

Jarkko Kariniemi

TUHKAT TÄYTTÖMATERIAALINA

TUHKAT TÄYTTÖMATERIAALINA

Jarkko Kariniemi
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jarkko Kariniemi
Opinnäytetyön nimi: Tuhkat täyttömateriaalina
Työn ohjaajat: Pekka Mosorin, Plaana Oy; Raimo Leskelä, Plaana Oy; Terttu Sipilä, Oulun Ammattikorkeakoulu
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014
Sivumäärä: 37 + 7 liitettä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään erilaisten tuhkien syntyprosesseja, rakennusteknisiä ominaisuuksia ja tuhkien käyttöä maarakentamisessa. Lisäksi työssä esitellään tuhkan käyttöön liittyvä lainsäädäntö ja lupaprosessi. Pääpaino työssä on lentotuhkissa.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Plaana Oy. Plaana vastaa tässä työssä käytettävän esimerkkikohteen rakennussuunnittelusta. Esimerkkikohteenä toimii liikenneviraston tilaama Vt19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie – ST-urakka. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia ympäristölupahakemukseen liitettävät lentotuhkarakenteiden poikkileikkaukset ja pituusleikkaukset. Lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän esimerkkikohteen tiepenkereissä ja meluvalleissa.

Tuhkarakentaminen on vielä yleistymässä oleva uusiomaarakentamisen muoto. Tuhkarakentamisella voidaan kuitenkin paikallisesti saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Tuhkarakentamista ei kuitenkaan käsitellä virallisissa suunnitteluohjeissa eikä laadunvalvontaohjeissa. Tuhkarakentamista tullaan suurella todennäköisyydellä tulevaisuudessa kehittämään, ja yksi merkittävä askel tuhkien hyötykäytön lisäämiselle olisi tuhkien tuotteistaminen. Tuhkarakentamiseen liittyy kuitenkin paljon riskejä, jotka on hyvä tiedostaa suunniteltaessa tuhkien käyttöä rakennushankkeessa.

Tässä työssä esitellään esimerkkikohteeseen suunnitellut lentotuhkarakenteet ja niiden toteutustapa. Lentotuhkarakenteet on suunniteltu tuhkarakentamisen käsikirjan ohjeet ja infraRYLin vaatimukset huomioiden. Piirustukset on toteutettu Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla. Massalaskentaan on käytetty Microsoft Excel 2010 -ohjelmaa

Asiasanat: tuhka, lentotuhka, maarakennus, täyttömaat, ympäristölupa

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal engineering

Author: Jarkko Kariniemi

Title of thesis: Ashes in embankments and noise barriers

Supervisors: Pekka Mosorin, Plaana Oy; Raimo Leskelä, Plaana Oy; Terttu Sipilä, Oulun Ammattikorkeakoulu

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014

Pages: 37 + 7 appendices

This thesis was made to introduce the origins of ashes, their properties usage in ground construction. Legislation and permit process related to usage of ashes is also introduced. Special attention in this thesis is given to fly ashes.

This thesis work was ordered by Plaana Ltd, hereafter Plaana. Plaana is in charge of construction planning of "Vt19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie" –building contract, which is model construction in this thesis. The goal for this thesis was to prepare the construction drawings of fly ash structures, to be attached to the environmental license application. Fly ash is planned to be used in embankments and noise barriers of the example construction.

Construction with ash is gaining popularity in the field of construction with recycled material. Construction with ashes is not dealt with in official design or quality control guidelines though. Construction with ashes will probably be further developed in future. A significant step to increase the usage of ashes would be the commercialization of ash products. Construction with ashes involves a variety of risks which should be taken into account while considering using ashes in a construction project.

The fly ash structures of the example contract are introduced in this thesis. Construction of fly ash structures is also introduced. Planning of fly ash structures is done according to requirements of the handbook Tuhkarakentamisen käsikirja, and the regulations of InfraRYL. Drawings are made with Autodesk AutoCAD. Calculation of material quantities is made with Microsoft Excel 2010.

Keywords: ash, fly ash, earth construction, environmental license

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 VOIMALAITOSTUHKAT	9
2.1 Tuhkien luokittelu	9
2.2 Lainsäädäntö	10
3 LENTOTUHKAN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA	12
3.1 Tuhkien käyttöluokat	12
3.2 Rakennustekniset ominaisuudet	14
3.3 Lentotuhkan käytön sovellukset	18
3.3.1 Lentotuhkat päällysrakenteessa	18
3.3.2 Heikkolaatuisten massojen stabilointi	19
3.3.3 Penkereet ja täytöt	20
3.4 Tuhkarakentamisesta saavutettavat hyödyt	20
4 LENTOTUHKAN KÄYTTÖ VT19-HANKKEESSA	23
4.1 Kohteen esittely	23
4.2 Tuhkan toimittajat	23
4.3 Lentotuhkan käyttö	25
4.3.1 Penkereet	26
4.3.2 Meluvallit	31
4.4 Tuhkarakentamisesta saavutettavat hyödyt Vt19-hankkeessa	32
4.5 Tuhkarakentamisen riskit ja riskeihin varautuminen	33
5 POHDINTA	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	

SANASTO

CE-merkintä	CE-merkinnällä tuotteen valmistaja ilmoittaa, että tuote täyttää direktiivien oleelliset turvallisuusvaatimukset.
JS-koe	Lyhenne sanoista jäädytys-sulatuskoe. Kokeessa koekappaletta jäädytetään ja sulatetaan sykleissä 12 kertaa. Kokeen jälkeen koekappaleen kunto arvioidaan ja testataan kappaleen puristuslujuus
Lentotuhka	Muun muassa voimalaitosten polttoprosessissa syntyvä savukaasuista erotettava tuhka-aine.
Pohjatuhka	Muun muassa voimalaitosten polttoprosesseissa syntyvä kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhka-aine
Segregaatiopotentiaali	Laskennallinen suure, joka kuvaa materiaalin routivuutta. Mitä pienempi arvo on, sitä vähemmän routiva on materiaali.
ST-urakka	Suunnittele ja Toteuta -urakka. Urakoitsija laatii lopullisen rakennussuunnitelman lähtötietojen, tuotevaatimusten ja lisätutkimusten perusteella sekä toteuttaa suunnitelmiensa mukaiset työt. Hanke toteutetaan tilaajan tiesuunnitelman tai esisuunnitelman perusteella.

1 JOHDANTO

Suomessa käytetään rakentamisessa vuosittain noin 100 miljoonaa tonnia kiviainesta. Kiviaineksen louhinta kallioperästä aiheuttaa erilaisia ympäristöongelmia, joten nykyisin on alettu kiinnittämään yhä enemmän huomiota myös luonnon ja luonnonvarojen säästämiseen. Tämän vuoksi rakentamisessakin on alettu miettimään vaihtoehtoisia rakennusmateriaaleja. Vuonna 2006 ympäristöministeriö käynnisti uusiomaarakentamista edistävän UUMA-ohjelman. UUMA-ohjelma on uusiomaarakentamista edistävä ohjelma. Loppuneen UUMA-ohjelman jalansijoille käynnistettiin vuonna 2013 UUMA2-ohjelma (UUMA2-ohjelma. 2013).

Eräs uusiomaarakentamisen piiriin kuuluva materiaalityyppi on erilaiset tuhkat. Suomessa syntyy tuhkaa noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Määrä on suhteellisen pieni verrattuna vuotuisen kiviaineksen kokonaiskäyttöön, mutta paikallisesti voi tuhkan käytöllä rakentamisessa saavuttaa merkittäviäkin säästöjä. (Autiola – Forsman – Jyrävä - Kiviniemi – Lahtinen – Lindroos – Ollila – Ronkainen – Sikiö 2012, 6.)

Tässä työssä perehdytään tuhkien syntyyn ja niiden käyttöön maarakentamisessa. Lisäksi työssä käydään läpi pääpiirteittäin tuhkan käyttöön liittyvä lupa-prosessi. Pääpainopiste työssä on lentotuhkien käytössä, koska lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän tämän työn esimerkkikohteessa.

Työn esimerkkikohteena toimii liikenneviraston tilaama Vt19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie – ST-urakka. Rakennushankkeessa on suunniteltu käytettävän alueen läheisyydestä saatavaa lentotuhkaa. Työn tuloksena syntyivät esimerkkikohteen lentotuhkan käytön lupahakemuksessa käytettävät piirustukset. Urakan rakennussuunnittelusta vastaa Plaana Oy, joka toimii myös tämän opinnäytetyön tilaajana.

Tuhkarakentamisen haasteena on selvän ohjeiston ja laatuvaatimusten puutteellisuus. Lisäksi tuhkaa syntyy usean eri prosessin sivutuotteena, joten tuhkien ominaisuudet saattavat vaihdella runsaasti. Tuhkaa on käytetty rakentamisessa jonkin verran, mutta kokemukseräistä tietoa ei toistaiseksi ole julkisesti

saatavilla. Tässä työssä käsitellään myös tuhkarakentamisen hyötyjä ja riskejä. Työssä pyritään myös ottamaan kantaa tuhkarakentamisen kannattavuuteen hyötyjen ja riskien valossa.

2 VOIMALAITOSTUHKAT

Tuhka on muun muassa kivihiilen poltosta syntyvä sivutuote. Tuhka on jätettä, joten tuhkan käyttöä säätelee sekä jätelaki että ympäristönsuojelulaki (Autiola ym. 2012, 8). Tuhka päätyykin yleisesti läjityspaikoille. Tuhkan läjitys luonnollisesti maksaa tuhkan tuottajalle, eikä siitä läjitettynä yleensä ole mitään hyötyä, päinvastoin se on eräänlainen ympäristöhaitta. Jos tuhkalle olisi muuta järkevää käyttöä, se sekä vähentäisi näitä jätehaittoja että samalla säästäisi jotakin muuta raaka-ainevarantoa.

2.1 Tuhkien luokittelu

Tuhkat luokitellaan Suomessa niiden keräyspaikan ja polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan. Keräyspaikan mukaan luokiteltaessa tuhkat jakautuvat pohjatuhkiin ja lentotuhkiin. Polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan luokiteltaessa tuhkat jakautuvat kivihiilen poltosta, seospoltosta ja rinnakkaispoltosta syntyviin tuhkiin. Tuhkien luokitteluperusteet tulevat mahdollisesti tulevaisuudessa muuttumaan uuden EU-standardin voimaantulon myötä. Tässä työssä käsitellään pääsääntöisesti keräyspaikan mukaista luokittelua, koska polttoainekoostumus ei vaikuta rakennusteknisiin ominaisuuksiin niin paljon kuin keräyspaikka. (Autiola ym. 2012, 8.)

Pohjatuhka on energiantuotannossa kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhka. Pohjatuhka muistuttaa rakeisuudeltaan hiekkaa. Pohjatuhka käyttäytyy rakennettaessa samalla tavalla kuin perinteiset kiviainekset. (Autiola ym. 2012, 8, 12.)

Lentotuhka on savukaasuista erotettava tuhka. Lentotuhka muistuttaa rakeisuudeltaan silttiä. Lentotuhkalle on ominaista lujittuminen ajan saatossa, mikä tulee ottaa huomioon käytettäessä lentotuhkaa rakentamisessa. Lentotuhkalle ominaista on myös lämmöneristyskyky sekä pieni vedenläpäisevyys. (Autiola ym. 2012, 8, 12, 16).

2.2 Lainsäädäntö

Tuhka luokitellaan jätteeksi, minkä takia tuhkan käyttöä ohjaa sekä jätelaki että ympäristönsuojelulaki. Jätelain tarkoitus on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista. Jätelain piirissä jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. (Autiola ym. 2012, 8; L 17.6.2011 / 646/2011.)

Tuhkan käyttö rakentamisessa vaatii jäteluokittelun takia joko ilmoitusmenettelyn tai ympäristöluvan. Lupaprosessin etenemiseen vaikuttaa käytettävä tuhkan määrä sekä tuhkan laatu.

Ilmoitusmenettely

Valtioneuvosto on tehnyt MARA-asetuksen, joka sallii eräiden jätteiden hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä silloin, kun jätteet kuuluvat tämän asetuksen piiriin. Ilmoitusmenettelyn piiriin kuuluvat tuhkat ovat syntyneet kivihiilen, turpeen tai puuperäisen aineksen polton seurauksena. Jätteen poltosta syntyvät tuhkat eivät täten kuulu asetuksen piiriin. Asetuksen piiriin kuuluvien tuhkien tulee täyttää asetuksessa määritellyt kokonaispitoisuus- ja liukoisuusraja-arvot. Liukoisuusraja-arvot ovat erilaiset peitetyille ja päällystetyille rakenteelle. Asetuksessa on määriteltä myös, että rakennettavan kohteen tulee olla peitetty tai päällystetty, eikä tuhkarakenteen kokonaispaksuus saa ylittää 1,50 metriä. (Autiola ym. 2012, 40.)

Asetus koskee muun muassa yleisiä teitä, katuja, kevyen liikenteen väyliä, urheilukenttiä ja -reittejä, pysäköintialueita sekä erikseen mainittuja teollisuuden ja liikenteen alueita. Asetusta ei sovelleta pohjavesialueilla. Lisäksi esimerkiksi tämän työn esimerkkikohteen kannalta merkittävät meluvallit eivät kuulu asetuksen piiriin. Ilmoitus tehdään hyödyntämispaikan alueen ELY-keskukseen, ja ilmoituksen tekee hyödyntämispaikan haltija tai jätteen tuottaja hyödyntämispaikan haltijan valtuuttamana. (Autiola ym. 2012, 40.)

Ympäristölupa

Mikäli käytettävä tuhkalaatu tai käyttökohde ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia, on tuhkan käytölle haettava ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa. Ympäristölupa haetaan joko kunnan ympäristöviranomaiselta tai aluehallintavirastolta. Ympäristölupa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta, mikäli vuosittainen hyödynnettävä tuhkamäärä on alle kymmenen tuhatta tonnia vuodessa. Käsittelyaika haettaessa ympäristölupaa kunnan ympäristöviranomaiselta on vähintään neljä kuukautta. Mikäli vuosittainen hyödynnettävä tuhkamäärä on yli kymmenen tuhatta tonnia, haetaan ympäristölupaa aluehallintavirastosta. Aluehallintaviraston käsittelyaika on vähintään kymmenen kuukautta. (Autiola ym. 2012, 40.)

Ympäristölupahakemuksesta tulee käydä ilmi, kuinka paljon ja millä tavoin tuhkaa tullaan hyödyntämään kohteessa. Lisäksi ympäristölupahakemuksessa tulee todeta kaikki rakentamisesta aiheutuvat riskit ympäristölle ja ihmisille sekä toimenpiteet haittojen ehkäisemiseksi. (Autiola ym. 2012, 41.)

Tuotteistaminen

Yksi ratkaisu tuhkan käytön helpottamiseen olisi tuhkan tuotteistaminen rakennusmateriaaliksi. Tuotteistamisen ansiosta tuhkatuote saataisiin jätelain ulkopuolelle. Tuotteistamisella määriteltäisiin ja vakioitaisiin muun muassa tuotettavan tuhkan laatu, haitta-ainepitoisuudet sekä ominaisuudet. Vaatimustenmukaisuuden osoittaisi tällöin tuotteen CE-merkintä. (Autiola ym. 2012, 9.)

3 LENTOTUHKAN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA

Tuhkarakentaminen on vielä suhteellisen uusi asia maarakentamisessa, eikä tuhkarakentamista käsitellä vielä suunnittelu-, rakentamis- tai laadunvalvontaohjeissa. Tuhkarakentamisesta on olemassa vain yksi yleispätevä ohjekirja, Tuhkarakentamisen käsikirja, jonka on julkaissut Ramboll vuonna 2012. Kirja sisältää yleispäteviä ohjeita tuhkan kanssa työskenteleville tahoille.

Tuhka luokitellaan edelleen jätteeksi, ja sitä saa sijoittaa maaperään joko MA-RA-asetuksen rajoissa tai ympäristöluvalla. Tulevaisuudessa tavoitteena on tuhkien tuotteistaminen maarakennuskäytössä, jolloin tuhkia ei enää luokiteltaisi jätteeksi.

3.1 Tuhkien käyttöluokat

Tuhkien käyttöä maarakentamisessa kuvaa tuhkien käyttöluokkajaottelu. Tuhkat on jaettu teknisten ominaisuuksiensa perusteella käyttöluokkiin. Käyttöluokkajaottelussa on esitetty kullekin luokalle mahdolliset käyttökohteet. Tuhkien käyttöluokat on esitelty alla taulukoissa 1 ja 2.

TAULUKKO 1. Tuhkien tekniset vaatimukset käyttöluokittain (Autiola ym. 2012, 17)

Käyttöluokka		1-aks. puristuslujuus, 28 d [MPa]	JS-kokeen muutos *	Routivuusluokitus	Lujittuminen	Rakeisuus
LT1	Lentotuhka	2	<20 %	Routimaton	Kyllä	
LT2		1	<30 %	Routimaton	Kyllä	
LT3		0,5	<50 %	Lievästi routiva	Kyllä	
LT4		-	-	Routiva		
PT1	Pohjatuhka			Routimaton	Ei	InfraRYL suod. hk
PT2				Routimaton	Ei	

* Jäätymis-sulamiskokeen jälkeinen muutos 1-aksiaalisessa puristuslujuudessa

TAULUKKO 2. Tuhkien soveltuvuus eri käyttökohteisiin käyttöluokittain (Autiola ym. 2012, 40)

Käyttöluokka	Käyttökohde	Huomioitavaa
LT1	kantavan kerroksen alaosa, jakava kerros	päällysteen alle murskekerros
LT2	jakava kerros, suodatinkerros	
LT3	suodatinkerros, pengerr	Routivuus huomioitava käyttökohteen valinnassa
LT4	pengerr, täytöt, putkikaivantojen arinat ja täytöt	Tuhkien korroosio-ominaisuudet huomioitava
PT1	suodatinkerros	
PT2	pengerr, täytöt	

Käytännössä yllä olevat taulukot antavat varsin optimistisen kuvan tuhkarakentamisesta. Varsinkin kasavarastoidut tuhkat ovat lähes aina routivia, sekä niiden jäätymis-sulamisominaisuudet ovat huonot (Kangasniemi 2013, 40-41). Taulukko antaa luokan LT4 lentotuhkille käyttökohteiksi penkereet, täytöt sekä putkikaivannot. Toisaalta luokan LT4 lentotuhkilta ei vaadita käytännössä mitään ominaisuuksia. Tähän yhteyteen on hyvä todeta, että luokan LT4 tuhkia voitaisiin käyttää siellä, missä routimista sallitaan. Mikäli esimerkiksi putkikaivanto rakennetaan täyttämään InfraRYLin vaatimukset, ei siellä voida kaikissa tapauksissa käyttää routivia materiaaleja.

Luokan LT3 lentotuhka voi olla lievästi routivaa. InfraRYL kieltää routivan materiaalin käytön tien päällysrakenteessa, joten routivan materiaalin käyttö suodatinkerroksessa ei tule kysymykseen, mikäli rakenteen laatu on määritelty täyttämään InfraRYLin vaatimukset. Lisäksi yleisten tienrakennusperiaatteiden mukaan vettä läpäisemätöntä materiaalia ei voi käyttää suodatinkerroksessa. Tuhkaa voidaan puolestaan käyttää niin sanotussa eristyskerroksessa, jonka alle rakennetaan asianmukainen suodatinkerros.

3.2 Rakennustekniset ominaisuudet

Alla esitetyssä taulukossa on esitetty lentotuhkan ja muiden maalajien rakennusteknisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 3. Lentotuhkan ja muiden rakennusmateriaalien rakennusteknisten ominaisuuksien vertailua. (Autiola ym. 2012, 12; Ruukki, linkit Tuotteet & ratkaisut -> Mineraalituotteet -> Maa- ja tienrakennus -> Masuunihiekka; Gardemeister – Korhonen – Tamminne 1974, 10; Hakulinen 2008, 16; Geoenergia-Tutkimushanke, 3)

Materiaali	Rakeisuus (mm)	Optimivesipitoisuus (%)	Kuivairto- tiheys (t / m ³)	E- moduuli (MPa)	Lämmön- johtavuus (W / mK)	Veden- lä- päisevyys (m/s)	Routa- turpoama (%)
Lentotuhka	0,002 - 0,01	20 - 50	1,15 - 1,40	50 - 300	0,4 - 0,7	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶	0 - 12
Siltti	0,002 - 0,06	20		20	1,5	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁵	6 - 16
Hiekka	0,06 - 2,0	10	1,30 - 1,60	30 - 70	2,5	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³	0 - 12
Sora	2,0 - 60	7	1,60 - 1,85	100	2,8	10 ⁻³ - 10 ⁻¹	0
Moreeni	0,002 - 60	7	1,50 - 1,70	20 - 100		10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁴	0 - 16
Masuunihiekka	0,06 - 8,0	12 - 14	1,00 - 1,40	600	0,35 - 0,5	0,9 - 1,5 x 10 ⁻⁴	0

Rakeisuus

Lentotuhkan rakeisuus on 0,002 – 0,01mm, mikä tarkoittaisi InfraRYLIn mukaisessa kelpoisuusluokituksessa lentotuhkan kuuluvan luokkaan H4 tai U-luokkiin. Rakeisuus on samaa luokkaa kuin siltillä ja savella. (InfraRYL 2012/1, Liite T17.)

Yleisesti rakeisuudeltaan lentotuhka on koheesiomaata. Lentotuhkaa ei voida kuitenkaan luokitella pelkästään koheesiomaaksi tai kitkamaaksi. Lentotuhkarakentamisessa koheesio-ominaisuudet ovat vallitsevia ennen lujittumista, mutta lujittumisen myötä koheesio-ominaisuuksien merkitys pienenee ja rakenne alkaa käyttäytyä kitkamaan tavoin.

Optimivesipitoisuus

Lentotuhkan optimivesipitoisuus on tuhkalaadusta riippuen 20–50 prosenttia. Optimivesipitoisuus on siis huomattavan korkea verrattuna muihin maalajeihin tai teollisuuden sivutuotteisiin, kuten esimerkiksi masuunihiekkaan. Optimivesipitoisuus on lentotuhkarakentamisessa tärkeässä asemassa, sillä jo muu-

taman prosentin ylitys optimivesipitoisuudessa saa tuhkan liettymään. (Autiola ym. 2012, 13, 56.)

Tiheys

Lentotuhkan kuivairtitiheys on 1,15–1,40 t/m³. Lentotuhka on siis kuivana huomattavasti luonnonmaalajeja kevyempää. Lentotuhkan kuivairtitiheys maasuunihiekkaan verrattuna on samaa luokkaa. (Seinäjoen voimalaitoksen lentotuhkan käyttö maarakentamisessa. 2011; Kristiinankaupungin voimalaitoksen lentotuhkan käyttö maarakentamisessa. 2011.)

Rakenteessa lentotuhka painaa lähes saman verran kuin perinteiset maalajit. Lentotuhkan korkea optimivesipitoisuus vaikuttaa suuresti lentotuhkan painoon rakenteessa. Lisäksi tuhkan korkea tiivistyvyys vaikuttaa painon kohoamiseen. Massalaskentaa varten laskimme valmiin rakenteen tiheydeksi 1,8 t/m³.

E-moduuli

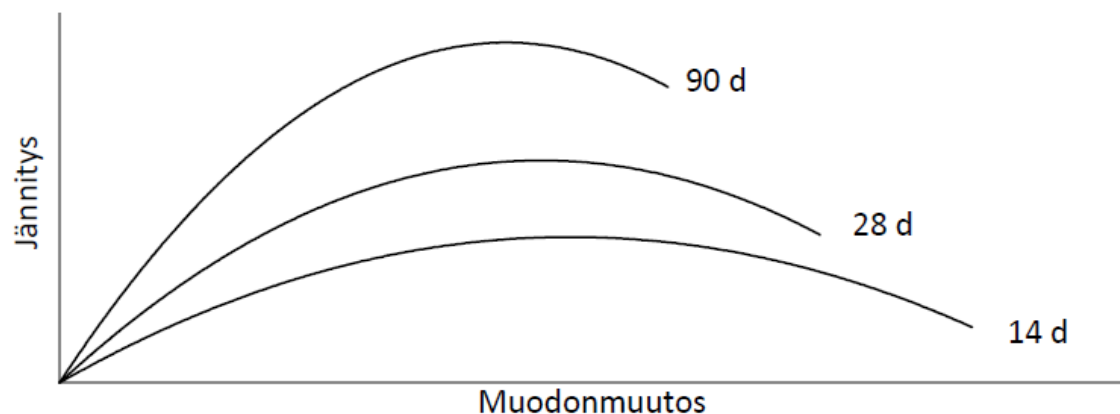
Lentotuhkan E-moduularvo on 50-300MPa, joka vaihtelee lentotuhkan iän mukaan (Seinäjoen voimalaitoksen lentotuhkan käyttö maarakentamisessa. 2011). Suuri vaihteluväli E-moduularvossa johtuu tuhkan lujittumisominaisuuksista. Todellisuudessa lentotuhkan E-moduularvo on ainakin rakentamisvaiheessa todennäköisesti pienempi kuin 50MPa, ennen kuin lentotuhka on sitoutunut.

Lujittumisominaisuudet

Osa lentotuhkan kantavuudesta johtuu sen lujittumisominaisuuksista. Lentotuhka lujittuu ajan saatossa rakenteessa, mikä lisää rakennekerroksen kantavuutta. Lujittumisominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi aktiivisen kalkin (CaO) pitoisuus. Mitä korkeampi aktiivisen kalkin pitoisuus on, sitä suurempi lujuustaso keskimäärin saavutetaan. Lujittumisominaisuuksiin vaikuttaa tiivistäminen onnistuminen, mikä varmistetaan pitämällä materiaalin vesipitoisuus optimissaan tiivistämishetkellä. Myös lujittumislämpötilalla on vaikutuksia lopputulokseen. Lujittumisominaisuuksia voidaan myös parantaa lisäämällä lentotuhkan joukkoon jotain kaupallista sideainetta, esimerkiksi kipsiä, rikastushiekkaa tai kuitusavea. (Autiola ym. 2012, 16-18.)

Tarkalle lujittumisajalle ei ole annettu mitään yleispätevää arvoa, ja lujittumisaikaan vaikuttaa myös käytettävän lentotuhkan laatu. Lujittumisaika tuleeekin sel-

vittää tapauskohtaisesti laboratoriotutkimuksin. Lentotuhkien lujittuminen ei kuitenkaan tapahdu hetkessä, vaan lujittuminen alkaa tiivistämisen jälkeen ja jatkuu kauan kemiallisten reaktioiden johdosta. Lentotuhkien lujittumista kuvaa alla oleva jännitys-muodonmuutoskuva. Yksiaksiaalisen puristuskokeen jännitys-muodonmuutoskuvaajasta määritetään materiaalin 50 % jännitystä vastaava muodonmuutosmoduuli. Lujittumisen myötä jännitys-muodonmuutoskuvaajan muoto yleensä muuttuu siten, että saavutettava puristuslujuus kasvaa ja murto-tilan suhteellinen muodonmuutos pienenee. (Autiola ym. 2012, 16.)



KUVA 1. Periaate yksiaksiaalisen puristuslujuuskokeen jännitys-muodonmuutoskäyrien muuttumisesta eripituisten lujittumisaikojen jälkeen (Autiola ym. 2012, 16)

Lämmönjohtavuus

Lentotuhkan lämmönjohtavuus vaihtelee tuhkalaadusta riippuen välillä 0,4 – 0,7 W/mK. Luonnonmaalajeilla lämmönjohtavuus vaihtelee välillä 1,5 – 3 W/mK, mikä tarkoittaa sitä, että lentotuhkan eristävyys on luonnonmaalajeja parempi. Lentotuhka ei kuitenkaan yllä niin hyvään lämmönjohtavuuteen kuin masuunihiekka, jonka lämmönjohtavuus on 0,35 – 0,50 W/mK. (Seinäjoen voimalaitoksen lentotuhkan käyttö maarakentamisessa. 2011; Ruukki, linkit Tuotteet & ratkaisut -> Mineraalituotteet -> Maa- ja tienrakennus -> Masuunihiekka.)

Lentotuhkan pienestä lämmönjohtavuudesta on hyötyä käytettäessä lentotuhkaa päällysrakenteissa. Tämä mahdollistaisi ohuempien rakennekerrosten tekemisen ja samalla säästyttäisiin turhalta maan leikkaamiselta. Tässä työssä

keskitytään kuitenkin lentotuhkan käyttöön täyttömateriaalina, jonka tyyppisessä rakentamisessa ei lämmönjohtavuudella ole niin suurta merkitystä.

Vedenläpäisevyys

Lentotuhkan vedenläpäisevyys on $10^{-8} - 10^{-6}$ m/s, eli lentotuhka voidaan käytännössä luokitella vettä läpäisemättömäksi materiaaliksi (Autiola ym. 2012, 12). Lentotuhkakerroksen lujittuminen pienentää vedenläpäisevyyttä. Luonnonmaaleihin verrattuna lentotuhkan vedenläpäisevyys on samaa luokkaa saven ja siltin kanssa. Huonon vedenläpäisevyyden takia tuhkakerroksen yläpinta muotoillaan kaltevaksi, jotta vesi pääsisi poistumaan rakenteesta.

Routivuus

Lentotuhkien laadullisten vaihteluiden johdosta lentotuhkien routivuudesta ei voida antaa mitään yleispätevää arvoa. Jotkin tuhkalaadut ovat kuitenkin routimattomia, toiset puolestaan turpoavat roudan vaikutuksesta reilusti. Yleisesti määritellään lievästi routivaksi materiaaliksi materiaali, jonka routaturpoama on 3 %. Routivaksi puolestaan määritellään materiaali, jonka routaturpoama on 6 %. Tuhkarakentamisen käsikirja antaa lentotuhkan segregatiopotentiaaliksi yleisesti arvon 0,05 – 5. Alla on esitetty taulukko segregatiopotentiaaliin perustuvasta routivuusluokituksesta, jonka mukaan lentotuhka on huonoimmassa tapauksessa voimakkaasti routiva materiaali. Segregatiopotentiaali on laskennallinen suure, joka kuvaa materiaalin routivuutta. Mitä pienempi arvo on, sitä vähemmän routiva on materiaali.

TAULUKKO 4. Segregatiopotentiaaliin perustuva routivuusluokitus. Taulukon on laatinut Konrad vuonna 1980 (Autiola ym. 2012, 15)

Segregatiopotentiaali [mm^2/Kh]	Routivuusluokitus
<0,18	routimaton
0,18–0,72	lievästi routiva
0,72–3,6	routiva
3,6–7,2	voimakkaasti routiva
7,2–18	erittäin voimakkaasti routiva
>18	äärimmäisen voimakkaasti routiva

Suunniteltaessa lentotuhkan käyttämistä päällysrakenteessa tulee tuhkan routivuus testata tapauskohtaisesti ja laatua tulee seurata rakentamisen aikana.

3.3 Lentotuhkan käytön sovellukset

Tuhkia yleisesti voidaan käyttää maarakentamisessa useaan eri tarkoitukseen. Tässä työssä käsitellään kuitenkin vain lentotuhkia. Alla on esitelty pääpiirteittäin lentotuhkien käytön yleisimmät sovellukset.

3.3.1 Lentotuhkat päällysrakenteessa

Lentotuhkaa voidaan käyttää päällysrakenteessa joko massiivisena kerroksena tai rakennekerrosten stabilointiin (Autiola ym. 2012, 28). Tuhkien soveltuvuutta päällysrakenteeseen kuvaa tuhkien tekninen käyttöluokitus, joka on esitelty tau-lukoissa 1 ja 2. Lentotuhkan päällysrakenteessa käyttöä suunniteltaessa on syytä muistaa, että InfraRYL kieltää routivien materiaalien käytön päällysrakenteessa.

Massiivisten lentotuhkarakenteiden etuina perinteisiin rakenteisiin verrattuna on hyvä eristävyys, kantavuus sekä luonnonvaroja säästävä vaikutus. Tuhkaa ei voida varsinaisesti nimittää kevennysmateriaaliksi, sillä sen paino rakenteessa on miltei luonnonkiviainesten luokkaa. Lentotuhkan paino rakenteessa on suuri verrattuna varsinaisiin kevennysmateriaaleihin, esimerkiksi vaahtolasiin. Lentotuhkaa voidaan yleensä käyttää jakavassa kerroksessa ja suodatinkerroksessa ilman sideainetta. Massiivisia lentotuhkarakenteita käytettäessä tulee rakenteen kuivana pysyminen varmistaa tekemällä tuhkerakenteen alle kapillaarisen veden nousun katkaiseva kerros. (Autiola ym. 2012, 22-23.)

Lentotuhkaa voidaan käyttää päällysrakenteessa myös kantavan kerroksen stabilointiin. Yleisin lentotuhkastabiloinnissa käytettävä sideaineseos sisältää tuoretta siilovarastoitua tuhkua ja sementtiä. Sideaineseokseen voidaan kuitenkin lisätä muitakin kaupallisia sideainemateriaaleja tai teollisuuden sivutuotteita. (Autiola ym. 2012, 27.)

3.3.2 Heikkolaatuisten massojen stabilointi

Stabilointi yleisesti tarkoittaa jonkin maa-aineksen vahvistamista sideaineella. Stabiloitava kohde voi olla vanhan tien kantava kerros, rakennuskelvoton pohjamaa tai pilaantunut maa-aines. Stabilointi on suomalainen keksintö 1990-luvulta. Erityyppisiin stabilointeihin on kehitetty erilaisia menetelmiä. Stabiloinnin sideaineina käytetään yleensä sementtiä, bitumia tai masuunihiekkaa. Myös tuhkaa voidaan käyttää heikkolaatuisten massojen stabiloinnissa. Stabilointityön suunnitteluvaiheessa tulee tehdä kohteen stabiloitavuustutkimus, jolla selvitetään kohteen vaatima sideainemäärä. (Stabilointi. Lemminkäinen.)

Massasyvästabilointi tarkoittaa heikkolaatuisen rakennuspohjan eli pohjamaan vahvistamista jollain sideaineella. Pohjamaa määritellään heikkolaatuiseksi, kun se pohjatutkimuksissa todetaan alittavan pohjamaan pienimmän sallitun kantavuuden. Massasyvästabiloinnissa sideainetta johdetaan maaperään paineilman avulla kaivinkoneeseen liitetyn sekoituslaitteiston avulla. Massasyvästabilointia voidaan tehdä kuusi metriä maanpinnan alapuolelle. Yleensä massasyvästabiloitavat maa-ainekset ovat savet, liejut, turpeet ja ruoppausmaat. Tuhkalla stabiloitaessa tuhkan osuus vaihtelee 100–200 kg/m³:n välillä. (Autiola ym. 2012, 34.)

Prosessistabilointi tarkoittaa heikkolaatuisen maan stabiloimista asemasekoittimella. Prosessistabiloitavia maa-aineksia voivat olla esimerkiksi ruoppausmassat, pilaantuneet maa-ainekset tai muut ylös kaivetut maa-ainekset. Prosessistabiloinnissa stabiloitava massa ensin homogenisoidaan, jonka jälkeen se sekoitetaan sideaineen kanssa. Sekoituksen jälkeen stabiloitu massa kuljetetaan loppusijoituskohteeseen, joka on yleensä täyttö tai läjitysalue. (Autiola ym. 2012, 35.)

Stabilointi on rakentamisen saralla vielä suhteellisen nuori keksintö. Stabilointimenetelmät ja käytettävät sideaineet kehittyvät täten koko ajan, kun pyritään mahdollisimman pieniin kustannuksiin. Lentotuhkalla stabiloimisen ongelmat ovat samanlaiset kuin yleisesti tuhkarakentamisessa, eli tuhkan laadun vaihtelut. Vallitsevasta stabilointiohjeesta löytyy maininta lentotuhkasta uutena stabilointisideaineena, mutta tarkempaa ohjeistusta lentotuhkan käytöstä stabiloin-

nissa ei ole. Lentotuhkalla stabiloiminen vaatiikin koestabilointeja ja sideaineen ympäristökelpoisuuden tutkimisen ennen stabilointityötä.

3.3.3 Penkereet ja täytöt

Tuhkarakentamisen käsikirjassa esitetyn tuhkien käyttöluokituksen mukaan mitä tahansa lentotuhkaa voidaan käyttää penkereissä ja täytöissä. Lentotuhkalla rakennettaessa on kuitenkin kunkin käytettävän tuhkan ominaisuudet tutkittava. Esimerkiksi korkeaa pengertä rakennettaessa tulee tuntea tuhkan lujittumisominaisuudet ja kantavuus. Myös penkereiden stabiliteetti tulee tutkia, jotta vältetään rakenteen liialliselta painumiselta tai sortumiselta.

Penkereiden ja täyttöjen osalta tuhkarakentamisessa esiintyy sama ongelma kuin muissa tuhkarakentamisen muodoissa. Esimerkiksi penkereen suunnitteleminen vaatii käytettävien tuhkalaatujen laboratoriotestauksen ja stabiliteettilaskennat. Vastaavasti selkeää suunnitteluohjetta ei ole olemassa, vaan ainut tuhkarakentamisen lähde on aikaisemmin tässä työssä mainittu Rambollin julkaisema Tuhkarakentamisen käsikirja.

3.4 Tuhkarakentamisesta saavutettavat hyödyt

Tuhkarakentamisella voidaan saavuttaa merkittäviä taloudellisia hyötyjä. Taloudellisia hyötyjä ovat tuhkan toimittajat eli tuottajat, materiaaleissa säästävät urakoitsijat sekä urakan tilaaja, mikäli jo suunnittelussa huomioidaan tuhkan käyttö rakentamisessa. Toisaalta hyötyjä voi olla myös tavallinen kansalainen, joka kärsii vähemmän kaatopaikkojen maisemahaitoista tai säästää tuhkan toimittajan tarjoamissa palveluissa.

Suurin hyötyjä tuhkarakentamisessa on varmasti tuhkan toimittaja. Päästessään hyvään sopimukseen tuhkaa ostavan urakoitsijan kanssa tuhkan toimittaja voi välttää kaikki tuhkarakentamisen aiheuttamat riskit ja samalla välttää läjittämisestä aiheutuvat kustannukset. Tuhkansa tuotteistava toimittaja olisi markkinoilla entistä kilpailukykyisempi nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

Tuhka luokitellaan jätteeksi, jonka sijoittaminen kaatopaikalle maksaa toimittajalle. Loppusijoittamisen kustannukset koostuvat muun muassa jäteverosta,

jonka suuruus ennen vuotta 2013 oli 40 € tonnilta. Vuoden 2013 alusta jätevero määrä on 50 € tonnilta (Tulli, linkit Yrityksille -> Verotus -> Valmisverotettavat tuotteet -> Jätteet). Loppusijoittamisen muita kustannuksia aiheuttaa läjitysalueen hankkiminen, läjitysalueen lupien hankinta, kuljetukset läjitysalueelle ja itse läjittäminen.

Urakoitsija voi säästää tuhkarakentamisen johdosta materiaalikuluisissa, mikäli urakan massatasapaino on negatiivinen, eli urakkaan joudutaan ostamaan materiaaleja ulkopuolelta. Tuhkarakentaminen tosin vaatii ympäristölupaa, ellei rakennuskohde kuulu täysin MARA-asetuksen piiriin. Ympäristölupaa varten joudutaan tekemään suunnittelutyötä lupa-asiakirjojen valmistelussa, mikä aiheuttaa urakoitsijalle kustannuksia ainakin esimerkkikohteen tapaisissa ST-urakoissa. Yleensä urakoitsija vastaa yksin mahdollisista tuhkarakentamiseen liittyvistä riskeistä. Tuhkarakentamisessa on kuitenkin mahdollisuus myös parantaa liikevoittoaan.

Muihin maa-aineksiin verrattuna tuhkan kuljetusmatkat muodostuvat yleensä pidemmiksi, josta aiheutuu kustannuksia joko urakoitsijalle tai tuhkan toimittajalle. Tuhkarakenteen tekeminen voi myös vaatia enemmän työpanosta tavanomaiseen rakenteeseen verrattuna, mikä luonnollisesti aiheuttaa lisäkustannuksia urakoitsijalle. Ympäristöluvassa on yleensä myös määritelty tuhkarakenteiden laadunvalvontaan liittyviä toimenpiteitä. Yleisesti tuhkarakentaminen vaatii enemmän laadunvalvontaa kuin perinteisillä kiviaineksilla rakentaminen.

Valtio on myös yksi tuhkarakentamisen hyötyjistä. Valtion laitosten kuten liikenneviraston tai elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen tilaamissa urakoissa valtio voi hyötyä pelkän tilaaja-asemansa perusteella säästämällä hankkeen kokonaiskustannuksissa. Valtio voi isona tilaajana olla myös esimerkkinä muille tilaajille toteuttamalla uusiomaarakentamisen periaatteita. Liikennevirasto onkin yksi UUMA2-ohjelma rahoittajista. UUMA2-ohjelmassa on tavoitteena edistää uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa ja vähentää siten neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja maarakentamisen ympäristövaikutuksia. UUMA2-ohjelma on jatkoa UUMA-ohjelmalle. Toisaalta ajateltuna valtio menettää tuloja menettämällä jätteen loppusijoittamisesta toimittajalta perittävän jäteveron, mutta uusiomaarakentamisen hyödyt varmasti kompensoivat valtion rahalliset tap-

piot. Lisäksi valtio hyötyy tuhkarakentamisen edistämisestä saamalla tietoa tuhkan käyttäytymisestä rakenteessa. Tulevaisuudessa tuhkarakentaminen osataan ottaa paremmin huomioon rakentamista koskevaa lainsäädäntöä uusittaessa. (UUMA2-ohjelma. 2013.)

Tuhkan hyötykäyttö rakentamisessa on vielä rakennusalalla uusi asia. Tuhkarakentamisesta hyötyvät mahdollisesti eniten tuhkan toimittajat. Toimittajat voisivat panostaa tuhkan tuotteistamiseen, joka tekisi tuhkan myymisen hyötykäyttöön mahdolliseksi nykyistä helpommin. Pitkällä aikajänteellä tuhkarakentamisesta aiheutuvat voitot luonnollisesti tasoittuvat osapuolien kesken. Tuhkarakentamisen yleistyminen joka tapauksessa edistäisi entisestään tuhkarakentamiseen liittyvien tekniikoiden kehittymistä.

4 LENTOTUHKAN KÄYTTÖ VT19-HANKKEESSA

4.1 Kohteen esittely

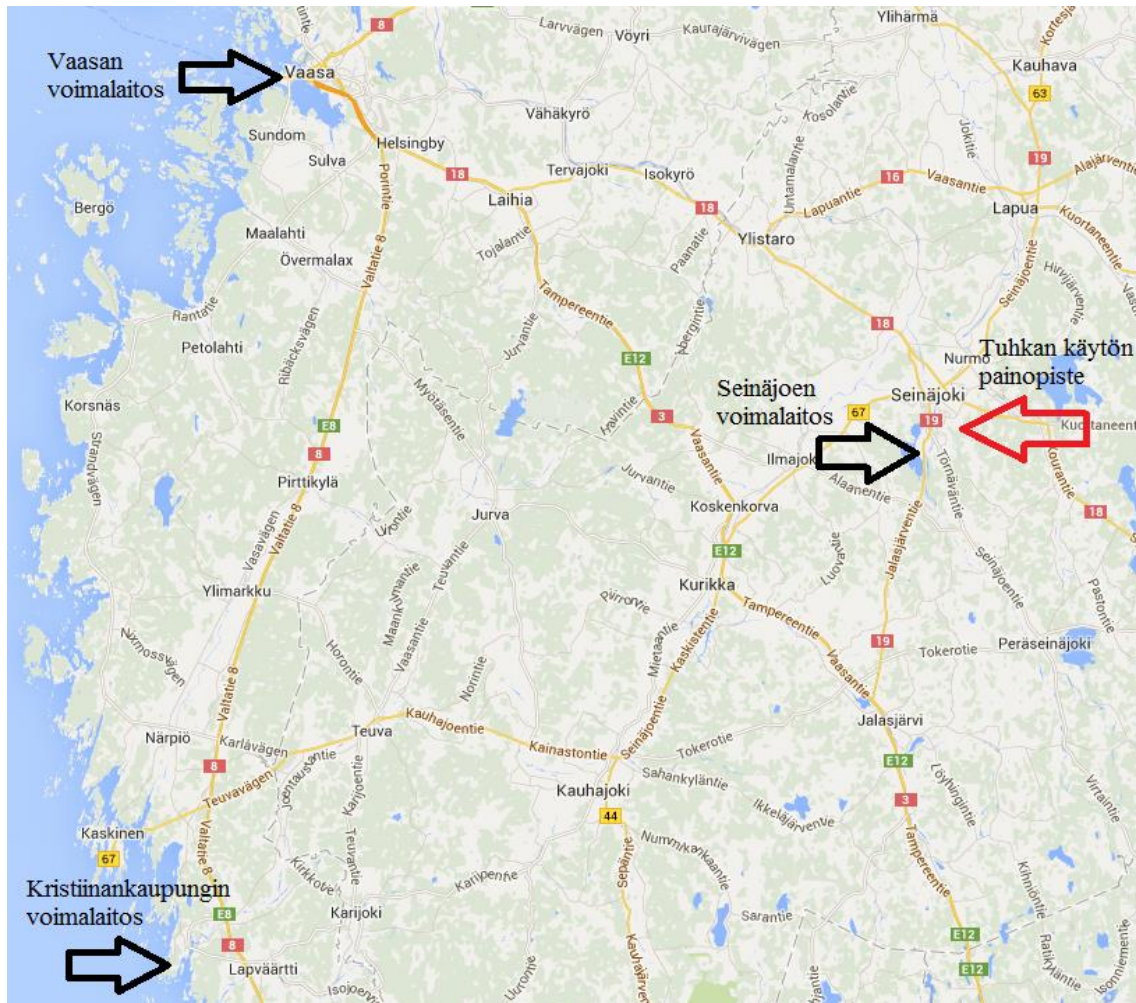
Esimerkkikohteena tässä opinnäytetyössä toimii tierakennushanke Vt19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa rakennetaan 16 kilometrin mittainen keskikaiteellinen ohituskaistatie Ilmajoen Rengonkylästä Seinäjoen Nurmoon. Hanke on liikenneviraston tilaama ja hankkeen urakoitsijana toimii Skanska Infra Oy. Urakkamuotona on ST- eli suunnittele ja toteuta – urakka. Urakan ensimmäisen vaiheen hyväksytyt kustannusarvio on 57 miljoonaa euroa. Skanska Infra Oy on tilannut kohteen rakennussuunnittelun Plaana Oy:ltä. (Seinäjoen itäinen ohikulkutie. Liikennevirasto.)

Kohteessa on suunniteltu tuhkan käyttöä hankkeen alusta asti, sillä jo vuonna 2011 Ramboll on tehnyt kohteeseen selvityksen lentotuhkan käytöstä tierakentamisessa. Tämän lisäksi vuonna 2011 on tehty testejä Vaasan ja Kristiinankaupungin kasalentotuhkille. (Tuhkan hyödyntäminen Seinäjoen itäisellä ohikullulla. Keskustelu- ja informaatiotilaisuuden materiaali.)

Kohde sisältää kaksi rautatien ylittävää siltaa, jotka suuren alikulkukorkeuden takia vaativat paljon pengermassoja. Lisäksi kohteessa ei ole merkittäviä maa-leikkauksia, joiden massat kelpaisivat muualle kuin läjitykseen. Edellä mainitusta syistä kohteen massatalous on reilusti negatiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että kohteeseen joudutaan tuomaan maa-aineksia rakennusalueen ulkopuolelta. Massatalouden negatiivisuus luo tarpeen pohtia tuhkarakentamista kyseisessä kohteessa.

4.2 Tuhkan toimittajat

Kohteen mahdolliset tuhkantoyttäjät ovat Vaskiluodon Voima Oy ja Pohjolan Voima Oy. Vaskiluodon Voima Oy on EPV Energia Oy:n ja Pohjolan Voima Oy:n omistama yhtiö. Vaskiluodon Voiman voimalaitokset sijaitsevat Vaasassa ja Seinäjoella. Pohjolan Voiman voimalaitos sijaitsee Kristiinankaupungissa. Voimalaitosten sijainnit on esitetty kuvassa 2 alla. (Vaskiluodon voima; Pohjolan voima, linkit Voimalaitokset -> Lämpövoima -> Kristiina.)



KUVA 2. Voimalaitosten sijainnit (Kuvan karttapohja Googlelta)

Vaasan voimalaitos sijaitsee Vaasan Vaskiluodossa, sataman vieressä. Vaasan voimalaitos käyttää polttoaineenaan kivihiiltä, jota kuluu noin 400–600 tuhatta tonnia vuodessa. Voimalaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Vaasan kaupungin asukkaille. Voimalaitos tuottaa sivutuotteenaan lento- ja pohjatuhkaa noin 80–100 tuhatta tonnia vuodessa. Lähes 100 prosenttia sivutuotteista toimitetaan hyötykäyttöön. Etäisyys Vaasan voimalaitokselta tuhkan käytön painopisteeseen yleisiä teitä pitkin on noin 86 km. (Vaskiluodon Voima, linkit Ympäristö; Vaskiluodon voima, linkit Vaasan voimalaitos.)

Seinäjoen voimalaitos sijaitsee Seinäjoen kaupungin laitamilla Kyrkösjärven rannalla. Seinäjoen voimalaitos käyttää pääpolttoaineinaan turvetta ja puuainesta sekä varapolttaineenaan kivihiiltä ja raskasta polttoöljyä. Vuosittain Seinäjoen voimalaitos käyttää energiaturvetta noin 650–700 tuhatta tonnia ja puupolttoainetta noin 150 tuhatta tonnia. Voimalaitos tuottaa sivutuotteenaan tuhkaa

noin 20–25 tuhatta tonnia vuodessa. Seinäjoen voimalaitoksen sivutuotteet toimitetaan 100-prosenttisesti hyötykäyttöön. Etäisyys Seinäjoen voimalaitokselta tuhkan käytön painopisteeseen yleisiä teitä pitkin on noin 13 km, mutta etäisyys saattaa lyhentyä merkittävästi rakennusaikaisten työmaateiden johdosta. (Vaskiluodon voima, linkit Seinäjoen voimalaitos; Vaskiluodon Voima, linkit Ympäristö.)

Kristiinan kaupungissa on Pohjolan Voimalla kaksi voimalaitosta, joista vain mahdollisesti toisesta toimitetaan tuhkaa kohteeseen. Kyseinen voimalaitos, Kristiina 2, sijaitsee Kristiinankaupungissa ja sillä on oma satama. Kristiina 2 käyttää polttoaineenaan kivihiiltä. Voimalaitos tuottaa sivutuotteenaan tuhkaa. Vuosien 2008–2012 aikana on tuhkaa syntynyt vuosittain 20–70 tuhatta tonnia. Tuhkaa on toimitettu hyötykäyttöön, mutta ei niin suurissa määrin kuin Vaasassa ja Seinäjoella. Etäisyys Kristiinan voimalaitokselta tuhkan käytön painopisteeseen yleisiä teitä pitkin on noin 128 km. (Pohjolan Voima, linkit Voimalaitokset -> Lämpövoima -> Kristiina.)

4.3 Lentotuhkan käyttö

Lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän kohteessa penkereisiin ja meluvalleihin, eli täyttömaina. Hankkeen aiemmissa vaiheissa lentotuhkaa suunniteltiin käytettävän myös tien päällysrakenteessa, mutta lopulta päädyttiin lentotuhkan käytön suunniteluun ainoastaan penkereissä ja meluvalleissa. Tämä johtuu siitä, että urakan tuotevaatimuksissa kielletään lentotuhkan käyttö tien päällysrakenteessa.

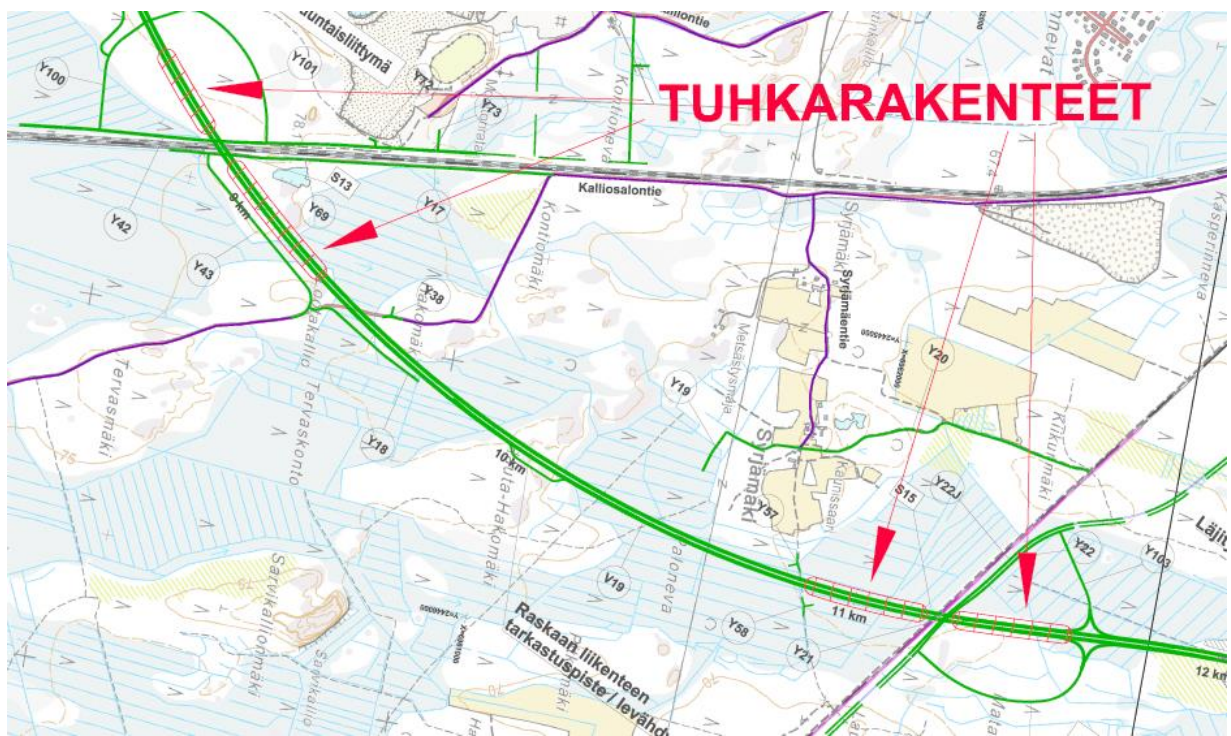
Lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän rautatien ylittävien siltojen yhteydessä. Ensimmäinen kohde, Routakallion ylikulkusilta, sijaitsee paaluvälillä 8540 – 9280. Toinen kohde, Matalamäen ylikulkusilta, sijaitsee paaluvälillä 10920 – 11580. Optimikosteudessaan toimitettavan lentotuhkan menekki ylikulkusiltojen tiepenkereissä olisi noin 120 tuhatta tonnia. Lisäksi lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän meluvalleissa Vt19:n varrella paaluvälillä 13700 – 16000 sekä Vt18:n varrella noin 700 metrin matkalla. Optimikosteudessaan toimitettavan

lentotuhkan arvioitu menekki meluvalleissa on noin 80 tuhatta tonnia. Massalaskentataulukot on esitetty liitteessä 6.

Tuhkien käyttöluokkajaan perusteella kaikkien lentotuhkalaatujen käyttö on mahdollista penkereissä ja meluvalleissa. Seuraavien alaotsikoiden alla esitellään suunniteltuja ratkaisuja rakenteiden toteuttamiseksi ja kuivana pitämiseksi.

4.3.1 Penkereet

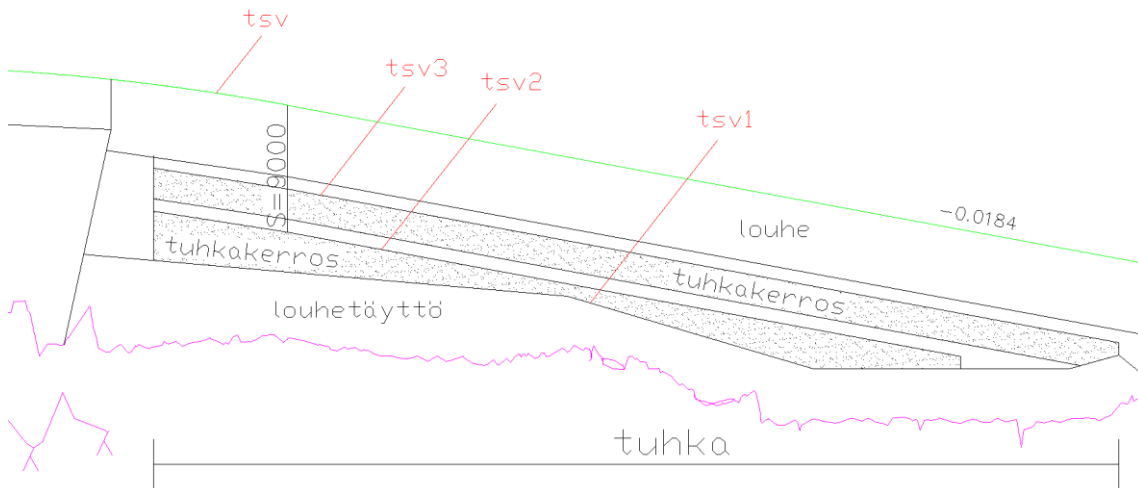
Lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän Routakallion ylikulkusillan tiepenkereissä sekä Matalamäen ylikulkusillan tiepenkereissä. Penkereiden sijainti on esitetty alla olevassa kuvassa 3.



KUVA 3. Lentotuhkarakenteita sisältävät penkereet

Yllä olevassa kuvassa vasemmalla oleva ylikulkusilta on nimeltään Routakallion ylikulkusilta. Routakallion ylikulkusillan tiepenkereet sijaitsevat paaluvälillä 8540 – 9280. Lentotuhkan suunniteltu menekki Routakallion ylikulkusillan tiepenkereissä on noin 42 000 m³rtr. Tämän rakenteen toteuttamiseksi tulee rakennuspaikalle ajaa optimikosteudessaan olevaa lentotuhkaa noin 76 tuhatta tonnia. Routakallion ylikulkusillan tiepenkereiden tuhkarakenteet on esitetty tarkemmin

pituusleikkauksessa liitteessä 1. Alla on esitetty periaatekuva tiepenkereiden tuhkarakenteista. Kuvassa 4 käytetään rakentamisperiaatetta, jossa rakennetaan kaksi erillistä tuhkerakennetta, joiden väliin rakennetaan 0,5 m:n suojakerros maasta. Erilaisista rakentamisvaihtoehdoista selostetaan tarkemmin myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 4. Ylikulkusiltojen tiepenkereiden tuhkarakenteiden periaatteita esitettynä pituusleikkauksessa

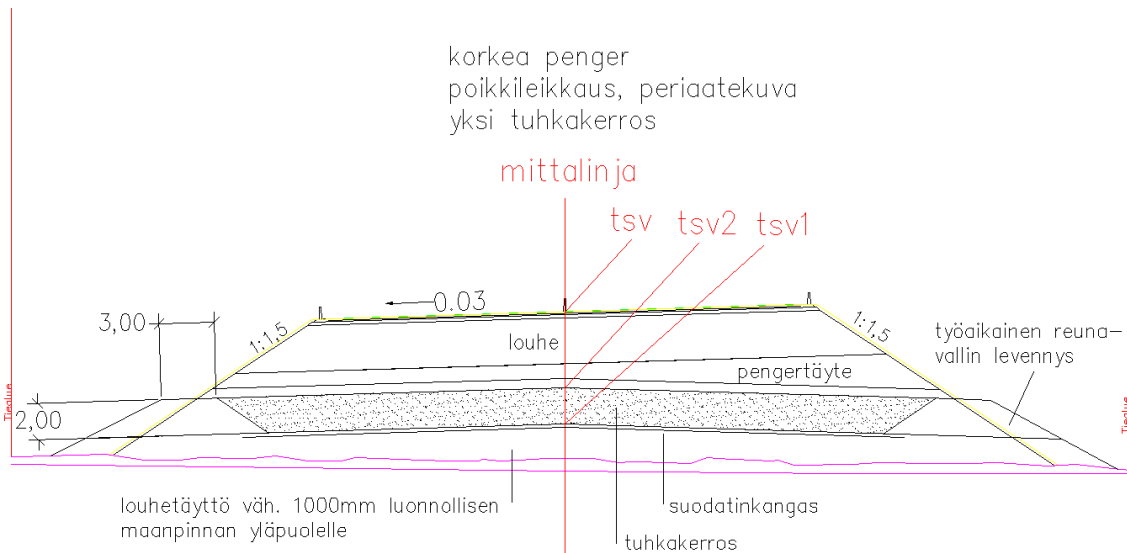
Kasvavassa paalusunnassa jälkimmäinen ylikulkusilta on nimeltään Matalamäen ylikulkusilta. Matalamäen ylikulkusillan tiepenkereet sijaitsevat paaluvälillä 10920 – 11580. Lentotuhkan suunniteltu menekki Matalamäen ylikulkusillan tiepenkereissä on noin 31 000 rakenneteoreettista kuutiota. Tämän rakenteen toteuttamiseksi tulee rakennuspaikalle ajaa optimikosteudessaan olevaa lentotuhkaa noin 55 tuhatta tonnia. Matalamäen ylikulkusillan tiepenkereiden tuhkarakenteet on esitetty tarkemmin pituusleikkauksessa liitteessä 2.

Pengermateriaalin vaihtaminen tuhkaan säästäisi reilusti alun perin penkereisiin suunniteltua louhetta myöhempiä rakennusurakoita varten. Tiepenkereiden toteutukseen on suunniteltu vaihtoehtoisia ratkaisuja tarkkojen tutkimustietojen puuttumisen johdosta. Esimerkiksi optimaalinen kerrospaksuus selviää vain tutkimalla lentotuhkan suurin mahdollinen tiivistettävän kerroksen paksuus. Eri rakennevaihtoehdot on esitelty selventävien kuvien ja tekstin muodossa seu-

raavissa kappaleissa. Lupahakemukseen liitettävät piirustukset ovat opinnäytetyön liitteenä.

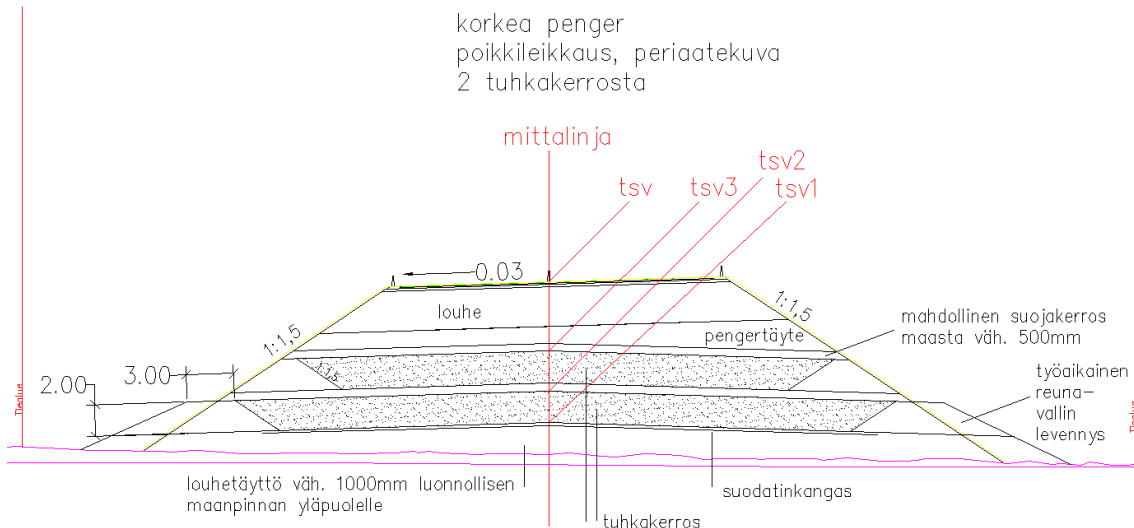
Lentotuhkarakenteiden suunnittelu aloitettiin suunnitteleamalla niin sanottu tyyppipoikkileikkaus lentotuhkarakenteesta. Suunnittelun tavoitteena oli saada suunniteltua tiepenkereisiin mahdollisimman paljon lentotuhkaa. Suunnittelun alkaessa oli tiedossa tien päällysrakenne sekä tien vaaka- ja pystygeometria. Ensimmäisenä suunnitelmana syntyi tiepenkereen matalan osan rakennevaihtoehto, jossa on yksi osakerroksista rakennettava lentotuhkakerros.

Suunnitelmissa kiinnitettiin erityisesti huomiota lentotuhkakerroksen kuivana pitämiseen. Lentotuhkakerroksen alapuolella on penkereen jokaisessa kohdassa vähintään metrin paksuinen louhepatja. Louhepatjan päälle asetetaan suodatinkangas erottelemaan eri rakeisuuden omaavat materiaalit toisistaan. Louhepatjan yläpinta muotoillaan kaksipuoleisella sivukaltevuudella. Louhepatjan päälle rakennetaan rakennettavan lentotuhkakerroksen korkuiset reunavallit. Reunavallit levennetään työn ajaksi, jotta rakennusaikainen liikennöinti on mahdollista reunavallien päällä. Reunavallien väliin tehdään lentotuhkakerros osakerroksissa kerrospengerryksenä. Yksittäisen lentotuhkakerroksen suurimmaksi mahdolliseksi kokonaiskerrospaksuudeksi päätettiin 2 metriä. Lentotuhkakerroksen yläpinta muotoillaan kaksipuolisella sivukaltevuudella vesien poisjohtamiseksi. Tässä rakennevaihtoehdossa lentotuhkakerroksen päälle rakennetaan vähintään 500 mm:n suojakerros maasta, joka suojaa lentotuhkakerrosta mekaaniselta rasitukselta ja kerroksen pinnan kuivumiselta lopullisen lujittumisen ajan. Alla periaatekuva (kuva 5) rakennevaihtoehdosta, joka sisältää vain yhden lentotuhkakerroksen.



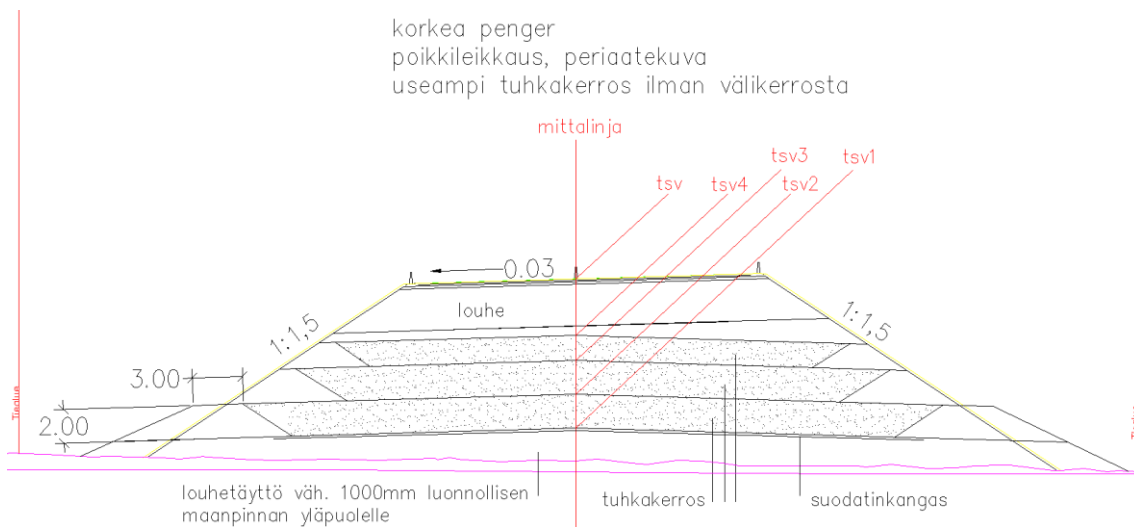
KUVA 5. Periaatekuva rakennevaihtoehdosta, joka sisältää vain yhden lentotuhkakerroksen

Tiepenkereiden korkeammille osille suunniteltiin poikkileikkaus samoin periaattein kuin edellinen matalampi poikkileikkaus. Ainoana erona edelliseen poikkileikkaukseen on toinen lentotuhkakerros ensimmäisen kerroksen päällä. Lentotuhkakerrosten väliin jätetään alemman lentotuhkakerroksen suojaksi rakennettu 0,5 m:n suojakerros maasta. Tuhkakerrosten rakentamisen välillä on suunniteltu pidettävän taukoa alemman tuhkakerroksen jonkinasteisen lujittumisen ajan. Lentotuhkakerroksen lujittumiseen kuluva aika tulee selvittää ennen työhön ryhtymistä, jotta pengerrystyö voidaan aikatauluttaa. Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty tiepenkereen korkeampien osien poikkileikkaus.



KUVA 6. Periaatekuva rakennevaihtoehdosta, joka sisältää kaksi lentotuhkakerrosta

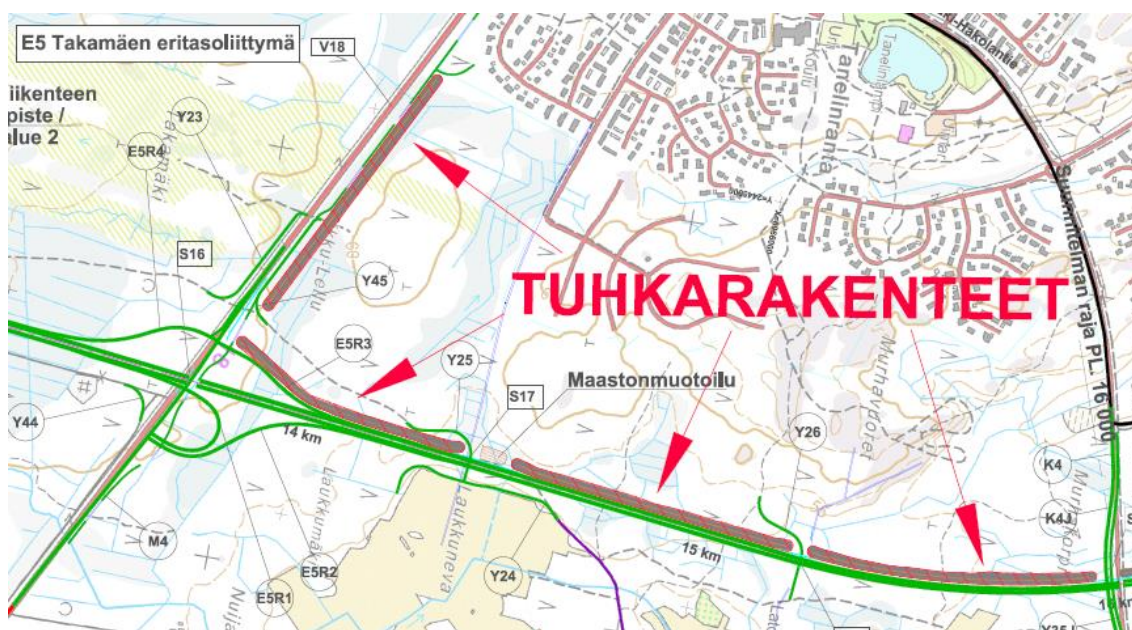
Edellisten rakennevaihtoehtojen lisäksi suunniteltiin vielä rakennevaihtoehto, jossa ei ole esitetty lentotuhkakerroksen päälle rakennettavia suojakerroksia. Rakennevaihtoehto suunniteltiin, koska lentotuhkakerroksen lujittumiseen kuluva aikaa ei tarkkaan tiedetä. Tästä johtuen ei tiedetä, tarvitseeko lentotuhkakerros suojata lujittumisen ajaksi. Alla esitetystä kuvassa 7 on kuvattu ilman suojakerroksia rakennettavien lentotuhkakerrosten periaatteita.



KUVA 7. Periaatekuva rakennevaihtoehdosta, joka sisältää useamman lentotuhkakerroksen ilman suojakerroksia

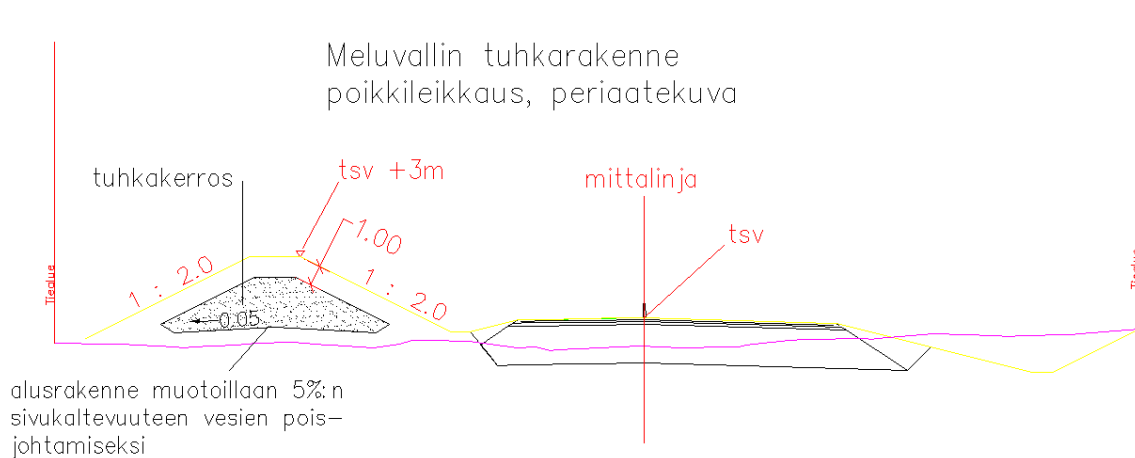
4.3.2 Meluvallit

Lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän esimerkikohteessa meluvalleissa Vt19:n varrella paaluvälillä 13700 – 16000. Lisäksi lentotuhkaa on suunniteltu käytettävän meluvallissa Vt18:n varrella noin 700 metrin matkalla. Meluvallien sijainti on esitetty alla olevassa kuvassa 8.



KUVA 8. Lentotuhkameluvallien sijainti esimerkikohteessa

Meluvalleissa alusrakenne muotoillaan 5 %:n sivukaltevuuteen vesien pois johtamiseksi. Tuhkakerroksen reunoille muotoillaan maasta matalat reunavallit, joilla vähennetään riskiä tuhkan rakennusaikaiselle valumiselle tien rakennekerrokseen ja rakennusalueen ulkopuolelle. Tuhka ajetaan meluvalliin, annetaan sitoutua ja muotoillaan lopulliseen muotoonsa. Lopuksi peitetään tuhkakerros noin 1 metrin paksuisella suojakerroksella, joka on alueelta saatavaa maata. Meluvallin luiskat muotoillaan kaltevuuteen 1:2. Meluvallin korkeus on tsv + 3 m. Tuhkakerroksen paksuus riippuu luonnollisen maanpinnan korkeusaseman ja tien tasausviivan korkeusaseman suhteesta poikkileikkauksessa. Alla on esitetty kuva 9 lentotuhkameluvallin rakentamisen periaatteista.



KUVA9. Periaatekuva lentotuhkameluvallista

4.4 Tuhkarakentamisesta saavutettavat hyödyt Vt19-hankkeessa

Vt19-rakennushankkeessa on muutamia merkittäviä näkökulmia, jotka puoltavat lentotuhkarakentamista. Loppusijoittamista vaativia lentotuhkia tuotetaan alueella paljon. Lisäksi esimerkkikohteen massatalous on negatiivinen.

Lentotuhkarakentaminen mahdollistaa neitseellisen kiviaineksen säästämisen tulevia maarakennusurakoita varten. Esimerkkikohteessa tiepenkereet on alun perin suunniteltu tehtävän louheesta. Penkereisiin on suunniteltu käytettävän lentotuhkaa noin 73 000 m³rtr. Mikäli lentotuhka korvaisi louheen, säästyisi louhetta kallioperässä louhimattomana noin 38 000 m³tr. Kyseinen määrä louhetta jäisi täten tulevaisuuden tarpeisiin.

Toinen hyöty on lentotuhkan saattaminen hyötykäyttöön. Mikäli suunnitelmien mukainen 220 tuhatta tonnia optimikosteudessaan olevaa lentotuhkaa saadaan hyödynnettyä penkereissä, tarkoittaisi se edellä mainittujen kolmen voimalaitoksen noin yhden vuoden tuhkamäärien saattamista hyötykäyttöön.

Edellä mainitut hyödyt vaikuttavat luonnollisesti myös kustannuksiin. Louheen säästäminen myöhempää käyttöä varten tarkoittaa välillistä säästöä tulevissa urakoissa, sillä louhetta on saatavilla läheltä. Lentotuhkan sijoittaminen tiepen-

kereisiin puolestaan tarkoittaa tuhkan toimittajan säästöjä mahdollisissa läjityskustannuksissa.

4.5 Tuhkarakentamisen riskit ja riskeihin varautuminen

Vaikka tuhkarakentamisesta hyödyttäisiinkin esimerkkikohteessa merkittävästi, sisältää tuhkarakentaminen myös suuren määrän riskejä. Jotkin riskeistä ovat merkittäviä yksilötasolla, kun taas toiset voivat vaikuttaa laajemmalti pitkään.

Toteutuessaan vaikutukseltaan suurin riski liittyy luonnollisesti ympäristöön. Lentotuhka sisältää paljon erilaisia haitallisia aineita, jotka ympäristöön levitessään voivat saastuttaa vesistöjä tai maaperää. Lentotuhkarakenteet on suunniteltu siten, että ulkopuolelta tulevat vedet eivät pääsisi häiriinnyttämään rakennetta. Suurin mahdollisuus vahingon tapahtumiselle onkin rakennusaikana. Rakennusaikana sitoutumaton tuhkerakennus voi optimivesipitoisuuden ylityttyä liettyä esimerkiksi rankkasateiden johdosta, jolloin se muuttuu juoksevaksi materiaaliksi. Rankkasateisiin tulee varautua mahdollisen rakennusvaiheen aikana pitämällä lentotuhkarakenteen peittämiseen riittävä määrä sopivaa maa-ainesta nopeasti käytettävissä. Lentotuhka voi levitä ympäristöön myös pölyämällä, mikäli tuhkan vesipitoisuus on alhainen ja sääolot ovat kuivat ja tuuliset. Pölyäminen voidaan kuitenkin välttää valvomalla toimitettavan tuhkan vesipitoisuutta säännöllisesti. Pölyäminen on lisäksi riski työntekijöiden terveydelle. Työntekijöiden terveydestä tulee huolehtia rakennusaikana muun muassa asianmukaisilla hengityssuojaimilla.

Lentotuhkan leviäminen varsinaisen kohteen ulkopuolelle aiheuttaa riskin myös muille tien rakenteille. Lentotuhkan valuminen esimerkiksi meluvallista tien rakennekerrokseen voi aiheuttaa rakennekerroksien vaurioitumisen ja routimisen. Valuminen pyritään kuitenkin estämään meluvalleissa rakentamalla pienet reunavallit meluvallin reunoille rakennusvaiheessa. Tiepenkereissä lentotuhkarakenteet erotellaan louheesta suodatinkankaan avulla, jolloin materiaalien sekoitumista ei pitäisi päästä tapahtumaan. Penkereissä lentotuhka on koko ajan reunavallien välissä, joten liettyessäänkin lentotuhka ei pääse valumaan ympäristöön.

Lentotuhkarakentamiseen liittyy myös itse rakenteeseen ja rakentamiseen kohdistuvia riskejä. Riskit liittyvät kokemusperäisen tiedon puuttumiseen. Tuhkarakenteiden suurimmasta mahdollisesta kokonaispaksuudesta ei ole olemassa mitään ohjearvoa. Lisäksi tuhkarakenteen päälle tulee melkein kolmen metrin päällysrakenne louheesta ja murskeesta, eli tuhkarakenteeseen kohdistuu suuri jännitys. Myöskään lentotuhkan sitoutumiseen kuluva aika ei ole tiedossa, joten mahdollisuus liukupintojen syntymiselle on olemassa. Mahdolliset liukupinnat aiheuttavat riskin myös siinä tapauksessa, että rakenteeseen pääsee vettä ja lentotuhkarakenne häiriintyy. Edellä mainittuihin ongelmiin ei löydy ratkaisua tuhkarakentamista käsittelevistä oppaista ja ohjeista.

Rakennusurakassa tuntemattoman materiaalin käyttö aiheuttaa myös aikataulu- ja kustannusriskejä. Tuhkaan liittyvät työtekniikat eivät ole yleisesti tiedossa, joten häiriöt rakentamisen aikana venyttävät aikataulua helposti. Aikataulumuutokset luonnollisesti lisäävät myös kustannuksia, kun laskettuja työtehokkuuksia ei saavuteta.

5 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli pohtia lentotuhkan käyttöä yleisesti maarakentamisessa sekä esimerkikohteessa ja tuottaa lentotuhkaa sisältäviä rakennevaihtoehtoja esimerkikohteeseen. Tarkoitus oli myös pyrkiä ottamaan kantaa tuhkarakentamisen hyötyihin ja riskeihin.

Työn tuloksena syntyi esimerkikohteen ympäristöluvan lupahakemukseen liitettävät piirustukset tuhkarakenteista. Rakenteet on suunniteltu tuhkarakentamisen käsikirjan ja infraRYLin vaatimukset huomioiden, mutta tietoa on jouduttu soveltamaan monin paikoin tiedon puuttumisen johdosta. Rajallisten tietojen vuoksi ei valitettavasti voida varmistua rakenteen teknisestä toimivuudesta. Tämän johdosta tulee ennen mahdollista työvaihetta käytettävällä tuhalla tehdä suuri määrä erilaisia kokeita. Näiden kokeiden suorittaminen tämän työn puitteissa ei ollut muun muassa aikataulullisista syistä mahdollista. Tuhkarakentamisen käsikirjan ohjeiden, tuhkan toimittajien antamien tietojen ja tehtyjen suunnitelmien valossa ei voida kuitenkaan suoraan todeta, että suunniteltu rakenne ei tulisi toimimaan halutulla tavalla.

Tuhkarakentamisessa, kuten uusiomaarakentamisessa yleisestikin, on potentiaalia. Potentiaalın hyödyntäminen vaatii kuitenkin runsaasti työtä eri osapuolilta. Tuhkarakentamisesta saatuja positiivisia ja negatiivisia kokemuksia tulisi tulevaisuudessa koota ja jakaa tehokkaammin tuhkarakentamisen yleistämiseksi. Tällä hetkellä alalla vallitsee tilanne, jossa tuhkan tilaaja on hyvin pitkälti pelkän tuhkan toimittajan antamien tietojen varassa. Tulevaisuudessa olisikin tärkeää tehdä tuhkarakentamista koskeva suunnitteluohje, jossa esiteltäisiin mahdollisia rakennevaihtoehtoja erilaisille tuhkalaaduille.

Tuhkarakentamista koskeva tarkempi suunnitteluohje on kuitenkin hyödytön, mikäli tuhkien laadunvaihtelut ovat suuria. Tästä syystä olisi tärkeää kannustaa tuhkan toimittajia tuotteistamaan ja standardoimaan tuhkatuotteensa. Tällä tavoin saataisiin vakuudet tuhkan laadusta ja ominaisuuksista sekä laadunvarmistuksesta.

LÄHTEET

Autiola, Merja – Forsman, Juha – Jyrävä, Harri - Kiviniemi, Olli – Lahtinen, Pentti – Lindroos, Noora – Ollila, Susanna – Ronkainen, Marjo – Sikiö, Janne 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Verkkojulkaisu. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf. Hakupäivä 18.3.2014.

Gardemeister, R. – Korhonen, K-H. – Tamminen, M. 1974. Geotekninen maa-
luokitus. Otaniemi: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Geoenergia-Tutkimushanke. Vaasa Energy institute. Saatavissa: http://www.vei.fi/files/pdf/530/Geoenergia_esitys.pdf. Hakupäivä 18.3.2014.

Hakulinen, Matti 2008. Ympäristögeotekniikan perusteet. Helsinki: Suomen geoteknillinen yhdistys ry.

InfraRYL 2012/1. Helsinki: Rakennustieto.

Kristiinankaupungin voimalaitoksen lentotuhkan käyttö maarakentamisessa 2011. Pohjolan voima. Ei julkaistu.

L 17.6.2011 / 646/2011. Jätelaki. 1§.

Pohjolan voima, Saatavissa: <http://www.pohjolanvoima.fi/>. Hakupäivä 18.3.2014.

Ruukki. Saatavissa: www.ruukki.fi. Hakupäivä 18.3.2014.

Seinäjoen itäinen ohikulkutie 2013. Liikennevirasto. Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/230805/VT+19+Sein%C3%A4joen+it%C3%A4inen+ohikulkutie+esite+lokakuu+2013/bd3b9c1f-0da4-433a-bf31-04fcc309bad8>. Hakupäivä 18.3.2014.

Seinäjoen voimalaitoksen (SEVO) lentotuhkan käyttö maarakentamisessa 2011. Vaskiluodon Voima. Ei julkaistu.

Stabilointi. Lemminkäinen. Saatavissa:

<http://www.lemminkainen.fi/Global/Brochures/Infrastructure%20construction/Paving/Stabilointi.pdf>. Hakupäivä 18.3.2014.

Tuhkan hyödyntäminen Seinäjoen itäisellä ohikululla. Keskustelu- ja informaatiotilaisuuden materiaali 18.12.2013. Ei julkaistu.

Tulli. Saatavissa: www.tulli.fi/fi/. Hakupäivä 18.3.2014.

UUMA2. Saatavissa: <http://www.uuma2.fi/uuma2-ohjelma>. Hakupäivä 18.3.2014.

Vaskiluodon voima. Saatavissa: <http://www.vv.fi/>. Hakupäivä 18.3.2014.

LIITTEET

Liite 1 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: Routakallion ylikulkusilta, pituusleikkaus

Liite 2 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: Matalamäen ylikulkusilta, pituusleikkaus

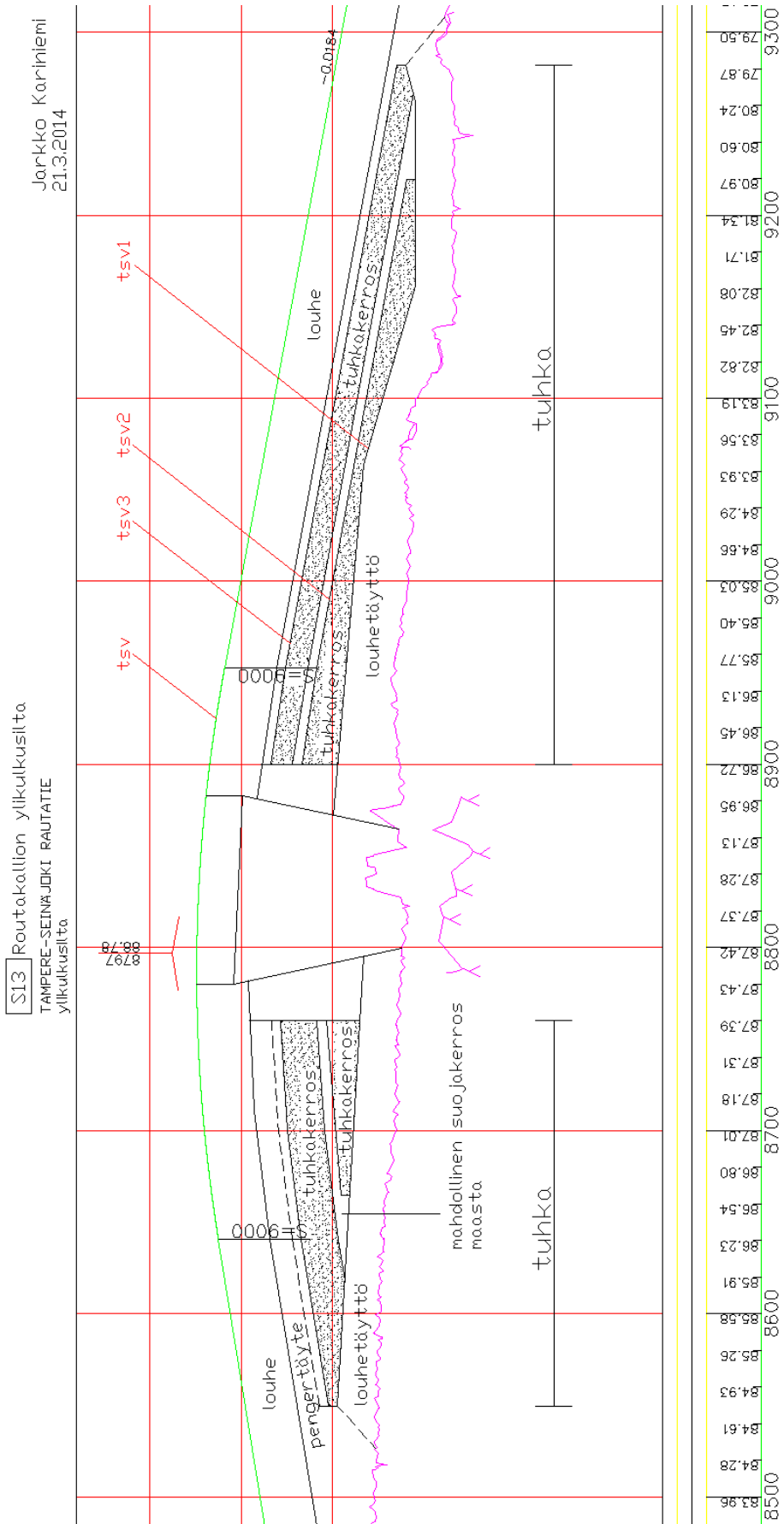
Liite 3 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: poikkileikkaus, yksi lentotuhkakerros

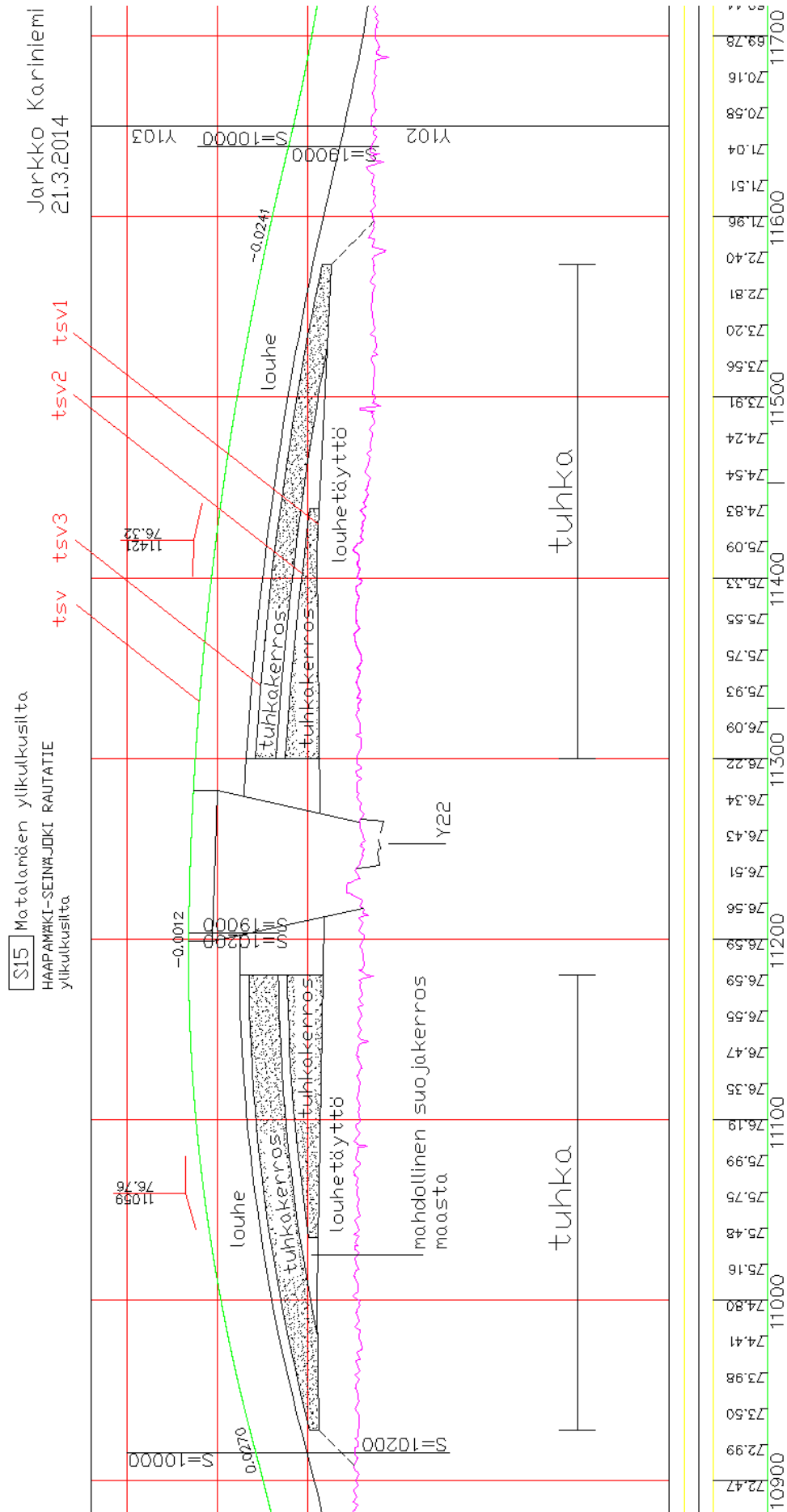
Liite 4 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: poikkileikkaus, kaksi lentotuhkakerrosta

Liite 5 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: poikkileikkaus, useampi lentotuhkakerros

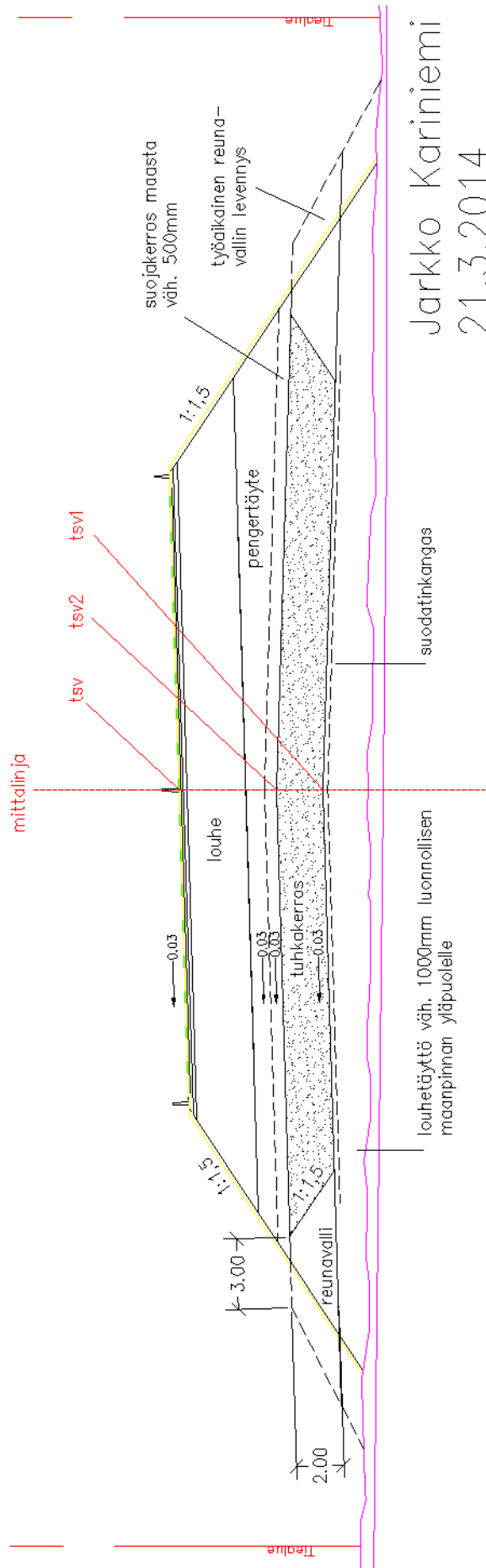
Liite 6 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: poikkileikkaus, meluvalli

Liite 7 VT19 Seinäjoen itäinen ohikulku: massalaskenta

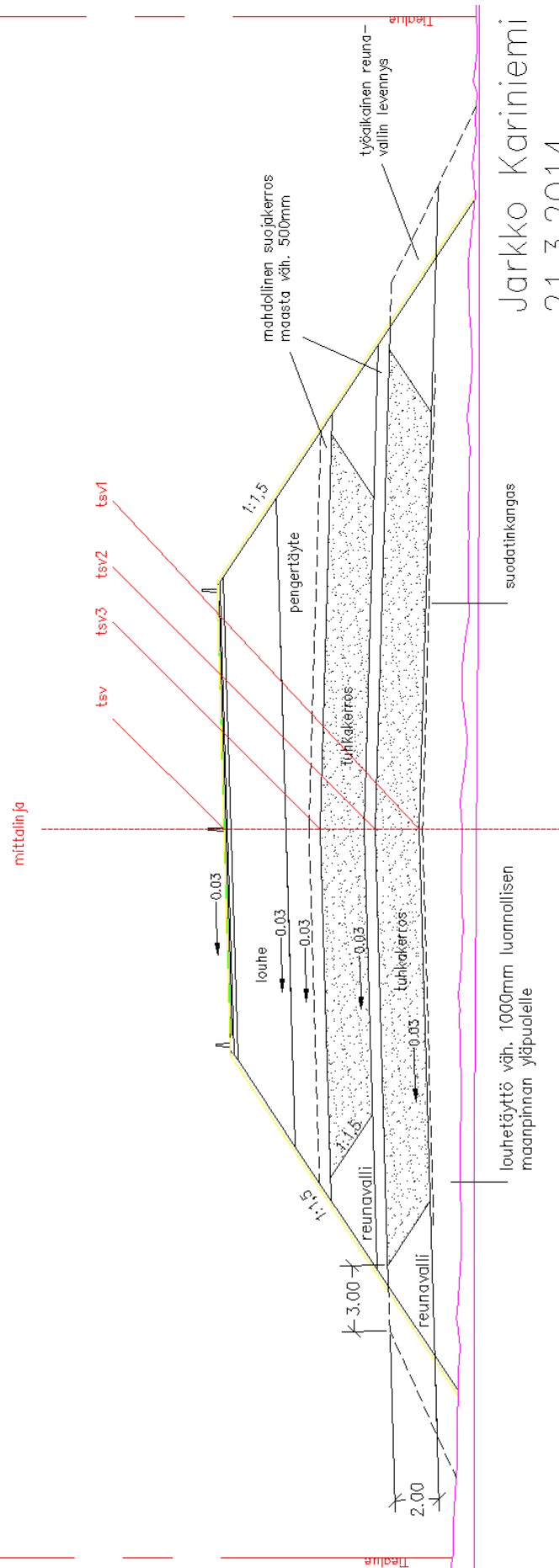




korkea pengerrus
poikkileikkaus, periaatekuva
yksi tuhkerakkerros

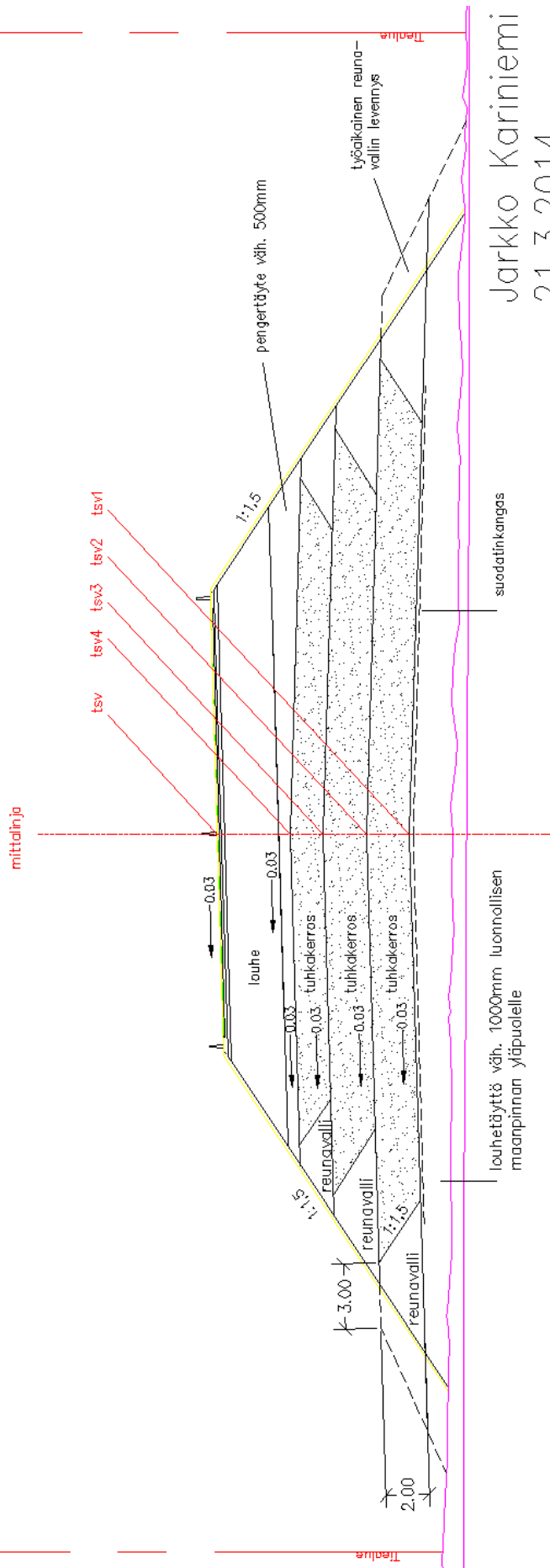


korkea pengerr
 poikkileikkaus, periaatekuva
 2 tuhkerrosta



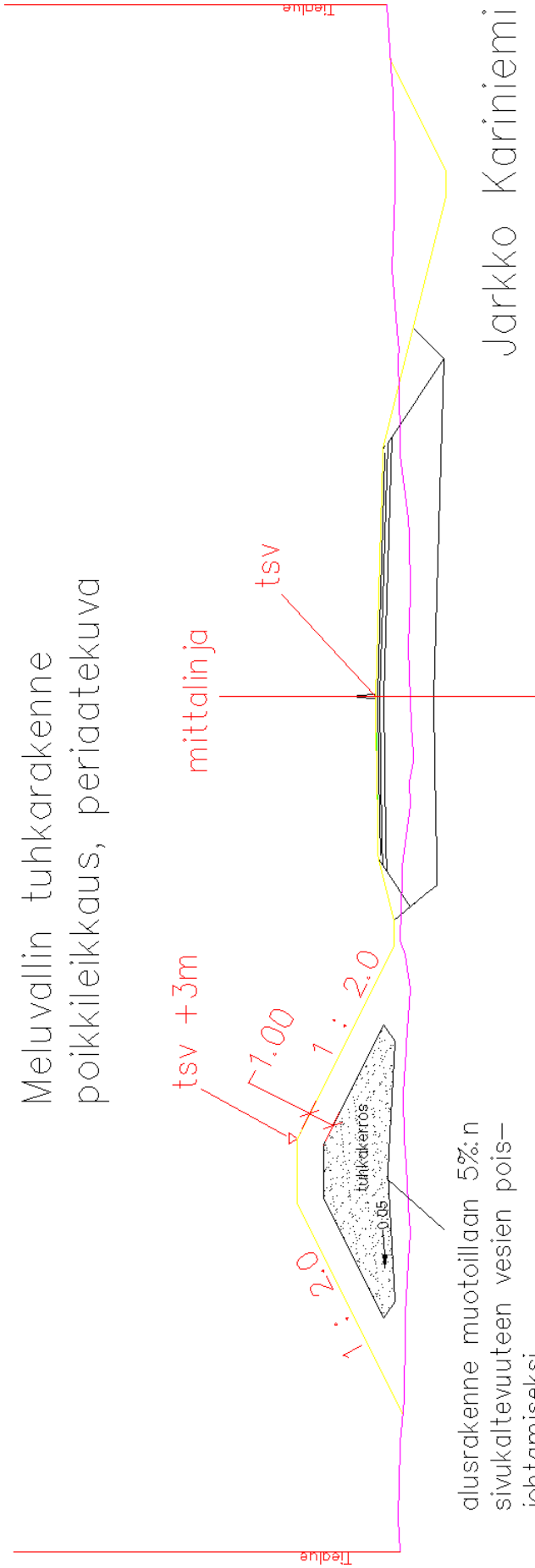
Jarkko Kariniemi
 21.3.2014

korkea pengerrus
 poikkileikkaus, periaatekuva
 useampi tuhkerros ilman välikerrosta



Jarkko Kariniemi
 21.3.2014

Meluvallin tuhkarakenne
poikkileikkaus, periaatekuva



Jarkko Kariniemi
21.3.2014

ROUTAKALLIO						
plv	A alku (m ²)	A loppu (m ²)	A ka (m ²)	pituus (m)	tilavuus (m ³ rtr)	massa (t)
8550-8620	25	74,75	49,875	70	3491	6284
8620-8660	74,75	71,78	73,265	40	2931	5275
8660-8680	94,97	117,259	106,1145	20	2122	3820
8680-8740	117,259	127,4099	122,33445	60	7340	13212
8740-8760	127,4099	132	129,70495	20	2594	4669
yhteensä					18000	33000
plv	A alku (m ²)	A loppu (m ²)	A ka (m ²)	pituus (m)	tilavuus (m ³ rtr)	massa (t)
8900-9060	94,97	51,02	72,995	160	11679	21023
9060-9160	51,02	83,3	67,16	100	6716	12089
9160-9220	83,3	49,47	66,385	60	3983	7170
9220-9280	32,94	16,64	24,79	60	1487	2677
yhteensä					24000	43000
ROUTAKALLIO YHTEENSÄ					42000	76000
MATALAMÄKI						
plv	A alku (m ²)	A loppu (m ²)	A ka (m ²)	pituus (m)	tilavuus (m ³ rtr)	massa (t)
10920-10980	15,43	43,37	29,4	60	1764	3175
10980-11040	43,37	44	43,685	60	2621	4718
11040-11120	64,44	97,94	81,19	80	6495	11691
11120-11180	97,94	108,88	103,41	60	6205	11168
yhteensä					17000	30000
plv	A alku (m ²)	A loppu (m ²)	A ka (m ²)	pituus (m)	tilavuus (m ³ rtr)	massa (t)
11300-11380	92,18	69,29	80,735	80	6459	11626
11380-11440	69,29	49,43	59,36	60	3562	6411
11440-11520	32,22	32,22	32,22	80	2578	4640
11520-11580	32,22	14,41	23,315	60	1399	2518
yhteensä					14000	25000
MATALAMÄKI YHTEENSÄ					31000	55000
MELUVALLIT meluvallia noin 2600m tyyppi-poikkileikkauksesta arvioitu A = 18,7m ² tällöin tuhkan tilavuudeksi saadaan 48800 m ³ rtr 87800 t						