



LENTOTUHKAN HYÖDYNTÄMI- NEN MASSASTABILOINNISSA

Teemu Mäntynen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2013
Rakennusalan työjohto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työjohto

MÄNTYNEN TEEMU

Lentotuhkan hyödyntäminen massastabiloinnissa

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Joulukuu 2013

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää lentotuhkan hyödyntämistä massastabiloinnin sideaineena. Lentotuhka on voimalaitosten polttoprosessista tuotettu teollisuuden sivutuote, joka luokitellaan yleensä jätteeksi. Valtion käynnistämien tutkimushankkeiden johdolla on alettua tutkia uusiutumattomien materiaalien käytön vähentämistä maanrakentamisessa siten, että korvaavana tuotteena hyödynnettäisiin teollisuuden tuottamia ylijäämämassoja. Lentotuhka on ollut yksi merkittävimmistä tutkimuksen materiaaleista. Massastabiloinnissa lentotuhkaa on käytetty yleensä sementtipohjaisissa sideaineseoksissa yhtenä komponenttina, mutta nykyään sitä on alettu käyttää myös erikseen omana yksittäisenä sideaineena.

Työssä käytiin läpi stabilointiprosessi, sekä yleisesti että työmaatasolla. Käytännön havainnoinnin tavoitteena oli saada tietoa mahdollisista lentotuhkan käyttöön liittyvistä ongelmista sen prosessoinnissa polttolaitokselta stabiloinninsideaineeksi. Lisäksi selvitettiin lupakäytännöt, joita jätteeksi luokiteltavan lentotuhkan käyttöön liittyy. Työmaan käytännön havainnointi toteutettiin Lemminkäinen Infra Oy:n Sampaanalanlahden massastabilointityömaalla Raumalla.

Työmaalle kohdistettujen havaintojen perusteella todettiin, että ennen lentotuhkan käyttöä tehtävät lupaselvitykset olivat laajoja ja aikaa vieviä. Käytössä ongelmia aiheuttivat lähinnä kosteuden imeytyminen tuhkaan ja sen kalustoa kuluttavat ominaisuudet. Polttolaitoksen tuottaman tuhkan laatu pysyi kuitenkin tasaisena, lämpötilaerot pieninä ja materiaali säilytti hyvät ominaisuutensa sideaineena koko työmaan ajan, joten mitään suurempia ongelmia ei koettu.

Kaikkiaan massastabilointi osoittautui erinomaiseksi keinoksi käyttää energiantuotannon tuottamaa jätettä hyödyksi ja muokata samalla heikosti kantavaa maata rakentamiselle suotuisaksi. Tuhkan käyttöön sideaineena todettiin liittyvän kuitenkin aina riski työmaan aikataulun venymisestä, sillä polttolaitoksen tuottaman tuhkan laatu on yksilöllistä. Lisätutkimuksilla ja käytännöstä saaduilla kokemuksilla lentotuhkasta on mahdollista kehittää kestävää kehitystä suosiva rakennusmateriaali maapohjien muokkaamiseen. Tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että lentotuhkan käyttö tulee lisääntymään tulevaisuudessa.

Asiasanat: massastabilointi, lentotuhka

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

MÄNTYNEN TEEMU
Utilization of Fly Ash in Mass Stabilization

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 11 pages
December 2013

The aim of this study was to clarify the utilization of fly ash as a binder in mass stabilization. Fly ash is an industrial side product produced by the burning process of a power plant, usually considered as refuse. Research projects initiated by the state have investigated the reduce of the use of nonrenewable materials in earth construction by replacing them with the excess mass produced by the industry. Fly ash has been one of the most significant materials in the investigation. In mass stabilization fly ash has been mostly used as a one component in a cement based binder mixture. Currently it has also been used as a separate binder.

In this study the mass stabilization process has been introduced generally and from the point of view of the construction site. The aim of the observations of the processing practices was to get information about possible problems concerning the processing of fly ash from burning plant as a binder of the stabilization. Also the permission practices were introduced concerning the utilization of fly ash considered as refuse. The observations of the practices of the construction site were carried out in a mass stabilization construction site of Lemminkäinen Infra LLC, Sampaalanlahti, Rauma.

The observations made in the construction site pointed out that the permission practices carried out before the utilization of fly ash were prolonged and broad. In practice problems were caused mainly by the absorption of humidity into fly ash and the qualities of the fly ash that wear out the equipment. The quality of the fly ash produced by the burning plant remained nevertheless stable, the differences in temperatures were slight and the material preserved it's good qualities as a binder through the construction site. In practice no bigger problems were faced.

Altogether mass stabilization proved to be an excellent way to utilize the refuse produced by the energy production and to simultaneously modify weakly carrying land suitable for construction. Using the fly ash as a binder however can always cause a risk of stretching timetables as the quality of the fly ash produced by the burning plant is distinctive. By further studies and practical experiences it is possible to develop fly ash as a construction material for earth construction that favors the sustainable development. Based on the study it may be assumed that the utilization of the fly ash will increase in the future.

Key words: mass stabilization, fly ash

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	MASSASTABILOINTI	9
2.1	Massastabiloinnin periaate.....	10
2.1.1	Massastabilointi käytännössä.....	10
2.1.2	Käyttökohteet	11
2.2	Työmaan käytännönmenettelyt.....	13
2.2.1	Mittaus ja merkkkaus	14
2.2.2	Valmistelevat työt	15
2.2.3	Sideaineiden käsittely.....	16
2.3	Tutkimukset ja laadunvarmistus	16
2.3.1	Pohjatutkimukset.....	17
2.3.2	Laboratoriotutkimukset.....	17
2.3.3	Koestabiloinnit	18
2.3.4	Suunnittelu	18
2.3.5	Työnaikana tehtävät havainnot	19
2.3.6	Laadunvalvontakairaukset.....	20
2.3.4	Urakoitsijan laadunvarmistus.....	21
2.3.4	Kalusto	22
2.4.1	Painesyöttimet.....	23
2.4.2	Sekoittajat.....	23
2.5	Sideaineet.....	24
2.5.1	Sideaineen ympäristövaikutukset.....	25
2.5.2	Sementti	25
2.5.3	Kalkki.....	26
2.5.4	Masuunikuona ja kipsi	26
3	TUHKKA.....	27
3.1	Polttotekniikat.....	27
3.2	Tuhkan käyttö maanrakentamisessa	28
3.2.1	Tuhkan tuotteistus	28
3.3	Lentotuhka sideaineena.....	29
4	SAMPAANALANLAHDEN TÄYTTÖTYÖMAA	31
4.1	Työmaan laajuus	32
4.2	Tutkimukset	33
4.2.1	Laboratorio tutkimukset.....	33
4.2.2	Koestabilointi	33
4.2.3	Suunnitelmat	34

4.3	Lentotuhka	35
4.3.1	Lentotuhkan tuotanto	35
4.3.2	Tuhkan luvavaraisuuden selvittäminen.....	35
4.4	Työmaan toteutus.....	36
4.4.1	Kalusto	36
4.4.2	Paikalleen mittaus	39
4.4.3	Aikataulu.....	40
4.4.4	Työskentely.....	41
4.4.5	Viimeistely	42
4.4.6	Laadunvarmistus	42
5	POHDINTA.....	44
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	50
	Liite 1. KOESTABILOINTI SUUNNITELMA	50
	Liite 2. TYÖMAAN RUUTUKUVA	59
	Liite 3. KOEKAIRAUS PÖYTÄKIRJA	60

ERITYISSANASTO

Ödometri	Mittari maalajien kokoonpuristuvuudesta.
Yksiaksiaalinen puristuskoe	Koheesiomaahan kohdistettua suljettua leikkauslujuutta määrittelevä koe.
CE-merkintä	Conformité Européenne. Merkintä siitä, että tuote täyttää Euroopan Unionin määrittelemät asetukset.
Diffuntoitua	Tuote hajoaa reagoidessaan toisen materiaalin kanssa
.	
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.
Meesa	Sellunvalmistusprosessista syntyvä kiinteä kalsiumkarbonaatti, joka on erotettu valkolipeästä suodattamalla.
Kaoliinisavi	Heikosti kovettuva savimainen seos.
REACH-rekisteri	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. Euroopan unionin kemikaalilainsäädännön rekisteri.

1 JOHDANTO

Suomen maaperässä on heikosti kantavia maa-aineksia, jotka kaupunkien kasvaessa ja infran kehittyessä vaativat kalliita rakentamiskustannuksia ja jarruttavat sijainnillisesti oleellisten alueiden hyödyntämistä. Joskus rakentamista tällaisille maapohjille ei voida kuitenkaan välttää ja tie-, rata- sekä asuinaluehankkeita kohdistetaan myös huonompien pohjarakennusolosuhteiden alueille. Näin on käynyt esimerkiksi runsaan kasvun pääkaupunkiseudulla, jossa epäsuotuisampia maa-alueita kaavoitetaan asuinaluekäyttöön. Maiden hyödyntämistä varten on kehitetty uusia stabilointitekniikoita, joilla heikosti kantavaa maaperää voidaan muokata paremmin kantavaksi.

Jo muutoin kalliita maapohjakustannuksia lisäävät ylijäämämaiden pidentyneet kuljetusmatkat ja vastaanottomaksujen kallistuminen. Esimerkiksi Helsingin kaupungilla ei ole tällä hetkellä osoittaa maanvastaanottoa paikkaa yksityisten rakennushankkeiden ylijäämämaille ja maat joudutaan ajamaan yksityisten yritysten maankaatopaikkoihin Etelä-Suomessa. Helsingissä syntyy vuosittain noin 600 000 kuutiometriä kaivumassoja, joista noin kaksi kolmannesta on silttiä ja savea ja yksi kolmannes rakentamiseen soveltuvia kitkamaita. Kitkamaita voidaan kierrättää hyötykäyttöön joihinkin muihin rakennuskohteisiin, mutta esimerkiksi löysien savien hyötykäyttö edellyttää sen kiinteyttämistä muun muassa sementillä. Menetelmää kutsutaan massastabiloinniksi (Helsingin Uutiset 2013).

Massastabilointia käytetään heikosti kantaville maa-aineksille, jotka eivät kantavuutensa vuoksi sovellu rakentamiseen. Stabilointi muokkaa maa-aineksen lujaksi laataksi, muodostaen rakentamiselle otollisemman perusmaan. Massastabiloinnin etuna on, että se voidaan tehdä suoraan perusmaalle ilman kaivamisia ja kuljetuksia tai läjitetylle maa-ainekselle. Massastabilointia käytetään myös jäykistämään maamassoja tekemällä niistä helpommin käsiteltäviä. Menetelmää on käytetty myös kohteissa, joissa maa on pilaantunut.

Massastabiloinnissa perusmaan kantavuutta parannetaan sekoittamalla sideaineita hallitusti maaperään. Sideaineina käytetään pääosin sementtipohjaisia sideaineseoksia, mutta yhä enemmän tutkitaan teollisuuden tuottamien ylijäämäjakeiden kuten lentotuhkan soveltumista stabiloinnin sideaineeksi. Massasyvästabiloinnissa käytetään työhön erikseen

suunniteltua sekoituslaitteistoa. Käytössä olevilla laitteilla stabilointi pystytään ulottamaan jopa 7 metrin syvyyteen (Biomaa 2011; Liikennevirasto 2010).

Polttolaitoksissa Suomessa muodostuu noin 1,5 miljoonaa tonnia tuhkaa vuosittain. Tuhkat määritellään lähtökohtaisesti jätteeksi, jonka sijoittaminen maaperään on luvanvaraista toimintaa ja jonka loppusijoittamisesta maksetaan jätevero. Voimalaitosten tuottaman tuhkan hyötykäyttäminen infrarakentamisessa on kasvussa. Tuhkan hyötykäyttämömahdollisuudet ovat laajentuneet viime vuosikymmenien aikana teknologian kehittymisen ja tutkimustyön lisääntymisen sekä lainsäädännöllisten helputuksien osalta. Tutkimuksista yhtenä merkittävimpanä lienee ympäristöministeriön vuonna 2006 alulle panema Uuma-ohjelma, jonka tarkoituksena oli tutkia uusiutumattomien materiaalien käytön vähentämistä maanrakentamisessa (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012). Ympäristöministeriön tavoitteena on, että vuoden 2005 verrattuna 10 % neitseellisestä kiviaineksesta korvattaisiin uusiomateriaaleilla vuoteen 2015 mennessä (Ympäristöministeriö 2011).

Uuma-ohjelman yhtenä tuotteena tutkittiin lentotuhkaa, joka erottautuu muun muassa sementin-kaltaisten lujittumisominaisuuksiensa puolesta. Lentotuhkaa voidaan käyttää monipuolisesti rakentamisessa ja muun muassa stabiloinnin sideaineeksi lentotuhkatuhka soveltuu hyvin juurikin sementinomaisten ominaisuuksiensa johdosta (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

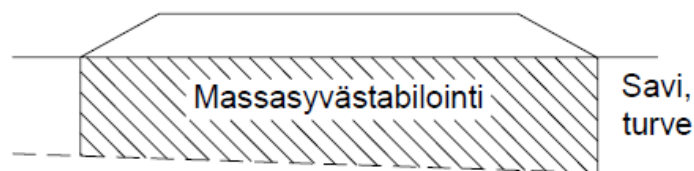
Tässä työssä selvitetään lentotuhkan käyttämistä massastabiloinnin sideaineena. Tavoitteena on havainnoida mahdollisia käyttöön liittyviä ongelmia, joita tuhkan käsittelyyn liittyy, kun sideaine tuotetaan suoraan polttolaitokselta. Työssä käydään läpi stabilointiprosessi, sekä yleisesti että työmaatasolla. Lisäksi selvitetään lupamenettely, joka jätteeksi luokiteltavan lentotuhkan käyttöön liittyy. Työn esimerkkikohteena käytetään Lemminkäinen Infra Oy:n Rauman työmaata, joka palkittiin vuoden GeoTeko-tunnustuspalkinnolla vuonna 2013. Kohde on Rauman Biovoima Oy:n ja UPM-Kymmene Oyj Rauman yhteishanke rakennuttaa varastointialue hyödyntämättömään Sampaanalanlahden vesialueelle. Rakentamisessa käytetään hyödyksi erilaisia teollisuuden tuottamia ylijäämämassoja. Pohjanvahvistustekniikkana käytettiin massastabilointia. Kohde sijaitsee UPM Rauman tehtaan alueella. Stabiloinnissa käytetään sementin lisäksi toisena sideaineena Rauman Biovoiman tuottamaa lentotuhkaa. Kaikkiaan stabiloitavaa oli noin 160 000 kuutiometriä (Suomen Geoteknillinen yhdistys 2013).

2 MASSASTABILOINTI

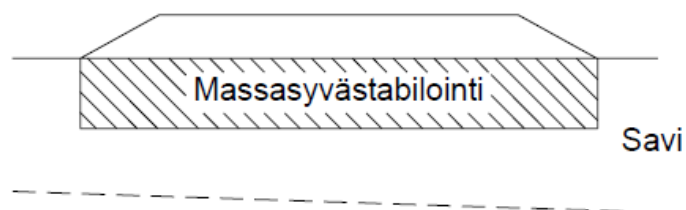
Massastabilointi on nopea ja kustannustehokas menetelmä pehmeiden maiden lujittamiseksi lisäämällä maa-ainekseen sideainetta. Massasyvästabilointia eli massastabilointia käytetään huonon kantavuusominaisuuden maitiin kuten erilaiset savet, turpeet, lietteet ja muut pehmeät maamateriaalit. Tällaiset maa-alueet voidaan muuttaa kestäväksi kerrokseksi, jota voidaan edelleen hyödyntää rakentamiseen. Massastabilointitekniikkaa voidaan käyttää myös saastuneiden maamassojen käsittelyyn ja ruoppausmassojen kiinteysttämiseen (Allu Finland 2011; Liikennevirasto 2010; Biomaa 2011).

Massastabilointia voidaan soveltaa suoraan maaperään (in situ) tai ensin kaivaa heikosti kantava maa pois (on site, ex situ), jonka jälkeen se stabiloidaan ja läjityksen sijaan hyödynnetään esimerkiksi teiden rakenteissa tai meluvalleissa. (Biomaa 2011). Massastabilointi voidaan tehdä pehmeän kerroksen alapintaan tai määräsyyvyteen asti. Massastabilointia voidaan käyttää myös yhdessä pilaristabiloinnin kanssa yhdistelmä rakenteena (Kuva 1) (Tiehallinto 2001).

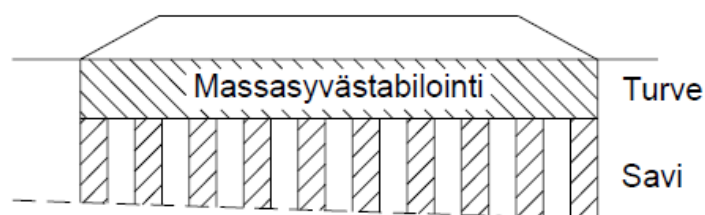
a) Massasyvästabilointi pehmeän kerroksen pohjaan asti



b) Massasyvästabilointi määräsyyvyteen



c) Massasyvästabiloinnin ja pilaroinnin yhdistelmä



KUVA 1. Massasyvästabiloituja rakenteita (Tiehallinto 2001).

2.1 Massastabiloinnin periaate

Maarakenteista tulevat kuormat siirretään massastabiloinnilla joko kantavaan maakerrokseen tai pehmeän maakerroksen yläosa lujitetaan massastabilointilaatalla, jolloin kuormat jakaantuvat paremmin ja laatta tasaa painumaeroja myös omalla jäykkyydellään. Massastabiloinnin kriittisiä tekijöitä ovat stabiloinnin paksuus ja lujuus sekä stabiloinnin alle jäävän maapohjan painumaominaisuudet. Stabilointityössä ja työkoneen liikkumisessa otetaan huomioon maapohjan alhainen lujuus ja häiriintymisherkkyys. Työjärjestys ja tekemisen aikataulut suunnitellaan siten, että viereisten rakenteiden vakavuus säilyy riittävänä kaikissa työvaiheissa (Infra RYL 2013; Tiehallinto 2001). Eri-tyyppisen kriittisiä paikkoja ovat esimerkiksi siltipohjaiset radanvierustat, joissa on uhkana häiriintyvän maan pullahtaminen (Niutanen 2013).

Massastabiloinnissa kaivinkoneeseen kytkettyä sekoitinta liikutellaan stabiloitavassa maakerroksessa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Samalla sideainetta puhalletaan paineilmaalla sekoittajan kärkeen, josta sideaine purkautuu maa-ainekseen. Stabilointisyvyyden yleisin raja on noin 5 metriä, mutta stabilointia voidaan toteuttaa jopa 7 metrin syvyyteen. Sekoitustyön tasalaatuisuuden varmistaminen vaatii vielä kehittämistä. Massasyvästabilointi voidaan tehdä myös pilarointikoneella aivan viereen tehdyin pilarein, jolloin päästään tasalaatuisimpaan sekoitustulokseen (Liikennevirasto 2010; Biomaa 2011).

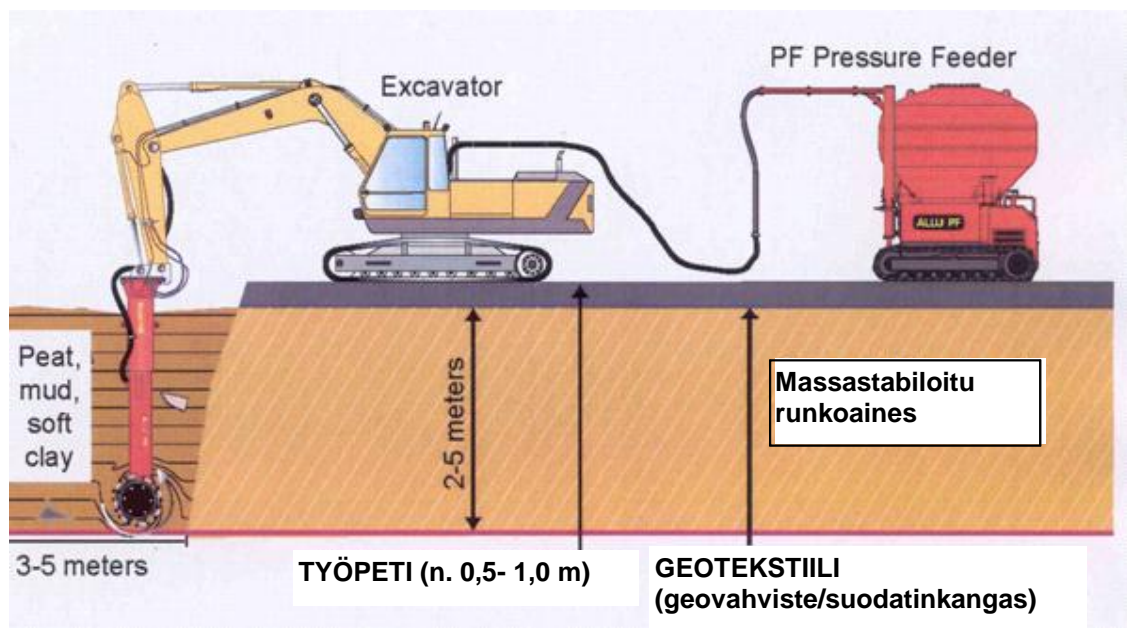
Stabilointi voidaan toteuttaa käyttämällä ainoastaan yhtä sideainetta kuten yleissementtiä tai käyttämällä erilaisia sideaineseoksia esimerkiksi sementistä, kalkista tai teollisuuden sivutuotteista kuten masuunikuonasta tai lentotuhkasta. Seosaineeseen voidaan lisätä myös erilaisia lisäaineita, joiden avulla saavutetaan nopeampi jähmettymisaika, suurempi käyttölämpötila-alue sekä suurempi lujuus. Sideainepitoisuus on pääsääntöisesti 50 - 200 kg/m³ (Biomaa 2011).

2.1.1 Massastabilointi käytännössä

Massastabiloinnin tarkoituksena on vahvistaa olemassa olevan perusmaan kantavuutta lisäämällä tietyssä seossuhteessa sideainetta maaperään. Sekoitustyössä käytetään kaivinkoneeseen liitettävää stabilointilaitteistoa. Työn selkeyttämisen vuoksi stabilointi-

työmaa jaetaan pienempiin yksiköihin, ruutuihin joiden pinta-ala on yleensä noin 9 - 25 m².

Käytännössä massastabilointi tapahtuu käsittelemällä pehmeä runkoaines ruutu kerrallaan (Kuva 2). Sekoitus tapahtuu ruuduittain pysty- ja vaakasuunnassa, jolloin maahan syntyy sideaineen vaikutuksesta tasaisesti lujittunut homogeeninen laattamainen vyöhyke. Stabiloitujen lamellien päälle levitetään suodatinkangas, ja painopengermateriaalina toimivaa kiviainesta noin 0,5 - 1,0 metrin paksuinen kerros. Painopenkereen tarkoituksena on tiivistää osin huokoista perusmaata ja näin edesauttaa sideaineen reagointia perusmaan kanssa. Stabilointia voidaan jatkaa lähes välittömästi painopenkereen päältä keskeyttämättä stabilointityötä. Valmiina stabilointi muodostaa lujittuvan laattamaisen vyöhykkeen, jonka varaan maarakenteet voidaan perustaa (Biomaa 2011; Finnsementti 2011).



KUVA 2. Massastabiloinnin periaate (Allu Finland 2011).

2.1.2 Käyttökohteet

Massastabilointia käytetään usein maalajeissa, joiden stabiilituus on liian huono pilaristabilointia ajatellen. Näiden maalajien stabilointi edellyttää useimmiten muita kuin tavanomaisia kalkista ja sementistä koostuvia sideaineita. Massastabilointia voidaan käyttää myös heikkolaatuisten ylijäämämassojen lujittamiseen siten, että massastabiloi-

tu turve, lieju, savi tai siltti voidaan hyödyntää hankkeessa täyttömateriaalina esim. pengertäytöissä, meluvalleissa, luiskissa tai maisemointirakenteissa. Menetelmää käytetään lisäksi laajasti satamien ruoppaus sedimenttien kiinteyttämiseen (Finnsementti 2013; Liikennevirasto 2010).

Massastabilointitekniikan hyödyntäminen on mahdollista hyvin moninaisissa kohteissa. Massastabilointia käytetään tyypillisimmin teiden, katujen, työmaateiden ja rautateiden työmaiden pohjatöissä, rakenteiden kuten siltojen, teollisuusrakennusten ja erilaisten altaiden pohjatöissä sekä paalutuksen työpedeissä. Massastabilointia voidaan hyödyntää myös jokien, järvien ja teiden pengerryksissä, sekä kaapeli- ja putkilinjakaivantojen tuennassa. Myös pohjaveden ja vedenalaisten suojakerrosten rakentamisessa ja rautasuojauksissa on käytetty massastabilointia (Biomaa 2011).

Massastabilointia käytetään pilaantuneiden maiden käsittelyyn ja kiinteyttämiseen. Pilaantuneen maan paikalla käsittelyssä maa kapseloidaan sijoilleen. Vesi ei kulje kiinteytyneessä maa-aineksessa, jolloin maaperään ei irtoa liukoisuuksia. Menetelmä toimii ainakin raskasmetalleja sisältävissä maa-aineksissa. Joissakin tapauksissa massastabilointi toimii nestemäisen jätteen kovettamiseen ja neutralisoimaan myrkyllisiä jätteitä. Massastabiloinnilla voidaan parantaa teollisuuden tuottamien liejujen ja sivujätteiden ominaisuuksia, jolloin mahdollistetaan niiden kierrättäminen ja hyötykäyttö. Massastabilointia käytetään myös ruoppausmassojen ja pohjasedimenttien lujittamiseen, jolloin käsiteltävyys paranee (Biomaa 2011; Niutanen 2013).

Massastabilointia ei voida käyttää hiekkaisissa maissa tai maa-aineksessa jossa runsaasti puuta tai suurehkoa yli 200 mm kiviainesta, jota ei sieltä pystytä poistamaan. Sekoitus-työstä tulee hankalaa, kun runkoaines liiaksi jäykkenee sideaineen vaikutuksesta työn aikana. Happamiin matalan pH:n sulfidimaihin sementtipitoista sideainetta tarvitaan runsaasti, koska hapan maa-aines kuluttaa emäksisen sementin reagointitehoa, ja heikentää näin maaperän lujittumista. (Niutanen 2013).

2.2 Työmaan käytännön menettelyt

Massastabilointityömaa aloitetaan yleensä maapohjatutkimuksilla. Tutkimukset tehdään hyvissä ajoin ennen kuin itse stabilointikalusto saapuu kohteeseen. Joskus työmaa vaatii ympäristöviranomaisten lupia, lupa-asioiden selvitykset ja läpiviemiset ovat yleensä paljon aikaa vieviä menettelyjä. Luvanvaraisuus voi johtua esimerkiksi sideaineen luokittelusta jätteeksi. Pohjatutkimuksiin pohjautuen laaditaan pohjarakenne suunnitelmat ja kun massastabilointi on valittu työmenetelmäksi, aloitetaan maaperänäytteiden perusteella stabiloituvuustutkimukset laboratorioissa. Laboratorioissa laaditaan sideaineresepti [sideaine (kg)/(m³) runkoaines], jonka perusteella urakoitsija suorittaa sideaineiden sekoittamisen maaperään. Suunnitteluun kuuluu olennaisesti koestabilointi maastossa. Koestabiloinnissa testataan laboratoriotutkimuksista saadun sideainereseptin toimivuutta käytännössä maastoon.

Työmaan jako ruutuihin (Kuva 3) tapahtuu yleensä urakoitsijan toimesta. Urakoitsija suunnittelee ja nimeää ruudut parhaaksi katsomallaan tavalla. Ruutujen muotoon ja kokoon vaikuttaa työmaan olosuhteet, muoto ja sideaineiden määrät. Tärkeää on työn eteneminen ja, että se tulee laatukriteerien mukaan suoritetuksi.



KUVA 3. Työmaan jako ruutuihin (Biomaa 2013).

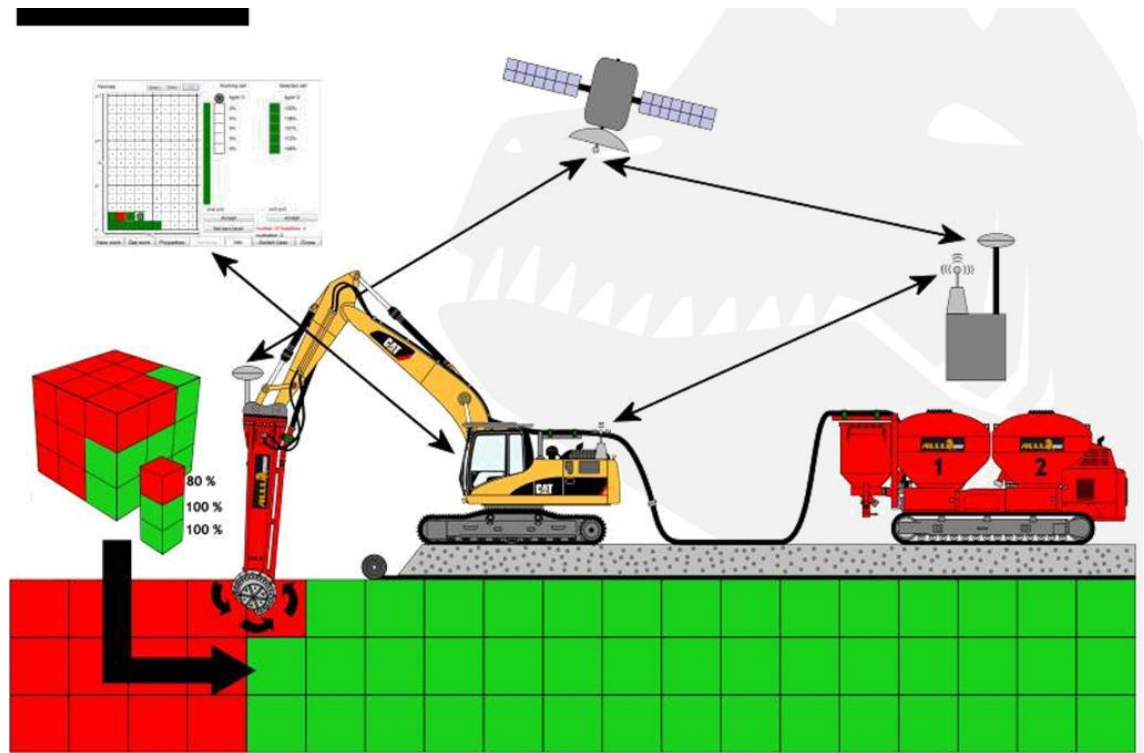
Yleensä käytetyt työvaiheet massastabiloinnissa:

- Stabiloitavan alueen paikalleen mittaus
- Puiden kaato
- Kantojen poisto ja haraus
- Työmaateiden, tukikohtien ja tankkausalueiden rakentaminen
- Stabilointiruutujen mittaus ja merkintä
- Ruutujen valmistelu
- Massastabilointi ruuduittain
- Suodatinkankaan asennus ja tiivistyskerroksen teko
- Laadunvalvonta ja raportointi
- Alueen tasaus ja valmistelu luovutuskuntoon (Biomaa 2008).

2.2.1 Mittaus ja merkkkaus

Massastabilointi toteutetaan ruuduittain. Ruudut mitataan paikalleen ja merkataan tunnuksin, jotta kuljettaja pysyy ajan tasalla tehdyistä alueista. Massastabilointi toteutetaan järjestelmällisesti, työn aikana seurataan aktiivisesti stabiloitavan kerroksen paksuutta, työn laatua ja sideaineen syöttömäärän oikeellisuutta. Mikäli havaitaan poikkeamia suunnitelmiin tai katkoksia työskentelyssä, raportoidaan ja informoidaan tästä suunnittelijaa tai valvojaa työohjeiden mukaisesti. Massastabilointityön edistymisen mukaan täytetään ruutukohtaiset stabilointitaulukot.

Kuten maanrakentamisessa yleensä myös massastabiloinnissa ollaan siirtymässä 3D-koneohjausjärjestelmään. 3D-GPS-koneohjauksella sekoitustyön seuranta helpottuu, kun kuljettaja tietää, missä kohdissa sekoituspää on käynyt, kuinka kauan on sekoitettu ja kuinka paljon sideainetta on syötetty. Tuloksena on siis tehokkaampi työskentely ja tasaisempi sekoitustulos. Koneohjausjärjestelmään tallentuvat tiedot solukohtaisesti, jolloin saadaan entistä tarkempaa tietoa työmaan toteutuksesta ja laadun dokumentoinnista. Koneohjausjärjestelmä perustuu satelliittien ja GPS- vastaanottimen yhteistoimintaan (Kuva 4). (ALLU Finland 2013).



KUVA 4. GPS- koneohjausjärjestelmä (ALLU Finland 2013).

2.2.2 Valmistelevat työt

Sekoitustyön jälkeen stabiloidun alueen pinta tasataan ja asennetaan suodatinkangas sekä tiivistyskerros paksuudeltaan 0,5 - 1,5m, riippuen kohteesta. Kohteesta riippuen käytetään yleensä N2–N4 luokan suodatinkankaita. Tiivistyskerroksen tarkoituksena on tiivistää osin huokoista perusmaata sekä poistaa ylimääräinen vesi stabiloidusta rakenteesta ja näin edesauttaa sideaineen reagointia perusmaan kanssa. Suodatinkankaan asennus ja painopenkereen teko on suoritettava noin vuorokauden sisään stabilointityön valmistumisesta. Stabiloidun ruudun päälle voidaan normaaliolosuhteissa ajaa ja jatkaa stabilointia seuraavasta ruudusta noin 2 vuorokauden kuluttua. Työn jatkuvuuden kannalta on tärkeää, että painopenger on hyvin tiivistetty. Tiivistäminen tehdään yleensä kaivinkoneella yliajamalla. Painopenkereessä käytettävän materiaalin tulisi olla hyvin vettä läpäisevää, jotta stabilointikalusto pystyy liikkumaan tiivistyskerroksen päällä ja jatkamaan stabilointityötä (Biomaa 2008).

2.2.3 Sideaineiden käsittely

Työkohteessa rakennetaan purkupaikat sementtirekkojen purkamista varten. Välivarastosiiilot sijoitetaan niin, että sideainerekkojen purkamisen käy vaivatta. Olosuhteiden salliessa voidaan varastosäiliötä siirtää lähemmäs stabiloitavaa kohdetta, jolloin saadaan lyhennettyä tankkausmatkaa.

Stabiloinnissa käytettävät kuivat sideaineet saattavat aiheuttaa pölyhaittoja. Sideaineiden välivarastot pyritään sijoittamaan mahdollisimman kauas asutuksesta. Pölyn minimoimiseksi kytketään välivarastoinnissa käytettävät säiliöt sarjaan, jolloin sideaineen siirrossa käytettävä paineilma kulkee tasaisesti säiliöiden läpi. Ilman poistoputkeen asennetaan lisäksi suodattimet, jotka vaihdetaan tarpeeksi usein. Käytettävillä työtavoilla pyritään minimoimaan pölyäminen (Biomaa 2008).

2.3 Tutkimukset ja laadunvarmistus

Sideaineen sekoittuvuuden ja stabiloituvuuden huomioiminen runkomaalajiin tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, sillä stabiloinnin sekoituksen tulisi olla mahdollisimman homogeeninen. Runkoaineeseen voidaan levittää lisäksi hiekkaa homogeenisen sekoittumisen ja stabilointituloksen parantamiseksi (Allu Finland 2007). Sideaineen soveltuvuus testataan koestabiloinnein ja laboratoriokokein (Kuva 5), jossa käytetään rakennuspaikalta otettuja maanäytteitä (Nordkalk). Ennakkokokeet stabilointiaineiden teknisen käyttökelpoisuuden ja ympäristöturvallisuuden selvittämiseksi aloitetaan riittävän ajoissa, jotta muun muassa käytettävän aineen avulla saavutettavasta käsittelytehosesta ja vaikutusnopeudesta saadaan mahdollisimman luotettava kuva. Kokeiden tulokset ja havainnot dokumentoidaan (Infra RYL 2013).



KUVA 5. Sideaineen stabiloituvuus testataan laboratorionkokein (Allu Finland 2007).

2.3.1 Pohjatutkimukset

Massastabiloinnin ennalta tehtäviin tutkimuksiin kuuluu kairaukset ja laboratoriotutkimukset. Pohjatutkimukset suoritetaan kairauksilla, jolla saadaan tietoa maakerrosten syvyyksistä ja laadusta. Kairauksilla selvitetään maakerrosten indeksiominaisuudet, vesipitoisuus, hienousluku ja humuspitoisuus. Massastabilointimenetelmälle on tyypillistä, että sitä käytetään humuspitoisissa maalajeissa, jolloin humuksen määrä ja sen vaihtelut vaikuttavat huomattavasti stabiloituvuuteen ja sideaineen tarpeeseen. Tarpeen mukaan voidaan selvittää maanrakeisuus ja pH, SO₄ tai Cl. Maakerrosten lujuusominaisuudet selvitetään yleensä siipikairauksin ja painumaominaisuudet yleensä ödometrikokein (Liikennevirasto 2010; Ramboll 2012; Tiehallinto 2001).

2.3.2 Laboratoriotutkimukset

Laboratoriotutkimuksissa tutkitaan sideaineiden stabiloituvuutta maa-ainekseen. Seoksen lujittumista testataan laboratoriossa tehtävällä puristuskokeella (Kuva 6). Koekappaleita tutkitaan yleensä 28 vrk:n, 60 vrk:n ja 90 vrk:n ikäisinä, jotta saadaan riittävästi tietoa myös pitkäaikaislujuuttamisesta. Monesti stabilointiurakoissa käytetään ajanpuutteen johtuen mitoitusarvona 28 vrk:n tutkimuksissa saatavia testausarvoja. Tällöin joudutaan usein käyttämään riittävän kantavuuden varmistamiseksi varmuuskertoimia (Tiehallinto 2001).



KUVA 6. Yksiakiaalinen puristuskoee (Nordkalk).

2.3.3 Koestabiloinnit

Koestabiloinnilla testataan laboratoriosta saatua reseptiä käytännössä maastoon, jonka jälkeen voidaan esimerkiksi kairauksilla todentaa stabilointikohteen todelliset kantavuusominaisuudet eri sideainemäärillä. Koestabiloinnin tuloksilla saadaan tietoa tarvitaanko sideainemääriin mahdollisesti muutoksia. Koestabiloinnilla saadaan tarkempi lujittumisaika, jonka perusteella työmaan suunnittelu on varmempi toteuttaa. Joskus pienemmissä kohteissa suunnitelmat laaditaan saman geologisen muodostuman aikaisempien stabilointikokemusten perusteella, jolloin ei välttämättä suoriteta erillistä koestabilointia (Tiehallinto 2001).

2.3.4 Suunnittelu

Massasyvästabiloinnissa usein stabiloidaan erityyppisiä päällekkäisiä maakerroksia keskenään. Esimerkiksi savikerroksen päällä oleva turve sekoitetaan alapuolisen savi-, siltti- tai hiekkakerroksen tai kerroksen yläosan kanssa taikka yläpuolisen hiekkakerroksen kanssa, jolloin turpeen sekaan saadaan mineraalista maa-ainesta parantamaan tur-

peen stabiloitavuutta. Näin ollen massasyvästabilointia varten tehtävissä stabiloitavuuskokeissa on usein mielekästä sekoittaa päällekkäisiä maakerroksia stabiloitavuuskokeiden runkoaineeksi. Turpeen tai liejun stabiloituvuutta on myös mahdollista tehostaa sekoittamalla stabiloitavan kerroksen pinnalle levitetty hiekka tai kivituhka stabiloitavaan maakerrokseen. Tarpeellisuus todetaan yleensä laboratoriotutkimusten perusteella tehdyissä suunnitelmissa (Liikennevirasto 2010).

Vaativissa olosuhteissa jo 5 m syvyisen massasyvästabiloinnin alaosan sideainejakauma saattaa olla hyvin epätasalaatuinen. Massasyvästabiloinnin suunnittelusyvyys on syytä tarkistaa tapauskohtaisesti ja harkiten syvästabilointiurakoitsijoilta kysyen jo suunnitteluvaiheessa, mikäli suunnittelijalla ei ole riittävästi tuoretta kokemusta toteutetusta massasyvästabiloinnista vastaavissa olosuhteissa. Esimerkiksi runsaasti vettä sisältävässä savessa sekoittaminen on helpompaa ja sideaine leviää paremmin, kuin kuivassa savessa. Toisaalta suuren vesipitoisuuden savissa lujuuden kehitys on hitaampaa, koska maakeiden väliset etäisyydet ovat pidempiä, kuin kuivemmilla savilla. Pitkällä aikavälillä runsaasti vettä sisältävät savet voivat saavuttaa parempia lujuuksia kuin kuivemmat savet. Syvemmälle tehtävä massasyvästabilointi voidaan luonnollisesti tehdä käyttäen pilaristabilointilaitteistoa ja toisiaan leikkaavia pilareita (Liikennevirasto 2010; Nordkalk).

2.3.5 Työnaikana tehtävät havainnot

Työnaikana tapahtuvaa tutkimusta tehdään lähinnä urakoitsijan tekemiin havaintoihin perustuen. Urakoitsija tekee lähinnä näköhavaintoja mahdollisista muutoksista runkoaineen laadussa. Havaintoja voivat olla muutokset runkoaineen vesipitoisuudessa tai orgaanisen aineksen määrässä. Lisäksi havainnoidaan jo stabiloidun massan käyttäytymistä stabilointikaluston liikkeessa päällä.

Yleensä suunniteltuja sideaineiden määriä ja lujittumisaikoja säädellään työmaan edessä. Sideaineen, paitsi CE-merkityn sementin tai muiden tuotteistettujen sideaineiden laatua tarkkaillaan ottamalla sideainenäytteet, paitsi työn alussa myös säännöllisin väliajoin työn aikana. Ennakkokokeiden yhteydessä pyritään myös aina selvittämään käytettävän aineen ja käsittelytekniikan soveltuvuusalueen rajat siltä varalta, että rakennus-

paikan pohjasuhteet poikkeavat ennakkokokeiden aikana oletetuista olosuhteista (Infra RYL 2013).

2.3.6 Laadunvalvontakairaukset

Stabiloiduille ruuduille tehdään laadunvalvontakairauksia (Kuva 7) yleensä puristin- ja puristinheijarikairalla. Kairaukset toteutetaan joko urakoisijan tai tilaajan toimesta. Kairaukset suoritetaan suunnitelmien mukaan 28 vuorokauden iässä, joskus myös pidempi-ikäisinä. Koestabilointien yhteydessä kairauksia otetaan työtekniikan tukemiseksi myös aikaisemmin 14 - 15 vuorokauden iässä, jotta tiedetään kestäkö työpenger koneiden painon. Massasyvästabiloidulle massalle on tyypillistä epähomogeenisuus. Laadunvarmistamiseksi kairauksia on tehtävä riittävästi myös stabilointiblokkien limitysalueilta. Koestabiloinnilla tavoiteleikkauslujuutta ja sideainemääriä määritettäessä tulisi tehdä noin 8 - 10 kpl edustavia kairauksia sideaineyhdistelmää (laatu + määrä) kohden. Massasyvästabiloinnin leikkauslujuustavoite vaihtelee yleensä välillä 30...70 kPa, ollen harvemmin yli 100 kPa (Liikennevirasto 2010).



KUVA 7. Laadunvalvontakairaus aloitetaan stabiloinnin yläpinnasta.

2.3.7 Urakoitsijan laadunvarmistus

Urakoitsijan urakkasuoritukseen kuuluvan laadunvarmentamiseksi stabilointiurakoitsija ylläpitää ruutu-/lamellikohtaista stabilointipöytäkirjaa, josta on todettavissa ruutukohtaisesti stabiloidut kuutiot sekä käytetty sideainemäärä. Urakoitsija toimittaa tilaajalle lopputodokumentaation yhteydessä tai laskutuskatkon yhteydessä määrä- sekä laatuvalvontatiedot työmaalle toimitetusta sideaineesta sekä mahdollisesti suodatinkankaasta ja painopenger materiaalista (Biomaa 2008).

Massastabiloinnissa stabilointikoneenkuljettajalla on suuri osuus laadunvalvontaa tehtävässä. Havainnoinnin lisäksi kuljettaja ylläpitää ALLU tiedonkeruuyksikön ruutukohtaisia stabilointitietoja, jotka hän luovuttaa työnjohdolle. Koneenkuljettaja allekirjoittaa stabilointitiedot oikeiksi, jolloin hän ikään kuin ottaa vastuun tekemästään työstä. Stabilointitiedot siirretään stabilointipöytäkirjaan, johon kerätään tiedot kaikista stabiloiduista ruuduista.

Stabilointikortista selviävät seuraavat asiat:

- Ruudun numero, tunnus ja koko kuutioina (syvyys*pinta-ala)
- Syötetyn sideaineen määrä kilogrammoina per ruutu
- Mahdolliset katkokset ja häiriöt sideaineen syötössä
- Käytetyn sideaineen laatu
- Runkoaineeseen liittyvät havainnot, mahdolliset muut havainnot
- Stabiloinnin tekopäivä, kellonaika
- Kuljettajan nimi ja allekirjoitus (Biomaa 2008).

Sekoitustyön homogeenisuus, käytetyn sideaineen leviäminen koko ruudun alueelle varmistetaan sekoitustyön yhteydessä kuljettajan toimesta. Stabilointityön yhteydessä kuljettaja hakee jo stabiloiduista ruuduista kovan reunan ja varmistaa tällä, että stabiloidulle kentälle ei jää heikkousvyöhykkeitä ruutujen väliin. Reuna-alueilla, stabiloitavan alueen ja stabiloimattoman maaperän raja-alueilla kuljettaja pyrkii etsimään kantavan maaperän reunan mahdollisimman tarkasti. Kantavan reunan hahmottamiseen kuljettaja käyttää hyväksi sekoitusrummun pyörimisvastusta. Massanjäykkyyden muutos on yleensä selvästi havaittavissa (Biomaa 2008).

2.4 Kalusto

Massastabiloinnissa käytettävät laitteet on erityisesti massastabilointiin suunniteltuja (Kuva 8). ALLUn valmistama massastabilointikalusto koostuu kolmesta laitteesta: painesyötin, sekoitinyksikkö sekä ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmä. Kaivinkoneena käytetään noin 30 - 40 tonnin koneita. Toisilla työmailla tarvitaan koneelta ulottuvuutta ja voimaa ja toisaalla taas mahdollisimman kevyttä konetta. Leveillä teloilla saadaan lievennettyä koneen painumista. Massastabilointikohteissa sideaineiden väliaikaisvarastointiin tarvitaan yleensä sideainesäiliötä, joiden täyttäminen ja purkaminen on mahdollista paineilmaa käyttäen. Sideainevarastointi tapahtuu yleensä säiliöperävaunuihin, joista sideaineet siirretään painesyöttimeen, täyttäminen tapahtuu ilmanpaineella. Painesyöttimen täyttäminen voi tapahtua myös suoraan sideainetoimittajan autosta, mikäli asia on käytännössä mahdollista. Painesyötin puhalttaa sideaineen (5 - 7 bar) paineella kaivinkoneeseen kytkettyyn sekoittajaan, joka sekoittaa sideaineen mahdollisimman tasaisesti jopa 7 metrin syvyyteen. Matkaa painesyöttimen ja kaivinkoneen välillä saattaa olla joskus 150 - 200 metriä, joten sideaineen on oltava hyvä juoksevuus tukosten välttämiseksi.



KUVA 8. Stabilointikalusto (Biomaa 2011).

2.4.1 Painesyöttimet

Painesyöttimiä on erilaisia, on tela-alustaisia, sekä puoliperävaunun päälle rakennettuja. Painesyöttimet ovat datayhteydessä stabilointikoneeseen, jotta kuljettaja voi halutessaan säätää ja pysäyttää syötön. Kaivinkoneessa olevasta ohjainyksiköstä kuljettaja näkee syötetyn sideaineen määrän ja paineet sekä muut olennaiset asiat. Kaikki tietoliikenne tallentuu koneelle, josta kuljettaja purkaa tiedot muistitikulle. Tiedot antavat kattavan raportin työmaalla tehdyistä ruuduista ja sideainemääristä. Sideainetankit on varustettu vaa'alla ja mittareilla, jotka kertovat syötetyn sideaineen määrän. Työmaan käytännön esimerkkinä käytetyssä Rauman työmaalla käytettiin ALLU Finlandin valmistamia painesyöttimiä.

ALLU PF painesyötin on omalla moottorilla varustettu tela-alustainen yksikkö. Paineysyksikkö liikkuu teloilla ja sen ohjaaminen tapahtuu kaukosäätöisellä ohjauspaneelilla. Kätevän liikuttelun ansiosta sideainetarvostoinnin ei tarvitse sijaita kaivinkoneyksikön välittömässä läheisyydessä, joka mahdollistaa työmaan muuttuvuuden pienin toimenpitein. Toisaalta pitkänmatkan liikuttelu on hidasta, jolloin sujuvuuden kannalta työmaalla olisi hyvä olla kaksi erillistä yksikköä. Teloilla liikkuva PF kulkee vaikeassakin maastossa, joten erityisiä työmaateitä ei vaadita. ALLU PF painesyöttimiä on, sekä yhdellä että kahdella tankilla varustettuna (Allu Finland 2013).

ALLU PFM painesyötin on rakennettu puoliperävaununtrailerin päälle, joka mahdollistaa syöttimen helpon siirron työmaalta toiselle ilman erikoisjärjestelyjä. Kuorma-autolla vedettävä perävaunu on myös kätevä liikutella suuremmilla työmailla. Toisaalta painava perävaunu vaatii kohtuulliset työmaatiet liikutteluun. ALLU PFM painesyötin on varustettu omalla moottorilla, generaattorilla ja ilmanpainekompressorilla sekä kahdella 10 m³ sideainetankilla. ALLU PFM:llä sideaineet voidaan syöttää jopa 200 metrin päässä olevalle stabilointikoneelle (Allu Finland 2013).

2.4.2 Sekoittajat

Stabiloinnissa käytettävä sekoittaja eli maamyyrä (Kuva 9) kytketään kaivinkoneeseen pikaliittimellä kuin mikä tahansa lisälaitte. Lisäksi kaivinkoneeseen asennetaan ohjausyksikkö lisälaitteineen sekä syötinletku, jota pitkin sideaineet kulkevat sekoittajan kär-

keen. Sekoittimen kärjessä on kaksi rumpua, jotka pyöriessään sekoittavat maata. Ohjausyksikkö kertoo nopeuden jolla rummut pyörivät ja näin kuljettaja kykenee arvioimaan maan jäykkyyttä. Hydraulikkamoottorit on koteloitu vesitiiviisti sekoittajan sisälle. Sideaineet kulkevat putkessa rumpujen väliin ja rummut pyörivällä liikkeellä vatkaa ne maa-ainekseen. ALLU valmistaa myyriä kolmella eri pituudella 3, 5 ja 7 metrisenä (Biomaa 2008).



KUVA 9. 7m sekoitin eli maamyyrä.

2.5 Sideaineet

Sideaine sisältää yhtä tai useampaa stabiloivaa ainetta. Yleisimmät sideaineen komponentit ovat sementti ja kalkki, mutta myös muita stabiloivia aineita kuten kipsiä käytetään. Teollisuuden sivutuotteista on käytetty muun muassa jauhettua masuunikuonaa ja lentotuhkaa. Sideainetta voidaan kutsua seossideaineeksi, kun se sisältää useampaa kuin yhtä stabiloivaa ainetta (Liikennevirasto 2010).

Stabiloidun maa-aineksen ominaisuudet kuten lujuus ja vedenläpäisevyys vaihtelevat huomattavasti käytetystä sideaineesta ja sen määrästä riippuen. Toisille maalajeille tietyt sideaineet sopivat paremmin kuin toiset (Allu Finland 2007). Stabilointi voidaan toteuttaa käyttämällä ainoastaan yhtä sideainetta kuten Yleissementti tai käyttämällä erilaisia sideaineseoksia (Biomaa 2011).

Sideaineet voidaan sekoittaa runkoaineeseen märkämenetelmällä tai kuivana jauheena (Allu Finland 2007). Sideaineelta vaaditaan hyviä juoksevuusominaisuuksia, sillä sideaineet sekoitetaan runkoaineeseen paineilmaa käyttäen (Infra RYL 2013). Sideaineiden kuivana säilömiseen työmaalla tulee kiinnittää huomiota. Säilömistä tulee tapahtua suljetuissa oloissa, jotta ilmankosteus ja sadevedet eivät pääse kostuttamaan sideainetta.

2.5.1 Sideaineen ympäristövaikutukset

Ennalta tutkimattomien ja jätteiksi luokiteltavien sideaineiden käyttöön tarvitaan ympäristölupa tai ilmoitusmenettely. Käytettävät stabilointiaineet eivät saa sellaisenaan, tai keskenään tai maaperässä olevien aineiden kanssa reagoidessaan aiheuttaa rakennuspaikalla tai sen ympäristössä pohjaveden tai maapohjan pilaantumista. Stabilointiaineiden ja niiden komponenttien myrkyttömyys ja kemiallinen koostumus varmistetaan ennen niiden käyttöönottamista. Kaikkien sideaineissa käytettyjen aineiden koostumus ilmoitetaan. Seossideaineesta ilmoitetaan ympäristön kannalta merkittävien kemiallisten aineiden määrät (Infra RYL 2013).

2.5.2 Sementti

Sementti on lujuuden kannalta yksi tehokkaimmista sideaineista stabiloinnissa. Massastabiloinnissa sementtiä käytetään usein ainoana sideaineena (Infra RYL 2013). Sementti on hydraulinen aine, eli se kykenee reagoimaan yhdessä veden kanssa. Maa-aineksessa sementti ”liimaa” maapartikkelit toisiinsa. Sementin huonoon reagointiin vaikuttaa esimerkiksi maan suuri humuspitoisuus (Nordkalk). Tavallinen sementti on standardin SFS-EN 197-1 mukaista CE-merkittyä ja siitä Suomessa annettujen viranomais määräysten mukaista sementtiä (Infra RYL 2013).

Yleisimmin stabiloinnissa käytetty sementtilaatu on Plussementti. Plussementti on normaalisti kovettuvaa sementtiä, joka vastaa teknisiltä ominaisuuksiltaan hyvin paljon Yleissementtiä. Plussementissä on seosaineina granuulikuonaa ja kalkkikiveä yhteensä noin 30%, mikä tekee siitä ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon (Finnsementti 2013).

2.5.3 Kalkki

Stabiloinnin sideaineena käytettävä kalkki on poltettua sammuttamaton kalkkia CaO. Sideaineena käytettävän kalkin on oltava hienojakoista. Massastabiloinnissa kalkki ei ole niin suosittu sideaine kuin pilaristabilointi kohteissa. Kalkki diffuntoituu saven kanssa, jolloin maaperän sekoitustulos parantuu ja savi tasalaatuistuu. Kalkkipitoisilla sideaineilla on kyky jatkaa lujittumista usean vuoden ajan (Nordkalk).

Työ- ja laatusuunnitelmassa kalkin oletetaan olevan 100-prosenttisesti aktiivista CaO:ta, mikä otetaan huomioon suhteutuksessa. Toimitetussa kalkissa aktiivinen CaO:n määrä on kuitenkin yleensä noin 75 % (Infra RYL 2013).

2.5.4 Masuunikuona ja kipsi

Masuunikuona on piilevästi hydraulinen aine, joten sillä on samantyyppisiä ominaisuuksia lujittua kuin sementillä (Nordkalk). Sementin määrää on voitu vähentää merkittävästi lisäämällä sideaineseokseen lentotuhkaa ja masuunikuonaa sementtiä korvaamaan. Näin on toimittu esimerkiksi EU:n tukemassa Life-pilottihankkeessa Turussa (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

Kipsiä käytetään yleensä kalkkipohjaisissa sideaineseoksissa yhtenä komponenttina. Käytettävä kipsi on fosfokipsiä ja sillä saadaan alennettua kaupallisten sideaineiden määriä. Fosfokipsillä voidaan parantaa useissa tapauksissa rakenteen pitkäaikaislujuuttamista (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

3 TUHKA

Tuhkia muodostuu suomalaisten polttolaitosten sivutuotteena noin 1,5 miljoonaa tonnia vuosittain. Tuhkat luokitellaan pohjatuhkiin ja lentotuhkiin keräyspaikasta riippuen. Polttoprosessin savukaasuista erotettavaa tuhka-ainetta kutsutaan lentotuhkaksi. Pohjatuhkaksi kutsutaan puolestaan tuhkaa joka jää polttokattilan pohjalle. Lisäksi tuhkat määritellään polttoprosessissa käytettävän polttoaineen mukaan. Polttoaine koostumuksen mukaan tuhkat luokitellaan kivihiilen polton-, seospolton- sekä rinnakkaispolton tuhkiin. Tuhkan laatuluokitteluun vaikuttaa siis polttoainekoostumus, polttoprosessointi sekä tuhkanerotustekniikka (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

3.1 Polttotekniikat

Polttotekniikka joista yleisimmät ovat arina- ja leijupolttotekniikka vaikuttaa suuresti siihen kuinka paljon lentotuhkaa syntyy. Käyttämällä leijukerrospolttotekniikkaa saadaan lähes kaikki tuhka otettua talteen lentotuhkana, ja pohjatuhkaosuus jää hyvin vähäiseksi. Toisaalta tässä tekniikassa käytetään luonnonhiekkaa polttoprosessin tukena, ja palamattomana materiaalina se kaikki poistetaan pohjatuhkan lisänä. Arinapoltoissa puolestaan pohjatuhkan osuus näyttelee huomattavasti suurempaa osaa suhteessa lentotuhkaan (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

TAULUKKO 1. Polttoprosessin vaikutus tuhkan muodostumiseen (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

	Leijukerrosoltto	Arinapoltto
Lentotuhkan osuus	80–100 %	5–40 %
Pohjatuhkan osuus	0–20 %	60–95 %
Eriyistä	-rikinpoistoprosessi -mahdollista polttaa hyvin erilaisia polttoaineita -pohjatuhkassa leijukerrosmateriaalia eli luonnonhiekkaa -syötetään mahdollisesti kalkkia	-hehikutushäviö usein keskimääräistä suurempi

3.2 Tuhkan käyttö maanrakentamisessa

Tuhkan käyttäminen rakennusmateriaalina ei ole aivan yksioikoista. Lainsäädäntö luokittelee tuhkat lähtökohtaisesti jätteeksi, ja niiden käyttäminen maanrakentamisessa vaatii joko ilmoitusmenettelyn tai ympäristöluvan. Tuhkan hyötykäyttämistä säännellään jätelaissa (646/2011) ja ympäristönsuojelulaissa (86/2000 ja 647/2011) sekä niiden alaisissa asetuksissa ja säädöksissä (VTT 1998).

Ympäristökelpoisuuden osoittaminen kuuluu osaksi tuhkan käyttämistä maanrakentamisessa. Ympäristökelpoisuuden osoittamiseksi tutkitaan tuhkan haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia. Tuhkaa voidaan käyttää maanrakentamiseen ilmoitusmenettelyn kautta, kun tuhka alittaa niin sanotun MARA-asetuksen (VNa 403/2009) raja-arvot. Raja-arvot ylittävissä tapauksissa käyttäminen vaatii ympäristölupamenettelyn. Lentotuhkan ympäristökelpoisuutta on mahdollista parantaa esimerkiksi stabiloinnilla tai seostamisella. Tuhkan jalostaminen side- tai seosaineilla heikentää tiettyjen haitta-aineiden liukoisuuksia (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

Tuhkan käytön ympäristöluvista päättävät aluehallintovirastot (AVI) sekä kuntien ympäristölupaviranomaiset. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskus) pitävät yllä niin sanottua MARA-ilmoitusten rekisteröintiä (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

3.2.1 Tuhkan tuotteistus

EY-säädösten mukaan on olemassa tuotteita tai jätteitä. Tuotteistamisella tarkoitetaan prosessia jossa jäte muutetaan tuotteeksi, eli jäte pyritään saamaan jätelainsäädännön ulkopuolelle. Tuhkan käyttäminen ei tee siitä vielä virallisesti tuotetta. Lainsäädännön mukaan tuotteella täytyy olla tuotenimi ja tuoteseloste. Tuoteseloste sisältää käyttöohjeen, käyttökohteet ja tietyt olennaiset tuoteominaisuudet. Tuottajalta vaaditaan laadunvalvontaa, jolla näytetään toteen tuotteen pysyminen tuotekriteerien piirissä (VTT 1998). Tuotteistamisella tuhka pyritään saamaan jätelainsäädännön ulkopuolelle. Tuhkan tuotteistamiselle ei ole kuitenkaan vielä olemassa olevaa sovellusta, jolla tuhkasta saataisiin tuotteistettu rakennusmateriaali CE-merkintöineen. On kuitenkin todennäköis-

tä, että tuhkaa tullaan tulevaisuudessa näkemään sekä tuotteistettuna kuin jätteenä luokiteltuna (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

Tuotteistaminen maanrakentamisen tuotteeksi vaatii tuhkan teknisten ominaisuuksien selvittämistä. Tekniset ominaisuudet riippuvat paljon polttoaineseoksen koostumuksesta ja polttoprosessista, joten tuhkissa voi olla suuriakin eroja riippuen siitä missä polttolaitoksessa ne ovat syntyneet. Myös polttoainekoostumus saattaa vaihdella merkittävästi vuodenaikojen mukaan, joten yksittäisen polttolaitoksen tuottamissa tuhkissa saattaa olla suuriakin eroja. Teknisten ominaisuuksien selvittämisellä pyritään ottamaan selvää maanrakentamisen käytön kannalta tärkeimmät ominaisuudet kuten optimivesipitoisuus ja routivuus. Tuotteistetuista tuhista tulee selvittää myös ympäristökelpoisuus. Tuote tuhkat eivät vaadi enää erillistä ympäristölupaa tai ilmoitusmenettelyä (Tuhkarakentamisen käsikirja).

3.3 Lentotuhka sideaineena

Erilaisten stabilointimenetelmien sideaineeksi lentotuhka soveltuu parhaimmillaan hyvin, asia on kuitenkin testattava tapauskohtaisesti. Käytettävän lentotuhkan tulisi olla lujittuvaa ja sen tulisi olla kuivana varastoitua. Soveltuminen tulisi testata laboratoriossa tehtävillä kokeilla, jossa lentotuhkaa sekoitetaan muihin seosmateriaaleihin. Lentotuhkaa käytetään usein sementtipohjaisissa sideaineseoksissa, sekä korvaamassa kaupallisia sideaineita (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

Stabiloinnin sideaineet syötetään paineilmalla stabiloitavaan massaan. Puhaltamalla sideaineet kulkevat ahtaissa letkuissa ja putkissa pitkiäkin matkoja. Lentotuhkan tulisi olla hyvin juoksevaa, jotta syöttö pysyisi mahdollisimman tasaisena. Sakkautumisen ja tukosten välttämiseksi lentotuhkan tulisi olla kuivaa ja puhdasta kokkareista sekä roskista. Voimalaitoksella tapahtuva välivarastointi tulisi tapahtua oloissa, joissa ilmankosteus ja kondeesion vaikutus ei pääse kosteuttamaan tuhkaa, myös kapillaarinen nousu on estettävä. Stabiloinnissa käytetään paineenkestävää erikoiskalustoa, jolla syöttäminen saadaan toteutettua kuivana. Sementin ja kalkin kuljetuksessa käytettävät ajoneuvot on yleensä varustettu siten, että ne puhaltavat ilmaa säiliön läpi jolloin ilmasta poistuu kosteutta myös kuljetuksen aikana. Lentotuhkan käytöstä on saatu huonoja kokemuksia,

kun työmaalle on toimitettu kuumaa tuhkaa suoraan poltosta ja se ei ole kulkenut paine-letkuissa (Niutanen 2013).

Lentotuhkaa käytetään usein sideaineseoksissa yhdessä muiden sideaineiden kuten sementin kanssa. Jokaiseen stabilointikohteeseen tehdään yksilöity stabiloituvuuskoee. Koe tulee tehdä hyvissä ajoin, jotta saadaan mahdollisimman realistinen kuva lujuuden kehityksestä (Liikennevirasto 2010). Kokeiden avulla määritetään kohteeseen sopiva sideaineresepti. Lentotuhkan sideaineosuus vaihtelee yleensä noin 100 - 200 kg/m³ välillä (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012).

4 SAMPAANLANLAHDEN TÄYTTÖTYÖMAA

Pohjolan Voiman ja Rauman Energian omistama Rauman Biovoima Oy rakennutti yhdessä UPM:n Rauman tehtaan kanssa uutta polttoainekenttää täyttämällä UPM:n ja Metsä Fibren teollisuusalueen keskellä sijaitsevaa käyttämätöntä Sampaanalanlahden vesialuetta. Lahden pohja on runsaasti orgaanista ainetta sisältävää pehmeää liejua, ja kentän täyttö vaatii massiivista pohjan vahvistusta. Kentän täytössä hyödynnettiin maksimaalisesti teollisuusalueella syntyviä jäte- ja sivutuotevirtoja, kuten meesaa, kaoliinisavea ja erilaisia tuhkejakeita. Kaikki runkoaineen rikastamiseen käytettävät massat tulivat viereisiltä metsäalan yhtiöiltä. Painopenkereet tehtiin täysin pelkkää kasatuhkaa käyttäen ja suodatinkangas korvattiin suurelta osin paperikoneen ylijäämäviiralla (Kuva 10). Kohde palkittiin vuoden 2013 GeoTeko- tunnustuspalkinnolla (Pohjolan Voima 2013).



KUVA 10. Suodatinkangas korvattu paperikoneen viiralla.

4.1 Työmaan laajuus

Pohjanvahvistustekniikkana käytettiin massastabilointia, jossa sementin lisäksi toisena sideaineena käytettiin Rauman Biovoiman tuottamaa kuivaa lentotuhkaa. Lentotuhka tuotettiin tehtaalla Rauman Biovoiman polttolaitoksessa, jossa lentotuhkaa syntyy vuosittain noin 23 000 tonnia. Stabilointi toteutettiin suunnitelmien mukaan seitsemän ja viiden metrin syvyyteen. Urakka suoritettiin kahdessa vaiheessa, joista pääurakan osuus oli noin 110 000 kuutiometriä. Kaikkiaan stabiloitiin yhteensä noin 145 000 kuutiometriä. Stabiloitavan alueen pinta-ala oli noin 2,5 ha (Kuva 11). Työt aloitettiin joulukuussa 2012 ja urakan stabilointiosuus valmistui lokakuussa 2013, välissä pidettiin taukoa noin kahden kuukauden ajan. Pohjarakenteen lujuusvaatimus on 50 kPa, joka on saavutettu työmaalla kauttaaltaan.



KUVA 11. Urakan laajuus oli noin 2,5 ha.

Projektin nimi on SaKe-projekti Sampaanalanlahden täyttö, allas A ja kohteen rakennuttaja on Rauman Biovoima Oy sekä UPM-Kymmene Oyj Rauma. Geoteknisestä suunnittelusta on vastannut Ramboll Finland Oy ja urakoitsijana on toiminut Lemminkäinen Infra Oy. Työ toteutettiin yksikköhintaurakkana, joka on hyvin yleistä massastabilointiurakoissa (Suomen geoteknillinen yhdistys 2013).

4.2 Tutkimukset

Tutkimukset toteutettiin perinteisen massastabilointityömaan malliin. Eli suunnittelija laati pohjanäytteiden perusteella laboratoriotutkimukset. Laboratoriotutkimusten pohjalta toteutettiin koestabiloinnit, joilla tutkittiin sideainereseptin toimivuutta ja tehtiin suunnitelmat toteutukselle. Urakoitsijan toimesta työmaalla suoritettiin laadunvarmistuskairauksia.

4.2.1 Laboratoriotutkimukset

Suunnittelija teki laboratoriotutkimukset maaperänäytteiden ja tunnettujen ylijäämämassojen perusteella. Laboratoriotutkimukset tehtiin Rambollin Geo- ja materiaaliteknikan laboratoriossa Luopioisissa. Tutkimuksissa testattiin Plussementin, Rauman Voiman lento- ja kasatuhkan, Yaran kostean kasakipsin ja Metsä Fibren meesan seoksen lujittumisaikoja.

Laboratoriotutkimuksissa pääosin tutkitut seokset perustuvat olettamukseen, että stabiloitava runkomateriaali on seos 1:1:1 (tilavuus), joka koostuu altaaseen lisättävästä savesta, kuitupitoisesta pintalietteestä sekä syvemmällä altaassa esiintyvistä savesta. Tähän seokseen lisätään stabilointityön yhteydessä vielä kasatuhkaa siten, että edellä mainitun, noin 4,3 - 4,4 m paksuisen, esisekoitetun runkomateriaaliseoksen päälle levitetään noin 0,7 m kasatuhkaa, ja sen jälkeen suoritetaan varsinainen stabilointityö 5 m:n paksuisena (Ramboll 2012).

4.2.2 Koestabilointi

Koestabiloinnit toteutettiin urakoitsijan kalustolla Raumalla joulukuussa 2012, niissä olivat mukana suunnittelijan, tilaajan ja urakoitsijan edustajat. Koestabiloinneilla haluttiin testata käytettävä työttekniikka ja sekoitusmäärä, sekä selvittää sekä sideaineseoksen että määrän toimivuus ja myös todellisissa työmaa käyttöolosuhteissa toteutuva lujuuskehitys. Koestabiloinnissa käytetyt sideaineyhdistelmät on pyritty valitsemaan siten, että niitä käyttäen saatavia tuloksia voidaan mahdollisimman hyvin vertailla laboratoriotuloksiin, mutta samalla on myös pyritty siihen, että koestabiloinnin yhteydessä pysty-

tään määrittelemään varmasti toimiva sideaineseos. Koestabiloinneissa käytetyt sideainemäärät on esitettyä koestabilointisuunnitelmassa (Liite 1) (Ramboll 2012).

Koestabiloinneissa stabiloitiin $8 \times 125 \text{ m}^3$:n blokkia. Yhden blokin koko oli tuotannossa yleisesti käytössä ollut $5 \times 5 \times 5$ metriä. Stabiloinnissa testattiin erilaisten sideaineseoksien toimivuutta eri tavoilla rikastettuun runkoaineeseen. Koestabiloinneissa tuli huomioida olosuhteiden muutokset, sillä koestabilointiruudut sijaitsivat työmaan reuna-alueilla. Oli todennäköistä, että työmaan keskialueella tulitaisiin kohtaamaan huomattavasti haastavampia ja vetelämpiä alueita. Lisäksi stabilointia voitiin testata vain 5 metrin syvyyteen, kun työmaalla suuri osa ruuduista tultiin toteuttamaan 7 metriin.

Koestabilointiruutuja tutkittiin kevyellä siipikairalla alkulujittumisen selvittämiseksi. Kairaukset toteutettiin 1, 3 - 5, 6 - 7 ja 14 vrk:n lujittumisajan jälkeen. Pitkäaikaislujittumista tutkittiin pilarikairauksilla 28 vrk:n iässä. Kairauksia tehtiin myöhemmin työmaan edessä myös pidemmällä lujittumisajoilla.

4.2.3 Suunnitelmat

Koestabilointien ja laboratoriotutkimusten perusteella päädyttiin työmaa aloittamaan niin, että sementti-tuhkaseos oli luokkaa $125/150 \text{ kg/m}^3$. Koestabilointiruutujen sijainti antoi todellisuutta positiivisemmän kuvan runkoaineen jäykkyydestä ja sideaineiden toimivuudesta, joten reseptin- ja runkoaineenrikastusmuutoksiin oli varaa työmaan edessä. Kaikki reseptiin tehdyt muutokset käsiteltiin yhdessä tilaajan edustajien kanssa jokaviikkoisissa työmaakokouksissa.

Työn aikana urakoitsijan tuli tarkkailla lähinnä silmämääräisesti runkoaineen vesipitoisuutta ja orgaanisenmassan muutoksia sekä työpenkereen elämistä stabilointikaluston liikkeessa sen päällä. Oman huolenaiheensa aiheutti lahden päädyssä sijaitseva sellukuljetin. Jo stabiloidun laatan huomattava painuminen voisi pullauttaa kuljettimenjalkojen ympärillä olevan pohjamaan ylös ja jopa kaataa korkean kuljettimen kokonaan. Urakoitsijan tuli tarkkailla mahdollisia painumia stabilointikentässä ja massan äkillisiä nousuja kuljettimen jalkojen ympäristössä. Laatan turhaa rasittamista tuli välttää ja esimerkiksi varastokasat pyrittiin pitämään kevyinä.

4.3 Lentotuhka

4.3.1 Lentotuhkan tuotanto

Stabiloinnissa käytetty lentotuhka tuotetaan Rauman Biovoiman polttolaitoksessa. Rauman Biovoiman voimalaitos tuottaa sähköä 76 megawatin, prosessihöyryä 140 megawatin ja kaukolämpöä 50 megawatin teholla. Voimalaitokselta toimitetaan prosessihöyryä ja sähköä UPM:n Rauman tehtaalle sekä kaukolämpöä ja sähköä Rauman Energialle (Pohjolan Voima 2013; AVI 2013).

Laitoksella on kaksi kiinteän polttoaineen leijutekniikkaan perustuvaa kattilaa. Lisäksi voimalaitokseen kuuluu kaksi öljykäyttöistä vara- ja huippukattilaa. Voimalaitoksen pääpolttoaineina ovat kuori- ja hakkuutähteet. Lisäksi käytetään turvetta, biolietettä ja pieniä määriä kierrätyspolttoainetta. Käynnistys- ja varapolttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä (Pohjolan Voima 2013; AVI 2013).

Rauman Voima Oy:n tuhka on REACH-rekisteröity sivutuote. Voimalaitoksessa on syntynyt tuhkaa vuosittain noin 23 000 tonnia. Talviaikaan tuotannon ollessa suurimmillaan tuhkaa syntyy jopa viisikertainen määrä verrattuna kesäaikaan. Käytössä on erillinen ulosotto pohjatuhkalle ja lentotuhkalle, sekä tuhkan siilovarastointi mahdollistaen kuljetuksen suurina kuormina. Voimalaitoksen välittömään läheisyyteen on rakennettu tuhkahalli, lentotuhkan kuivaan välivarastointiin. Tuhka puhalletaan tuhkahalliin suoraan polttoprosessista, mikä minimoi kosteuden pääsyn tuhkaan. Hallista tuhka on kevyen seulonnan jälkeen käytettävissä massastabiloinnin sideaineena (AVI 2013).

4.3.2 Tuhkan luvanvaraisuuden selvittäminen

Pirkanmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa on testattu Rauman Biovoiman tuottamia kesän 2007 lento- ja pohjatuhkien hyötykäyttö- ja kaatopaikkakelpoisuutta. Tuhkakokoomanäytteiden keräilyjakson aikana voimalaitoksella oli käytössä kuori-, liete-, metsätähdeoseospolttoainetta (AVI 2013).

Selvityksen mukaan lentotuhkanäytteen (kokoomanäyte) raskasmetallienkokonaispitoisuudet olivat melko alhaisia ja täyttivät VNA:n 591/2006 mukaiset hyötykäyttökelpoisuusraja-arvot maarakentamisessa. yhdisteiden pitoisuudet jäivät alle määritysrajojen. Orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (TOC) 2,3 g/kg täytti selvästi pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuusraja-arvon 30 g/kg (VNA 202/2006). Kokonaispitoisuuksien perusteella tuhka voidaan luokitella tavanomaiseksi jätteeksi (AVI 2011).

Tuhkan käyttäminen sideaineena on käsitelty työmaalle haettavan ympäristöluvan yhteydessä. Luvan työmaan toteuttamiseen on myöntänyt Etelä-Suomen Aluehallintovirasto vuonna 2011 (AVI 2011).

4.4 Työmaan toteutus

Työmaa toteutettiin kahdessa vaiheessa siten, että ensimmäinen vaihe tehtiin lähes kokonaan kahdessa vuorossa stabiloiden ja toinen vaihe täysin yhdessä vuorossa. Työmaan henkilökapasiteetti vaihteli 4 - 10 RAM (rakennusammattimies) ja 3 - 7 RM (rakennusmies) välillä, lisäksi oli aliurakoitsijoita kuormanajossa 3 - 8 henkilöä. Työmaalla oli jokaisena arkityöpäivänä paikalla työnjohtaja.

4.4.1 Kalusto

Työmaan ensimmäinen vaihe toteutettiin Hyundai 360 stabilointikoneella. Maamyyrää vaihdeltiin tarpeen mukaan. Toiseen vaiheeseen koneeksi vaihdettiin Hyundai 380, koska hieman pidemmästä ulottuvuudesta koettiin olevan hyötyä. Toinen vaihe suoritettiin täysin 7 m:n myyrällä, kun stabilointi pyrittiin ulottamaan maksimi syvyyteen.

Ensimmäisessä vaiheessa painesyöttimenä oli trailerin päälle rakennettu ALLU PFM (Kuva 12). Puoliperävaunun päällä oleva stabilointiyksikkö toimi hyvin kohteessa, jossa sideaineet olivat erillisinä komponentteina. PFM on varustettu kahdella painesäiliöllä jotka voidaan täyttää kahdella eri sideaineella. Sideaineet sekoittuvat keskenään, kun molemmat säiliöt voidaan purkaa samanaikaisesti.



KUVA 12. ALLU PFM on rakennettu puoliperävaununtrailerin päälle.

ALLU PFM edut pääsivät esiin suurella työmaalla, jossa eteneminen oli hidasta. Toisaalta pitkät syötinletkut haittasivat työmaalla liikkumista, sillä letkut eivät kestä yli-ajoa. Parhaimmillaan stabilointiin jopa yli 100 metrin puhallusmatkoilla. Toisessa vaiheessa työmaata alettiin stabiloida lahden molemmin puolin, joten ALLU PFM vaihdettiin kahteen ALLU PM painesyöttimeen. Yksisäiliöinen ALLU PM on teloilla kulkeva yksikkö, joka toimii muuttuvassa ympäristössä hyvin.

Sideaineiden välivarastointiin tarvittiin varaa varsinkin kahdessa vuorossa stabiloitaessa. Ensimmäisessä vaiheessa työmaalla olikin kuusi sideainesäiliötä välivarastointiin ja yksi säiliö ylipaineen purkamista varten. Toisessa vaiheessa pärjättiin viidellä säiliöllä. Sideaineen välivarastoille rakennettiin oma varastoalueensa, jossa alustaa vahvistettiin murskeella. Varastoalueelle rakennettiin hyvät kulkuyhteydet ja kääntöalueet sideainerekkoja varten. Tuhkan siirtämiseen käytettiin pääurakoitsijan omaa puoliperävaunusäiliörekkaa, joka toimi tarpeen mukaan myös yhtenä sideainesäiliönä.

Tuhka-auton täyttöön käytettiin työhön erikseen suunniteltua tuhkaruuvia, joka ideoitiin ja rakennettiin urakoitsijan toimesta. Ruuvin toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, ruuvin tyvässä olevaan kartionmalliseen altaaseen kipataan kauhakuormaajalla tuhkaa, josta putken sisällä sähkömoottorilla pyörivä ruuvi purkaa sen autoon (Kuva 13). Ruuvi

oli oivallinen ratkaisu, kun hallissa kasalla oleva tuhka oli siirrettävä autoon suhteellisen ahtaissa oloissa ja täysin kuivana eteenpäin. Menetelmällä tuhkaa kyettiin toimittamaan sillä nopeudella kuin stabilointityö sitä käytti, kuitenkin kuormittamatta liiaksi si-deainevarastoja. Huoltokatkoja aiheutti tuhkan kuluttamien laakereiden ja ruuvien laip-pojen vaihtaminen. Suurempiin huoltokatkoihin varauduttiin käyttämällä ulkopuolisen urakoitsijan tarjoamaa imuautoa tuhkansiirtoon. Kaiken kaikkiaan ruuvi oli suhteellisen toimintavarma ja edullinen menetelmä kasalla olevan lentotuhkan siirtoon.



KUVA 13. Lentotuhkan kuormaamista autoon.

Merenlahdessa oli runsaasti uppotukkeja, jotka oli syytä poistaa ennen stabilointia. Haraaminen suoritettiin 30 tonnin pitkäpuomikaivinkoneella. Lisäksi valmistelevia ja jälki-töitä varten työmaalla oli 25 tonnin kaivinkone ja 20 tonnin pyöräkuormaaja.

Suiklansuon kaatopaikalta ajettiin työmaalle kasatuhkaa ja kaoliinisavea, johon massat oli välivarastoitu vuosien mittaan (Kuva 14). Massoja ajettiin työmaalle parhaimmillaan jopa noin 2000 tonnia päivässä. Meesavarasto sijaitsi viereisellä Metsä Fibren tontilla, josta meesaa ajettiin kausiluontoisesti kaikkiaan reilut 5000 tonnia työmaalle. Kaikki massanajo tapahtui aliurakoitsijoiden kalustolla. Lisäksi voimalaitos toimitti viereiseltä polttolaitokselta pohjatuhkaa. Runkoainesta rikastettiin meesan, kaoliinisaven, kasatuh-kan ja pohjatuhkan seoksella. Kasatuhkalla tehtiin lisäksi kaikki työmaalla olevat pai-nopenkereet.



KUVA 14. Kasatuhkat ajettiin Suiklansuon välivarastointialueelta.

4.4.2 Paikalleen mittaus

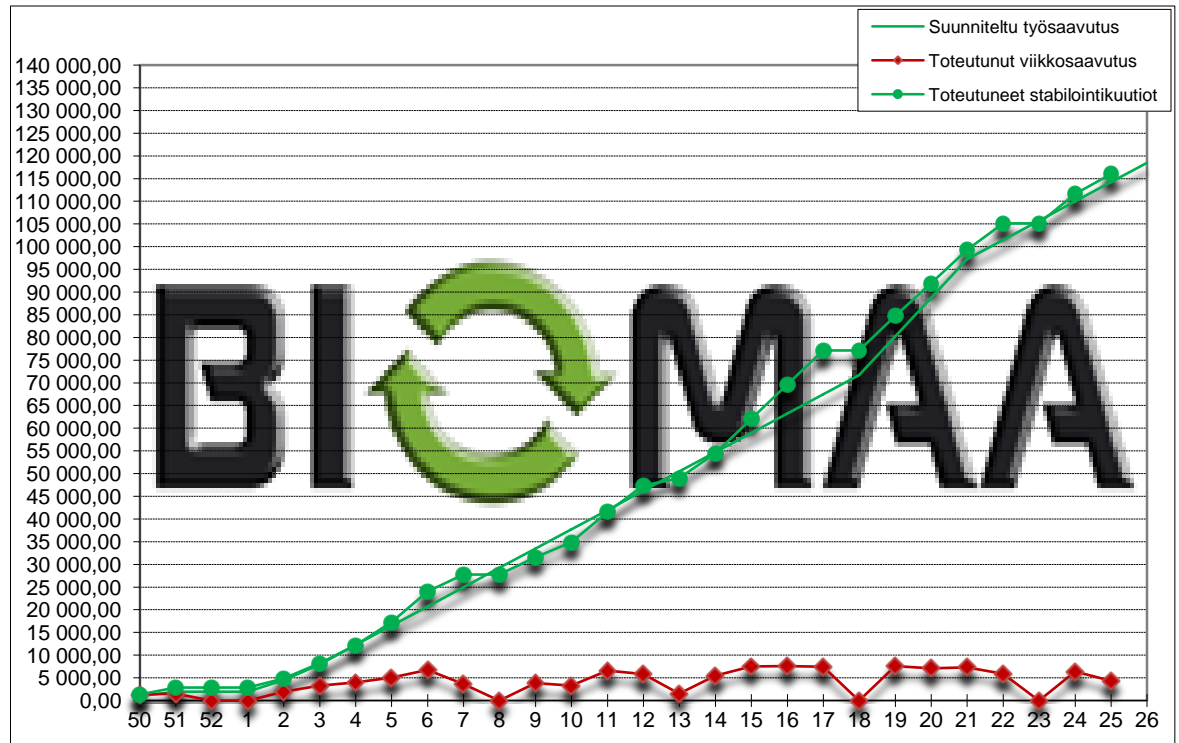
Pääurakoitsija jakoi työmaan 25 m² ruutuihin jotka nimettiin loogisesti alueen ja järjestyksen perusteella. Urakoitsija vastasi myös työmaan paikalleen mittauksesta ja ruutujen merkkauksesta. Mittaaminen tehtiin urakoitsijan GPS- mittalaitteella (Kuva 15). Ruutujen kulmat merkattiin mittakepein tunnuksineen, jolloin kuljettaja pystyi seurata tekemistään kartalla. Kahdessa vuorossa stabiloitaessa mittauksista tehtiin lähes päivittäin. Työmaan ruutukuva on esitetty liitteessä 2 (Lemminkäinen Infra 2013).



KUVA 15. Ruutujen kulmat merkattiin mittakepeillä.

4.4.3 Aikataulu

Urakoitsijan toimesta työmaalle laadittiin viikkokohtainen toteuma-aikataulu. Työmaa jaettiin viikoittaiseen työsaavutukseen, jonka tulisi toteutua työmaan valmistumiseksi urakkasopimuksen mukaisessa ajassa. Aikataulu laadittiin massastabilointityömaille tyypilliseen tapaan jana-aikataulu muotoisena. Jana-aikataulusta (Kuva 16) selviää tavoiteltu kokonais-, viikkokohtainen - ja työmaan kokonaistyösaavutus.



KUVA 16. Jana-aikataulu (Bioma 2013).

Tuhkahallin täyttämisen takia työmaalla jouduttiin pitämään muutamia viikkoja ilman tuhkaa ja stabilointia ei tehty. Nämä katkoviikot pyrittiin käyttämään hyödyksi kaluston huoltamiseen.

Stabilointityö aloitettiin yhdessä vuorossa, mutta jo ensimmäisten viikkojen aikana tiukasta aikataulusta johtuen siirryttiin kahteen vuoroon. Työmaa suoritettiin loppuun kahdessa vuorossa siten, että arkipäivisin stabilointiin 24 tuntia vuorokaudessa. Urakoitsija pääsi aikataulutavoitteeseen eli 110 000 stabilointikuutiota, viikkoon 24 mennessä.

4.4.4 Työskentely

Stabilointityöt aloitettiin kokeiluluontoisesti joulukuun lopulla vuonna 2012. Työmaan lopullinen aloitus tapahtui kuitenkin vasta parin viikon kuluttua tammikuun toisella viikolla. Työskentelyn sujuvuuden hakeminen tuotti omat haasteensa uudella työmaalla. Urakka sisälsi runsaasti erilaisia oheistöitä, joita ei perinteisissä massastabilointiurakoissa ole ollut. Esimerkiksi kasatuhkan soveltumista painopenkereen tekoon epäiltiin aluksi. Työmaan edetessä kasatuhkan käsittelyyn kuitenkin opittiin ja todellisia ongelmia aiheutti ainoastaan runsassateiset päivät, kun tuhka alkoi liejuuntua. Runkoaiheen jäykistäminen usealla eri tuotteella ja oikeilla määrillä teetti paljon järjestelyjä ja seurantaan jokapäiväisessä työskentelyssä. Urakoitsija kehitti lentotuhkan toimittamista varten tuhkahallista uuden laitteen, tuhkaruuvin. Stabiloinnin kahteen vuoroon siirtäminen kuormitti henkilöstöä ja teetti kiirettä valmistelevien töiden tekemiseen.

Peruspäivärytmi alkoi löytyä työskentelyyn ja työtavat alkoivat hioutua paikoilleen, kuitenkin varsin pian. Urakoitsijan työntekijät tekivät havaintoja päivittäisissä töissä ja havaintojen perusteella pyrittiin työskentelyä kehittämään oikeaan suuntaan. Esimerkiksi tuoreen stabiloinnin päälle painopengertä tehtäessä, havaittiin penkereessä runsasta painumista. Tuoreen stabiloinnin kuormittamista opittiin käsittelemään työn edetessä tekemällä kevyt tiivistäminen alussa ja raskaampi tiivistäminen jätettiin myöhemmäksi.

Rauman Biovoiman tarjoama lentotuhka soveltui stabilointiin ilman suurempia ongelmia. Tuhkahallista tuhkan kuormaaminen koettiin hyväksi ratkaisuksi, sillä tuhka pysyi alati kuivana ja tuhka oli jäähtynyt kuormattaessa. Kuuman tuhkan käytöllä on koettu ongelmia urakoitsijan muilla työmailla, sillä se kulkee huonosti ahtaissa putkissa. Raumalla tuhka tukki vain muutamia kertoja syötinletkut. Verkkoisesta huolimatta tuhkassa havaittiin metallia ja muita epäpuhtauksia, jotka pikkuhiljaa padotti tuhkan kulkua liittimien saumakohdissa. Joskus ongelmia aiheutti tuhkan kastuminen, joka oli tapahtunut urakoitsijan omista virheistä. Jo pieni kosteus aiheutti ongelmia tuhkan juoksevudessa. Tuhkan on havaittu kuluttavan liittimiä, hanoja ja putkistoja hieman perinteisesti käytettyä sementtiä enemmän (Kuva 17). Raumalla tuhkan kanssa oli vähemmän näitä ongelmia. Työmaalla jouduttiin kuitenkin vaihtamaan tuhkan kuluttamia osia hieman useammin verrattuna työmaahan, jossa sideaineena on käytetty vain sementtiä. Kaiken kaikkiaan Raumalla käytetty tuhka toimi hyvin.



KUVA 17. Kuluneita ja uusia liittimiä.

4.4.5 Viimeistely

Työmaan lopussa ylimääräiset kasat tasattiin ja penkereet viimeisteltiin luovutuskuntoon. Pengerten reunat tehtiin huomattavaksi siten, ettei kenelläkään ole vaaraa erehtyä upottavaan stabiloimattomaan massaan. Laadunvarmistuskairaukset ja kirjalliset työt suoritettiin vielä stabilointikaluston jo poistuttua. Lopuksi työmaalla suoritettiin vielä loppukatselmus.

4.4.6 Laadunvarmistus

Menetelmän toimivuuden tueksi työmaalla suoritettiin koekairauksia tasaisin väliajoin. Varsinkin alussa kairauksia otettiin 14 vuorokauden ikäisistä ruuduista. Kahden viikon kypsyysskoekkeesta saatiin tietoa säilyykö koestabiloinnin kehitys edelleen ja kestääkö stabiloitu massa päältä ajon rasitukset. Työmaan edetessä kairauksia otettiin myös 28..30 vrk iässä, jotta saatiin tietoa pitkäaikaisemmasta lujittumisesta. Kaikki koekairauksen tulokset saavuttivat työmaalla yleisesti vaaditun 50 kPa lujuusvaatimuksen. Koekairauspöytäkirja on esitetty liitteessä 3 (Ramboll 2012).

Tehtyjen ruutujen tiedot kopioitiin ALLUn datayksiköltä stabilointipöytäkirjaan. Stabilointipöytäkirjasta on todettavissa ruutukohtaisesti kaikki olennainen tieto. Stabilointipöytäkirja on stabilointiurakoitsijan oleellisin laatutakuu tällä hetkellä. Stabilointipöytäkirjan tiedot luovutettiin tilaajan edustajalle kaksi kertaa kuukaudessa. Koekairauksista ja stabilointipöytäkirjan päivittämisestä vastasi pääurakoitsija.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lentotuhkan hyödyntämistä massastabiloinnin sideaineena. Opinnäytetyön pohjalta voidaan olettaa, että lentotuhkan käyttö tulee lisääntymään tulevaisuudessa, sillä infrarakentamisessa pyritään yleisesti kasvattamaan kierrätysmateriaalien hyödyntämistä korvaamassa uusiutumattomien materiaalien käyttöä. Lisäksi lentotuhkaa on saatavilla ja sillä on laajalti käyttömahdollisuuksia. Stabiiloinnin sideaineeksi lentotuhka sopii parhaimmillaan erinomaisesti, mutta urakoitsijalta saatujen kokemusten perusteella myös vaikeuksia on koettu.

Tuhkan käyttöön liittyvät pitkälliset selvitystyöt ja lupaprosessit jarruttavat osaltaan lentotuhkan käyttöä pienemmissä massastabilointikohteissa. Lupaviranomaisten puolesta käyttöön suhtaudutaan kuitenkin ilmeisen myötämielisesti, sillä valtion tavoitteena on lisätä kierrätysmateriaalien hyödyntämistä tulevaisuudessa. Lentotuhkan tuotteistaminen rakennusmateriaaliksi helpottaisi sen käyttöä alussa tehtävien selvitysten puolesta, mutta toistaiseksi sitä ei tuotteistettuna ole tarjolla. Lentotuhka sideaineena ei sinänsä poikkea muiden sideaineiden käytöstä, mikäli tuhka on hyvin juoksevaa, mutta toimimattomana se aiheuttaa riskin työmaan aikataulun venymisestä ja lisäkustannuksista. Tuhkan käyttö pitkittää stabilointityön kestoa, sillä useammalla sideaineella stabilointi on hitaampaa kuin vaikkapa yhdellä. Tuhkan varastointi ja siirto on yksilöllistä polttolaitoksesta riippuen, joten ennalta valmiita toimintamalleja ei välttämättä ole olemassa, vaan ne täytyy kehittää kohteeseen sopivaksi.

Tuhkan käyttö erillisenä sideaineena vaatii urakoitsijalta normaalia enemmän järjestelyjä ja riskeihin varautumista. Sideaineiden toimitukset kuuluvat yleensä stabilointiurakoitsijalle, joten tuhansiirtoon on varauduttava tarvittavalla kalustolla ja ennalta suunnitelluilla ratkaisuilla sekä yleisellä ennakoinnilla. Eri sideainekomponenteille on varattava omat erilliset välivarastosäiliöt, jotta komponentit eivät sekoitu keskenään ja jotta toimitukset saadaan sujuviksi.

Raporttini kohteena olevalla työmaalla lentotuhkan hyödyntäminen aiheutti pitkällisen luvanvaraisuuden selvittelyn ennen sen käyttöönottoa. Tilaajan toimesta tuhkaa oli tutkitettu vuonna 2007 otetuista näytteistä, jotta saatiin tietoa tuhkan ympäristökelpoisuu-

desta. Tuhkan sideaineena käytölle haettiin erillistä lupaa Etelä-Suomen Aluehallintovirastolta, joka muutoinkin käsitteli työmaata koskevat lupa-asiat.

Rauman työmaan kaltaista urakkaa ei ollut tässä mittakaavassa aikaisemmin tehty niin tilaajan kuin urakoitsijankaan toimesta. Työmaalla hyödynnettiin suuret määrät erilaisia jätteeksi luokiteltavia teollisuuden ylijäämämassoja, samalla muokaten merenlahdesta toimiva varastointialueen pohja. Suuri osa käytetyistä massoista ja työmenetelmistä olivat urakoitsijalle ennalta tuntemattomia, joten ennakkosuunnittelua jouduttiin tekemään erityisen paljon. Lopullinen tieto tuhkan soveltumisesta sideaineeksi saatiin vasta, kun sitä jokapäiväisesti prosessissa käytettiin, joten mahdollinen toimimattomuus aiheutti ennakkoon huolta. Tuhkan toimittaminen työmaalle ei saanut synnyttää katkoksia stabilointityön etenemiseen, jotta suunnitellussa aikataulussa pysyttäisiin. Työmaan reservissä olikin huoltohenkilökuntaa, jolloin korjaustyöt kyettiin suorittamaan tarpeen mukaan vaikka kellon ympäri. Lisäksi mahdollisiin suurempiin konerikkoihin oli mietitty varasuunnitelmat jo ennalta valmiiksi. Menetelmät saatiin kuitenkin toimimaan varsin sujuvasti ja työmaa onnistui kaiken kaikkiaan hyvin.

Käytännössä ongelmia koettiin tuhkan tukkeutumisella stabilointiletkuihin, mutta sitäkin tapahtui vain muutaman kerran koko työmaan aikana. Tukoksia aiheutti tuhkan kostuminen ja sen seassa olleet roskat, jotka padottivat tuhkan juoksevuuutta. Tukkeutuneen letkun selvittäminen on työturvallisuus riski, mikäli järjestelmän paineenpoistossa epäonnistutaan. Sideaineena käytettävän tuhkan tulisi siis olla täysin kuivaa ja hyvin juoksevaa, jotta tukoksia ei syntyisi. Letkujen ja putkien liittimiä tuhka kulutti jonkin verran, mutta kuluminen oli ennalta arvioitua pienempää. Osien kulumista seurattiin käytön yhteydessä tehdyillä tarkastuksilla, jotta korjaustarpeisiin kyettiin varautumaan hyvissä ajoin.

Tutkimukseni kohteena ollut työmaa on hyvä esimerkki siitä, kuinka lentotuhkaa voidaan hyödyntää massastabiloinnin sideaineena suuressa mittakaavassa. Massastabilointi on hyvä vaihtoehto energiantuotannon tuottaman jätteen hyödyntämiseksi muokaten samalla heikosti kantavaa maata rakentamiselle suotuisaksi. Arvioni mukaan lentotuhkan hyödyntämiseen liittyvät lisätutkimukset ja käytännön kokemukset ovat tärkeitä niin taloudellisesta kuin ekologisesta näkökulmasta katsottuna. On huomioitava myös alati kovenevat työmaihin kohdistuvat aikataulupaineet, jolloin kaikista ylimääräisistä riskeistä ja työvaiheista pyritään helposti nipistämään. Toisaalta hyvillä ennakkosuunni-

telmilla ja ajoissa tehtävillä päätöksillä työmaa pystytään aina suorittamaan loppuun määräaikaan mennessä. Kuvaamiini epäkohtiin puuttumalla voi lentotuhkan hyödyntäminen saada suuremman jalansijan suomalaisessa ja kansainvälisessä infrarakentamisessa. Kehittämällä lentotuhkan käyttöä toimivammaksi, voidaan muun muassa edistää kestävän kehityksen mukaisia rakennusperiaatteita jo pohjatöiden alkuvaiheessa.

LÄHTEET

Verkko lähteet:

ALLU Finland Oy. 2007. Massastabilointimanuaali. Saatavilla:

http://www.allu.net/fi/tuotteet/stabilointijarjestelma/item/download/79_4dfa39be8512bc7a7f665c2b0e79ab5d, luettu 5.10.2013.

ALLU Finland Oy. 2011. Stabilointi -esite. Verkkodokumentti. Saatavilla:

http://www.allu.net/fi/tuotteet/stabilointijarjestelma/painesyotin/item/download/80_faa82af1922d3340a8b54c5f785b42a4, luettu 8.10.2013.

ALLU Finland Oy. 2013. Verkkosivut. Saatavilla:

<http://www.allu.net/index.php/fi/kayttokohteet/stabilointi>, luettu 8.10.2013.

ALLU Finland Oy. 2013. 3D- koneohjausmanuaali. Verkkodokumentti. Saatavilla:

www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=408433&cc=3&refid=6, luettu 8.10.2013.

AVI 2011. Aluehallintovirasto Verkkojulkaisu. Saatavilla:

http://www.rauma.fi/ymparisto/html/upm_sampaanalantahti_t%C3%A4ytt%C3%B6.pdf, luettu 5.10.2013.

AVI 2013. Aluehallintovirasto. Verkkojulkaisu. Saatavilla:

http://www.avi.fi/documents/10191/56814/esavi_paatos_4_2013_1-2013-01-04.pdf,

luettu 17.10.2013.

Biomaa. 2008. Biomaa Oy. Projektisuunnitelma Äänekoski Skanska, luettu 14.10.2013.

Biomaa. 2011. Biomaa Oy. Massastabilointimanuaali. Verkkodokumentti.

<http://www.biomaa.fi/pdf/massastabilointimanuaali.pdf>, luettu 17.10.2013.

Biomaa. 2013. Biomaa Oy. UPM Rauman työsuunnitelmat, luettu 4.10.2013.

Finnsementti 2011. Finnsementti Oy. Plussementtiesite. Verkkodokumentti. Saatavilla:

<http://www.pinta.fi/asiakkaat/finnsementti/Plussementtiesite/>, luettu 9.10.2013.

Finnsementti 2013. Finnsementti Oy. Verkkosivut. Saatavilla:

<http://www.finnsementti.fi/Tietoa-stabiloinnista-massastabilointi>, luettu 8.10.2013.

Infra RYL 2013. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, massastabilointi. TAMKIn e-kirjasto. Verkkodokumentti, luettu 7.10.2013.

Lemminkäinen Infra 2012. Antti Virtanen, Lemminkäinen Infra Oy. Työmaan suunnitelmat, luettu 15.10.2013

Liikennevirasto 2010. Liikenneviraston ohjeita. Verkkojulkaisu. Saatavilla:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-11_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf, luettu 9.10.2013.

Nordkalk. Kari Kuusipuro, Nordkalk Oyj Abp. Kalkki ja maastabilointi verkkojulkaisu. Saatavilla:

<http://www.nordkalk.fi/streamer.asp?do=save&act=DBDEB94F8C255248BB0C268BEF24F359&id=463>, luettu 12.10.2013

Pohjolan Voima 2013. Pohjolan Voima Oy. Verkkojulkaisu. Saatavilla:

http://www.pohjolanvoima.fi/filebank/253-4064-Rauman_Voiman_voimalaitos.pdf, luettu 17.10.2013.

Suomen Geoteknillinen Yhdistys. SGY. Verkkojulkaisu. Saatavilla:

<http://www.getunderground.fi/web/page.aspx?refId=186>, luettu 14.10.2013.

Ramboll 2012. Ramboll Oy. UPM Rauman suunnitelmat, luettu 13.10.2013.

Ramboll 2012. Ramboll Oy. UPM Rauman suunnitelmat, luettu 13.10.2013.

Tiehallinto 2001. Tiehallinnon ohjeita. Verkkajulkaisu. Saatavilla:

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/32000817-vkt51kirkkonsyvajamassa.pdf>, luettu 30.9.2013.

Tuhkarakentamisen käsikirja 2012. Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. ja Forsman, J. (2012): Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Verkkajulkaisu. Saatavilla:

http://www.infrary.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf, luettu 4.10.2013.

Ympäristöministeriö 2011. Ympäristöministeriön tiedotteita. Verkkajulkaisu. Saatavilla: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B13DE6161-BF77-4AC5-98E3-7C73F9380A2C%7D/32052>, luettu 6.10.2013.

VTT 1998. VTT:n tiedotteita. Verkkajulkaisu. Saatavilla:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1952.pdf>, luettu 7.10.2013.

Muut lähteet:

Helsingin Uutiset 2013. Jani Jakonen, Lehtiyhtymä. Lehtiartikkeli, Helsingin Uutiset 19–20.10.2013 s.5.

Niutanen 2013. Ville Niutanen Lemminkäinen Infra Oy. Puhelinhaastattelu 18.10.2013.

Vastaanottaja
UPM/Rauma

Asiakirjatyyppi
Lisäohjeistus

Päivämäärä
Lokakuu, 2012

SAKE

KOESTABILOINTISUUNNITELMA

RAMBOLL

SAKE, KOESTABILOINTISUUNNITELMA --

Tarkastus Päivitetty 22.10.
Päivämäärä **24/10/2012**
Laatija **Olli Kiviniemi**
Tarkastaja **Harri Jyrävä/Pentti Lahtinen**

Viite 82136842-02

KOESTABILOINTISUUNNITELMA -

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Koalueen sijainti ja maaperätiedot	1
2.1	Sijainti ja syvyys	1
2.2	Koekenttien speksit	2
2.3	Koalueen maaperätiedot	3
3.	laadunvalvontamenetelmät	4
3.1	Ennen stabilointia	4
3.2	Stabilointityönaikaiset	4
3.3	Työn jälkeen tehtävät	5
3.4	Tarvittaessa tehtävät määritykset	5
4.	Raportointi	5

1. YLEISTÄ

Koestabilointi koskee A-allasta.

Koestabiloinnin tavoitteena on

- tuotantostabiloinnissa käytettävän sideaineseoksen toimivuuden varmistaminen,
- stabilointityössä käytettävien komponenttien määrän optimoiminen,
- todellisissa käyttöolosuhteissa toteutuvan lujuuskehityksen selvittäminen sekä
- käytettävän työtekniikan ja sekoitusmäärän testaaminen

Samassa yhteydessä saadaan tuotantostabiloinnin sujuvuuden kannalta tärkeää kokemusta työn käytännön toteutuksesta alkulujittumisen sekä logistiikan ja materiaalien käsittelyn suhteen. Stabiloituvuustutkimusten perusteella lujittuminen jatkuu selvästi 28 vrk jälkeen. Kriittisin tekijä työn sujuvuuden/toteutuksen kannalta on kuitenkin stabiloitavien massojen alkuvaiheen lujittuminen heti stabilointityön jälkeen (alkulujittuminen ensimmäisen viikon aikana).

Lähtökohtana on laboratoriossa toimivaksi arvioidut sideaineseokset, jotka sisältävät:

- Plussementtiä (CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N),
- Rauman Voiman lentotuhkaa (sekä kuiva lentotuhka että kasatuhka),
- Yaran kosteaa kasakipsiä (Siilinjärvi),
- sekä meesaa (UPM, Rauma).

Laboratoriotutkimuksissa pääosin tutkitut seokset perustuivat olettamukseen, että stabiloitava runkomateriaali on seos 1:1:1 (tilavuus), joka koostuu altaaseen lisättävästä savesta, kuitupitoisesta pintalietteestä sekä syvemmällä altaassa esiintyvistä savesta. Tähän seokseen lisätään stabilointityön yhteydessä vielä kasatuhkaa siten, että edellä mainitun, noin 4,3-4,4 m paksuisen, esisekoitetun runkomateriaaliseoksen päälle levitetään noin 0,7 m kasatuhkaa ja sen jälkeen suoritetaan varsinainen stabilointityö 5 m paksuisena.

Koestabiloinnin yhteydessä pääosa aikaisemmissa laboratoriotutkimuksissa runkomateriaalikomponenttina käytetystä lisäsavesta pyritään korvaamaan arinatuhkalla (UPM, Rauma).

Koestabiloinnin yhteydessä tehtävien kairauksien yhteydessä on suositeltavaa täydentää maaperätietoja stabiloidun kerroksen alapuolisten kerrosten laadun osalta (osa kairauksista ulotetaan kovaan pohjaan saakka).

Menetelmien ja toimintatapojen suhteen töissä noudatetaan urakkasopimuksen mukaista työselitystä.

2. KOEALUEEN SIJAINTI JA MAAPERÄTIEDOT

2.1 Sijainti ja syvyys

A-allas on rajattu muusta Sampaanalanlahdesta louhepenkereellä. Kyseisen louhepenkereen rakentaminen on nostanut ja sekoittanut pohjasedimenttiä noin 30 m matkalta lahden pohjukkaan päin.

Koekentät sijoitetaan sellaiselle alueelle, jossa stabilointi on mahdollista toteuttaa vähintään 5 metrin paksuisena. Edellinen tarkoittaa käytännössä sitä, että toteutettavan koestabilointialueen kohdalla altaan reunaosaa on täytettävä tai stabiloitava altaan luiskaosalta siten, että varsinainen koalue pystytään toteuttamaan "täyspaksuisena" (min. 5 m).

Koekenttien viitteellinen sijainti on esitetty kuvassa 1. Koekentät on sijoitettava siten, että stabiloitavan kerroksen syvyys on vähintään 5 m eli rantojen/luiskien lähellä olevat alueet eivät sovelu toteutukseen. UPM:n edustaja päättää koekenttien lopullisen sijainnin ja urakoitsija dokumentoi/mittaa toteutettavien stabilointiblokkien sijainnin.

2.2 Koekenttien speksit

Koekentät tehdään noin 25 m² blokkeihin (syvyys 5 m). Blokeissa 1–7 käytetään lisärunkomateriaalina arinahiekkaa ja blokissa 8 altaaseen muualta tuotavaa savea.

Sideaineyhdistelmät on pyritty valitsemaan siten, että niitä käyttäen saatavia tuloksia voidaan mahdollisimman hyvin vertailla laboratoriotuloksiin, mutta samalla on myös pyritty siihen, että koestabiloinnin yhteydessä pystytään määrittelemään varmasti toimiva sideaineseos.

Blokki	Runkomateriaali ¹⁾	PlusSe [kg/m ³]	LT kui- va [kg/m ³]	kipsi [kg/m ³]	meesa [kg/m ³]	PKT [kg/m ³]	Huom.
1	Allasmassat + arinahiekka (5%) +kasatuhka	125	150				
2	Allasmassat + arinahiekka (5%) +kasatuhka	150	150				
3	Allasmassat + arinahiekka (5%)+kasatuhka	100	75 (tai 100)	75 (tai 50)			joko 100+75+75 tai 100+100+50
4	Allasmassat + arinahiekka (5%)+kasatuhka	100	200		50		
5	Allasmassat + arinahiekka (5%)+kasatuhka	125	150		50		Suppeampi laatuseuranta 2)
6	Allasmassat + arinahiekka (5%)+kasatuhka	---	300		50		Suppeampi laatuseuranta 2)
7	Allasmassat + arinahiekka (5%=>n1m ³ /blokki)	150	150				Suppeampi laatuseuranta 2)
8	Allasmassat + arinahiekka (5%)+lisäsavi	125	150				

1) Stabiloitavaan allasmassaan seostetaan arinahiekkaa/lisäsavaa tilavuussuhteessa (stabilointisyvyyden ollessa 5 m lisättävän runkoaineen määrä noin 1.4..1.5 m³/m²). Arinahiekkaa levitetään 5 % tilavuusmäärästä, joka on noin 1m³/blokki. Lisäksi stabilointityön yhteydessä blokin pintaan levitetään noin 0,7 m kerros kasatuhkaa ja se sekoitetaan stabilointityön yhteydessä kerrokseen.

2) Suppeampi laatuseuranta tarkoittaa 30-50 % muita testattavia blokkeja vähemmän otettavia näytteitä/testejä/kairauksia.

Blokki 8 suositellaan tehtäväksi ruutujen 1-3 välittömään läheisyyteen (esim. alueen toiseen päähän ruudun 1 viereen). Vastaavasti ruudut 5-7 sijoitetaan mieluiten edellisiin nähden koalueen toiseen päähän (=kauimmaksi rakennuksista).

2.2 Koekenttien speksit

Koekentät tehdään noin 25 m² blokkeihin (syvyys 5 m). Blokeissa 1–7 käytetään lisärunkomateriaalina arinahiekkaa ja blokissa 8 altaaseen muualta tuotavaa savea.

Sideaineyhdistelmät on pyritty valitsemaan siten, että niitä käyttäen saatavia tuloksia voidaan mahdollisimman hyvin vertailla laboratoriotuloksiin, mutta samalla on myös pyritty siihen, että koestabiloinnin yhteydessä pystytään määrittelemään varmasti toimiva sideaineseos.

Blokki	Runkomateriaali ¹⁾	PlusSe [kg/m ³]	LT kui- va [kg/m ³]	kipsi [kg/m ³]	meesa [kg/m ³]	PKT [kg/m ³]	Huom.
1	Allasmassat +arinahiekka (5%) +kasatuhka	125	150				
2	Allasmassat +arinahiekka (5%) +kasatuhka	150	150				
3	Allasmassat +arinahiekka (5%)+kasatuhka	100	75 (tai 100)	75 (tai 50)			joko 100+75+75 tai 100+100+50
4	Allasmassat +arinahiekka (5%)+kasatuhka	100	200		50		
5	Allasmassat +arinahiekka (5%)+kasatuhka	125	150		50		Suppeampi laatuseuranta 2)
6	Allasmassat +arinahiekka (5%)+kasatuhka	---	300		50		Suppeampi laatuseuranta 2)
7	Allasmassat +arinahiekka(5%=>n1m ³ /blokki)	150	150				Suppeampi laatuseuranta 2)
8	Allasmassat +arinahiekka (5%)+lisäsavi	125	150				

1) Stabiloitavaan allasmassaan seostetaan arinahiekkaa/lisäsavaa tilavuussuhteessa (stabilointisyvyyden ollessa 5 m lisättävän runkoaineen määrä noin 1.4..1.5 m³/m²). Arinahiekkaa levitetään 5 % tilavuusmäärästä, joka on noin 1m³/blokki. Lisäksi stabilointityön yhteydessä blokin pintaan levitetään noin 0,7 m kerros kasatuhkaa ja se sekoitetaan stabilointityön yhteydessä kerrokseen.

2) Suppeampi laatuseuranta tarkoittaa 30-50 % muita testattavia blokkeja vähemmän otettavia näytteitä/testejä/kairauksia.

Blokki 8 suositellaan tehtäväksi ruutujen 1-3 välittömään läheisyyteen (esim. alueen toiseen päähän ruudun 1 viereen). Vastaavasti ruudut 5-7 sijoitetaan mieluiten edellisiin nähden koalueen toiseen päähän (=kauimmaksi rakennuksista).

2.3 Koalueen maaperätiedot

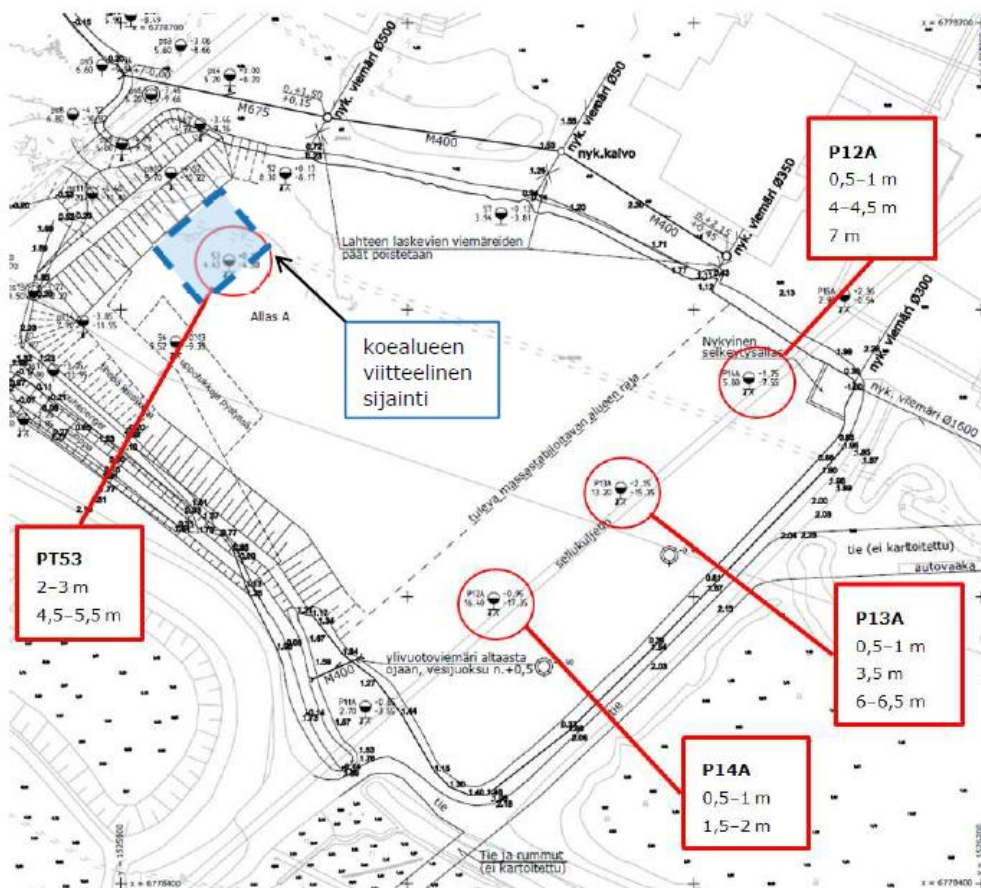
Altaan olemassa olevat pohjamassat ovat orgaanista ainesta sisältävää savea/liejua. Vesipitoisuus ja orgaanisen aineen pitoisuus ovat korkeimmillaan lähellä pintaa (pohjan ylin osa) pienentyen syvemmälle mentäessä.

Orgaanista ainesta sisältävän savisen liejun vesipitoisuus vaihtelee laboratoriossa tutkittujen näytteiden perusteella välillä 250–800 % ja redusoimaton leikkauslujuus on heikoimmalta osalta noin 1–2 kN/m². Alueella ei ole kairaustulosten perusteella kuivakuorta tai se on hyvin ohut. Savikerroksen alapinta on altaan pohjoisrannalla korkeimmillaan laskien aina tasolle -17 m lähellä näytestettä P14A.

Laboratoriotutkimusten yhteydessä tutkitut näytteet on esitetty alla olevassa kuvassa ja taulukossa.

Vaikeasti stabiloitavan pintaosan vuoksi stabiiloitavaan kerrokseen sekoitetaan ennen massastabiilointia lisäaineena muualta tuotavaa jäykempää savea tai UPM:n (Rauma) arinatuhkaa sekä kasvavaraa, kosteaa, lentotuhkaa.

Pohjaveden ja avoveden korkeus vaihtelee meriveden pinnan korkeuden mukaan.



Kuva 1. Näytestestien sijainnit ja koestabilointialueen viitteellinen sijainti.

Taulukko 1. A-altaan näytteiden peruskokeiden tulokset.

Näyte	Näyteluokka	w [%]	ρ_m [kg/m ³]	Hh [%]	pH	rakeisuus	Muuta
PT53 / 2-3 m	K	293		21,3	6,7	Liite 3	
PT53 / 4,5-5,5 m	K	228		18,9	6,8	Liite 3	
P12 / 1-1.5 m	P	683	1070	32,7	6,6	Liite 3	musta
P12 / 4-4.5 m	K	196	1220	13,0	7,3	Liite 3	harmaa
P12 / 7 m	K	180	1230	12,0	7,6	Liite 3	harmaa
P13 / 0,5-1 m	P	835	1070	38,2	6,6		musta
P13 / 3,5 m	K	279	1170	19,9	7,2	Liite 3	harmaa
P13 / 6-6,5 m	K	159	1260	12,9	7,1	Liite 3	harmaa
P14 / 0,5-1 m	P	704	1090	37,1	6,8		musta
P14 / 1,5-2 m	P	517	1100	34,2	6,7		musta

3. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT

Stabilointityö tehdään urakkasopimuksen mukaisen työselityksen mukaan. Tässä määritellyt laadunvalvontatutkimukset toteutetaan pääosin tilaajan laadunvalvonnan puitteissa. Työselityksen mukainen dokumentointi kuuluu urakoitsijalle.

Työt aloitetaan tarkistamalla stabiloitavien massojen laatu ennen ja jälkeen lisärunkoaineen sekoittamista (lisäsavi/tuhkat).

Koestabiloinnin arvioinnissa käytetään pääosin samoja menetelmiä kuin tuotantostabiloinnissa, joskin tiheämmin mittausvälein. Menetelmät perustuvat näytteenottoon, peruskokeisiin, puristuslujuusmäärittelyyn ja kairauksiin. Epäselvissä tilanteissa tehdään tarvittaessa sideainemäärittelyksiä ja Niton-määrittelyksiä.

3.1 Ennen stabilointia

Näytteet koalueen massasta kaivinkoneen kauhalla ennen lisärunkoaineen sekoittamista kahdesta pisteestä ja molemmista pisteistä kahdelta syvyydeltä (0-2 m ja 2-4 m). Näytteet otetaan urakoitsijan koneella ja näytteistä määritetään laadunvalvojan toimesta vesipitoisuus, tiheys ja hehikutushäviö. Määrittelyssä käyttämättömät osat näytteistä jätetään arkistönäytteiksi.

Näytteet koalueen massasta lisärunkoaineen sekoittamisen jälkeen kahdesta pisteestä ja molemmista pisteistä 4 syvyydeltä (1 m syvysvälein). Näytteet otetaan urakoitsijan koneella ja näytteet toimitetaan laboratorioon ja niistä määritetään vesipitoisuus, tiheys ja hehikutushäviö. Määrittelyssä käyttämättömät osat näytteistä jätetään arkistönäytteiksi.

3.2 Stabilointityönäikaiset

Näytteet sideainekomponenteista työn alussa, ~2 kg/näyte. Näytteet varastoidaan tiiviisiin astioihin mahdollista myöhempää tarkastelua varten.

Työtappaa seurataan sekoitusmäärän ja ajan suhteen.

Näytteet stabilointityön jälkeen sekoitetusta massasta, 3 pistettä ja 3 syvyyttä/blokki eli 9 näytettä/blokki, ~2 kg/näyte. Näytteet ottaa urakoitsija laadunvalvojan ohjeiden mukaan. Näytteistä valmistetaan lujuuskoekappaleet (tilaajan laadunvalvoja). 3 koekappaleparia jokaisesta koestabiloinnin blokista. Loput näytteistä säilytetään (vähintään 0,5 l).

Niton-mittaukset tehdään ennen lisärunkoaineiden lisäystä, runkoaineen lisäyksen jälkeen ennen stabilointityötä ja stabilointityön jälkeen otetuille näytteille (vain viimeksi mainitut mittaukset tehdään blokkikohtaisesti, muut min. 2 pisteestä/koestabilointialue, 2 syvyytasolta). Stabiloinnin jälkeen mittauksia tehdään harkinnan mukaan 1-3 pisteestä/blokki (2-4 syvyytasolta). Mikäli tulokset ovat tasaisia niin mittaustiheys on esitetyn vaihteluvälin alapää ja tulosten heitellessä mittauksia tehdään esitetty maksimimäärä. Mittaukset on pyrittävä tekemään vakioidusti siten, että aika sideaineen sekoittamisesta mittaukseen ei vaihteleva kovin paljon – tavoitteena aina mittaus saman päivän aikana stabiloiduista näytteistä. Mittauksilla selvitetään sideainemäärän vaihtelua (Huom. ei absoluuttista määrää).

3.3 Työn jälkeen tehtävät

Siipikairaukset kevyellä siipikairalla alkulujittumisen selvittämiseksi. Mittaukset erillisen harkinnan mukaan 1, 3-5, 6-7 ja 14 vrk lujittumisaajan jälkeen. Mittaus 1 m syvyydsvälein 1-3 pistettä/blokki. Mittauspisteiden lukumäärä valitaan sen mukaan minkälainen lujuustaso on saavutettu tavoitteeseen nähden: hyvin alhainen/selvästi liian matala → vähemmän tutkimuksia; lähellä vaatimusta/tavoitetta → laaja testaus; selvä tavoitteen ylitys → suppeammin. Mittausmäärää voidaan pienentää myös siinä tapauksessa että rakentamisen toteuttamista ajatellen asetettu alkulujittumisen tavoitetaso (leikkauslujuus min. 20 kPa) saavutetaan jo ennen 7 vrk lujittumisaikaa.

Pilarikairauksia min. 1 kpl/blokki (suositus 2 kpl/blokki). Kairaukset 28 vrk lujittumisen jälkeen. Tarvittaessa (=mikäli esiintyy lujuuslukuja) lisätutkimukset 90 vrk iässä. Pilarikairauksen toteuttamisesta vastaa urakoitsija.

Siipikairauksia ei tehdä koestabiloinnin yhteydessä.

Jatkuvia näytteitä ei oteta koestabiloinnin yhteydessä.

Puristuslujuusmääritykset.

- Stabilointityön yhteydessä valmistetuista koekappaleista, 6 kpl/blokki, määritetään puristuslujuus (2 lujittumisaikaa, yksittäistestit)
- Koestus tehdään toisesta rinnakkaisnäytteestä 7 vrk lujittumisen jälkeen ja toisesta erillisen harkinnan mukaan joko 28 tai 90 vrk kuluttua näytteenotosta (riippuen teknisen toteutuksen seurannan tarpeesta ja saavutettavista lujuustasoista).

3.4 Tarvittaessa tehtävät määritykset

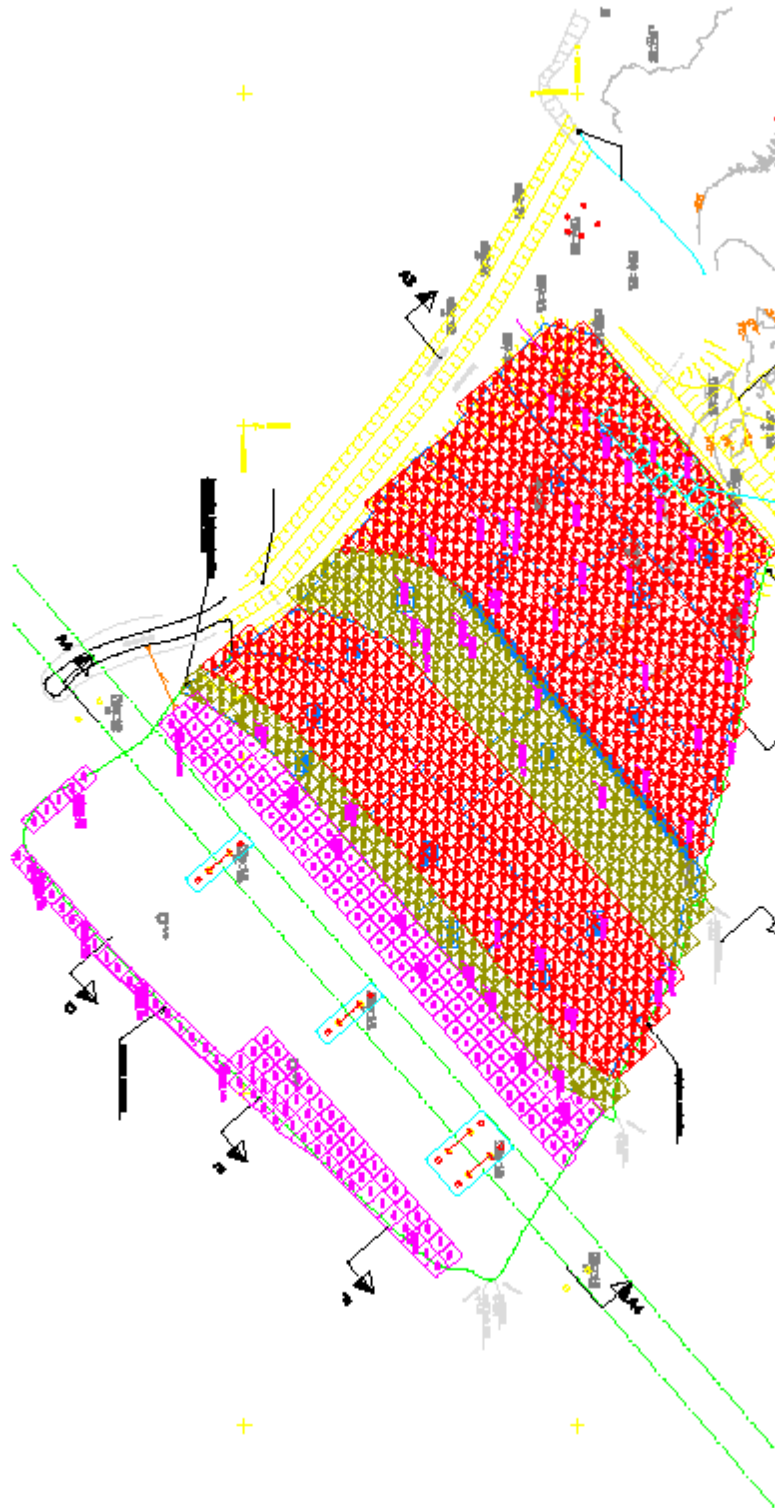
(vain epäselvissä tilanteissa kun tarvitaan lisätietoa työn laadusta/onnistumisesta)

- Sideainemäärien arviointi Niton-mittauksin edellyttää kalibrointisuorien määrittämistä laboratoriossa.
- Sideainemääritykset titraamalla työmaalta otetuista massanäytteistä.
- Siipikairaukset ja/tai jatkuvien näytteiden ottaminen.

4. RAPORTOINTI

Koestabiloinnista laaditaan lyhyt raportti, jossa esitetään:

- Kuvaus koestabilointityön toteutustavasta ja testatut vaihtoehdot, (aikataulu, työsaavutukset, työmaalla tehdyt huomiot, poikkeamat suunnitellusta jne.)
- Tutkimuksissa käytetyt menetelmät,
- Tulokset taulukkomuodossa sekä graafisesti,
- Laadunvalvontatulosten arviointi tuotantostabilointia ajatellen,
 - arvio testattujen vaihtoehtojen ominaisuuksista ja alkulujittumisesta
 - erot eri vaihtoehtojen välillä
 - suositeltava sideainemäärä työn aloitusvaiheessa
 - tuotantostabiloinnin toteutukseen vaikuttavien tekijöiden arviointia koestabiloinnista saatujen tulosten pohjalta



RAMBOLL PURISTIN HEIJARI	KOHDE		TNO	2921	PISTE	4249	KONE	74	
	BIOMAA RAUMA A2/24/1 PK2/100								
	PVM.		28.01.13		TUTK.				
	SUUNN.		TARK.						
MAANPINTA		+0.00		MITTAKAAVA				1:100	
KALLIOPINTA									
PÄÄTTYMINEN		5.40 -5.40		Y		0.0		X 0.0	

