



Sulfidimaiden käsittely tierakentamisessa – case: Vt8 Sepänkylän ohikulku

Kimmo Pasanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

KIMMO PASANEN:

Sulfidimaiden käsittely tierakentamisessa – case: Vt8 Sepänkylän ohikulku
Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2014

Sulfidimaat aiheuttavat ongelmia väylähankkeilla, jos niitä esiintyy massanvaihtoalueella. Massanvaihto johtaa nimittäin sulfidimaiden läjittämiseen, jolloin maa-aines pääsee kosketuksiin hapen kanssa. Hapettunut sulfidimaa taas aiheuttaa useita ympäristöongelmia. Viime vuosina on alettu kehittää vaihtoehtoisia ratkaisuja sulfidimaiden käsittelyyn maarakentamisessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata sulfidimaiden näkökulmasta väylähanketta Vt8 Sepänkylän ohikulku. Tutkimuksessa esitellään sulfidimaiden käsittelyyn liittyvät ratkaisut ja toimenpiteet tien suunnitteluvaiheesta toteutukseen. Lisäksi pohditaan tehtyjen ratkaisujen perusteluja sekä toimivuutta. Väylähanke on Suomessa ensimmäisiä, joilla sulfidimaiden käsittelyyn liittyviä vaihtoehtoisia ratkaisuja on toteutettu käytännössä. Kyseessä on ensimmäinen väylähanke, jonka ympäristöluvassa edellytettiin sulfidimaiden käsittelyä ennen niiden kaivua.

Hankkeen alkuperäisissä tiesuunnitelmissa pehmeikköalueiden pohjanvahvistukset oli esitetty pääosin massanvaihtoina. Skanska Infra Oy:n tarjoustiimi vähensi jo tarjousvaiheessa massanvaihtoilla tehtävien pohjanvahvistusten määrää merkittävästi ja korvasi niitä stabiloinneilla jättäen valtaosan sulfidimaista paikoilleen. Hankkeen aloitusvaiheessa tehtiin useita tutkimuksia sulfidimaiden käsittelyyn liittyen ja tulosten perusteella päätettiin yrittää vähentää massanvaihtoja vielä tarjouslaskennan määrästä. Lopullinen pohjanvahvistusratkaisu sisälsi pilaristabilointia, massastabilointia ja esikuormituspenkereitä. Ainoat kaivettavat sulfidimaat olivat Bölessä sijaitsevan sillan kaivannossa ja rumpukaivannoissa.

Suurimmat ratkaisuun vaikuttaneet syyt olivat sulfidimaiden käsittelyvaatimus ennen kaivua sekä kaivettavan sulfidipitoisen maan valtava määrä. Käsitellyt sulfidimaat olisi pitänyt kuljettaa erilliselle läjityspaikalle hankkeen urakka-alueen ulkopuolelle. Kuljetusta varten olisi pitänyt rakentaa suuri määrä työmaateitä ja yksi silta liikennöitävään kuntoon. Tämä olisi hidastanut hankkeen aikataulua huomattavasti.

Hankkeella tehdyillä ratkaisuilla saavutettiin useita merkittäviä etuja. Ensimmäkin pystyttiin poistamaan suuriin massanvaihtoihin liittyviä määrä- ja painumariskejä. Toisekseen tehdyt toimenpiteet pienensivät merkittävästi työstä aiheutuvaa hiilijalanjälkeä. Kolmanneksi vältettiin massansiirtojen aiheuttamaa ympäristön sotkeentumista ja kuormittumista. Lisäksi valitut ratkaisut säästivät kustannuksia ja helpottivat eri työvaiheiden yhteensovittamista.

Asiasanat: sulfidimaa, sulfaattimaa, sulfidisavi, stabilointi

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering

KIMMO PASANEN

Treatment of sulphide soils in road construction – case Vt8 Sepänkylä bypass

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 4 pages

April 2014

Sulphide soils induce problems with earth construction projects if they are located in soil exchange areas. Exchange of soils results in sulphide clay dumping and as a result clay gets in touch with oxygen. This oxidized clay causes various environmental problems. New and alternative solutions to treat the sulphide soils have been established during the last years.

The aim of this study is to describe sulphide soils in project Vt8 Sepänkylä bypass. The study presents solutions regarding the treatment of soils and describes the whole procedure from road planning to realization. In addition, the study analyses justification and effectiveness of chosen measures. This project is among the first ones in Finland where alternative solutions have been used in practice. The project is also the first one, where pre-treatment of sulphide soils was required in the environmental permit.

In the project's original road plans the subgrade reinforcement of soft soil was suggested to be done mainly by exchange of soils. Skanska Infra reduced significantly the amount of soil exchange already in their proposition. Skanska's idea was to replace soil exchange with stabilization and leave most sulphide soils in place. During the preparation phase of the project Skanska Infra made several investigations about treatment of sulphide clay soils. The results suggested that it would be beneficial to try to reduce the amount of soil exchange even more. The final solution of the subgrade reinforcement included column stabilization, mass stabilization and preloading. Only treated and excavated sulfide soils came from pits of bridge in Böle and culverts.

The main reasons to re-design the subgrade reinforcement of soft soil sections were: the environmental authorities insisted treatment of sulfide soil before excavation and the quantity of exchanged soil containing sulfide was huge. Treated and excavated sulfide soils should have been dumped to an area located in the far edge of the project area. The soils would have been allowed to be hauled only on site routes and on a new bridge. The construction of these roads and new bridge would have slowed down the process.

Decisions made about sulphide clay soils in this project resulted in several considerable advantages. Firstly, decisions reduced the amount risks and settling stage risks. Secondly, decisions decreased significantly the carbon footprint of the project. Thirdly, with less exchanged soils the project was able to avoid contamination and loading of environment. Finally, the chosen solutions saved costs and eased coordination of the work.

Key words: sulphide soils, sulfate soils, sulphide clay, stabilization,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	Tutkimuksen taustaa.....	5
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset.....	6
1.3	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	7
2	HAPPAMAT SULFAATTIMAAT	8
2.1	Mitä happamat sulfaattimaat ovat?	8
2.2	Happamista sulfaattimaista aiheutuvia ympäristöongelmia	10
2.3	Happamien sulfaattimaiden ongelmat rakentamisessa.....	13
3	STABILOINTI.....	15
3.1	Stabilointimenetelmät.....	15
3.1.1	Pilaristabilointi	15
3.1.2	Massastabilointi.....	17
3.1.3	Yhdistetty massa- ja pilaristabilointi	19
3.2	Stabilointityön toteutus.....	20
3.3	Stabiloinnissa käytettävät sideaineet.....	21
3.4	Stabilointitutkimukset	22
4	VT8 SEPÄNKYLÄN OHIKULKU	24
4.1	Yleistä hankkeesta.....	24
4.2	Hankkeen geotekniset haasteet	24
4.3	Tilaaajan suunnitelma	27
4.4	Tutkimukset ja vaatimukset ennen urakkatarjousvaihetta.....	28
4.5	Hankkeen tarjousvaihe	33
4.6	Urakoitsijan tekemät ja teettämät tutkimukset hankkeen aikana	33
4.7	Koestabiloinnit	35
4.8	Syyt massanvaihtojen minimointiin	37
4.9	Stabilointien toteutus.....	39
5	POHDINTA	42
	LÄHTEET	47
	LIITTEET.....	49
	Liite 1. Hankkeen yleiskartta	49
	Liite 2. Pituusleikkaus plv 2500–5500	51

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Happamista sulfaattimaista johtuva vesien happamuus ja metallikuormitus on Suomen suurimpia ympäristöongelmia. Väylähankkeista puhuttaessa sulfidimaat aiheuttavat ongelmia, jos niitä esiintyy massanvaihtoalueella. Massanvaihto johtaa nimittäin sulfidimaiden läjittämiseen ja näin ollen savi pääsee kosketuksiin hapen kanssa. Sade- ja sulamisvedet huuhtovat savea ja happamat vedet leviävät lopulta ympäristöön. Tähän asti läjitettävät savet on ongelman vähentämiseksi sijoitettu pohjaveden alapuolelle tai vähintään peitetty eristävällä ja kestäväällä materiaalilla. Viime vuosina on alettu kehittää vaihtoehtoisia ratkaisuja sulfaattimaiden käsittelyyn maarakentamisessa. (GTK 2009)

Sulfaattimaihin liittyvät kysymykset ovat siis ajankohtaisia, ja Geologian tutkimuskeskus (GTK) tutkii sulfaattimaita tälläkin hetkellä. GTK on toteuttanut yhteistyökumppaneidensa kanssa happamien sulfaattimaiden haittojen torjumiseen suunnatun esiselvityksen, jonka jatkeeksi on alkanut useita hankkeita. Vuoden 2015 loppuun mennessä GTK kartoittaa happamien sulfaattimaiden riskialueet Suomen rannikkoseuduilla. GTK:n tavoitteena on lisätä tiedon kulkua, koulutusta ja neuvontaa. Erityistä huomiota kiinnitetään maankäyttö- ja ehkäisy- sekä torjuntamenetelmien kehittämiseen. (GTK 2012)

Hanke Vt8 Sepänkylän Ohikulku on Suomessa ensimmäisiä hankkeita, joissa vaihtoehtoisia ratkaisuja on toteutettu käytännössä. Tämä tutkimus keskittyykin kuvaamaan sulfidimaiden käsittelyä VT8 Sepänkylän ohikulku –väylähankkeella. Hanke sijaitsee Suomen länsirannikolla, Vaasan seudulla, jossa maaperä sisältää sulfideja. Hankkeessa rakennetaan valtatie uuteen maastokäytävään n. 8 km:n matkalle. Maaperä hankkeen alueella on erittäin haastavaa: isojen moreenin seassa olevien pinta- ja maakivien peittämää kalliota ja toisaalta sulfidipitoista savi- ja silttimaata. Lisäksi hanke menee läpi pohjavesialueen 800 metrin matkalla.

Sulfaattimaita esiintyy hankkeen massanvaihtoalueella, joten ne on otettava rakentamisessa huomioon. Sulfaattimaata ei suositella poistettavaksi ja siirrettäväksi ennen ennakkotoimenpiteitä kuten stabilointia, ja tämän hankkeen ympäristölupaehtoissa edelly-

tettiinkin sulfaattimaiden käsittelyä ennen massojen kaivua. Tällainen vaatimus oli lajissaan ensimmäinen Suomessa. Hankkeeseen liittyi poikkeuksellisten olosuhteiden vuoksi suuri määrä tutkimuksia ja erilaisia vaihtoehtotarkasteluja sulfidimaihin liittyen. Hankkeella tehtyjä ratkaisuja ja toimenpiteitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää vastaavissa sulfaattimaita omaavissa tiehankkeissa.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on kuvata sulfidimaiden käsittelyyn liittyviä kysymyksiä tiehankkeella Vt8 Sepänkylän ohikulku. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa kuvataan, miten prosessi etenee tiesuunnitelmasta toteutukseen sulfidimaiden osalta. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Millaisia ratkaisuja hankkeella tehtiin sulfidimaiden käsittelyyn liittyen?
2. Miksi ratkaisuihin päädyttiin ja miten ne onnistuivat?

Tutkimuskysymysten avulla selvitetään, miten sulfidimaita on kyseisellä hankkeella käsitelty, eli millaisia ratkaisuja on tehty, jotta hanke täyttäisi sille asetetut vaatimukset mahdollisimman kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Lisäksi tehdyt ratkaisut perustellaan, eli selvitetään, miksi on toimittu juuri valitulla tavalla. Lopuksi pohditaan, miten sulfidimaiden käsittelyssä on onnistuttu.

Opinnäytetyössä käsitellään ensin sulfidimaihin ja niiden käsittelyyn liittyvää teoriaa, minkä jälkeen siirrytään tutkittavan hankkeen kuvaukseen. Tutkimuksen ensimmäisessä teorialuvussa (luku 2) määritellään käsite sulfaattimaa, esitellään maiden syntyä, niihin liittyviä ympäristöongelmia ja niiden aiheuttamia haasteita etenkin tierakentamiselle. Toisessa teorialuvussa (luku 3) selvitetään, mitä tarkoitetaan stabiloinnilla, miten stabilointi toteutetaan ja mitä sideaineita stabiloinnissa voidaan käyttää.

Tutkimuskysymyksiin vastataan opinnäytetyön empiirisessä osuudessa. Luvussa 4 kuvataan hanke Vt8 Vaasan ohikulku, sen geologiset haasteet sekä sulfidimaiden käsittelyyn liittyneet tutkimukset ja ratkaisut tiesuunnitelmasta toteutukseen. Lisäksi perustellaan valitut menetelmät ja arvioidaan niiden onnistumista.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Kyseessä on laadullinen case -tutkimus. Aineistona käytetään hankkeen tilaajan (Liikennevirasto) tarjousvaiheessa teettämiä tutkimuksia sulfidimaiden käsittelystä hankkeella (toteuttajana Ramboll Finland Oy). Lisäksi käytetään pääurakoitsijan (Skanska Infra Oy) urakan alkuvaiheessa itse teettämiä tutkimuksia sulfidimaihin liittyen.

Hankkeeseen liittyvien tutkimusten lisäksi on haastateltu Kyösti Ratiaa, joka toimi hankkeen suunnittelupäällikkönä. Opinnäytetyön tekijä on itse toiminut hankkeella työnjohtajana, eli suuri osa käytetystä materiaalista ja tiedoista on peräisin suoraan työmaalta. Tietoa on kertynyt työmaan edetessä niin kokemuksen kuin keskustelujenkin pohjalta.

2 HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

2.1 Mitä happamat sulfaattimaat ovat?

Happamille sulfaattimaille (acid sulphate soil, ASS) ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää, vaan käsitteistö on vaihtelevaa. Suomessa käytetään yleisesti termiä sulfaattimaa (Palko 1994), kun taas Ruotsissa puhutaan sulfidimaasta (esim. Pousette 2007). Harmasen (2007) mukaan hapan sulfaattimaa on yleisnimitys, jonka alle kuuluvat todelliset happamat sulfaattimaat sekä rautasulfideja sisältävät potentiaalisesti happamat maat.

Todellisissa happamissa sulfaattimaissa (actual acid sulphate soil, AASS) sulfidit (S^{2-}) ovat hapettuneet sulfaateiksi (SO_4^{2-}) ja samalla aiheuttaneet maahan happaman kerroksen, jossa pH on alle 4. Potentiaalisesti happamat maat taas sijaitsevat pohjaveden alapuolella, jossa olemassa olevat sulfidit eivät ole vielä hapettuneet ja maan pH on 4-7. (Kangas 2010)

Väriltään happoa tuottava sulfidisavi on yleensä mustaa ja tuoksuu rikin vuoksi mädäntyneelle kananmunalle. Savipaakun hapettoman osan tunnistaa mustasta väristä, minkä voi havaita kuvasta 1. Kuvassa 2 taas näkyy kairattu sulfidimaanäyte, josta voidaan nähdä alaosan tumma, hapeton sulfidimaa.



KUVA 1. Sulfidisavipaakku (Pousette 2007) KUVA 2. Kairattu sulfidimaanäyte (Pousette 2007)

Happamien sulfaattimaiden esiasteet, sulfiittimaat, alkoivat muodostua Itämeren alueelle litorinakauden aikana noin 8000–4000 vuotta sitten. Tuolloin Suomen rannikkoalueet olivat Litorina-meren peitossa. Merivesi oli tuolloin suolaisempaa ja lämpimämpää kuin nyt. Ilmasto oli muutenkin lämmin ja kasvillisuus runsasta. Veteen kuolleet kasvinosat alkoivat kerrostua merenpohjaan, mikä synnytti niukkahappisen tilan, jossa viihtyivät bakteerit alkoivat hajottaa kasvijäämiä. Hajotusprosessissa bakteerit käyttivät meriveden sulfaattia, jolloin muodostui sulfidisedimenttejä. Näin syntynyt sulfidi puolestaan sitoutui maassa esiintyvään rautaan ja synnytti nykyisin rauta-sulfidimaina tuntemamme alueet. Vielä nykyäänkin Itämeren alueella muodostuu sulfidisavea. (Maaseutuverkosto 2009)

Pohjaveden pinnan alapuolella sijaitsevat sulfidimaakerrostumat ovat kemiallisesti vaikeita ja neutraaleja. Maan kohoamisen vuoksi sulfidimaat sijaitsevat kuitenkin nykyään merenpinnan yläpuolella. Pohjaveden pinnan alentuessa ja maakerroksen altistuessa hapelle käynnistyy kemiallisia ja biokemiallisia reaktioita, jotka johtavat happamien sulfaattimaiden syntyyn. Happamat sulfaattimaat sisältävät nimensä mukaisesti normaalia enemmän rikki- ja metalliyhdisteitä. (Maaseutuverkosto 2009)

Sulfidisavea tavataan Suomen länsirannikolla aina Uudeltamaalta Perämeren rannikolle saakka. Sulfidisavikot ovat yleisimpiä Pohjanmaalla ja niitä esiintyy erityisesti Kristiinankaupungin ja Oulun välisellä alueella. Purokosken (1959) mukaan sulfaattimaita esiintyy Etelä-Suomessa rannikon lieju- ja liejusavimailla ja Pohjanmaalla savi-, turve- ja hiekkamailla. Sulfaattimaat muodostuvat usein mereen laskevien jokien suistoihin ja maaston notkelmiin. Sulfidisavien esiintymisvyöhyke ulottuu merenpinnasta noin 80 metrin korkeudelle, mutta suurin osa sulfaattimaista sijaitsee alle 60 metrin korkeudella merenpinnasta. Suomen sulfidimaiesiintymät ovat arvioiden mukaan laajuudeltaan 100 000 -300 000 hehtaaria. Sulfidimaiden sijainti Suomessa näkyy kuvasta 3. (Purokoski 1959, GTK 2009)



KUVA 3. Suomen sulfidimaeesiintymät (GTK 2009)

Maailmanlaajuisesti sulfidisavea arvioidaan esiintyvän noin 20–24 miljoonaa hehtaaria. Sulfaattimaita esiintyy pääasiassa tropiikissa, varsinkin Kaakkois-Aasiassa, Länsi-Afrikan rannikolla, USA:ssa ja Australiassa. Suomen sulfidimaeesiintymät ovat suurimmat Euroopassa. Sulfidimaita löytyy myös Ruotsista, mutta esimerkiksi Tanskassa niitä ei ole. (GTK 2009)

2.2 Happamista sulfaattimaista aiheutuvia ympäristöongelmia

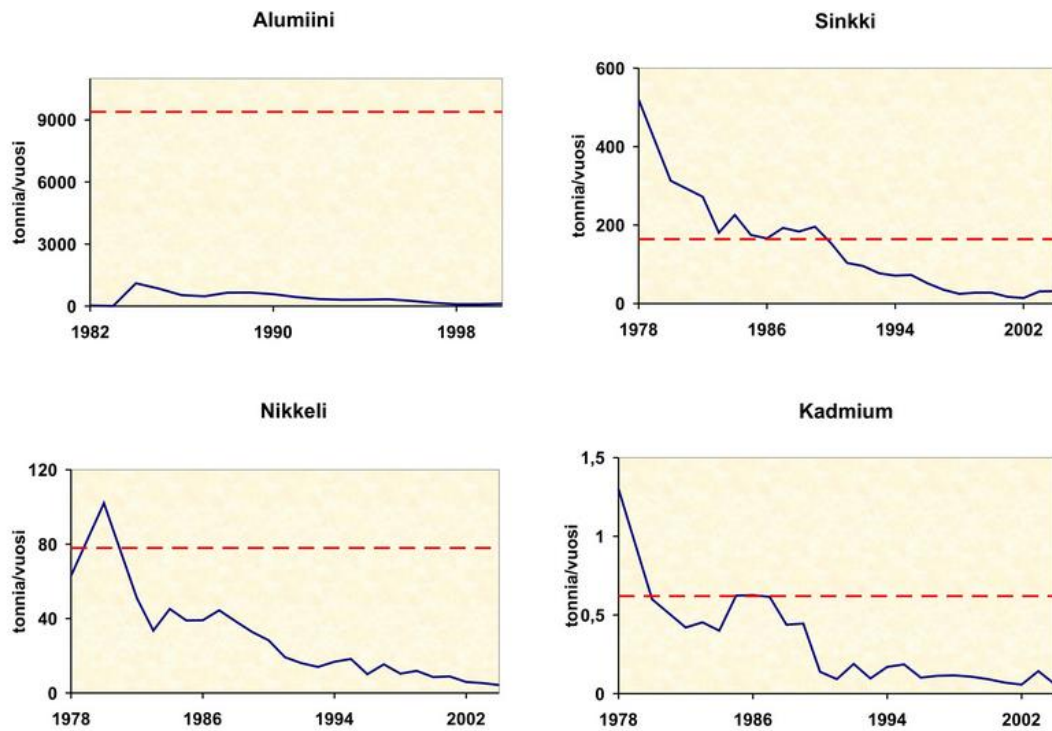
Happamista sulfaattimaista aiheutuvia ongelmia ovat muun muassa pintavesien kemiallisen ja ekologisen tilan heikkeneminen, kalakuolemat, pohjaveden pilaantuminen, kasvillisuuden yksipuolistuminen sekä teräs- ja betonirakenteiden syöpyminen rakentamisessa. Lisäksi sulfidisedimenttialueilla on yleisesti heikot geotekniset ominaisuudet. (GTK 2009)

Maankohoamisen myötä sulfidisavet ovat nousseet merenpinnan yläpuolelle. Luonnon-tilassa sulfidisavikot eivät aiheuta haittaa ympäröivälle luonnolle ja ovat otollisia alueita maanviljelykseen. Luonnon-tilassa sulfidimaat ovat turpeen peittämiä ja tasaisen kosteita maita, eivätkä pääse tekemisiin hapen kanssa. Sulfidimaakerrostuma on kemiallisesti vakaata ja neutraalia, kun se sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella. Pohjaveden pinnan laskiessa joko ojituksen, ruoppauksen tai maan kaivamisen seurauksena aiheutuu ongelmia. (GTK 2009)

Hapen kanssa tekemisiin joutuvan sulfidisaven sisältämät rikkiptoiset mineraalit hajoavat muodostaen rikkihappoa. Rikkihappo syövyttää ja liottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja. Nämä haitta-aineet sitoutuvat maaperään kuivana ajanjaksona ja muodostavat happamia sulfaattimaita. Kostean ajanjaksona sateet ja sulamisvedet huuhtovat sulfaattimaista happamia yhdisteitä ja metalleja ojiin ja sitä kautta vesistöihin. Näiden valumien pH voi alle 3, mikä aiheuttaa tuhoa vesistöissä. Muutos suomalaisten vesien pH:n yleistilaan voi olla tuhatkertainen. Kalakuolemia aiheutuu jo vesistön pH:n laskiessa alle 5,5:n. Maaperästä ja veden kiintoaineksesta liukenee happamien vesien takia alumiinia pintavesiin. Kalojen kiduksiin saostuva alumiini aiheuttaa niiden tukehtumista. (GTK 2009)

Pitkäaikaistutkimus vuodesta 1978 vuoteen 2002 osoittaa, että metallipäästöt happamista sulfaattimaista vesistöihin ylittävät koko teollisuuden päästöt. Tämän voi havaita kuvasta 4, jossa happamien sulfaattimaiden päästöjä verrataan teollisuuden kokonaispäästöihin. Happamien sulfaattimaiden päästöt on kuvattu punaisella katkoviivalla, ja koko teollisuuden metallipäästöjä kuvaa yhtenäinen viiva. Kuvasta voidaan havaita myös, että teollisuus on selvästi vähentänyt omia päästöjään jo 1970–80-luvuilla, mutta sulfaattimaiden päästöt ovat pysyneet samalla tasolla. (GTK 2014)

Vesistöihin kulkeutuvia metalleja ovat muiden muassa mangaani, kadmium, koboltti kupari, sinkki, nikkeli sekä jo edellä mainittu alumiini. Huuhtoumien haittavaikutuksia lisää niiden esiintyminen äkillisesti esimerkiksi sulamisen aiheuttamien kevättulvien ja kuivia ajanjaksoja seuraavien sadejaksojen jälkeen. Vain muutama prosentti valuma-alueen pinta-alasta riittää pilaamaan pintaveden. Ilmastonmuutoksen odotetaan vielä pahentavan ongelmaa. (GTK 2009)



Robert Sundström, Åbo Akademi

Kuva 4. Happamien sulfaattimaiden metallipäästöt ja koko teollisuuden päästöt (GTK 2014)

Vaikka happamien sulfaattimaiden haitat on tiedetty jo 60-luvulta lähtien, happamuushaittojen torjuntaan ja estämiseen on vasta lähivuosina paneuduttu laajamittaisesti. Talven 2006–2007 kalakuolemat Pohjanmaan joissa sekä EU:n vesipuitteidirektiivin asettamat vaatimukset ovat lisänneet huomiota liittyen sulfaattimaiden aiheuttamiin ongelmiin. Maankäyttötapojen muuttaminen on ehkä paras tapa ehkäistä sulfaattimaiden aiheuttamia haittoja. Tehokkain keino haittojen estämiseksi olisi sulfidipitoisen maaperän koskemattomuus, mutta se ei kuitenkaan ole monilla alueilla varteenotettava vaihtoehto. Tehokas keino haittojen estämiseksi on myös pohjaveden korkeuden pitäminen riittävän korkealla ja tasaisena. Säättämällä valuntaua ja virtaamia voidaan myös vaikuttaa vesistöjen happamuuspiikkeihin. (GTK 2009)

Sulfaattimaat ovat pahimmillaan erittäin happamia pH:n ollessa 3–4. Viljelykäytössä niitä joudutaankin kalkitsemaan. Maanpinnan kalkituksella voidaan vaikuttaa ainoastaan muokkauskerrokseen, mutta ei vesien laatuun. Vesistöjen kalkitusta käytetään myös joissain paikoissa, mutta sen vaikutus on paikallinen ja lyhytkestoinen. Kalkitukset voivat aiheuttaa vesistöissä myös muita ongelmia. (GTK 2009)

2.3 Happamien sulfaattimaiden ongelmat rakentamisessa

Maarakentamisen näkökulmasta sulfaattimaita on tutkittu lähinnä Ruotsissa, Luulajan Teknillisessä yliopistossa (esim. Pousette). Tutkimusten ja käytännön kokemuksen perusteella voidaan havaita, että sulfaattimaiden aiheuttamat ongelmat ulottuvat myös maarakentamiseen. Yleisesti ottaen happamien sulfaattimaiden geotekniset ominaisuudet ovat heikot johtuen niiden korkeasta vesipitoisuudesta ja orgaanisen aineksen suuresta määrästä. Ongelmana näillä mailla ovat muun muassa maaperän huono kantavuus sekä painuminen. Lisäksi massat ovat löysyytensä vuoksi hankalia käsitellä. Löysyys aiheuttaa usein ongelmia esimerkiksi läjitettävyyden ja kuljetettavuuden suhteen. Näin ollen sulfaattimaalle rakennettaessa maa on stabiloitava tai kaivettava pois ja korvattava paremmalla maa-aineksella. (Kangas 2010, 21)

Pois kaivettu sulfaattimaa muuttuu happamaksi päästyään tekemisiin hapen kanssa. Tällöin maan sisältämien metallien kuten sinkin (Zn), raudan (Fe), alumiinin (Al), kadmiumin (Cd), nikkelin (Ni) ja kuparin (Cu) liukoisuudet kasvavat. Kaivumassoista voit tästä johtuen helposti liueta ympäristöön runsaasti raskasmetalleja vesien mukana. Yleensä rakentamisen yhteydessä myös pohjaveden pintaa alennetaan, minkä vuoksi raskasmetalleja voi päästä liukenemaan ympäristöön. Happamilla mailla on myös syövyttäviä vaikutuksia esimerkiksi betoni- ja teräsrakenteisiin. Sulfaattimaat eivät kelpaa sellaisenaan myöskään ympäristörakentamiseen, sillä ne ovat liian happamia kasvien kasvualustaksi ilman kalkitusta. (Kangas 2010, 21)

Väylähankkeista puhuttaessa sulfidisavet aiheuttavat ongelmia, jos niitä esiintyy massanvaihtoalueella. Massanvaihto johtaa sulfidisaven läjittämiseen ja näin ollen savi pääsee kosketuksiin hapen kanssa. Sade- ja sulamisvedet huuhtovat savea ja happamat vedet leviävät lopulta ympäristöön. Mikäli rakentamiskohteella epäillään esiintyvän sulfidimaita, tulisi niiden aiheuttamat toimenpiteet ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Hankkeeseen osallistuvilla tahoilla täytyy olla riittävät ennakkotiedot happamien maiden käsittelyyn liittyen. Massojen siirrot tulisi myös olla hyvin suunniteltuna ennen töiden aloittamista. Myös sulfaattimaiden loppusijoituspaikka vaatii paljon ennakkosuunnittelua. Tähän asti läjitettävät savet on ongelmien vähentämiseksi sijoitettu pohjaveden alapuolelle tai vähintään peitetty eristävällä ja kestäväällä materiaalilla. (GTK 2009)

Sulfaattimaiden poistamiseen liittyy siis paljon haasteita ja huomioitavia asioita. Lisäksi sulfaattimaan kaivaminen ja korvaaminen on kallis ratkaisu. Sulfaattimaiden käsittelyyn maarakennuksessa onkin alettu etsiä vaihtoehtoisia tapoja. Esimerkiksi Andersson ja Norrman (2004) ovat tuoneet tutkimuksissaan esille maan stabiloinnin osittain massanvaihtoja korvaavana keinona. Stabilointi perinteisillä sideaineilla, kalkilla ja sementillä, on kuitenkin osoittautunut joissain tapauksissa riittämättömäksi, mutta sekoittamalla seokseen erilaisia aineosia kuten kipsiä ja lentotuhkaa, voidaan saavuttaa parempia lujuuksia. Seuraavassa luvussa kuvataan tarkemmin erilaisia stabilointimenetelmiä sekä stabiloinnin käyttöä massanvaihdon korvaajana.

3 STABILOINTI

3.1 Stabilointimenetelmät

3.1.1 Pilaristabilointi

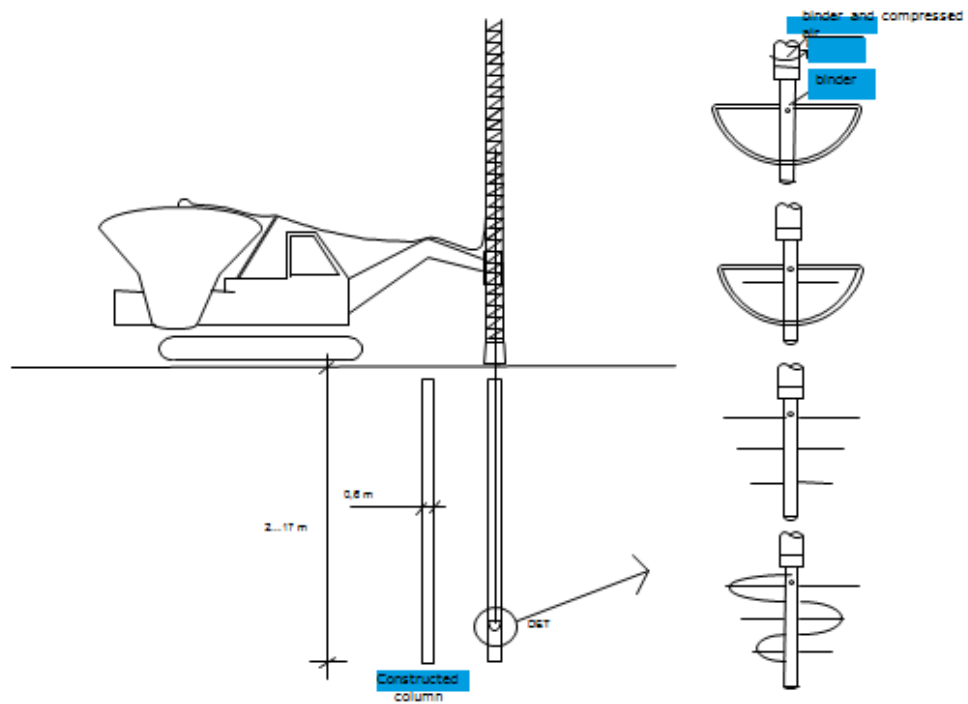
Stabiloinnin tarkoituksena on vahvistaa pehmeitä maakerroksia ja luoda hyvä pohja maarakentamiselle. Yksi stabilointimenetelmistä on pilaristabilointi, jota käytetään runsaasti kokoonpuristuvien savikerrosten vahvistamiseen. Pilaristabiloinnissa sideaine (yleisimmin kalkkisementti) sekoitetaan pohjamaahan niin, että muodostetaan ympäröivää maata lujempia sylinterimäisiä pilareita. (Hautalahti ym. 2007, 17)

Stabiloinnissa pilarointikoneen sekoitinkärki upotetaan pyörittäen pilarin suunnitellun pohjan tasoon. Näin rikotaan saven luonnontilainen rakenne. Tämän jälkeen vaihdetaan kairan pyöriyssiunta ja aloitetaan sideaineen syöttö. Sekoitinkärjen siivekkeet sekoittavat ja levittävät sideaineen kärjen levyiselle alueelle. Pohjoismaissa on yleisesti käytössä ns. kuivamenetelmä, jossa sideaine syötetään maahan jauhemaisena ilmanpaineen avulla. Keski-Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa käytetään taas yleisimmin märkämenetelmää, jossa sideaineeseen sekoitetaan vettä ennen maahan syöttöä. Tätä menetelmää on koemielessä käytetty myös Suomessa. (Liikennevirasto 2010, 11)

Pilaristabiloinnissa käytetään tela-alustaista kaivinkonetta, johon kiinnittyvän pystysuoran maston varassa pyöritetään keilitankoon kiinnitettyä sekoitinkärkeä. Pilareiden halkaisijat vaihtelevat välillä 500–800 mm. Yleisimmin käytetään 600–700 mm halkaisijaa. Sideaine saadaan jakautumaan tasaisesti koko pilarin poikkileikkausalueelle kun halkaisijat ovat pienempiä. Suomessa käytössä olevilla laitteilla päästään yleisesti 18–20 metrin syvyyteen, ja poikkeusjärjestelyillä jopa 24 metrin syvyyteen. Lähelle maksimisyvyyttä mentäessä pilarit eivät kuitenkaan yleensä ole enää taloudellisia (Liikennevirasto 2010, 11). Kuvassa 5 on esitetty pilaristabilointilaitteisto ja kuvassa 6 pilaristabiloinnin periaate.



KUVA 5. Pilaristabilointilaitteisto (kuva Vt8 Sepänkylän ohikulku -hankkeelta)



- $z_{\max} = 16 \dots 25 \text{ m}$

- $d = 0.5 \dots 0.8 \text{ m}$

KUVA 6. Pilaristabiloinnin periaate (Ramboll 2012)

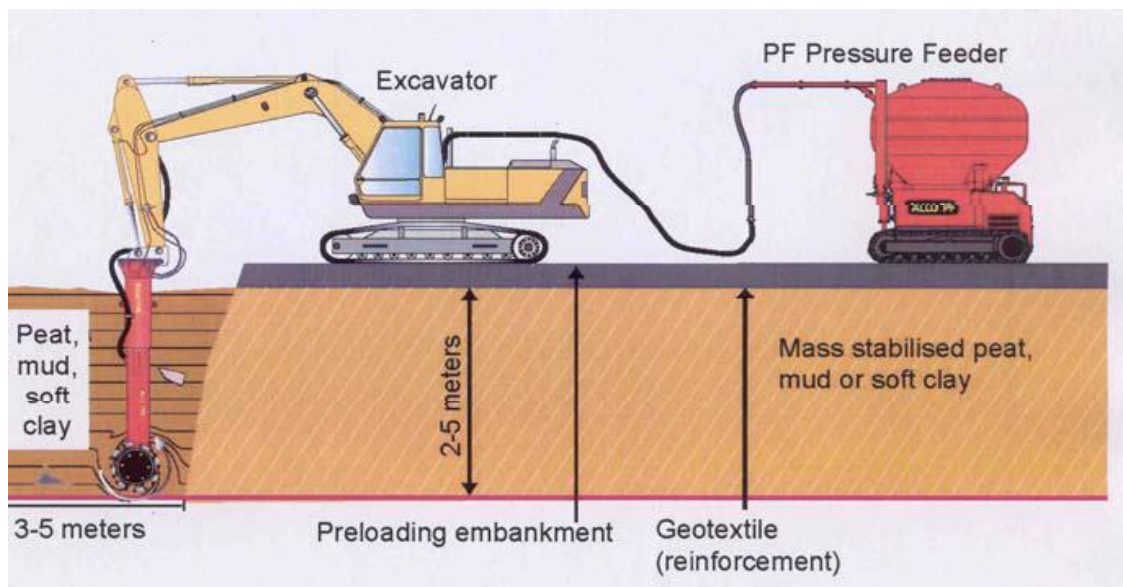
3.1.2 Massastabilointi

Paikalla tehtävässä massastabiloinnissa sideaine sekoitetaan stabiloitavaan maamassaan niin, että lopputuloksena saadaan homogeeninen laattamainen vyöhyke. Massastabiloitavat kohteet ovat usein turve- ja liejukerroksia. Paikalla tehtävän massastabiloinnin avulla voidaan korvata massanvaihtoja. Massastabilointilaitteistoon kuuluu kaivinkoneeseen asennettu sekoituslaitteisto sekä sideaineensyöttöjärjestelmä. Sideaine syötetään liikuteltavasta säiliöstä (5-15 m³) paineilman avulla sekoituslaitteeseen. Massastabiloinnin syvyyssulottuvuus riippuu kaivinkoneen puomiin kiinnitetyn sekoitinlaitteiston varren pituudesta. Nykyisillä laitteistoilla stabilointi voidaan ulottaa noin viiden metrin syvyyteen. (Määttä 2000) Kuvassa 7 on esitetty massastabilointilaitteisto ja kuvassa 8 massastabiloinnin periaate.

Massastabilointia käytetään myös ylijäämäsavien osalta. Ylijäämäsavilla tarkoitetaan savia, joita ei voida sellaisenaan hyödyntää rakennuskohteessa. Ylijäämäsavien stabilointia voidaan suorittaa eri tavoilla. Ensinnäkin sideaine voidaan sekoittaa stabiloitavaan saveen in situ. Tällöin sideaine sekoitetaan maaperässä olevaan luonnontilaiseen saveen, joka sekoituksen jälkeen kaivetaan ylös ja siirretään kohteeseen. Toisekseen sideaine voidaan sekoittaa läjitettyyn saveen. Tällöin savi kaivetaan ensin ylös ja läjitetään välivarastoon tai aumaan, minkä jälkeen sideaine sekoitetaan läjitettyyn massaan. Kolmas ylijäämäsavien massastabilointivaihtoehto on asemasekoitus. Asemasekoituksessa savi syötetään sekoittimeen hihnakuuljettimella ja sideaine putkia pitkin. Sekoittuminen tapahtuu aluksi murskaimessa ja jatkuu ruuvikuljettimessa, minkä jälkeen sekoitunut massa pumpataan kuorma-autoon tai välivarastoon. (Karlstedt ja Halkola 1993)



KUVA 7. Massastabilointilaitteisto (kuva Vt8 Sepänkylän ohikulku -hankkeelta)



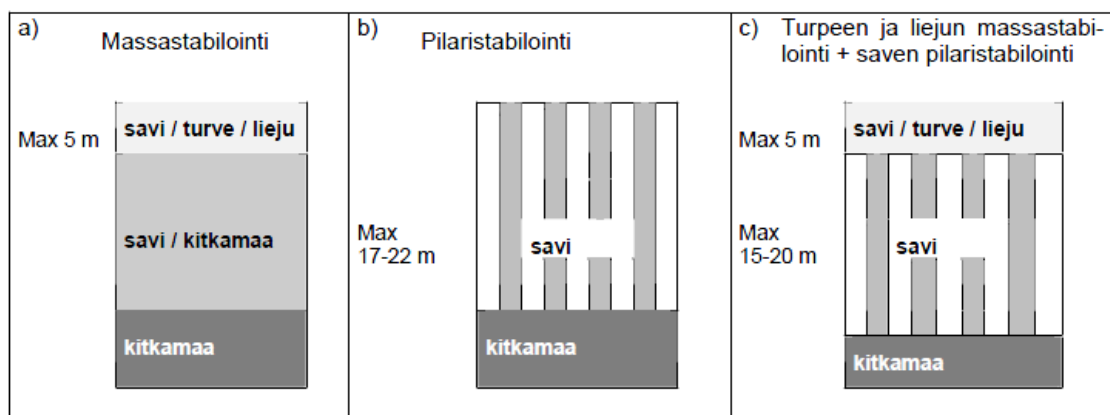
KUVA 8. Massastabiloinnin periaate (Ramboll 2012)

3.1.3 Yhdistetty massa- ja pilaristabilointi

Yhdistetyssä massa- ja pilaristabiloinnissa saadaan aikaan savi-, lieju- ja turvepehmeiköstä rakenne, jossa eri maakerrokset stabiloituvat kantavaksi kokonaisuudeksi. Pehmeikön yläosa muutetaan massastabiloinnin avulla kuivakuorikerroksen kaltaiseksi homogeeniseksi lujittuneeksi laataksi. Laatan alapuolinen savi taas pilaristabiloidaan. Massastabiloitu päällimmäinen kerros jakaa kuormat alla olevaan pilaristabiloituun kerrokseen, joka taas jakaa kuormituksen sen alapuolisiin kantaviin kerroksiin. (Hautalahti ym. 2007, 19)

Yhdistetyssä massa- ja pilaristabiloinnissa käytetään samoja laitteistoja ja menetelmiä kuin erikseen tehtävissä stabiloinneissa. Yhdistetty stabilointi toteutetaan yleensä niin, että pilaristabilointi tehdään työpenkereen päältä, minkä jälkeen massastabiloidaan pintaosat (savi, lieju, turve). Nykyisillä stabilointilaitteistoilla on mahdollista tehdä yhdistetty stabilointi käänteisessä järjestyksessä, jolloin pilaristabilointi tehdään työpenkereen ja massastabiloidun kerroksen läpi. Tällöin massastabilointi toimii kantavana alustana pilaristabilointikoneelle. (Hautalahti ym. 2007, 19)

Stabilointimenetelmän soveltuvuuden määrittää alueen maalaji. Massastabilointi soveltuu erityisesti ohuille (< 5 m) pehmeiköille, jotka koostuvat savesta, liejusta tai turpeesta. Kuivakuorisavi ei sovellu massastabiloitavaksi vähäisen vesipitoisuutensa vuoksi. Pilaristabilointi soveltuu syvien (< 20 m) savialueiden stabilointiin. Yhdistelmästabilointia taas käytetään alueilla, joissa maan pintaosia peittää pehmeä savi-, turve- tai liejukerros, jonka alla on savikerros. (Hautalahti ym. 2007, 19–20) Kuvassa 9 on vielä hahmotettu eri stabilointimenetelmät kuvion avulla.



KUVA 9. Eri stabilointimenetelmät (Hautalahti ym. 2007)

3.2 Stabilointityön toteutus

Pilaristabiloinnissa maastoon merkitään etukäteen kohdat, joihin pilarit tehdään. Merkitsemisen jälkeen pilaristabilointikoneen kuljettaja kohdistaa koneen maston merkityllä kohdalla. Nykyisin käytetään yleisesti myös koneohjausta. Sekoituskärki painetaan pyörittämällä etukäteen määriteltyyn syvyyteen. Samanaikaisesti sekoituskärjen yläsiipien tasolla oleva sideaineen syöttöreikä on pidettävä avoimena paineilmalla puhaltaen. Ylösvetovaiheessa pyörityspotken kiertosuunta vaihdetaan ja sideaine puhalletaan maahan. Pyörityspotken päässä oleva sekoituskärki sekoittaa sideaineen. (Liikennevirasto 2010, 11–12)

Pilarien tekemiseen käytettävä aika riippuu pilarien pituudesta. Yleensä sekoitusterän nostonopeutena pidetään 10–20 mm/terän kierros. Sideainemäärät vaihtelevat kuivamenetelmässä 85–190 kg/m³ välissä. Märkämenetelmässä sideaineen määrä voi olla selvästi suurempi. (Aalto 1998)

Massastabilointi alkaa siitä, että alueelta poistetaan puut, isot kivet, kannot, routa, juuret ja huonosti stabiloituva pintakerros. Massastabiloitava alue rajataan sopivan kokoisiin lamelleihin, yleensä noin 4x4 m². Rajauksessa on perinteisesti käytetty merkkitikkuja, maalia tai narumerkintää. Nykyään käytetään yleisesti myös koneohjausta. Stabilointi aloitetaan painamalla sekoitinlaitteiston terä stabiloitavaan kerrokseen. Tämän jälkeen aloitetaan sideaineen syöttö ja terän pyörittäminen. Sekoitusta jatketaan sekä pysty- että vaakasuunnassa kunnes sideaine on sekoittunut tasaisesti stabiloitavaan maahan. Viekkäisten lamellien raja-alueella sekoitustyö on tehtävä kumpaankin suuntaan rajan yli, jotta massa saadaan tasaisesti sekoitettua koko massastabiloitavalla alueella. (Hautalahti ym. 2007, 20)

Yleensä yhden lamellin sekoittamiseen kuluu aikaa 15–20 minuuttia. Stabiloinnin päälle asetetaan välittömästi geotekstiili, jonka päälle ajetaan 0,5 – 1 metrin korkuinen työpenger karkeasta kiviaineesta. Työpenger tehdään noin neljän tunnin kuluessa stabiloinnista ja työskentelyä jatketaan sitten penkereen päältä. (Määttä 2000)

Kun stabilointi on suoritettu ja alueelle on tehty laaduntarkistuskairaukset, voidaan työpengeren päälle levittää tarvittaessa painopenger. Sen tarkoituksena on tiivistää stabiloitua massaa ja aiheuttaa suurin osa painumista stabiloidun kerroksen alapuolella jo

ennen varsinaista rakentamista. Massastabiloidun alueen painumista on tärkeä seurata painumamittauksin. Painopenger voi toimia stabiloinnin päälle rakennettavien maarakenteiden osana. (Mäntynen 2013, 11)

3.3 Stabiloinnissa käytettävät sideaineet

1980-luvun loppupuolelle asti selvästi yleisin sideaine oli pelkkä poltettu kalkki. Kalkin hyviä ominaisuuksia ovat hyvä diffuuntoituvuus, sitkeysominaisuudet sekä lujittumisen jatkuminen vielä käyttöaikana. Huonoina puolina voidaan mainita suhteellisen matalaksi jäävä lujuus sekä soveltumattomuus humuspitoisten savien stabilointiin. (Liikennevirasto 2010, 12)

Toinen käytetty sideaine on sementti. Pelkällä sementillä voidaan laboratorioolosuhteissa saavuttaa todella hyviä lujuuksia, mutta käytännössä sekoitustyön epätasaisuus aiheuttaa maastolujuuksien jäämisen huomattavasti matalammalle tasolle. Sementtipilarit ovat yleensä hauraita ja lähinnä puristusrasituksia kestäviä. (Liikennevirasto 2010, 12)

1990-luvun alusta lähtien suosituin sideaine on ollut edellä mainittujen kalkin ja sementin seos. Yhdistelmä tarjoaa paremman lujuuden kuin pelkällä kalkilla ja toimii myös humuspitoisissa savikerroksissa, kun sideainetta käytetään riittävästi. Kalkki myös estää sementin epäedullisia vaikutuksia. Yleisin sekoitussuhde on 1:1, mutta muutkin suhteet ovat työteknisesti mahdollisia. (Liikennevirasto 2010, 12)

Eräs yleisesti käytetty sideaine stabiloinnissa on myös Nordkalkin valmistama GTC – tuote. Tuote koostuu kipsistä, sammutetusta kalkista ja sementistä. Kyseinen sideaineyhdistelmä on todettu monessa tapauksessa parhaaksi, erityisesti se soveltuu vaikeasti lujittuvien liejujen ja sulfidisavien stabilointiin. Tuote on tullut markkinoille syyskuussa 2007. (www.nordkalk.fi)

Viime aikoina on tutkittu ja käytetty myös uusia sideaineita. Edellä mainittujen ainesten lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi jauhettua masuunikuonaa, lentotuhkaa sekä muita teollisuuden sivutuotteita. Ennestään tuntemattomalla sideaineseoksella saavutettavan lujuuden määrittäminen ja sideaineen työtekniikan kelpoisuuden selvittäminen vaativat maas-

tossa tehtäviä koestabilointeja. Lisäksi sideaineen ympäristökelpoisuus on selvitettävä. (Liikennevirasto 2010, 12–13)

3.4 Stabilointitutkimukset

Sideaineen toimivuuteen vaikuttavat useat tekijät: maan vesipitoisuus, kemiallinen koostumus, vallitseva paineolosuhde ja raekoko. Näille tekijöille ei ole löydetty teoriaa yhteisvaikutuksesta, joten kokeellinen mitoitus on ainoa tapa varmistaa sideaineen toimivuus työkohteessa.

Stabilointityön laadun varmistamiseksi ennen työn aloittamista on siis tehtävä suuri määrä tutkimuksia. Esitutkimukset on hyvä aloittaa jo ennen varsinaisen suunnittelun aloitusta, sillä tutkimuksen vaiheistus ja eri tekijöiden optimointi vie aikaa. Stabiloitavuuskokeiden toteuttamiseen menee hankkeesta riippuen 1-7 kuukautta. Minimissään tutkimusten tulisi perustua 30 vuorokauden kokeille, mutta suositeltavaa olisi hyödyntää 90 vuorokauden tutkimustuloksia. Lujuuden lisäys saattaa nimittäin olla aikavälillä 30–90 vuorokautta jopa 100 %. (Hautalahti ym. 2007, 22)

Stabiloitavuustutkimukset jakaantuvat neljään tutkimusvaiheeseen. Näitä seuraavat vielä tutkimustulosten esittäminen sekä mitoitusparametrien määrittäminen. Ensimmäisessä tutkimusvaiheessa pyritään valitsemaan mahdollisimman hyvin kokonaisuutta edustavat tutkimuspisteet ja otetaan näytteet peruskokeita varten. Tutkimuspisteistä tutkitaan ensin pehmeikön ominaisuuksien vaihtelut sekä maaperän leikkauslujuus. Tutkimusalueelle asennetaan lisäksi pohjavesiputket, jotta voidaan seurata pohjaveden pinnan korkeutta. (Aalto 1998; Liikennevirasto 2010, 19)

Tämän jälkeen siirrytään peruskokeisiin laboratoriossa. Vaiheessa tutkitaan näytteiden geokemialliset ja geotekniset ominaisuudet. Geoteknisiä ominaisuuksia ovat muun muassa suljettu leikkauslujuus, kokoonpuristuvuus, vedenläpäisevyys, vesipitoisuus, rakeisuus, maalajimääritys, tilavuuspaino ja sensitiivisyys. Geokemiallisia ominaisuuksia taas ovat humuspitoisuus, pH, kationinvaihtokyky, rikkipitoisuus, kloridipitoisuus ja karbonaattipitoisuus. Maalajien ominaisuuksien perusteella voidaan alustavasti arvioida, millaiset sideaineet soveltuisivat kohteeseen. (Hautalahti ym. 2007, 23)

Kolmannessa vaiheessa otetaan näytteet stabiloitavuustutkimuksia varten. Näytteistä tehdään koekappaleet mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Koekappaleiden tekoon asti näytteet on säilytettävä ilmatiiviisti pakattuna. Neljännessä vaiheessa tehdään varsinaiset stabiloitavuuskokeet optimisideaineen löytämiseksi. Koetulosten perusteella voidaan valita sopivin sideainevaihtoehto, optimaalinen sideainemäärä sekä määrittää alustavasti mitoituksessa tarvittavat puristuslujuus ja muodonmuutosmoduuli. (Aalto 1998)

Suurissa pilari- ja massastabilointikohteissa suositellaan koestabilointia ennen varsinaisen stabilointityön aloittamista. Näin voidaan tarkistaa laboratorioskokeiden tulokset luonnollisissa olosuhteissa. Koestabilointi suositellaan sijoitettavaksi varsinaisen stabilointialueen ulkopuolelle. (Hautalahti ym. 2007, 25)

4 VT8 SEPÄNKYLÄN OHIKULKU

4.1 Yleistä hankkeesta

Hankkeen ensimmäiset suunnitelmat on tehty jo 1970-luvulla. Rakennussuunnitelmia-kin on vuosien varrella ehditty tekemään jo kolme kappaletta ennen hankkeessa varsinaisesti toteutettavaa suunnitelmaa. Hanke sijaitsee Vaasan kaupungin ja Mustasaaren kunnan alueilla, jonne rakennetaan valtatie uuteen maastokäytävään noin 8 kilometrin matkalle. Hanke sisältää neljä eritasoliittymää ja 9 siltaa. Hankkeeseen sisältyy maa-ainesten käsittelyjä pohjavesialueilla ja herkissä luontoympäristöissä. Maaperä urakka-alueella on erittäin haastavaa: isojen moreenin seassa olevien pinta- ja maakivien peittämää kalliota ja toisaalta sulfidipitoista savi- ja silttimaata. Lisäksi valtatie menee läpi pohjavesialueen 800 metrin matkalla.

Alueella on tehty pohjatutkimuksia esisuunnitteluvaiheessa sekä tie- ja rakennussuunnitteluvaiheessa. Tutkimuksia on täydennetty v. 2011–2012 muun muassa tekemällä koekuoppatutkimuksia pohjamaan sulfidipitoisuuksien määrittämistä varten. Urakka toteutetaan suunnittele ja toteuta –mallilla (StKu), joka tarkoittaa, että valittu urakoitsija kehittää tilaajan laatimaa rakennussuunnitelmaa. Hankkeen tie- ja rakennussuunnitelmat on laatinut Etelä-Pohjanmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Hankkeen yleiskartta löytyy liitteestä 1 ja pituusleikkaus liitteestä 2.

4.2 Hankkeen geotekniset haasteet

Hanke menee läpi kahden pehmeikköalueen, joita ovat peltoaukeat Bölen ja Karperön alueilla. Alueen paksuimpien pehmeiköiden koheesiomaakerrosten paksuus on noin 12–16 metriä. Syvien pehmeikköjen maaperä koostuu pääasiassa siltistä, liejusta tai savesta, jotka sisältävät paikoin runsaasti sulfideja. Laajojen pehmeikköjen lisäksi hankkeen alueelta löytyy myös matalia, pienialaisia pehmeikköjä. Maasto on peltoaukeilla hyvin tasaista ja pohjaveden pinta erittäin lähellä maanpintaa. Tämä on tehnyt kuivatussuunnittelun haasteelliseksi sekä lopullisen rakenteen osalta että työn aikaisesti. Kuvassa 10 näkyy pehmeikköalue sekä tuleva tielinja ennen rakentamisen aloittamista.



KUVA 10. Pehmeikköalue sekä tuleva tielinja

Sulfaattimaiden lisäksi alueen kallionpinta on hyvin monimuotoista ja paikoin teräväpiirteistä. Osa kallion päällä olevista lohkareista on niin isoja, että perinteisen kalliovarmistuksen mukainen tulkinta antaa väärän tulkinnan. Kalliopinnan määrittämiseksi ainoa luotettava menetelmä on paljastaminen kaivamalla. Peltoaukeita lukuun ottamatta tielinjalla on hyvin paljon pintakiviä, suurin yksittäinen pintakivi on yli 360 m³. Erittäin runsas pinta- ja maakivien määrä hidastaa ja vaikeuttaa väylän rakentamista monella tavalla. Sulfidisavien käsittelyn osalta kivisyys aiheuttaa omat ongelmansa esimerkiksi massastabiloinneissa. Pehmeiköilläkin maaperässä pehmeiden maakerrosten alapinnassa ja reuna-alueilla esiintyy paikoin suuria kiviä. Kuvassa 11 on havaittavissa maaston runsas pintakivien määrä. Kuvassa 12 näkyy tielinjalla oleva siirtolohkare ennen rakentamisen aloittamista.



KUVA 11. Pintakiviä hankkeen maastossa



KUVA 12. Siirtolohkare tielinjalla

Maasto oli siis hyvin vaihtelevaa. Tämän voi havaita kuvasta 13, jossa olevan kallioleikkauksen taustalla näkyy Karperön pehmeikköä.



KUVA 13. Kallioleikkaus ja Karperön pehmeikköä

4.3 Tilaajan suunnitelma

Kuten todettu, hankkeen toteutusmuotona on StKu-urakka, jossa urakoitsija tarkastaa rakennuttajan rakennussuunnitelman ja saa tehdä omat suunnitelmamuutokset tuotevaatimusten puitteissa. Tie- ja rakennussuunnitelmat on laatinut Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

Hankkeen alkuperäisissä rakennussuunnitelmissa pehmeikköalueiden pohjanvahvistus on esitetty tehtäväksi pääosin massanvaihtona tai osittaisena massanvaihtona sekä esikuormituspenkereillä ja niihin liittyvillä kevytsorakevennyksillä. Karperön eritasoliittymän penkereiden osalta pohjanvahvistus toteutetaan paalulaatoilla. Pehmeiden maakerrosten paksuudesta johtuen massanvaihdot olisivat olleet varsin syviä etenkin Karperön alueella, jonne sijoittuvat kaikkein paksuimmat pehmeiköt.

Bölen pehmeikön osalta suunnitelmassa ehdotettiin tehtäväksi noin 2-6 m syvä massanvaihto, jossa pehmeät koheesiomaakerrokset kaivetaan pois kitkamaakerrok-

seen/kallioon saakka. Massanvaihdon täytön jälkeen rakenteelle olisi pitänyt jättää painuma-aikaa vähintään 3 kk.

Karperön pehmeiköllä esitettiin tehtäväksi noin 5-7 metriä syvä osittainen massanvaihto kaivamalla, jossa pehmeät koheesiomaakerrokset kaivetaan pois esitettyyn leikkaussyvyteen saakka. Massanvaihdon päälle olisi tehty painopenger tasoon tsv +2m ja penkereelle olisi varauduttu osittaisen massanvaihdon vuoksi jättämään painuma-aikaa 2 vuotta. Molempien pehmeikköjen massanvaihtojen täyttömateriaalina olisi käytetty louhetta. Massanvaihtoja oli suunniteltu tehtäväksi kaikkiaan 393 000 m³rtr. Taulukossa 1 on kuvattuna tiesuunnitelman mukaiset päämassat ja niiden määrät.

TAULUKKO 1. Tiesuunnitelman mukaiset päämassat

	Yksikkö	ELY, 2011
Maaleikkaus	m ³ _{ktr}	602 970
Avolouhinta	m ³ _{ktr}	205 375
Penkereet	m ³ _{rtr}	348 010
Louherakenteet	m ³ _{rtr}	276 500
Massanvaihto	m ³ _{rtr}	393 200
Kevytsorarakenteet	m ³ _{rtr}	18 750
Pilaristabilointi	pilari-m _{tr}	0
Massastabilointi	m ³ _{rtr}	0
Paalulaatat	m ²	7 000

Esikäsittelyvaatimuksen mukaan ympäristöluvassa edellytettiin kaikkien poiskaivettavien sulfidimaiden stabilointia. Vaatimus sulfidimaiden massastabiloinnista ennen kaivua tuli kuitenkin vasta tarjouspyyntöasiakirjojen laadintavaiheessa, tiesuunnitelman valmistumisen jälkeen. Tämän vuoksi yllä olevassa taulukossa ei ole esitetty tehtäväksi pilari- eikä massastabilointia.

4.4 Tutkimukset ja vaatimukset ennen urakkatarjousvaihetta

Liikennevirasto teetti Ramboll Finland Oy:lla tutkimuksia sulfidisaven käsittelyyn liittyen jo hankevalmisteluvaiheessa. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää hankkeella esiintyvien sulfidipitoisten maiden stabiloitavuutta ja ympäristökelpoisuutta. Tutkimuksessa selvitettiin myös stabilointiin soveltuvia sideaineita sekä alueella syntyvän lento-

tuhkan käyttöä stabiloinnin sideaineena yhdessä kaupallisten sideaineiden kanssa. Tavoitteena oli löytää kustannustehokkaita ratkaisuja, joilla saadaan sulfidisaviongelman hallintaan ja tutkia mahdollisuutta teollisuuden sivutuotteen (lentotuhka) hyödyntämiseksi.

Stabiloitavuustutkimuksissa tutkittiin seuraavia sideainevaihtoehtoja:

- Yleis = Finnsementin yleissementti (CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N)
- SR = Finnsementin sulfaatinkestävä SR-sementti (CEM I 42,5 N)
- KJ400 = Finnsementin masuunikuonajauhe
- CaO = Nordkalkin poltettu kalkki
- GTC = Nordkalkin kipsin, sammutetun kalkin ja sementin seos
- LT1 = Vaasan Vaskiluodon voiman lentotuhka (näyte-erä 1/2010)
- LT2 = Alholmens Kraftin lentotuhka (näyte-erä 1/2010)

Stabilointitutkimuksissa oli tavoitteena löytää resepti, jolla saavutettaisiin viimeistään 180 vuorokauden iässä puristuslujuus 200–300 kPa. Materiaalia, jonka puristuslujuus jää alhaisemmaksi suunniteltiin hyödynnettäväksi meluvallimateriaalina (tavoitelujuus 50–100 kPa). Stabiloituvuus- ja ympäristökelpoisuustestausta varten otettiin näytteitä kahdesta koekuopasta tielinjaukselta. (Ramboll Finland Oy 2011)

Kuvassa 14 on kuvattuna koekuoppa. Kuopan profiilissa erottuu ylimpänä vaaleampi maakerros, joka on jo hapettunutta sulfaattimaata. Noin metrin syvyydellä väri muuttuu mustaksi. Musta maa edustaa hapettumatonta sulfidimaata. Kuvassa 15 näkyy pelkistyneessä tilassa oleva sulfidimaa (musta), joka on kuvassa vasemmalla ja hapettunut sulfaattimaa on oikealla. (Ramboll Finland Oy 2011)



KUVA 14. Koekuoppa



KUVA 15. Pelkistyneessä tilassa oleva sulfidimaa ja hapettunut sulfaattimaa

Stabiloituvuustutkimusten yhteydessä tarkasteltiin sideainelaadun ja -määrän vaikutusta stabilointitulokseen. Tutkimusten tarkoituksena oli määrittää tavoitelujuuden saavuttamiseen soveltuva sideaineresepti kahta eri massastabilointisovellusta varten. Ensisijaisesti reseptointi tehtiin ajatellen massastabilointia, jossa sulfidimaa stabiloidaan ja jätetään alkuperäiselle paikalleen. Tässä sovelluksessa stabiloidun massan tavoitelujuudeksi valittiin 200–300 kPa. Toissijainen vaihtoehto oli sulfidimaan poiskaivu ja hyötykäyttö stabiloituna meluvallirakenteessa. Tällöin stabiloidun massan tavoitelujuudeksi on valittu 50–100 kPa luokkaa. (Ramboll Finland Oy 2011)

Teknisten stabiloituvuustestitulosten perusteella lupaavimmat sideainevaihtoehdot olivat GTC ja GTC+LT2 (Alholmens Kraftin lentotuhka). Yleisestimentin ja Vaskiluodon Voiman Vaasan voimalaitoksen lentotuhkilla saatiin myös hyviä tuloksia, kun kaupallisen sideaineen osuus oli riittävän korkea. (Ramboll Finland Oy 2011)

Tutkimuksissa havaittiin, että lujuustulokset eri syvyyksillä poikkesivat suuresti toisistaan. Pintanäytteet lujittuvat selkeästi huonommin kuin yli 3 m syvyudessa sijainneet näytteet. Lujittumiserot johtuvat todennäköisesti pH-tasoista. PH:n ollessa matala, osa sideaineiden "tehosta" todennäköisesti kului neutraloiviin reaktioihin ja lujittuvien sidosten muodostuminen jäi vähäisemmäksi kuin näytteillä, joiden pH oli jo valmiiksi korkeampi. Aikalujittumista oli havaittavissa erityisesti pelkällä GTC:llä valmistetuilla seoksilla. Myös GTC+LT –seoksilla on havaittavissa aikalujittumista. PH-seurannassa käsittelemättömien sulfidimaanäytteiden pH-tason lasku oli selvä. Tulokset vahvistavat sulfidisavien tiedossa olevaa happamoittavaa vesistövaikutusta. (Ramboll Finland Oy 2011)

Tutkimuksen johtopäätösten mukaan lentotuhkalla voidaan korvata kaupallista sideainetta. Sulfidisaville on löydettävissä sideaineresepit, joilla massastabilointi sekä massastabiloinnin ja pilaristabiloinnin yhdistelmä on mahdollista tehdä. Pilaristabiloita-ville alueille on todennäköisimmin tehtävä massastabilointia saven pintaosiin, sillä kerroksissa, joissa pH-taso on hapan, stabiloituminen on selkeästi heikompaa kuin alemmissä, pH-tasoltaan neutraaleissa ja emäksisissä kerroksissa. (Ramboll Finland Oy 2011)

Tulosten mukaan pintaosan stabiloinnin reseptointia tulee jatkaa, jotta löytyy sideaineresepti, jolla saavutetaan riittävä lujuustaso. Pelkällä lentotuhkalla voidaan säätää

happaman saven pH-tasoa, mutta happaman saven lujittamiseen lentotuhka yksinään ei riitä. Stabiloidun saven sijoittaminen melu- ja maisemavalleihin on mahdollista, eikä happamoittavaa vaikutusta synny rakentamisen aikana. (Ramboll Finland Oy 2011)

Kaupallisista sideaineista GTC toimii selvästi sementtiä tai kalkki-sementtiä paremmin. Näin ollen syvemmillä pilaristabiloitavilla osuuksilla suositellaan GTC:n käyttöä. Huonommin lujittuvat pintaosat suositellaan käsiteltäväksi massastabiloimalla. Massastabilointi on tehtävissä myös GTC:llä, mutta GTC:n ja lentotuhkan seoksella saadaan GTC:n määrää vähennettyä oleellisesti. (Ramboll Finland Oy 2011)

Pois kaivettaville massoille suositellaan tutkimuksessa tehtäväksi massastabilointi ennen kaivua, jolloin vältetään sulfidisaven varsin nopea happamoituminen ja sen aiheuttamat ympäristöriskit. Näille massoille on mahdollista tehdä stabilointi pelkästään lentotuhkalla. Massastabilointi kiinteyttää saven siten, että sen kuljetus- ja läjitystyöt helpottuvat. Stabiloitu savi ei valu kuljetuksen aikana kuljetusreitille. (Ramboll Finland Oy 2011)

Ramboll:n tutkimuksessa tutkittiin kahta lentotuhkaa: Vaskiluodon Voiman Vaasan voimalaitoksen lentotuhkaa sekä Pietarsaareissa sijaitsevan Alholmens Kraftin voimalaitoksen lentotuhkaa. Alholmens Kraftin tuhka osoittautui selkeästi paremmaksi stabiloinnin sideaineeksi. (Ramboll Finland Oy 2011)

Kyseisessä stabiloituvuustutkimuksessa on selvitetty ympäristöllisesti ja teknisesti parhaiten toimivat sideaineet. Ennen stabilointityötä sideainemäärät täytyisi vielä tarkistaa laboratoriotutkimuksilla eri syvyyksillä (syvimmistä kerroksista ei ole stabiloituvuustutkimuksia tehty) sekä alueen eri osissa. Raportissa suositeltiin myös pitkäaikaislujittumiskokeiden toteuttamista. Niiden avulla sideainemääriä on mahdollista pudottaa merkittävästikin. Lisäksi todettiin, että paikalla stabilointi vähentää merkittävästi neitseellisten luonnonvarojen käyttöä sekä CO₂-päästöjä verrattuna massanvaihtoihin. (Ramboll Finland Oy 2011)

4.5 Hankkeen tarjousvaihe

Edellä kuvattu Ramboll Finland Oy:n Liikennevirastolle tekemä tutkimus oli käytettävissä hankkeen tarjousvaiheessa. Koska massastabiloinnin lopullinen resepti jäi vielä epäselväksi, käytettiin urakkatarjousten laskennassa sideaineen määrää 150 kg/m³. Skanska Infra Oy:n tarjoustiimi vähensi urakkaa laskiessaan massanvaihtoilla tehtävien pohjanvahvistusten määrää merkittävästi ja korvasi niitä stabiloinneilla.

4.6 Urakoitsijan tekemät ja teettämät tutkimukset hankkeen aikana

Kun hanke saatiin käyntiin loppuvuodesta 2011, jatkettiin alueella esiintyviin sulfidimaihin liittyviä tutkimuksia pääurakoitsijan toimesta. Tavoitteena oli kartoittaa sulfidimaiden todellinen laajuus sekä löytää lopullinen resepti sulfidimaiden stabilointiin.

Toteutusvaiheen alussa hankkeella tehtiin normaalien lisäpohjatutkimusten lisäksi jokaiselle aikaisemmassa suunnitelmassa esitetylle massanvaihtokohteelle koekuoppa- ja maanäytetutkimukset aina moreenikerrokseen asti. Näin selvitettiin maakerroksia, veden virtausta maan sisällä ja maa-aineksen rakeisuus ja kemiallinen koostumus. Tutkimusten perusteella voitiin jaotella maaperät voimakkaasti sulfidipitoisiin ja ns. tavanomaisiin.

Tutkimustulosten perusteella voitiin todeta hankkeen alueella olevan sulfidimaan sijaitsevan yhtä poikkeusta lukuun ottamatta tason +3 alapuolella. Tason +3 yläpuolelta sulfidimaita löytyi ainoastaan hankkeen loppupäässä sijainneesta pienestä pehmeiköstä. Tehdyillä koekuoppatutkimuksilla pystyttiin rajaamaan merkittävä määrä hankkeen pehmeiköistä sulfidimaaluokituksen ulkopuolelle. Sulfidimaiden todellinen määrä oli siis pienempi kuin alun perin oletettiin. Tarkentavista tutkimuksista saadun tiedon ansiosta massastabiloinnin määrä vähentyi huomattavasti. Tutkimustulokset esiteltiin ympäristöviranomaisille, joiden kanssa sovittiin lopulliset käytännön toimenpiteet. Tehdyt tutkimukset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Urakoitsijan teettämät ja tekemät tutkimukset hankkeen alkuvaiheessa

	Tutkimus- tyyppi		Määrä	Tulos
Maasto- tutkimukset	Kairaukset			
		Painokairaus	10	Maakerrosrajat
		Porakonekairaus	15	Kallion pinta
		Puristin-heijari- kairaus	50	Paalujen tunkeutumistaso, maaparametrit
		Siiplikairaus	6	Suljettu leikkauslujuus
	Maanäytteet			
		Häiriintyneet näytteet	175	Näytteet laboratorioon
		Häiriintymättömät näytteet	2 pisteestä	Näytteet laboratorioon
Laboratorio- tutkimukset		Koekuopat	11	Näytteet laboratorioon, visuaalinen tulkinta
	Normaalit testisarjat	Maalaji, humus, vesipitoisuus	noin 150 kutakin	Maalaji, maaperäolosuhteet
	Erikois- tutkimukset			
		Konsolidaatiokokeet	2 pisteestä	Maan kokoonpuristuvuus
		pH	35	Happamuus
		Redox	35	Happitasapaino
		Kokonais-S %	21	Rikkipitoisuus
		NAG	10	pH:n alenemapotentiaali
	Stabilointikokeet	4 pisteestä	Maan lujittuminen ja pH-tason säättäminen	

Tehdyt tutkimukset vahvistivat ennakkokäsitystä siitä, että tiesuunnitelmassa ehdotetut massanvaihdot voitaisiin korvata lopullisessa toteutuksessa stabiloinneilla ja valtaosa sulfidisavista jättää stabiloituina paikoilleen. Kuten todettu, jo hankkeen tarjousvaiheessa Skanska Infra Oy:n tarjoustiimi oli vähentänyt massanvaihdolla tehtävien pohjanvahvistusten määrää merkittävästi ja korvannut niitä stabiloinneilla. Nyt tehtyjen tutkimusten tulosten perusteella voitiin kuitenkin asettaa vieläkin haastavampi tavoite. Pehmeikköjen pohjanvahvistuksia päätettiin lähteä suunnittelemaan mahdollisimman paljon stabiloinneilla tehtäväksi, jotta massanvaihtojen määrää voitaisiin vähentää vielä tarjouslaskennan aikaisesta määrästä.

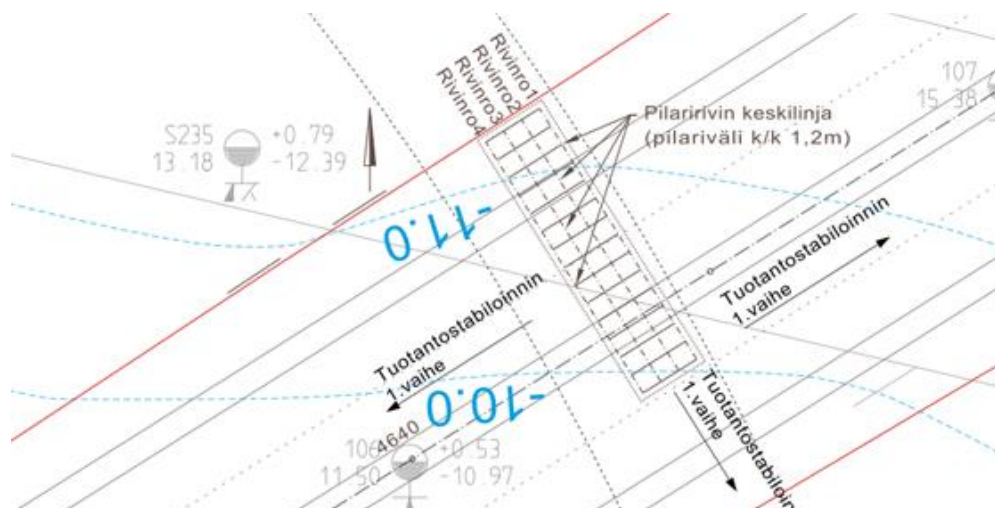
Käytettäväksi sideaineeksi valittiin massastabilointiin Finnsementin Plussementi ja Pilaristabilointiin Nordkalkin GTC. Suurena kysymyksenä vielä tässä vaiheessa kuitenkin oli, saadaanko massastabiloimalla maata lujitettua riittävästi jätettäväksi paikoilleen rakenteiden alle. Tehtyjen ennakkokokeiden perusteella tiedettiin, että etenkin pintaosan lujittuminen on epävarmaa ja vaati lisätutkimuksia. Toinen suuri kysymys liittyi siihen,

mikä on minimimäärä sideainetta ympäristökelpoisuuden saavuttamiseksi. Mikäli pohjanvahvistuksissa päädyttäisiin osittain myös massanvaihtoihin, olisi poiskaivettavat sulfidipitoiset savet joka tapauksessa stabiloitava ennen kaivua. Tämä määräys pohjautui ympäristölupaehtoihin. Geologisista olosuhteista tiedettiin, että Bölen ja Karperön alueen savikoiden syntyta ja -aika ovat samat. Sen perusteella voitiin olettaa, että ominaisuudet ja käyttäytyminen ovat samanlaiset. Edellä kerrottujen asioiden vuoksi työmaalla oli välttämätöntä tehdä koestabilointeja ennen varsinaisten pohjanvahvistusten aloittamista. Koestabiloinnit päätettiin suorittaa Karperön pehmeiköllä.

4.7 Koestabiloinnit

Kun ratkaisut stabilointeihin liittyen suunnitelmatasolla oli tehty, työmaalla alettiin tehdä koestabilointeja: pilaristabiloinnissa sideaineena käytettiin GTC:tä (kipsi, sammutettu kalkki ja sementti) ja massastabiloinnissa Plussementtiä.

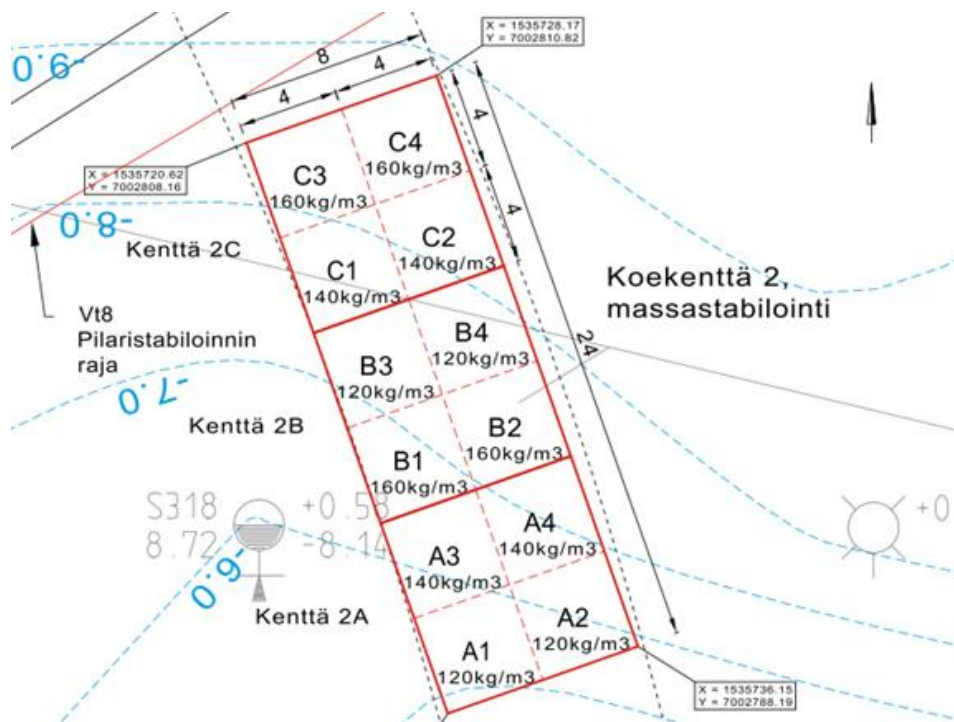
Koepilaristabiloinnissa koestettiin käytettävällä sideaineella saavutettavaa lujuutta ja sideaineen soveltuvuutta kohteeseen. Koepilaristabilointi suoritettiin Karperön pehmeiköllä, mutta tuloksia voitiin soveltaa myös Bölen alueella. Pilaristabiloinnin lopulliset mitoitusparametrit (pilariväli, tavoiteleikkauslujuus ja sideainemäärä) sekä soveltuvuus käytettäväksi kohteessa pohjanvahvistuksena määritettiin koestabiloinnin avulla. Koestabiloinnista saatujen tulosten perusteella tarkistettiin kaikki tehdyt mitoitukset. Koepilaroinnissa testattiin neljää eri sideainemäärää: 100, 120, 140 ja 160 kg/m³. Koepilareiden lujittumisajat olivat 14 ja 28 vrk. Pilareiden koestus tehtiin pilarikairausten avulla. Kuvassa 16 näkyy pilaristabiloinnin koekenttä.



KUVA 16. Pilaristabiloinnin koekenttä

Massastabiloinnin osalta suoritettiin myös koestabilointi, joka tehtiin niin ikään Karpe-
rön pehmeiköllä. Massastabiloinnin lopulliset mitoitusparametrit (tavoiteleikkauslujuus
ja sideainemäärä) sekä soveltuvuus käytettäväksi kohteessa pohjanvahvistuksena määri-
tettiin koestabiloinnin avulla. Koestabiloinnista saatujen tulosten perusteella tarkistettiin
kaikki tehdyt mitoitukset.

Koemassastabiloinnissa käytettiin kolmea eri sideainemäärää: 120, 140 ja 160 kg/m³.
Massastabilointi ulotettiin noin 5m syvyyteen. Massastabilointiblokkien lujittumisajat
koestusta varten olivat 14 ja 28 vrk. Massastabiloinnin koestus tehtiin pilarikairausten
avulla. Massastabiloinnin koekenttä löytyy kuvasta 17. (Ramboll Finland Oy)



KUVA 17. Massastabiloinnin koekenttä

Edellä kuvattujen tutkimusten tulosten perusteella saatiin varmuus siitä, että stabiloin-
neilla saavutetaan väylähankkeella vaaditut tavoitelujuudet ja saatiin määriteltyä stabi-
loinneissa käytettävät lopulliset sideainemäärät. Pilaristabiloinnin osalta huomattiin, että
lujuudenkehitys oli ongelmana pintakerroksessa. Tämän vuoksi päädyttiin tekemään
profiilipilareita, joissa on yläosassa enemmän sideainetta kuin syvemmillä. Si-
deainemäärät toteutetuissa pilaristabiloinneissa olivat 160 kg/m³ (-5 tason yläpuolella)
ja 120 kg/m³ (-5 tason alapuolella).

Massastabiloinnin osalta havaittiin koestabiloinnin perusteella, että 160 kg/m³ sideainemäärällä saavutettiin erittäin hyviä lujuuksia, mutta hieman pienemmälläkin sideainemäärällä päästiin riittäviin lujuuksiin. Massastabiloinnin sideainemäärää voitiin siis joissain työkohteissa käyttää vähemmän kuin aiemmin oletuksena käytetty 150 kg/m³. Toteutetuissa massastabiloinneissa käytetyt sideainemäärät vaihtelivat välillä 120kg-150kg/m³. Yhdistelmä rakenteessa, jossa massastabiloinnin alle tehtiin pilaristabilointi, voitiin käyttää vielä hieman pienempiä sideainemääriä. Pois kaivettavien savien osalta esimerkiksi sillan peruskaivannossa sekä rumpukaivannoissa päädyttiin käyttämään määriä 60–80 kg/m³ kohteesta riippuen.

4.8 Syyt massanvaihtojen minimointiin

Lopullinen pohjanvahvistusratkaisu sisälsi pilari- ja massastabilointia, näiden yhdistelmä rakennetta sekä esikuormituspenkereitä. Ainoat kaivettavat sulfidimaat olivat Bölesä sijaitsevan sillan kaivannosta ja sekä uuden valtatie alittavien rumpujen kaivannoista. Karperön alueella pehmeikön loppupäästä noin 300 metrin pituinen osuus sijaitsee pohjavesialueella. Tällä alueella päädyttiin esikuormituspenkereen rakentamiseen pilaristabiloinnin sijaan, koska ei haluttu ottaa mitään riskejä pohjaveden suhteen. Pilareiden vedenjohtavuusominaisuuksista ei ollut riittävää varmuutta, joten sitä ei haluttu käyttää pohjavesialueella.

Suurimmat pohjanvahvistusratkaisujen uudelleen suunnitteluun vaikuttaneet syyt olivat ympäristölupaehdotin perustuva vaatimus sulfidimaiden käsittelystä ennen kaivua sekä sulfidipitoisen massanvaihdon kaivumaan valtava määrä, lähes 400 000 m³. Tämän valtavan määrän vuoksi oli myös ennakkoon suunniteltu, että kaikki hankkeelta kaivetut massastabiloidut sulfidimaat kuljetettaisiin erilliselle läjitys paikalle urakka-alueen ulkopuolelle. Sulfidimaiden loppusijoituspaikka oli lähistöllä sijaitsevan Ab Stormossen Oy:n jätteenkäsittelylaitoksen reuna-alueelle kaavailtu massiivinen maisemavalli.

Käsiteltyjen sulfidimaiden läjitys paikka sijaitsi hankkeen aivan toisessa päässä, jonne ajomatka lähemmältäkin Karperön pehmeiköltä olisi ollut noin 5 kilometriä. Tämän lisäksi urakkasopimuksen mukaan massanvaihtomaiden kuljetus oli sallittu vain rakennettavaa tielinjaa pitkin ja nykyisen valtatie yli hankkeeseen sisältyvän uuden sillan kautta. Sulfidimaiden kuljetus yleisen liikenteen käyttämiä reittejä pitkin oli kielletty.

Hankkeen alussa olisi siis jouduttu panostamaan kohtuuttomasti pelkästään kulkuyhteyden rakentamiseen pehmeiköiltä sulfidimaiden loppusijoituspaikalle. Tämä yksistään olisi luonnollisesti vaikuttanut merkittävästi sulfidisavien käsittelyn ja sitä kautta koko hankkeen aikatauluun. Ennen kuin sulfidimaita olisi päästy kuljettamaan hankkeen loppupäässä sijaitsevaan Stormossenin maisemavalliin, olisi pitänyt rakentaa useampi kilometri työmaateitä paikoin äärimmäisen haastavaan maastoon. Hankealue on hyvin kivikkoista ja siirtolohkareita on tielinjalla todella runsaasti. Kyseisellä välillä pehmeiköjen ja kaavaillun maisemavallin välissä on lisäksi merkittävän kokoisia kalliroleikkauksia. Hankkeella on myös useita liito-oravan reviierejä. Liito-oravien pesimäaika estää kaikki kivien rikotukset ja louhinnat rauhoitusalueilla huhti-elokuussa.

Lisäksi olisi pitänyt rakentaa yksi silta liikennöitävään kuntoon, jotta olisi pystytty ylittämään nykyinen valtatie. Sen lisäksi, että varsinainen sillan rakentaminen olisi vaatinut paljon aikaa, myös uuden sillan tulopenkereet molemmin puolin siltaa olisivat vaatineet paljon pengermassoja. Hankkeen aivan alkuvaiheessa mitään penkereeseen kelpaavia massoja ei tietenkään vielä ollut käytettävissä. Lähes kaikki leikattava moreeni oli alueilla joissa oli tehtävä paljon pintakivien rikotusta ennen kuin päästäisiin maaleikkauksiin käsiksi.

Myös varsinaisen urakka-alueen ulkopuolella olisi pitänyt tehdä tiejärjestelyjä, koska Stormossenin jätteenkäsittelylaitoksen alueelle kaavaillulle maisemavallille ei ollut ennestään tietä. Työmaateiden olisi myös pitänyt olla tavanomaista tasaisempia, jotta pehmeät massat eivät olisi levinnet pitkin kuljetusreitillä. Vaikka stabiloitujen kaivumassojen kuljettaminen onkin varmasti hallitumpaa kuin käsittelemättömien savien kuljettaminen, ei kuljetuksen aikaisilta valumisilta kuljetusreitille voida täysin välttyä, kun liikutaan epätasaisilla työmaateillä.

Lisäksi työmaateiltä olisi luonnollisesti vaadittu erittäin hyvää kantavuutta pitkäkestoisena ja massiivisena massansiirron aiheuttaman kovan rasituksen vuoksi. Aikataulullisesti ja taloudellisesti nämä asiat eivät sopineet yhteen. Kulkuyhteyden rakentaminen vaadittavaan kuntoon olisi vaatinut liikaa aikaa ja olisi ollut taloudellisesti epäedullista hankkokonaisuuden kannalta. Pohjanvahvistuksia oli hankkeella kuitenkin niin paljon, että ne piti saada käyntiin välittömästi. Kun päädyttiin stabilointiratkaisuun massanvaihdon sijaan, saatiin pohjanvahvistukset käyntiin varsin nopeasti. Tehdyissä stabilointien lisä-

tutkimuksissa toki kului oma aikansa, mutta suhteessa aikaa meni hyvin vähän verrattuna toimenpiteisiin, joita massanvaihdot olisivat vaatineet.

4.9 Stabilointien toteutus

Stabiloinnit hankkeella aloitettiin Karperön pehmeiköllä alkuvuodesta 2012. Työt aloitettiin sekä pilari- että massastabiloinnin osalta. Karperön pehmeiköllä oli sekä pilari- että massastabilointeja yksistään sekä yhdistelmärakennetta. Pilaristabiloinneissa käytettiin profiilipilareita, joissa -5 tason yläpuolella on enemmän sideainetta kuin syvemmällä. Pilareiden pituudet vaihtelivat välillä noin 4-17m. Pilaristabilointityö eteni suunnitelmien mukaisesti työsaavutusten ollessa keskimäärin 900 m/työvuoro konetta kohden. Työtä tehtiin kahdella pilaristabilointikoneella.

Ainoana ongelmana pilaristabiloinnin osalta oli heikko maapohjan kantavuus joillain kohteilla. Valtaosa pehmeiköstä oli peltoa, jonka kuiva pintaosa toimi koneen työalustana sellaisenaan. Muutamilla paikoilla oli kuitenkin niin märkää ja sitä kautta pehmeää, että jouduttiin tekemään murskeesta kantava työpeti pilaristabilointikonetta varten. Aivan töiden alussa ehdittiin muutamalla pehmeällä stabilointikohteella hyödyntää roudan vaikutusta. Aluetta käytiin etukäteen jäädyttämässä ajamalla siellä 13 tonnin painoisella tela-alustaisella kaivinkoneella, jotta lumi saatiin tiivistettyä ja maapohja alkoi jäätyä. Pohjan annettiin jäätyä sen verran, että se kantaa raskaamman pilaristabilointikoneen, mutta kuitenkin niin, että sekoitinkärki vielä läpäisee roudan. Ensimmäisenä pyrittiin tekemään pois kaikki ne alueet, joiden tiedettiin myöhemmin olevan kevättulvan peitossa.

Massastabiloinnin syvyys vaihteli välillä 2-5m ja käytetyt sideainemäärät välillä 100–150 kg/m³ kohteesta riippuen. Kohteissa, joissa sulfidisavi oli tarkoitus kaivaa pois, voitiin käyttää pienempiä määriä. Näissä kohteissa maata ei lujitettu liikaa, vaan tavoitteena oli ainoastaan saavuttaa ympäristökelpoisuus. Maata lujitettiin massastabiloinnilla vain sen verran, että kaivutyöt voitiin suorittaa turvallisesti. Hapettuneen kuivakuorikerroksen alla olevat sulfidimaat ovat sellaisenaan hyvin pehmeitä, joten ne vaativat lujittamista, jotta esimerkiksi rumpukaivantojen tekeminen on mahdollista. Lujittaminen on tarpeen sekä kaivannon luiskien pysyvyyden takia, että rumpu- tai muiden putkien asennusalustan vaatiman kantavuuden takia.

Massastabiloinneissa päästiin parhaimmillaan noin 800 m³:n konekohtaiseen työsaavutukseen työvuoron aikana, mutta keskimääräinen työsaavutus oli noin 400 m³ työvuorossa. Työsaavutuksen suuruuteen vaikutti tietenkin paljon käytetty sideainemäärä sekä olosuhteet stabilointikohteessa. Ongelmia massastabilointiin aiheuttivat etenkin maan sisällä olleet kivet. Varsinkin Bölen alueella kivisyys oli suuri ongelma massastabiloinnin kannalta. Muutamia kalustorikkoja koettiin, kun sekoitin osui maaperässä pehmeiden maakerrosten alapinnassa tai reuna-alueilla oleviin suuriin kiviin. Nämä kalustorikot aiheuttivat ikäviä keskeytyksiä työhön ja häiritsivät muutakin rakentamista, kuten massastabiloinnin päälle rakennettavan painopenkereen massojen ajoa. Massastabilointikaluston erikoislaatuisuuden vuoksi joidenkin sekoittimen varaosien saaminen oli melko hidasta ja työt saattoivat olla keskeytyneenä jopa usean päivän ajan.

Myös maan pinnan kuivakuoren kovuus aiheutti ongelmia massastabilointiin muutamilla työkohteilla. Koneen sekoitin upposi kovaan kuivakuoreen hyvin vaikeasti ja työ hidastui merkittävästi. Tällöin välillä jouduttiin jopa käyttämään toista kaivinkonetta apuna stabilointityössä. Toinen kone pehmensi kaivamalla kovaa kuivakuorta etukäteen ja näin helpotti stabilointikoneen etenemistä.

Työssä havaittiin myös, että suuren (150 kg/m³) sideainemäärän syöttäminen ja sekoittaminen tasaisesti perusmaahan oli varsinkin kuivimmilla työkohteilla hyvin hidasta. Työn sujuvuuden kannalta sopivin sideainemäärä oli noin 100–120 kg/m³. Työ eteni tällöin sujuvasti ja myöhemmin saadut lujuudet olivat riittäviä. Vaaditun tavoitellun saavuttaminen on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, joten kaikissa kohteissa ei voitu käyttää pienempää määrää kuin 150 kg/m³.

Pääosin kaikki pohjanvahvistukset isompien pehmeikköjen osalta saatiin tehtyä onnistuneesti vuoden 2012 aikana, ja väylien rakennekerroksia päästiin rakentamaan näillä alueilla hyvinkin nopeasti verrattuna siihen, että ne olisi tehty perinteisesti massanvaihtoina. Väylät rakennettiin pääasiassa louheesta, joka saatiin tielinjalla olevista kallioleikkauksista. Hankkeen kokonaisaikataulun kannalta oli myös erittäin tärkeää, että näistä kallioleikkauksista päästiin siirtämään materiaalia pois mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Taulukossa 3 on vielä tiivistettynä hankkeen päämassat alkuperäisen tiesuunnitelman mukaisina sekä lopullisina toteutettuina määrinä.

TAULUKKO 3. Päämassat tiesuunnitelman ja lopullisen toteutuksen mukaisesti

	Yksikkö	ELY, 2011	Skanska ja Ramboll
Maaleikkaus	m ³ _{ktr}	602 970	383 100
Avolouhinta	m ³ _{ktr}	205 375	215 600
Penkereet	m ³ _{rtr}	348 010	271 900
Louherakenteet	m ³ _{rtr}	276 500	192 000
Massanvaihto	m ³ _{rtr}	393 200	13 000
Kevytsorarakenteet	m ³ _{rtr}	18 750	2 000
Pilaristabilointi	pilari-m _{tr}	0	246 700
Massastabilointi	m ³ _{rtr}	0	115 000
Paalulaatat	m ²	7 000	8 200

5 POHDINTA

Tässä työssä on käsitelty sulfidisavien käsittelyyn liittyviä kysymyksiä tiehankkeella Vt8 Sepänkylän ohikulku. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa on kuvattu prosessin eteneminen hankevalmisteluvaiheesta sen toteutukseen sulfidimaiden käsittelyn näkökulmasta. Empiiristä osuutta pohjustavat teorialuvut, joissa on esitelty sulfidisavia, niihin liittyviä haasteita rakennushankkeella sekä niiden käsittelyyn liittyviä stabilointimenetelmiä.

Ensimmäinen tutkimuskysymys koski sulfidisavien käsittelyyn liittyviä ratkaisuja hankkeella. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa (luvut 4.3–4.9) on vastattu tähän kysymykseen. Luvussa on käyty läpi hankkeen tilaajan suunnitelma sulfidisavien käsittelyn osalta, ennen hankkeen alkua ja hankkeen aikana tehdyt sulfidisaviin liittyvät tutkimukset sekä lopulliset ratkaisut, jotka muodostuivat hankkeen alussa tehtyjen tarkentavien tutkimusten ja testausten perusteella.

Alkuperäisessä tiesuunnitelmassa pehmeikköjen pohjanvahvistukset on esitetty tehtäväksi massanvaihoilla. Tämä olisi tarkoittanut, että sulfidisavia olisi jouduttu kaivamaan ja kuljettamaan läjitykseen todella suuria määriä. Urakoitsijan tarjoustiimi vähensi jo tarjousvaiheessa massanvaihoilla tehtävien pohjanvahvistusten määrää merkittävästi ja korvasi niitä stabiloinneilla. Hankkeen aloitusvaiheessa tehtyjen lisätutkimusten tulosten pohjalta massanvaihtoja päätettiin yrittää vähentää vielä tarjouslaskennan määräämistä.

Lopullinen pohjanvahvistusratkaisu sisälsi pilaristabilointia, massastabilointia ja esikuormituspenkereitä. Tavoitteeseen massanvaihtojen minimoinnin osalta päästiin riittävien tarkentavien tutkimusten, testauksen ja riittävän suunnitteluun varatun ajan avulla. Esimerkiksi urakoitsijan tekemien koekuoppatutkimusten tulokset osoittivat, että sulfidimaiden todellinen laajuus oli pienempi kuin mitä alun perin oli odotettu. Tämä osataan vähensi massastabilointien määrää. Tämän tiedon perusteella pilaristabiloinneilla voitiin korvata osa massastabiloinneista, millä saavutettiin säästöjä sideainemäärissä.

Ainoat kaivettavat sulfidimaat olivat Bölessä sijaitsevan sillan kaivannossa ja suurissa rumpukaivannoissa. Pois kaivettavien sulfidisavien määrä pieneni lopulta noin 13 000 m³:iin alkuperäisestä lähes 400 000 m³:stä. Tämä ansiosta pois kaivettavia sulfidisavia

ei tarvinnut kuljettaa alkuperäisessä suunnitelmassa kaavailulle Stormossenin maisemavallille lopulta ollenkaan. Lopullinen määrä oli sen verran pieni, että se voitiin sijoittaa massastabiloituna hankkeen alueelle rakennettavien meluvallien ytimeen. Siirtomatka lyheni merkittävästi, eikä kulkuyhteyttä maisemavallille tarvinnut rakentaa. Stabiloitun saven ympärille rakennettiin meluvalleihin moreenista riittävän paksu suojakerros, jottei se pääse tekemisiin hapen kanssa. Vaikka stabilointikäsittelyllä nostetaankin sulfidimaan pH-tasoa ylös, on se silti ympäristön turvaamiseksi koteloitava vallin sisälle riittävän suojakerroksen alle.

Toinen tutkimuskysymys liittyi tehtyjen ratkaisujen taustoihin, eli tarkoitus oli selvittää, miksi hankkeella päädyttiin vähentämään massanvaihtoja ja korvaamaan niitä stabiloineilla. Suurimmat syyt, jotka johtivat pohjanvahvistusten uudelleen suunnitteluun, olivat vaatimus sulfidipitoisten maiden käsittelystä sekä käsiteltävien massojen erittäin suuri määrä. Lisäksi päätökseen vaikutti sulfidisavien melko etäälle kaavailtu läjitys-paikka sekä vaatimus massojen kuljetuksesta läjitykseen työmaan sisäisiä reittejä pitkin. Riittävän hyvän tieyhteyden rakentaminen pehmeiköiltä läjityspaikalle olisi vaatinut paljon aikaa ja rahaa. Ensinnäkin maasto hankkeella on hyvin haastavaa johtuen erittäin runsaasta pinta- ja maakivien määrästä sekä siirtolohkareista tielinjalla. Tarvittava tieyhteys kulki lisäksi isojen kalliroleikkausten kautta. Lisäksi olisi pitänyt rakentaa yksi silta liikennöitävään kuntoon sekä suuret tulopenkereet sillalle.

Toisen tulopenkereen kohdalla sijaisi mm. maakaasu- ja vesijohto, jotka oli siirrettävä uudelle linjaukselle ennen kuin pengertä voidaan alkaa rakentamaan. Nämä johtosiirto-työt olivat kuitenkin hankkeen alussa vasta suunnitteluasteella. Olisi vaadittu muutami-en kuukausien työ pelkästään siihen, että olisi saatu kulkuyhteys sulfidisavien läjitys-paikalle. Käytännössä stabiloitujen massanvaihtokohteiden kaivu olisi luultavasti voitu aloittaa vasta kesällä 2012. Massanvaihtojen kaivussa ja täytöissä olisi valtavan määrän vuoksi kulunut vähintään muutama kuukausi. Massanvaihtojen kohdalle rakennetulle tielle olisi tämän jälkeen pitänyt jättää painuma-aikaa ennen päällystystöitä enimmillään jopa 2 vuotta. Näin massiivisen työn ollessa kyseessä sisältyy aikatauluihin paljon riskejä. Kun ajatellaan hankkeen toteutusaikataulua, jonka mukaan uuden tien on oltava valmis ja liikenteellä loppuvuodesta 2014, on alkuperäinen pohjanvahvistusratkaisu aika- taulunsa puolesta äärimmäisen tiukka.

Toteutetun suunnitelman mukaisesti vuoden 2012 kesällä olivat pohjanvahvistukset Karperön pehmeiköllä jo loppusuoralla. Kesän lopulla päästiin Karperön pehmeiköllä rakentamaan jo varsinaista tierakennetta. Tehdyn ratkaisun positiivinen vaikutus hankkeen rakentamisen aikatauluun oli mielestäni kiistaton. Hankkeella tehdyillä ratkaisuilla saavutettiin myös muita merkittäviä etuja. Mikäli hanke olisi toteutettu tiesuunnitelman mukaisesti laajoilla massanvaihoilla, eri työvaiheiden yhteensovittaminen olisi ollut hyvin haastavaa ja myös epäedullista. Massanvaihtojen korvaaminen stabiloinnilla oli aikataulun puolesta huomattavasti varmempi ratkaisu. Riittävät ennakkotiedot pohjaolosuhteista sekä maalajien ominaisuuksista ovat tietysti ehdottoman tärkeitä, jotta voidaan varmistua stabiloinnin soveltuvuudesta kohteeseen.

Hankkeen alussa jouduttiinkin tekemään tarkentavia tutkimuksia sekä koestabilointeja, jotka veivät jonkin verran aikaa. Lisäksi varsinainen suunnittelutyö otti oman aikansa sen jälkeen kun tutkimukset ja koestabiloinnit oli saatu tehtyä. Kaikki ennakkotutkimuksiin käytetty aika kuitenkin osoittautui kannattavaksi tämän hankkeen osalta. Työt saatiin käyntiin varsin nopeasti koestabiloinneista saatujen kairaustulosten jälkeen. Tarkentavilla tutkimuksilla pystyttiin myös pienentämään stabiloinneissa käytetyn sideaineen määrää, mikä osaltaan toi säästöjä. Tässä projektissa tilaaja kustansi sideaineen, joten säästöllä lienee ollut positiivinen vaikutus myös tilaajan ja toteuttajan sujuvan yhteistyön kannalta.

Pohjanvahvistustyöt sujuivat tämän jälkeen suunnitellussa aikataulussa eikä suurempiin yllätyksiin tai takaiskuihin törmätty työn edetessä lukuun ottamatta muutamia koneri-koista johtuneita työn keskeytyksiä. Tähän varmasti vaikutti osaltaan töiden huolellinen suunnittelu, johon uhrattiin alussa riittävästi aikaa. Tätä kirjoitettaessa pohjanvahvistukset on jo saatu sulfidisavipehmeiköillä valmiiksi, joten ratkaisujen onnistumista ja saavutettuja hyötyjä on mahdollista arvostella. Jälkiseuranta rakenteiden osalta kuitenkin jatkuu. Esimerkiksi esikuormituspenkereiden mahdollisten jälkipainumien osalta ratkaisujen onnistumista voidaan arvostella luotettavasti vasta muutaman vuoden kuluttua.

Skanskan pohjanvahvistusratkaisu johti aikataulusäästöjen lisäksi merkittäviin kustannussäästöihin. Nämä säästöt saavutettiin vähentyneillä kaivu-, täyttö- ja kuljetusmassojen määrillä. Esimerkiksi pelkästään sideaineissa saavutettiin noin 6 miljoonan euron säästö. Säästöön vaikuttivat massastabiloinnin määrän pienentyminen sekä massastabiloinnin osittainen korvaaminen pilaristabiloinnilla. Kustannussäästöjä selittävät myös

vähentyneet maaleikkausmäärät, jotka saavutettiin esimerkiksi tsv:n korkeuden optimoinnilla.

Stabilointiratkaisu vaikutti paljon myös siihen, miltä hankkeen rakentaminen näyttää ulospäin. Alkuperäisessä pohjanvahvistusratkaisussa pehmeiköiltä olisi kaivettu suuret määrät massoja ja kuljetettu niitä melko pitkän matkan päähän läjitykseen. Määrien ollessa erittäin suuria tätä olisi luonnollisesti jatkunut pitkän aikaa. Pehmeiden massojen kuljetuksista aiheutuu aina ympäristön sotkeentumista jossain määrin. Sulfidimaiden kuljetuksen aikaiset valumiset työmaatielle olisivat hyvin todennäköisesti pilanneet teihin käytetyn kiviaineksen.

Lisäksi massanvaihtojen tekemisessä tarvittava kalusto aiheuttaa häiriötä lähiympäristölle sekä kuormittaa ympäristöä päästöjen muodossa. Tehdyillä pohjanvahvistusratkaisulla säästettiin pelkästään massansiirtojen osalta merkittävä määrä työtä. Tästä voidaan tehdä yksinkertainen laskelma. Lasketaan, että poiskaivettavan ja siirrettävän sulfidimaan kokonaismäärä on 400 000 m³, yhden kuorman koko 20 m³ ja ajettava matka yhtä kuormaa kohden 10 km. Tästä saadaan tuloksena, että noin 200 000 kilometrin teoreettinen ajomäärä säästettiin, kun massaralli ei toteutunut. Tälle hankkeelle valittu toteutustapa on kiistatta siistimpi tapa rakentaa eikä aiheuta lähiympäristölle häiriötä samalla tavalla kuin kuukausia jatkuva suuren volyymin massojen siirto.

Ratkaisulla voitiin ajan, työmäärän ja häiriötekijöiden lisäksi pienentää merkittävästi myös työstä syntyvää ilmastokuormitusta. Hiilijalanjäljen osalta saavutettiin laskennallinen noin 20 000 tonnin säästö hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂e). Laskennassa huomioitiin alkuperäisen pohjanvahvistusratkaisun vaatimien massanvaihtojen kaivun, täytön, massansiirtojen ja vastaanoton aiheuttama ympäristökuormitus. Tätä verrattiin toteutettuun ratkaisuun ja siinä kuluvaan polttoaineeseen. Näin saatiin määritettyä laskennallinen säästö ympäristökuormituksessa.

Hankkeella oli tarkoitus kokeilla lentotuhkan käyttöä stabiloinnin sideaineena. Tätä kokeilua ei kuitenkaan lopulta toteutettu. Ongelmana olivat haasteet tuhkan sekoittamisessa kaupallisen sideaineen kanssa. Mikäli tuhka olisi sekoitettu vasta stabilointikohteessa, olisi se vaatinut massastabilointikaluston osalta kalliita laiteinvestointeja. Tuhkan sekoittaminen etukäteen olisi ollut koneiden puolesta helpoin ratkaisu, mutta aiheuttanut

ylimääräisiä kustannuksia. Lentotuhkan käyttöä olisi ollut kuitenkin mielenkiintoista kokeilla, ja nähdä millaisia tuloksia tuhkan käytöllä olisi saavutettu.

Kestävän kehityksen kannalta olisi aina suotavaa, että rakentamisessa hyödynnetään teollisuuden sivutuotteita ja korvataan niillä edes osittain neitseellisten luonnonvarojen käyttöä. Tämä tietysti edellyttää aina varmuuden siitä, että kyseinen tuote soveltuu kohteeseen eikä aiheuta esimerkiksi ongelmia ympäristölle. Tässä olisikin yksi ehdotus jatkokutkimukselle. Sivutuotteen hyödyntämisellä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa säästöjä sideainekustannuksissa. Yleensä esimerkiksi lentotuhkasta materiaalina ei ole tarvinnut maksaa vaan kustannus muodostuu siirroista ja muusta työstä.

Selvittämättä jäi myös, mikä olisi ollut minimimäärä sideainetta pelkästään sulfidisaven ympäristökelpoisuuden saavuttamiseksi. Tässä hankkeessa tätä ei selvitetty, vaan tehdyissä tutkimuksissa keskityttiin löytämään resepti, jolla sulfidisavia saadaan lujitettua riittävästi paikalleen jätettäväksi. Pelkän ympäristökelpoisuuden saavuttamiseksi olisi poiskaivettavien sulfidimaiden osalta todennäköisesti riittänyt pienempikin määrä sideainetta. Mikäli projektilla tehdään sulfidipitoisten maiden stabilointeja pelkästään ympäristökelpoisuuden saavuttamiseksi, on tällä tiedolla suuri merkitys käytettyjen sideainemäärien menekkiin ja se kannattaa ehdottomasti selvittää. Tällä hankkeella tuo määrä ei ollut ratkaiseva, koska olosuhteet kohteilla vaativat sulfidimaiden lujittamista riittävästi mm. kaivannon pysyvyyden takia. Toki työtekniset vaatimukset massojen kaivun ja kuljetuksen osalta on aina huomioitava.

Kaiken kaikkiaan tehty tutkimus onnistui vastaamaan asetettuihin tutkimuskysymyksiin erittäin hyvin, sillä käytettävissä olevat aineistot, tutkimukset sekä tutkijan oma työpanos hankkeella varmistivat monipuolisen ja kattavan tiedonsaannin. Tutkijalla oli mahdollisuus olla mukana projektissa alusta lähtien sekä seurata tehtyjen ratkaisujen toteuttamista käytännössä. Tätä kirjoitettaessa hankkeen pohjanvahvistusratkaisut on jo toteutettu, joten niissä onnistumista on mahdollista arvioida varsin luotettavasti.

LÄHTEET

Aalto, A. 1998. Syvästabilointi. Tuotantotekniikka, laadunvalvonta ja mitoitus. Teknillinen Korkeakoulu. Otaniemi.

Andersson, M. & Norrman, T. 2004. Stabilisering av sulfidjord. Linköping: Svensk Djubstabilisering Arbets-rapport 33. Luettu 18.2.2014.
<http://www.swedgeo.se/sd/pdf/SD-AR33.pdf>

GTK (Geologian tutkimuskeskus) 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan. Geofoorumi 2/2009. Luettu 1.3.2014.
<http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/painotuotteet/esitteet/EsiteHappamatSulfaattimaat.pdf>

GTK (Geologian tutkimuskeskus) 2014. Laaja yhteistyö alkaa sulfaattimaiden haittoja vastaan. Luettu 5.4.2014.
http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/system/PressReleases/news_0359.html

Hautalahti, P., Halkola, H., Puumalainen, N. 2007. Kivikon teollisuusalueen stabiloinnin koerakentaminen. Geotekninen osasto, Julkaisu 92/2007. Helsinki: Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto.

Harmanen, H. 2007. Sulfaattimaat ja seleeni. Lisensiaatintutkimus. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Luettu 1.3.2014.
www.tiedekirjasto.helsinki.fi:8080/bitstream/1975/7633/2/Acr36.tmp.pdf. ISBN 978-952-10-3471-8.

Kangas J. 2010. Happamien sulfaattimaiden luokitus. Diplomityö. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Luettu 4.3.2014.
<http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/jaanakangas.pdf>

Karlstedt, P. & Halkola, H. 1993. Ylijäämäsavien massastabilointi. Geoteknisen osaston tiedote 61/1993. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto. Helsinki.

Maaseutuverkosto 2009. Happamat sulfaattimaat. Maaseutuverkoston julkaisu. Luettu 14.2.2014.
http://www.maaseutu.fi/attachments/verkostoyksikko/5HZoFCNKU/happamat_sulfaattimaat_B5_LOW.PDF

Mäntynen, T. 2013. Lentotuhkan hyödyntäminen massastabiloinnissa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennusalan työnjohto. Luettu 7.3.2014.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67598/Mantynen_Teemu.pdf?sequence=1

Määttä, M. 2000. Massastabilointi ja sen käyttösovellukset. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, tekniikka ja liikenne/ rakennustekniikan koulutusohjelma.

Nordkalk Oyj Abp 2007. Tuotetiedote. Uusi tuote stabilointiin: Nordkalk Terra GTC.

Palko, J. 1994. Acid sulphate soils and their agricultural and environmental problems in Finland. Oulu. Acta Universitatis Ouluensis Series C Technica 75. ISBN 951-42-3725-0. ISSN 0355-3213.

Pousette, K. 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordmassor. Tekniska rapport. Luleå tekniska universitet. Luettu 14.2.2014.
<http://epubl.ltu.se/1402-1536/2007/13/LTU-TR-0713-SE.pdf>.

Purokoski, P. 1959. Rannikkoseudun rikki-pitoisista maista. Agrogeologia julkaisuja 74.

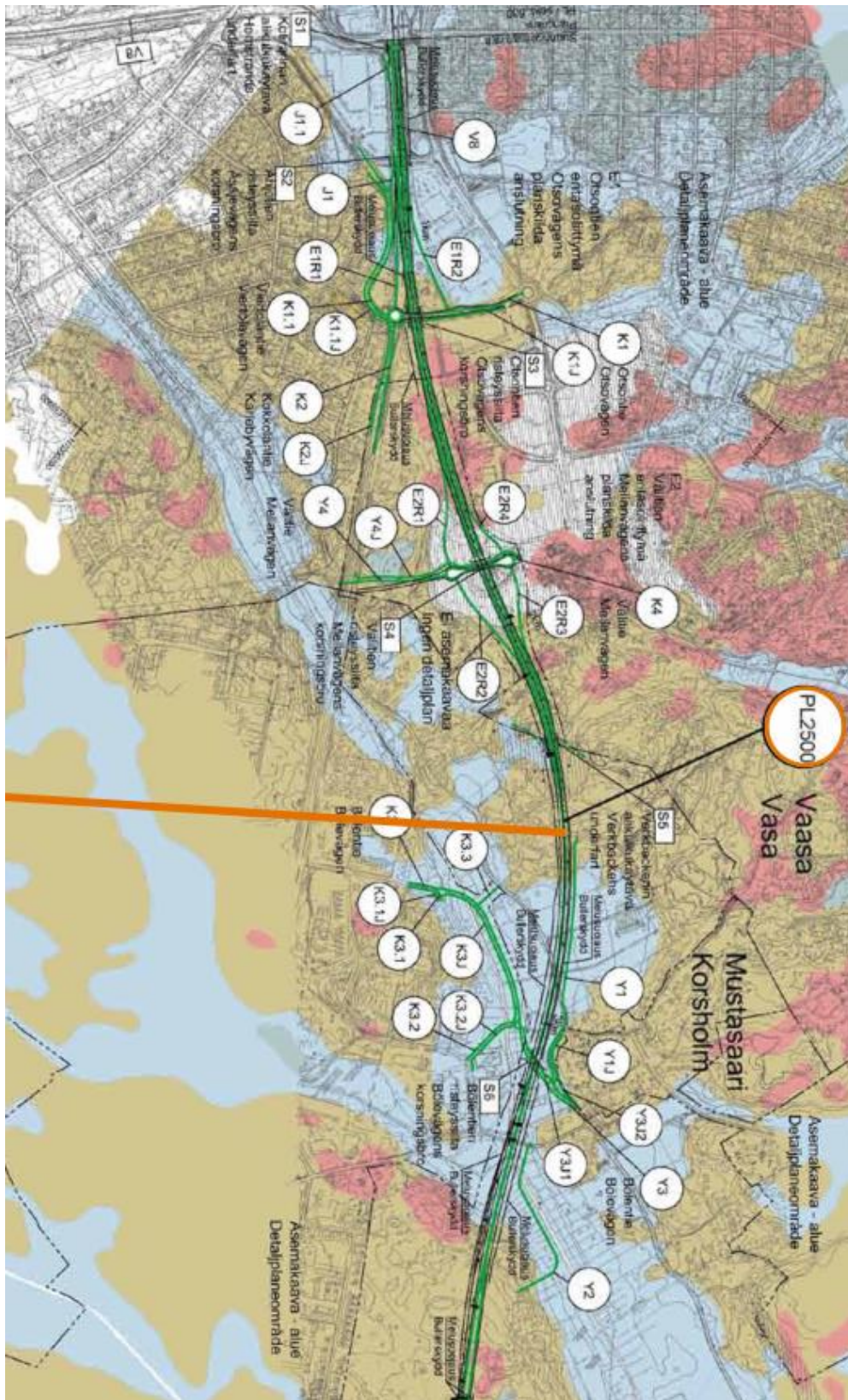
Ramboll Finland Oy. 2011. Sulfidisavien stabilointi ja stabiloidun sulfidisaven ympäristökelpoisuus. Alustavia tutkimuksia stabiloitavuustutkimuksista. Liikennevirasto.

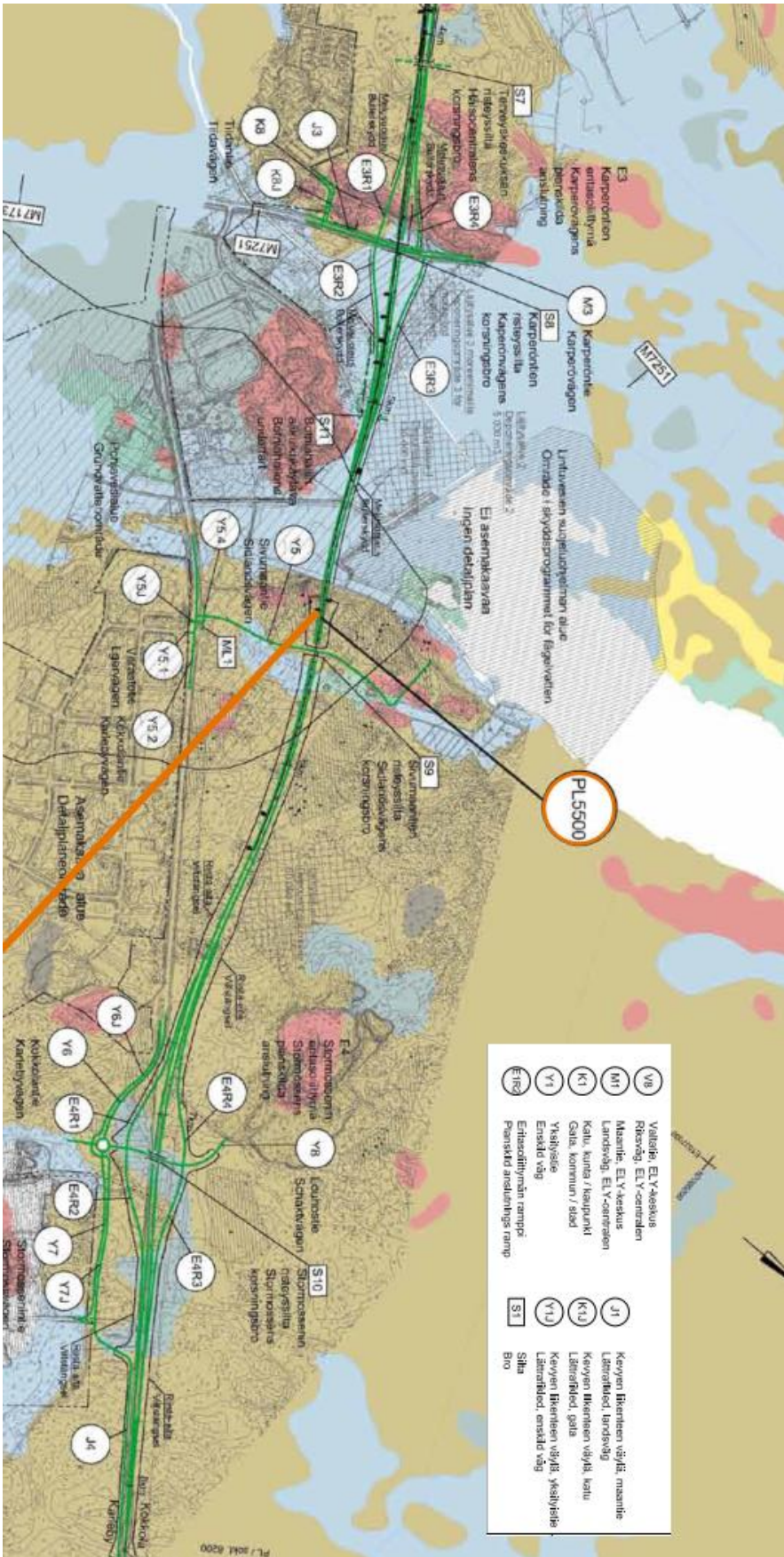
Ramboll Finland Oy. 2012. Stabiloinnin periaatekuvat. PowerPoint esitys.

Liikennevirasto 2010. Syvästabiloinnin suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 11/2010. Helsinki.

LIIKKEET

Liite 1. Hankkeen yleiskartta





Liite 2. Pituusleikkaus plv 2500–5500

