukaan. Tällöin tutkimuksen suuntaus on heti alusta saakka tietyn luonteinen. Analyysit ja niiden tulokset vaativatkin kriittistä tarkastelua niiden alkuperää ja motiiveja myöten. Pohjoismaalainen suoritusohjeistus, Nordic Code of Conduct on LCA 1994, on olemassa. (Eskola & Mroueh 1998; Lindfors ym. 1995.)

6.2 Sivutuotteiden hyötykäytön vaiheita

VTT:n Paula Eskolan ja Ulla-Maija Mrouehin teettämässä tutkimuksessa 1998 tutkittiin Helsingin kivihillivoimaloiden sivutuotteiden, lentotuhkan ja rikinpoistotuotteiden hyötykäytön vaiheita. Vaiheet ovat saman tyyppiset suurimmalla osalla mineraalipohjaisista sivutuotteista. (Eskola & Mroueh 1998, 27 – 39.)

Tuotteistettujen, jatkuvassa hyötykäytössä olevien tuhkatuotteiden varastointiaika ennen kuljetusta on noin kaksi vuorokautta. Pidemmän varastoinnin aikana pölyäminen lisääntyy, ja sen ehkäisemiseksi läjityskasoja tulee kastella. Siksi lyhyillä varastointiajoilla tuottajan kustannukset ovat minimoitavissa. (Eskola & Mroueh 1998, 27 – 39.)

Tuhkatuotteiden kuljetus on suositeltavaa tehdä tuhkan optimikosteudessa suoraan voimalaitokselta saakka. Optimikosteudessa olevat tuotteet kuljetetaan avo-
lavalla, kuten kiviaineskuormat. On kuitenkin huolehdittava, että pinta on kasteltu pölyämisen estämiseksi. Kaikkiin maarakennuskohteisiin tuhkan välivarastointi ei ole mahdollista ympäristöluvan tai ilmoituskäytännön asettamien reunaehtojen takia. Siksi on suositeltavaa, että tuote on valmiina käytettäväksi suoraan rakenteeseen ja tiivistykseen. (Eskola & Mroueh 1998, 27 – 39.)

Jos tuhkatuotteita täytyy välivarastoida rakennustyömaalla, tulee kasat peittää suojapeitteillä tai bitumiemulsiolla. Kasat tulee myös suojata alapuolelta liettymishaittojen ehkäisemiseksi. Tähän voidaan käyttää eristyshiekkakerrosta tai muovikalvoja. Tuhkatuotteeseen ei pääsääntöisesti saa sijoittaa teräs- tai valurautaputkia korroosiovaikutuksien ehkäisemiseksi. Yllä mainituissa reunaehdoissa on sivutuotekohtaisia eroja. Rajoitukset vaihtelevat haitta-ainepitoisuuksien sekä rakennustyömaan sijainnin mukaan. Suurin haitta rakennustyövaiheessa on kuitenkin pölyäminen. Huonosti kasteltu, pienen kosteuspitoisuuden omaava tuhka pölyää enemmän kuin optimikosteudessa oleva tuote. Toinen pölyämistä tuottava tekijä on tuhkarakenteen ohuemmat tiivistämiskerrokset verrattuna mm. luonnonkiviainekseen. (Eskola & Mroueh 1998, 27 – 39.)

6.3 Ympäristökuormitukset ja -vaikutukset

Sivutuotteiden kuormitukset ja vaikutukset voidaan jaotella kahteen pääryhmään: rakennusvaiheen aikaisiin ja käyttövaiheen aikaisiin. Rakennusvaiheen aikana merkittävien ympäristön haittatekijä on pölypäästöt. Tuhkatuotteet ovat kuivana erittäin pölyäviä. Rakennusvaiheen jokainen erillinen työvaihe lisää pölyämistä. Lastaus, kuljetus, purkaminen, varastointi, täyttö ja tiivistäminen kaikki nostavat kevyitä tuhka hiukkasia ilmaan. Pölypäästöjä voidaan ehkäistä varastoimalla tuhkaa siloihin, kastelemalla kasoja ennen kuljetusta, välttämällä välisijoitusta sekä tiivistämällä mahdollisimman nopeasti purun jälkeen. (Eskola & Mroueh 1998, 39 – 61.)

Pölypäästöt ja niiden vaikutus sekä haitat riippuvat sivutuotteen hiukkaskoosta ja määrästä. Yleisin hiukkaspäästöjen pölyäminen vaikuttaa 0 – 3 m korkeuteen ja ovat paikallisia rakennustyömaan ympärillä. Pölypäästöjen suurimmat vaikutukset ovat enemmän esteettisiä ympäröivälle alueella tai vahingollisia työmaalla käytetyille kalustolle. Pöly tukkii koneiden suodattimia sekä voi vaurioittaa sähkölaitteita. Suurempi merkitys pölyämisen yhteydessä on pienhiukkasmäärällä ja niiden vaikutuksella. Ilmaan päästyään pienhiukkaset pysyvät ilmassa ja voivat kulkeutua ilmavirtojen mukana pitkiä matkoja. Pienhiukkasten leviämisen liike muistuttaa savukaasuja. Näitä hiukkasia kutsutaan leijuviksi ja pitoisuutta ilmassa leijumaksi. Pienhiukkaset voivat olla terveydelle haitallisia, erityisen ongelmallisia ovat keuhkoihin päässeet halkaisijaltaan alle 5 µm:n suuriset kvartsipitoiset hiukkaset. (Eskola & Mroueh 1998, 39 – 61.)

Käyttövaiheessa suurimmat vaikutukset kohdistuvat maaperään. Maaperään liukenevien aineiden määrä ja pitoisuudet riippuvat sivutuotteesta. Myös rakennustyömaan sijainti vaikuttaa siihen, kuinka paljon sivutuotteen sisältämiä vesiliukoisia aineita imeytyy ja kuinka laaja niiden vaikutus on. Tähän vaikuttaa myös huuhtovan veden määrä alueella sekä sijoitustapa. Sijoitustavalla tarkoitetaan tiivistystä sekä peittämistä. Asfaltilla peitetty rakenne vähentää huuhtovan veden määrää paremmin kuin kiviaineksella peitetty rakenne. (Eskola & Mroueh 1998, 39 – 61.)

6.4 Elinkaaren aikaisten ympäristökuormitusten arviointi

Maarakentamisessa käytettävien sivutuotteiden ympäristövaikutusten arviointi on haastavaa. Tietoa eri kuormitusten vaikutuksesta on saatavilla hyvin vaihtelevasti. Myös tieto kuormituksista on luotettavuudeltaan vaihtelevaa. Työkoneiden päästöt, kuljetuksien tuottamat päästöt, sekä kaupungissa tapahtuvista kuljetuksista johtuvat melupäästöt on tutkittu hyvin. (Eskola & Mroueh 1998, 62 – 74.)

Pölypäästöistä on huonosti tietoa, eikä vertailevaa tilastoa sivutuotteiden tuottamalle pölyhaitalle ole. Suurin osa pölypäästöjen tilastoista on yleisiä. Niissä ei ole eritelty pölypäästön aiheuttajaa. Sen sijaan hiukkaspäästöistä, niiden terveydelle haitallisten ominaisuuksien vuoksi, on paremmin tietoa tarjolla. Leijumat pysyvät kauemmin ilmassa kuin pölypäästöt, ja ne kulkeutuvat ilmavirtojen mukana monelle eri mittauspisteelle. Leijumatiedoissa on myös eriteltyinä tuhka- ja kiviaineshiukkaset, joten niiden välinen korrelaatio on laskettavissa. Ongelmaksi osoittautuu kuitenkin leijuman aiheuttavan kohteen paikantaminen. Ei voida tarkkaan sanoa, mistä esimerkiksi tuhka- ja kiviaineshiukkaset ovat lähtöisin, ja onko lähde esimerkiksi mittauspistettä lähimpänä oleva maarakennustyömaa vai tuhkaa tuottava voimalaitos. (Eskola & Mroueh 1998, 62 – 74.)

Sivutuotteista maaperään liukenevien haitta-aineiden ilmoitetut määrät ovat laboratoriokokeiden tuloksia. Rakennuskohteissa mitattuja liukenemispitoisuuksia on vaikea ja kallis mitata, siksi tämän menetelmän tuottamaa tilastotietoa on hyvin vähän olemassa. Laboratoriotutkimuksilla ei kuitenkaan voida simuloida täysin luonnossa tapahtuvaa liukenemistä ja olosuhteita. Tyypillisin hallitussa ympäristössä toteutettu koe, jolla kuvataan luonnonmukaisia olosuhteita, on kolonnin testi. Siinä simuloidaan monien vuosien aikana tapahtuvia suotautumistapahtumia muutaman kuukauden aikana. Tulos ei kuitenkaan ole täysin luotettava, sillä lyhyessä ajanjaksossa ei tapahdu samaa massojen lujittumista putsolaarireaktioiden vuoksi. Tällöin liukoisuuspitoisuudet ovat suurempia kuin todellisuudessa. (Eskola & Mroueh 1998, 62-74.)

Vaikutusten arvioinnissa tehdään paljon oletuksia, jotka nostavat tulosten epävarmuutta. Luotettavuutta nostaa kuitenkin vertailuvaihtoehtojen tarkastelu.

Niissä käytetään usein samoja oletuksia, jolloin vaikutus on enemmän absoluuttisiin arvoihin kuin lopputulokseen. (Eskola & Mroueh 1998, 62 – 74.)

7 CAIM-HANKE

Circular Arctic Infrastructure Materials (CAIM) on Kemin Digipolis Oy:n sekä Lapin ammattikorkeakoulun yhteishanke. Olen osallistunut hankkeeseen käytännön toiminnan aloituksesta 1.6.2017 alkaen työskentelemällä Lapin ammattikorkeakoulun projektityöntekijänä hankkeessa. Vastuualueinani on työmaan toteutuksen seuranta, sivutuotteiden tutkimukset rakennusvaiheessa ja koulumme rakennuslaboratoriossa sekä routamittauksien suunnittelu ja toteutus. Työskentelyäni on ohjannut projektipäällikkö Pekka Kämäräinen. Hankkeella on myönnetty Alueelliset innovaatiot ja kokeilut (AIKO) - rahoitus toukokuu 2018 loppuun saakka.

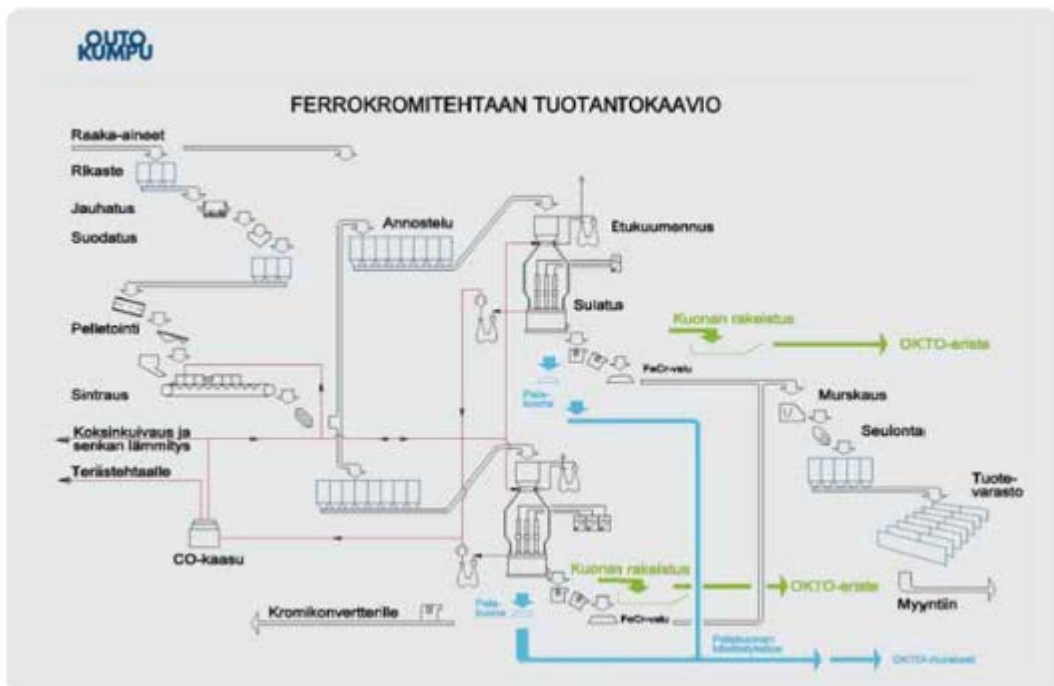
Lapin liitolle osoitetun rahoitusanomuksen mukaan hankkeen tavoitteena on ”pilotoinnin avulla saada aikaan yhteistoimintamalli, jossa parannetaan pk-yritysten kokemuseräistä osaamista sivuvirtamateriaalien infrarakentamiskäytössä, julkisista hankinnoista vastaavien tietoisuutta sivuvirtamateriaalien soveltuvuudesta infrarakentamisen käyttökohteissa ja T&K&I osaamisen kytkemistä liiketoiminnalliseen kehittämiseen. Hankkeella ollaan edelläkävijöiden joukossa soveltamassa kiertotaloutta liiketoimintaan huomioiden arktiset olosuhteet. Tässä hankkeessa pienennetään neitseellisten luonnonmateriaalien käyttöä eli vähähiilistä toimintatapaa hyödyntämällä teollisuuden sivuvirroissa syntyviä materiaaleja”. (Rahoitusanomus Lapin liitto 2016.)

Hankkeessa tutkitaan kolmen sivutuotteen toimittajan, Outokumpu Chrome Oy Tornion, Stora Enso Veitsiluodon ja Ecolan Oy:n tuotteita rinnakkain samassa kohteessa, Kemin kaupungin osoittamalla Koululaisenpolun pyörätieosuudella. Kohde on 150 m pitkä kevyen liikenteen väylä, joka rakennettiin uudelleen kesällä 2017. Siinä kolmea sivutuotetta tutkitaan neljässä eri rakenneosuudessa ja verrataan routaeristysominaisuuden ja rakennettavuuden kannalta toisiinsa ja luonnonmateriaaliverrokkiin, eli tässä tapauksessa hiekkaan. Tarkastelen tuotteita lähemmin erillisissä luvuissa sekä rakennusvaihetta käsittelevässä luvussa.

8 OKTO-ERISTE

8.1 Alkuperä

OKTO-eriste on pienirakeisin OKTO-tuoteperheen jäsenistä. Vuodesta 1969 alkaen Outokumpu Chrome Oy:n valmistama eriste johdetaan Kemin kaivoksen luonnon kromiitista. Kaivoksen kromiitista valmistettuja rikasteita pelkistetään koksilla uppokaariuuniprosessissa metalliseksi ferrokromiksi. Ferrokromituotannossa muodostuvasta ferrokromikuonasta valmistuu rakeistamalla OKTO-eristettä tätä varten kehitetyssä granulointiprosessissa. Granulointiprosessissa sulanut ferrokromikuona juoksetetaan sulatusuunista valuastioiden kautta paineelliseen vesisuihkuun, joka rakeistaa sulan kuonan 0 – 11 mm raekoon tuotteeksi (kuvio 1). Tästä OKTO-eriste siirretään jäähdytysaltaiden kautta valutuskasoihin ja eteenpäin välivarastoon ja myyntiin. Outokumpu Chrome Oy:n Tornion tehdas muodostaa ferrokromikuonaa 320 000 tonnia vuodessa, josta OKTO-tuotteita 300 000 t. (Kallio, Holappa & Tikkakoski 2010.)



Kuvio 1. OKTO-rakennustuotteiden valmistusprosessi (Kallio ym. 2010.)

Outokumpu Chrome Oy:n käyttöturvallisuustiedotteen mukaan OKTO-eriste on ”tiivistä, rakeista ja lasista kiviainesta, jossa hienojakoisen pölyävän aineksen osuus on pieni. Mineralogiselta koostumukseltaan OKTO-eriste on hyvin homogeenista. Pääfaasi on Mg-Al-silikaattinen lasifaasi (70 %), joka sulkee sisäänsä Fe-Mg-Cr-Al-spinellifaasin (20 %).” (OKTO-rakennustuotteiden ympäristötuoteseloste 2005.)

OKTO-eristeen käyttö ei vaadi ympäristölupaa tai ilmoituskäytäntöä, sillä se luokitellaan kiviaineeksi. Sen sisältämät metallit (kuvio 2) ovat niukkaliukoisia eivätkä saastuta maaperää tai pohjavettä. (OKTO-rakennustuotteiden ympäristötuoteseloste 2005.)

OKTO-eristeen tuotantoprosessilla saadaan aikaan jalostettu, tasalaatuinen tuote, joka korvaa ominaisuuksiltaan luonnonkiviaineeksiä. Tuotetta voidaan käyttää vastaavissa rakenteissa kuin hiekkaa, soraa ja murskettä. Sen pääfaaseja ovat amorfinen lasi, kiteinen Fe-Mg-Cr-Al-spinelli sekä metallipirote. Tämä rakenne takaa sen, että metalleja liukenee vain vähän. Tämä täyttää EU:n pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset. Koska Suomella ei ole em. vaatimuksia maarakennustuotteille, ovat EU:n vaatimukset käytössä. Liuokoisuudet eivät ylitä MARA-asetuksen raja-arvoja. Suurin syy tähän on tuotteen kiviaineen alkuperä. Sen hienoainespitoisuudet ovat vähäisiä, ja olomuoto on pölyämätön ja stabiili. (Kallio ym. 2010.)

Koostumus:

Cr ¹⁾	9 %
Fe ²⁾	8 %
SiO ₂	30 %
Al ₂ O ₃	26 %
MgO	23 %
CaO ³⁾	4 %

¹⁾ Noin 6,5-7% oksideina ja 2-2,5 % metalleina

²⁾ Noin 6,5 % oksideina ja 1,5 % metalleina

³⁾ Noin 2 % oksideina ja 2 % metalleina

Kuvio 2. Muokattu OKTO-eriste koostumus (OKTO-rakennustuotteiden ympäristötuoteseloste 2005.)

8.2 Ominaisuudet

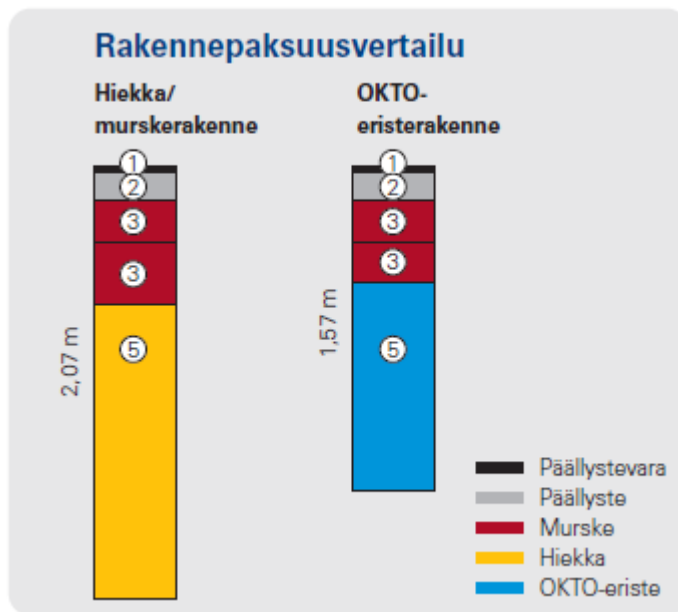
OKTO-eristeen raekoossa on vertailussa olevista sivuvirta-tuotteista suurin hajonta. Rakennuslaboratoriossa tehdyissä tutkimuksissani kuivaseulonta koeksessa 80 % OKTO-eristeestä mahtuu hiekaksi määriteltävään raekokoon, 20% soraksi luokiteltavaksi ja 70% raekoosta 0,5–2 mm väliin. OKTO-eriste omaa erinomaisen lämmönjohtavuusarvon sekä huokoisen rakenteen. Lämmöneristyskykynsä myötä sen kerrospaksuudet voidaan pitää luonnonkivikerroksia ohuempina. Erinomainen suodattavuuskyky ja vedenläpäisy 10^{-5} tekevät OKTO-eristeestä hyvän kapillaarikatkon kerroksena. (Liite 12; Liite 13).

Lämmönjohtavuudeksi sain 130 mA sähkövastuksella $\lambda_{130} = 0,772 \text{ W/mK}$. Tämä on OKTO-eristeen mitoitusohjeen mukaisten arvojen kanssa linjassa. Näillä kriteereillä OKTO-eriste on erinomainen eriste. Proctor-kokeen tuloksena optimikosteudeksi määritin 8-10 % kosteuden. Tämä tekee erinomaisen vedenläpäisyarvon kanssa OKTO-eristeen helposti tiivistettävän. Suunnitteluohjeen mukaan kerralla tiivistettävän kerroksen maksimipaksuus on 500 mm. Tuote ei tarvitse erikseen kastelua tiivistyksen aikana. Liikennöinti tiivistetyn kerroksen päällä on mahdollista, kunhan noudattaa kerrospaksuustaulukon mukaisia tiivistyskerroksia. (Liite 12; Liite 14; 15; Kallio ym. 2010.)

Ominaisuus, standardi	Tiivistyslaite	
	OKTO-eriste	OKTO-murske
Tärylevy 150 kg	4	3
Tärylevy 455 kg	2..3	2
Täryjyrä 5...8 tn	3..4	3
Täryjyrä > 8 tn	2..3	2
Kumipyöräjäyrä < 15 tn	5..7	4
Kumipyöräjäyrä > 15 tn	5..6	4

Kuvio 3. OKTO-tuotteiden ohjeelliset tiivistysmäärät (Kallio ym. 2010.)

OKTO-eristeen E-Moduuli RT-kortin mukaan on 120 MPa. Tämä asettaa OKTO-eristeen laadukkaaksi tierakenteen materiaaliksi. Tuotteen käyttö myös yhtenäisenä kantava- ja jakavakerroksena on mahdollista, kunhan päälle levittää 10 cm sepelikerroksen päällysteen levitystä varten. Ilman sepelikerrosta asfalttikoneet eivät renkaineen pysty tuotteessa etenemään. Tierakenteessa OKTO-eristeen käyttö suodatinkerroksena tekee kokonaiskerrospaksuudesta tavanomaisia rakenteita ohuemman. (Kallio ym. 2010.)



Kuvio 4. Rakennepaksuusvertailu suunnitteluohjeen mukaisessa rakenteessa (Kallio ym. 2010.)

OKTO-eristeen pitkän tuotannon ja tuotekehityksen myötä tuotteen ominaisuudet on hyvin tutkittu ja tiedossa. Suunnittelu- ja rakennusohjeet ovat tarkat ja kattavat laajasti maarakennusalan. Haasteena on tuotannon pohjoinen sijainti sekä tuotteen paino. Suunnitteluohjeen ilmoittama $1,10\text{--}1,35\text{ Mg/m}^3$ irtotiheys tekee logistiikasta kallista. Tuotantolaitosten läheisyydessä olevien kuntien käytössä OKTO-eriste on päivittäistä, pitkien kuljetusmatkojen päässä vähäisempää. Tulevaisuuden mahdollisuudet ovat rakennekerrosten paksuuksien karsimisessa sekä tuotteen käyttö yhtenäisenä suodattavana, jakavana ja kantavana kerroksena. Tarkastelen tätä lähemmin rakennusvaihetta koskevassa osiossa. (Kallio ym. 2010.)

9 FILL-R-KEVYTKIVIAINES

9.1 Alkuperä

Fill-R-kevytkiviaines on kaupallisena maarakennustuotteena verrattain uusi. Ecolan Oy:n tuottamana, Fill-R on hydraulisesti sitoutuvasta kuivasta lentotuhkasta rakeistamalla muodostettu, soran rakeisuuden omaava kevytkiviaines. Hydraulisesti sitoutunut lentotuhka tarkoittaa lentotuhkaa, joka kerätään voimalaitokselta ja puristetaan sitten hydraulisesti kiinteään, käsiteltävämpään muotoon. Ecolan Oy:n liiketoimintapäällikön Martti Hintikan mukaan tiivistetty lentotuhka rakeistetaan rummuttamalla. Prosessissa hyödynnetään lentotuhkan luontaisia lujittumiso ominaisuuksia. Prosessia täydennetään tarvittaessa sideaineilla. Lentotuhkan haitta-ainespitoisuudet ovat useimmissa voimalaitoksissa niin korkeat, että ilman lentotuhkan rakeistamisprosessia kevytkiviaineksen käyttö vaatisi ympäristöluvan. (Mäkelä, Wahlström, Pihlajaniemi & Mroueh 1998.)

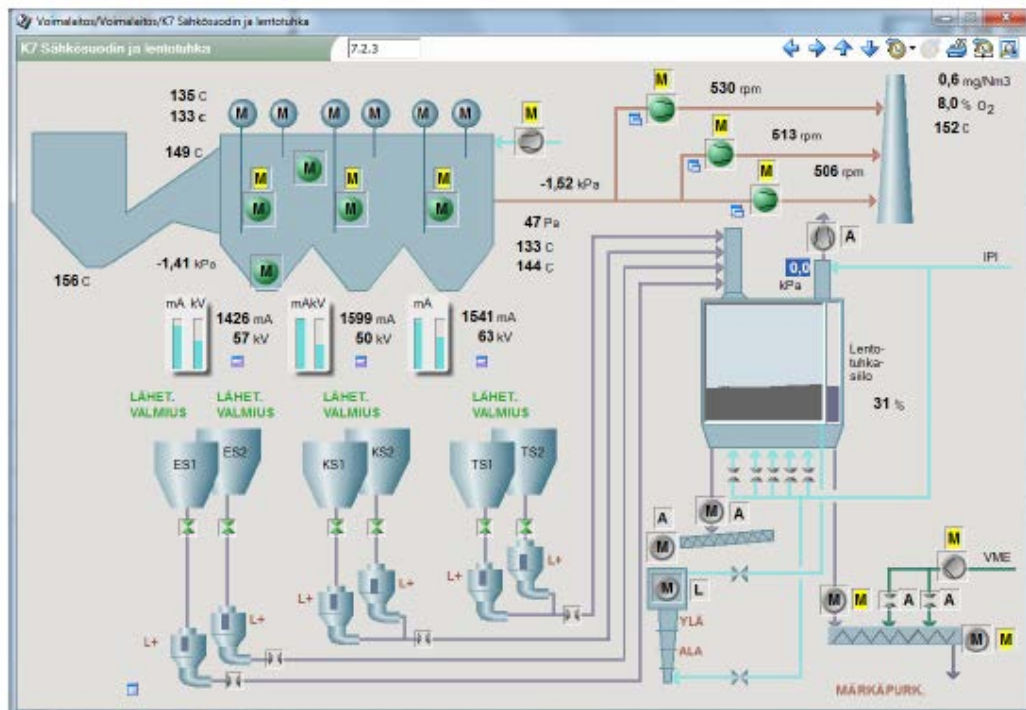
Lentotuhka itsessään on hyvin hienojakoista tuhkaa, joka kerätään voimalaitoksien savukaasujen joukosta yleisimmin sähkösuodattimien avulla. Savukaasu johdetaan sähkösuodattimien läpi, jolloin lentotuhka ionisoidaan. Ionisoinnin myötä lentotuhka saa sähkövarauksen. Sähkösuodatin koostuu seinämäisistä rakenteista, joissa virtaa vastakkainen sähkövaraus kuin ionisoidulla tuhalla. Tällöin tuhka kiinnittyy seinämiin, joista se kerätään talteen mekaanisesti. Suodatin-koneisto irrottaa tuhkan lyömällä mekaanisesti seinämiin, jolloin tuhka laskeutuu keräysluukkujen läpi talteen. (Mäkelä, Wahlström, Pihlajaniemi & Mroueh 1998.)

Lentotuhkan tuotto on huomattavasti tehokkaampaa kuin pohjatuhkan. Tuhkan tuotannon määrä voimalaitoksilla on 10–15 % polttoaineen kokonaismäärästä. Esimerkiksi Veitsiluodon tehtaalla ympäristöpäällikkö Pipsa Maikkulan mukaan lentotuhkan määrä kokonaistuhkasta on noin 45 %. Vaikka lentotuhkan määrä on alle puolet tuhkan kokonaistuotannosta, se pystytään keräämään kokonaan talteen. Tämä tarkoittaa, että tuotanto on noin kymmenkertainen esimerkiksi pohjatuhkaan verrattuna. Tärkeä tekijä prosessin tehokkuudessa on voimalaitoksien tarkat ympäristösäädökset. Ne määräävät savukaasujen tehokkaasta puhdistuksesta. (AVI ympäristölupa 2015.)

Taulukko 2. K7 polttoainemäärät vuosina 2013 ja 2014 (AVI ympäristölupa 2015.)

	2013		2014	
Kattila K7	Tonnia	Energia (GJ)	Tonnia	Energia (GJ)
Puujäte	461 041	3 688 989	352 792	3 030 341
Turve	283 382	2 556 056	273 013	2 585 618
Liete	51 894	71 125	47 017	75 133
POR	1 036	41 775	1 238	50 039
Kattila K6				
POR	2 830	114 219	977	39 510

Esimerkkinä Veitsiluodon K7 kattilan polttoaine muodostaa savukaasuja, jotka ohjataan lämpöenergian talteenoton jälkeen suodattimiin. Lämpöenergia lämmitteää suljetussa järjestelmässä veden, jonka höyry pyörittää turbiineja tuottaen sähköenergiaa tehtaalle. Lentotuhka poistetaan savukaasuista sähkösuodattimilla, joissa lentotuhka mekaanisesti kerätään lentotuhkasiilon. Siilosta lentotuhka siirretään tehtaan alueella sijaitsevaan läjitysalueeseen ympäristöluvan mukaisesti välivarastointiin. Jos lentotuhkaa ei käytetä hyödyksi tuotteissa, kuten Fill-R, voimalaitos loppusijoittaa tuhkan maisemoimalla sen läjitysalueelle. (AVI ympäristölupa 2015.)



Kuvio 5. Kattilan K7 savukaasujen puhdistus Veitsiluodon voimalaitoksella (AVI ympäristölupa 2015.)

9.2 Ominaisuudet

Rakeisuudeltaan Fill-R on suurirakeisinta vertailussa olevista sivuvirtatuotteista. Rakennuslaboratoriossa tehdyissä tutkimuksissani kuivaseulontakokeessa 100 % pohjatuhkasta on rakeisuudeltaan soraa. 60 % raekoosta sijoittuu 4 mm–8mm väliin. Fill-R:llä on erinomainen lämmönjohtavuusarvo sekä huokoinen rakenne. Lämmöneristyskykynsä ansiosta sen kerrospaksuudet voidaan pitää luonnokivi-kerroksia ohuempina. Erinomainen suodattavuuskyky sekä vedenläpäisy 10^{-4} tekevät Fill-R kevytkiviaineesta kapillaarikatkokerrokseksi sopivan materiaalin. (Liite 8; Liite 9.)

Lämmönjohtavuudeksi sain kokeissani 130 mA sähkövastuksella $\lambda_{130} = 0,257$ W/mK. Näillä kriteereillä Fill-R kevytkiviaines on erinomainen eriste. Tämä tulee huomioida tierakenteen suunnittelussa kuuraliukkaudenestoa silmällä pitäen. Tuotteen erinomainen eristävyys vaatii kivimassaa jakavan/kantavan kerroksen muodossa kuuraliukkauden estämiseksi. Proctor-kokeen tuloksena optimikosteudeksi määritin 28,3 % kosteuden. (Liite 8; Liite 10; Liite 11.)

Fill-R-tuotekortin mukainen E-Moduuli on 70 MPa. Tämä tekee Fill-R-kevytkiviaineksesta laadukkaan suodatinkerrosmateriaalin. Paksuna kerroksena sen hyödyntäminen kevytliikenneväylissä myös yhtenäisenä kantava- ja jakavakerroksena on mahdollista, kunhan päälle levitetään 10 cm sepelikerros päällysteen levitystä varten. Ilman sepelikerrosta asfalttikoneet eivät renkaineen pysty tuhassa etenemään. (Katurakenteiden suunnitteluohje 2017.).

9.3 Haitta-ainepitoisuudet

Lentotuhkan rakeistusprosessilla pystytään vähentämään voimakkaasti lentotuhkan pölyämistä ja tuhkan sisältämien raskasmetallien liukenemisominaisuuksia. Mara-säädöksiin mukaiset päällystetyn rakenteen haitta-aineiden kokonaispitoisuus- ja liukoisuusraja-arvot Fill-R alittaa selvästi. (Fill-R suunnittelu ja mitoitusohje tie-, katu- ja maarakenteissa.)

Ilman lentotuhkan rakeistamista sen käyttö vaatii ympäristöluvan. Esimerkiksi Veitsiluodon tehtaan tuottamassa lentotuhkassa, Ahma Ympäristö OY:n tutki-

muksien mukaan, pelkästään sulfaattipitoisuudet ovat kaksinkertaiset raja-arvoihin verrattuna. Sulfaatin lisäksi kloridin arvot ylittivät sekä peitetyn että päällystetyn rakenteen arvot. Kromi, seleeni ja molybdeeni ylittivät peitetyn rakenteen raja-arvot.

Taulukko 3. Kokonaispitoisuudet ja liuenneiden aineiden pitoisuudet (SFS-EN 12457-3) liuoskiintoainessuhteella $L/S = 10$ [mg / kg kuiva-ainetta]. Taulukossa näytteen analyysitulosten lisäksi vertailupitoisuuksina VNa 403/2009:n ”eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta” mukaiset raja-arvot jätenimikkeille lentotuhka, pohjatuhka ja leijupetihiekka. (Liite 1)

Aine/ muuttuja	Perustutkimus				
	Näyte Lentotuhka		Raja-arvot VNa 403/2009		
	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus L/S10 SFS-EN 12457-3 (ravistelutesti)	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus, mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	
mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	mg/kg kuiva-ainetta	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne	
PCB	<0,07		1,0		
PAH	<3		20/40 ¹¹		
DOC		<50		500	500
Antimoni (Sb)		<0,01		0,06	0,18
Arseeni (As)	18	<0,15	50	0,5	1,5
Barium (Ba)	1700	2,1	3000	20	60
Kadmium (Cd)	7,8	<0,015	15	0,04	0,04
Kromi (Cr)	110	1,7	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	130	<0,1	400	2,0	6,0
Elohopea (Hg)		<0,005		0,01	0,01
Lyijy (Pb)	49	0,48	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	7,1	1,8	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		<0,1		0,4	1,2
Vanadiini (V)	100	<0,05	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	1700	1,7	2000	4,0	12
Seleeni (Se)		0,30		0,1	0,5
Fluoridi (F)		6,2		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		20000		1000	10000
Kloridi (Cl)		3500		800	2400

10 POHJATUHKA

10.1 Alkuperä

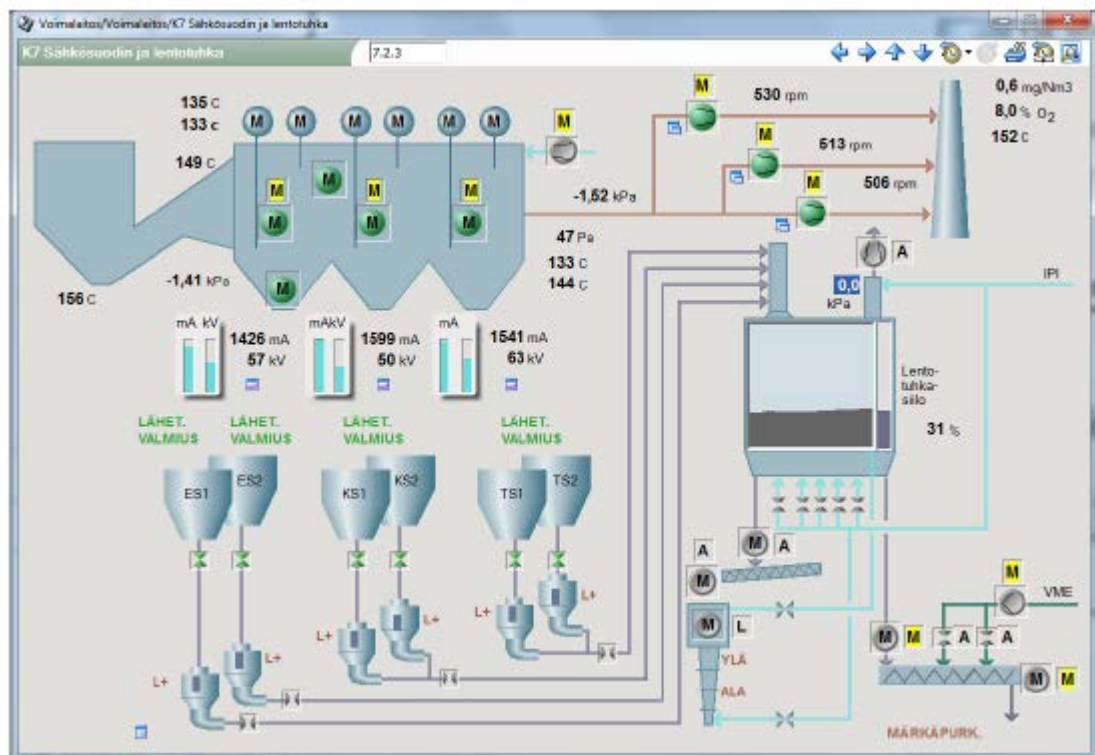
Pohjatuhka saapui tuotteena hankkeeseen myöhemmin kuin muut. Alkuperäinen tarkoitus oli tutkia lentotuhkaa sen puhtaassa muodossa Fill-R- ja OKTO-eristeen rinnalla. Lentotuhkan toimittaja, Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehdas, ei kyennyt saamaan lentotuhkan haitta-ainepitoisuuksia MARA:n säädösten vaatimalle tasolle. Sulfaatti pitoisuudet olivat kaksinkertaiset sallittuun verrattuna, joten sen käyttö vaatisi erillisen ympäristöluvan (Liite 1 ja 2). Luvan hakeminen ei sopinut hankkeen aikatauluun, joten etsimme korvaavaa tuotetta Stora Enson tehtaalta. Tarkoitukseemme soveltui pohjatuhka. Tuotteen vaihtoa ja siihen johtaneita syitä käsittelen tarkemmin hankkeen rakennusvaihetta käsittelevässä luvussa. (MARA-luonnos 2016.)

Pohjatuhka on Veitsiluodon voimalaitoksen sivutuote. Stora Enson mukaan vuonna 1996 käyttöönotettu voimalaitos ja sen K7 kerrosliejukettila tuottavat tehtaalle lämpöä ja sähköä. K7 kettila tuottaa energiaa kiinteästä polttoaineesta, jonka polttoainetehto on 280 MW, ja sen tuottama höyryn määrä on noin 110 kg sekunnissa. Peruspolttoaineena käytetään sellutehtaalla raaka-aineista muodostuvaa kuorta, sahanpurua, jätevesilietettä, muuta jätettä sekä turvetta. Turvetta lukuun ottamatta kaikki voimalaitoksen polttoaineesta tulee sellutehtaan jätteistä. Voimalaitos tuottaa energiaa yli oman tarpeensa, joten ylimenevä osa energiasta myydään Kemin kaupungille kaukolämpönä Rytikarin ja Hepolan kaupunginosaan. Tämä johtaa siihen, että käytettävä polttoaineen määrä on suhteellisen tasainen vuoden ympäri, jolloin sen tuottamat sivutuotteet, kuten pohjatuhka, ovat määrältänsä tasaisia kuukaudesta toiseen. Stora Enson ympäristöpäällikön Pipsa Maikkulan mukaan pohjatuhkaa syntyy noin 350 tonnia kuukaudessa, mikä tekee noin 11 tonnia päivässä. (Fill-R suunnittelu ja mitoitusohje tie-, katu- ja maarakenteissa.)

Taulukko 4. K7 polttoainemäärät vuosina 2013 ja 2014 (AVI ympäristölupa 2015.)

	2013		2014	
Kattila K7	Tonnia	Energia (GJ)	Tonnia	Energia (GJ)
Puujäte	461 041	3 688 989	352 792	3 030 341
Turve	283 382	2 556 056	273 013	2 585 618
Liete	51 894	71 125	47 017	75 133
POR	1 036	41 775	1 238	50 039
Kattila K6				
POR	2 830	114 219	977	39 510

Kerrosliejukattilan höyryllä tuotetaan vastapainesähköä kolmella väliottovastapaineturbiinilla. Polttoainetta poltettaessa muodostuu savukaasuja, joista eritellään päästöjen lisäksi lentotuhka sekä pohjatuhka. Pohjatuhka painavampana, suurempi rakeisena laskeutuu painovoiman myötä kattilan pohjalle, josta se eri keräysluukkujen kautta poistetaan. Alla kuvatussa K7 kattilan savukaasujen puhdistusprosessissa pohjatuhka poistetaan vasemmassa yläkulmassa palokaasujen synnyn yhteydessä. (AVI ympäristölupa 2015.)



Kuvio 6. Kattilan K7 savukaasujen puhdistus Veitsiluodon voimalaitoksella (AVI ympäristölupa 2015.)

10.2 Ominaisuudet

Pohjatuikka on rakeisuudeltaan homogeenisin vertailussa olevista sivuvirtatuotteista. Rakennuslaboratoriossa tehdyissä tutkimuksissani kuivaseulontakokeessa 80% pohjatuikkasta mahtuu hiekaksi määriteltävään raekokoon ja 65% raekoosta 0,5–2 mm väliin. Rakeisuuden homogeenisuus sekä sijoittuminen hiekan raekoon alueelle tekevät pohjatuikkasta erinomaisen suodatinkerrosmateriaalin. Erinomainen suodattavuuskyky sekä vedenläpäisy (10^{-4}) tekevät pohjatuikkasta kapillaarikatkokerrokseksi sopivan materiaalin. (Liite 3; Liite 5).

Lämmönjohtavuudeksi sain kokeissani 130 mA sähkövastuksella $\lambda_{130} = 1,014$ W/mK. Proctor-kokeen tuloksena optimikosteudeksi määritin 6,6% kosteuden. Tämä on hyvä huomioida rakennustyömailla, sillä pohjatuikan luontainen kosteus määrä läjityksessä on alle 1%. Kuivan pohjatuikan levittäminen on vaivalloista ja pölyistä työtä. Lisäksi kerroksien tiivistäminen on vaikeaa. (Liite 4; Liite 6; Liite 3)

Suomessa pohjatuikkaa ei ole sen puhtaassa muodossa käytetty katurakenteissa. Kaikki käyttö tähän mennessä on tuhkun rakeistettuja muotoja, joten E-moduuleja ja niiden suunnitteluohjeita, kuten Oulun kaupungin katurakenteiden suunnitteluohje (Katurakenteiden suunnitteluohje 2017), ei ole olemassa. Suunnitteluarvo E-Moduulille CAIM-hankkeessa on 70 MPa. Tämä asettaa pohjatuikan laadukkaaksi suodatinkerrosmateriaaliksi. Paksuna kerroksena sen hyödyntäminen myös yhtenäisenä kantava- ja jakavakerroksena on mahdollista, kunhan päälle levittää 10 cm sepelikerroksen päällysteen levitystä varten. Ilman sepelikerrosta asfalttikoneet eivät renkaineen pysty tuhkassa etenemään. (Katurakenteiden suunnitteluohje 2017.)

10.3 Haitta-ainepitoisuudet

Teollisuuden sivuvirroista syntyvien tuotteiden käyttö vaatii ympäristöluvan tai ilmoituksen tuotteen käytöstä (MARA-luonnos 2016). Raja ympäristöluvan anomiseen on säädetty MARA-säädöksen mukaisesti. Raja-arvot tietyille haitta-aineille löytyvät MARA-luonnoksesta 11.11.2016 (Liite 7).

Ahma-ympäristön teettämän tutkimuksen mukaan pohjatuhkan haitta-ainepitoisuudet ovat pieniä. Ainoastaan Bariumin pitoisuus ylittyy peitetulle rakenteelle. Se ei kuitenkaan ylitä päällystetyn rakenteen raja-arvoa. Tämä helpottaa pohjatuhkan käytön suunnittelua ja hyödyntämistä jopa lyhyellä aikajänteellä. Ympäristöluvan anominen on usean kuukauden pituinen prosessi.

Taulukko 5. Kokonaispitoisuudet ja liuenneiden aineiden pitoisuudet (SFS-EN 12457-3) liuoskiintoainessuhteella L/S = 10 [mg / kg kuiva-ainetta]. Taulukossa näytteen analyysitulosten lisäksi vertailupitoisuuksina VNa 403/2009 ”eräiden jätteen hyödyntämisestä maarakennuksessa annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta” mukaiset raja-arvot jätenimikkeille lentotuhka, pohjatuhka ja leijupetihiekka. (Liite 1)

	Perustutkimus				
	Näyte pohjatuhka		Raja-arvot VNa 403/2009		
	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus L/S10 SFS-EN 12457-3 (ravistelutesti)	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus, mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	
Aine/ muuttuja	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	mg/kg kuiva-ainetta	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne
PCB	<0,07		1,0		
PAH	<3		20/40 ¹¹		
DOC		<50		500	500
Antimoni (Sb)		<0,01		0,06	0,18
Arseeni (As)	8,7	<0,15	50	0,5	1,5
Barium (Ba)	1480	28	3000	20	60
Kadmium (Cd)	<0,3	<0,015	15	0,04	0,04
Kromi (Cr)	42	<0,1	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	38	<0,1	400	2,0	6,0
Elohopea (Hg)		<0,005		0,01	0,01
Lyijy (Pb)	3,7	<0,15	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	<1	<0,05	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		<0,1		0,4	1,2
Vanadiini (V)	28	<0,05	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	1800	<0,1	2000	4,0	12
Seleeni (Se)		<0,02		0,1	0,5
Fluoridi (F)		<5		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		87		1000	10000
Kloridi (Cl)		<50		800	2400

11 KOULULAISEN POLKU

11.1 CAIM-hankkeen rakennussuunnitelma

CAIM-hankkeen testialue, 160 m pitkä kevyenliikenteen väylä, rakennettiin kesällä 2017. Testialue on osa Koululaisen polkua. Testialue jakautui viiteen eri osuuteen, joista neljä rakennettiin hankkeen testauksessa olevasta sivutuotteesta ja yksi luonnonmateriaaliverrokista, hiekasta. Testauksessa olevista sivutuotteista OKTO-eristettä käytettiin kahdessa osuudessa eri kerrospaksuuksilla. Pohjatuhka, Fill-R ja hiekka täyttivät kolme muuta osuutta. Testialueen tarkka pituusleikkaus liitteenä 16.

Testialue varustettiin mahdollisia tulevaisuuden hankkeita silmällä pitäen älyputkistolla. Näiden asennus mahdollistaa päällysteen alle sijoitettavien sensoreiden ja muun instrumentoinnin käytön. Älyputket asennettiin kantavan kerroksen pintaan poikittain 10 m välein koko testi alueen pituudelta. CAIM-hankkeessa älyputkilla ei ole käyttöä, joten putket pysyivät tyhjinä tämän hankkeen ajan.



Kuvio 7. Älyputkien asennus testialueelle, Fill-R-rakennekerrokseen

Sivutuotteita tutkittiin termisen talven yli 2017–2018. Tutkimuksessa tarkkailtiin sivutuotteiden ominaisuuksia suodatinkerroksena, roudan etenemistä rakenteessa sekä routaturpoamaa osuudella termisen talven jälkeen. Seuranta toteutetaan 2 m pitkillä routa-antureilla, joita asennettiin yksi jokaiselle osuudelle, sekä korkomittauksin päällysteen päältä ennen talvea ja maaliskuun 2018 viimeisellä viikolla.



Kuvio 8. Routa-anturi

Rakenteiden suunnittelu toteutettiin Tiehallinnon Tierakenteen Suunnittelun ja InfraRYL:n Katuluokka 6 mukaan. Näissä tavoitekantavuus päällysteen päältä AB-rakenteella on 175 MN/m^2 . Routanousu Kemin korkeudella on Suomen katu-tekniikka yhdistyksen Katu 2002 -säännöksen mukaan tälle rakenteelle maksimissaan 100 mm. Tämä on F_{10} mitoituksena laskettu. Tarkemmat laskut on esitetty jokaisen rakenteen kohdalla erikseen. Kantavuusmitoituksissa ja routanousutarkasteluissa ei ole otettu huomioon salaojakerrosta (200 mm).

11.2 Rakennusvaiheen haasteet

Mitoituksien tavoitteena oli tutkia OKTO-eristeen käyttöä minimipaksuutena, jolla OKTO-eriste toimii yhdistettynä suodatin-, jakava- ja kantavakerroksena kevyenliikenteen väylässä. Pohjatuhkaa ja Fill-R-kevytkiviainesta tutkittiin suunnittelijan mitoituksen mukaisena suodatinkerroksena. Näiden lisäksi neljänneksi osuudeksi haluttiin luonnonmateriaali verrokki eli hiekka tässä tapauksessa.

Rakennuttajan työmaainsinöörin päätöksellä OKTO-eristeen käyttö suunnittelijan suunnitteleamalla tavalla evättiin rakennusvaiheen aikana. Eristeeseen lisättiin jakava ja kantava kerros. Kerrospaksuudet ovat työmaainsinöörin laskemia. Syy tähän muutokseen oli konemiesten huoli asfalttikoneiden etenemisestä OKTO-eristeen päällä.

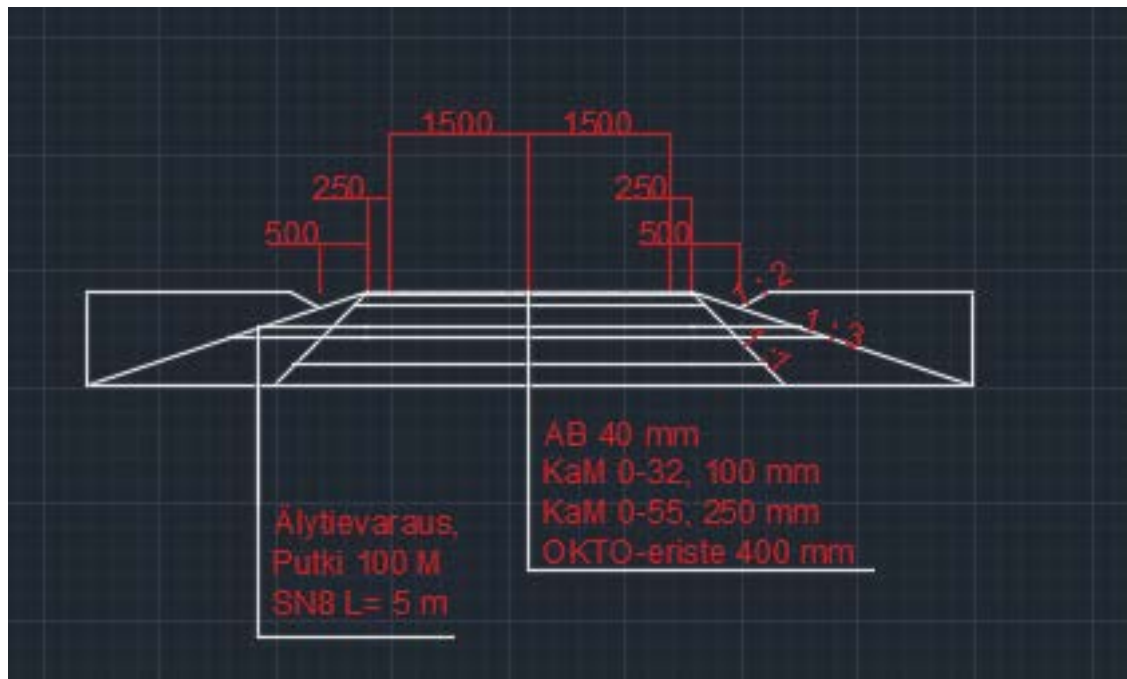
Tämän lisäksi Veitsiluodon tehdas ei kyennyt kesän aikana tuottamaan pohjatuhkaa alkuperäisen suunnitelman vaatimaa määrää, jolloin pohjatuhkalle leikattua osuutta ei täytetty kokonaan pohjatuhkalla. Sitä kertyi vain 15 m pitkä osuus 50 m sijaan. Uupumaan jäänyt 35 m täytettiin OKTO-eristeellä pohjatuhkan rakennesuunnitelman mukaisesti, ilman suodatinkangasta pohjalla.

Alkuperäisen suunnitelman mukainen pituusleikkaus, jossa neljä osuutta olivat 50 m OKTO-eristettä, 10 m hiekkaa, 50 m pohjatuhkaa ja 50 m Fill-R-kevytkiviainesta muuttui viideksi osuudeksi. Jossa on 50 m OKTO-eristettä, 10 m hiekkaa, 15 m pohjatuhkaa, 35 m OKTO-eristettä ja 50 m Fill-R-kevytkiviainesta. Toteutuneet viisi osuutta kulkevat hankkeessa nimellä OKTO-1, Hiekka, Pohjatuhka, OKTO-2 ja Fill-R.

Suunnittelijaa ei missään vaiheessa konsultoitu muutoksista. Myöskään lyhyisiin hiekka- ja pohjatuhkaosuuksiin ei rakennettu siirtymäkiiloja osana muutosta. Muutokset ovat toteutettu vastoin suunnittelijan suosituksia, eivätkä ne vastaa alkuperäistä tavoitetta, joka sivutuotteiden tutkimushankkeessa asetettiin. Sen sijaan että rakentamisessa edettiin tutkimushanke edellä, otettiin käyttöön totuttu rakennusmetodi. Juuri tätä hankkeen alkuperäinen tavoite OKTO-eristeen osalta yritti muuttaa. Tämä on hyvä esimerkki siitä, kuinka sivutuotteiden käytössä suuren haasteena on ajatusmallien muutos, ei käyttö itsessään.

11.3 OKTO-1

OKTO-eriste toimitettiin suoraan rakennusvaiheessa rakennuskohteeseen, Outokummun OKTO-eristeen jälleenmyyjän Destian toimesta. OKTO-eristeen kantavuus mitoituksessa on 100 MN/m^2 , eli se on hiekkaa paremman kantavuuden omaava suodatinkerrosmateriaali.



Kuvio 9. Tyypipoikkileikkaus / OKTO-1 -rakenne

KATULUOKKA 6: Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet

Tavoitekantavuus päällysteen päällä 175 MN/m^2

Materiaali	Kerospaksuus	E-Moduuli	Kantavuus rakennekerroksen päällä
AB	40 mm	2500	148 MN/m^2
KaM 0-32	100 mm	280	124 MN/m^2
KaM 0-55	250 mm	280	102 MN/m^2
OKTO-eriste	400 mm	100	40 MN/m^2
Pohjamaa (F)		10	10 MN/m^2

RAKENTEEN ROUTAMITOITUSTARKASTELU

Mitoittava pakkasmäärä $F_{10}=48000 \text{ h}^\circ\text{C}$

Mitoitusroudan syvyys $S = 12 * \sqrt{48000} = 2,63 \text{ m}$

Materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta:

- asfalttibetoni 1,0
- murske 0,9
- OKTO-eriste 1,5

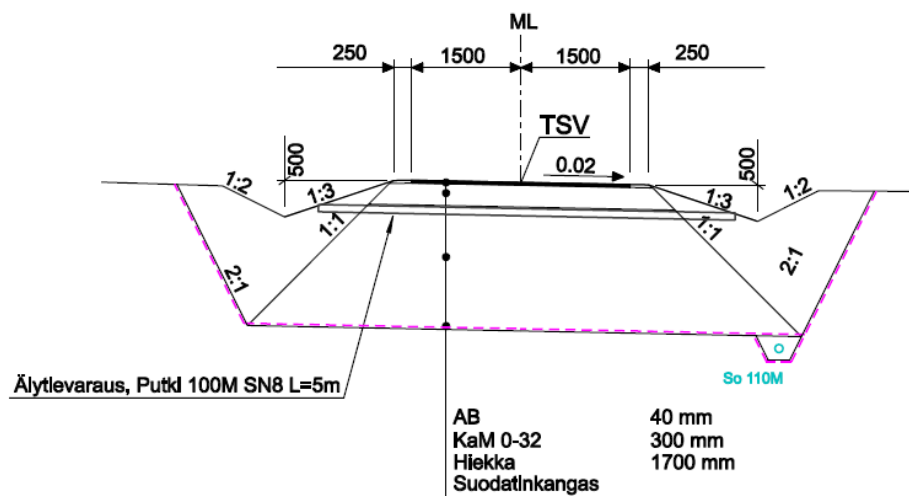
Rakenteen laskennallinen routanousu:

$$RN_{lask} = (S - 1,0 * 40 - 0,9 * 350 - 1,5 * 400) * 0,16 = 268 \text{ mm}$$

Rakenteen sallittu routanousu 100 mm (Suomen kuntatekniikan yhdistys, KATU 2002)

11.4 Hiekka

Hiekkaosuus rakennettiin luonnonkiviverrokkina sivutuotteille. Hiekaksi valikoitui 70 MN/m² kantavuuden hiekka. Tämä on hyvälaatuinen hiekka, jonka saatavuus Suomessa on vähenemään päin. Tyypillinen rakennusmateriaalihiekka on kantavuudeltaan 30-50 MN/m². Tämä tekee hiekkarakenteesta parhaan mahdollisen esimerkin luonnonkivirakenteesta, ei välttämättä tyypillisimmän.



Kuvio 10. Tyypipoikkileikkaus / hiekkarakenne (Ahma Ympäristö Oy.)

Taulukko 6, kantavuusmitoitus, routanousu laskelmat / hiekkarakenne (Ahma Ympäristö Oy.)

KATULUOKKA 6: Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet
Tavottekantavuus päällysteen päällä 175 MN/m²

Materiaali	Kerospaksuus	E-moduuli	Kantavuus rakennekerron päällä
AB	40 mm	2500	180 MN/m ²
KaM 0-32	300 mm	280	155 MN/m ²
Hiekka Suodatinkangas	1700 mm	70	70 MN/m ²
Pohjamaa (F)		10	10 MN/m ²

¹⁾ Salaojakerroksen materiaali InfraRYL 2010, kuvien 18320:K1a...c mukainen

RAKENTEEN ROUTAMITOITUSTARKASTELU

Mitoitettava pakkasmäärä F10 = 48000 h^oc

Mitoitusroutan syvyys S = $12 \times \sqrt{48000} = 2,63$ m

Materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta:

- asfalttibetoni 1,0
- murske 0,9
- hiekka 1,0

Rakenteen laskennallinen routanousu:

RN_{lask} = (S - 1,0x40 - 0,9x300 - 1,0x1700) x 0,16 = 99 mm

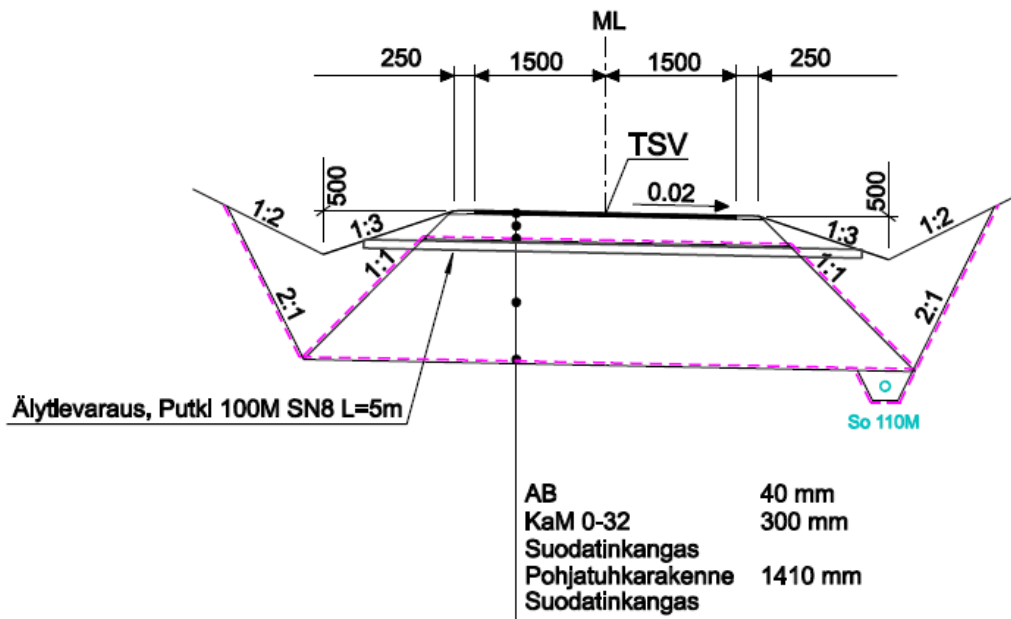
Rakenteen saatu routanousu 100 mm (Suomen kuntateknillinen yhdistys, KATU 2002)



Kuvio 11. Hiekkaosuuden profiili kaivannosta käsin kuvattuna

11.5 Pohjatuhka

Pohjatuhka toimitettiin Veitsiluodon tehtaalta suoraan rakennusvaiheeseen työmaalle. Pohjatuhka säilytettiin läjityskasoissa tehtaan alueella, kunnes sen tarve muodostui rakennustyömaalla. Kantavuusarvo on mitoituksessa 70 MN/m^2 , joka vastaa hyvälaatuisen hiekan kantavuutta. Suurin ongelma pohjatuhkan käytössä on runsas pölyäminen levitysvaiheessa ja tiivistyksen yhteydessä.



Kuvio 12. Tyypipoikkileikkaus / pohjatuhkarakenne (Ahma Ympäristö Oy)



Kuvio 13. Pohjatuhkan levitys rakenteeseen

Taulukko 7, kantavuusmitoitus, routanousu laskelmat / pohjatuhkarakenne
(Ahma Ympäristö Oy.)

KATULUOKKA 6: Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet
Tavoitekantavuus päällysteen päällä 175 MN/m²

Materiaali	Kerospaksuus	E-moduuli	Kantavuus rakennekerroksen päällä
AB	40 mm	2500	180 MN/m ²
KaM 0-32	300 mm	280	155 MN/m ²
Suodatinkangas			
Pohjatuhkarakenne	1410 mm	70	70 MN/m ²
Suodatinkangas			
Pohjamaa (F)		10	10 MN/m ²

¹⁾ Salaojakerroksen materiaali InfraRYL 2010, kuvien 18320:K1a...c mukainen

RAKENTEEN ROUTAMITOITUSTARKASTELU

Mitoitettava pakkasmäärä F10 = 48000 h°C

Mitotusroutan syvyys S = $12 \times \sqrt{48000} = 2,63$ m

Materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta:

- asfalttibetonin 1,0
- murske 0,9
- pohjatuhka 1,2

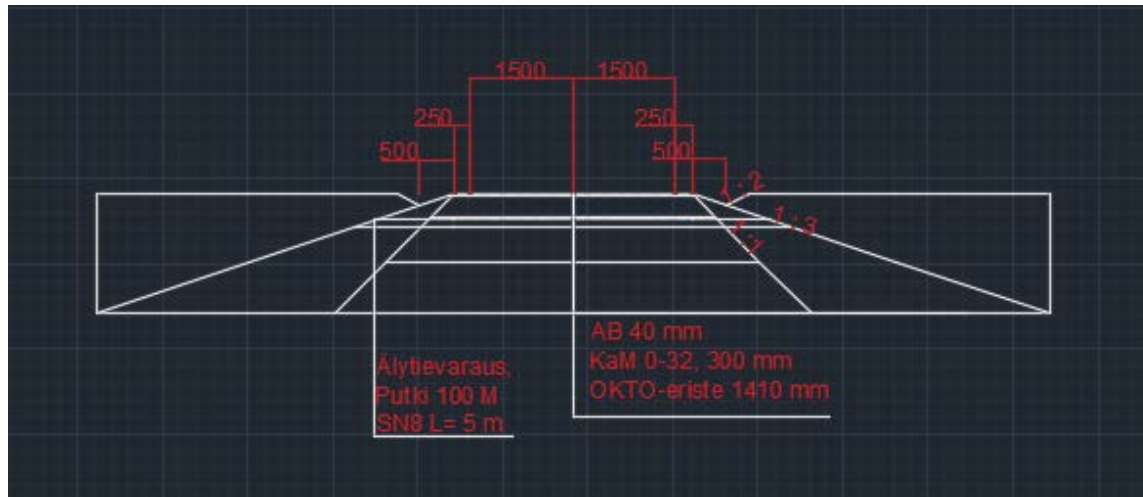
Rakenteen laskennallinen routanousu:

RN_{lask} = (S - 1,0x40 - 0,9x300 - 1,2x1410) x 0,16 = 100 mm

Rakenteen sallittu routanousu 100 mm (Suomen kuntateknillisen yhdistys, KATU 2002)

11.6 OKTO-2

OKTO-2-rakenteeseen käytettiin samaa Destian toimittamaa OKTO-eristettä kuin OKTO-1-rakenteeseen. OKTO-eristeen kantavuus mitoituksessa on 100 MN/m^2 , eli se on hiekkaa paremman kantavuuden omaava suodatinkerrosmateriaali.



Kuvio 14. Tyypipoikkileikkaus / OKTO-2-rakenne

KATULUOKKA 6: Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet

Tavoitekantavuus päällysteen päällä 175 MN/m^2

Materiaali	Kerospaksuus	E-Moduuli	Kantavuus rakennekerroksen päällä
AB	40 mm	2500	178 MN/m^2
KaM 0-32	300 mm	280	152 MN/m^2
OKTO-eriste	1410 mm	100	70 MN/m^2
Pohjamaa (F)		10	10 MN/m^2

RAKENTEEN ROUTAMITOITUSTARKASTELU

Mitoittava pakkasmäärä $F_{10}=48000 \text{ h}^\circ\text{C}$

Mitoitusroudan syvyys $S = 12 * \sqrt{48000} = 2,63 \text{ m}$

Materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta:

- asfalttibetoni 1,0
- murske 0,9
- OKTO-eriste 1,5

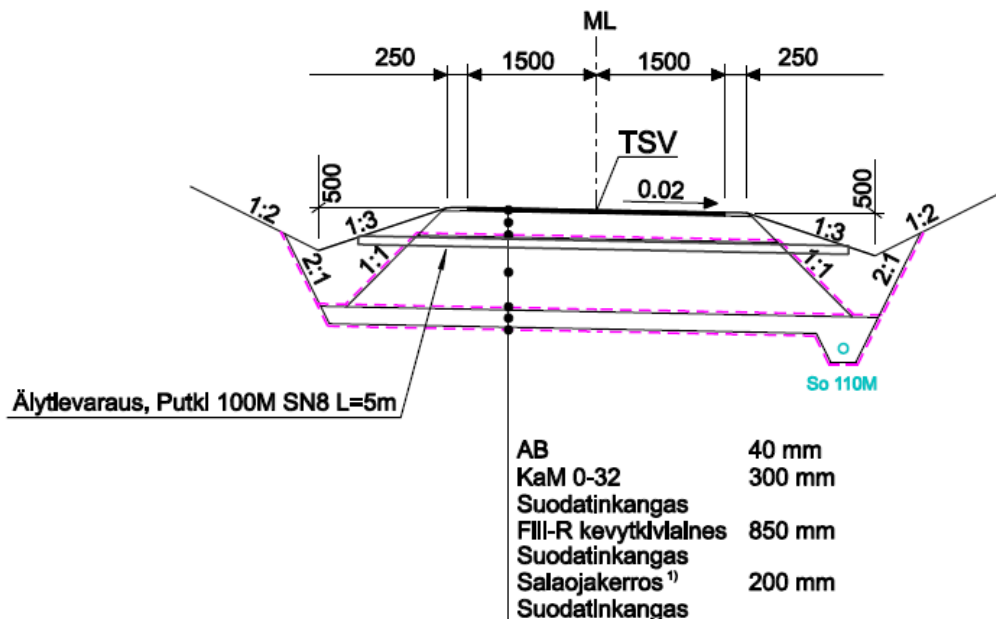
Rakenteen laskennallinen routanousu:

$$RN_{lask} = (S - 1,0 \cdot 40 - 0,9 \cdot 300 - 1,5 \cdot 1410) \cdot 0,16 = 33 \text{ mm}$$

Rakenteen sallittu routanousu 100 mm (Suomen kuntatekniikan yhdistys, KATU 2002.)

11.7 Fill-R

Kevytkiviaines Fill-R toimitettiin Ecolanin Viitasaaren tehtaalta kesän alussa rakennuskohteeseen. Siellä sivutuote välivarastoitettiin läjityskasoissa. Kantavuusarvo on mitoituksessa 70 MN/m^2 , joka vastaa hyvälaatuisen hiekan kantavuutta. Fill-R-osuus on ainoa sivutuoterakenteista, joka tehtiin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti.



Kuvio 15. Tyyppipoikkileikkaus / Fill-R-kevytkiviainesrakenne (Ahma Ympäristö Oy.)

Taulukko 8. Kantavuusmitoitus, routanousulaskelmat Fill-R-kevytkiviainesrakenne (Ahma Ympäristö Oy.)

KATULUOKKA 6: Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet
Tavoitekantavuus päällysteen päällä 175 MN/m²

Materiaali	Kerrospaksuus	E-moduuli	Kantavuus rakennekerroksen päällä
AB	40 mm	2500	180 MN/m ²
KaM 0-32	300 mm	280	155 MN/m ²
Suodatinkangas			
Fill-R kevytkiviaines	850 mm	70	70 MN/m ²
Suodatinkangas			
Salaojakerros ¹⁾	200 mm		
Suodatinkangas			
Pohjamaa (F)		10	10 MN/m ²

¹⁾Salaojakerroksen materiaali InfraRYL 2010, kuvien 18320:K1a...c mukainen

RAKENTEEN ROUTAMITOITUSTARKASTELU

Mitoitettava pakkasmäärä $F_{10} = 48000 \text{ h}^\circ\text{C}$

Mitotusroutan syvyys $S = 12 \times \sqrt{48000} = 2,63 \text{ m}$

Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta:

- asfalttibetonin 1,0
- murske 0,9
- Fill-R kevytkiviaines 2,0

Rakenteen laskennallinen routanousu:

$RN_{lask} = (S - 1,0 \times 40 - 0,9 \times 300 - 2,0 \times 850) \times 0,16 = 99 \text{ mm}$

Rakenteen sallittu routanousu 100 mm (Suomen kuntateknikan yhdistys, KATU 2002)



Kuvio 16. Tiivistetty Fill-R-rakennekerros

12 TULOKSET

12.1 Pakkasmäärä ja routamittaukset

Esittelen tässä luvussa CAIM-hankkeen testialueelta kerättyä tietoa eri rakenneosuuksista. Keräsimme routa-antureiden mittaamaa tietoa roudan etenemisestä rakennekerroksissa. Ilman lämpötila mitattiin ilmatieteenlaitoksen mittauspisteessä Kemi – Tornion lentoasemalla. Routanousu on Kemin kaupungin korkomittausten pohjalta. Kemin kaupungin mittaukset on suoritettu Trimblen S6 takymetrillä, ja tulokset ovat rakennusvaiheen jälkeen mitatun päällysteen koron ja 26.3.2018 mitatun koron erotus.



Kuvio 17. Korkomittaus 26.3.2018

Taulukko 9. Pakkasmäärä (Kivikoski & Saarelainen. 2000.)

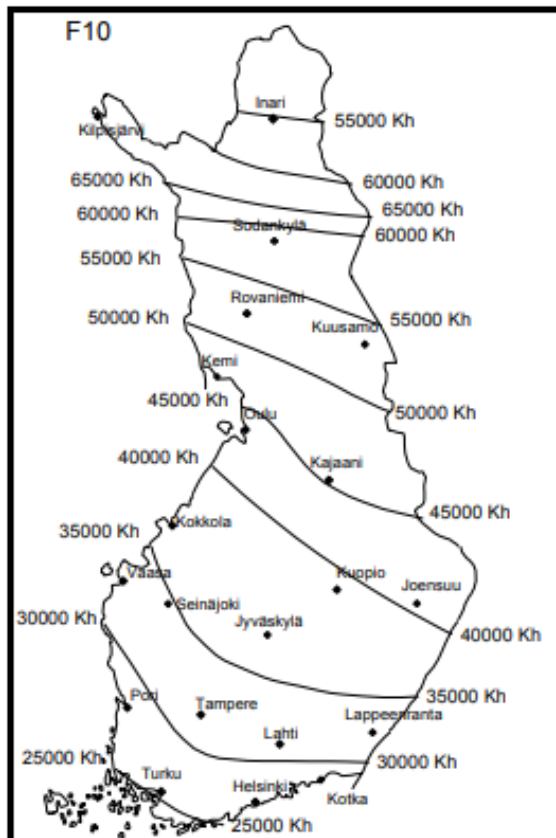
$$F = 24 \cdot \sum_j (T_f - T_{d,j})$$

jossa

F on talven pakkasmäärä, Kh

 T_f jäätymispiste 0 °C $T_{d,j}$ vuorokauden keskilämpötila päivälle j, °C

Pakkasmäärä on laskettu ilman vuorokautisista keskilämpötiloista taulukossa 9 esitetyllä kaavalla. Pakkasmäärä ja roudan eteneminen rakenteissa on mitattu CAIM-hankkeessa. Opinnäytetyöni tuloksista viimeinen on mitattu 11.3.2018. Talven pakkasmäärä 11.3.2018 on 24910 Kh. Tämä on maltillinen pakkasmäärä, sillä Kemi kuuluu F_{10} 45000 Kh mitoitusalueeseen. Kuvion 8 mukaisesti alle 30000 pakkasmäärä löytyy eteläisen Suomen alueelta, Tampereen korkeudelta.

Kuvio 18. Kerran 10 vuodessa toistuva pakkasmäärä F_{10} , Kh. (Kivikoski & Saarelainen. 2000.)

12.2 OKTO-1

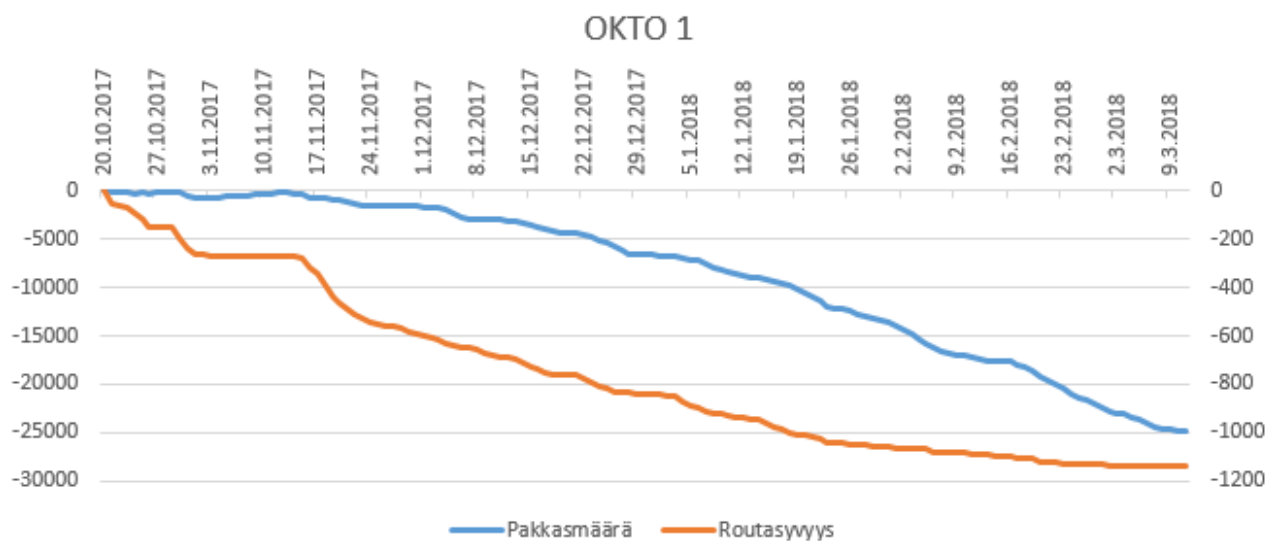
Taulukko 10. OKTO-1-osuuden routanousu

PL	Vas reuna	Keskeltä	Oik reuna
6	-0,025	-0,023	-0,021
10	-0,024	-0,014	-0,011
15	-0,011	-0,011	-0,013
23	-0,002	-0,007	-0,007
28	-0,008	-0,010	-0,010
31	-0,011	-0,013	-0,012
40	-0,006	-0,008	-0,010
48	0,013	-0,006	-0,009
53	0,016	-0,006	-0,006

Routanousua ei merkittävästi ole OKTO-1-rakenteessa. Päällysteen reunoilla nousua on 6–25 mm. Keskilinjalta nousua esiintyy 6–23 mm. Vähäistä nousua edesauttaa peruskallio, joka on rakennekerroksien alla. Routivaa maa-ainesta ei tällä osuudella ole OKTO-eristeen alla.

Routa-anturin mittaustulos näyttää, että routa on edennyt kerroksien läpi ja saavuttanut pohjamaan.

Taulukko 11. Routasyvyys OKTO-1-rakenteessa ja pakkasmäärä



12.3 Hiekka

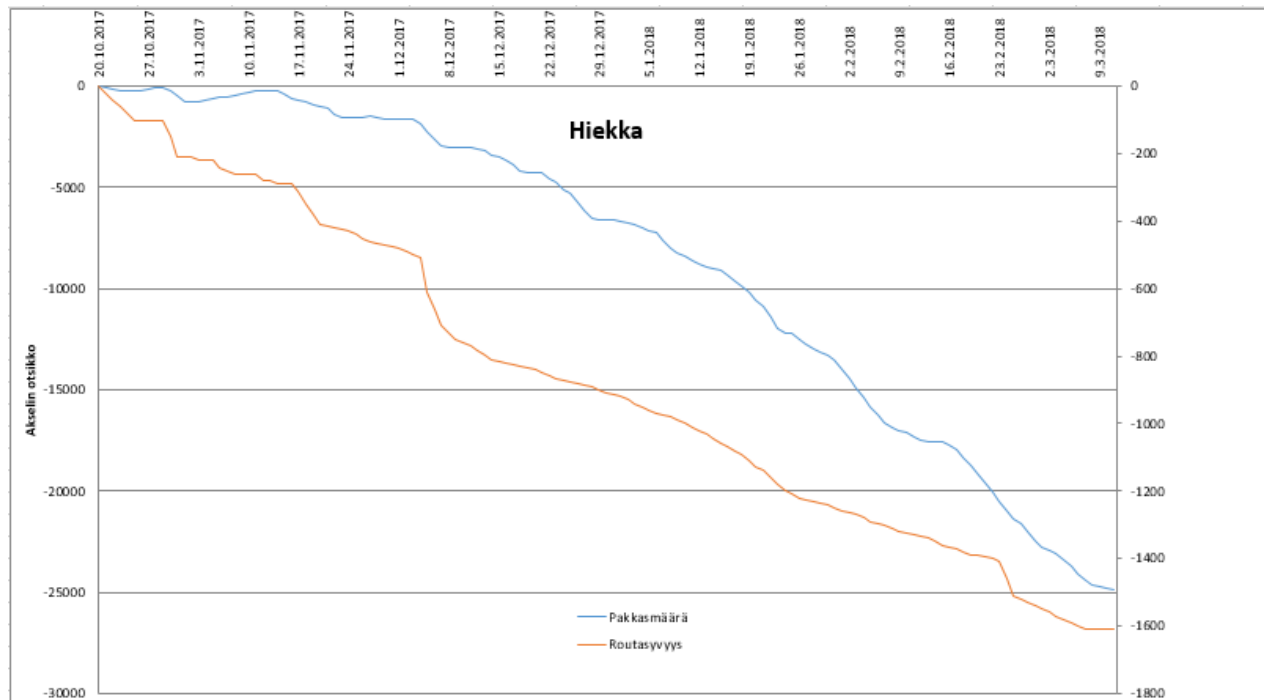
Taulukko 12. Hiekkaosuuden routanousu

PL	Vas reuna	Keskeltä	Oik reuna
56	-0,002	-0,005	-0,005
61	0,004	0,001	-0,003
64	-0,004	-0,006	-0,008

Routanousua ei merkittävästi ole hiekkarakenteessa. Päällysteen reunoilla nousua on 2–8 mm. Keskilinjalta nousua esiintyy 1–6 mm.

Routa-anturin mittaustulos näyttää, että routa on edennyt 1610 mm syvyyteen. Pohjamaa on 2040 mm syvyydessä, joten routa ei ole edennyt hiekkarakenteen läpi. Hiekan paksuus suodatinkerroksena on 1700 mm, kantava- ja jakavakerroksena 300 mm ja päällysteenä 40 mm.

Taulukko 13. Routasyvyys hiekkarakenteessa ja pakkasmäärä



12.4 Pohjatuhka

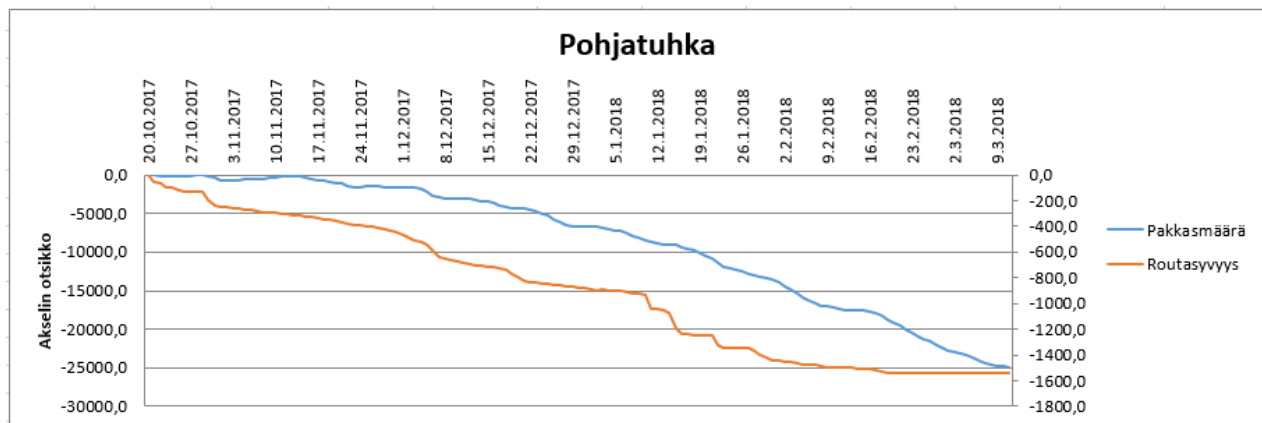
Taulukko 14. Pohjatuhkaosuuden routanousu

PL	Vas reuna	Keskeltä	Oik reuna
70	-0,003	-0,009	-0,005
80	0,002	-0,002	0,002

Routanousua ei merkittävästi ole pohjatuhkarakenteessa. Päälysteen reunoilla nousua on 2–5 mm. Keskilinjalta nousua esiintyy 2–9 mm.

Routa-anturin mittaustulos näyttää, että routa on edennyt 1540 mm syvyyteen. Pohjamaa on 1750 mm syvyydessä, joten routa ei ole edennyt pohjatuhkarakenteen läpi. Pohjatuhkan paksuus suodatinkerroksena on 1410 mm, kantava- ja jakavakerroksena 300 mm ja päälysteenä 40 mm.

Taulukko 15. Routasyvyys pohjatuhkarakenteessa ja pakkasmäärä



12.5 OKTO-2

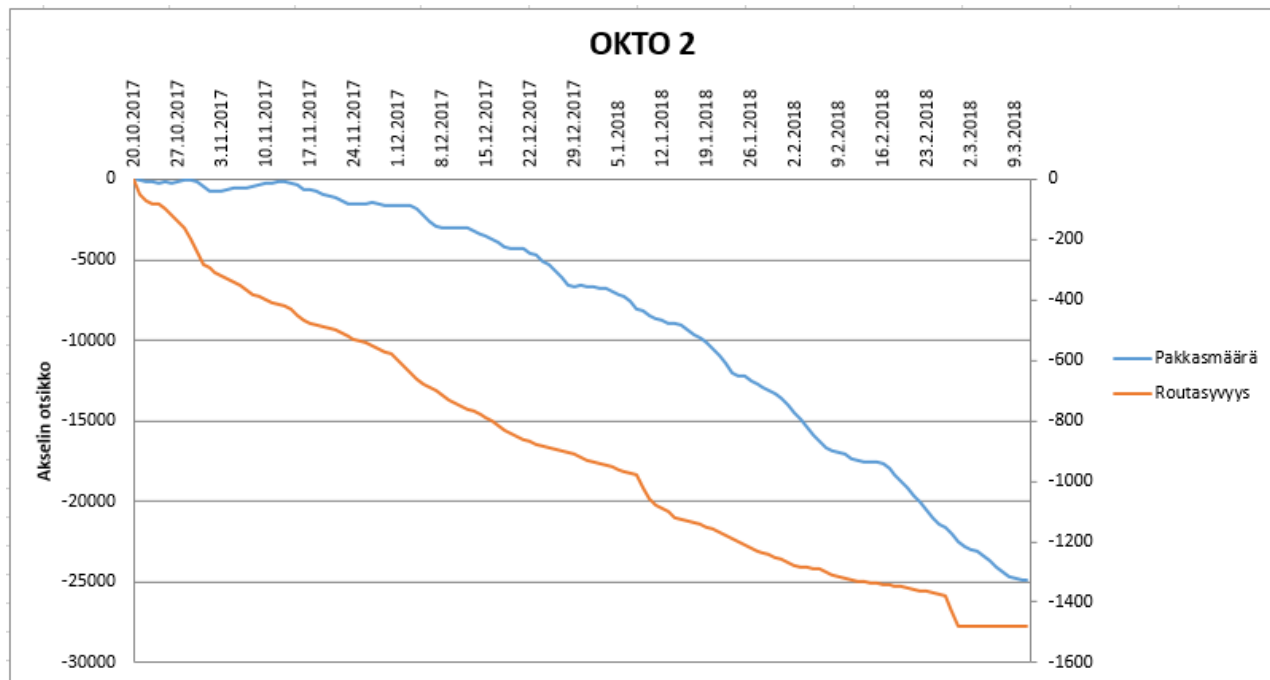
Taulukko 16. OKTO-2-osuuden routanousu

PL	Vas reuna	Keskeltä	Oik reuna
87	0,001	0,000	-0,005
95	-0,004	-0,004	-0,003
101	0,006	-0,002	-0,003
106	-0,004	-0,004	-0,004
112	-0,004	-0,006	-0,006

Routanousua ei merkittävästi ole OKTO-2-rakenteessa. Päällysteen reunoilla nousua on 1–6 mm. Keskilinjalta nousua esiintyy 0–6 mm.

Routa-anturin mittaustulos näyttää, että routa on edennyt 1480 mm syvyyteen. Pohjamaa on 1750 mm syvyydessä, joten routa ei ole edennyt OKTO-2-rakenteen läpi. OKTO-eristeen paksuus suodatinkerroksena on 1410 mm, kantava- ja jakavakerroksena 300 mm ja päällysteenä 40 mm.

Taulukko 17. Routasyvyys OKTO-2-rakenteessa ja pakkasmäärä



12.6 Fill-R

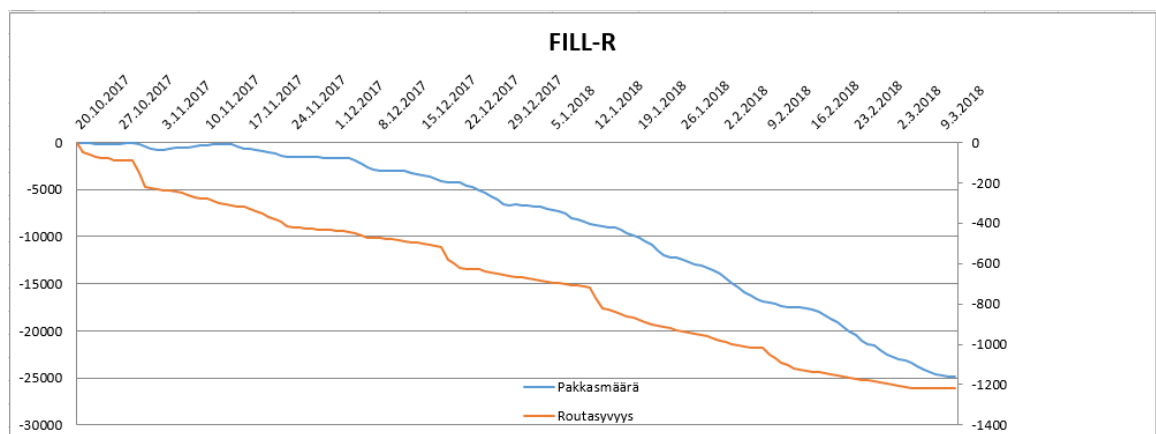
Taulukko 18. Fill-R-osuuden routanousu

PL	Vas reuna	Keskeltä	Oik reuna
117	-0,026	-0,024	-0,023
124	-0,030	-0,035	-0,046
131	-0,044	-0,044	-0,051
138	-0,052	-0,052	-0,059
144	-0,054	-0,051	-0,061
151	-0,056	-0,054	-0,063
159	-0,070	-0,076	-0,075
165	-0,076	-0,072	-0,066

Routanousua esiintyy Fill-R-osuudella huomattavasti enemmän kuin muilla osuuksilla. Nousut vaihtelevat reunoilla 23–76 mm ja keskilinjalla 24–76 mm. Nousun määrä kasvaa, mitä pidemmälle PL etenee. Tähän vaikuttavina tekijöinä näen suoran rajapinnan Fill-R-rakenteesta seuraavaan, vanhaan kevyenliikenneväylän rakenteeseen, joka jatkaa koululaisen polkua PL 165:sta eteenpäin. Fill-R-osuudesta ei ole siirtymäkiilaa seuraavaan. Lisäksi Fill-R-rakenteisuus päättyy kahteen peräkkäin sijoitettuun alikulkusiltaan. Näiden alikulkusiltojen salaojitus voi hyvinkin kaataa kohti Fill-R-osuutta.

Routa-anturin mittaustulos näyttää, että routa on edennyt 1220 mm syvyyteen. Pohjamaa on 1390 mm syvyydessä, joten routa eteni Fill-R-kerroksen läpi 200 mm paksuun salaojakerrokseen, mutta ei pohjamaahan saakka. Fill-R-kevytkiviaineen paksuus suodatinkerroksena on 850 mm, kantava- ja jakavakerroksena 300 mm ja päällysteenä 40 mm.

Taulukko 19. Routasyvyys Fill-R-rakenteessa ja pakkasmäärä



13 POHDINTA

Kun maa-ainesten kysyntä kasvaa vuodesta toiseen, ja kuljetusmatkat kasvukeskuksiin pidentyvät, on teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö järkevä, taloudellinen ja laadukas vaihtoehto luonnonkivelle. Sivutuotteiden tuotanto tehtailla on pääsääntöisesti lähempänä kuin louhokset ja murskaamot, joista luonnonkivi kuljetetaan. Oikeaoppisella hyötykäytöllä sivutuotteiden luomat mahdollisuudet ovat laajoja.

Tärkein rajoittava tekijä sivutuotteiden hyötykäytössä on haitta-aineiden liukeneminen vesistöihin. Tämän estämiseksi tulee sivutuotteen ominaisuudet ja rakennuskohteen yksilölliset piirteet tutkia tarkoin. Jotta sivutuotteen käyttö on mahdollisimman helppoa, on pitoisuuksien oltava raja-arvoja alemmat, jolloin ympäristölupaa ei tarvita. Kuten Fill-R-kevytkiviaineuksen valmistus osoittaa, haitta-aineiden vähentämiseen löytyy prosesseja, jos sivutuotteen lähtöarvot ylittävät raja-arvot.

Sivutuotteilla on rakennettavuuden kannalta laadukkaat ominaisuudet. CAIM-hankkeen vertailussa olevilla materiaaleilla kantavuus-, lämmönjohtavuus-, vedenläpäisevyys- ja mitoitusarvot ovat luonnonmateriaalia paremmat. Tämä mahdollistaa ohuempien kerrospaksuuksien käytön tuoden taloudellisia säästöjä hankintamäärien ja kuljetuskustannuksien kautta.

Lainsäädännön ja asetusten luomat kriteerit tulee oppia näkemään mahdollistavina tekijöinä rajoittavien sijaan. Kun sivutuotteiden käyttöä tarkastellaan mahdollisuuksien näkökulmasta, on hyötykäytön kasvu mahdollista. Vanhojen, totuttujen käytänteiden sijaan on kannattavaa etsiä uusia, vaihtoehtoisia käyttökohteita ja niiden tuomia taloudellisia hyötyjä.

CAIM-hankkeen tapaisten tutkimusten positiiviset tulokset viestittävät teollisuudelle ja rakennusalalle hyötykäytön mahdollisuuksista. Hallituksen asettamat tavoitteet kiertotalouden kasvulle ovat mahdollisia tämäntyylisten kestävien ratkaisujen myötä.

LÄHTEET

Aalbers, Th.G., de Wilde, P.G.M., Rood, G.A., Vermij, P.H.M., Saft, R.J., van de Beek, A.I.M., Broekman, M.H., Masereeuw, p., Kamphuis, Ch., Dekker, P.M. & Valentijn, E.A. 1996. Environmental quality of primary and secondary construction materials in relation to re-use and protection of soil and surface water. Bilthoven: Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu.

Aluehallintoviraston ympäristölupa 2015. Lupapäätös Nro 73/2015/1 Pohjois-Suomen Aluehallintovirasto.

Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Byrne, A.R. & Kosta, L. 1978. Vanadium in foods and in human body fluids and tissues. *Sci Total Environ* 10. 7.

Eskola, P. & Mroueh, U. 1998. Kivihiilivoimalan sivutuotteiden maarakennuskäytön elinkaariarviointi. Espoo: Edita Oy.

Huvinen, M. et al. 1989. Kromin biologiset vaikutukset jaloterästuotantoketjussa. Outokumpu Oy.

Infra 2015. Rakennusosa- ja hankenimikkeistö. Määrämittausohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Jaakkola, J. & Kokko, A. 1992. Altisteet työssä 16. Kromi. Helsinki: Työterveyslaitos, työsuojelurahasto.

Jätelaki 17.6.2011/646.

Kallio, V., Holappa, T. & Tikkakoski, A., 2010. OKTO-rakennustuotteiden suunnittelu- ja rakentamishoje tie-, katu- ja maarakenteissa. Joutsen media.

Kivikoski, H. & Saarelainen, S. 2000. Ilmastorasitus. Pakkasmäärän ja sulamiskauden pituuden määrittäminen. Espoo: VTT yhdyskuntatekniikka.

Koljonen, T. (toim.). 1992. Suomen Geokemian Atlas, osa 2: Moreeni. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen Geokemian Atlas, osa 3: Ympäristögeokemia-purovedet ja sedimentit. Espoo: Ota-kustantamo.

Lapin liitto. 2014. Rahoitusanomus CAIM-hanke. Viitattu pvm. http://www.lappi.fi/lapinliitto/rahoituksen_hakeminen.

Lindfors, L-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntila, V., Hanssen, O-J., Ronning, A., Ekvall, T., & Finnveden, G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment.

Maijala, A. 2005. Environmental Permits and Recycling of Industrial Waste in Soil Construction in Finland. Pietari: Ecoinfo 2-seminaari.

McBath, P.J., Mahoney, P.F. & Hatmaker, D.M. 1995. Massachusetts Permitting Strategies. ASH 8 Conference.

Mroueh, U., Järvinen, H.-L. & Lehto, O. 1996. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Helsinki: Teknologian kehittämiskeskus.

Mroueh, U., Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. & Mäkelä, E. 2006. Tausta-aineistoa ”Valtionneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa” valmistelua varten. Projektiraportti. VTT prosessit.

Mäkelä, E., Wahlström, M., Pihlajaniemi, M. & Mroueh, U. 1998. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteet ja lentotuhka maarakentamisessa. Espoo VTT.

Ojanen, O., Kilpeläinen, K. & Reinikainen, S.-P. 2006. Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö tierakentamisessa. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy.

OKTO-rakennustuotteiden ympäristötuoteseloste 2005. Outokumpu Chrome Oy. Tornion Kirjapaino.

Oulun kaupungin katurakenteiden suunnitteluohje 2017. Oulu: Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut.

Randahl, H., Dock, L. & Christiansson J. 1997. Molybden, vanadin, vismut – Förekommande halter och effecter på miljö och hälsa. Sverige: Naturvårdsverket.

Seppänen, A. 2000. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-alueen ja sen maaperän saastuneisuuden selvittämisestä ja puhdistustarpeen arvioinnista. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Sitra. 2016. Kierrolla kärkeen, Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. Julkaistu 21.6.2016. <https://www.sitra.fi/artikkelit/kierrolla-karkeen-suomen-tiekartta-kiertotalouteen-2016-2025/>.

Smarter than rock. Fill-R suunnittelu- ja mitoitusohje tie-, katu- ja maarakenteissa 2012. Viitasaari: Ecolan Oy.

Sorvari, J. 2000. Ympäristökriteerit mineraalisten teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa. Helsinki: Edita Oy.

Tiehallinto. 2004. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. MARA-luonnos 2016. Helsinki: Valtioneuvosto.

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 4.9.2014/713.

Wahlström, M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J., Leino-Forman, H., Mäkelä, E., Olin, M., & Juvankoski, M. 1999. Maarakentamisessa käytettävien teollisuuden sivutuotteiden riskiarviointi. Espoo: Libella Painopalvelu Oy.

Ympäristöministeriö. 1997. Jäteasetuksen mukaisten jätteen ominaisuuksien selvittäminen. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2014. Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia. Muistio, ympäristönsuojeluosasto 19.12.2014. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2018. Kiertotalous. Viitattu pvm. 22.1.2018
<http://www.ymparisto.fi/FI-Ymparisto/Kiertotalous>.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.

Ympäristönsuojelulaki 4.9.2014/713.

LIITTEET

- Liite 1. Raja-arvovertailu, lentotuhka
- Liite 2. Raja-arvovertailu, pohjatuhka
- Liite 3. Kuivaseularaportti, pohjatuhka
- Liite 4. Lämmönjohtavuus, pohjatuhka
- Liite 5. Vedenläpäisevyys, pohjatuhka
- Liite 6. Proctor-koe, pohjatuhka
- Liite 7. Haitta-aineiden raja-arvot
- Liite 8. Kuivaseularaportti, Fill-R
- Liite 9. Vedenläpäisevyys, Fill-R
- Liite 10. Lämmönjohtavuus, Fill-R
- Liite 11. Proctor-koe, Fill-R
- Liite 12. Kuivaseularaportti, OKTO-eriste
- Liite 13. Vedenläpäisevyys, OKTO-eriste
- Liite 14. Lämmönjohtavuus, OKTO-eriste
- Liite 15. Proctor-koe, OKTO-eriste
- Liite 16. Koululaispolku, pituusleikkaus



Stora Enso Veitsiluoto Oy

Lentotuhka, Kemi

maarakennuskäyttö

AHMA YMPÄRISTÖ OY

Projektinro: O-17-00926-001





4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

Stora Enso Veitsiluoto Oy

Tuhkanäytteen maarakennus- (VNa 591/2006, 403/2009) testaus.

6.6.2017

Laatija 1: Tomi Nevanperä

Sisällysluettelo:

NÄYTETIEDOT JA TEHDYT TUTKIMUKSET	1
1. TUTKIMUSTULOKSET.....	2
2. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	3
2.1 MAARAKENNUSKÄYTTÖ:.....	3
VIITTEET	4

LIITTEET

Liite 1. Testausseleoste O-17-00926-001

Copyright © Ahma ympäristö Oy

Teollisuustie 6
96101 ROVANIEMI
p. 040-1333800



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

NÄYTETIEDOT JA TEHDYT TUTKIMUKSET

Asiakas	Stora Enso Veitsiluodon tehdas 94800 KEMI
Yhteyshenkilö	Pipsa Maikkula
Asiakkaan viite	Lentotuhka, Veitsiluoto Kemi 16.5.2017
Näytteen saapumispäivämäärä	19.5.2017
Testauksen tavoite	Tuhkanäytteen maarakennushyötykäyttö ilmoitusmenettelyllä- (VNa 591/2006, 403/2009) testaus/raja-arvovertailu
Testausselesteiden numerot	O-17-00926-001
Asiakirjan jakelu	pipso.maikkula@storaenso.com;kristiina.kukkonen@storaenso.com

Näytteenottaja ja päivä	Näytetunnus
tuottaja, 16.5.2017	Lentotuhka, Veitsiluoto, Kemi 16.5.2017

Laboratoriotutkimukset

Liukoiset pitoisuudet

Materiaalin liukoisten pitoisuuksien määrittämiseksi näytteelle tehtiin SFS-EN 12457-3¹ kaksivaiheinen ravistelutesti. Suodoksista analysoitiin arseeni-, barium-, kadmium-, kromi-, kupari-, molybdeeni, nikkeli-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet ICP-emissiospektrometrilla², seleeni- ja antimonipitoisuudet ICP-massaspektrometrilla³ ja elohopeapitoisuus kylmähöyry-atomiabsorptiospektrometrilla⁴. Kloridi, fluoridi ja sulfaatti määritettiin ionikromatografisesti⁵. Liunneen orgaanisen hiilen (DOC) kokonaispitoisuus analysoitiin katalyyttiseen polttoon ja NDIR-detektioon perustuvalla Shimadzu TOC-L CSH TOC -analysointilaitteella⁶.

Kokonaispitoisuudet

Epäorgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksien määrittämiseksi näytteelle tehtiin mikroaaltoavusteinen märkäpoltto (HCl/HNO₃) EPA3051 ohjeiston⁷ mukaisilla olosuhteilla. Arseeni-, barium-, kadmium-, kromi-, kupari-, molybdeeni-, lyijy-, nikkeli-, sinkki- ja vanadiinipitoisuudet määritettiin laimennetusta happoliuoksesta ICP-emissiospektrometrilla (ICP-OES). PAH⁸ ja PCB⁹-analyysit teetettiin alihankintana SGS Inspection Services Oy:n laboratoriossa.



1. TUTKIMUSTULOKSET

Taulukko 1. Kokonaispitoisuudet ja liuenneiden aineiden pitoisuudet (SFS-EN 12457-3) liuoskiintoainessuhteella L/S = 10 [mg / kg kuiva-ainetta]. Taulukossa näytteen analyysitulosten lisäksi vertailupitoisuuksina VNa 403/2009 ”eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta” mukaiset raja-arvot jätenimikkeille lentotuhka, pohjatuhka ja leijupetihiekka.

	Perustutkimus				
	Näyte: Lentotuhka		Raja-arvot VNa 403/2009		
	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus L/S10 SFS-EN 12457-3 (ravistelutesti)	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus, mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	
Aine/ muuttuja	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	mg/kg kuiva-ainetta	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne
PCB	<0,07		1,0		
PAH	<3		20/40 ⁽¹⁾		
DOC		<50		500	500
Antimoni (Sb)		<0,01		0,06	0,18
Arseeni (As)	18	<0,15	50	0,5	1,5
Barium (Ba)	1700	2,1	3000	20	60
Kadmium (Cd)	7,8	<0,015	15	0,04	0,04
Kromi (Cr)	110	1,7	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	130	<0,1	400	2,0	6,0
Elohopea (Hg)		<0,005		0,01	0,01
Lyijy (Pb)	49	0,48	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	7,1	1,8	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		<0,1		0,4	1,2
Vanadiini (V)	100	<0,05	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	1700	1,7	2000	4,0	12
Seleeni (Se)		0,30		0,1	0,5
Fluoridi (F)		6,2		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		20000		1000	10000
Kloridi (Cl)		3500		800	2400



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

2. JOHTOPÄÄTÖKSET

2.1 Maarakennuskäyttö:

Kokonaispitoisuuksia sekä kaksivaiheisen ravistelutestin (SFS-EN 12457-3) liukoisten pitoisuuksien tuloksia verrattiin valtioneuvoston asetuksessa 591/2006 (täydennetty 403/2009) jätenimikkeille lento- ja pohjatuhka sekä leijupetihiekka annettuihin raja-arvoihin (taulukko 1).

Orgaanisten ja epäorgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuudet alittavat kokonaispitoisuuksille asetetut raja-arvot.

Näytteen edustaman tuhkan liukoisen kromin, seleenin ja molybdeenin pitoisuudet ylittävät peitetylle rakenteelle asetetut raja-arvot. Liukoisen kloridin ja sulfaatin pitoisuudet ylittävät sekä peitetylle että päällystetylle rakenteelle asetetut raja-arvot.

Tutkimustulosten perusteella näytteen edustama tuhka ei sovellu hyötykäyttäväksi asetuksen 591/2006, täydennetty 403/2009, mukaisesti ilmoitusmenettelyllä. Näytteen edustaman tuhkan hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii tutkimustulosten perusteella ympäristölupamenettelyn.

Oulussa, 6.6.2017

Ahma ympäristö Oy / Suomen Ympäristöpalvelu

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Tomi Nevanperä".

Tomi Nevanperä, FM, Kemisti

tomi.nevanpera@ahmagroup.com

puh. 044-5885268



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

VIITTEET

- 1 SFS EN 12457-3. Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Rakeisten jätemateriaalien ja lietteiden liukoisuudenlaadunvalvontatesti. osa 3: kaksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 2 l/kg ja 8 l/kg materiaaleille, joiden kiintoaineksen osuus on suuri ja raekoko alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa)
- 2 SFS-EN ISO 11885:2009. Water Quality – Determination of selected elements by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
- 3 SFS-EN ISO 17294-2:2005 Water quality. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2: Determination of 62 elements
- 4 SFS-EN ISO 12846:2012 Veden laatu. Elohopean määrittäminen amalgamointirikastuksen jälkeen
- 5 SFS-EN ISO 10304-1 Veden laatu. Liuenneiden fluoridi-, kloridi-, nitriitti-, ortofosfaatti-, bromidi-, nitraatti- ja sulfaatti-ionien määrittäminen ionikromatografialla. Osa 1: Menetelmä vähän likaantuneelle vedelle
- 6 SFS-EN 1484 Vesianalyysi Ohjeita orgaanisen hiilen kokonaismäärän (TOC) ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrittämiseen.
7. EPA3051A (revision 1), Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils
8. EPA(PAH-16) , SFS-EN 15527
9. PCB-7, SFS-EN 15308



Stora Enso Veitsiluoto Oy

Pohjatuhka, Kemi

maarakennuskäyttö

AHMA YMPÄRISTÖ OY

Projektinro: O-17-00926-002





4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

Stora Enso Veitsiluoto Oy

Tuhkanäytteen maarakennus- (VNa 591/2006, 403/2009) testaus.

6.6.2017

Laatija 1: Tomi Nevanperä

Sisällysluettelo:

NÄYTETIEDOT JA TEHDYT TUTKIMUKSET	1
1. TUTKIMUSTULOKSET	2
2. JOHTOPÄÄTÖKSET	3
2.1 MAARAKENNUSKÄYTTÖ:	3
VIITTEET	4

LIITTEET

Liite 1. Testausseleoste O-17-00926-002

Copyright © Ahma ympäristö Oy

Teollisuustie 6
96101 ROVANIEMI
p. 040-1333800



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

NÄYTETIEDOT JA TEHDYT TUTKIMUKSET

Asiakas	Stora Enso Veitsiluodon tehdas 94800 KEMI
Yhteyshenkilö	Pipsa Maikkula
Asiakkaan viite	Pohjatuhka, Veitsiluoto Kemi 16.5.2017
Näytteen saapumispäivämäärä	19.5.2017
Testauksen tavoite	Tuhkanäytteen maarakennushyötykäyttö ilmoitusmenettelyllä- (VNa 591/2006, 403/2009) testaus/raja-arvovertailu
Testausselesteiden numerot	O-17-00926-002
Asiakirjan jakelu	piipsa.maikkula@storaenso.com;kristiina.kukkonen@storaenso.com

Näytteenottaja ja päivä	Näytetunnus
tuottaja, 16.5.2017	Pohjatuhka, Veitsiluoto, Kemi 16.5.2017

Laboratoriotutkimukset

Liukoiset pitoisuudet

Materiaalin liukoisten pitoisuuksien määrittämiseksi näytteelle tehtiin SFS-EN 12457-3⁽¹⁾ kaksivaiheinen ravistelutesti. Suodoksista analysoitiin arseeni-, barium-, kadmium-, kromi-, kupari-, molybdeeni, nikkeli-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet ICP-emissiospektrometrilla⁽²⁾, seleeni- ja antimonipitoisuudet ICP-massaspektrometrilla⁽³⁾ ja elohopeapitoisuus kylmähöyry-atomiabsorptiospektrometrilla⁽⁴⁾. Kloridi, fluoridi ja sulfaatti määritettiin ionikromatografisesti⁽⁵⁾. Liunneen orgaanisen hiilen (DOC) kokonaispitoisuus analysoitiin katalyyttiseen polttoon ja NDIR-detektioon perustuvalla Shimadzu TOC-L CSH TOC -analysointilaitteella⁽⁶⁾.

Kokonaispitoisuudet

Epäorgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksien määrittämiseksi näytteelle tehtiin mikroaaltoavusteinen märkäpoltto (HCl/HNO₃) EPA3051 ohjeiston⁽⁷⁾ mukaisilla olosuhteilla. Arseeni-, barium-, kadmium-, kromi-, kupari-, molybdeeni-, lyijy-, nikkeli-, sinkki- ja vanadiinipitoisuudet määritettiin laimennetusta happoliuoksesta ICP-emissiospektrometrilla (ICP-OES). PAH⁽⁸⁾ ja PCB⁽⁹⁾-analyysit teetettiin alihankintana SGS Inspection Services Oy:n laboratoriossa.



1. TUTKIMUSTULOKSET

Taulukko 1. Kokonaispitoisuudet ja liuenneiden aineiden pitoisuudet (SFS-EN 12457-3) liuoskiintoainessuhteella L/S = 10 [mg / kg kuiva-ainetta]. Taulukossa näytteen analyysitulosten lisäksi vertailupitoisuuksina VNa 403/2009 ”eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta” mukaiset raja-arvot jätenimikkeille lentotuhka, pohjatuhka ja leijupetihiekka.

	Perustutkimus				
	Näyte: pohjatuhka		Raja-arvot VNa 403/2009		
	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus L/S10 SFS-EN 12457-3 (ravistelutesti)	Kokonaispitoisuus	Liukoisuus, mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	
Aine/ muuttuja	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10)	mg/kg kuiva-ainetta	Peitetty rakenne	Päällystetty rakenne
PCB	<0,07		1,0		
PAH	<3		20/40 ⁽¹⁾		
DOC		<50		500	500
Antimoni (Sb)		<0,01		0,06	0,18
Arseeni (As)	8,7	<0,15	50	0,5	1,5
Barium (Ba)	1480	28	3000	20	60
Kadmium (Cd)	<0,3	<0,015	15	0,04	0,04
Kromi (Cr)	42	<0,1	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	38	<0,1	400	2,0	6,0
Elohopea (Hg)		<0,005		0,01	0,01
Lyijy (Pb)	3,7	<0,15	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	<1	<0,05	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		<0,1		0,4	1,2
Vanadiini (V)	28	<0,05	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	1800	<0,1	2000	4,0	12
Seleen (Se)		<0,02		0,1	0,5
Fluoridi (F)		<5		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		87		1000	10000
Kloridi (Cl)		<50		800	2400



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

2. JOHTOPÄÄTÖKSET

2.1 Maarakennuskäyttö:

Kokonaispitoisuuksia sekä kaksivaiheisen ravistelutestin (SFS-EN 12457-3) liukoisten pitoisuuksien tuloksia verrattiin valtioneuvoston asetuksessa 591/2006 (täydennetty 403/2009) jätenimikkeille lento- ja pohjatuhka sekä leijupetihiekka annettuihin raja-arvoihin (taulukko 1).

Orgaanisten ja epäorgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuudet alittavat kokonaispitoisuuksille asetetut raja-arvot.

Näytteen edustaman tuhkan liukoisen bariumin pitoisuus ylittää peitetylle rakenteelle asetetun raja-arvon. Muut liukoiset pitoisuudet alittavat peitetylle rakenteelle asetetut raja-arvot. Kaikki tutkitut liukoiset pitoisuudet alittavat päällystetylle rakenteelle asetetut raja-arvot.

Tutkimustulosten perusteella näytteen edustama tuhka soveltuu hyötykäytettäväksi ilmoitusmenettelyllä päällystetyissä rakenteissa. Peitetyissä rakenteissa hyödyntäminen vaatii tutkimustulosten perusteella ympäristölupamenettelyn.

Oulussa, 6.6.2017

Ahma ympäristö Oy / Suomen Ympäristöpalvelu

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Tomi Nevanperä".

Tomi Nevanperä, FM, Kemisti

tomi.nevanpera@ahmagroup.com

puh. 044-5885268



4778 Stora Enso Veitsiluoto Oy
Tuhkan maarakennuskäyttö

VIITTEET

- 1 SFS EN 12457-3. Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Rakeisten jätemateriaalien ja lietteiden liukoisuudenlaadunvalvontatesti. osa 3: kaksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 2 l/kg ja 8 l/kg materiaaleille, joiden kiintoaineksen osuus on suuri ja raekoko alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa)
- 2 SFS-EN ISO 11885:2009. Water Quality – Determination of selected elements by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
- 3 SFS-EN ISO 17294-2:2005 Water quality. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2: Determination of 62 elements
- 4 SFS-EN ISO 12846:2012 Veden laatu. Elohopean määrittäminen amalgamointirikastuksen jälkeen
- 5 SFS-EN ISO 10304-1 Veden laatu. Liunneiden fluoridi-, kloridi-, nitriitti-, ortofosfaatti-, bromidi-, nitraatti- ja sulfaatti-ionien määrittäminen ionikromatografialla. Osa 1: Menetelmä vähän likaantuneelle vedelle
- 6 SFS-EN 1484 Vesianalyysi Ohjeita orgaanisen hiilen kokonaismäärän (TOC) ja liunneen orgaanisen hiilen (DOC) määrittämiseen.
7. EPA3051A (revision 1), Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils
8. EPA(PAH-16) , SFS-EN 15527
9. PCB-7, SFS-EN 15308



2017-000004

HAVER CSA 5.0 Computerized Sieve Analysis (ISO 2591)

**Customer Details:****Customer:** CAIM-hanke**Report-No:** 2017-000004**Laboratory:** ACE-lab**Place:** Rovaniemi**Remarks:****Material-Data:****Material:** Pohjatuhka **Material Density:** 1373 [kg/m3]**Bulk Density:** 1373 [kg/m3] **Humidity:** 0.09 [%]**Remarks:****Sample Preparation:** kuivatus uunissa, 6h, 105 astetta celcius**Sample ID:****Sieve Information:****Test Sieve Shape/Size:** round - 200 mm**Sieve Bottom Type:** Woven Wire Cloth**Sieving Method:** machine analysis dry analysis**Test Sieve Shaker:** EML450-T**Sieving Time [min]:** 10 **Amplitude [mm]:** 1.5 **Interval [sec]:** 1**Result:**

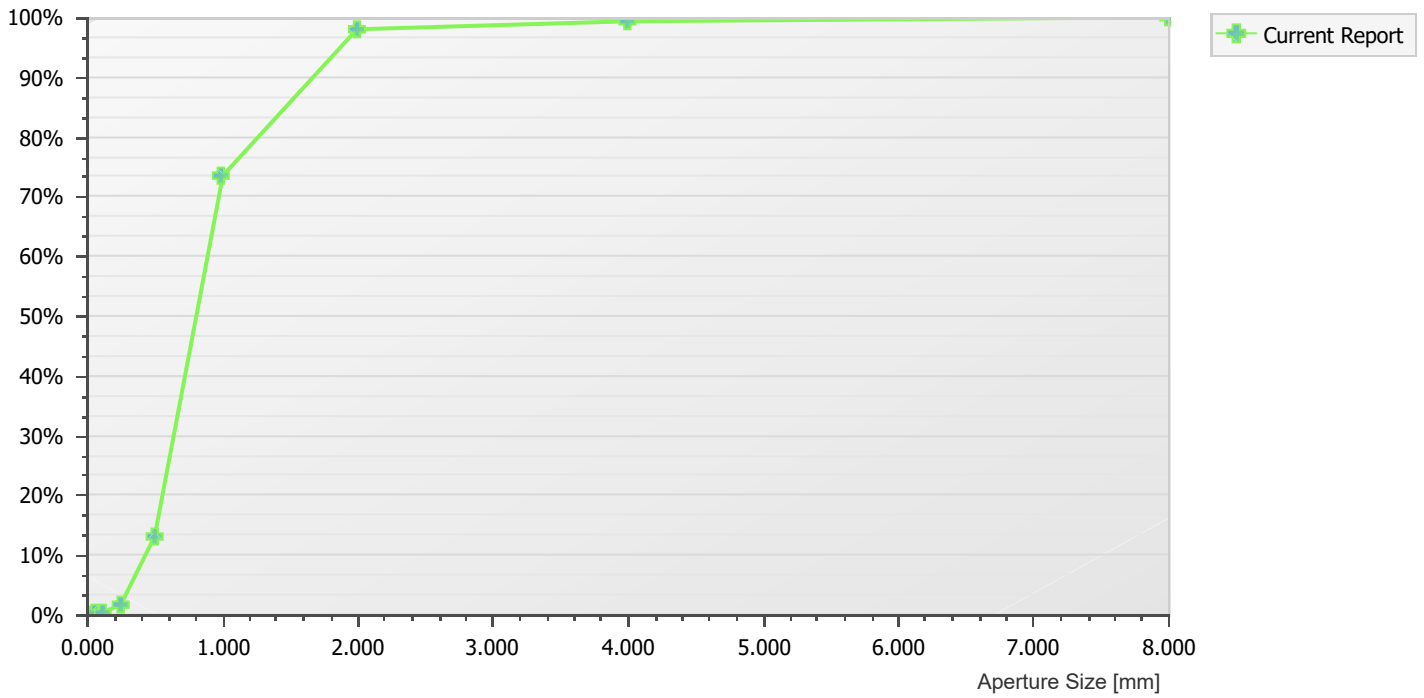
Particle Class [mm]	Tare Weight [g]	Gross Weight [g]	Retain [g]	Retain [%]	Oversize [%] (cum.)	Undersize [%] (cum.)
> 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4 - 8	0.00	3.50	3.50	0.70	0.70	99.30
2 - 4	0.00	6.50	6.50	1.30	2.00	98.00
1 - 2	0.00	122.00	122.00	24.40	26.40	73.60
0.5 - 1	0.00	303.00	303.00	60.60	87.00	13.00
0.25 - 0.5	0.00	56.00	56.00	11.20	98.20	1.80
0.125 - 0.25	0.00	6.50	6.50	1.30	99.50	0.50
0.063 - 0.125	0.00	1.00	1.00	0.20	99.70	0.30
0 - 0.063	0.00	1.50	1.50	0.30	100.00	0.00

Initial Mass: 500 [g] **Gross Weight:** 500 [g] **Lost:** 0 [g]

≈ 0% of Initial Mass [g]



2017-000004



Calculations:

Mean Particle Size (Calculated):	1.826 [mm]		
Theoretical Specific Surface:	63.71 [cm ² /g]		
Mean Particle Size (Graphical):	0.805 [mm]		
Degree of Non-Uniformity:	2.06 [%]		
AFS-Number:	36.31		
Degree of Uniformity:	57.9 [%]		
Mean Particle 2/3:	0.537 [mm]	at	17.48 [%]
Mean Particle 4/3:	1.073 [mm]	at	75.38 [%]
Standard Figure K:	2.14		
Effective Size:	0.43 [mm]		
Bend No. C:	1.07		
D10:	0.43 [mm]		
D90:	1.67 [mm]		
Span Value:	1.539		
Sauter Diameter:	0.094 [mm]		

POHJATUHKKA

$$Q = \frac{I^2 R}{L} = \frac{E I}{L}$$

I=	0,13
R=	24,8
L=	0,198

Q=	2,1167677
----	-----------

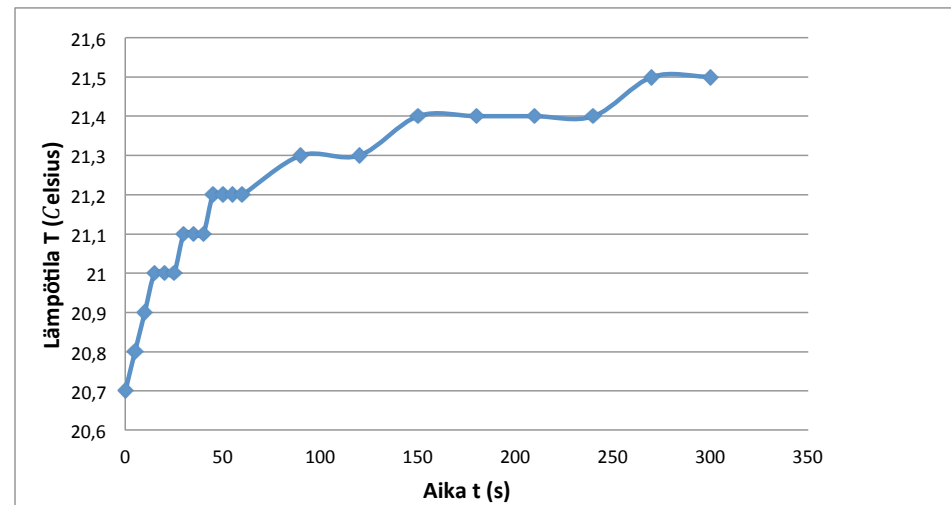
$$\lambda = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} (\ln t_2 - \ln t_1)$$

T ₂ =	21,5
T ₁ =	21,3
t ₂ =	300
t ₁ =	90

λ=	1,0140282
----	-----------

- I= vakiovirta (A)
 R= sondin lämmityslangan vastus (Ω)
 L= sondin pituus (m)
 T₂ ja T₁ lämpötiloja
 t₂ ja t₁ mittausaikoja
 λ= lämmönjohtavuus (W/mK)
 Q= lämpömäärä

aika t (s)	lämpötila T (°C)
0	20,7
5	20,8
10	20,9
15	21
20	21
25	21
30	21,1
35	21,1
40	21,1
45	21,2
50	21,2
55	21,2
60	21,2
90	21,3
120	21,3
150	21,4
180	21,4
210	21,4
240	21,4
270	21,5
300	21,5



POHJATUHKKA

$$k_T = \frac{Q \cdot h}{A \cdot t \cdot H}$$

- k_T = vedenläpäisevyys lämpötilassa T
 Q = näytteen läpi ajassa t virrannut vesimäärä
 h = näytteen korkeus
 A = näytteen pinta-ala (sylinterin sisäpoikkileikkaus)
 t = havaintoaika
 H = painekorkeus
 T = läpivirtaavan veden lämpötila

$$k_t = (Q \cdot h) / (100 \cdot A \cdot H \cdot t) \text{ [m/s]} \quad \rightarrow \quad (500 \cdot 10) / (100 \cdot 181,5 \cdot 800 \cdot 3,4) \quad \rightarrow \quad k_t = 1,01 \cdot 10^{-4}$$

Q = läpäissyt vesimäärä [cm³]

h = näytteen korkeus [cm]

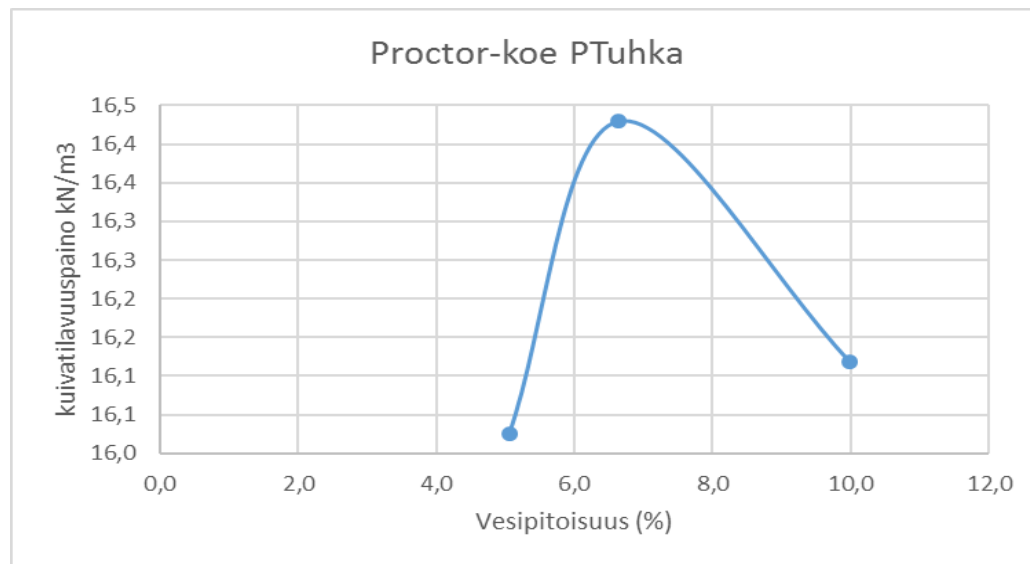
A = näytteen pinta-ala [cm²]

H = paine-ero näytteiden päiden välillä [cm]

t = mittausaika [s]

POHJATUHKA

	märkápaino (kg)	kuivapaino (kg)	vesimäärä (kg)	vesipitoisuus %	kuivatilavuuspaino kN/m ³
Näyte 1	1,62	1,542	0,078	5,1	16,0
Näyte 2	1,686	1,581	0,105	6,6	16,4
Näyte 3	1,706	1,551	0,155	10,0	16,1



Liite 2

HAITALLISTEN AINEIDEN RAJA-ARVOT JA MUUT LAATUVAATIMUKSET SEKÄ JÄTTEEN ENIMMÄISKERROSPAKSUUDET ERI RAKENTEISSA

Taulukko 1. Asetuksen mukaisesti erilaisissa rakenteissa hyödynnettävien jätteiden sisältämien haitta-aineiden suurin sallittu liukoisuus (mg/kg L/S-suhteessa 10 l/kg) ja kokonaispitoisuus (mg/kg) rakennekohtaisesti sekä rakenteessa käytetyn jätteen enimmäiskerros pakkaus.

Haitta-aine	Rakenne						
	Väylä ja reitti ¹ jätteen kerros pakkaus ≤ 1,5 m		Kenttä ¹ jätteen kerros pakkaus ≤ 1,5 m		Valli jätteen kerros pakkaus ≤ 5,0 m	Pohjarakenne jätteen kerros pakkaus ≤ 1,5 m	Tuhkamursketie jätteen kerros pakkaus ≤ 0,2 m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,31	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseeni (As)	1	2	0,2	1,7	0,5	2	2
Barium (Ba)	62	100	6,9	25	21	100	85
Kadmium (Cd)	0,1	1	0,02	0,2	0,05	1	0,23
Kromi (Cr)	1,9	10	0,33	10	1	10	4,6
Kupari (Cu)	50	50	34	50	50	50	50
Lyijy (Pb)	0,6	10	0,1	10	0,8	10	1,2
Molybdeeni (Mo)	1,6	10	0,3	0,9	0,9	10	4,2
Nikkeli (Ni)	2,8	10	0,5	1,5	1,3	10	6,3
Seleeni (Se)	0,4	0,5	0,1	0,25	0,24	0,5	0,5
Sinkki (Zn)	50	50	12	50	43	50	50
Vanadiini (V)	2,4	10	0,44	4,4	1,2	10	6,2
Elohopea (Hg)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Kloridi (Cl) ²⁾	3200	15000	660	1900	1800	15000	4700
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻) ²⁾	5900	20000	1200	3400	3400	20000	6500
Fluoridi (F) ²⁾	50	150	9,4	28	27	150	130
Kokonaispitoisuus (mg/kg)							
Bentseeni	0,07	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,15
TEX ³⁾	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	4	5	5	5	5
PAH-yhdisteet ⁴⁾	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet ⁵⁾	10	10	3,4	10	10	10	10

MARA-luonnos 11.11.2016; *korjaukset liitteisiin 1 ja 2, 23.11.2016*

PCB-yhdisteet ⁶⁾	1	1	1	1	1	1	1
PBDE-yhdisteet ⁷⁾	50	50	50	50	50	50	50
Öljyhiilivedyt C10-C40	500	500	500	500	500	300	500

- 1) Hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 400 tonnia
- 2) Kun rakenne sijaitsee enintään 500 m etäisyydellä merestä, sovelletaan seuraavia raja-arvoja: kloridi 50 000 mg/kg, fluoridi 5000 mg/kg ja sulfaatti 50 000 mg/kg
- 3) Tolueenin, etyylibentseenin ja ksyleenien summaparametri
- 4) Antraseeni, asenaftteeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, benots(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, ja pyreeni (summapitoisuus)
- 5) Fenoli, o-kresoli, m-kresoli, p-kresoli ja bisfenoli-A (summapitoisuus)
- 6) Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 (summapitoisuus)
- 7) Polybromatut difenyylieetterit, kongeneerit 47, 99, 100, 153, 154, 183 ja 209 (summapitoisuus)

Muut laatuvaatimukset

Haitta-aineiden raja-arvojen lisäksi hyödynnettäviä jätteitä koskevat myös seuraavat muut laatuvaatimukset:

- Betoni- tai tiilimurske saa sisältää enintään yhden painoprosentin siihen kuulumatonta ainesta, kuten puuta, kumia, muovia, metallia tai eristemateriaaleja. Lisäksi betoni- ja tiilimurskeessa saa olla enintään 10 cm³/kg vettä kevyempiä materiaaleja. Betonijäte saa sisältää lisäksi enintään 30 painoprosenttia tiilijätettä;
- Turpeen- ja puuperäisen aineksen polton tuhkien hyödyntämisessä on lisäksi huomioitava rakennusmateriaalien ja tuhkien radioaktiivisuuteen liittyvät rajoitukset, jotka on annettu Säteilyturvakeskuksen ohjeessa 12.2;
- Tuhkamursketiehen käytettävän tuhkan määrä ei lisäksi saa ylittää 30 painoprosenttia käytetyn tuhkan ja kiviainesmurskeen seoksessa.



2018-000008

HAVER CSA 5.0 Computerized Sieve Analysis (ISO 2591)

**Customer Details:****Customer:** CAIM-hanke**Report-No:** 2018-000008**Laboratory:** No Lab**Place:** No Place**Remarks:****Material-Data:****Material:** Fill-R **Material Density:** 1250 [kg/m3]**Bulk Density:** 1250 [kg/m3] **Humidity:** 19.18 [%]**Remarks:****Sample Preparation:** kuivatus huoneen lämmössä 6 vrk, kuivatus uunissa 6h 105 astetta celcius**Sample ID:****Sieve Information:****Test Sieve Shape/Size:** round - 200 mm**Sieve Bottom Type:** Woven Wire Cloth**Sieving Method:** machine analysis dry analysis**Test Sieve Shaker:** EML450-T**Sieving Time [min]:** 0 **Amplitude [mm]:** 0 **Interval [sec]:** 0**Result:**

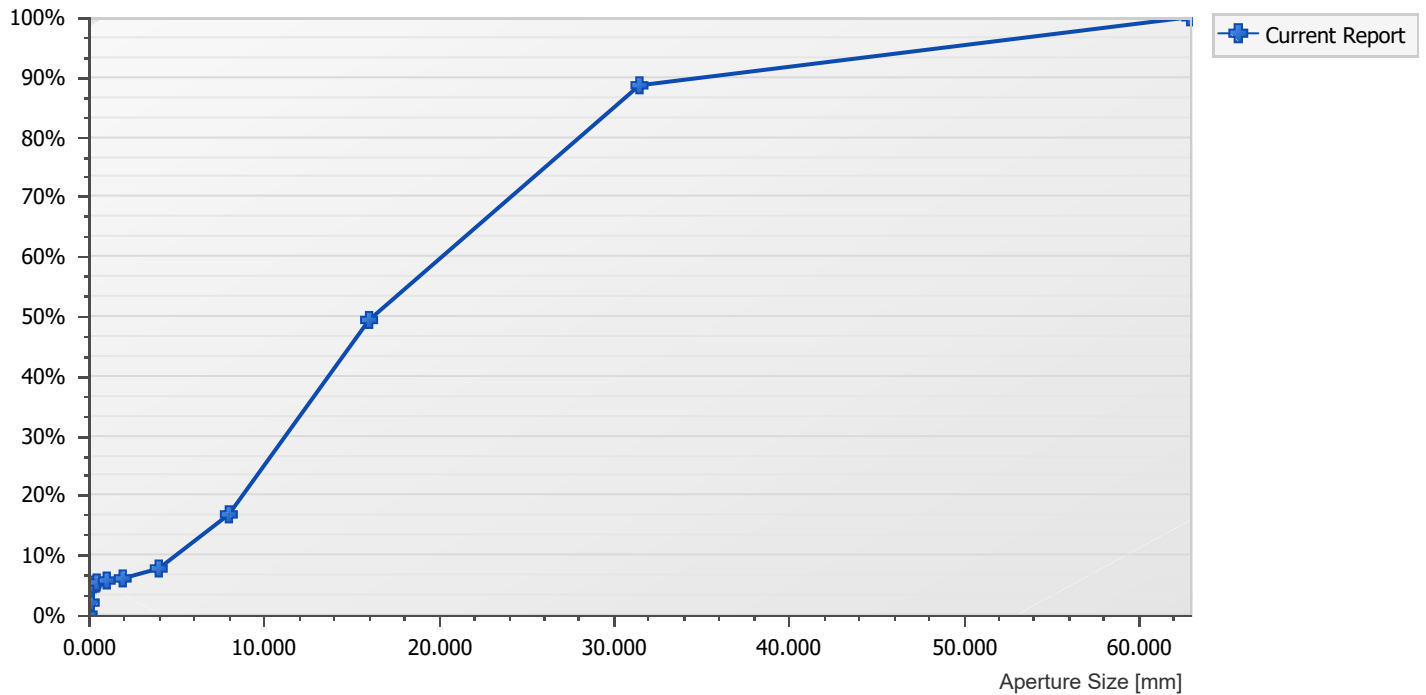
Particle Class [mm]	Tare Weight [g]	Gross Weight [g]	Retain [g]	Retain [%]	Oversize [%] (cum.)	Undersize [%] (cum.)
> 63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
31.5 - 63	0.00	144.00	144.00	11.52	11.52	88.48
16 - 31.5	0.00	491.00	491.00	39.28	50.80	49.20
8 - 16	0.00	404.00	404.00	32.32	83.12	16.88
4 - 8	0.00	116.00	116.00	9.28	92.40	7.60
2 - 4	0.00	21.00	21.00	1.68	94.08	5.92
1 - 2	0.00	4.00	4.00	0.32	94.40	5.60
0.5 - 1	0.00	3.00	3.00	0.24	94.64	5.36
0.25 - 0.5	0.00	3.00	3.00	0.24	94.88	5.12
0.125 - 0.25	0.00	11.00	11.00	0.88	95.76	4.24
0.063 - 0.125	0.00	29.00	29.00	2.32	98.08	1.92
0 - 0.063	0.00	24.00	24.00	1.92	100.00	0.00

Initial Mass: 1250 [g] **Gross Weight:** 1250 [g] **Lost:** 0 [g]

≈ 0% of Initial Mass [g]



2018-000008



Calculations:

Mean Particle Size (Calculated):	40.852 [mm]		
Theoretical Specific Surface:	47.05 [cm ² /g]		
Mean Particle Size (Graphical):	16.316 [mm]		
Degree of Non-Uniformity:	4.03 [%]		
AFS-Number:	26.82		
Degree of Uniformity:	35.28 [%]		
Mean Particle 2/3:	10.877 [mm]	at	28.5 [%]
Mean Particle 4/3:	21.755 [mm]	at	63.78 [%]
Standard Figure K:	6.16		
Effective Size:	5.03 [mm]		
Bend No. C:	1.24		
D10:	5.03 [mm]		
D90:	35.66 [mm]		
Span Value:	1.877		
Sauter Diameter:	0.128 [mm]		

FILL-R

$$k_T = \frac{Q \cdot h}{A \cdot t \cdot H}$$

- k_T = vedenläpäisevyys lämpötilassa T
 Q = näytteen läpi ajassa t virrannut vesimäärä
 h = näytteen korkeus
 A = näytteen pinta-ala (sylinterin sisäpoikkileikkaus)
 t = havaintoaika
 H = painekorkeus
 T = läpivirtaavan veden lämpötila

$$k_t = (Q \cdot h) / (100 \cdot A \cdot H \cdot t) \text{ [m/s]} \quad \rightarrow \quad (500 \cdot 10) / (100 \cdot 181,5 \cdot 800 \cdot 3,2) \quad \rightarrow \quad k_t = 1,08 \cdot 10^{-4}$$

Q = läpäissyt vesimäärä [cm³]

h = näytteen korkeus [cm]

A = näytteen pinta-ala [cm²]

H = paine-ero näytteiden päiden välillä [cm]

t = mittausaika [s]

FILL-R

$$Q = \frac{I^2 R}{L} = \frac{E I}{L}$$

I=	0,13
R=	24,8
L=	0,198

Q=	2,1167677
----	-----------

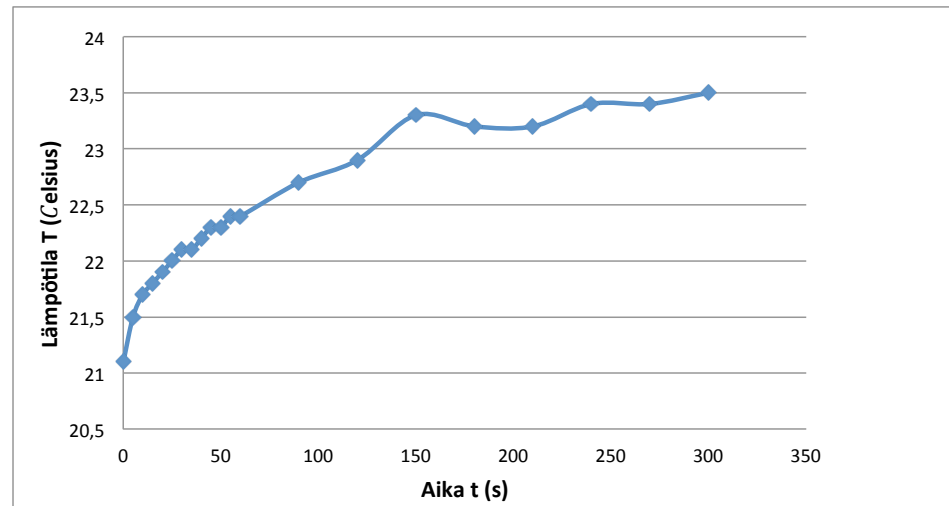
$$\lambda = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} (\ln t_2 - \ln t_1)$$

T ₂ =	23,5
T ₁ =	22,9
t ₂ =	300
t ₁ =	120

λ=	0,2572441
----	-----------

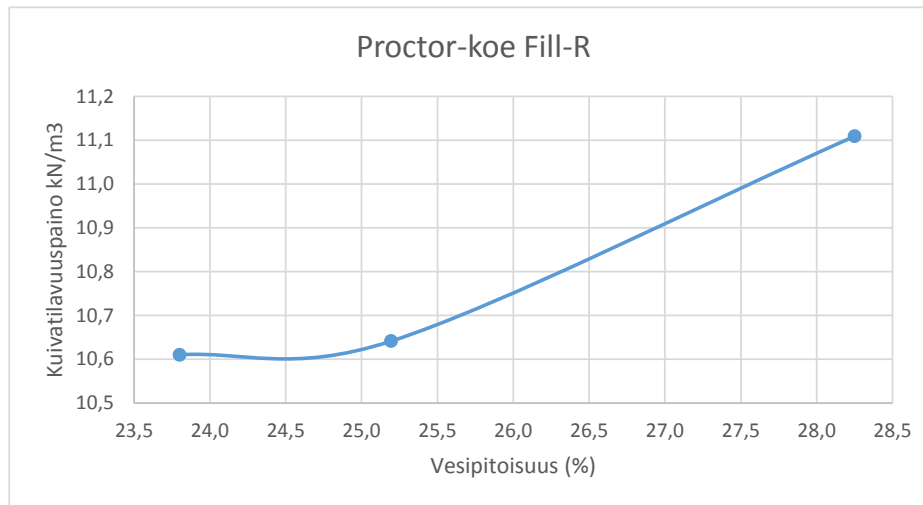
- I= vakiovirta (A)
- R= sondin lämmityslangan vastus (Ω)
- L= sondin pituus (m)
- T₂ ja T₁ lämpötiloja
- t₂ ja t₁ mittausaikoja
- λ= lämmönjohtavuus (W/mK)
- Q= lämpömäärä

aika t (s)	lämpötila T (°C)
0	21,1
5	21,5
10	21,7
15	21,8
20	21,9
25	22
30	22,1
35	22,1
40	22,2
45	22,3
50	22,3
55	22,4
60	22,4
90	22,7
120	22,9
150	23,3
180	23,2
210	23,2
240	23,4
270	23,4
300	23,5



FILL-R

	märkäpaino (kg)	kuivapaino (kg)	vesimäärä (kg)	vesipitoisuus %	kuivatilavuuspaino kN/m ³
Näyte 1	1,264	1,021	0,243	23,8	10,6
Näyte 2	1,282	1,024	0,258	25,2	10,6
Näyte 3	1,371	1,069	0,302	28,3	11,1





2017-000003

HAVER CSA 5.0 Computerized Sieve Analysis (ISO 2591)

**Customer Details:****Customer:** CAIM-hanke**Report-No:** 2017-000003**Laboratory:** ACE-lab**Place:** Rovaniemi**Remarks:****Material-Data:****Material:** OKTO-kuona **Material Density:** 1266 [kg/m3]**Bulk Density:** 1266 [kg/m3] **Humidity:** 0.41 [%]**Remarks:****Sample Preparation:** kuivatus uunissa, 6h, 105 astetta celcius**Sample ID:****Sieve Information:****Test Sieve Shape/Size:** round - 200 mm**Sieve Bottom Type:** Woven Wire Cloth**Sieving Method:** machine analysis dry analysis**Test Sieve Shaker:** EML450-T**Sieving Time [min]:** 10 **Amplitude [mm]:** 1.5 **Interval [sec]:** 1**Result:**

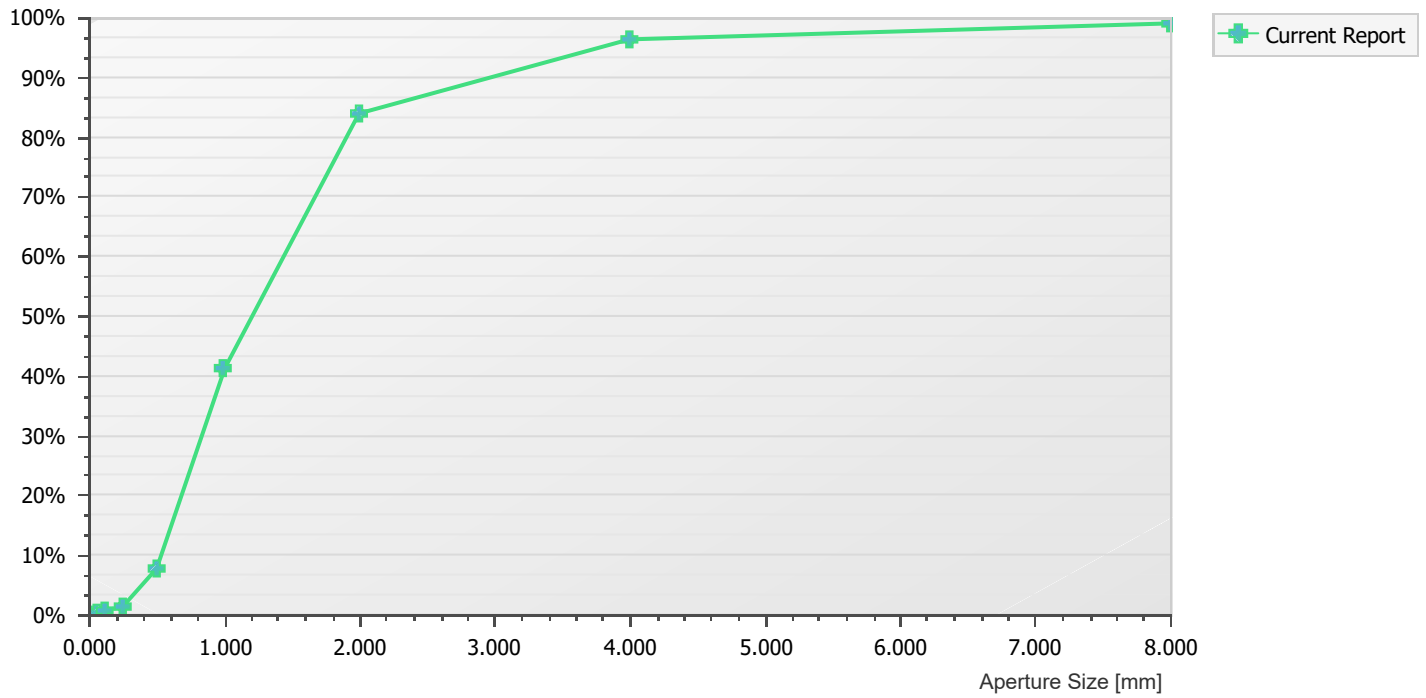
Particle Class [mm]	Tare Weight [g]	Gross Weight [g]	Retain [g]	Retain [%]	Oversize [%] (cum.)	Undersize [%] (cum.)
> 8	0.00	5.00	5.00	1.00	1.00	99.00
4 - 8	0.00	14.00	14.00	2.80	3.80	96.20
2 - 4	0.00	61.00	61.00	12.19	15.99	84.01
1 - 2	0.00	214.50	214.50	42.86	58.85	41.15
0.5 - 1	0.00	168.00	168.00	33.57	92.42	7.58
0.25 - 0.5	0.00	31.50	31.50	6.29	98.71	1.29
0.125 - 0.25	0.00	3.00	3.00	0.60	99.31	0.69
0.063 - 0.125	0.00	1.50	1.50	0.30	99.61	0.39
0 - 0.063	0.00	2.00	2.00	0.40	100.00	0.00

Initial Mass: 500.5 [g] **Gross Weight:** 500.5 [g] **Lost:** 0 [g]

≈ 0% of Initial Mass [g]



2017-000003



Calculations:

Mean Particle Size (Calculated):	3.126 [mm]		
Theoretical Specific Surface:	53.91 [cm ² /g]		
Mean Particle Size (Graphical):	1.206 [mm]		
Degree of Non-Uniformity:	2.67 [%]		
AFS-Number:	30.73		
Degree of Uniformity:	39.22 [%]		
Mean Particle 2/3:	0.804 [mm]	at	27.99 [%]
Mean Particle 4/3:	1.608 [mm]	at	67.21 [%]
Standard Figure K:	2.71		
Effective Size:	0.54 [mm]		
Bend No. C:	0.89		
D10:	0.54 [mm]		
D90:	2.98 [mm]		
Span Value:	2.028		
Sauter Diameter:	0.111 [mm]		

OKTO-eriste

$$k_T = \frac{Q \cdot h}{A \cdot t \cdot H}$$

- k_T = vedenläpäisevyys lämpötilassa T
 Q = näytteen läpi ajassa t virrannut vesimäärä
 h = näytteen korkeus
 A = näytteen pinta-ala (sylinterin sisäpoikkileikkaus)
 t = havaintoaika
 H = painekorkeus
 T = läpivirtaavan veden lämpötila

$$k_t = (Q * h) / (100 * A * H * t) \text{ [m/s]} \quad \rightarrow \quad (500*10)/(100*181,5*800*3,8) \quad \rightarrow \quad k_t=9,06*10^{-5}$$

Q = läpäissyt vesimäärä [cm³]

h = näytteen korkeus [cm]

A = näytteen pinta-ala [cm²]

H = paine-ero näytteiden päiden välillä [cm]

t = mittausaika [s]

OKTO-eriste

$$Q = \frac{I^2 R}{L} = \frac{E I}{L}$$

I=	0,13
R=	24,8
L=	0,198

Q=	2,1167677
----	-----------

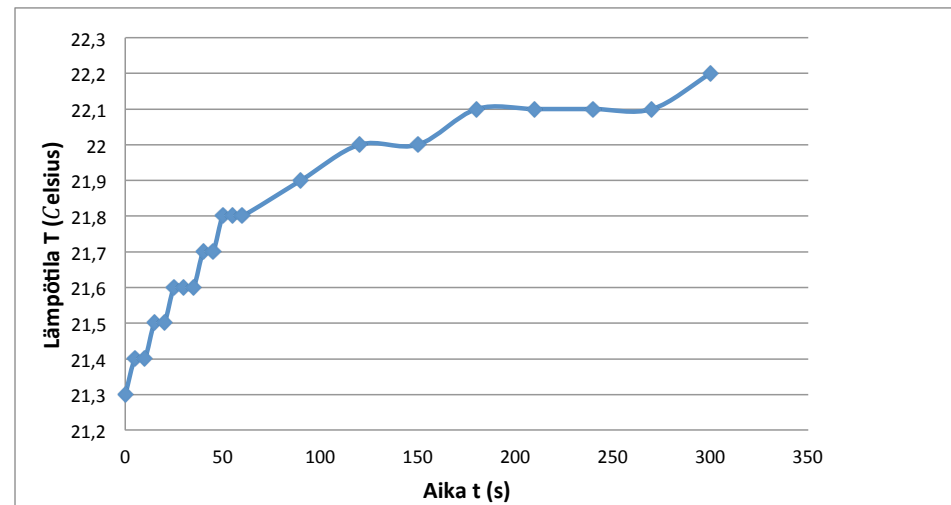
$$\lambda = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} (\ln t_2 - \ln t_1)$$

T ₂ =	22,2
T ₁ =	22
t ₂ =	300
t ₁ =	120

λ=	0,7717322
----	-----------

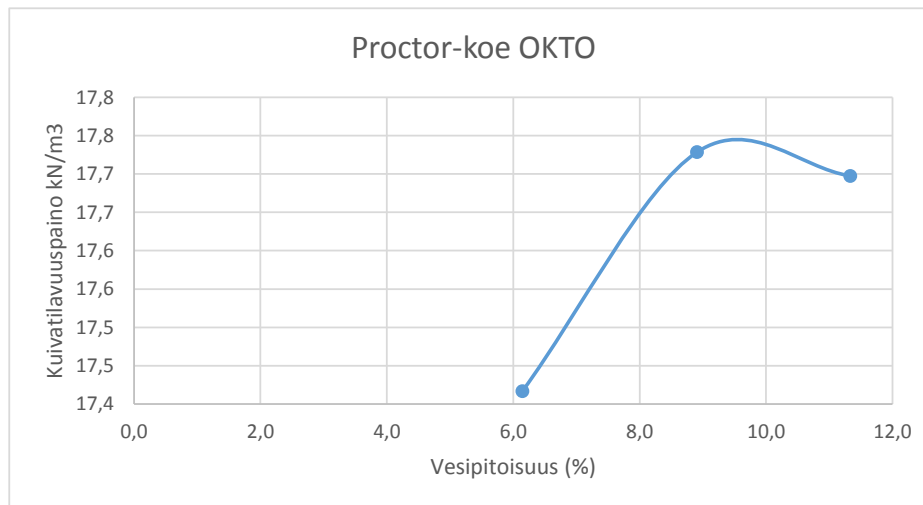
- I= vakiovirta (A)
 R= sondin lämmityslangan vastus (Ω)
 L= sondin pituus (m)
 T₂ ja T₁ lämpötiloja
 t₂ ja t₁ mittausaikoja
 λ= lämmönjohtavuus (W/mK)
 Q= lämpömäärä

aika t (s)	lämpötila T (°C)
0	21,3
5	21,4
10	21,4
15	21,5
20	21,5
25	21,6
30	21,6
35	21,6
40	21,7
45	21,7
50	21,8
55	21,8
60	21,8
90	21,9
120	22
150	22
180	22,1
210	22,1
240	22,1
270	22,1
300	22,2

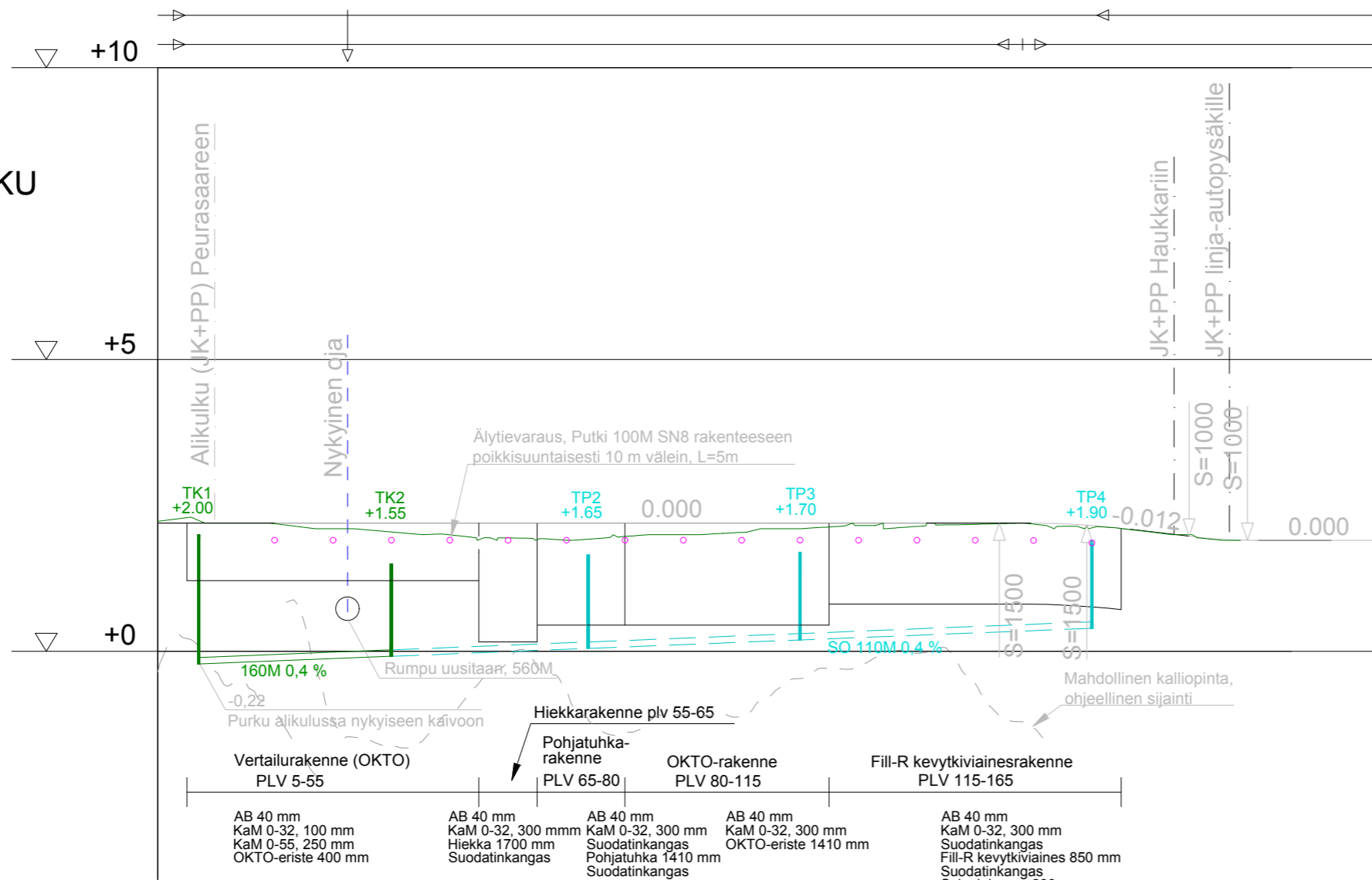


OKTO-eriste

	märkäpaino (kg)	kuivapaino (kg)	vesimäärä (kg)	vesipitoisuus %	kuivatilavuuspaino kN/m ³
Näyte 1	1,779	1,676	0,103	6,1	17,4
Näyte 2	1,858	1,706	0,152	8,9	17,7
Näyte 3	1,896	1,703	0,193	11,3	17,7



KOULULAISENPOLKU
JK+PP



VESIJOHTO	LAEN KORKEUS PUTKEN MITÄT, LAATU																					
	PAALU																					
SALAOJA/ PURKUVIEMÄRI	SISÄPOHJAN KORKEUS PUTKEN MITÄT, LAATU	-0.22	-0.22	SV 160M	-0.08	-0.08	SO 110M	0.06	0.06	SO 110M	0.20	0.20	SO 110M	0.40								
	PAALU KAIVOVÄLI, KALTEVUUS	7.0	33.0/0.004	40.0	33.7/0.004	73.7	36.3/0.004	110.0	50.0/0.004	160.0												
JÄTEVESIVIEMÄRI	SISÄPOHJAN KORKEUS PUTKEN MITÄT, LAATU																					
	PAALU KAIVOVÄLI, KALTEVUUS																					
PUTKIEN PERUSTAMISTAPA																						
PÄÄLLYSRAKENNE		5F-790		5F-2040	5F-1750	5F-1750	5F/1,39															
MATKA				148.14			144.15	15.00	17.50	10.00	23.39											
KALTEVUUS / PYÖRISTYSSÄDE				0.000			S=1500	159.15	-0.012	S=10000	0.000	210.04										
TASAUSVIIVAN KORKEUS		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.12	2.05	1.92	1.90	1.90	1.90				
MAANPINNAN KORKEUS		2.22	2.18	2.19	2.12	2.07	2.00	1.94	1.90	1.98	2.00	2.04	2.11	2.15	2.16	2.18	2.15	2.13	2.01	1.90	1.90	1.90
PAALUTUS		0	50			100			150			200										
KAAREVUUS			48.17	R=85			99.35	09.17	R=180			61.21	76.27	R=200								
AJORADAN SIVUKALTEVUUS		qv=-0.02 qo=0.02																				

Liite 16

KATURAKENTEIDEN TOTEUTUMAPIIRUSTUS 14.9.2017

- Piirustuksessa esitetty toteutetut katurakenteet, niiden kerrospaksuudet ja sijainnit (paaluväli)
- Kadun ja rakennekuivatuksen korkeusasema, sivukaltevuus, rummun uusiminen ja "älytien" putket oletettu rakennetun suunnitelman mukaisesti

<p>AHMA YMPÄRISTÖ OY TEOLLISUUSTIE 6, 96101 ROVANIEMI Puh. 040-1333 800, Fax 016-3310 888</p>	Tilaaja KEMIN KAUPUNKI
	Työn nimi KOULULAISENPOLKU JK+PP KOERAKENTEET
	Piirustuksen sisältö PITUUSLEIKKAUS
Päivämäärä 9.6.2017	Suun. AN
Tark.	Työ- ja piirustusnumero 20975-2
Mittakaava 1:100/1:1000	