

Janne Autio

# Massastabilointikoneen ohjaus- ja paikkatieto- järjestelmän kehitystyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

17.4.2017

|   |   |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko   | Janne Autio<br>Massastabilointikoneen ohjaus- ja paikkatietojärjestelmän kehitystyö |
| Sivumäärä<br>Aika   | 39 sivua<br>17.4.2017   |
| Tutkinto  | Insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma  | Rakennustekniikka   |
| Ammatillinen pääaine  | Infrarakentaminen   |
| Ohjaajat  | Laatupäällikkö Antti Värri<br>Lehtori Mika Räsänen                                  |
| <p>Tässä opinnäytetyössä paneuduttiin uudistuviin infrarakentamisen yleisiin laatuvaatimukseen, joihin on tulossa merkittäviä uudistuksia mm. massastabiloinnin tekemiseen liittyviin vaatimuksiin ja valmiin stabiloidun rakenteen kelpoisuuden osoittamiseen. Tämän takia Graniittirakennus Kallio Oy on alkanut kehittämään massastabilointilaitteistoaan uudistuvien vaatimusten mukaiseksi, jotta se olisi heti käyttökunnossa uusien vaatimusten astuessa voimaan.</p> <p>Työn tulokset perustuvat lähinnä kirjallisuuslähteisiin ja massastabiloinnin parissa pitkään työskennelleiden henkilöiden haastatteluihin.</p> <p>Tuloksina saatiin tietoa uusien infrarakentamisen yleisten laatuvaatimusten vaikutuksesta massastabiloinnin tekemiseen ja sen laadun osoitukseen. Lisäksi työn aikana seurattiin massastabilointilaitteiston kehitystyötä, joka ei aikataulullisten seikkojen vuoksi valmistunut tämän opinnäytetyön aikana.</p> <p>Opinnäytetyön aihe on erittäin ajankohtainen, koska uusien laatuvaatimusten tullessa voimaan, odotetaan niiden kopiaituvan suoraan urakka-asiakirjoihin määrääviksi tekijöiksi. Ja vaikka stabilointikoneen kehitystyö ei ehtinyt valmistumaan tämän opinnäytetyön aikana, tulee se valmistumaan lähiaikoina, jolloin kyseinen massastabilointikone on ensimmäinen laatuaan, johon on asennettu sekoitinkärkeä ja sideaineen syöttöä reaaliaikaisesti seuraava järjestelmä, jolla pystytään parantamaan stabiloitujen rakenteiden laatua merkittävästi.</p> |   |
| Avainsanat  | Massastabilointi, InfraRYL, Infra, Sideaine   |

|   |   |
|---|---|
| Author<br>Title   | Janne Autio<br>Development of Control and Geographic Information System of<br>Mass Stabilisation System |
| Number of Pages<br>Date   | 39 pages<br>17 April 2018   |
| Degree  | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme  | Civil Engineering   |
| Professional Major  | Infrastructural Engineering   |
| Instructors   | Antti Värri, Quality Manager<br>Mika Räsänen, Senior Lecturer   |
| <p>This thesis focuses on the renewing of the general quality requirements for infrastructure construction which are undergoing major reforms as to the requirements for mass stabilization and demonstrating the eligibility of the finished stabilized structure. For this reason, Graniittirakennus Kallio Oy has begun to develop its mass stabilization system in line with the demands of modernizing it so that it will be ready for use when the new requirements become valid.</p> <p>The results provided information on the impact of the new general quality requirements for infrastructure construction for mass stabilization and its quality assurance. In addition, during the study, the development of a mass stabilization system was monitored, which was not completed due to the timetable for this present study.</p> <p>The topic of the thesis is very timely because, as new quality standards come to effect, they are expected to be copied directly into contract documents as determinants. And even though the development work of this mass stabilization system was not finished during the study, it will be ready in the near future, when the mass stabilisation machine - first of its kind - will be taken into use with a system installed that follows the binder feed and mixer-tip in real time, which can significantly improve the quality of stabilized structures.</p> |   |
| Keywords  | Mass stabilisation, InfraRYL, Infra, Binder   |

## Sisällys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto   | 1  |
| 1.1   | Menetelmän kehittäminen                                | 1  |
| 1.2   | Rakennuspaikat   | 1  |
| 1.3   | Suunnittelu ja toteutus                                | 2  |
| 1.4   | Työn rajaus  | 2  |
| 1.5   | Työn tavoite   | 3  |
| 1.6   | Opinnäytetyön tausta                                   | 3  |
| 1.7   | Yritys   | 3  |
| 2     | Massastabilointi                                       | 4  |
| 2.1   | Yleistä  | 4  |
| 2.2   | Massastabilointilaitteisto                             | 6  |
| 2.3   | Vaikutus maan ominaisuuksiin                           | 8  |
| 2.4   | Käyttökohteet  | 10 |
| 2.5   | Massastabilointiprojektin vaiheet                      | 13 |
| 2.5.1 | Projektin alku   | 13 |
| 2.5.2 | Lähtötiedot ja pohjatutkimukset                        | 15 |
| 2.5.3 | Esitutkimukset ja -suunnittelu                         | 15 |
| 2.5.4 | Suunnittelu ja stabiloituvuustutkimukset               | 16 |
| 2.5.5 | Stabilointityö   | 17 |
| 2.5.6 | Lopputulokseen ja työn etenemiseen vaikuttavat tekijät | 19 |
| 3     | Sideaineet   | 20 |
| 3.1   | Yleistä  | 20 |
| 3.2   | Sementti   | 21 |
| 3.3   | Kalkki   | 22 |
| 3.4   | Muut sideaineet  | 23 |
| 4     | Yleiset laatuvaatimukset                               | 26 |
| 4.1   | Massastabiloinnin materiaalit                          | 26 |
| 4.2   | Työjärjestys ja esityöt                                | 27 |
| 4.3   | Massastabiloinnin tekeminen                            | 28 |
| 4.4   | Valmis massastabilointi                                | 30 |
| 4.5   | Massastabiloinnin kelpoisuuden osoitus                 | 31 |
| 4.6   | Ympäristövaikutukset                                   | 34 |

|     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 5   | Kehitystyö              | 34 |
| 5.1 | Kehitystyön lähtökohdat | 34 |
| 5.2 | Vanha laitteisto        | 35 |
| 5.3 | Uusi laitteisto         | 36 |
| 5.4 | Ilmenneet ongelmat      | 37 |
| 6   | Yhteenveto              | 37 |
|     | Lähdeluettelo           | 39 |

## 1 Johdanto

### 1.1 Menetelmän kehittäminen

1990-luvun alussa aloitettiin Suomessa kehittämään massastabilointimenetelmää ja siihen liittyviä massastabilointilaitteistoja. Merkittävimmät pilottikohteet olivat tie- ja ratakohdeissa sijainneet turvepehmeiköt Suomen ja Ruotsin alueella 1993 lähtien. Ensimmäisten kohteiden onnistuminen johtivat menetelmän laajentumiseen muille sovelutusalueille. Seuraavaksi alettiin kokeilemaan massastabiloinnin käyttöä satamarakentamisessa, jossa pehmeitä ja pilaantuneita ruoppausmassoja käytettiin hyödyksi satamarakenteissa vuodesta 1996 lähtien. 2000-luvun aikana massastabilointilaitteisto, sideaineaineet ja käyttötarkoitukset ovat kehittyneet erittäin nopeasti. Stabilointimenetelmä on nykyään jo otettu käyttöön monissa eri maissa ja maanosissa, jossa sitä käytetään monenlaisissa infra- ja ympäristörakentamiskohteissa. Massastabilointia voidaan pitää erittäin tehokkaana ja taloudellisena työtapana monissa käyttötarkoituksissa.

### 1.2 Rakennuspaikat

Koska suurten kasvukeskusten otollisimmat rakennuspaikat ovat pitkälti jo rakennettu, esim. kalliopohjat ja kantavat maat, joudutaan kaupunkirakenteen tiivistyessä turvautumaan pohjarakenteiltaan epäsuotuisille maa-alueille. Uusia rakennuspaikkoja voidaan ottaa käyttöön meren tai järvien rannoilta, vesialueita täyttämällä. Epäsuotuisia tonttialueita voidaan rakentamista varten jalostaa mm. paaluttamalla, massanvaihdoilla, pilaristabiloinnilla tai massastabiloinnilla. Joissain tapauksissa massojen vaihto ei ympäristöluvan puitteissa ole mahdollista ja niiden siirtokustannukset olisivat merkittäviä, eikä rakentaminen tällä tavoin olisi kustannusten nousun takia kannattavaa. Myös läjitysalueiden sijainnit ja vastaanottokustannukset aiheuttavat huomattavia lisäkustannuksia. Kustannusten takia olisi kannattavaa, että epäsuotuisat materiaalit voitaisiin hyödyntää rakennuspaikalla niiden laatua parantamalla.

Näissä tapauksissa massastabilointimenetelmä soveltuu erinomaisesti heikon pohjamaan esim. turpeen, liejun, saven ja ruopattavien massojen lujittamiseen. Stabiloinnissa käytettävä sideaine parantaa pohjamaan ominaisuuksia ja pienentää jo rakentamisen aikana tapahtuvia painumia ja muodon muutoksia. Maan lujuuden kasvaessa sen työstettävyys paranee ja vedenläpäisevyys pienenee.

### 1.3 Suunnittelu ja toteutus

Lopullisen stabilointityön laatu ja toteutettavuus ovat riippuvaisia suunnittelun aikana tehdyistä suunnitelmallisista ratkaisuksista ja työnaikaisista tekijöistä. Jotta massastabilointi saavuttaa laadullisesti parhaan mahdollisen lopputuloksen, tulee toteutuksen kannalta tärkeisiin seikkoihin kiinnittää erityistä huomiota jo suunnittelun aikana. Koska esimerkiksi suunnitteluvaiheessa tehdyt maaperäkairaukset ovat vain suuntaa antavia, eivätkä vastaa absoluuttista totuutta. Ei kaikkiin riskeihin voida varautua ennakkotutkimusten perusteella, jonka takia työn ei aina etene suunnitelmien mukaisesti. Työn aikana tapahtuneista häiriöistä saadaan kuitenkin hyvää kokemusta ja niiden pohjalta voidaan tulevaisuudessa varautua paremmin mahdollisiin ongelmiin.

Massastabilointi on työtekniikkana vielä jokseenkin nuori ja suhteellisen vähän käytetty pohjanvahvistusmenetelmä, joten sen laatuun ja toteutukseen liittyvä tieto on melko kokemusperäistä.

### 1.4 Työn rajaus

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kuivamenetelmällä tehtävää in situ tai ex situ -massasyvästabilointia, siihen soveltuvalla laitteistolla. Tämän tuloksena muodostuva lujittunut maa-aines toimii pohjanvahvistuksena tai se hyödynnetään kaivettuna täyttötai rakennusmateriaalina muualle. Erityyppistä massastabilointia, kuten siirrettävien massojen prosessistabilointia sekoitusasemassa tai aumasekoittimessa ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

## 1.5 Työn tavoite

Työntavoitteena on ollut seurata Graniittirakennus Kallio Oy:n massastabilointikoneen kehitystyötä. Tarkoituksena on myös ollut dokumentoida stabilointikoneen kehitystyön vaiheet ja pohtia, miten hyvin kehitystyön tavoitteet ovat toteutuneet. Lisäksi stabilointikoneen koekäyttöä maastossa on tarkoitus seurata. Lisäksi pohditaan mahdollisia jatkokehitysideoita.

## 1.6 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyön pohjana ovat olleet myöhemmin julkaistavat infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, joita tässä opinnäytetyössä käsitellään massastabiloinnin osalta. Uusissa laatuvaatimuksissa on tulossa merkittäviä muutoksia mm. massastabiloinnin tekemiseen, valmiiseen massastabilointiin ja massastabiloinnin kelpoisuuden osoittamiseen. Tämän vuoksi kelpoisuuden osoittamiseen tulevien muutosten takia on Graniittirakennus Kallio Oy alkanut päivittämään omaa massastabilointilaitteistoaan, koska uusien laatuvaatimusten tullessa voimaan, odotetaan niiden kopioituvan suoraan urakka-asiakirjoihin määrääviksi tekijöiksi. Uusiin laatuvaatimuksiin on mm. kirjattu, että sekoituksen tasalaatuisuuden parantamiseksi suositellaan käytettävän 3D-ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmää, joka kontrolloi ja dokumentoi sekoitinkärjen liikkeitä ja varmistaa, että sekoitinkärki on sekoittanut suunnitellusti stabilointiruudun kaikki osat.

## 1.7 Yritys

Tämä opinnäytetyö tehdään Graniittirakennus Kallio Oy:lle, joka toimii infrarakentajana koko Suomen alueella ja tytäryhtiöiden kautta myös Ruotsissa ja Virossa. GRK:n tytäryhtiö ja osakkuusyhtiöihin kuuluvat Virossa vuodesta 2014 lähtien toiminut GRK Infra As, Ruotsin markkinoihin keskittyvä, vuodesta 2013 lähtien toiminut Ab Infra Polar sekä vuonna 2017 perustettu radanrakentamiseen Suomessa erikoistunut Winco Oy. Graniittirakennus Kallio on Suomen merkittävimpiä pörssiin kuulumattomia yksityisiä infrarakentamisyhtiöitä. Yhtiön toimialat, jotka kattavat kaikki infrarakentamisen osa-alueet, täydentävät toisiaan ja tasaavat suhdannevaihteluiden vaikutusta.



## 2 Massastabilointi

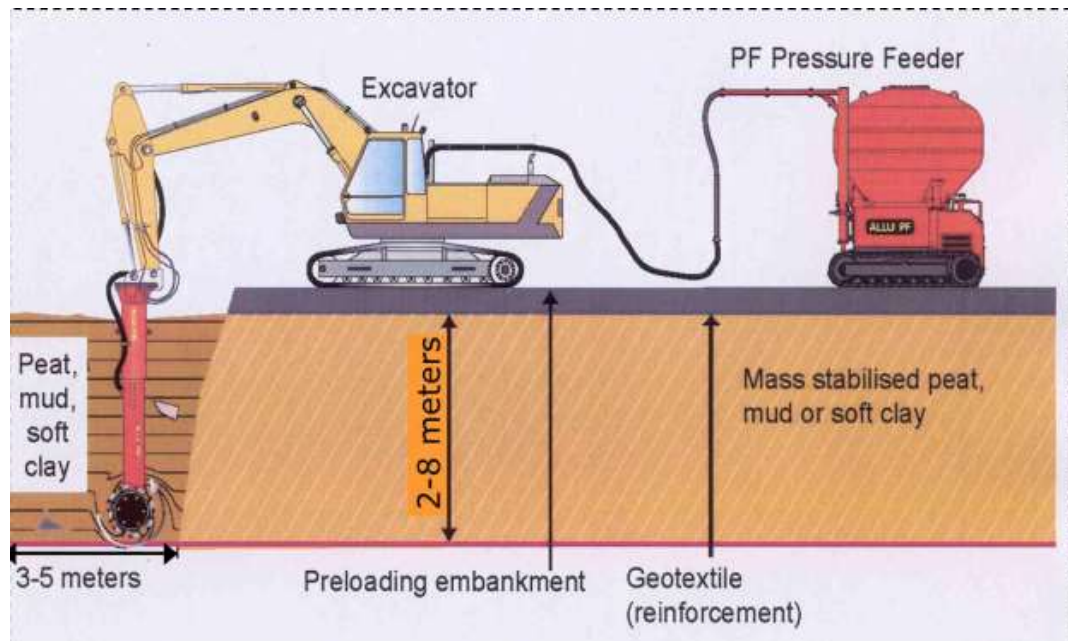
### 2.1 Yleistä

Massastabiloinnilla tarkoitetaan työtapaa, jolla muutetaan esimerkiksi pehmeän saven, liejun tai turpeen teknisiä ominaisuuksia, niin että maan lujittumisen jälkeen sitä voidaan käyttää pohjana rakentamiselle tai lujitettua massaa voidaan siirrettynä hyödyntää erilaisissa kohteissa täyttö- ja rakennusmateriaalina. [5, s. 1.] Stabilointityön aikana maa-ainekerrokseen sekoitetaan tarvittava määrä sideainetta ja tavoitteena on saada koko käsiteltävä maa-alue lujittumaan mahdollisimman homogeeniseksi. [5, s. 1.] Tällä pystytään poistamaan tai rajoittamaan erilaisten rakenteiden painumista käytön aikana, jolloin rakennuspaikan stabiiliteetti paranee, minkä jälkeen lujitettuun pohjamaahan on mahdollista tehdä esimerkiksi luiskattuja kaivantoja. [2, s. 9.] Stabilointityöllä voidaan myös helpottaa pehmeän maan kaivua. [2, s. 9.]

Massastabilointia käytetään yleisesti myös pilaantuneiden maiden ja ruopattujen sedimenttien käsittelyssä. Stabiloinnin jälkeen pilaantuneessa maaperässä olevien raskasmetallien vesiliukoisuus pienenee merkittävästi. Ympäristöluvan sallien, voidaan stabiloitua savea käyttää myös tiivisrakenteena pilaantuneiden maiden kapseloinnissa. [2, s. 9.]

Massastabilointi tapahtuu kuvassa 1 esitetyn yleisperiaatteen mukaisesti. Paineensyöttimellä syötetään sekoitinkärjen kautta yhtä tai useampaa sideainetta rumpusekoittimeen, joka pyöriessään sekoittaa sideaineen maaperään tehden siitä homogeenisen. Stabilointityö suoritetaan upottamalla sekoitinkärkeä maan pinnasta tavoite syvyyteen ja takaisin että sivusuuntaisesti. Stabilointityö etenee kerralla koneen ulottuman mukaan, ellei työaluetta ole jaettu tyypillisesti n. 3-5 m \* 3-5 m ruutuihin, jolloin edetään ruutu kerrallaan. Koneen edetessä levitetään sen alle liikkumista varten työalustäyttö, tai työalusta ja suodatinkangas, joka toimii samalla valmiin massastabiloinnin tiivistyspenkereenä. Useasti käsitellylle alueelle tehdään esikuormituspenger, jonka alla maa saavuttaa lopullisen lujuuden ja tiiveyden. Tämä on erityisesti turvealueilla välttämätön toimenpide, jotta stabiloitu materiaali tiivistyy riittävästi lujittumisen aikana. Normaalisti tavoitelujuus saavutetaan 1-3 kk aikana. Alueilla, joissa stabiloitava alue jatkuu massastabilointikoneen ulottuman alapuolelle, voidaan ulottuman alapuolinen kerros pilaristabiloida ja sen yläpuolinen kerros massastabiloida. Mikäli koko massastabiloitavan

maakerroksen pysty- ja vaakasuuntainen homogenisointi ja sekoitus eivät ole välttämättömiä, voidaan stabilointityö suorittaa myös käyttämällä pilaristabilointikonetta, täyttämällä koko stabiloitava alue toisiaan leikkaavilla stabilointipilareilla. [1, s. 6.], [5, s. 1.]



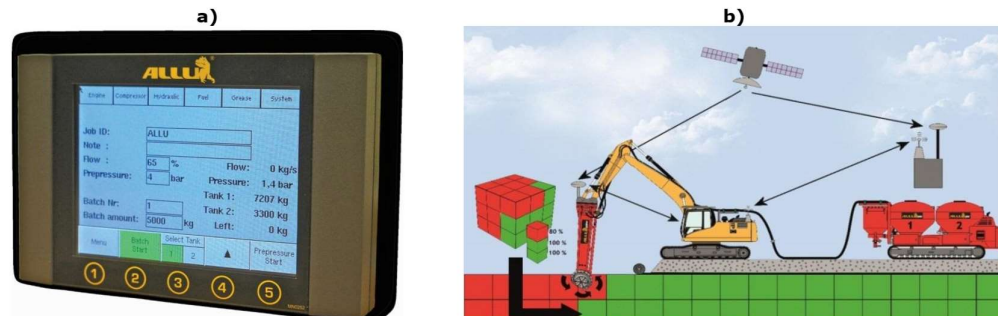
Kuva1. Periaatekuva massastabilointityöstä. [1, s.10.]

Pilaristabilointi on yleisin syvästabilointimenetelmä. Samoin kuin massastabiloinissa, pilaristabiloinissa maaperää vahvistetaan sekoittamalla siihen kalkki- ja sementtipohjaista sideainetta. Pilaristabilointi eroaa massastabiloinista siten, että pilaristabilointikoneessa on sekoitinkärjen tilalla kaira. Tässä menetelmässä maaperää stabiloidaan poraamalla kaira haluttuun syvyyteen ja tämän jälkeen kairaa ylös nostaessa maaperään sekoitetaan sideainetta samalla sekoittaen. Kun sideaineet reagoivat maaperän kosteuden kanssa, muodostuu siihen lujittuneita sylinterin muotoisia stabilointipilareita. Tavanomaisimmat stabilointipilarit ovat läpimitaltaan 500 – 800 mm. Suomessa käytävillä nykyaikaisilla laitteistoilla pystytään tehdä korkeintaan noin 25 m korkuisia pilareita. [3.]

Suomessa tielaitos kokeili massastabilointitekniikkaa ensimmäistä kertaa omissa kohteissaan vuonna 1993. Tällöin Veittostensuon pilottikohde oli tiedettävästi myös maailman ensimmäinen turpeen massastabilointikohde. Haminan satamassa kokeiltiin ruopausmassojen stabilointia ensimmäisenä maailmassa vuonna 1996. [2, s. 10.]

## 2.2 Massastabilointilaitteisto

Massastabilointikoneen perusrunkona käytetään tavanomaista kaivinkonetta, jossa on lisävarusteena sekoitinyksikkö, paineensyötin, ohjausyksikkö ja tiedonkeruujärjestelmä. [1, s. 8.]



Kuva 2. Koneohjausjärjestelmän ohjainyksikkö ja paikkatietojärjestelmän toimintaperiaate. [1, s.10.]

Hyvissä olosuhteissa ja nykyaikaisilla laitteistoilla voidaan stabilointi ulottaa 7- 8 metriin. työskentelyolosuhteet ja materiaalinlaatu vaikuttaa aina saavutettavaan stabilointisyvyyteen. Optimaalisen stabilointiruudun paksuus on n.3-5 m, mutta ohuempienkin kerrosten stabilointi on mahdollista. [1, s.6.] Toisaalta jo 5 metrin syvyyteen ulottuvan stabiloinnin sidejakauma voi jäädä epätasalaatuiseksi. [4, s.47.]



Kuva 3. Massastabilointilaitteisto, johon liitettynä paineensyötin. [1, s.9.]

Stabilointilaitteistoon voidaan tarpeen mukaan asentaa erilaisia sekoitinkärkiä maakerroksesta johtuen. Sekoituskärjet eli myyrät ovat pyöriä rumpuja, joissa on erimuotoisia teräpaloja sekoittamista ja leikkaamista varten. [1, s.8.]



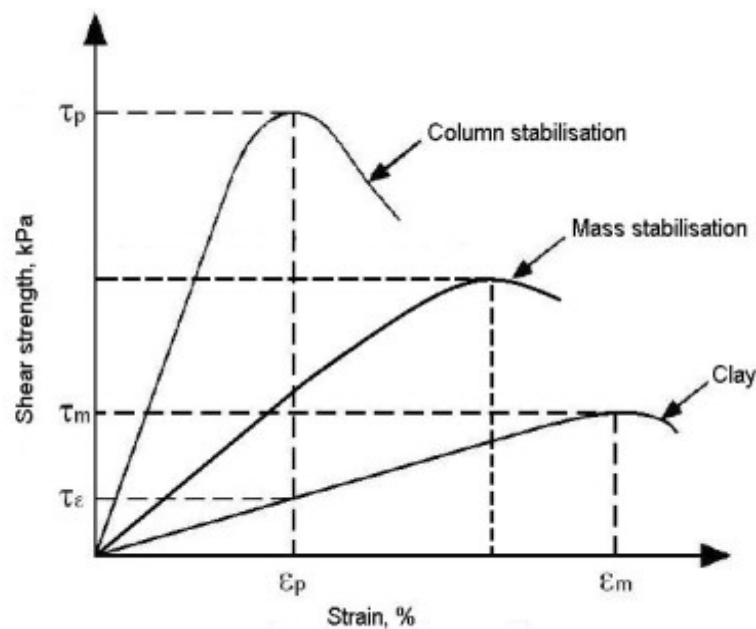
Kuva 4. Stabilointikoneen sekoitinyksikön sekoitinkärkiä. [1, s.10]



Kuva 5. Stabilointityö käynnissä. [8.]

### 2.3 Vaikutus maan ominaisuuksiin

Massastabiloinnilla on merkittävä vaikutus maan ominaisuuksiin. Käytetty sideaine, sideaineen määrä, runkoaine, lujittumisaika, lämpötila ja tiivistys vaikuttavat ominaisuuksien muuttumisen suuruuteen ja nopeuteen. Pääasiallinen tarkoitus stabiloinnilla on muuttaa maan indeksiominaisuuksia (tilavuuspaino, plastisuus, vesipitoisuus yms.), lujuutta, kokoonpuristuvuutta ja vedenläpäisevyyttä. Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty vaikutus yksiakiaaliseen muodonmuutokseen sekä puristuslujuuteen. [1, s.11.]



Kuva 6. Massastabiloinnin vaikutus saven muodonmuutokseen ja puristuslujuuteen. [1, s.13.]

Yksi massastabiloinnin pääasiallisista käyttökohteista on pilaantuneiden maiden käsittely. Massastabiloinnin avulla sidotaan maaperässä olevat haitta-aineet niukkaliukoiseen muotoon, jonka jälkeen pilaantuneita massoja voidaan käsitellä turvallisemmin ja niitä voidaan hyötykäyttää erilaisissa rakenteissa. Pilaantuneelle maa-alueelle voidaan myös stabiloida reaktiivisia seinämiä, jotka sitovat haitta-aineita estäen niiden leviämisen ympäristöön. Haitta-aineiden imeytymistä pystytään säätämään käyttämällä eri sideaineita ja seoksia. Ennen kuin massastabilointia käytetään pilaantuneiden maiden käsittelyssä, tulee sideaineiden sopivuudet testata

ennen työn aloittamista laboratoriokokeilla. Eri sideaineilla on useita haitallisten aineiden leviämiseen vaikuttavia ominaisuuksia, joita ovat mm:

- haitallisten aineiden kapseloituminen ja pidättäytyminen
- vaikutukset maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin (pH, redox)
- vaikutus maaperän indeksiominaisuuksiin, kuten plastisuus, vesipitoisuus ja vedenläpäisy. [1, s.12.]

Stabiloidun maan ominaisuuksien muutokseen vaikuttaa neljä päätekijää, jotka on määritetty allaolevassa taulukossa [2, s.14].

|  |  |
|--|--|
| <b>Sideaineen ominaisuudet</b>         | - Sideainetyyppi<br>- Sideaineen määrä ja laatu<br>- Sideaineen ja maan seokseen lisättävät muut materiaalit   |
| <b>Stabiloitavan maan ominaisuudet</b> | - Vesipitoisuus<br>- Maan fysikaalinen, kemiallinen ja mineraloginen koostumus<br>- Orgaanisen aineksen määrä ja laatu<br>- Huokosveden happamuus (pH) |
| <b>Olosuhteet stabiloinnin aikana</b>  | - Laboratorio-olosuhteet / maasto-olosuhteet<br>- Stabilointityön homogeenisuus  |
| <b>Olosuhteet lujittumisen aikana</b>  | - Lämpötila<br>- Lujittumisaika<br>- Jäätyminen ja sulaminen<br>- Tiivistäminen ja esikuormitus  |

Taulukko 1. Stabiloidun maan ominaisuuksien muutosten päätekijät [2, s.14]

Stabilointityön jälkeen maan tilavuuspaino nousee ja vesipitoisuus laskee, mikä johtuu lisäystä sideaineesta. Turpeen stabilointi voi nostaa pohjamaan tilavuuspainoa jopa 20%:lla. Saven tilavuuspainoon ei stabiloinilla ole juuri vaikutusta. Myös stabilointityön jälkeen rakennettava tiivistyspenger kasvattaa stabiloidun maan tilavuuspainoa, maan tiivistyessä. [2, s.14.]

Lisätty sideaine ja vettä kuluttavat sideainereaktiot aiheuttavat maan vesipitoisuuden laskun. Itse stabilointityö myös haihduttaa jonkin verran vettä maaperästä. Vesipitoisuus laskee eniten ensimmäisen viikon aikana, jonka jälkeen tasainen lasku

jatkuu ainakin seuraavan kuukauden työn päättymisen jälkeen. Maan plastisuuden ja vesipitoisuuden pieneneminen nostavat stabiloidun maaperän lujuutta. [2, s.14.]

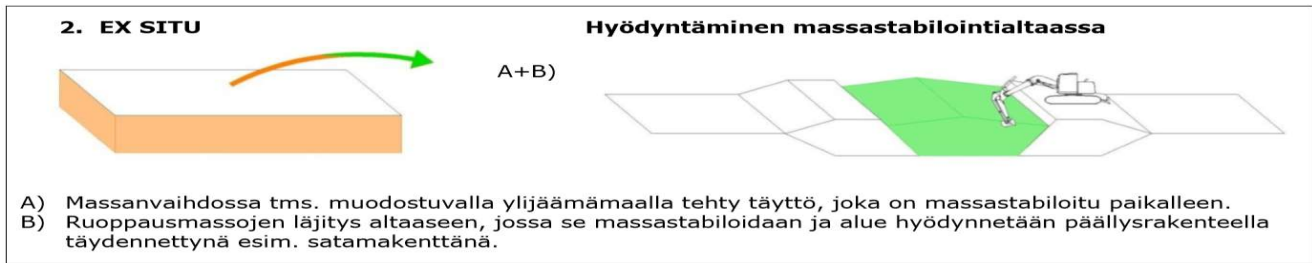
Eri sideainetyypit voivat joko nostaa tai laskea maan vedenläpäisevyyttä. Stabilointityön vaihtuvista parametreista, kuten mm. maaperän makrorakenteesta, sideaineiden ominaisuuksista tai kuormitusolosuhteista riippuen voi stabiloidun alueen vedenläpäisy olla suurempi tai pienempi verrattuna stabiloimattomaan alueeseen. [2, s.14.]

Stabiloinnin jälkeen maan lujuus kasvaa ja kokoonpuristuvuus pienenee. Saven kohdalla, lisätyn sideaineen määrä ja reaktioaika ovat suoraan verrannollisia lujuuden kasvuun. Saven lujuuden kasvu ei tapahdu lineaarisesti, kun sideaineen käytetään esim. sementtiä, joka kasvattaa lujuutta eniten stabilointityön jälkeisenä päivänä. [2, s.15.]

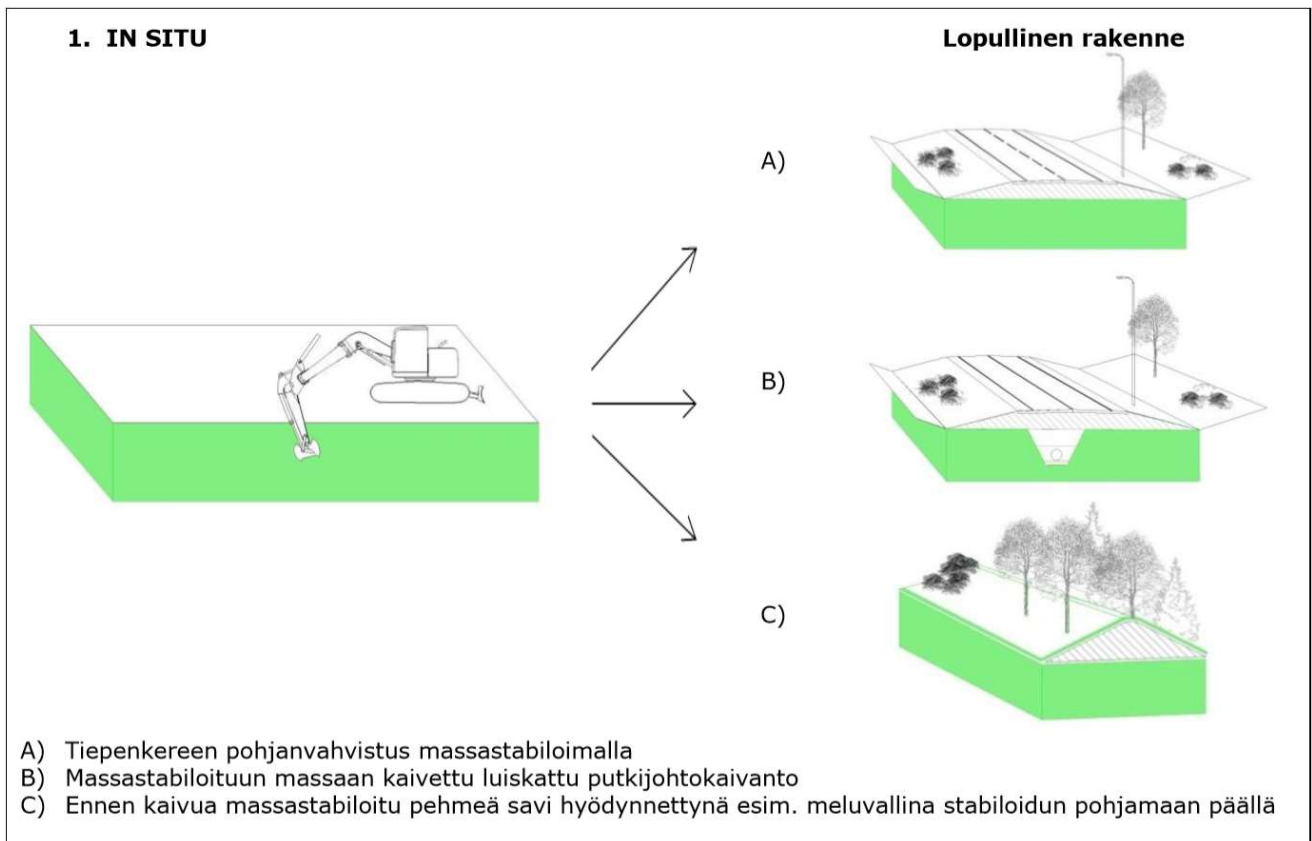
#### 2.4 Käyttökohteet

Stabilointi toimii useassa eri käyttötarkoituksessa pohjanvahvistusmenetelmänä ja heikkolaatuisen maa-aineksen jalostuksessa. Kohteita, joissa stabilointia voidaan käyttää ovat mm. kunnallistekniikka, tiet, kadut, satamat, meriväylät, viherrakentaminen, kaatopaikat, talonrakennuskohteet ja tulvasuojelu. [2, s.11.]

Massastabilointi voidaan tehdä paikalla, eli in situ, tai rakennuspaikan ulkopuolella, eli ex situ, jos esimerkiksi stabiloidaan ruoppausmassoja. Kuvassa 6 esitetään kolmessa eri käyttötarkoituksessa in situ -menetelmää: tiepohjan vahvistuksena, putkikaivannon tekeminen lujitettuun maahan, stabiloidun saven käyttö meluvallissa. Kuvassa 5 on esimerkki ex situ -stabiloinnista, jolloin stabiloidulla massalla voidaan täyttää allas, joka jää osaksi lopullista rakennetta. [2, s.11.]

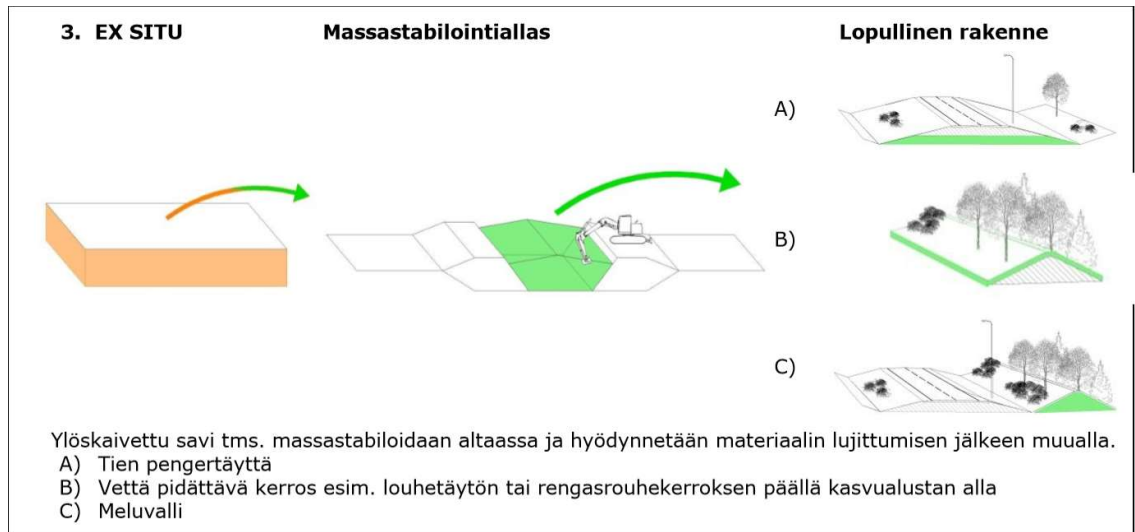


Kuva 5. Esimerkki ex situ -stabiloinnista, jolloin stabiloidulla massalla voidaan täyttää allas, joka jää osaksi lopullista rakennetta. [2, s.11.]



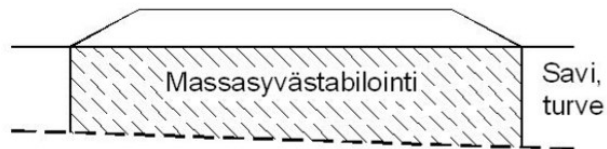
Kuva 7. Kuvassa esitetään kolmessa eri käyttötarkoituksessa in situ -menetelmää: tiepohjan vahvistuksena, putkikaivannon tekeminen lujitettuun maahan, stabiloidun saven käyttö meluvallissa. [2, s.12.]



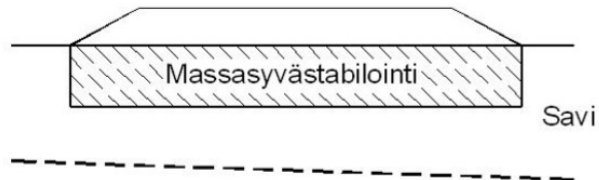


Kuva 8.        Stabiloitumassa hyödynnetään lujittumisen jälkeen muissa rakenteissa  
[2, s.12.]

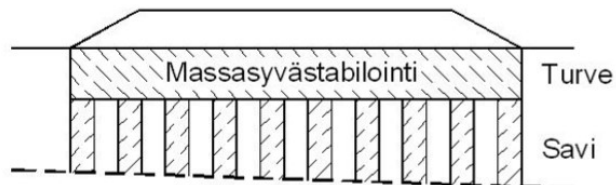
a) Massasyvästabilointi pehmeän kerroksen pohjaan asti



b) Massasyvästabilointi määräsyyvyyteen



c) Massasyvästabiloinnin ja pilaroinnin yhdistelmä



Kuva 10.      Kuvaus erilaisista stabilointitavoista ja pilaristabiloinnin yhdistämisestä  
massastabilointiin. [2, s.13.]

## 2.5 Massastabilointiprojektin vaiheet

### 2.5.1 Projektin alku

Massastabilointiprojektin alussa kerätään tarvittavat lähtötiedot, joita tarvitaan projektin toteuttamiseksi. Näitä ovat mm. alueen maaperäkartat, aikaisemmin tehtyjen maaperäkairausten tulokset, otetut maaperänäytteet, yms. Ja mikäli alueella on aikaisemmin suoritettu stabilointitöitä, hyödynnetään näistä saatavia tuloksia ja kokemuksia uuden stabilointiprojektin suunnittelussa. Alustavien suunnitelmien ja saatavilla olevien tietojen perusteella määritellään alueella tehtävät täydentävät pohjatutkimukset ja stabiloitavuuskokeet, joita ovat mm. pohjantutkimuskairaukset, maaperänäytteet, pohjaveden pinnan määrittely ja laboratoriotutkimukset. Stabiloitavuuskokeita ei välttämättä vaadita, mikäli kyseessä ei ole vaativa kohde ja alueella on suoritettu aikaisemmin vastaavia stabilointitöitä. Vastaavista maaperäolosuhteista hankittu kokemus otetaan huomioon stabilointikokeiden määrittelyssä. [1, s.34.]

Stabilointikokeet voidaan suorittaa kerralla tai vaiheittain kohteen koosta, vaativuudesta ja aikataulusta riippuen. Vaikka stabiloitavuuskokeet laboratoriossa tehtäisiin useassa vaiheessa, otetaan maaperänäytteet maastosta yhdellä kerralla. Maaperän stabiloituvuutta määritettäessä, selvitetään ensin kyseiseen kohteeseen parhaiten soveltuvan sideaineen laatu ja tämän jälkeen keskitytään sideainemäärän ja eri seoskomponenttien suhteiden optimointiin. [1, s.34.]

Massastabilointiprojektin suunnittelun lähtötiedoiksi tarvittavat tutkimukset:

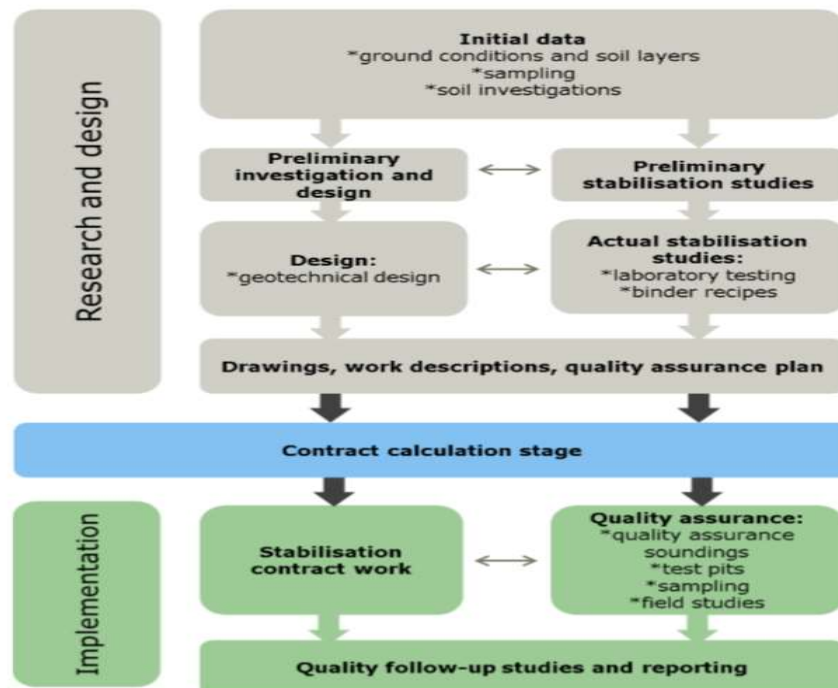
- maakerrosrajojen selvittäminen
- eri maakerrosten keskeisimmät indeksi ominaisuudet, joita ovat vesipitoisuus, humuspitoisuus, hienousluku, rakeisuus ja tarvittaessa Cl, pH ja SO<sub>4</sub>
- maakerrosten lujuus- ja painumaominaisuudet

Maakerrosten stabiloituvuuden määrittely:

- laboratoriossa tehtävät stabiloituvuuskokeet

- maastossa tehtävät koestabiloinnit
- aikaisemmin samalta alueelta kerätty tieto ja kokemus.

Näiden esitutkimusten pohjalta aloitetaan alueen geotekninen suunnittelu ja -mitoitus, joka etenee suunnitelmien tarkentuessa. Mikäli alueella on aikaisemmin suoritettu vastaavanlaisia stabilointitöitä, ja näistä kerätyn tiedon ja kokemuksen perusteella voidaan luotettavasti taata, että stabiloitu alue saavuttaa suunnitellun lujuuden, voidaan suunnittelun perustana tällöin käyttää aikaisemmin hankittua tietoa. Tällöin suunnittelu voi edetä stabiloituvuuskokeista riippumattomana ja joissain tapauksissa stabiloituvuuskokeiden tekeminen voidaan jättää myös urakoitsijan vastuulle, jolloin urakoitsijan tehtäväksi jää urakkalaskentavaiheessa määrittää käytettävän sideaineen laatu ja määrä. Normaalikäytäntönä kuitenkin pidetään, että stabiloituvuuskokeiden tulokset ovat käytettävissä suunnitteluvaiheessa. Kuvassa 11 esitetään stabilointiprojektin eteneminen. [1, s.34.]



Kuva 11. Stabilointiprojektin eteneminen. [1, s.35.]

### 2.5.2 Lähtötiedot ja pohjatutkimukset

Kun olemassa olevat pohjatutkimukset ja muu kohteesta saatavilla oleva tieto on saatu koottua, voidaan näiden tietojen pohjalta suorittaa teknistaloudellinen arvio, missä selvitetään massastabiloinnin soveltuvuutta rakennettavaan kohteeseen. Mikäli käytettävien tietojen pohjalta todetaan, että massastabilointi on kohteeseen soveltuva pohjanvahvistus menetelmä, käynnistetään edellä mainitut lisätutkimukset ja stabiloitavuuskokeet, joita käytetään suunnittelun perustana. Lisäksi kohteesta tulee selvittää mm. olemassa olevien rakenteiden sijainti (putket, kaapelit, ilmajohdot...), hylätyt/purettavat rakenteet, tarvittava työalue, kulkuyhteydet ja tarvittavan sideaineen saatavuus. [1, s.36.]

Geoteknisen suunnittelun ja mitoituksen lähtötietoina toimivien pohjatutkimusten laajuus määräytyy maaperän laadun, vahvistettavaan pohjaan kohdistuvan kuormituksen, sekä muille rakennettaville rakenteille asetettavien vaatimusten perusteella. Maaperäkairauksien lisäksi pohjatutkimusten yhteydessä suoritetaan maastokatselmus ja koekuopitus. Maaperämuodostumista ja sen rakennetta voidaan selvittää myös esimerkiksi ilmakuvien perusteella. [1, s.34.]

Luotettavin maan pintakerroksien tutkimusmenetelmä on koekuopitus. Koekuopituksen avulla saadaan luotettava kuvaus pintakerroksien paksuudesta ja maalajeista. Lisäksi pystytään selvittämään maaperän kivisyys, kaivannon vakavuus sekä pohjaveden- ja kallionpinnan taso. Kuopasta saadaan otettua myös erilaisia näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. [1, s.34.]

Pohjantutkimuskairauksien perusteella selvitetään syvemmällä sijaitsevien maakerroksien laatua, paksuutta sekä kallionpinnan tasoa. Myös kairauksien yhteydessä otetaan laboratorionäytteitä. [1, s.34.]

### 2.5.3 Esitutkimukset ja -suunnittelu

Massastabiloinnin suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa käynnistetään esitutkimus, jossa stabiloituvuuskokeiden tulosten pohjalta selvitetään massastabiloinnin tekniset mahdollisuudet ja taloudellisuus. Samalla maakerrosten stabiloitavuuden perusteella tehdään alustava arvio tarvittavien sideaineiden määrästä ja laadusta. [1, s.34.]

Suunnittelun toisessa vaiheessa kartoitetaan erilaisia teknisiä vaihtoehtoja ja laaditaan alustava kustannusarvio sekä valitaan alustavat rakennetyypit ja/tai -sovellutukset geoteknistä mitoitusta ja suunnittelua varten. [1, s.34.]

Massastabiloinnin suunnittelua ei kannata aloittaa ilman alustavien stabiloituvuuskokeiden tuloksia, jos suunnittelualueelta ei ole saatavilla kattavia ennakkotietoja maaperän stabiloituvuudesta, tai jos epäillään, että alueen maaperä sisältää pilaantuneita maa-aineksia. Joissain tapauksissa pohjamaan laatu tai jokin sen sisältämä kriittinen maakerros saattaa aiheuttaa sen, että stabilointia ei ole mahdollista suorittaa taloudellisella sideainemäärällä, jolloin kohteiden suunnittelua ei kannata jatkaa massastabilointitekniikkaan perustuen. [1, s.34.]

#### 2.5.4 Suunnittelu ja stabiloituvuustutkimukset

Suunnittelun toisessa vaiheessa stabiloituvuustutkimuksilla kartoitetaan teknisesti ja taloudellisesti parhaiten soveltuvia sideainetyyppejä, niiden seossuhteiden ja kokonaismäärien vaikutusta mm.

- saavutettavaan puristuslujuuteen
- tarvittavaan lujittumisaikaan
- lujittumisvaiheen kokoon tiivistymiseen
- stabiloitavan materiaalin ominaisuuksien vaihtumisesta johtuvaan lujittumisen herkkyyteen, esimerkiksi vesipitoisuuden vaihtelu. (otettava huomioon mm. altaassa stabiloitavien ruoppausmassojen stabiloinnissa). [1, s.37.]

Maaperän kerrostumisesta johtuen sekoitetaan stabilointityön aikana usein erityyppisiä maakerroksia keskenään. Esimerkiksi turpeen stabiloituvuutta parannetaan ulottamalla stabilointityö turvekerroksen alapuoliseen hiekka-, siltti- tai savikerrokseen, jolloin humuspitoiseen turpeen mineraalipitoisuus nousee ja se reagoi tehokkaammin käytettävien sideaineiden kanssa. Tästä johtuen on usein tarkoituksen mukaista, että stabiloituvuuskokeita tehdessä, päällekkäisiä maakerroksia sekoitetaan keskenään, jotta ko-

keiden tulokset vastaisivat mahdollisimman totuudenmukaisesti stabilointityön aikana sekoitettavia maakerroksia. [1, s.34.]

Lisäksi stabiloituvuuskokeissa voidaan tutkia, miten esim. lujittumislämpötila, esikuorituksen suuruus tai seosrunkoaineen määrä vaikuttaa saavutettavaan puristuslujuuteen ja lujittumisaikaan. Kohteissa, missä stabiloitava alue on kohtuullisen suuri tai stabilointityö luokitellaan erityisen vaativaksi, voidaan stabiloituvuuskokeiden tueksi suorittaa koemassastabilointi, jolloin saadaan tarkempi kuvaus maaperän todellisesta stabiloitavuudesta ja tarvittavasta sideainemäärästä. [1, s.34.]

Stabiloituvuuskokeiden pohjalta suoritettava geotekninen suunnittelu sisältää mm. erilaiset geotekniset laskelmat, määrälaskennan, rakenteiden suunnittelun, laadunvarmistussuunnittelun, työselostuksen. Lisäksi stabilointisuunnitteluun sisältyy sideainelogistiikka. [1, s.34.]

Geoteknisen suunnittelun yhteydessä määritetään vahvistettavalle pohjalle tarvittava tavoitelujuus, joka määräytyy teknistaloudellisin perustein stabiloituvuuskokeiden tuloksista. Tavanomainen massastabiloinnin tavoiteleikkauslujuus vaihtelee välillä 30...70 kPa, joissain erikoistapauksissa voi tavoitelujuus ylittää 100 kPa. [1, s.34.]

Massastabilointikohteesta laaditaan työselostus, jossa määritetään mm. työohjeet, toimitatavat, tekniset vaatimukset stabiloitaville materiaaleille ja laadunvarmistussuunnitelma, johon kirjataan kukin kohteen erityispiirteet. Massastabiloinnin työvaihekohtainen työsuunnitelma voidaan tilaajasta, kohteesta tai sen vaativuudesta riippuen tehdä täysin "räätälöidysti" tiettyyn kohteeseen tai se voi pohjautua yleiseen työselitykseen ja laatuvaatimuksiin, joita on tarkennettu tarvittavilta osa-alueilta. Lisäksi laadunvarmistussuunnitelmassa määritetään työnaikaisen seurannan ja laadunohjauksen toimenpiteet, ja ohjeet valvontakairauksien toteuttamiselle, jotka tyypillisesti tehdään 1-3 kuukautta lujittuneelle rakenteelle. [1, s.34.]

#### 2.5.5 Stabilointityö

Massastabilointi toteutetaan aina lähtökohtaisesti alkuperäisen suunnitelmien mukaisesti, mikäli alkuperäisiin suunnitelmiin syntyy merkittäviä poikkeamia esim. pohjaolosuhteissa, tulee suunnitelmia päivittää ja täydentää työsuorituksen aikana. Ennen mas-

sastabilointityön aloitusta, urakoitsija laatii työsuorituksesta kohdekohtaisen työvaihesuunnitelman ja siitä tulee käydä ilmi, miten massastabilointityö toteutetaan käytännössä, miten urakoitsijan vastuulla olevat laadunvarmistustoimenpiteet suoritetaan ja selvitys kelpoisuuden osoituksesta. Työvaihesuunnitelman tulee perustua urakan työselitykseen. Tätä käsitellään tarkemmin laatuvaatimuksia käsittelevässä kappaleessa. [1, s.38.]

Urakoitsija suorittaa omaa laadunvalvontaa samanaikaisesti stabilointityön kanssa. Stabilointityön yhteydessä valvotaan ja seurataan mm. stabiloitavan massan laatua, suunnitelmissa esitettyjen olosuhteiden paikkansapitävyyttä, sideainemääriä, lujuudenkehitystä ja lopputuloksen homogeenisyyttä. [1, s.38.]

Usein stabilointityölle osoitetaan ulkopuolinen laadunvalvoja, ja mikäli tuotantoa ohjaava laadunvalvonta kuuluu valvojan tehtäviin, alkaa laadunvalvojan työ jo ennen urakan alkamista. Jos ulkopuolisen laadunvalvojan tehtävät koostuvat ainoastaan laadun toteamisen valvonnasta, kuten laadunvalvontakairauksesta tai puristuskokeista, alkaa valvojan työ vasta stabilointityön aikana, tällöin laadunvalvonta ei ole laatua ohjaavaa työtä. [1, s.38.]

Ennen stabilointityön aloitusta suositellaan, että kohteessa suoritetaan koestabilointi, mikäli stabiloitava alue on kohtuullisen suuri, se luokitellaan erityisen vaativaksi tai sen epäillään sisältävän vierasta materiaalia. Koestabiloinnilla varmistetaan teknisen toteutuksen toimivuus, lopputuloksen laatu sekä optimoidaan sideaineresepti. Mikäli laitteiston mobilisointi pelkkää koestabilointia varten koetaan liian kalliiksi, voidaan urakka käynnistää koeluontoisella aloituksella, tällöin urakan aluksi yksittäisiä ruutuja stabiloidaan eri sideaineresepteillä, eri sekoitustyön määrällä tai muilla variaatioilla. Tämän jälkeen voidaan stabilointityötä jatkaa vähintään riittäväksi arvioidun tiedon perusteella korotetuilla sideainemäärillä, kun laadunvalvontakairauksien tuloksia odotetaan. [1, s.38.]

Massastabilointityön ja laadunvalvonnan keskeisimmät vaiheet:

- stabilointityö:
  - työalueen järjestely ja merkintätyöt

- stabiloitavan materiaalin haraus ja homogenisointi
- sekoitustyö, laadunvalvonta ja -ohjaus
- sideainemäärien seuranta.
- laadunvalvonta:
  - näytteenotto ja laboratoriotutkimukset
  - pilari- ja siipikairaus
  - tulosten tulkinta.

[1, s.38.]

#### 2.5.6 Lopputulokseen ja työn etenemiseen vaikuttavat tekijät

Valmiin massastabilointityön lopputuloksen laatuun ja työn etenemiseen vaikuttavat monet yksittäiset asiat. Työn suunnittelussa ja stabilointityötä tehdessä tulisi ainakin seuraavat asiat huomioida:

- stabilointialueen massojen laatu ja sen vaihtelu sekä geotekniset ja kemialliset ominaisuudet
- pintakerroksen alapuolella olevat kivet, kannot, juuret, hirsipedit ja muut kiinteät kappaleet
- stabilointialueen ylä- ja alapuolella sijaitsevat esteet ja rakenteet sekä säilytettävien rakenteiden merkintä ja suojaus
- vallitseva lämpötila, sen vaihtelu ja vuodenaika
- alueen kuivatus ja mahdolliset tulva/sulamisvedet



- sideaineen saatavuus, logistiikka ja varastoinnin erityistarpeet
- pölynhallinta ja sen vaikutus ympäristöön
- kulkuyhteys työalueelle
- ympäristön stabiliteetti ja työn aiheuttama tärinä
- meluntorjunta, työajat sekä esim. lintujen pesintä ajat
- valmiin rakenteen laatuvaatimukset
- riittävän alkulujuuden saavuttaminen, jotta stabilointityö voi edetä
- urakka-aikataulun toteutuskelpoisuus.

[1, s.39.]

### 3 Sideaineet

#### 3.1 Yleistä

Yleisin massastabiloinnissa käytetty sideainemateriaali on sementti, mutta monissa tapauksissa myös kalkin (kalkkisementti) käyttö on varteenotettava vaihtoehto. Sideaineseokseen voidaan myös lisätä erilaisia teollisuuden reaktiivisia sivutuotteita osakomponentteina, joita ovat mm. kuonat, lentotuhkat ja muut kipsimäiset komponentit. Sideainetta kutsutaan seossideaineeksi, mikäli se koostuu useammasta kuin yhdestä stabiloituvasta komponentista. [4, s.17.] Teollisuudesta saatavilla sivutuotteilla pyritään parantamaan stabiloitujen massojen teknisiä ja ympäristöllisiä ominaisuuksia, sekä laskea sideainekustannuksia [1, s.40].

Sideainetyyppejä valittaessa pystytään lujustason, materiaalikustannusten ja saatavuuden lisäksi vaikuttamaan myös mm. lujittumisominaisuuksiin, jännitysmuodonmuutoksiin ja joidenkin sideaineiden kohdalla vedenläpäisy ja liukoisuusominaisuuksiin.

Käytettävän laitteiston ominaisuuksista sideaineen valintaan vaikuttaa mm. syötettävien sideaineiden ja osakomponenttien maksimäärän suhde. Tavanomaisesti sideaine syötetään maaperään kuivana, mutta on myös mahdollista käyttää kosteutettuja sideaineita esim. kasavarastoitua tuhkaa. [1, s.40.]

### 3.2 Sementti

Sementti on yleisin massastabiloinnissa käytettävä sideainetyyppi. Sementillä saavutettava, muita sideaineita nopeampi, alkulujittuminen on työn tekemisen kannalta sen tärkeimpiä ominaisuuksia. Yleensä muilla sideainevaihtoehdoilla pitkäaikaislujuuttuminen on puolestaan parempaa. Massastabiloinnissa ei sementin tyyppillinen kova, mutta hauras rakenne juurikaan haittaa, koska lopullinen stabiloiturakenne on yhtenäinen ja paksu massiivikerros. Sementti on hydraulista sideainetta, jolloin se veden kanssa reagoi muodostaen lujuuttuvaa massaa. Ensimmäiset hydraatioreaktiot alkavat, kun sementti sekoittuu maa-ainekseen ja reagoi sen sisältämän veden kanssa. Reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vuoksi seoksen pH nousee suunnilleen kolmeentoista. Kun sideaineena käytetään sementtiä, on sekoitettavan massan vesi-sementtisuhte (kg/kg) yksi tärkeimmistä suunnitteluparametreista. Mikäli sekoitettavan massan vesi-sementtisuhte on suuri, eli vettä on seoksessa sementtiin nähden enemmän, kasvatetaan se sementtipartikkelien välistä etäisyyttä. Tällä tavoin sekoitettu stabilointimassa on paljon huokoisempaa ja lujuudenkehitys jää heikommaksi, kuin pienemmällä vesi-sementtisuhteella sekoitetussa massassa. [1, s.40.], [2, s.17.]

Kun sementin ja veden välinen hydrataatioreaktio on päättynyt, jatkuu maan lujuuttuminen hitaamman potsolaanireaktion aikana. Tämä reaktio syntyy, kun maan aluminaatit ja silikaatit reagoivat kalsiumhydroksidin kanssa. Potsolaanireaktio voimistuu hydrataatioreaktiosta syntyneen lämmön ansiosta. Lisäksi sementillä stabilointi voi nostaa maan vedenläpäisevyyttä hetkellisesti, kun kalsiumhydroksidi osallistuu ioninvaihtoon, minkä seurauksena maa paakkuuntuu. Tämä jää yleensä melko vähäiseksi ja lujuuttumisen edetessä vedenläpäisy pienenee nopeasti. [2, s.17.]

Maaperän sisältämät orgaaniset humushapot vaikeuttavat sementissä tapahtuvaa potsolaanireaktiota, minkä takia massan lujuuttuminen hidastuu. Kalsiumhydroksidin kanssa reagoivat humushapot muodostavat liukenemattomia yhdisteitä, jotka sementtiparkitte-

lien päälle saostuessaan estävät potsolaanireaktion jatkumisen ja lujuuden kehityksen. Humushapot laskevat myös seoksen korkeata pH:ta, mikä on potsolaanireaktiolle välttämätöntä, jolloin lujuuden kehitys hidastuu. [2, s.17.]

Kun sementtiä käytetään sideaineena, on huolellisella sekoitustyöllä suurempi merkitys, kuin kalkkipitoista sideainetta käytettäessä. Sementin sisältämät kalsiumionit liikkuvat runkoaineessa vähän, eivätkä sekoitustyön jälkeen stabiloituun massaan jääneet mahdolliset epähomogeenisuudet enää tasoitu. [1, s.40.]

Massastabiloinissa käytetään EN 197-1 standardin mukaisia sementtituotteita, joita ovat:

- Plussementti (CEM II/B-M (S-LL\*) 42,5 N),
- Rapidsementti (CEM II/A-LL 42.5 R),
- Pikasementti (CEM I 52.5 R),
- SR-sementti (CEM I 42,5 N-SR3).

SR-sementti on sulfaatinkestävä sementtilaatu, joka soveltuu sulfaattipitoisen maaperän stabilointiin. [2, s.18.]

### 3.3 Kalkki

Massastabiloinnissa käytettävä kalkki on lähes poikkeuksetta poltettua (CaO), joskus voidaan käyttää myös sammutettua kalkkia (Ca(OH)<sub>2</sub>). Näitä kalkkituotteita käytetään massastabiloinnissa lähes aina seostettuna muiden sideainekomponenttien kanssa, useimmiten sementtien. [1, s.40.]

Ominaisuuksiltaan poltettu kalkki on erittäin reaktiivinen. Sekoituksen aikana kalkki sitoo itseensä runsaasti vettä, joka käynnistää reaktion, missä alkaa muodostua lämpöä. Reaktiolämpö voimistaa myöhemmin tapahtuvia lujittumisreaktioita. Käytetty kalkki tekee valmiista rakenteesta karkeamman ja saattaa kasvattaa sen vedenläpäisyyttä. Muodostuva lämpö ja veden sitoutuminen lujittaa maata vain tilapäisesti, kun ympäröivästä maaperästä imeytyy stabiloituun kenttään lisää vettä. Veden imeytyminen on

kuitenkin niin hidasta, että maa ehtii lujittumaan samanaikaisesti muiden reaktioiden avulla, joten lujuuden katoaminen on erittäin vähäistä. Kalkille on ominaista sen hidas alkulujittuminen ja sen jälkeen rakenteessa tapahtuvat useat pitkäaikaisreaktiot. Hitaan alkulujittumisen jälkeen käynnistyvät putsolaaniset reaktiot voivat lujittaa rakennetta vielä vuosien ajan stabilointityön päätyttyä. Putsolaaniset reaktiot eivät sido vettä tai tuota lämpöä. Sekoitustyön aikana kalkkipartikkelit diffundoituvat ympäröivään saven kanssa tasoittaen mekaanisen sekoituksen epähomogeenisuuksia, mikä parantaa lopullista työn laatua. [1, s.40.], [2, s.18.]

Humuspitoisella maa-aineksella on suurempi negatiivinen vaikutus kalkkistabilointiin kuin sementtistabilointiin, koska kalkkipitoisessa stabilointikentässä lopullinen lujuus kehittyy ainoastaan potsolaanireaktion vaikutuksesta. Humuspitoinen maa-aines laskee massan pH:ta, minkä seurauksena potsolaanireaktio heikentyy. Orgaanista ainetta sisältävän maaperän, kuten turpeen stabiloinnissa on sementti kalkkia tehokkaampi sideaine. [2, s.18.]

### 3.4 Muut sideaineet

Massastabiloinnissa voidaan hyödyntää erilaisia sivutuotesideainekomponentteja, joita ovat esimerkiksi kuonat, lentotuhkat ja kipsit. Tavanomaisesti näiden sivutuotteiden tarkoituksena on toimia kaupallisten sideaineiden esim. kalkin tai sementin rinnalla, millä pyritään vaikuttamaan positiivisesti teknisiin, ja/tai ympäristöllisiin ominaisuuksiin, sekä sideaineiden hankintakustannuksiin. Muutamissa erikoistilanteissa pystytään stabilointityö toteuttamaan käyttämällä ainoastaan sivutuotteita varsinaisena sideaineena. [1, s.41.]

Vaikka sivusideainekomponenttien käyttö normaalisti kasvattaa kokonaissideainemäärää, saavutetaan sideainekustannuksissa silti monissa tapauksissa merkittäviä säästöjä. Tämä on omiaan parantamaan massastabiloinnin kilpailukykyä, vaikka joissain tapauksissa kokonaissideainemäärän kasvattaminen voi hidastaa stabilointityön toteutusta. [1, s.40.]

Kun massastabiloinnissa käytetään sivusideaineita, tulee mm. seuraaviin asioihin kiinnittää huomiota:

- materiaalien laatu/laatuvaihtelu ja saatavuus
- tarpeet välivarastoinnille
- erityisiä käsittely tai siirtotekniikoita
- massastabilointikoneen sideainekomponenttien syöttömahdollisuuksien lukumäärä
- mahdollisuus sideainekomponenttien sekoitukseen jo ennen stabilointityötä
- valmiin sideaineskoituksen ja muiden komponenttien säilyvyys
- massastabilointilaitteiston kyky syöttää ainoastaan kuivia ja hienorakeisia osakomponentteja
- kosteiden sideaineiden levitys stabilointikentän pinnalle ja tarvittaessa esisekoitus kaivinkoneella
- mahdollinen sivutuotekomponenttien aiheuttama sideainesyöttölaitteiston kuluminen
- sivutuotesideaineiden käyttöä edellyttävät lupa-/ilmoitusasiat

Mikäli massastabiloinnissa käytetään vaihtoehtoisia sivusideaineita, tulee niiden käyttömahdollisuudet ja ominaisuudet, sekä valmiin rakenteen laatuun vaikuttavat tekijät selvittää etukäteen laboratoriossa. [1, s.41.]

Erilaisia sideaineita yhdistelemällä pyritään tuottamaan sideaineseos, jonka sisältämät ominaisuudet soveltuvat parhaiten tiettyyn rakennuskohteeseen. Räättälöimällä yksilöllisiä sideaineita pystytään vaikuttamaan mm. lujuuden kehitykseen (joissain kohteissa pyritään hitaaseen lujuuden kehitykseen), vettyneiden massojen kiinteytymiseen (vesipitoisuutta vähentävät komponentit), valmiin rakenteen lujuuteen, muodonmuutosominaisuuksiin, sideaineen sekoittuvuuteen vaikuttaviin komponentteihin, haitallisten aineiden hallintaan, vedenläpäisevyyteen ja kokonaiskustannuksiin. Useimmiten kai-

kissa sideaineyhdisteissä käytetään reaktioiden käynnistykseen/heräteaineena, joko sementtiä tai kalkkia. [1, s.41.]

Masuunikuonaa syntyy raudan valmistuksen sivutuotteena. Granuloimalla masuunikuonaa korkeapaineisella vesisuihkulla saadaan tuotettua masuunihiekkaa. Hiekalla on hyvät tiivistymisominaisuudet johtuen sen terävasärmäisyydestä. Stabiloinnissa käytettävä masuunihiekka on jauhettua. Jotta masuunihiekka soveltuu käytettäväksi stabiloinnissa, pitää sen hydrauliset ominaisuudet aktivoida joko kalkilla tai sementillä. Kalkin ja sementin sitoutumiseen liittyvä hydrataatioreaktio kehittää lämpöä, mikä nopeuttaa myös masuunihiekan sitoutumista. Laadunvarmistukseen liittyvissä tutkimuksissa on saatu selville, että kuona-sementtiseoksella saavutetaan yleensä suurempi pitkäaikaislujuus verrattuna pelkän sementin kehittämään loppulujuuteen. [2, s.18.]

Energiantuotannossa poltettavan kivihiilen palamistuotteena syntyy karkearakeista pohjatuhkaa ja kevyttä lentotuhkaa. Polttolaitoksilla lentotuhka erotetaan suodattimien avulla muista palamistuotteista. Savukaasujen puhdistustekniikka, palamisolosuhteet ja poltettavan materiaalin laatu liittyvät kaikki tuhkan koostumukseen. Poltetun kivihiilen massasta n. 10-15% palaa tuhkaksi. Lentotuhkan potsolaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa polttolaitos, josta lentotuhka on peräisin. Stabiloitavuuden kannalta lentotuhka saavuttaa hyvät ominaisuudet, kun se poltetaan korkeassa lämpötilassa ja jäähdytetään nopeasti. Koska lentotuhka lujittumisominaisuudet ovat ainoastaan potsolaanisia, vaatii se lujittuakseen kalkkia tai sementtiä. Sideaineen hydrauliset ominaisuudet, eli miten se reagoi veden kanssa, riippuvat sideaineen kalkki-pioksidisuhteesta. Lentotuhkalla on korkea pioksidisuhte, mutta matala kalkkipitoisuus. Tämän takia se tarvitsee lisäsideaineena kalkkia tai sementtiä. [2, s.19.]

Turpeen poltossa syntyvää tuhkaa voidaan myös hyödyntää massastabiloinnissa. Samoin kuin lentotuhkan, riippuu turvetuhkan koostumus suuresti voimalaitoksesta, jossa se on tuotettu. Turpeen kuivapainosta 3-10% palaa tuhkaksi. Jotkin turvetuhkat tarvitsevat lujittumiseen sementti- tai kalkkiaktivaattoria. Turvetuhkan omaa korkeamman kalkki-pioksidipitoisuuden, kuin kivihiilenpoltosta syntyvä lentotuhka. Stabiloinnin sideaineen on myös kokeiltu erilaisia orgaanisten jätteiden, kuten oliivi-, riisinkuori-, ja yhdyskuntajätteen poltosta syntyneitä tuhkia. [2, s.18.]

## 4 Yleiset laatuvaatimukset

### 4.1 Massastabiloinnin materiaalit

Massastabiloinnissa käytettävien sideaineiden kelpoisuus tulee ensisijaisesti osoittaa CE-merkinnällä. Mikäli sideaineen kelpoisuutta ei osoiteta CE-merkinällä, osoitetaan asiakirjoissa vaadittujen tuotteiden ominaisuudet hyväksyttämällä tuote ao. viranomaisella tai suorittamalla rakennuspaikka kohtaisia laadunvarmistuskokeita. [5, s. 1.]

Kaikista käytettävistä sideaineista tulee ilmoittaa siinä käytettyjen aineiden koostumus (käytetyt kemialliset aineet ja niiden määrät), jonka lisäksi tulee sideaineiden alkuperä todeta ja dokumentoida. [5, s. 1.]

Työnsuorittajan on huolehdittava, etteivät käytetyt sideaineet reagoi keskenään, sellaisenaan tai maaperässä niin, että ne aiheuttaisivat rakennuspaikan, sen ympäristössä olevan pohjaveden tai maaperän pilaantumista. [5, s. 1.]

Sideaineen tulee olla juoksevuudeltaan niin laadukasta, että se pystytään syöttämään tasaisesti paineilmaa hyväksi käyttäen stabilointikoneen sekoitinkärkeen. [5, s. 1.]

Suunnitelma-asiakirjoissa osoitetut sideainekomponenttien keskimääräiset seossuhteet saavat poiketa osoitetusta enintään 5%-yksikköä. Yksittäisen sideaineen seossuhteen poikkeama suunnitelma-asiakirjoista saa olla enintään 10%-yksikköä. [5, s. 2.]

Kaikkien muiden sideaineiden, paitsi CE-merkillä varustetun sementin, laatu seurataan ottamalla sideainenäyte syöttöletkun läpi puhalletusta materiaalista. Sideainenäyte (noin 2 kg) otetaan työn alussa ja jokaisesta käytetystä 1000 kg sideaine-erästä. Suunnitelma-asiakirjoissa määritetään sideaineelle tehtävät laboratoriotutkimukset. [5, s. 2.]

Sideaineena käytettävän poltetun sammuttamattoman kalkin (CaO) on oltava tarpeeksi hienojakoista. Rakeisuudeltaan sen on oltava 0/0,2 ja tästä vähintään 80% läpäisee 0,2 mm seulakoon ja maksimi raekoko on < 2 mm. Kalkin tulee sisältää vähintään 75 % aktiivista CaO:ta. Kalkin rakeisuus ja CaO-pitoisuus todetaan materiaalin toimittajan laatutositteista. [5, s. 3.]

Stabilointityössä käytettävän tavanomaisen sementin on oltava standardin SFS-EN 197-1 mukaista ja sen on täytettävä Suomessa annetut viranomaismääräykset. [5, s. 3.]

Muiden side- ja lisäaineiden, sekä mahdollisen lisärunkoaineen (esim. hiekka, savi) vaatimukset esitetään hankekohtaisissa suunnitelma-asiakirjoissa. [5, s. 3.]

Käytettäessä kosteita side- tai lisäaineita, esimerkiksi kosteaa lentotuhkaa, tulee se levittää stabiloitavan maa alueen päälle ja esisekoittaa kaivinkoneella ennen varsinaisen stabilointityön aloittamista. Kosteista materiaaleista sideainenäyte (noin 2 kg) otetaan suoraan kuljetusajoneuvosta ennen työn aloittamista. Työn aikana otettavien sideainenäytteiden ottoväli ja lukumäärä esitetään kohdekohtaisessa näytteenotto-ohjelmassa. [5, s. 3.]

#### 4.2 Työjärjestys ja esityöt

Ennen stabilointityön aloittamista jaetaan työalue stabilointiruutuihin varsinaista työtä varten ja laadunvalvontaa varten kenttä jaetaan osa-alueisiin. Kohdekohtaiseen työsuunnitelmaan merkitään stabilointiruutujen sijainnit, numerot ja stabilointisyvyydet. [5, s. 3.]

Työvaihekohtaiseen työsuunnitelmaan kirjatut esityöt on tehtävä ennen stabilointityön aloittamista, näihin kuuluvat raivaustyöt (mm. poistetaan kivet, kannot, juurakot yms.), työalueella olevien rakenteiden merkintä (mm. maanalaiset rakenteet, maakaapelit ym. johdot) ja mahdollinen stabilointialueen päällä olevan humusmaan poisto. Työalueen läheisyydestä myös poistetaan tai välpätään kaikki haittaa aiheuttavat täyttö- ja rakennekerrokset stabilointityön edellyttämältä alueelta, maastoesteet poistetaan ja rakennetaan koneelle työalusta sekä suoritetaan suunnitellut suojaustoimenpiteet. Mikäli suunnitelmiin ei ole merkitty kaikkia stabilointityötä haittaavia rakenteita, sovitaan niiden poistamisesta tai muista toimenpiteistä työn aikana. [5, s. 4.]

Työmaa-alueelle on varattava tarpeeksi laaja alue, jotta kaikki stabilointityön vaatimat esityöt ja työvaiheet pystytään suorittamaan turvallisesti ja vaaraa aiheuttamatta sekä



ympäristöä häiritsemättä. Koneille ja materiaalikuljetuksille on rakennettava riittävän kantavuuden ja käyttökelpoisuuden säilyttävä tieyhteys.

Kaikki stabilointialueen ulkopuolelle tulevat työalustat suunnitellaan työmaakohtaisesti, kohteen pohjamaan kantavuuden ja stabiloinnissa käytettävän kaluston mukaan. [5, s. 4.]

#### 4.3 Massastabiloinnin tekeminen

Stabiloitavaan maakerrokseen lisättävien side-, lisä- ja lisärunkoaineiden sekoitukseen on käytettävä siihen soveltuvaa massasyvästabilointilaitteistoa. Paineensyöttimen kehittämän paineilman avulla sekoitinkärkeen syötetään kahta tai useampaa sideainetta, jonka päässä oleva pyörivä rumpusekoitin sekoittaa sideaineet stabiloitavaan maahan, tehden siitä samalla tasalaatuisen massiivikerroksen. Stabilointityö toteutetaan siten, että stabiloitu maakerros saavuttaa suunnitelma-asiakirjoissa määritetyn tason. [5, s. 5.]

Ennen stabilointityön aloittamista pitää käytettävälle laitteistolle saada tilaajalta hyväksyntä, etenkin sekoitinkärjen osalta. Samalla on esitettävä riittävät tiedot ja suunnitelmat, että käytettävä stabilointikone ja kalusto soveltuvat työn suorittamiseen ja dokumentointiin. [5, s. 5.]

Sekoitustyötä tehdessä sekoitinkärkeä liikutellaan stabiloitavassa kerroksessa pysty- ja vaakasuunnassa. Valmiin stabiloinnin onnistuminen ja tasalaatuisuus ovat suoraan yhteydessä tehdyn sekoitustyön määrään. Pohjaolosuhteiden perusteella jokaiselle kohteelle määritetään yksilöllisesti tarvittava sekoitustyön määrä työn aloitusvaiheessa ja sen jälkeen stabiloidun maan laatua seurataan työn edetessä. [5, s. 5.]

Stabilointityön aikana tulee työalueen kuivatuksesta huolehtia mm. lopputuloksen laadun ja työtekniisten seikkojen takia. Stabilointityön aikana maakerrokseen sekoittunut ylimääräinen vesi heikentää lopullisen rakenteen lujuutta. Talvella tehtävien stabilointitöiden yhteydessä tulee huolehtia, ettei stabilointiruutujen päällä oleva ylimääräinen lumi ja jää sekoitu maakerrokseen sekoituksen aikana. Matalissa lämpötiloissa tulee huolehtia, ettei pohjamaa roudi tarpeettomasti ennen työn aloittamista, jolloin esimer-

kiksi stabilointikentän päällä oleva lumikerros poistetaan vasta juuri ennen stabiloinnin aloittamista. [5, s. 6.]

Stabiloidun maakerroksen alapinnan taso määritetään suunnitelma-asiakirjossa. Työn alkaessa pyritään alueen stabiloitavuutta ja sekoitustyön määrää tarkistamaan, tasaisesti koko alueelle tehtävien koestabilointiruutujen perusteella, maapohjan kantavuuden sallimissa rajoissa. Koe- ja tuotantostabilointien tietoja verrataan suunnitelma-asiakirjoihin, joista tarkastetaan mm. stabiloinnin tavoitetasot. Kun suunnitelmissa puhutaan stabilointisyvyydestä, tarkoitetaan tällä tasoa, johon sekoitustyö ulotetaan ja jossa maamassan ja sideaineen sekoittuminen tapahtuu luotettavasti ja tasaisesti. [5, s. 6.]

Tapauksessa, missä esimerkiksi suunnitellaan turvekentän stabilointi siten, että stabiloitavan turvekentän mineraalikoostumusta pyritään parantamaan ulottamalla stabilointi työ turpeen alapuoliseen saveen. Tarkistetaan saven leikkauslujuus etukäteen tehtävillä kairauksilla, koestabiloinilla tai koekuopilla. Mikäli ennakkotutkimuksista huolimatta koe- tai tuotantostabilointivaiheessa käy ilmi, että turpeen alla oleva savi on niin lujaa, ettei stabilointirumpu uppoa maaperään. Otetaan tämä huomioon stabilointityön edetessä nostamalla sekoitettavan sideaineen määrää, tai lisäämällä lisärunkoainetta turvekerroksen pinnalle, joka sekoitetaan muun massan sekaan. [5, s. 6.]

Stabilointiruutujen pinta tasataan heti sekoitustyön päätyttyä ja sen päälle rakennetaan suunnitelmien mukainen työalusta, jonka pohjalle asennetaan suodatinkangas. Saman vuoron aikana työalustasta rakennetaan vähintään alaosa. Tavanomainen työalusta on paksuudeltaan 0,5-1,0 m. Työsuunnittelussa tulee varautua työalustan vaiheittaiseen rakentamiseen. Penkereitä ei tehdä täyteen korkeuteen, eikä stabiloidulla alueella saa liikkua raskaalla kalustolla ennen kuin pohjan suunniteltu lujuus on saavutettu. [5, s. 6.]

Sideaineen sekoittuminen ei missään olosuhteissa tapahdu täysin homogeenisesti. Tämän takia sideainepitoisuuksia määriteltäessä pitää näytteitä olla useita, jotta todellinen sideainepitoisuus voidaan todeta riittävän luotettavasti. Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään kohdekohtaisesti näytteenottoa koskevat vaatimukset. Valmiista stabilointikentästä määritetyn sideainemäärän:

- poikkeamat ( $\text{kg/m}^3$ ) eivät saa ylittää +/-20 % ja

- ruutukohtainen yksittäispoikkeama ei saa ylittää +/-30% määrästä, joka on suunnitelma-asiakirjoissa esitetty. [5, s. 8.]

Koekuoppänäytteistä pystytään sideaineen jakautumista ja lujittumista arvioida myös silmämääräisesti. Silmämääräistä arviointia tulee tehdä tasaisesti koko stabilointityön ajan. [5, s. 8.]

#### 4.4 Valmis massastabilointi

Valmiin stabilointikentän nurkkapisteiden suurin sallittu sijaintipoikkeama suunnitelma-asiakirjoissa määritetystä sijainnista on 0,2 metriä. [5, s. 8.]

Kun stabilointikentästä otetut sideainenäytteet edustavat suurempaa, kuin yhden ruudun kokoista osa-aluetta, tulee näiden koetulosten keskiarvon olla vähintään suunnitelma-asiakirjoissa määritetyn leikkauslujuuden suuruinen. Samalla ruutukohtainen vähimmäislujuusvaatimus on ylitettävä. [5, s. 9.]

Alla olevassa kuvassa esitetään, millä tavalla tavanomaisissa pengerkohdeissa kairaus-tuloksia tulkitaan. Tulkinta suoritetaan osa-alueittain ja ruutukohtaisesti stabiloinnin tutkitusta pituudesta kokonaisuutena. Tätä taulukkoa sovelletaan ainoastaan pengerkohdeissa. Mikäli kyseessä on esimerkiksi kaivannon luiskan lujitus, todetaan sen vaatimustenmukaisuus lujuuden osalta suunnitelma-asiakirjoissa esitetyllä tavalla. [5, s. 9.]

| Lujuuden alitus | Yksittäisen ruudun keskiarvokuvaaja |                              | Osa-alueen ruutujen keskiarvokuvaajat yhteensä | Osa-alueen keskiarvokuvaaja *** |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|--|---------------------------------|
|                 | osuus keskiarvokuvaajan pituudesta  | yksittäisen alituksen pituus |  |                                 |
| yli 30 %        | ei sallita                          | ei sallita                   | ei sallita                                     | ei sallita                      |
| 30-10 %         | sallittu $\leq 10\%$ *              | $\leq 0,5$ m **              | sallittu $\leq 5\%$ *                          | ei sallita                      |
| 10-5 %          | sallittu $\leq 30\%$ *              | $\leq 0,5$ m **              | sallittu $\leq 15\%$ *                         | ei sallita                      |
| 5-0 %           | sallittu $\leq 40\%$ *              | $\leq 0,5$ m **              | sallittu $\leq 20\%$ *                         | ei sallita                      |

\* sallittu %-osuus tutkitusta pituudesta ja alitukset eivät keskity samalle syvyydelle osa-alueen muiden ruutujen keskiarvokuvaajien alitusten kanssa

\*\* sallitaan yksittäisinä havaintoina, joissa havaintojen välinen syvyysetaisyys ruudun keskiarvokuvaajassa  $> 0,5$  m hyvin lyhyet alitukset voidaan laskea yksittäiseksi havainnoksi, kun ne esiintyvät enintään  $0,5$  m matkalla

\*\*\* keskiarvokuvaaja lasketaan kunkin osa-alueen kaikille tutkituille ruuduille ja joka esitetään syvyyden suhteen

Kuva 11. Tavanomaisten pengerkohteiden kairaustulokset [5, s.9.]

#### 4.5 Massastabiloinnin kelpoisuuden osoitus

Stabilointityötä tehdessä valvotaan sekoitustyön tehokkuutta työtapatarkkailuna, mikä tarkoittaa, että seurataan stabilointikärjen liikerataa stabiloitavassa ruudussa ja lasketaan sekoituskertojen määrää. Jokaisessa stabilointiruudussa pyritään stabilointityö tekemään samaa tekniikkaa käyttämällä. Lujittumisen aikana stabiloidulta alueelta kerätään maaperänäytteitä, sekä suoritetaan laadunvalvontakairauksia. [5, s. 10.]

Stabilointityön aikana urakoitsija laatii työstä ruutukohtaisen stabilointipöytäkirjan, mihin merkitään:

- ruutukohtaiset tunnistetiedot,
- stabilointipäivämäärä,
- sää työn aikana,
- kuivatusolosuhteet ruutukohtaisesti,
- stabilointiruudun kulmien sijainti x- ja y-koordinaatistossa,

- stabilointiruudun ylä- ja alapinnan taso z-koordinaatistossa (yläpinta ennen työn aloitusta),
- stabilointisyvyys
- sideaineen määrä ja laatu (erä kohtainen)
- syötetyn sideaineen määrä (kg/ruutu, vaakalukema ruutukohtaisesti, ennen ja jälkeen sideainesyötön)
- toteutuneen ruutukohtaisen sideainemäärän keskiarvo (kg/m<sup>3</sup>-maa)
- sideaineen syötön aikana ilmenneet ongelmat ja muut havainnot
- toteutunut lisäaine määrä (kg/ruutu tai kg/m<sup>3</sup>-maa) ja laatu (käytetty materiaali, toimituspaikka, laadullinen kuvaus, yms.),
- toteutunut lisärunkoaine määrä (kg/ruutu) ja laatu,
- sekoitustyön määrä (min/ruutu, tms.) ja
- työpenkereen materiaali ja rakentamisen ajankohta. [5, s. 9.]

Stabilointiruudukosta laaditaan osa-aluekohtainen tarkepiirustus, johon on merkitty ruutujen numerot ja sijainnit. [5, s. 9.]

Valmiin stabilointityön vaatimustenmukaisuus lujuuden osalta osoitetaan lujuustutkimusten avulla. Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään eri osa-alueille tehtävien lujuustutkimusten lukumäärä. Jos tehtävien lujuustutkimusten määrää ei ole suunnitelma-asiakirjoissa osa-aluekohtaisesti esitetty, tehdään ruutukohtaiset lujuustutkimukset vähintään seuraavan laisesti:

- kun massastabiloinnin tilavuus on < 5000 m<sup>3</sup>, tutkitaan ruuduista 10 %
- kun massastabiloinnin tilavuus on 5000 – 20 000 m<sup>3</sup>, tutkitaan ruuduista 8%

- kun massastabiloinnin tilavuus on 20 000 – 50 000 m<sup>3</sup>, tutkitaan ruuduista 6 %
- kun massastabiloinnin tilavuus on 50 000 – 100 000 m<sup>3</sup>, tutkitaan ruuduista 5 %
- kun massastabiloinnin tilavuus on > 100 000 m<sup>3</sup>, tutkitaan ruuduista 4 % [5, s. 11.]

Yhdeltä osa-alueelta on tutkittava vähintään viisi (5) ruutua. Tutkimuskairauksia tehdään vähintään viisi (5) jokaista ruutua kohden ja näistä kolme (3) on tehtävä samaa menetelmää käyttäen. Ruutukohtaisien tutkimusten on edustettava tasapuoleisesti yhtä osa-aluetta ja osa-aluekohtaisien tutkimusten on edustettava tasapuoleisesti koko stabiloitua aluetta. Tutkittavat ruudut ja osa-alueet tutkitaan valvojan tai suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Mikäli valmiille massastabiloinnille on muita laadullisia vaatimuksia, kuten mm. vedenläpäisevyys, todetaan vaatimustenmukaisuus urakka-asiakirjoissa esitetyllä tavalla. [5, s. 11.]

Kaikista kairaustuloksista, kairaustuloksien avulla lasketuista ruutukohtaisista ja osa-aluekohtaisista leikkauslujuuksien keskiarvoista ja niiden vaihteluista sekä lujuuspoikkeamista laaditaan tutkimusraportti osa-alueittain, joita verrataan suunnitelmissa esitettyihin suunnitelmalujuuksiin. Tutkimusraportista tulee selvittää stabiloinnin ikä tutkimushetkellä sekä tutkimuspisteiden sijainti kartalla. Raportissa arvioidaan myös tutkimusten kattavuutta stabilointi alueeseen nähden. Tutkimusraportin laatijalla pitää olla käytettävissä massastabilointikohteen työselitys, suunnitelmapiirustukset ja tutkittujen ruutujen stabilointipöytäkirjat. Mikäli kohteen painumista seurataan painumatarkistimilla (painaumalevy), asetetaan ne suunnitelma-asiakirjoissa määritettyihin sijanteihin. Tilajalle luovutettavaan kelpoisuusasiakirjaan liitetään stabilointipöytäkirjat sekä kaikki tulokset tehdyistä tutkimuksista mm. valvontakairaus. [5, s. 12.]

Kaikista stabilointityön ja pöytäkirjojen tarkistuksen aikana ilmenneistä laatu- ja poikkeamista laaditaan yhteenveto, joka liitetään stabilointipöytäkirjan liitteeksi. Pöytäkirjaan tulee liittää myös sideaineseoksen ja sen ainesosien kelpoisuuden osoittavat laboratoriotutkimukset. Mikäli jotkut stabilointiruudut on hylätty laatu- ja poikkeaman tai jonkin muun syyn takia pitää niiden korjaavat toimenpiteet ilmetä stabilointipöytäkirjasta. Kelpoisuusasiakirjaa päivitetään koko stabilointityön ajan ja sen tulee sisältää ajantasaiset katselmuspöytäkirjat, suorituspöytäkirjat ja laadunvalvontaraportit. [5, s. 12.]

## 4.6 Ympäristövaikutukset

Massastabiloinnin aikana on huolehdittava, että sekoitinkärki on riittävän syvällä stabiloitavassa maakerroksessa sekoitustyön aikana, jotta sideaine ei leviä häiritsevästi ympäristöön. Sideaineen leviäminen ympäristöön estetään ennen työn jatkamista. Sideaineen leviämistä pystytään hallitsemaan käyttämällä oikeita työmenetelmiä ja huolehtimalla stabilointilaitteiston kunnosta. Työvaihesuunnitellussa on huomioitava tarvittavat pölynhallintamenetelmät mm. kohteen kastelu. Viereiset rakenteet otetaan huomioon työjärjestyksen ja aikataulun suunnittelussa siten, että säilytetään rakenteen vakavuus kaikissa työvaiheissa ja vältetään ylimääräisiltä siirtymiltä ja painaumuilta. [5, s. 13.]

## 5 Kehitystyö

### 5.1 Kehitystyön lähtökohdat

Koska lähitulevaisuudessa massastabilointia koskeviin laatuvaatimuksiin ja erityisesti kelpoisuuden osoittamiseen on tulossa merkittäviä muutoksia, on myös GRK:n omia massastabilointikoneita alettu päivittämään niin, että niillä pystytään suorittamaan stabilointi työt ja osoittamaan niiden kelpoisuus uusien vaatimusten mukaisesti. Tällä hetkellä uudet laatuvaatimukset ovat vielä luonnosvaiheessa, eikä vielä tarkkaan tiedetä, milloin ne virallisesti julkaistaan. Julkaisun jälkeen niiden odotetaan kopioituvan urakka-asiakirjoihin kelpoisuuden osoittamisen määrääviksi tekijöiksi. [6.], [7.]

Tämän takia on koettu tärkeäksi aloittaa laitteiston päivittäminen jo hyvissä ajoin, niin että laitteisto on toimintakunnossa silloin, kun valmiin massastabiloinnin laatu tulee osoittaa uusien vaatimusten mukaisesti. Tällä pyritään välttymään tilanteelta, jossa massastabilointityötä ei voitaisi tarjota laitteiston teknisten puutteiden takia. Päivittyviä laatuvaatimuksia on käsitelty tarkemmin edellisessä luvussa. [6.], [7.]

## 5.2 Vanha laitteisto

Keskeisin asia tässä kehitystyössä on ollut koneohjaus ja paikkatietolaitteiston asentaminen massastabilointikoneeseen. Aikaisemmin näitä järjestelmiä ei koneessa ole ollut ja ainut stabilointikoneesta saatu sähköinen dokumentaatio on ollut sideaineen syöttötiedot, joista on seurattu sideaineen kulutusta ja laskettu kunkin ruudun kokonaissideainemäärä. [6.], [7.]

Aikaisemmin stabilointityö on alkanut siitä, että mittamies käy fyysisesti merkitsemässä stabilointiruutujen paikat maastoon, jonka jälkeen ruutuun sekoitetaan tarvittava määrä sideainetta. Sideaineen mahdollisimman tasainen leviäminen koko ruudun alueelle on täysin koneen kuljettajasta riippuvainen, eikä sideaineen leviämistä ole pystytty mitenkään dokumentoimaan. Koneohjauksen puuttumisen takia myös stabilointityön syvyyden dokumentointi on tehty tarkkailemalla sekoitinkärkeen puolen metrin välein kiinnitettyjä merkkejä ja niiden perusteella on syvyys kirjattu stabilointipöytäkirjaan. Muita pöytäkirjaan merkittyjä tietoja ovat olleet mm.:

- blokin numero
- sideaine
- sideaineen kokonaismäärä, suunniteltu/toteutunut ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- pinta-ala, suunniteltu/todellinen ( $\text{m}^3$ )
- ruudun syvyys, suunniteltu/todellinen (m)
- aloitus-/lopetusaika
- aloituspaino (kg)
- annospaino (kg)
- sekoitusaika



- häiriöt.

Perinteinen stabilointipöytäkirja tulee uuden järjestelmän myötä poistumaan käytöstä ja jatkossa tiedot stabiloinnista saadaan langattomasti suoraan koneohjausjärjestelmästä. Myös mittamiehen tarve poistuu ja laitteiston toimiessa, työtehtävät koostuvat pääasiassa koneohjausmallin tekemisestä ja päivittämisestä. [6.], [7.]

Vanhan massastabilointikoneen merkittävin etu on ollut sen varmatoimisuus. Kun koneesta on karsittu kaikki ylimääräinen laitteisto, mitä ei stabilointityössä tarvita on sen toimintavarmuus ollut huippuluokkaa. Ainoat merkittävät toimintahäiriöt ovat liittyneet sideaineen syöttöletkujen tukkeutumiseen, mitkä eivät kuitenkaan ole stabilointityön kannalta kriittisiä häiriöitä. [6.], [7.]

### 5.3 Uusi laitteisto

Asennettu koneohjaus ja paikkatietojärjestelmä mahdollistaa stabilointiruutujen kulmien asemoinnin GPS-koordinaattien perusteella ja stabilointikoneen puomin niveliin asennettujen kulma-antureiden avulla pystytään sekoitinkärjen liikkeitä stabilointiruudussa tallentamaan erittäin tarkasti. [6.], [7.]

Uudessa koneohjausjärjestelmässä stabilointiruutu jaetaan pienemmiksi 20 cm x 20 cm x 20 cm kuutioiksi. Ja kun sekoitinkärjen liikkeitä ja samalla syötetyn sideaineen määrä pystytään koneohjausjärjestelmän avulla tallentamaan, voidaan valmiista stabilointiruudusta tarkastella mitä tahansa kuutiota, siihen syötettyä sideainemäärää ja sekoitustyön kestoa, joka ei aiemmin ole ollut mahdollista. [6.], [7.]

Tätä tietoa pystytään jälkeenpäin käyttämään hyväksi, kun tutkitaan stabilointiruuduista tehtyjä laadunvarmistuskairauksia. Mikäli kairauksissa ilmenee jokin poikkeama tai piste, jota halutaan tarkastella, pystytään tämä tieto hakemaan suoraan stabilointiaineistosta ja tarkastella paikkakohtaisesti sekoitustyön suorittamista. Nämä tulokset eivät kuitenkaan ole tarkkuudeltaan täysin absoluuttisia, mutta kuitenkin luotettavasti suuntaa antavia ja tarkoituksensa sopivia. [6.], [7.]

Aiemmin jos ollaan haluttu selvittää jonkin stabilointiruudussa sijaitsevan yksittäisen kohdan sisältämää sideainemäärää, on tämä jouduttu selvittämään laboratoriossa sideainenäytteestä. [6.], [7.]

#### 5.4 Ilmenneet ongelmat

Suurimmat ongelmat kehitystyön aikana ovat liittyneet koneohjausjärjestelmässä käytettävässä ohjelmistossa. [6.], [7.]

Koska koko stabiloitavasta alueesta on saatava homogeeninen, joudutaan stabilointiruutujen saumakohdat sekoittamaan useampaan kertaan. Aloittaessa uuden stabilointiruudun sekoittamista pitää sekoitin ulottaa n. 0,5 m edellisen, jo valmiin ruudun puolelle, jotta saumakohtaan ei synny minkäänlaista epäjatkuvuuskohtaa. Tähän liittyvän sekoitustyön dokumentointi on ollut ohjelmiston kannalta haasteellinen, koska sekoitustyötä työ tehdään ns. kahteen kertaan, eikä sen tallentamista ole saatu toimimaan halutulla tavalla. Ja koska valmiista ruudusta tehtävistä laadunvarmistuskairauksista, osa tehdään lähes poikkeuksetta stabilointiruutujen saumoista, koska niihin liittyvät suurimmat epävarmuustekijät, tulisi dokumentoinnin näistä erikoispisteistä olla mahdollisimman tarkka ja luotettava. Tätä opinnäytetyötä tehdessä ei ongelmaan oltu vielä löydetty ratkaisua. [6.], [7.]

Edellä mainitun lisäksi paikkatietojen paikkaansa pitävyys aiheuttaa haasteita, koska GPS-signaalin vahvuudesta riippuen voi tarkkuus vaihdella suurestikin, mikä aiheuttaa epätarkkuutta dokumentoitavaan aineistoon. [6.], [7.]

## 6 Yhteenveto

Vaikka massastabilointikoneen kehitystyön aikana ilmenneet ongelmat johtivat siihen, ettei valmiin kehitystyön tuloksia päästy tässä opinnäytetyössä tulkitsemaan. Jatkuu koneen kehittäminen samalla päämäärällä. Jolloin se on ensimmäisiä koneita, johon on sekoitinkärjen paikkatietoa tallentava järjestelmä asennettu ja sen avulla voidaan seurata erittäin tarkasti sideaineen leviämistä stabilointiruudussa. Tästä on erittäin paljon apua, kun halutaan tutkia, kuinka sideaine on levinnyt jossain tietyssä laadunvalvontakairauspisteessä.

Stabilointityön laadulliseen onnistumiseen vaikuttaa erittäin moni yksittäinen asia, joista tärkeimpiä ovat stabiloitavan runkoaineen ominaisuudet, sideaineseoksen laatu, huolellisesti tehdyt stabiloituvuustutkimukset ja asiat, joihin ei voi vaikuttaa, esimerkiksi sääolosuhteet. Itse stabilointityön aikana tehtävä sekoitustyö ja sen määrä on suurin yksittäinen tekijä, jolla voidaan vaikuttaa massan homogeenisuuteen ja lopulliseen lujuu-teen.

Jotta stabilointityö saataisiin onnistumaan laadullisesti parhaimmalla mahdollisella tavalla, tulisi stabiloitavasta kohteesta kerätä mahdollisimman kattavat lähtötiedot. Laajat pohjatutkimukset, maaperänäytteet ja niille tehtävät stabiloituvuuskokeet varmistavat, että massastabilointi on kohteeseen sopiva pohjanvahvistusmenetelmä ja niiden avulla pystytään yksilöimään kohteelle parhaiten soveltuva sideaineresepti.

Laadullisesti suurimmat massastabilointiin liittyvät haasteet ovat juurikin työn aikana tapahtuva laadunvalvonta. Valmiin rakenteen kelpoisuuden osoittamiseksi on useita käyttökelpoisia menetelmiä, mutta juuri sekoitustyön aikana tapahtuva sideaineen ja stabiloitavan kerroksen sekoittuminen homogeeniseksi työn aikana on ollut erittäin vaikeaa. Sekoitettavan sideaineen määrä stabiloitavaa aluetta kohden voidaan laskennallisesti todentaa ja tarvittavan sekoitustyön määrä laskea, mutta sen riittävyttä ja kattavuutta on erittäin vaikea työn aikana todentaa.

Tähän ongelmaan Graniittirakennus Kallio Oy:n kehittämä reaaliaikainen sekoitinkärjen seurantajärjestelmä on erittäin otollinen. Koska tämän avulla sekoitinkärjen liikkeet ja tiettyyn kohtaan sekoitettu sideaine saadaan dokumentoitua. Tällä tavalla voidaan ehkäistä paikkakohtaisien heikkousvyöhykkeiden syntymistä, joissa lujittuminen ei ole tapahtunut, koska sekoitustyötä ei ole ulotettu kauttaaltaan stabiloitavan ruudun alueelle. Samalla reaaliaikainen laadunvarmistus voisi optimoida todellisen sideainemäärän tarvetta ja mahdollisesti vähentää tarvittavan sekoitustyön määrää, jonka kautta voitaisiin nostaa kustannustehokkuutta.

## Lähdeluettelo

1. Forsman, J., Jyrävä, H., Lahtinen, P., Niemelin, T. & Hytönen, I. 2014. Massastabilointikäsikirja. Verkkodokumentti.  
[http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja\\_%20YLEISVERSIO%20-%202014\\_06\\_24.pdf](http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja_%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf)
2. Auli Kuismin. 2017. Massastabiloinnin laatuun ja toteutettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Diplomityö
3. Pilaristabilointi. Finnsementti. Verkkodokumentti.  
<http://www.finnsementti.fi/Tietoa-stabiloinnista-Pilaristabilointi>. Luettu 8.2.2018
4. Liikennevirasto. 2010. Syvästabiloinnin suunnitteluohje. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Helsinki, Liikennevirasto. Liikenneviraston ohjeita 11/2010. 79 s. Saatavissa:  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_201011\\_syvastabiloinnin\\_suunnittelu\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_201011_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf)
5. InfraRYL, Päivitys. 14132 Massastabiloidut maarakenteet. Rakennustieto. Verkkodokumentti.  
[https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fIPeDhrH/qGMwS5LPn/14132\\_Massastabiloidut\\_maarakenteet.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fIPeDhrH/qGMwS5LPn/14132_Massastabiloidut_maarakenteet.pdf)
6. Haastattelu 7.3.2018. Antti Tyrkkö
7. Haastattelu 12.3.2018 Juhani Virta
8. Verkkodokumentti.  
<http://docplayer.fi/48633615-Puutarhakaupunki-uudistuu.html>