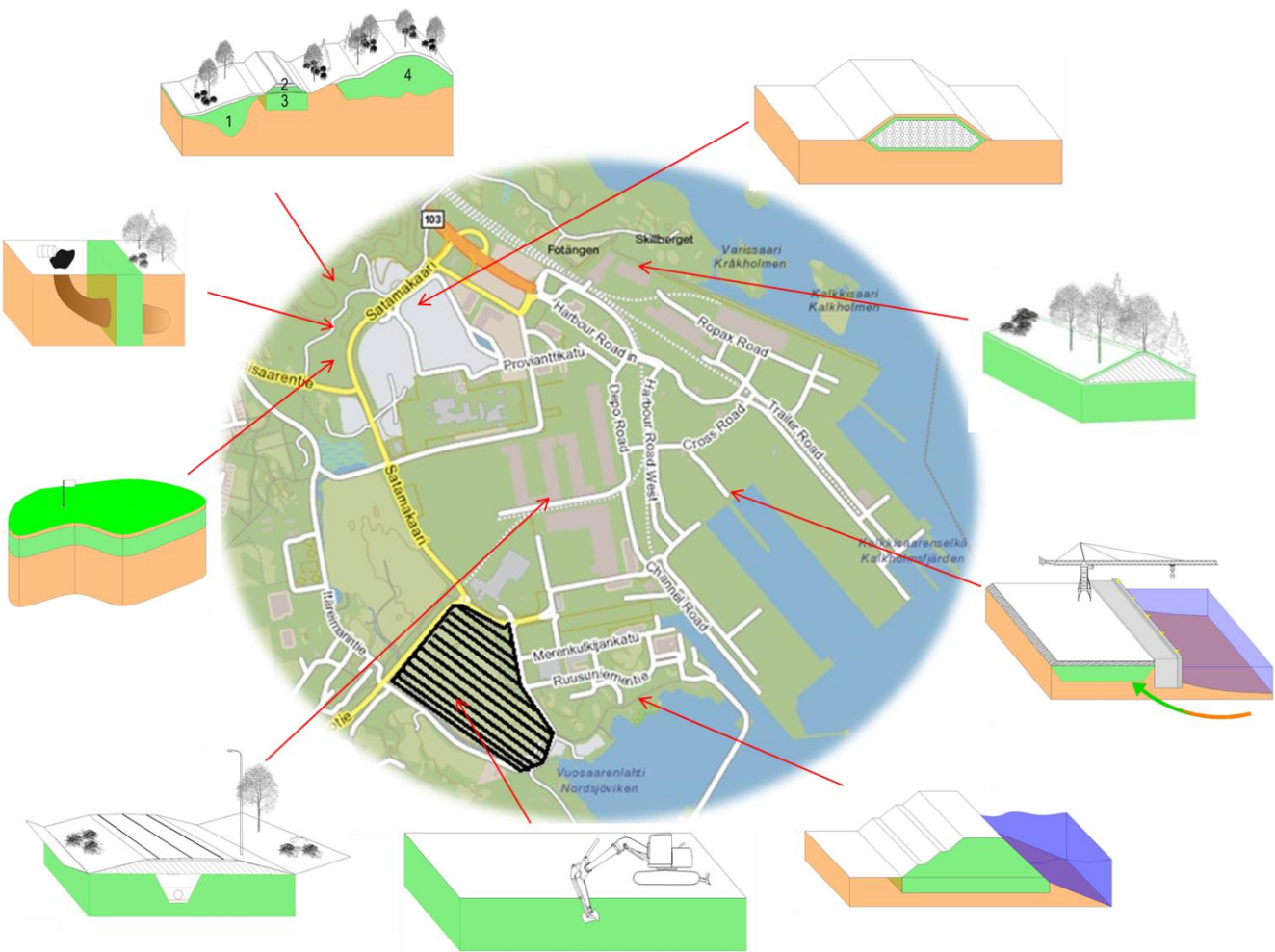


Massastabilointikäsikirja

24.6.2014



Sisällysluettelo

1.	JOHDANTO	4
2.	MASSASTABILOINTIMENETELMÄ JA LAITTEISTOT	6
2.1	Menetelmän yleiskuvaus	6
2.2	Menetelmän etuja	7
2.3	Laitteistot ja niiden toimintaperiaatteet	8
3.	TEKNISET PROSESSIT JA MASSASTABILOINNIN VAIKUTUS MAAN OMINAISUUKSIIN	11
3.1	Massastabilointitekniikat	11
3.2	Massastabiloinnin vaikutus maan ominaisuuksiin	11
4.	SOVELLUTUKSET JA KÄYTTÖKOHTEET	14
4.1	Geotekniset sovellutukset	14
4.1.1	Tiet	14
4.1.2	Rautatiet	16
4.1.3	Kadut ja raitit	18
4.1.4	Kunnallistekniikka ja verkostot	19
4.1.5	Satamat ja meriväylät	20
4.1.6	Viher- ja maisemarakentaminen	22
4.1.7	Ulkoliikunta-alueet	23
4.2	Ympäristötekniset sovellutukset	24
4.2.1	Ympäristönsuojaurakenteet	24
4.2.2	Kaivosalueet	27
4.2.3	Pilaantuneiden maiden käsittely	27
4.2.4	Sulfaattimaiden käsittely	27
4.3	Teollisuuden ja kaupan kentät sekä varastoalueet	29
5.	ALUERAKENTAMINEN	30
6.	MASSASTABILOINTIPROJEKTIN VAIHEET	34
6.1	Prosessi	34
6.2	Lähtötiedot ja pohjatutkimukset	36
6.3	Esitutkimukset ja -suunnittelu	36

6.4	Suunnittelu ja stabiloituvuustutkimukset	37
6.5	Urakkalaskenta	37
6.6	Stabilointityö	38
6.7	Lopputulokseen ja työn etenemiseen vaikuttavat tekijät ja huomioitavat asiat	38
7.	MASSASTABILOINNIN SIDEAINEET	40
7.1	Yleistä	40
7.2	Sementit	40
7.3	Kalkkituotteet	40
7.4	Muut sideainekomponentit	40
7.5	Stabiloituvuustutkimukset	41
7.6	Sideainereseptointi	42
7.7	Käytettävät laboratoriotutkimusmenetelmät	43
8.	MASSASTABILOINNIN SUUNNITTELU	45
8.1	Lähtötiedot	45
8.2	Mitoitusparametrien määrittäminen	46
8.3	Massastabiloinnin vakavuustarkastelu	47
8.4	Massastabiloinnin painumalaskenta	48
8.5	Luisuttu kaivanto	50
8.6	Tärinäsuojaus	51
9.	RAKENTAMINEN	52
10.	LAADUNVARMISTUS	56
	KIRJALLISUUSLUETTELO	61

Liitteet

Liite 1 KÄSITTEISTÖ/TERMISTÖ

Esipuhe

Massastabilointimenetelmä ja sen pilottilaitteisto on kehitetty Suomessa 1990-luvun alussa. Ensimmäiset isot kohteet olivat turvepehmeikköjen massastabilointi tie- ja ratakohteissa Suomessa ja Ruotsissa vuodesta 1993 lähtien. Näistä kohteista saadut hyvät kokemukset johtivat menetelmän sovellutusten laajentamiseen ja seuraavana suurena sovellutusalueena oli pehmeiden/pilaantuneiden ruoppausmassojen massastabilointi ja hyötykäyttö satamien rakentamisessa vuodesta 1996 lähtien. Massastabilointitekniikan laitteistot, sideaineet ja sovellutukset ovat kehittyneet nopeasti edelleen 2000-luvun aikana. Menetelmää on sovellettu jo monissa eri maissa ja maanosissa ja sitä on käytetty monipuolisesti erilaisiin infra- ja ympäristörakennussovellutuksiin. Massastabilointimenetelmä on osoittautunut kustannus- ja ekotehokkaaksi menetelmäksi moniin sovellutuksiin.

Massastabilointikäsikirjan tavoitteena on edistää menetelmän hyötykäyttöä jakamalla perustietoa menetelmästä, laitteistosta, sideaineista, sovellutuksista, tutkimuksista, suunnittelusta sekä rakentamisesta ja laadunhallinnasta. Käsikirja on suunniteltu palvelemaan rakennuttajia, viranomaisia, suunnittelijoita, urakoitsijan sideainetoimittajia ja laadunvalvojia.

Käsikirjan kirjottajat:

Juha Forsman
Harri Jyrävä
Pentti Lahtinen
Tarja Niemelin
Iikka Hyvönen

Massastabilointikäsikirja on tehty alalla toimivien yritysten tuella. Käsikirjatyössä ovat olleet mukana ALLU Stamix Oy, Certification Center CTCR Oy / RuSol, Finnsementti Oy, Lemminkäinen Infra Oy, Nordkalk Oy ja Ramboll Finland Oy. Kaikki osapuolet ovat osallistuneet käsikirjan ohjaamiseen ja kommentointiin.

Luopioisissa ja Espoossa

24.6.2014

1. JOHDANTO

Massastabiloinnilla muutetaan pehmeän maan teknisiä ja ympäristöllisiä ominaisuuksia niin, että se mahdollistaa sen päälle tehtävän rakentamisen tai että pehmeää maata voidaan siirrettynä hyödyntää sovelluskohteessa täyttö- tai rakennusmateriaalina. Monipuolisen sideainekemistyksen ansiosta erilaiset pehmeät maa-ainekset voidaan massastabiloida kustannustehokkaalla tavalla. Sideainelaadun ja -määrän optimointi laboratorioissa tavoiteominaisuuksien saavuttamiseksi on välttämätöntä. Erilaiset teollisuuden sivutuotteet sideaineseoksessa yhdessä kaupallisten sideaineiden kanssa mahdollistavat menetelmän laajemman taloudellisesti tehokkaan käytön.

Käsikirjan loppuosassa ovat käytännön ohjeet pohjatutkimusten, suunnittelun, rakentamisen ja laadunvalvonnan osalta. Kuvassa ja taulukossa 1.1 on esitelty massastabilointihankkeen osapuolet sekä heidän tehtävänsä. Massastabilointimenetelmä ja laitteisto -luvussa kuvataan peruseriaatteet menetelmästä ja eroja vaihtoehtoihin ratkaisuihin verrattuna. Massastabilointia voidaan soveltaa monella eri tavalla (luku 2). Laajimmin käytetty sovellutus on in situ, missä luonnontilainen pehmeä maa massastabiloidaan tavoitesyvyyteen asti. Ex situ-sovellutuksissa kaivettu tai ruopattu pehmeä aines siirretään uuteen paikkaan missä se massastabiloidaan osaksi lopullista rakennetta tai niin, että se siirretään lujittumisen jälkeen lopulliseen hyötykäyttökohteeseen. Nämä sovellutukset tulevat kasvamaan kaikkialla missä on ongelmia ylijäämämaiden kanssa kuten monissa kaupungeissa.

Käsikirjan luvussa 4 kuvataan laajasti erilaisia teknisiä- ja ympäristösovellutuksia, joista on saatu jo hyviä kokemuksia. Sovellutukset osoittavat, että kaikkialla missä rakentaminen ulottuu pehmeäpohjaisille alueille, olisi järkevää selvittää massastabilointivaihtoehto. Massastabiloinnin hyödyt korostuvat usein pehmeäpohjaisten alueiden rakentamiskelpoiseksi tekemisessä. Kun koko rakennettava alue massastabiloidaan ns. esirakentamisena, niin alueen jatkorakentamistyöt helpottuvat oleellisesti.



Kuva 1.1. Massastabilointiprojektin osapuolet.

Taulukko 1.1. Massastabilointihankkeen osapuolet ja heidän tehtävänsä.

Osapuoli	Tehtävä
Rakennuttaja	Toiminnalliset vaatimukset (painuma, kantavuus, laajuus, ...), suunnitteluttaminen, rakennuttaminen
Pohjatutkija	Pohjamaan kerrosrakenteen, kerrospaksuuksien ja ominaisuuksien selvittäminen
Tutkimuslaboratorio	Stabiloitavuuden tutkiminen, sideainereseptointi (lujuus, jäykkyys), muut tekniset ominaisuudet (vedenläpäisevyys, liukoisuudet, ...)
Suunnittelija	Pohjarakennus- ja massastabilointisuunnitelman laatiminen, urakkapyyntöasiakirjojen laatiminen (yhdessä rakennuttajan kanssa)
Urakoitsija	Massastabilointityön toteutus (pää- tai aliurakoitsijana)
Laadunvalvoja	Stabilointityön ja lopputuotteen laadunvalvonta (ohjaava ja toteava)
Viranomainen	Stabiloinnille asetettavat vaatimukset ja viranomaisohjeet Ympäristöluvittaminen (pima, jätemateriaalisideaineet, ...)
Sideainetoimittaja	Sideaineen toimittaminen työmaalle, sideaineiden kehittäminen
Laiterakentaja	Stabilointilaitteiden rakentaminen, huolto ja korjaukset
Tutkijat	Massastabilointimenetelmän kehitys (sideaineet, tekniikka, ohjeet, yms.)

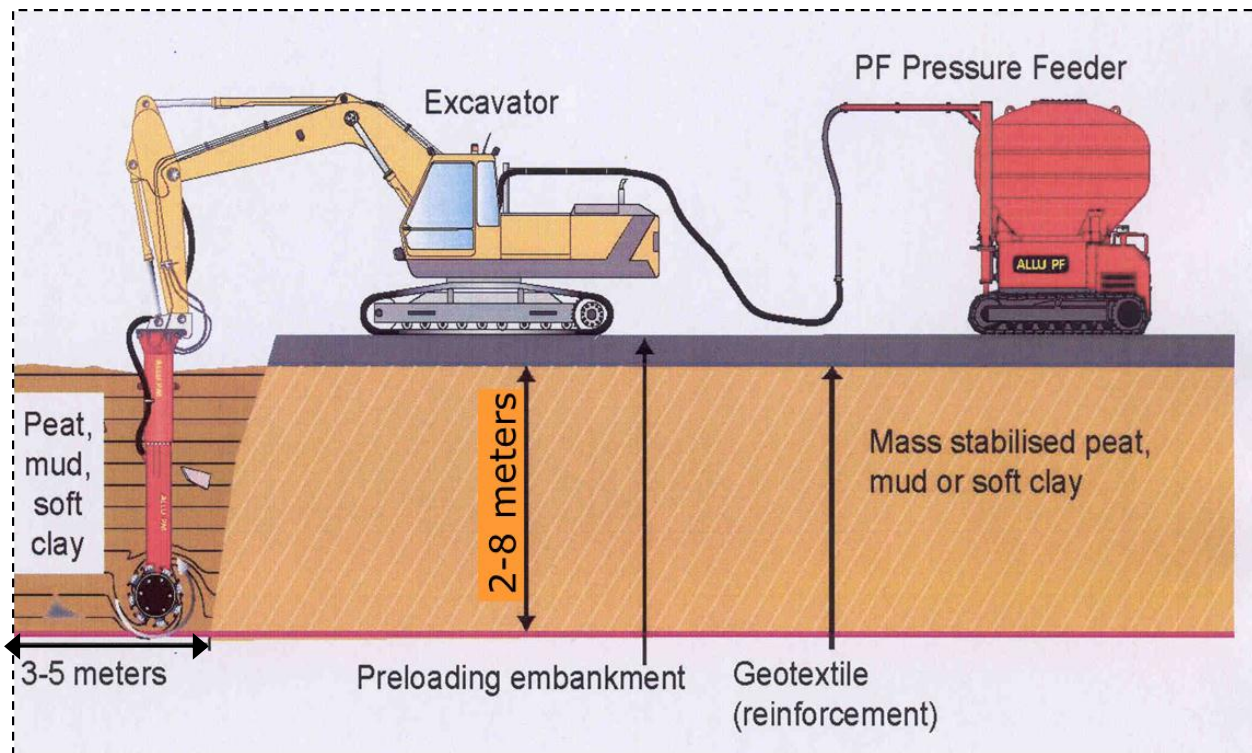
2. MASSASTABILOINTIMENETELMÄ JA LAITTEISTOT

2.1 MENETELMÄN YLEISKUVAUS

Massastabilointi on pehmeiden maa-ainesten, kuten saven, liejun ja turpeen lujittamismenetelmä, jossa pehmeät maakerrokset lujitetaan sideaineella homogeeniseksi lujittuneeksi kerrokseksi tavoitesyvyyteen asti. Tällöin rakenteen käytön aikaisia painumia voidaan rajoittaa tai ne voidaan poistaa ja rakenteen stabiilitteetti eli varmuus sortumaa vastaan paranee. Alueilla, jossa pinnassa on turvekerros (tai muu hyvin pehmeä maakerros) ja alla savikerros, voidaan massastabilointikoneen ulottuman alapuolinen savikerros pilaristabiloida ja turvekerros massastabiloida. Nykyisellä tekniikalla massastabilointi tehdään käyttäen kuivaa sideainetta.

Massastabilointimenetelmän yleisperiaate on esitetty kuvassa 2.1. Kaivinkoneeseen asennettua sekoitinkärkeä käyttäen voidaan nykyisillä laitteistoilla hyvissä olosuhteissa suorittaa stabilointi aina 7-8 metrin syvyyteen asti. Painesyöttimen avulla syötetään yhtä tai kahta sideainetta tai sideaineseosta sekoittimen kärkeen, jossa pyörivä rumpusekoitin sekoittaa sideaineen maahan ja samalla homogenisoi maa-ainesta. Sekoitustyö tehdään liikuttamalla sekoitinkärkeä sekä pinnasta syvemmälle ja takaisin että sivusuunnassa. Massastabilointia tehdään koneen ulottuman verran (tyypillisesti työ etenee noin 3...5 m × 3...5 m ruuduissa), minkä jälkeen levitetään työalustatäyttö, tai suodatinkangas ja työalusta, koneen liikkumista varten. Työalusta toimii myös massastabiloinnin tiivistyspenkereenä. Stabilointityön jälkeen käsitellylle alueelle tehdään usein myös esikuormituspenker, jonka alla lopullinen lujittuminen tapahtuu. Erityisesti turvealueilla esikuormituspenker on välttämätön stabiloidun materiaalin tiivistämiseksi stabiloinnin lujittumisaikana (vrt. betonin tiivistäminen). Massastabiloinnin tavoitelujuus saavutetaan yleensä 1...3 kk:n aikana.

Massastabilointimenetelmää käytetään myös kaivettujen tai ruopattujen pehmeiden maa-ainesten stabilointiin. Lisäksi sitä voidaan käyttää pilaantuneiden maa-ainesten tai sedimenttien stabilointiin, jotta haitalliset ainekset saadaan niukkaliukoiseen muotoon. Kaivettujen tai ruopattujen massojen massastabilointi mahdollistaa niiden hyödyntämisen rakennusalueella lujitettuna pohjamaana tai täyttö- / rakennusmateriaalina, jolloin välttyään massojen poiskuljetukselta sekä vähennetään luonnonkiviainesten tarvetta.



Kuva 2.1. Massastabilointimenetelmän ja laitteiston yleisperiaate.

Massastabiloinnissa käytetään tyypillisesti sementti- ja kalkkipohjaisia sideaineita tai sideaineseoksia. Näiden lisäksi seosaineina voidaan käyttää mm. masuunikuonaa, lentotuhkaa tai kipsiä. Käytettävä sideaine tai sideaineseos riippuu stabiloitavasta maasta ja sideaineresepti (laatu ja määrä) määritetään etukäteen laboratoriossa.

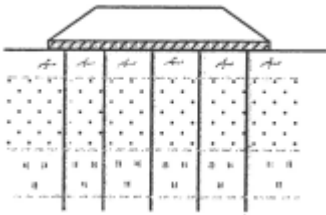
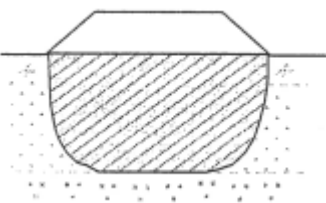
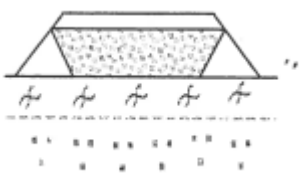
2.2 MENETELMÄN ETUJA

Kaivettujen pehmeiden tai pilaantuneiden maa-ainesten massastabiloinnilla saavutetaan merkittäviä etuja:

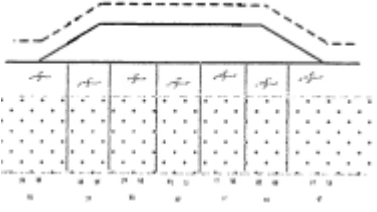
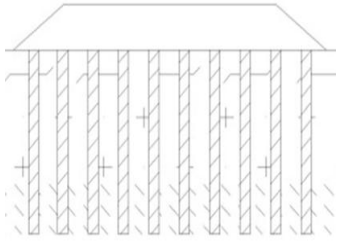
- Huonolaatuiset massat saadaan jalostettua stabiloimalla hyötykäyttöön ja näin vähennettyä luonnon kiviainesten käyttöä.
- Huonolaatuisia massoja ei tarvitse kuljettaa ja läjittää muualle.
- Pilaantuneita massoja, jotka käsitellään massastabiloinnilla niukkaliukoisempaan muotoon, ei tarvitse viedä pilaantuneiden maiden kaatopaikalle vaan ne voidaan jalostaa stabiloimalla hyötykäyttöön.

Pehmeikölle rakennettaessa massastabiloinnilla on myös monia etuja kilpaileviin vaihtoehtoihin verrattuna. Taulukossa 2.1. on verrattu tavallisimmin todettuja massastabiloinnin etuja muihin pohjarakennusmenetelmiin.

Taulukko 2.1. Massastabiloinnin etuja verrattuna joihinkin muihin pohjarakennusmenetelmiin.

Pohjarakennusmenetelmä	Massastabiloinnin tarjoamia etuja
<p>Paalutus</p> 	<p>Massastabilointi on yleensä halvempi kuin paalutus mm. koska paalut ulottuvat syvemmälle ja paalutus edellyttää betonilaattaa tai paaluhattuja.</p> <p>Hyvin pehmeillä pohjamailla käytetään massastabilointia toisinaan paalutuksen työalustana, jotta paalutus olisi mahdollista.</p>
<p>Massanvaihto</p> 	<p>Massastabiloinnissa ei tarvitse kaivaa pehmeitä maita pois ja läjittää niitä muualle, ja näin vähennetään kuljetustarpeita sekä maankaatopaikkojen tarvetta.</p> <p>Massanvaihdoissa käytetään ja tarvitaan huomattavasti enemmän luonnon kiviaineksia kuin massastabiloinnissa ja kuormitetaan vähemmän ylijäämämaiden vastaanottoalueita.</p> <p>Massastabilointi on yleensä taloudellisesti kilpailukykyinen massanvaihtoon verrattuna.</p> <p>Massastabilointi on ympäröiville rakenteille riskittävämpi vaihtoehto kuin massanvaihto. Massastabilointi on usein teknisesti varmempi ratkaisu kuin massanvaihto.</p> <p>Sulfidisavialueilla pohjaveden pinnan yläpuolelle sijoitetut kaivetut sulfidisavet saattavat olla ympäristöriski. Massastabilointia käytettäessä riskialttiita maa-aineksia ei tarvitse kaivaa ja sijoittaa pohjaveden pinnan yläpuolelle.</p>
<p>Kevennys</p> 	<p>Massastabiloinnilla saadaan monissa tapauksissa poistettua haitalliset painumat kevennysrakennetta tehokkaammin ja riskittömämmin.</p> <p>Kokonaiskevennystä, jossa pohjamaan kuormitusta ei lisätä uuden penkereen kuormalla, käytettäessä muodostuu usein pehmeitä ylijäämämaita toisin kuin massastabiloinnissa.</p> <p>Putkien asentaminen kevennykseen ja putkien myöhempi esiinkaivu kevennyskerroksesta tai -kerroksen läpi on usein ongelmallista.</p>

Taulukko 2.1. jatkuu.

<p>Pystyojitus</p> 	<p>Pystyojitettu rakenne vaatii pitkän painuma-ajan.</p> <p>Pystyojitetuissa rakenteissa on suuri sekundaaripainumien riski.</p> <p>Suomessa käytetään vähän pystyojitusta ja pystyojituskalustoa on maassa vähän ja kalusto on pääosin vanhentunutta (aikataulu ja kustannusriski).</p>
<p>Pilarointi</p> 	<p>Massastabilointi on määräsyyvyyteen tehtyyn pilaristabilointiin verrattuna "laattamainen" ja luotettavammin painumia tasaava ratkaisu.</p> <p>Massastabiloinnissa laatu vaihtelut ovat usein suurempia kuin pilaristabiloinnissa, mutta massastabiloitu rakenne ei ole yhtä herkkä laatu vaihtelulle kuin pilarointi.</p> <p>Massastabilointiin kaivetusta putkikaivannosta vapautuva massastabiloitu savi on pilaristabiloitua savea helpommin hyötykäytettävissä maarakennusmateriaalina.</p> <p>Hyvin pehmeällä pohjamaalla massastabilointi on pilaristabilointia helpompi toteuttaa, koska massastabilointikone tekee itselleen massastabiloidun työalusta edetessään.</p> <p>Pehmeällä pohjamaalla penkereen stabiliteetti on helpommin saavutettavissa massastabiloinnilla kuin pilaristabiloinnilla.</p>

2.3 LAITTEISTOT JA NIIDEN TOIMINTAPERIAATTEET

Massastabiloinnin perusyksikön runkona toimii kaivinkone, johon liitetään erillinen sekoitinyksikkö ja painesyötin (kuva 2.2). Massastabilointijärjestelmä koostuu seuraavista laitteista ja osakomponenteista:

- kaivinkone
- sekoitinyksikkö
- painesyötin
- ohjausyksikkö
- tiedonkeruu järjestelmä

Nykyisin käytössä olevilla laitteistoilla massastabiloinnin maksimiulottuvuus syvyys suunnassa on hyvissä olosuhteissa 7...8 metriä, mutta saavutettavissa oleva maksimisyvyys riippuu aina sekä työskentelyolosuhteista että käsiteltävän materiaalin laadusta. Tarvittaessa syvempää massastabilointia, on se mahdollista tehdä pilaristabilointilaitteistolla toisiaan leikkaavia pilareita käyttäen. Optimitilanne stabiloitavan kerroksen paksuuden osalta on noin 3...5 m. Myös ohuempia kerroksia voidaan massastabiloida.

Varsinaisen stabilointityön yhteydessä sideaine syötetään stabiloitavaan massa sekoitinyksikön kärjen kautta. Samalla käsiteltävä massa sekoittuu. Sekoitusta tapahtuu pyörivien rumpujen avulla samanaikaisesti liikuttamalla sekoitinkärkeä käsiteltävässä kerroksessa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Koko stabiloitava massa käydään näin läpi ja samaan aikaan massa syötetään kuivaa sideainetta. Näin lisättävä sideaine pyritään sekoittamaan mahdollisimman tasaisesti koko käsiteltävään massa.

Käsiteltävästä materiaalista riippuen, stabilointityössä voidaan käyttää erilaisia sekoitinkärkityyppejä (kuva 2.3). Sideaineen syöttö sekoitinyksikköön tapahtuu paineilmaa käyttäen moottoroidusta painesyöttimestä (kuva 2.2). Sideaineen syöttöä ja sekoitusprosessia kontrolloidaan ohjausyksiköllä (kuva 2.4a), jonka kautta on

mahdollista säätää mm. ilmamäärää ja sideainevirtausta. Nämä vaikuttavat syöttöpaineeseen. Sekoitinkärjen rumpujen pyörimisnopeutta on myös mahdollista säätää. Lisäksi kontrolloidaan stabilointisyvyyttä sekä sekoitustyön määrää kutakin stabilointiyksikköä (blokkia) kohden. Tavallisesti stabilointiruudun koko x,y-tasossa on noin 3...5 m x 3...5 m. Myös erillisen, jatkuvana stabiloinnin toteutumatietao keräävän, ohjausjärjestelmän (kuva 2.4b) käyttäminen on mahdollista.

Työtehoa / työsaavutusta kuvataan käsitteellä stabilointikapasiteetti. Todellisen kapasiteetin arvioinnissa tulisi ottaa huomioon työmaalla esiintyvät häiriötilanteet, tankkaukset tai muut vastaavat käyttökatkokset. Sekoitusteho otetaan kaivukoneen hydraulijärjestelmästä. Kapasiteettiin vaikuttavat sideaineen määrä, runkoaineen laatu ja joudutaanko työmaalla oleva massastabilointikenttä esihomogenisoimaan tai esisekoittamaan ennen varsinaista massastabilointityötä. Myös ulkoilman lämpötilalla (ts. talviolosuhteet) voi olla vaikutusta kapasiteettiin. Seuraavassa on esitetty suuntaa-antavaa tietoa muutamien tyyppillisten runkomateriaalityyppien stabilointityön yhteydessä "normaaliolosuhteissa" saavutettavasta kapasiteettitasosta (näissä kapasiteeteissa saattaa olla suuriakin tapaus- ja olosuhdekohtaisia poikkeamia):

- Turpeen stabilointi n. 100...150 m³ / h
- Saven stabilointi n. 80...100 m³ / h
- Ruoppausmassan stabilointi n. 100...200 m³ / h
- Sitkeiden savien tai silttien stabilointi n. 50...80 m³ / h

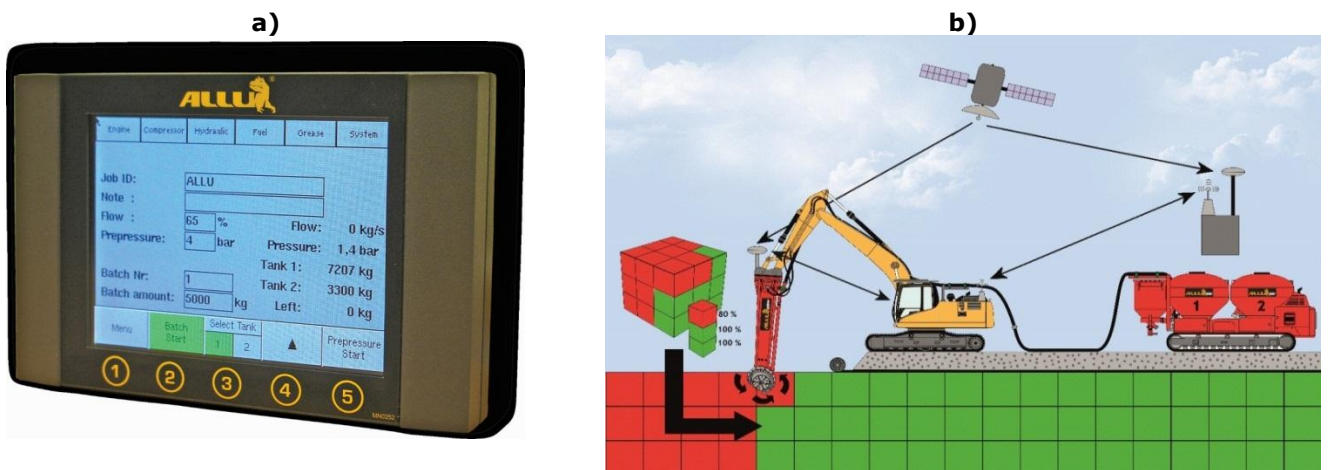
Menetelmää käytettäessä reunaehtona on, että sekoitinyksikön kautta syötettävien sideainekomponenttien on oltava hienorakeisia ja kuivia, jotta niiden liikuttelu sekoitinkärkeen onnistuu pneumaattisesti paineilmalla.



Kuva 2.2. Massastabiloinnin perusyksikkö, jossa on stabilointiyksikkö kiinnitettynä kaivinkoneeseen ja liitettynä painesyöttimeen.



Kuva 2.3. Massastabiloinnin sekoitinyksikön sekoitinkärkiä.



Kuva 2.4. Massastabiloinnin hallintajärjestelmä: a) ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmä ja b) 3D-järjestelmän periaate.

Massastabilointi

- Pehmeiden maa-ainesten lujittamismenetelmä
- Käyttötarkoitus painumien rajoitus/poisto, stabiileetin parantaminen, pehmeiden maa-ainesten jäykkyyden lisääminen, pilaantuneiden maiden haitallisuuden vähentäminen, vesipitoisten massojen käsittelyn helpottaminen
- Usein edullisempi kuin ns. perinteiset pohjarakennusmenetelmät

3. TEKNISET PROSESSIT JA MASSASTABILOINNIN VAIKUTUS MAAN OMINAISUUKSIIN

3.1 MASSASTABILOINTITEKNIIKAT

Massastabilointi on monipuolinen pehmeikköalueiden ja pehmeiden massojen käsittelymenetelmä. Massastabiloinnin käyttö voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

1. Pehmeiden alueiden massastabilointi paikalla eli in situ stabilointi
2. Kaivettujen / ruopattujen massojen massastabilointi eli ex situ stabilointi

Kuvissa 3.1...3.4 esitetään in situ ja ex situ -massastabilointisovellutuksia, joissa stabiloitava pohjamaa voi olla savea, liejua, turvetta yms.:

- 1A) Perinteinen massastabilointi tien, kentän ym. rakenteen pohjan lujittamiseksi haitallisten painumien estämiseksi ja stabiliteetin varmistamiseksi (kuva 3.1A)
- 1B) Massastabiloinnilla voidaan lujittaa pehmeiköllä myös tuleva putkijohtokaivanto, ym. siten ettei kaivanto tarvitse erillistä tuentaa, tai tuennaksi riittää tuentaelementit, ja siten, että stabiloitu maa antaa hyvän pohjan tulevalle rakenteelle. Lisäksi pois kaivettu stabiloitu maa on näin helpommin hyötykäytettävissä (kuva 3.1B)
- 1C) Pois kaivettavat pehmeät massat voidaan massastabiloida in-situ ennen kaivua ja kaivun jälkeen hyötykäyttää esim. meluvallina. Massastabiloimalla kaivumaat etukäteen saadaan myös vaikeasti kuljetettavat massat helposti kuljetettavaan muotoon (kuva 3.1C)
- 2A) Pehmeitä ylijäämämassoja sijoitetaan täytettävälle alueelle, jossa ne massastabiloidaan. Massastabilointi voidaan tällöin ulottaa myös mahdolliseen allaolevaan pehmeään savi- /turve- ym. kerrokseen. (kuva 3.2)
- 2B) Ruoppausmassoja sijoitetaan pengerrerettyyn altaaseen, jossa ne massastabiloidaan. Stabiloitu täyttö voi toimia esimerkiksi osana tulevaa satama-alueen täyttöä. (kuva 3.2)
- 3A) Ylöskaivettu pehmeä maa massastabiloidaan altaassa ja hyödynnetään materiaalin lujittumisen jälkeen esim. tien pengertäytönä (kuva 3.3A)
- 3B) Vettä pidättävä massastabiloitu kerros esim. louhetäytön päällä kasvualustan alla (kuva 3.3B)
- 3C) Massastabiloitu materiaali melu- tai tulvavallina (kuva 3.3C)
- 4 Ruopatut massat voidaan massastabiloida proomussa ja hyötykäyttää ne edelleen mereen tai maalle tehtävässä täytössä (3.4)

3.2 MASSASTABILOINNIN VAIKUTUS MAAN OMINAISUUKSIIN

Vaikutukset geoteknisiin ominaisuuksiin

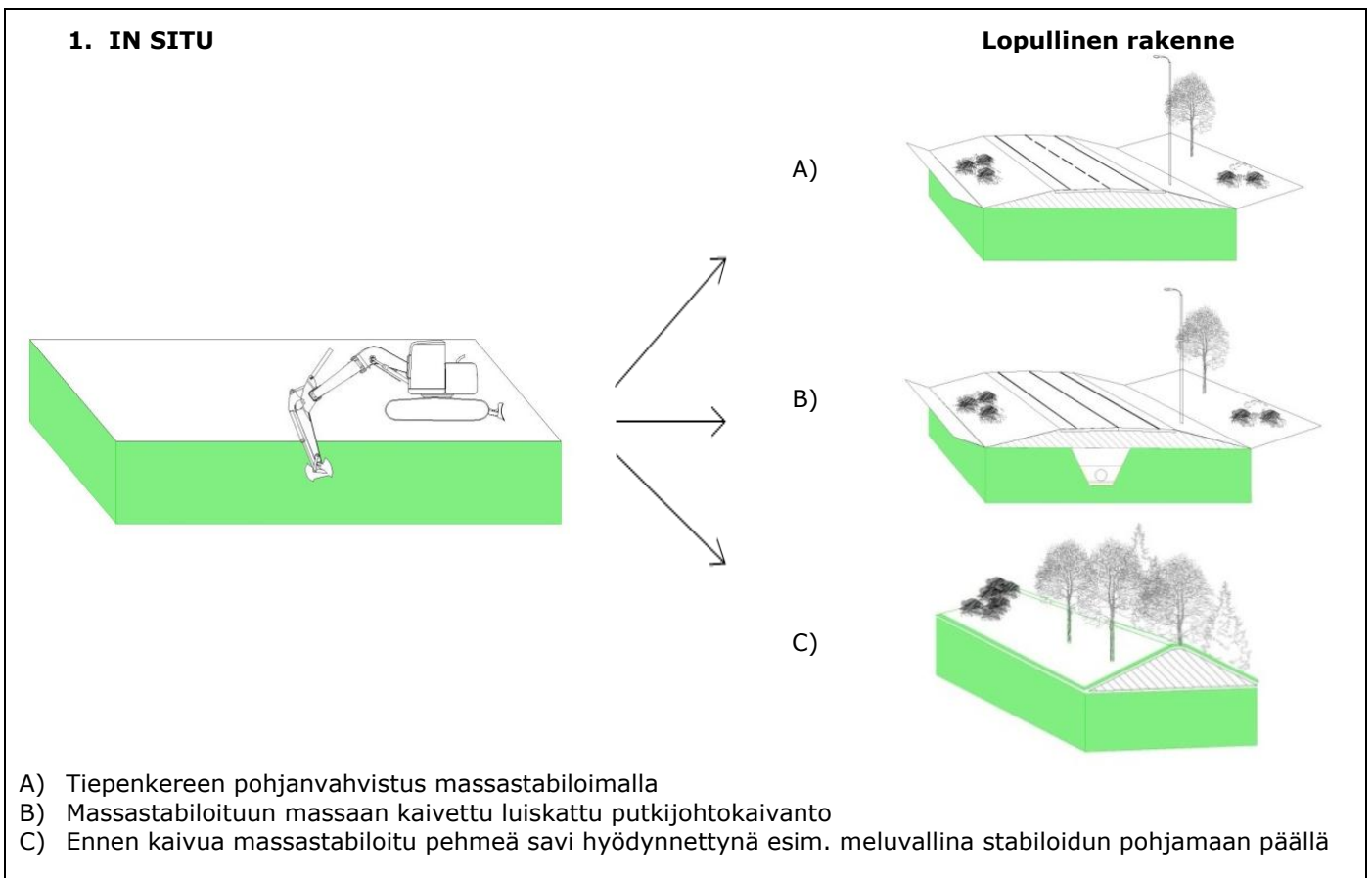
Massastabilointi muuttaa maan geoteknisiä ominaisuuksia merkittävästi. Vaikutusten suuruus ja nopeus riippuu käytetystä sideaineesta, sideaineen määrästä, runkoaineesta sekä lujittumisajasta, lämpötilasta ja tiivystyksestä. Massastabilointi muuttaa maan indeksiominaisuuksia (esim. vesipitoisuus, plastisuus, tilavuuspaino, ...), lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuuksia sekä vedenläpäisevyyttä. Kuvassa 3.5 on esitetty stabiloinnin vaikutus yksiakiaaliseen puristuslujuuteen ja muodonmuutokseen.

Vaikutukset ympäristöominaisuuksiin

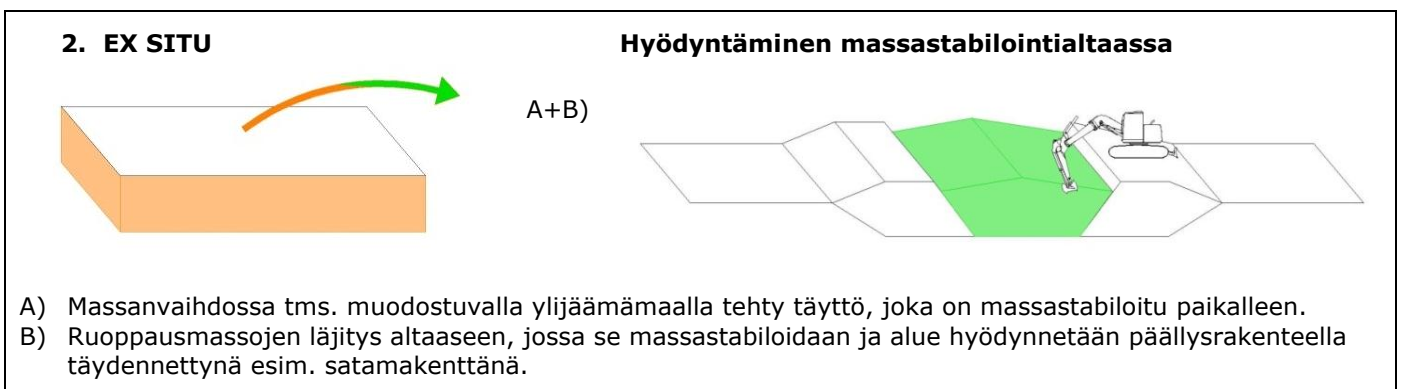
Massastabilointia sovelletaan myös pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Stabiloinnilla sidotaan haitalliset aineet niukkaliukoiseen muotoon siten, että käsitellyt massat voidaan hyötykäyttää tai läjittää turvallisella tavalla. Massastabiloinnilla voidaan tehdä myös ns. reaktiivisia seinämiä, jotka sitovat haitalliset ainekset niin, etteivät ne pääse leviämään ympäristöön. Eri sideaineilla ja sideaineseoksilla on erilaisia ominaisuuksia haitallisten aineiden sitomiseen, ja siksi käytettävät sideainereseptit on aina tutkittava tapauskohtaisesti laboratorioissa etukäteen.

Massastabiloinnilla voidaan vähentää haitallisten aineiden pääsyä ympäristöön mm. seuraavien ominaisuuksien muutosten johdosta:

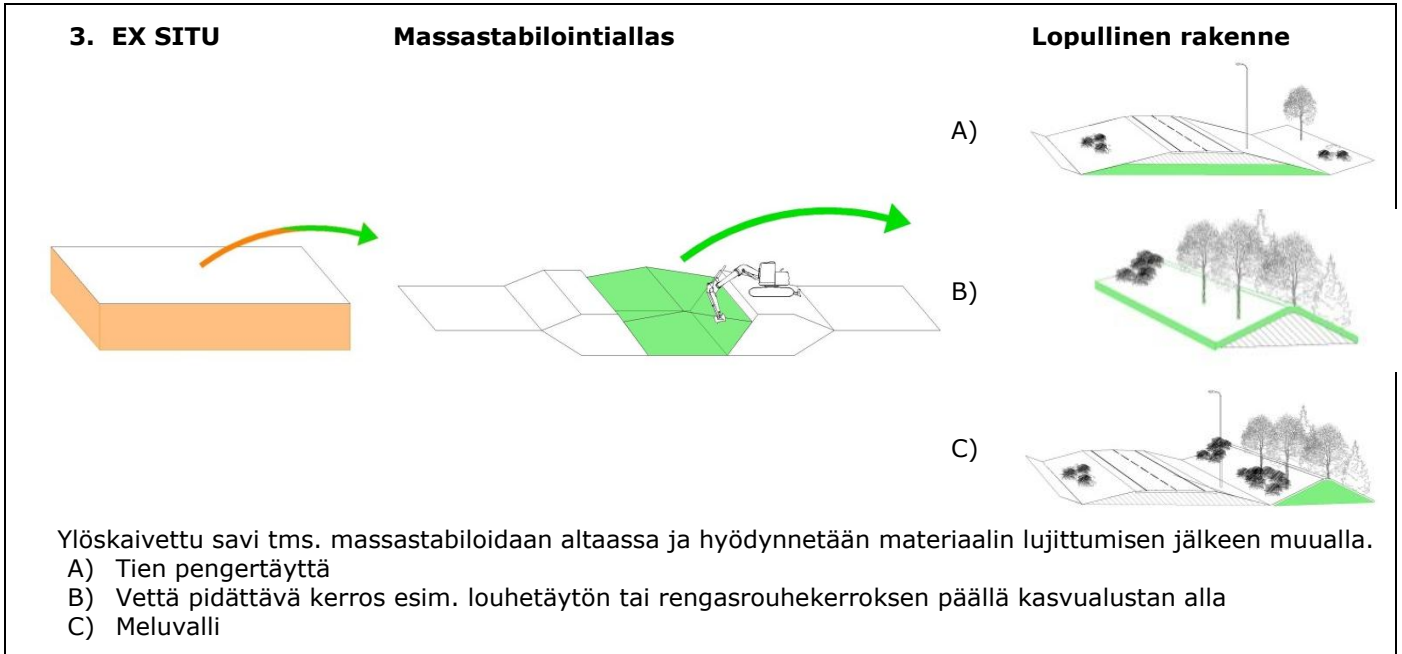
- haitta-aineiden pidättyminen ja kapseloituminen
- materiaalien muuttuneet kemialliset ominaisuudet (pH, redox)
- materiaalien muuttuneet fysikaaliset ominaisuudet kuten vedenläpäisevyys hienoainepartikkeleiden sitoutuminen ja vesipitoisuuden pieneneminen



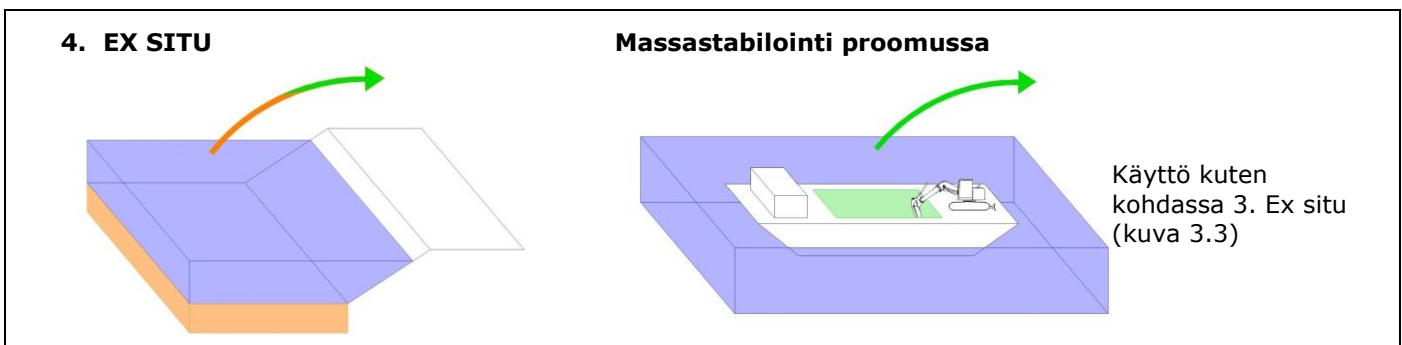
Kuva 3.1. In situ massastabilointi pohjavahvistuksena ja maarakennusmateriaalina.



Kuva 3.2. Ex-situ stabilointi, jossa stabiloitu massa hyödynnetään stabilointialtaassa täyttömateriaalina ja tulevien rakenteiden pohjarakenteena.

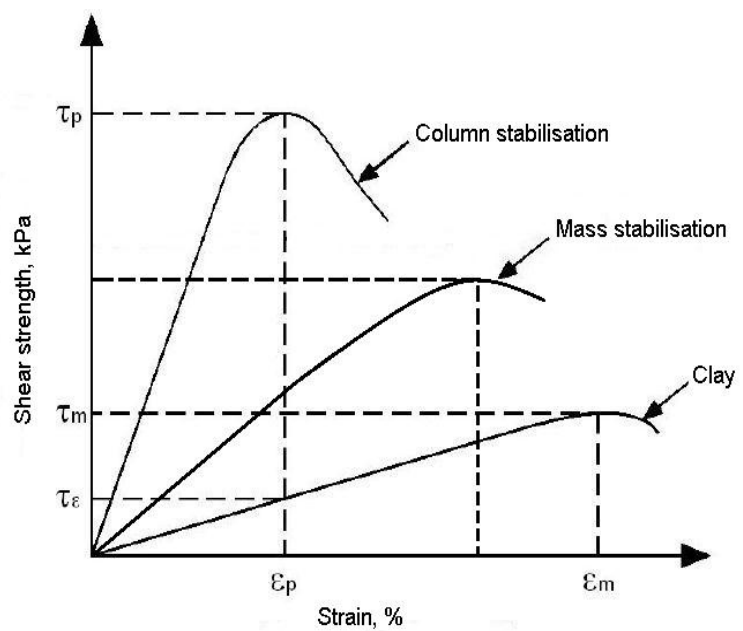


Kuva 3.3 Ex-situ stabilointi, jossa stabilointialtaassa stabiloitu massa hyödynnetään muualla.



Kuva 3.4 Ex-situ stabilointi, jossa stabilointialtaassa stabiloitu massa hyödynnetään muualla.

Kuva 3.5 Stabiloinnin vaikutus saven yksiakiaaliseen puristuslujuuteen ja muodonmuutokseen.



4. SOVELLUTUKSET JA KÄYTTÖKOHTEET

4.1 GEOTEKNISET SOVELLUTUKSET

Massastabiloinnilla on lukuisia erilaisia käyttökohteita ja sovellutuksia pohjavahvistusmenetelmänä sekä heikkolaatuisten maa-ainesten jalostusmenetelmänä. Massastabiloinnin käyttökohteita ovat esimerkiksi:

- tiet
- kadut ja raitit
- rautatiet
- kunnallistekniikka ja verkostot
- satamat ja meriväylät
- maisema- ja viherrakentaminen (mm. puistot)
- ulkoliikuntapaikat
- ympäristönsuojaurakenteet
- kaivosalueet
- kaatopaikat ja jätteenkäsittelyalueet
- teollisuuden ja kaupan alueet sekä talonrakennuskohteet
- tulvasuojelu

Massastabilointi voidaan tehdä:

- pehmeiden maakerrosten koko paksuudelle
- massastabilointina määräsivyyteen ("kelluva" rakenne)
- yhdistelmärakenteena, jossa massastabilointi on pilaristabiloinnin päällä

Massastabiloimalla pehmeiden maakerrosten alapintaan saakka aikaansaadaan esikuormituksen jälkeen lähes painumaton pohjanvahvistus penkereelle (kuva 4.1a).

Määräsivyyteen tehdyssä massastabiloinnissa massastabiloinnin alapuolelle jää pehmeitä maakerroksia (kuva 4.1b). Määräsivyyteen tehty massastabiloitu kerros siirtää penkereen aiheuttamat kuormat syvemmälle maakerrokseen ja tasaa painumia. Jos määräsivyyteen tehdyn massastabiloinnin alle jää painuvia maakerroksia, sen päälle tehty rakenne ei ole painumaton. Painuman suuruuteen vaikuttaa oleellisesti se ylittääkö penkereen ja massastabiloinnin aiheuttama kuorma alapuolisen savikerroksen esikonsolidaatiojännityksen.

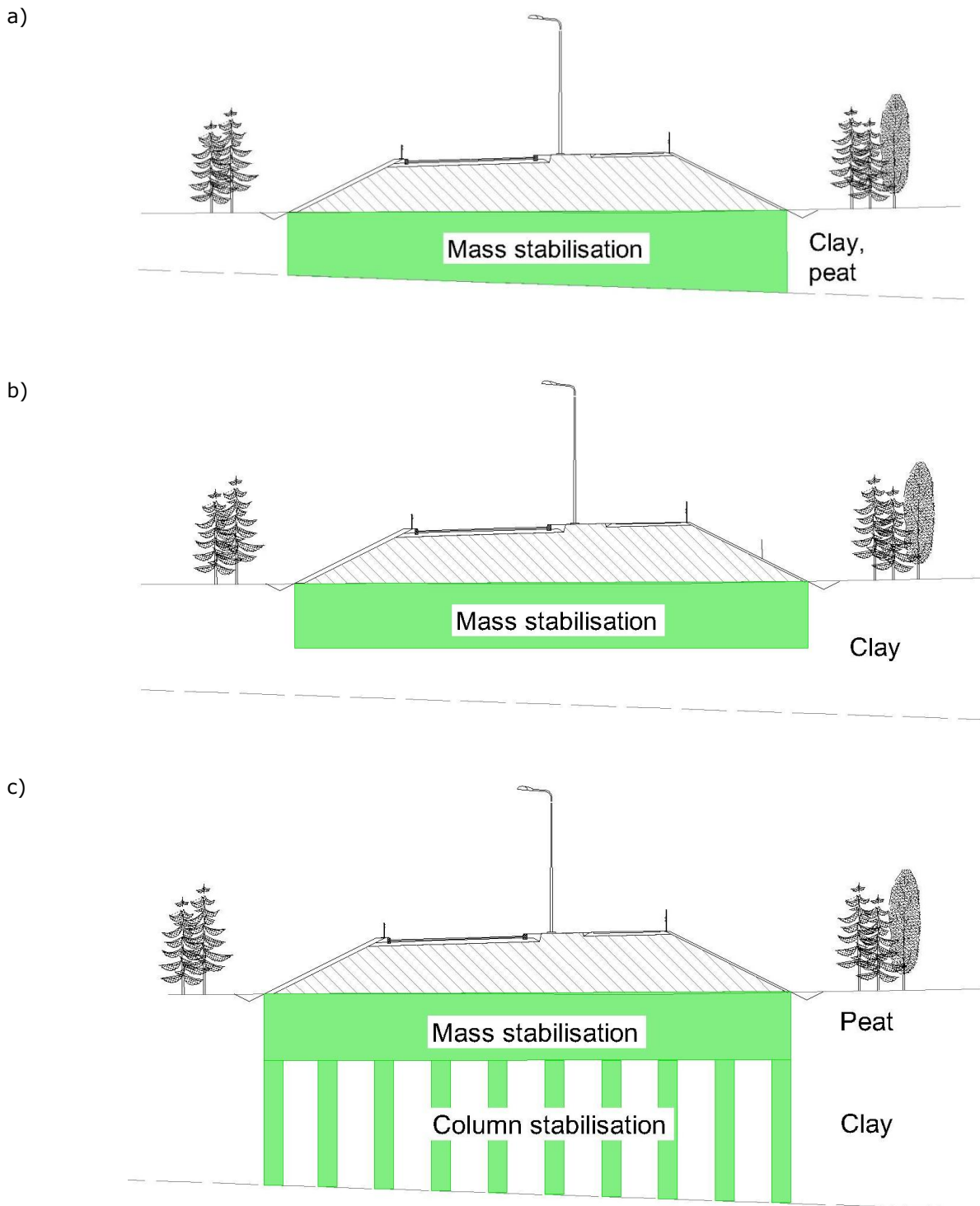
Määräsivyyisen massastabiloinnin alle tehty pilaristabilointi rajoittaa massastabiloinnin alapuolisten pehmeiden maakerrosten painumaa ja parantaa penkereen varmuutta liukupintasortumaa vastaan (kuva 4.1c). Yleisimmin massa- ja pilaristabiloinnin yhdistelmärakennetta on käytetty silloin, kun ylimpänä maakerroksena on turve- tai liejakerros, johon pilaristabilointimenetelmällä ei aikaansaada riittävän lujia pilareita. Massastabilointia voidaan käyttää myös pilaristabilointikoneen työalustana erityisen heikosti kantavalla pohjamaalla.

4.1.1 TIET

Tierakenteissa massastabilointia käytetään tyypillisesti pehmeikköalueiden pohjanvahvistuksena. Tavoitteena on saada aikaan kantava rakennuspohja päälle tulevia pengertäyttöjä ja rakennekerroksia varten, jolloin massastabilointi:

- rajoittaa ja tasaa maan pohjamaan painumia kasvattamalla pohjamaan maakerrosten jäykkyyttä
- parantaa kokonaisstabiiliteettia parantamalla pohjamaan maakerrosten lujuuutta
- lisää pohjamaan kantavuutta (kasvattaa E-moduulia)
- parantaa heikkolaatuisten kaivumaiden laatua ja hyötykäyttömahdollisuuksia (stabilointi ennen kaivua)

Tiekohteissa, joissa tehdään pehmeään pohjamaan kaivua (esimerkiksi massanvaihtokaivanto, alikulun leikkaus, tms.), voidaan kaivettava pehmeä maa-aines massastabiloida ennen kaivua, jolloin kaivettavien maa-ainesten leikkaus on helpommin toteutettavissa ja leikatun maa-aineksen laatu paranee. Tällöin kaivumaat ovat helpommin kuljetettavissa ja hyötykäytettävissä muualla rakennushankkeessa esimerkiksi pengertäytteenä tai maisema- ja viherrakentamisessa.



Kuva 4.1 Massastabilointi a) pehmeän maakerroksen alapintaan, b) massastabilointi määräsyytyteen ja c) massastabiloinnin ja pilaristabiloinnin yhdistelmä.



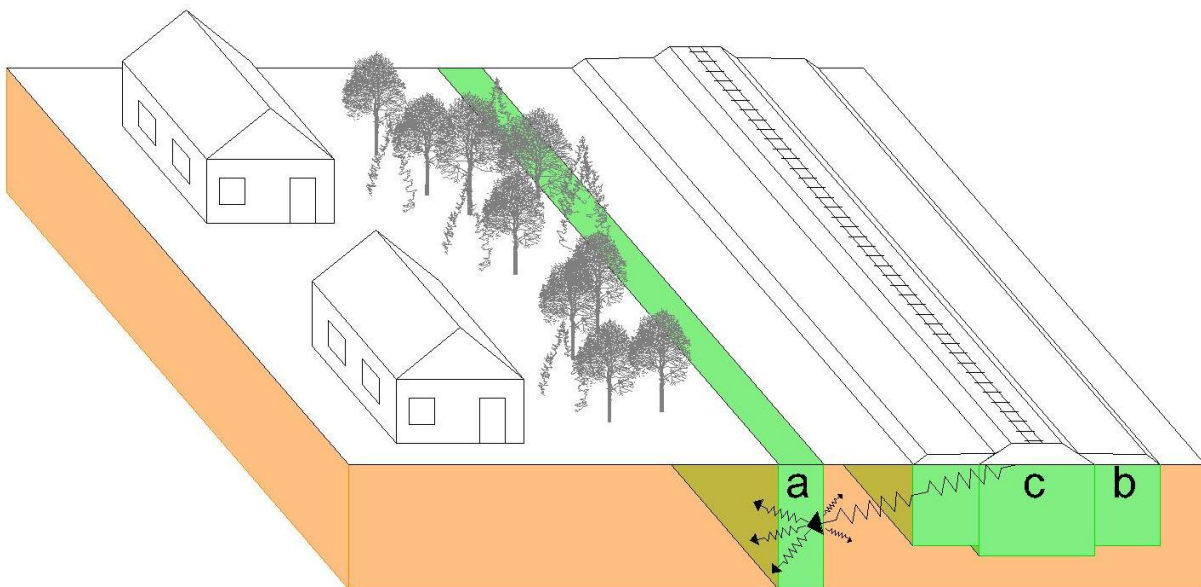
Kuva 4.2 Esimerkki massastabiloinnin käytöstä tien pohjavahvistuksena suoalueella. a) tiealue ennen massastabilointia ja b) massastabiloinnin ja päällysrakenteen rakentamisen jälkeen (valokuva: Leppänen 1995 ja 1996).

4.1.2 RAUTATIET

Rautatiehankkeissa massastabilointia voidaan käyttää mm.:

- vanhan, pehmeikölle rakennetun ratapenkeen vieressä olevan maan lujittamiseen
- uuden tai korjattavan ratapenkereen pohjavahvistuksena
- tärinää vaimentavana seinänä
- parantamaan heikkolaatuisten kaivumaiden laatua (stabilointi ennen kaivua)

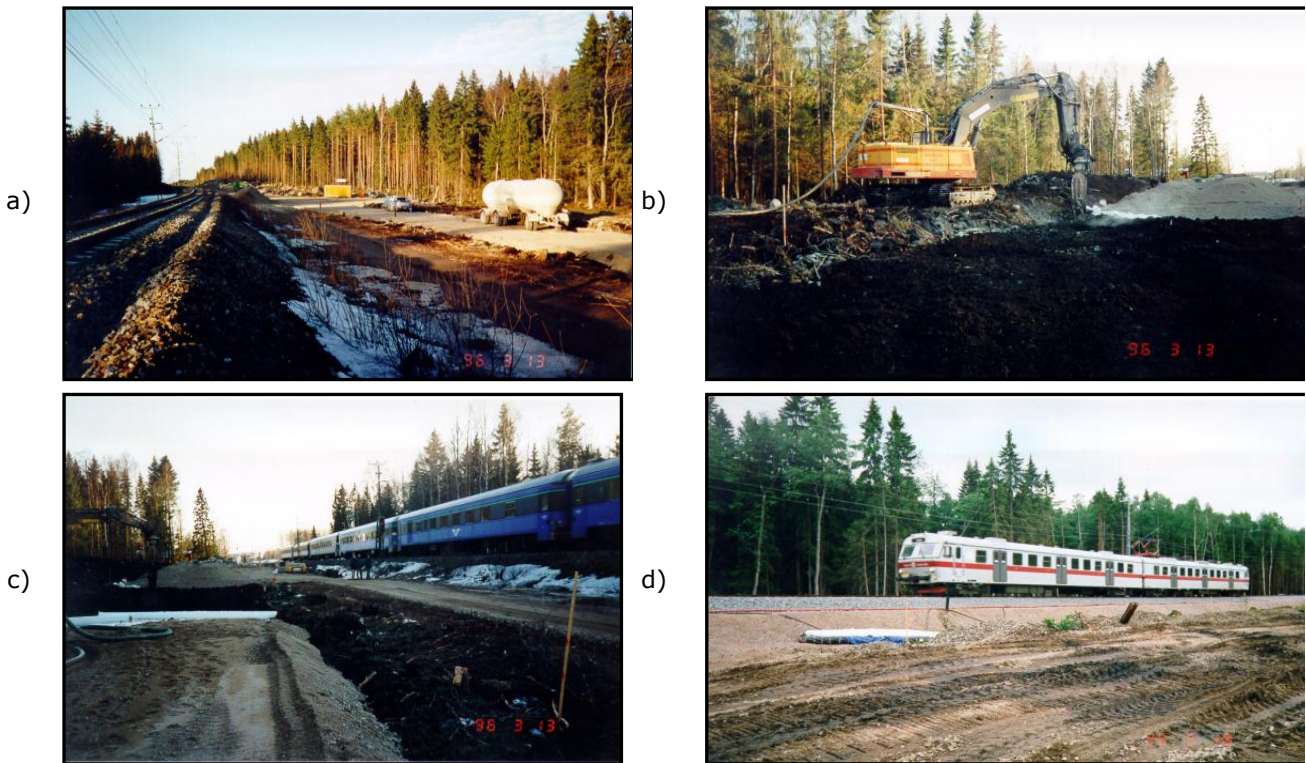
Kuvassa 4.3 on esitetty miten edellä mainittuja massastabiloinnin käyttötapoja voidaan soveltaa ratapoikkileikkauksessa. Pilaristabiloitua seinää on käytetty Suomessa useissa kohteissa junatärinän leviämistä vaimentavana rakenteena. Sopivissa olosuhteissa tärinää vaimentava seinä on mahdollista toteuttaa myös massastabilointitekniikalla.



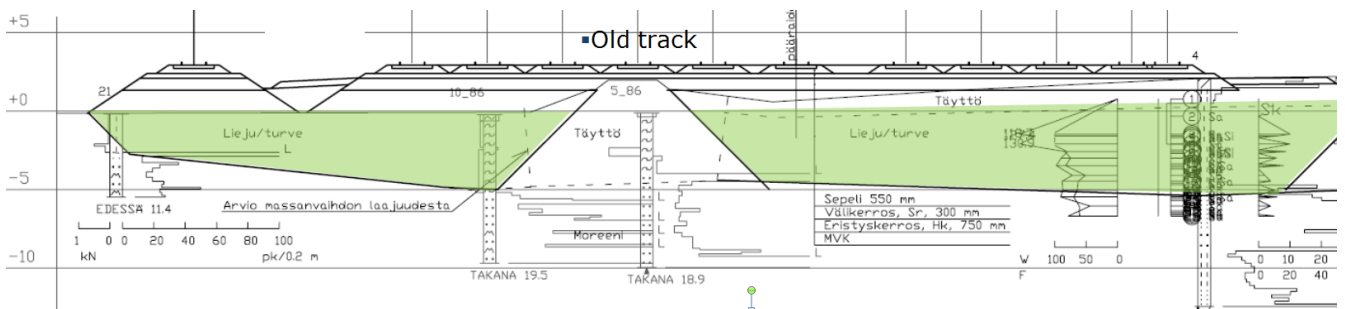
Kuva 4.3 Vaihtoehtoisia massastabiloinnin käyttömahdollisuuksia ratahankkeissa, a) massastabilointi tärinää vaimentavana seinänä, b) ratapenkereen viereisen maan lujittaminen ja c) maapohjan lujittaminen ratapenkereen alla.

Suomessa on runsaasti vanhoja rautatiepenkereitä, joiden varmuus liukupintasortumaa vastaan on alhainen. Tällaista ratapengerä korotettaessa tai junien telipainoja kasvatettaessa varmuus pienenee, jolloin tarvitaan pohjavahvistustoimenpiteitä. Kun kyseessä on vanha ratapenger, on vastapenger usein kustannustehokas ratkaisu. Pohjamaan lujuuden ollessa riittämätön vastapengeren rakentamiseksi, voidaan radan viereistä pohjamaata lujittaa massastabiloinnilla niin, että vastapengeren rakentaminen on mahdollista ja varmuus saadaan riittäväksi. Esimerkki tällaisesta rakenteesta on esitetty kuvassa 4.3.

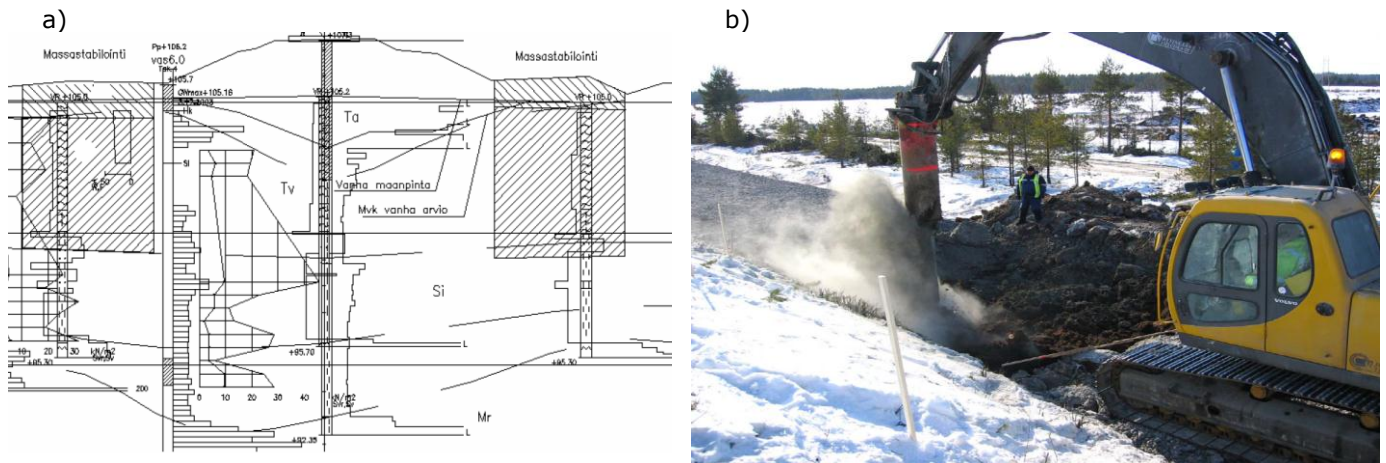
Ensimmäinen rautatiehanke, jossa on käytetty massastabilointia pohjavahvistuksena ratapengeren alla oli Ruotsissa vuonna 1996 Uppsalassa Skyttorpissa (kuva 4.4). Radan kohdalla massastabiloitiin 2...3 m paksu turvekerros kovaan pohjaan saakka ennen ratapengeren rakentamista. Esimerkki ratapihan alle tehdystä massastabiloinnista on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.4 Ratahanke Ruotsissa 1996, a) lähtötilanne puuarinalle perustettu rata b) ja c) massastabilointityötä rata-alueella d) valmis massastabiloinnin päälle siirretty rata. (valokuva Leppänen 1996)



Kuva 4.5 Esimerkki ratapihan alle tehdystä massastabiloinnista (Forsman 2008).



Kuva 4.6 Vanha rata, jonka varmuus liukupintasortumaa vastaan on korotettu käyttäen vastapengertä ja massastabilointia erittäin pehmeän pohjamaan varaisesti rakennetun radan vieressä (a)Heikkilä 2006, b) Tikkanen 2006).

4.1.3 KADUT JA RAITIT

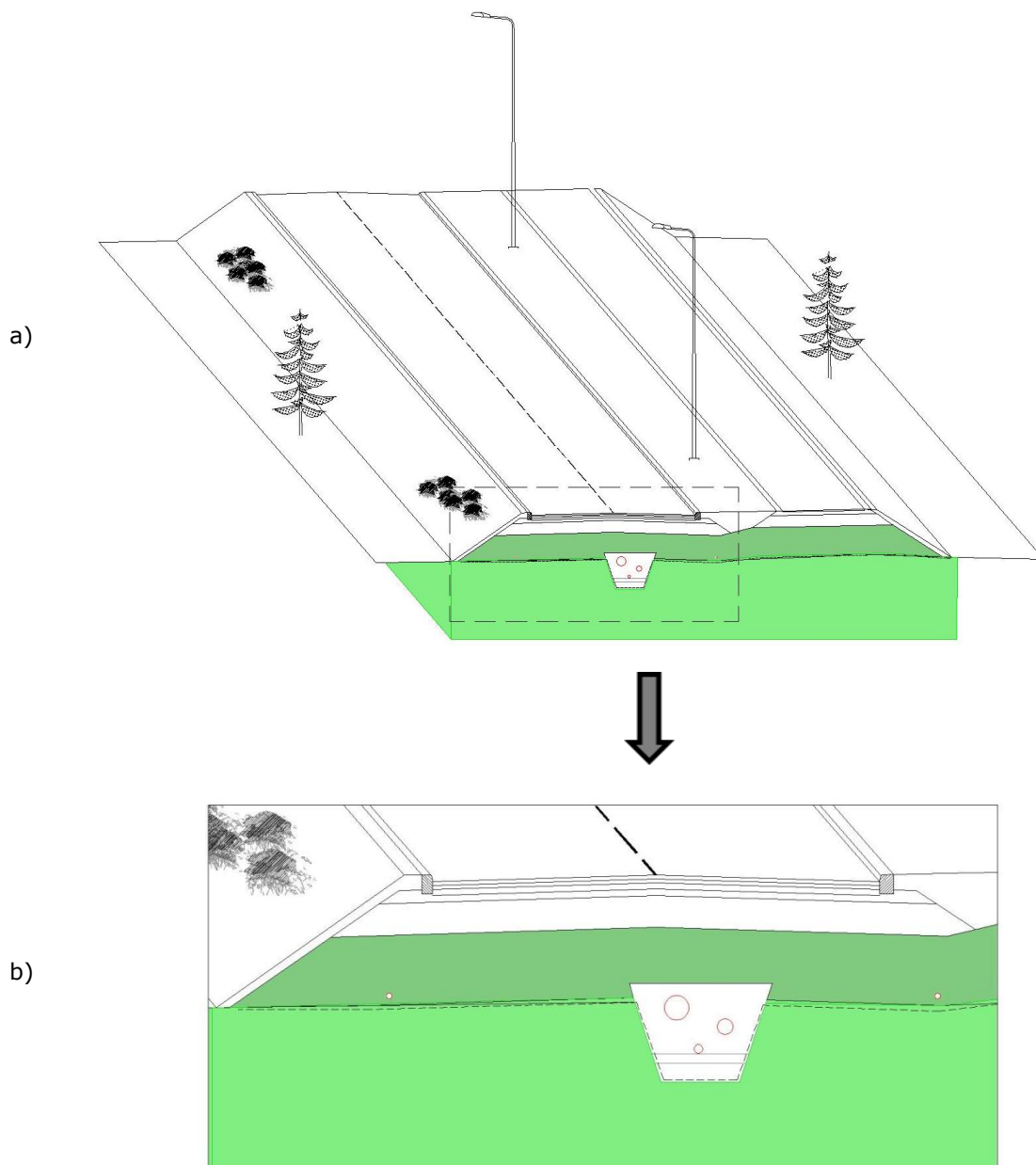
Massastabilointia voidaan käyttää katujen ja raittien pohjavahvistuksena sekä kaivumaiden laadun parantamiseen kuten tiekohteissakin. Oleellisena erona tie- ja rautatiekohteisiin on se, että kaduilla on tyypillisesti putkia ja muuta kunnallistekniikkaa, jonka ylläpidon ja täydentämisen takia katuja kaivetaan usein auki. Katujen ja raittien rakentamisessa massastabilointi:

- rajoittaa ja tasaa pohjamaan painumia kasvattamalla pohjamaan maakerrosten jäykkyyttä
- parantaa kokonaisstabiiliteettia pohjamaan lujuutta kasvattamalla
- lisää pohjamaan kantavuutta (kasvattaa E-moduulia)
- mahdollistaa luiskatut putkikaivannot lujitettuun pehmeään pohjamaahan
- parantaa heikkolaatuisten kaivumaiden laatua (stabilointi ennen kaivua)

Katujen pohjanvahvistuksia suunniteltaessa on otettava huomioon katurakenteen painumavaatimukset, putkikaivantojen kaivaminen ja putkien painumavaatimukset. Putkien painumavaatimukset ovat yleensä tiukemmat kuin pelkän katurakenteen.

Edullisissa olosuhteissa ja matalissa kaivannoissa putket voidaan asentaa massastabiloituun kerrokseen luiskattuun kaivantoon. Syvemmissä kaivannoissa massastabiloidulla pohjamaalla on usein mahdollista korvata teräsponttituenta tuentaelementeillä.

Toistaiseksi vähän käytetty massastabilointisovellus on stabiloidun materiaalin käyttäminen kadun tai raitin päällysrakenteen kerroksissa. Kuvassa 4.7 on esitetty periaate stabiloitujen maa-ainesten hyödyntämisestä pengertäytössä, suodatinkerroksessa tai jakavassa kerroksessa. 1990-luvun lopulla tehtiin Viikin ns. savikadulla koeosuus, jossa massastabiloidusta savesta rakennetun jakavan kerroksen kantavuuden ei ole todettu alenevan jäätyä ja sulamista vaikutuksesta.



Kuva 4.7 Massastabiloitu materiaali kadun pengertäytössä ja jakavassa kerroksessa (tumman vihreä, a). Massastabilointi pohjamaan lujittamisessa (vaalean vihreä, b) ja massastabilointiin kaivettu luiskattu kunnallistekniikan kaivanto.

4.1.4 KUNNALLISTEKNIikka JA VERKOSTOT

Massastabiloinnilla voidaan lujittaa putkijohdon pohjamaa sekä maakerros, johon putkijohtokaivanto kaivetaan. Massastabiloinnin avulla voidaan pienentää kaivantolinjojen painumia, jolloin painumaerot tasoittuvat ja riski epätasaisille painumille pienenee.

Kunnallistekniikan ja verkoston rakenteissa massastabilointi (kuva 4.7b):

- rajoittaa ja tasaa pohjamaan painumia kasvattamalla pohjamaan maakerrosten jäykkyyttä
- mahdollistaa luiskatut putkikaivannot pehmeään pohjamaahan
- parantaa heikkolaatuisten kaivumaiden laatua (stabilointi ennen kaivua)
- lujittaa pehmeät kaivumaat soveltuviksi putkikaivantojen lopputäytöihin

Kunnallistekniikka ja verkostot sisältävät painumavaatimuksiltaan hyvin erilaisia rakenteita aina tiukat painumattomuuskriteerit omaavista gravitaatioputkista ja kaivoista paineputkiin, joille sallitaan suuriakin painumia. Putkilinjoja, jotka eivät siedä painumia, rakennettaessa massastabilointi saattaa olla tarpeen esikuormittaa, jotta putkien päälle rakennettavat penkereet eivät aiheuta liiallisia painumia.

Putkijohtokaivannon kaivaminen stabiloituun massaan on helpompaa ja turvallisempaa kuin pehmeään koheesiomaahan kaivaminen. Kunnallistekniikan kaivantojen syvyydet vaihtelevat hyvin matalista kaivannoista aina pumppaamoiden syviin kaivantoihin. Massastabiloinnilla lujitetaan pohjamaata, jolloin hyvissä olosuhteissa massastabiloituun maa-ainekseen voidaan toteuttaa kaivantoja luiskattuina tai tuentaelementtejä käyttäen. Syvemmissä teräsponteilla tuetuissa kaivannoissa voidaan hyödyntää ponttien alapäiden väliin jäävän massastabiloinnin lujuutta, jolloin ponttien pituutta on mahdollista lyhentää. Myös kaivannon viereisen massastabiloidun maa-aineksen lujuutta voidaan hyödyntää, jolloin pontteja tai niiden tuentaa voidaan keventää.

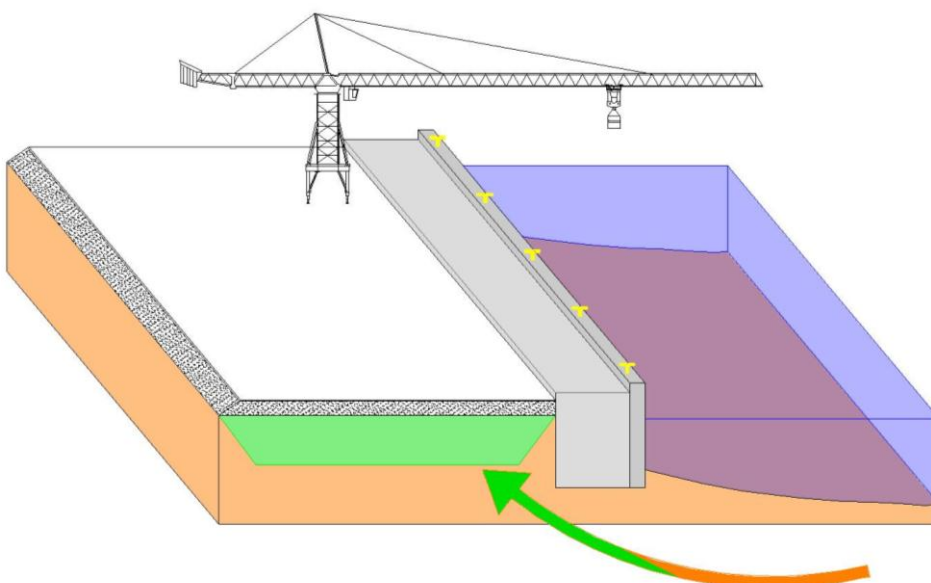
Osa kunnallistekniikan ja verkostojen linjoista sijaitsee viheralueilla, pelloilla ja metsissä, jolloin kaivantojen lopputäytöissä voidaan hyödyntää massastabiloituja heikkolaatuisia kaivumaita. Massastabiloituja kaivumaita on mahdollista hyödyntää myös muualla kaivantojen lopputäytöissä, mutta silloin massastabiloinnin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet on määritettävä tapauskohtaisesti, ottaen huomioon verkoston omistajan ohjeet ja vaatimukset.

Pohja- tai orsivesien virtausta putkikaivannoissa estetään putkikaivantoihin rakennettavilla "savisuluilla", joiden rakentamisessa voidaan hyödyntää massastabiloitua savea normaalisti käytettävän kuivakuorisaven sijaan.

4.1.5 SATAMAT JA MERIVÄYLÄT

Satama- ja meriväylähankkeissa ruopataan materiaaleja, joiden meriläjitys ei aina ole mahdollista massojen pilaantuneisuuden takia. Meri- tai vesistöläjityksen sijaan materiaali voidaan massastabiloida ja hyötykäyttää sataman rakenteissa esimerkiksi uuden satamakentän täyttömaana. Satamarakenteissa voidaan hyödyntää huomattaviakin määriä stabiloituja maamassoja, jolloin kohteeseen ulkopuolelta tuotavien massojen tarve pienenee.

Mikäli stabiloitava ruoppausmassa on pilaantunutta, haitta-aineiden liukoisuus yleensä pienenee stabiloidun massan lujittuessa, jolloin ruoppausmassan ympäristökelpoisuus paranee. Tyypillinen satamarakenneratkaisu, jossa on hyödynnetty massastabiloituja ruoppausmassoja, on esitetty kuvassa 4.8.



Kuva 4.8 Merestä ruopatud sedimentit on massastabiloitu ja hyödynnetty satamakentän täytössä ja päällysrakenteen alaosassa.

Kaupallisten stabiloinnin sideaineiden lisäksi potentiaalisia ovat mm. erilaiset teollisuuden sivutuotteet. Teollisuuden sivutuotteiden etuja sideaineena ovat mm. ympäristöystävällisyys, ruoppausmassan haitta-aineiden liukoisuuden aleneminen ja kustannustehokkuus.

Stabiloitava ruoppausmassa yleensä siirretään ensin loppusijoitus- / käsittelyaltaaseen, jossa massastabilointi toteutetaan. Allasrakenteet suunnitellaan käsiteltävien massojen laatu ja massojen käsittelytapa huomioiden. Stabilointityön vesistövaikutukset ovat yleensä vähäisiä ruoppausmassojen käsittelyn tapahtuessa suljetulla allasalueella, josta ei ole suoraa yhteyttä vesistöön (esimerkiksi kuva 4.9). Mikäli massastabiloitu ruoppausmassa hyödynnetään muualla kuin käsittelyaltaassa, siirretään se lopulliseen hyödyntämispaikkaan sen jälkeen, kun riittävä lujuus on saavutettu (usein 1...3 kk lujittumisajan jälkeen).

Mikäli massastabilointi tehdään lopulliseen sijoitusaltaaseen, voidaan massastabilointi toteuttaa altaan pohjaan saakka tai "kelluvana" rakenteena, jossa altaan alaosa ei massastabiloida. Ratkaisu riippuu tapauskohtaisesti lopulliselle rakenteelle asetetuista painumavaatimuksista. Hyödyntämiskohteessa massastabiloidun kerroksen päälle tulevien rakennekerrosten paksuus ja laatu riippuvat alueen lopullisesta käyttötarkoituksesta. Tyypillisesti tällaisia alueita käytetään erilaisina satama- ja varastokenttinä.



Kuva 4.9 a) Massastabilointialtaat TBT-pilaantuneen sedimentin massastabiloimiseksi (valokuva: Vuosaaren satama), b) massastabilointi käynnissä Valencian satamassa (valokuva: ALLU).



Kuva 4.10 Pilaantuneiden ruoppausmassoja sijoitettuna vanhan laiturin ja sen eteen tehdyn ponttiseinän väliin ja ruoppausmassojen massastabilointi (Deep Soil Mixing Ltd. UK).

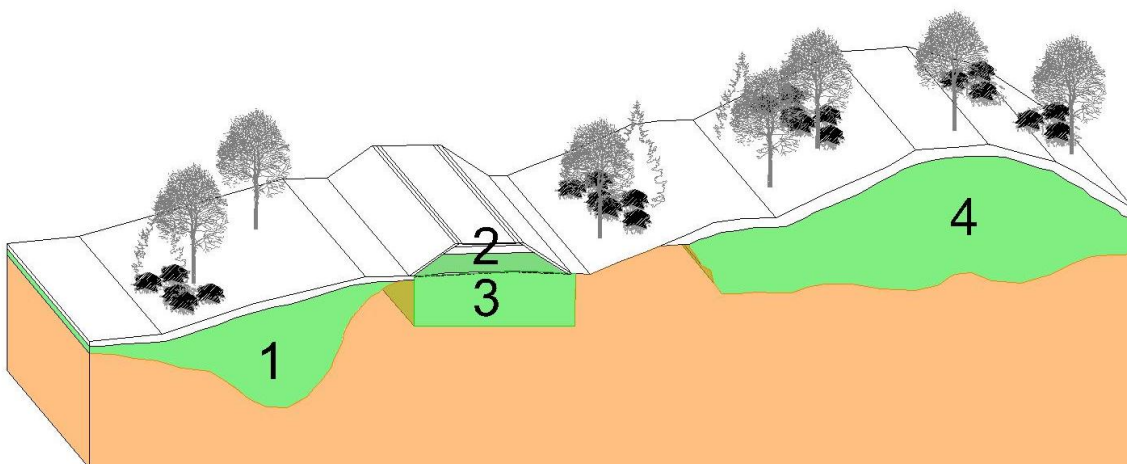


Kuva 4.11 Pehmeikköalue a) pintamaan raivauksen jälkeen ja b) massastabiloinnin ja satamakentän päällysrakenteen kantavan kerroksen rakentamisen jälkeen (valokuva: Havukainen 2004).

4.1.6 VIHER- JA MAISEMARAKENTAMINEN

Viheralueilla täytöt eivät yleensä edellytä routimatonta ja painumatonta materiaalia, vaan hoitoluokasta riippuen pieniä painumia ja routanousuja voidaan sallia. Käytettäessä stabiloitua massaa viheralueiden täytöissä, kiinnitetään huomiota maaston muotoiluun, kuivatuksen toimivuuteen, täyttökerroksen veden läpäisevyyteen, stabiloidun massan happamuuteen sekä täytön päälle tuleviin kasvualustakerroksiin. Maisema- ja viherrakentamisessa täyttömateriaalien vaatimuksiksi yleensä riittää, että massastabiloitu materiaali on levitettävissä, muotoiltavissa ja tiivistettävissä rakenteeseen, joten tarvittava sideainemäärä saattaa olla tavanomaista vähäisempi. Stabiloitu maa-aines ei yleensä sellaisenaan sovi kasvualustaksi, vaan täyttökerroksen päälle tarvitaan varsinaiset kasvualustakerrokset. Kasvualustamateriaalin laatu ja kerrospaksuus riippuu kasvillisuustyypistä (kasvualustan paksuus tyypillisesti n. 0,2...0,5 m).

Massastabiloitua heikkolaatuista ylijäämämaata tai ruoppausmassaa voidaan hyödyntää esimerkiksi maisemointi- ja pengertäytöissä sekä vesiaihioiden tiivistysrakenteissa kuvan 4.12 periaatteiden mukaisesti. Tarvittaessa massastabilointia voidaan käyttää pehmeiköllä pohjamaan vahvistuksena.



Kuva 4.12 Viher- ja maisemarakentamisen täytöjä massastabiloidusta heikkolaatuisesta ylijäämämaasta. Viherrakentamisessa 1. maisemointitäytöt, 2. raittien pengertäytöt, 3. maisemointikumpareet ja 4. raitin pohjanvahvistus.



Kuva 4.13 Ida Aalbergin puisto. Syvästabiloitujen ylijäämäsavien hyödyntämistä maisemarakentamisessa (a+b) ja valmis puisto c) (valokuva: Aino-Kaisa Nuotio 2013 ja 2014).

4.1.7 ULKOLIIKUNTA-ALUEET

Liikuntakenttien rakentamisessa on olennaista, että alueiden kuivatus toimii, kallistukset ovat oikeaan suuntaan ja kentät eivät lammikoidu. Kentille asetettujen tasaisuus- ja painumattomuustavoitteiden saavuttamiseksi massastabilointi on usein soveltuva pohjavahvistusmenetelmä pehmeiköillä.

Kenttien tasauksen toteuttamiseksi tarvitaan niissä usein merkittäviä määriä täyttömateriaaleja, jolloin niissä voidaan hyödyntää suuria määriä massastabiloituja heikkolaatuisia ylijäämämaita. Käytön aikaisten painumien poistamiseksi hyvä tiivistys ja esikuormitus ovat usein välttämätön.

Ulkoliikuntapaikkoja, joissa massastabiloitua maa-ainesta on mahdollista hyödyntää ovat mm.:

- urheilukentät
- pallokentät
- ratsastuskentät

Ulkoliikunta-alueita, joissa tasaisuusvaatimukset ovat oleellisesti vähäisempiä, ovat esimerkiksi erilaiset maastopyöräilyradat ja laskettelumäet.

Massastabiloinnin geoteknisiä sovellutuksia

- teiden, katujen ja raittien pohjanvahvistus ja pengertäytöt
- uusien ja vanhojen ratojen ja ratapihojen-pohjanvahvistus, tärinän vaimennusrakenteet
- kunnallistekniikassa painumien rajoittaminen, kaivantojen "tukeminen", lopputäytöt
- satamissa ja meriväylillä stabiloitujen ruoppausmassojen
- hyötykäyttö esimerkiksi merelle laajennettavien satamakenttien täytöissä
- viher- ja maisemarakentamisen täytöt ja pohjavahvistus
- ulkoliikunta-alueiden kenttien täytöt yms.

4.2 YMPÄRISTÖTEKNISET SOVELLUTUKSET**4.2.1 YMPÄRISTÖNSUOJAUSRAKENTEET**

Ympäristönsuojusrakenteissa suojauskohteina ovat mm. talo-, teollisuus- ja infrarakenteet, työntekijät ja asukkaat, luontoympäristöt sekä pohja- ja pintavesiesiintymät (kuva 4.14). Tyypillisiä ympäristönsuojusrakenteita, joissa voidaan hyödyntää massastabilointia ja/tai massastabiloituja ylijäämämaita ovat mm.:

- meluvallit
- tulvasuojelu (pato- ja vallirakenteet sekä korotustäytöt)
- reaktiiviset seinämät
- pystyeristysseinät (esimerkiksi pilaantuneiden maiden kunnostusalueiden ympärillä)
- tärinän vaimennusseinämät (esimerkiksi ratarakenteissa)
- pilaantuneiden maa-ainesten kiinteyttäminen

Meluvallissa voidaan käyttää massastabilointia pohjamaan lujittamiseen ja massastabiloituja ylijäämämaita meluvallin rakenteena. Mitä korkeampi vallista ja jyrkempi luiskasta tehdään, sitä suurempi stabiloidun saven sisäisen lujuuden tulee olla. Luiskien stabiliteettia voidaan tarvittaessa parantaa geolujitteiden ja tukipenkereiden avulla.

Tulvasuojelulla tarkoitetaan sellaisten pysyvien rakenteiden suunnittelua ja rakentamista, jotka estävät tai vähentävät tulvahaittoja. Massastabilointia voidaan käyttää tulvasuojapatojen ja -vallien pohjavahvistuksena. Patojen ja vallien tiiviste- ja pengermateriaalina voidaan käyttää massastabiloitua ylijäämämaata tai ruoppausmassaa.

Suomalaisilla savilla on alhainen vedenläpäisevyys, mutta yleensä niiden vesipitoisuus on suuri, lujuus alhainen ja kokoonpuristuvuus kuorman alla suuri. Lisäksi maarakennusominaisuudet ovat huonot Savien maarakennusominaisuuksia voidaan parantaa massastabiloimalla, jolloin saven maarakennusominaisuudet paranevat sekä lujuus ja jäykkyys kasvavat. Massastabilointi vaikuttaa saven vedenläpäisevyyteen lähinnä saven maarakennusominaisuuksien kautta – kun saven rakennustekniset ominaisuudet paranevat, voidaan savesta rakennettava tiivistyskerros tiivistää helpommin, jolloin siitä on rakennettavissa homogeeninen tiivistyskerros. Tiivistekerrokseksi massastabiloitavalla savella ennakkokokeet ovat tärkeitä oikean sideainelaadun ja määrän valitsemiseksi. Massastabiloinnissa saveen ei saa sekoittaa liikaa sideainetta, koska

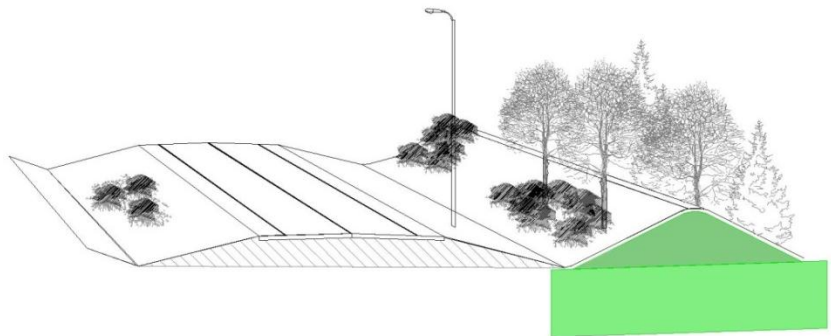
silloin savikerros kuivuu liikaan, muuttuu hauraaksi ja voi halkeilla. Lisäksi saavutettavaan vedenläpäisevyyteen vaikuttaa valitut sideainekomponentit ja reseptointi.

Massastabiloitua savea voidaan käyttää vaakasuoran tai vinon tiivisteiden sekä pystysuoran eristysseinän tiivistemateriaalina kohteen vaatimuksista riippuen joko sellaisenaan tai keinotekoisella eristeellä täydennettynä. Tiivistemateriaalina käytettävän massastabiloidun saven maarakennusominaisuuksien tulee olla hyvät eli materiaalin on oltava helposti tiivistettävissä homogeeniseksi rakenteeksi.

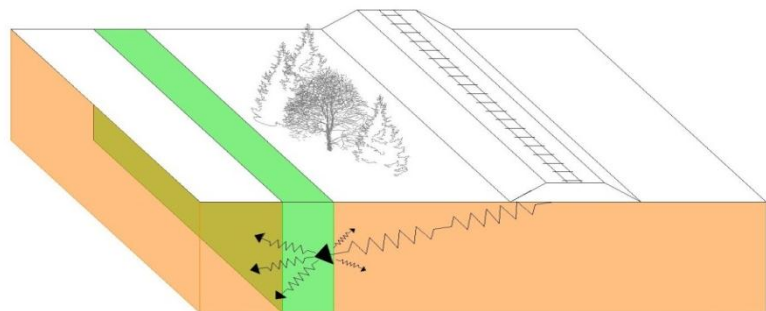
Reaktiivinen seinämä on maaperään rakennettu vettäläpäisevä seinämä, jolla parannetaan sen läpi virtaavan pilaantuneen veden laatua. Seinämän toiminta perustuu seinämän läpi kulkeutuvassa vedessä tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin. Massastabilointilaitteiston sekoitinkärkeä ja painesyöttöjärjestelmää voidaan käyttää reaktiivisen seinämän rakentamisessa, jolloin massastabilointilaitteistolla syötetään pohjamaahan sideaineen sijaan ko. maaperään kemiallisesti soveltuvaa materiaalia.

Massastabilointia on käytetty pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa sekä pilaantuneiden ruoppausmassojen käsittelyssä. Stabilointi muuttaa aineen kemiallista käyttäytymistä ja kapseloi tiettyjä raskasmetalleja liukenemattomampaan muotoon. Stabiloinnin myötä materiaalista tulee teknisten ominaisuuksiensa puolesta maarakentamiseen soveltuvaa täyttömateriaalia.

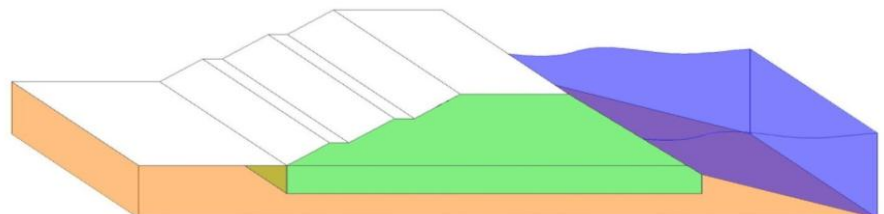
a) meluvalli, jossa on massastabiloitu pohjavahvistus ja massastabiloitua vallin pengermateriaalia



b) värinänvaimennusrakenne, jossa pohjamaahan on massastabiloitu värinää vaimentava seinämä

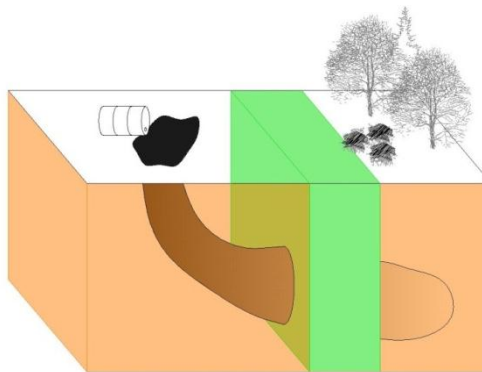


c) tulvasuojeluvalli, jonka pohjanvahvistus on massastabiloitu ja jonka pengermateriaali on massastabiloitua savea

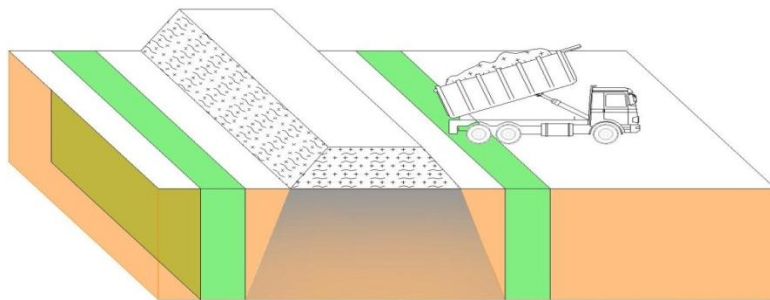


Kuva 4.14 Yhdyskunnan suojausrakenteita: a) meluvalli, b) värinäsuojarakenne ja c) tulvapato.

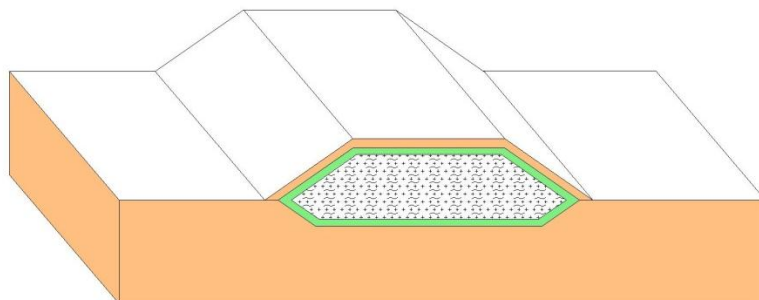
a) reaktiivinen seinämä



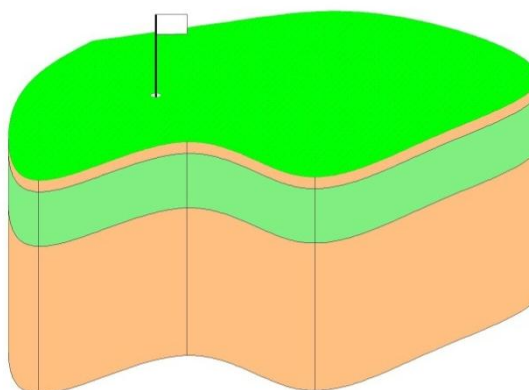
b) pystyeristys- / katkaisuseinät



c) kaatopaikkojen pinta-, pohja- ja muut eristeratkaisut



d) pilaantuneiden maiden käsittely ja hyötykäyttö esimerkiksi virkistysalueilla, täyttömaissa, jne.



Kuva 4.15 Yhdyskunnan suojausrakenteita: a) reaktiivinen seinämä, b) pystyeristys- / katkaisuseinä, c) kaatopaikan eriste ja d) pilaantuneiden maiden käsittely vähäliukoiseen muotoon.

4.2.2 KAIVOSALUEET

Kaivosalueiden rikastushiekkojen, sivukivien, yms. varastoinnissa ja loppusijoittamisessa tarvitaan suojausrakenteita kuten pato-, pengeri- ja tiivisterakenteita sekä reaktiivisia seinämiä, joita voidaan toteuttaa massastabiloimalla. Suurilla kaivosalueilla käytettävä massastabilointitekniologia ja käyttökohteet tulee valita kohteen mittakaava huomioiden.

4.2.3 PILAANTUNEIDEN MAIDEN KÄSITTELY

Stabilointitekniikkaa voidaan hyödyntää myös pilaantuneiden maiden käsittelymenetelmänä. Haitta-aineiden aiheuttamaa riskiä pienennetään muuntamalla ne vähemmän liukoiseen, kulkeutuvaan tai myrkylliseen tilaan. Myös lentotuhkaa voidaan hyödyntää stabiloinnissa. Haitta-aineiden pitoisuudet täytyy olla tiedossa, jotta reseptoinilla voidaan hakea sopiva sideaine liukoisuuksien pienentämiseksi. Yleensä näitä pilaantuneita stabiloituja maita voidaan hyödyntää niiden lujuusominaisuuksien mukaan esimerkiksi erilaisissa kenttärakenteissa sidottuina, kantavina rakenteina.

Kemiallisesti tarkasteltuna stabilointi sopii hyvin öljyllä, PAH-yhdisteillä ja epäorgaanisilla haitta-aineilla kuten raskasmetalleilla ja suoloilla pilaantuneiden maiden käsittelyyn ja käsiteltävät kohteet voivat olla kooltaan myös pieniä. Pilaantuneiden maiden käsittely vaatii yleensä ympäristöluvan.

Pilaantuneita maita voidaan stabiloida sekä in-situ että ex-situ. In-situ-menetelmällä maata ei tarvitse kaivaa ylös, vaan se voidaan käsitellä omalla paikallaan jolloin kaivamisesta aiheutuvien mahdollisten kemiallisten reaktioiden aiheuttamat riskit pienenevät oleellisesti.

Kemiallisella kestäväinnillä tarkoitetaan sellaisen kemiallisen aineen lisäämistä pilaantuneeseen maa-ainekseen, joka aiheuttaa kemiallisia reaktioita haitta-aineiden kanssa ja muuttaa ne vähemmän liukenevaan muotoon. Haitta-aineet eivät siis hajoa vaan muuttuvat niukkaliukoisemmaksi. Esimerkkinä voidaan mainita kromi-ionien hapettuminen ja muuttuminen vaikeammin liukenevaan muotoon.

Kiintetytyksellä saadaan löysä maa-aines muutettua kiinteämpään muotoon sideaineen avulla. Kun pilaantuneeseen maahan sekoitetaan sideainetta, saadaan materiaalia, jolla on alhainen vedenläpäisevyys ja haitta-aineet saadaan ns. kapseloitua.

Kemiallisilla reaktioilla voidaan saada alkuperäiset haitta-aineet hajoamaan. Reagenssi voi aiheuttaa suoran hajoamisen tai se voi toimia välillisenä katalyyttinä materiaalissa olevan aineen (esimerkiksi veden) ja haitta-aineiden kesken.

Pilaantuneiden maiden käsittelyssä on tärkeää kiinnittää huomiota massojen homogenisointiin koko työn laajuudelta, joten työn tekijän on oltava ehdottoman ammattitaitoinen.

4.2.4 SULFAATTIMOIDEN KÄSITTELY

Sulfaatti- ja sulfidipitoisia maa-aineksia esiintyy Suomessa erityisesti rannikolla. Sedimentit ovat peräisin Litorinameren ajalta noin 8000...4000 vuotta sitten, jolloin ilmasto oli lämmin ja kasvillisuutta oli runsaasti. Maatuvat kasvinosat aiheuttivat meriveden rehevöitymistä. Hapettomissa olosuhteissa merenpohjan mikrobitoiminta pelkisti sulfaatit sulfideiksi. Jääkauden jälkeen maan kohoamisen myötä, entinen merenpohja on noussut pohja- tai orsivesipinnan yläpuolelle.

Kun sulfidisavi nousee pohjaveden pinnan yläpuolelle, hapen kanssa tekemisiin joutuvan sulfidisaven sisältämät rikkipitoiset mineraalit hapettuvat ja muodostavat rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja. Hapon muodostus johtaa happamien (pH 2,5...4) sulfaattimaiden syntyyn. Alhainen pH-arvo aiheuttaa raskasmetallien liukenemistä maaperästä. Raskasmetallit kulkeutuvat veden mukana edelleen vesistöihin aiheuttaen mm. kalakuolemia. Happamat vedet aiheuttavat myös infrastruktuurin rakenteissa korroosiota.

Sulfidimaat aiheuttavat ongelmia erityisesti silloin, kun ne kaivetaan pois paikoiltaan ja joutuvat tekemisiin hapen kanssa. Sulfidimaita on syytä epäillä silloin, kun pohjaveden pinnan alla oleva savi on mustaa ja mahdollisesti myös haisee rikkivedylle. Kuvassa 4.16 näkyy selvästi musta pohjaveden pinnan alla oleva sulfidisavi ja sen päällä oleva vaaleampi sulfaattisavi.



Kuva 4.16. a) Musta sulfidisavi syvämmällä koekuopassa sekä b) musta sulfidisavi vasemmalla ja hapettunut, ruskeaksi muuttunut savi oikealla (valokuva: Jonas Aspholm 2011).

Sulfaattimaita voidaan stabiloida ennen niiden hapettumista, jolloin niiden pH-arvo nousee, eivätkä ne enää aiheuta happamoitumisriskiä ympäristölle. Vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen mukaan (Lindroos et al. 2012) sulfidisavia voidaan menestyksekkäästi sekä massastabiloida että pilaristabiloida silloin, kun ko. materiaalit ovat pohjaveden pinnan alapuolella hapettomissa olosuhteissa. Hapettumisen jälkeen sulfidisavien stabiloimiseen tarvittava sideainemäärä kasvaa merkittävästi.

Stabiloituja sulfidisavia voidaan hyödyntää esimerkiksi meluvallissa tai maisemointitöissä. Stabiloiduilla sulfidisavilla ei ole enää merkittävää happamoittamispotentiaalia. Sulfidisavien on todettu lujittuvan sementtiä, kalkkia, kipsiä ja lentotuhkaa sisältävillä sideaineseoksilla ennen ko. savien hapettumista.

Lentotuhkat soveltuvat sideaineeksi, mikäli sulfidisavi halutaan käsitellä vain happamoitumisriskin pienentämiseksi, eikä erityistä lujuusvaatimusta ole asetettu.

Massastabiloinnin ympäristötekniisiä sovellutuksia

- Meluvallit
- Reaktiiviset seinämät
- Pilaantuneiden maiden kunnostaminen
- Sulfitti- ja sulfaattimaiden pH:n säätö
- Kaatopaikkojen tiivistysrakenteet

4.3 TEOLLISUUDEN JA KAUPAN KENTÄT SEKÄ VARASTOALUEET

Teollisuuden ja kaupan pihaalueet ovat usein laajoja kenttä-, varasto- tai pysäköintialueita.

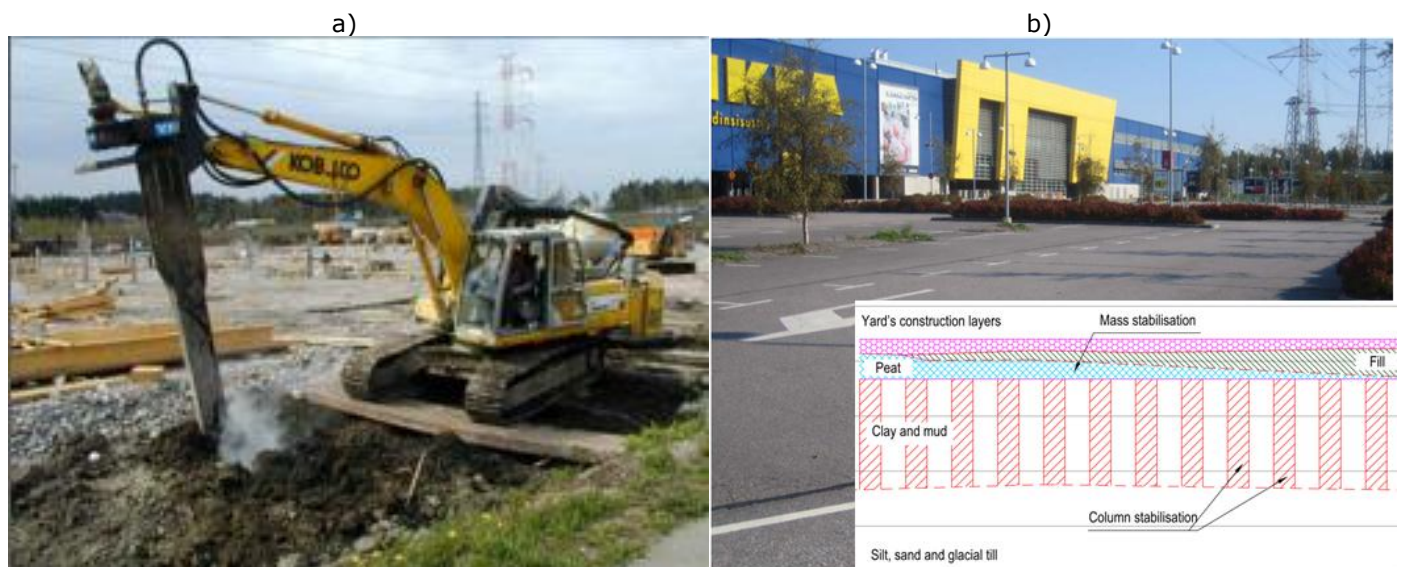
Massastabilointia käytetään laajojen alueiden pohjanvahvistusmenetelmänä. Raskaasti liikennöidyillä alueilla voi esiintyä suuriakin liikennekuormia. Massastabiloinnin käyttökohteita teollisuuden ja kaupan alueilla ovat mm.:

- pysäköintialueet
- piha-alueet
- kenttäalueet
- varastokentät
- täytöt

Laajoilla kaupan ja teollisuuden kenttäalueilla massastabilointia käytetään painumia rajoittavana ja tasaavana pohjanvahvistuksena. Talonrakennuskohteissa massastabiloinnin avulla voidaan tasata pihan painumaeroja. Kuvassa 4.17 on esitetty esimerkki massa- ja pilaristabiloinnin yhdistelmä rakenteesta suuren kaupan piha-alueella.

Massastabiloitua savea voidaan käyttää myös rakennusten vierus- ja alustäytöissä. Käyttö edellyttää riittävää ruutasuojausta.

Massastabiloitua materiaalia on mahdollista käyttää pengertäytössä ja päällysrakenteen alaosassa, jolloin materiaalilla on oltava riittävä kuormitus- ja routakestävyys.



Kuva 4.17 Massa- ja pilaristabiloinnin yhdistelmä rakenne kauppakeskuksen piha-alueella: a) massastabilointityö käynnissä ja b) valmis piha-alue sekä massa- ja pilaristabiloinnin yhdistelmä rakenne (Koivisto et al. 2004).

5. ALUERAKENTAMINEN

Massastabilointi on erinomainen menetelmä pehmeäpohjaisten alueiden saamiseksi rakennuskelpoisiksi. Suositeltava toimintatapa on esirakentaminen, jossa ennen alueen muuta rakentamista massastabiloidaan ja tarvittaessa esikuormitetaan rakennettavan alueen pehmeäpohjaiset alueet, jotka eivät saa painua. Esirakennetun lujittuneen pohjan päälle on helppo rakentaa kadut, putkijohdot, piha-alueet jne. Raskaammat rakennukset paalutetaan massastabiloinnin läpi. Esirakentamisella säästetään kustannuksia huomattavasti verrattuna siihen, että esimerkiksi katujen ja tonttien pehmeästä pohjasta johtuvat ongelmat hoidettaisiin erikseen. Tällä yhdessä siirtymärakenteiden kanssa varmistetaan se, ettei haitallisia painumaeroja synny erilaisten rakenteiden saumakohtiin.

Massastabilointi mahdollistaa alueen heikkolaatuisten maa-ainesten jalostamisen siten, että ne voidaan hyödyntää alueen sisällä rakennusmateriaalina erilaisissa täytöissä, alemmissa rakennekerroksissa, maisemarakentamisessa, meluvalleissa, yms.

Uusien alueiden suunnittelussa ja rakentamisessa massastabilointimenetelmää voidaan hyödyntää monipuolisesti. Pehmeiden alueiden esirakentamisen (pohjanvaihvistamisen) lisäksi alueella tai sen ulkopuolelta kaivettavat maa-ainekset voidaan massastabiloida ja hyödyntää alueella tarvittavassa maarakentamisessa esim. alueelliset täytöt, meluvallit, viheralueet, yms. Tämä on sekä ekotehokasta että taloudellista. Pehmeiden massojen hyödyntäminen stabiloituna vähentää heikkolaatuisten maa-ainesten poiskuljetusta ja uusien neitseellisten materiaalien käyttötarvetta. Tämä kaikki vähentää merkittävästi kuljetustarvetta julkisella katu- ja tieverkolla sekä maankaatopaikkojen tarvetta.

Uusien alueiden suunnittelu ja rakentaminen ekotehokkaalla tavalla heikkolaatuisia kaivumaita tehokkaasti hyödyntämällä edellyttää että:

- Alueen kaavoitus- tai esisuunniteluvaiheessa käynnistetään esirakentamisen ja massojen hyödyntämisen suunnittelu. Suunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan pohjatutkimuksia ja laboratoriotutkimuksia pehmeäpohjaisilla alueilla.
- Esirakentamisen ja massojen hyödyntämisen suunnittelu ja toteutus nivelletään ja aikataulutetaan koko hankkeen toteutukseen siten, että toimenpiteet tehdään ajoissa ja tarvittavat tilat sekä luvitus massojen varastointiin ja käsittelyyn erilaisilla sideaineseoksilla ovat olemassa.

Kuvassa 5.1 on esitetty laaja esirakennuskohde, jossa pehmeä pohjamaa syvästabiloitiin kantavaksi pohjaksi teollisuuden piha-alueta ja liikenneyhteyksiä varten (kuvassa a ennen massastabilointia ja kuvassa b massastabiloinnin jälkeen).

Taulukossa 5.1 on esitetty massastabiloinnin käyttömahdollisuuksia aluerakentamiskohteessa.

a)



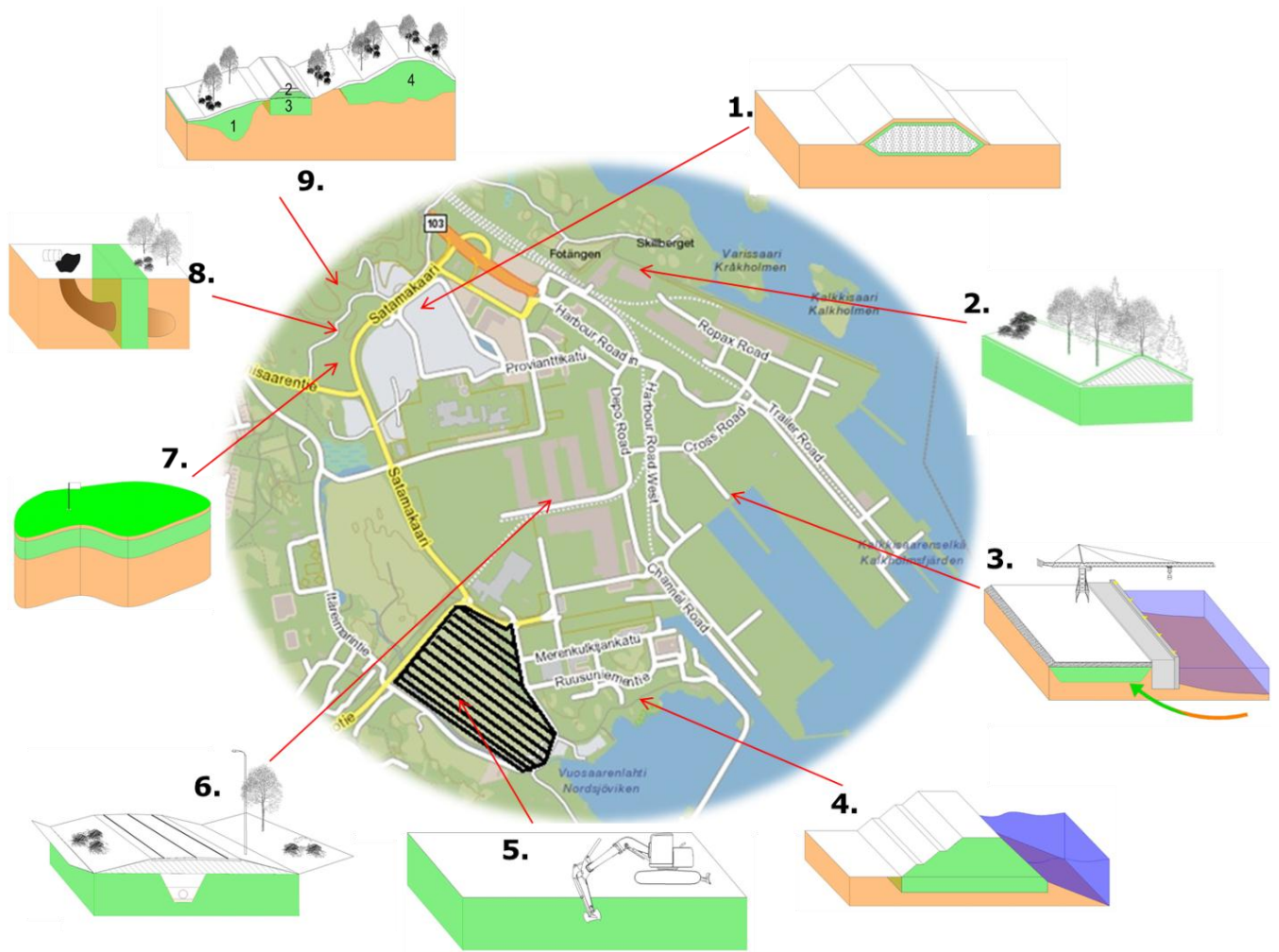
b)



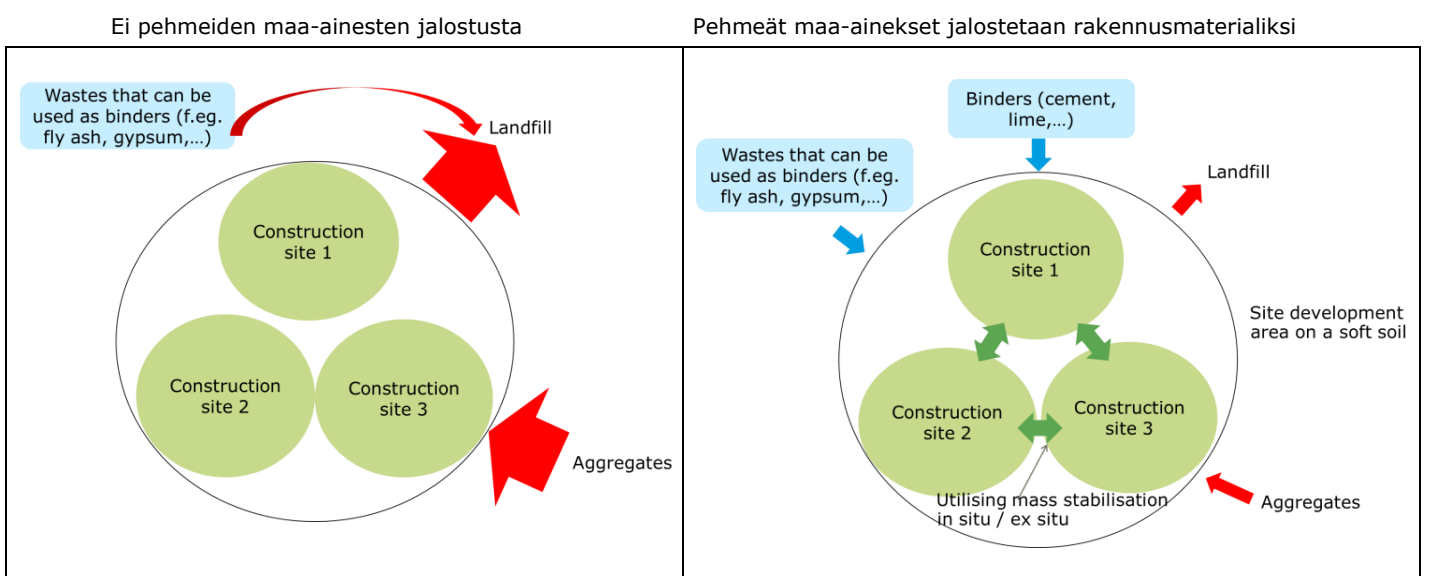
Kuva 5.1 Aluerakentamiskohde, jossa suoalue on muutettu kantavaksi ja rakentamiskelpoiseksi massastabilointia käyttäen -a) ennen massastabilointia ja b) massastabiloinnin jälkeen (Hautalahti et al. 2007).

Taulukko 5.1 Massastabiloinnin mahdollisia käyttökohteita aluerakentamishankkeessa.

	Pohjanvahvistus	Rakennus- / täyttö- materiaali	Suojarakenne (tärinä, melu, pohjavesi, tulva, ...)
Tontit	+	+	-
Kadut	+	+	+
Kunnallistekniikka	+	+	-
Tiet	+	+	+
Radat, ratapihat	+	-	+
Tulvasuojelu	+	+	+
Meluvallit	+	+	+
Satamat ja vesiväylät	+	+	+
Kaatopaikat ja jätehuoltoalueet	+	-	+
PIMA-kunnostus	-	+	+
Maisema- ja viherrakentaminen	+	+	-



Kuva 5.2 Massastabiloinnin mahdollisia sovellutuksia isossa aluerakentamiskohteessa: 1. tiivisterakenteet, 2. meluvallit, 3. satamarakenteet, 4. tulvavallit, 5. esirakentaminen, 6. tiet, kadut ja kunnallistekniikka, 7. pilaantuneiden maiden hyödyntäminen, 8. ympäristönsuojarakenteet ja 9. maisemarakentaminen.



Kuva 5.3 Heikkolaatuisten (pehmeiden) ylijäämämaiden hyödyntäminen aluerakennuskohteessa: a) "Perinteinen" menettely, jossa heikkolaatuiset kaivumaat ajetaan maankaatopaikalle ja b) optimoitu menettely, jossa heikkolaatuiset maa-ainekset jalostetaan maanrakennusmaterialiksi.

Taulukko 5.2. Kaavasuunnittelun ja esirakentamisen suunnittelun vaiheet (muokattu julkaisun Nauska & Havukainen 1998 taulukosta).



6. MASSASTABILOINTIPROJEKTIN VAIHEET

6.1 PROSESSI

Massastabilointiprojektin toteuksen päävaiheet ja toteutukseen vaadittava aika voidaan jaotella kuvan 6.1 mukaisesti. Monet projektin vaiheet etenevät rinnan ja ovat vuorovaikutussuhteessa toisiinsa.

Projektin alkuvaiheessa kerätään lähtötietoja, joita ovat esimerkiksi olemassa olevat maaperäkartat, aikaisemmin tehdyt kairaukset, näytetutkimukset, yms. Lisäksi kootaan tietoa mahdollisesti samalla alueella aiemmin tehdyistä syvästabiloinneista ja niiden kokemuksista. Olemassa olevien tietojen ja alustavien suunnitelmien perusteella ohjelmoidaan täydentävät pohjatutkimukset (kairaukset, näytteenotot, pohjavesimittaukset, maalaboratoriotutkimukset, yms.) ja ohjelmoidaan stabiloitavuuskokeet. Mikäli samalta alueelta on riittävästi aiempaa syvästabilointikokemusta ja kyseessä ei ole erityisen vaativa kohde, uudet stabiloitavuuskokeet eivät ole aina välttämättömiä. Stabiloitavuuskokeita ohjelmoitaessa huomioidaan mahdolliset aikaisemmat kokemukset ko. alueelta tai vastaavista maaperäolosuhteista.

Kohteen koosta, kohteen vaativuudesta, suunnittelu- / toteutusaikataulusta, yms. seikoista riippuen stabiloitavuuskokeet tehdään yhdessä tai useammassa vaiheessa. Stabiloitavuuskokeita varten otetaan tarvittavat näytteet yleensä yhdellä kerralla, vaikka stabiloitavuuskokeet laboratoriossa tehtäisiinkin useammassa vaiheessa. Mikäli stabiloitavuuskokeita tehdään useammassa vaiheessa, on ensimmäisessä vaiheessa yleensä tavoitteena selvittää mitkä sideaineet ovat ko. kohteessa toimivia ja toisessa vaiheessa keskitytään enemmän sideainekomponenttien suhteiden ja sideainemäärän optimointiin.

Massastabiloinnin suunnittelun lähtötiedoiksi selvitetään tutkimuksilla:

- maakerrosrajat
- maakerrosten indeksiominaisuudet, aina vesipitoisuus, humuspitoisuus (massastabilointimenetelmälle on ominaista, että sitä usein käytetään humuspitoisissa maalajeissa, jolloin humuksen määrä ja sen vaihtelut vaikuttavat huomattavasti stabiloituvuuteen ja sideaineen tarpeeseen) ja harkinnan mukaisessa määrin hienousluku, rakeisuus sekä tarvittaessa pH, SO₄ tai Cl
- maakerrosten lujuusominaisuudet, yleensä siipikairauksin (toisinaan laboratoriokokeilla)
- maakerrosten painumaominaisuudet, yleensä ödometrikokein

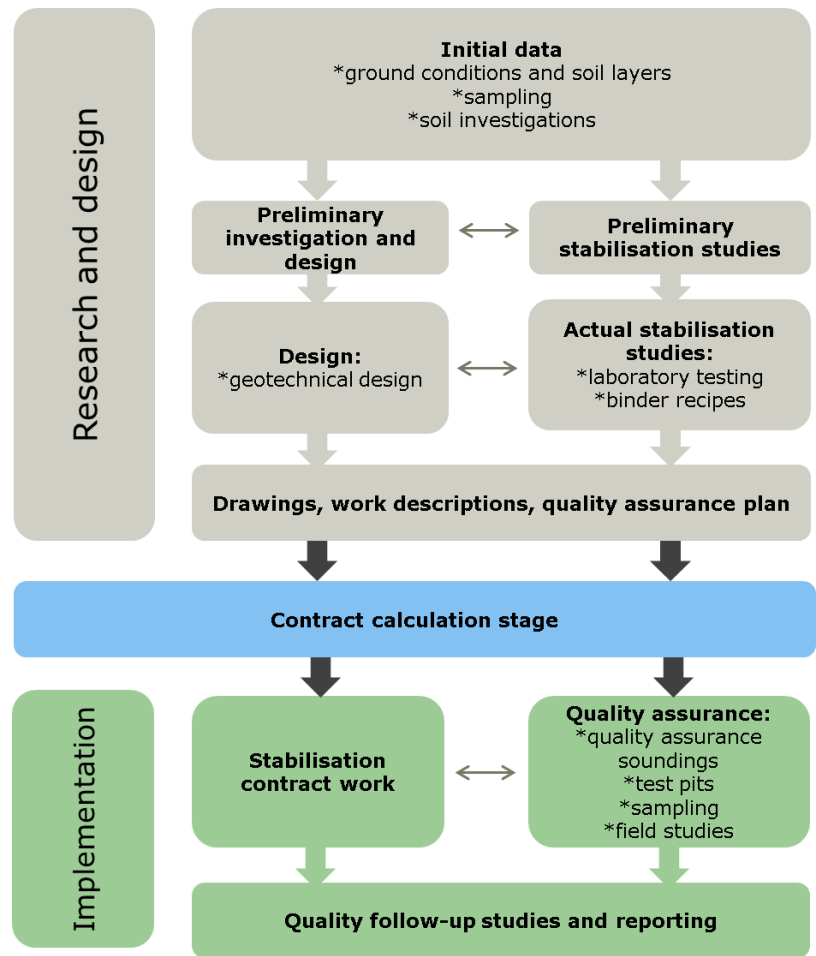
Maakerrosten stabiloituvuus selvitetään:

- stabiloituvuuskokein laboratoriossa
- koestabiloinnilla maastossa
- saman geologisen muodostuman aikaisempien stabilointikokemusten perusteella

Geotekninen mitoitus ja suunnittelu tehdään vaiheittain suunnitelmien tarkentuessa vaihe vaiheelta. Stabiloitavuuskokeiden rytmittyminen suunnitteluun vaihtelee. Mikäli kyseessä on kohde, jossa aikaisemman kokemuksen perusteella tiedetään tai voidaan perustellusti arvioida massastabiloinnin lujittuvan suunniteltuun lujuuteen, voidaan suunnittelu tehdä käyttäen mielekästä lujuutta massastabiloinnille ja stabiloitavuuskokeet voivat edetä suunnittelun perässä tai stabiloitavuuskokeet voidaan jättää jopa urakoitsijan tehtäväksi, jolloin urakoitsija määrittää urakkalaskentavaiheessa käytettävän sideainereseptin (laatu ja määrä). Tämä menettely vaatii runsaasti aikaa urakkalaskentavaiheessa. Normaali käytäntö on se, että stabiloitavuuskokeet ajoitetaan niin, että tulokset ovat käytettävissä suunnittelun aikana.

Yksinkertaisimmassa tapauksessa suunnittelu ja stabiloituvuustutkimukset tehdään yhdellä kerralla. Kuvassa 6.2 on esitetty miten massastabilointiprojekti etenee työvaiheittain ajan suhteen. Kuvassa 1.1 on esitetty projektin eri osapuolet ja taulukossa 1.1 osapuolten tehtävät.

Kuva 6.1
Massastabilointiprojektin
päävaiheet. Joskus hanke voi
edetä esisuunnittelusta suoraan
toteutusvaiheeseen, mikäli
kohteesta/alueelta aikaisempia
dokumentoituja
syvästabilointikokemuksia.



Kuva 6.2 Massastabilointiprojektin tehtävien sijoittuminen aika-akselilla.

6.2 LÄHTÖTIEDOT JA POHJATUTKIMUKSET

Massastabilointihankkeen suunnittelussa ensimmäinen vaihe on olemassaolevien pohjatutkimustietojen ja kohteen tietojen kokoaminen. Näiden tietojen pohjalta tehdään ensimmäinen teknistaloudellinen arviointi massastabiloinnin soveltuvuudesta ko. kohteeseen. Mikäli massastabilointi havaitaan käytettävien tietojen perusteella ko. kohteeseen soveltuvalta menetelmältä, ohjelmoidaan täydentävät tutkimukset ottaen huomioon massastabiloinnin erityispiirteet. Ohjelmoitavilla tutkimuksilla selvitetään:

- pehmeikön eri kerrosten paksuudet ja pohjaveden pinnan korkeus ja sen vaihtelut
- eri kerrosten geotekniset ominaisuudet ja pilaantuneiden maiden osalta ympäristöominaisuudet
- näiden lisäksi otetaan näytteet stabiloituvuustutkimuksia varten

Lähtötilanneselvityksessä selvitetään myös:

- käytössä olevat rakenteet (mm. maanalaiset putket, kaapelit, maanpäälliset ilmajohdot, ...)
- hylätyt, hylättävät ja/tai purettavat rakenteet (aikaisemmat pohjarakenteet esim. paalut, hirsitelat, ...)
- toteutuksen edellyttämät työalueet ja tieyhteydet kalustolle ja sideaineille
- sideaineiden saatavuus

Pohjatutkimuksilla tarkoitetaan maa- ja kallioperän tutkimuksia, joilla selvitetään kyseessä olevan alueen pohjamaan rakennetta ja ominaisuuksia. Pohjatutkimuksia tarvitaan geoteknistä suunnittelua varten, ja niiden laajuus määräytyy rakennuspohjan laadun, kuormitusten sekä tehtävien rakenteiden asettamien vaatimusten perusteella. Pohjatutkimusten yhteydessä tehdään mm. silmävarainen maastokatselmus, koekuoppa(-kuoppia) sekä erilaisia kairauksia. Silmävaraisten havaintojen, geologisten karttojen ja ilmakuvienv yms. avulla pyritään tekemään päätelmiä alueen maaperämuodostumista ja niiden rakenteesta.

Koekuoppa on luotettavin tapa tutkia lähellä maanpintaa olevia kerroksia. Koekuopasta tehdään havaintoja erilaisista maakerroksista ja niiden maalajeista, maan kivisyydestä ja lohkareisuudesta, maan kaivuominaisuuksista, kuopan seinämien pysyvyydestä, pohjaveden korkeustasosta sekä kalliopinnasta. Kuopasta voidaan ottaa myös näytteitä laboratoriotutkimuksia varten.

Kairauksissa pyritään ensisijaisesti havaitsemaan kairan kärkikappaleeseen kohdistuvaa kairausvastusta. Vastuksen vaihteluista voidaan päätellä kairauksella läpäistävien maakerrosten laatua, tiivyyttä, lujuutta ja kantavuutta. Kairausten yhteydessä tehdään usein myös näytteenottoa.

6.3 ESITUTKIMUKSET JA –SUUNNITTELU

Esitutkimuksessa selvitetään massastabiloinnin tekniset mahdollisuudet sekä taloudellisuus ja kilpailukyky alustaviin stabiloitavuuskokeisiin tukeutuen. Alustavilla stabiloituvuustutkimuksilla testataan pehmeiden maakerrosten stabiloituvuus siten, että tarvittavien sideaineiden laadut ja määrät voidaan arvioida alustavasti (1. vaihe).

Näitä tietoja käytetään teknisten ratkaisuvaihtoehtojen esisuunnitteluun ja alustavan kustannusarvion tekemiseen. Esitutkimukset palvelevat päätöksen tekoa massastabilointimenetelmän valitsemiseksi. Esitutkimusten pohjalta tehdään myös varsinaisten stabiloituvuustutkimusten ohjelma (2. vaihe) sekä valitaan rakennetyypit ja/tai -sovellutukset geoteknistä suunnittelua varten.

Mikäli suunnittelukohte sijaitsee ”vieraalla” alueella, jonka maaperän stabiloitavuudesta ei ole ennakkotietoa ja sitä ei voida perustellusti arvioida käytettävissä olevien tietojen perusteella tai epäillään maaperässä olevan lujittumista haittaavaan pilaantuneisuutta, tarvitaan käytännössä alustavat stabiloitavuuskoetulokset ennen kuin massastabiloinnin suunnittelua kannattaa aloittaa. Useimmissa kohteissa pohjamaa on lujitettavissa massastabiloinnilla, mutta on olemassa kohteita, joissa pohjamaa tai jokin sen kriittinen kerros ei ole stabiloitavissa taloudellisesti mielekkäällä sideainemäärällä ja ko. kohteita ei kannata suunnitella massastabilointitekniikkaan perustuen.

6.4 SUUNNITTELU JA STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET

Stabiloituvuustutkimuksilla (2. vaihe) selvitetään potentiaalisten sideaineiden, niiden seosuhteiden ja määrien vaikutukset mm:

- saavutettavaan puristuslujuuteen
- tarvittavaan lujittumisaikaan
- lujittumisvaiheen kokoonpuristumaan
- lujittumisen herkkyyteen stabiloitavan materiaalin ominaisuuksien vaihdellessa, esim. vesipitoisuuden vaihtelun vaikutus (tärkeää mm. altaassa välivarastoitavien ruoppausmassojen stabiloinnissa)

Massastabiloinnissa usein stabiloidaan erityyppisiä päällekkäisiä maakerroksia keskenään. Esimerkiksi savikerroksen päällä oleva turve sekoitetaan alapuolisen savi-, siltti- tai hiekkakerroksen tai kerroksen yläosan kanssa taikka yläpuolisen hiekkakerroksen kanssa, jolloin turpeen sekaan saadaan mineraalista maa-ainesta parantamaan turpeen stabiloitavuutta. Näin ollen massastabilointia varten tehtävissä stabiloitavuuskokeissa on usein mielekästä sekoittaa päällekkäisiä maakerroksia stabiloitavuuskokeiden runkoaineeksi. Turpeen tai liejun stabiloitavuutta on myös mahdollista tehostaa sekoittamalla stabiloitavan kerroksen pinnalle levitetty hiekka tai kivituhka stabiloitavaan maakerrokseen.

Lisäksi voidaan tutkia mm. lujittumislämpötilan, esikuormituksen suuruuden, seosrunkoaineen määrän, yms. vaikutuksia saavutettavaan lujuuteen. Erityisen suurissa tai vaativissa kohteissa tai kohteissa, joihin massastabilointilaitteisto on edullisesti mobilisoitavissa, on mahdollista tehdä myös koemassastabilointi, jolla voidaan testata pohjamaan stabiloitavuutta ja jonka perusteella voidaan arvioida tarvittava sideainemäärä.

Geotekninen suunnittelu sisältää geotekniset laskelmat (mm. painuma- ja stabiliteettilaskelmat), rakenteiden suunnittelun, piirustukset, määrälaskennan, työselityksen, laadunvarmistussuunnitelman, Massastabiloinnin suunnitteluun saattaa kuulua myös sideainelogistiikan, sideaineen välivarastoinnin ja sekoituksen työsuunnittelu.

Geoteknisessä suunnittelussa määräytyy myös stabiloinnille asetettava tavoitelujuus tai tavoitelujuus määräytyy stabiloitavuuskokeiden tuloksista teknistaloudellisin perustein. Massastabiloinnin leikkauslujuustavoite vaihtelee yleensä välillä 30...70 kPa, ollen harvemmin yli 100 kPa.

Massastabilointikohteen työselityksessä määritetään mm. työohjeet, toimintatavat, stabiloidun materiaalin tekniset vaatimukset ja laadunvarmistussuunnitelma kunkin kohteen erityisolosuhteet huomioiden (mm. stabiloitava runkomateriaali ja sen laatuvahtelu, sideaineet, lopullinen, käytettävissä oleva lujittumisaika, vuodenaika jne.). Tilaajasta, kohteesta ja kohteen vaativuudesta riippuen massastabilointikohteen työselitys voi olla kokonaisuudessaan tiettyyn kohteeseen "räätälöity" tai se voi pohjautua pitkälti yleiseen työselitykseen ja laatuvaatimuksiin, jota tarkennetaan tarvittavin osin.

Yksityiskohtaisen ohjeistuksen avulla pyritään minimoimaan rakennusaikaisten riskien toteutuminen ja varmistamaan laadukas ja suunnitelmien mukainen työn toteutus (kuten esimerkiksi reaktiivisen sideaineen oikeaoppinen varastointi).

Laadunvarmistussuunnitelmassa määritellään toimenpiteet sekä työnaikaiseen seurantaan ja laadunohjaukseen. Tämän lisäksi suunnitelma sisältää lopullisen stabiloidun kerroksen valvontakairaukset tyyppillisesti 1...3 kuukautta rakentamisen jälkeen sekä mahdolliset muut seuranmittaukset.

6.5 URAKKALASKENTA

Kun piirustukset ja työselitykset yms. asiakirjat ovat valmiit (tai riittävän valmiit), käynnistetään urakkakilpailu. Mikäli massastabiloinnin toteutuksesta sovitaan neuvottelumenettelyllä tai massastabilointia käytetään osana suurempaa urakkaa urakoitsijan omana vaihtoehtoisena rakenteena, ei urakkakilpailua välttämättä tarvita. Massastabilointityötä voidaan tehdä myös puitesopimustyönä, jolloin sopimuskaudella puitesopimuksen mukaisista kohteista ei järjestetä urakkakilpailua.

Tässä vaiheessa tapahtuu massastabilointiurakan hinnoittelu ja laaditaan urakkasopimus. Viimeistään tässä vaiheessa myös määräytyy se kuka vastaa pohjamaan stabiloituvuudesta valitulla sideaineella – käytännössä vastuu sideainereseptin toimivuudesta on joko rakennuttajalla tai urakoitsijalla sen mukaan kumpi on määrittänyt ja hinnoitellut käytettävän sideainereseptin.

6.6 STABILOINTITYÖ

Massastabilointi toteutetaan suunnitelmien mukaisesti tarvittaessa suunnitelmaa päivittäen ja/tai täydentäen toteutuksen aikana. Massastabilointityölle on tehtävä kohdekohtainen työmaasuunnitelma, jossa esitetään miten urakoitsija kohteen massastabiloinnin käytännössä toteuttaa ja miten hoitaa urakoitsijan vastuulla olevan laadunvalvonnan ja laadun osoittamisen. Työmaasuunnitelma perustuu työselitykseen, mutta urakoitsija voi täydentää työselitystä esim. urakoitsijan oman laadunvalvonnan osalta.

Massastabiloinnin kanssa samanaikaisesti tapahtuu urakoitsijan oma laadunvalvonta. Käytännössä se tarkoittaa mm. seuraavien seikkojen valvontaa ja seuraamista: stabiloitavien massojen laadun (esim. vesipitoisuus), olosuhteet (vastaako suunnitelmissa esitettyä tms.), stabiloitujen massojen laatu/laatuvaihtelu, sideaineen määrä, lujittumisen kehittyminen sekä lopputuloksen homogeenisuus ja puristuslujuus.

Mikäli kohteeseen on palkattu ulkopuolinen laadunvalvoja toteutuksen ajaksi, kuten suositeltavaa on, alkaa ulkopuolisen laadunvalvojan työ (tuotantoa ohjaava laadunvalvonta) ennen urakan alkamista. Mikäli kohteessa ulkopuolinen laadunvalvoja tekee laatua toteavaa laadunvalvontaa eli stabiloinnin jälkeen tehtävät laadunvalvontakairaukset tai näytteiden puristuskokeet, alkaa ulkopuolisen laadunvalvojan työ vasta viikkoja...kuukausia stabiloinnin aloittamisen jälkeen (jolloin laadunvalvoja ei tee laatua ohjaavaa työtä).

Suurissa, erityisen vaativissa kohteissa tai "vierasta" materiaalia massastabiloitaessa, suositellaan työ aloitettavan koestabiloinnilla. Koestabiloinnilla testataan työn teknistä toteutusta, lopputuloksen laatua, työsaavutusta sekä optimoidaan sideainereseptiä. Mikäli halutaan välttää laitteiston mobilisointi pelkkää koestabilointia varten, voidaan stabilointiurakka aloittaa koeluontoisella aloituksella, jossa työn aluksi tehdään koealueita eri sideainemäärillä, eri sekoitustyön määrillä tai muilla variaatiolla ja näiden koealueiden laadunvalvontakoetuloksia odotellessa stabilointityö jatkuu vähintään riittäväksi olemassa olevan tiedon perusteella arvioidulla "korotetulla" sideainemäärällä.

Stabilointityöt ja laadunvalvonta koostuvat seuraavasti tehtävistä:

- rakentaminen
 - töiden järjestely ja merkintätyöt
 - mahdollinen stabiloitavan materiaalin haraus ja homogenisointi
 - varsinainen stabilointityö, laadunvalvonta ja -ohjaus
 - työn aikana tehtävät pikatestaukset (esim. sideainemäärä)
- laadunvalvontatyöt
 - näytteenottotutkimukset
 - pilarikairaus- ja pilarisiipikairaus
 - mahdolliset muut kairaukset tai tutkimukset

6.7 LOPPUTULOKSEEN JA TYÖN ETENEMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA HUOMIOITAVAT ASIAT

Massastabilointityön etenemiseen ja lopputulokseen laatuun vaikuttavat useat erilaiset asiat. Ainakin seuraavat tekijät tulisi ottaa huomioon työtä suunniteltaessa ja tehtäessä:

- stabiloitavien massojen laatu (geotekniset ja kemialliset ominaisuudet)
- massojen laatuvaihtelu
- pehmeän massan seassa olevat kivet, kannot, juuret, hirsipedit, ym. työn hidasteet
- maanpinnan ala- tai yläpuoliset esteet ja rakenteet, säilytettävien rakenteiden suojaus ja varominen
- vuodenaika ja lämpötilat (talviolosuhteet)

- tulvavesi, kuivatus, tms.
- sideaineen saatavuus ja varastointi, sideaineen varastoinnin erityisohjeet
- sideaineen pölyäminen, pölyämisen estäminen ja ympäristön herkkyys sideainepölylle
- työkoneiden ja sideainekuljetusten pääsy työalueelle
- varastoalueet
- ympäristön herkkyys mahdollisille sortumille, siirtymille tai tärinöille
- työaikarajoitukset kellonajan, viikonpäivän tai vuoden ajan suhteen (esim. lintujen pesintä)
- valmiin rakenteen laatuvaatimukset ja niiden saavuttamisen vaativuus
- alkulujittumisen vaikutus työn toteutukseen (kuinka nopeasti stabiloidun kerroksen päälle voi asentaa tiivistyskerroksen tai milloin voi stabilointikoneen ajaa stabiloinnin päälle)
- urakan aikataulu suhteessa työn toteutuksen vaatimaan aikaan

Massastabilointiprojektin vaiheet

- Lähtötietojen kerääminen
- Esitutkimukset ja -suunnittelut ja alustavat stabilointitutkimukset
- Mitoitus ja varsinaiset stabiloituvuustutkimukset
- Suunnittelu, piirustukset, työselitys, laadunvarmistussuunnitelma
- Urakkakilpailu
- Stabilointiurakointi ja laaduntarkkailu
- Laadun jälkiseurantatutkimukset ja raportointi

7. MASSASTABILOINNIN SIDEAINEET

7.1 YLEISTÄ

Tyypillisimmin massastabiloinnissa käytetään sideaineena sementtiä, mutta myös kalkin käyttö on monissa tapauksissa mahdollista (kalkkisementti). Lisäksi edellisten rinnalla voidaan käyttää sideaineseoksen osakomponenttina erilaisia teollisuuden reaktiivisia sivutuotteita kuten kuonia, lentotuhkia ja/tai kipsimäisiä komponentteja. Teollisuuden sivutuotteilla pyritään vaikuttamaan positiivisesti stabiloitujen massojen tekniseen ja/tai ympäristölliseen laatuun sekä muodostuviin sideainekustannuksiin.

Käytettävän sideainetyypin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat saavutettavan lujuustason, materiaalihinnan ja saatavuuden lisäksi mm. lujittumisnopeus, jännitys-muodonmuutosominaisuudet sekä joissakin tapauksissa vaikutukset liukoisuus- ja vedenläpäisyominaisuuksiin. Valinnassa on huomioitava myös käytettävän laitteiston ominaisuudet mm. syötettävien sideaineiden maksimimäärän ja sideaineen osakomponenttien lukumäärän suhteen. Lisäksi on huomioitava syötetäänkö sideaine kuivana vai onko mahdollista käyttää kostutettua sideainetta (esim. kasavarastoitu tuhka).

7.2 SEMENTIT

Sementti on massastabiloinnissa yleisimmin käytetty sideainetyyppi. Sementtejä käyttäen on useimmiten saavutettavissa muita sideainetyyppejä parempi alkulujittuminen, mikä on monissa tapauksissa etu työn totetuksen kannalta. Pitkäaikaislujuuttamisen osuus on puolestaan yleensä muita sideainevaihtioehtoja pienempi. Sementeille tyypillinen kova, mutta suhteellisen hauras rakenne ei muodostu ongelmaksi massastabiloinnin yhteydessä, kun lopputilanteen rakenne on paksu laattamainen ja yhtenäinen massiivikerros.

Sementeillä kalsiumionien liikkuminen (diffuntoituminen) runkoaineessa on vähäistä, joten pelkän sementin sekoittumisessa runkoaineeseen mahdollisesti esiintynyt epähomogeenisuus ei juurikaan korjaannu sekoitushetken jälkeen. Tämän takia sementtiä käytettäessä sekoitustyön laatu näkyy lopputuloksessa jonkin verran voimakkaammin kuin kalkkipitoisia sideaineita käytettäessä.

Massastabiloinnissa käytettyjä sementtituotteita ovat standardin EN 197-1 mukaisesti: Plussementti (CEM II/B-M (S-LL*) 42,5 N), Rapidsementti (CEM II/A-LL 42,5 R), Pikasementti (CEM I 52,5 R) ja SR-sementti (CEM I 42,5 N-SR3). Sulfaattipitoisen maaperän stabilointiin soveltuu SR-sementti, joka on sulfaatinkestävä sementtilaatu.

7.3 KALKKITUOTTEET

Massastabiloinnissa käytetään lähinnä poltettua (CaO), joskus myös sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂). Käytännössä lähes aina kalkkituotteita käytetään massastabiloinnin yhteydessä muiden sideainekomponenttien, useimmiten sementtien, kanssa seostettuna.

Poltettu kalkki on hyvin reaktiivinen sideaine. Kalkki sitoo erittäin tehokkaasti vettä ja reaktiossa muodostuu lämpöä. Muodostuva reaktiolämpö kiihdyttää myöhempiä lujittavia reaktioita. Rakenteesta tulee kalkkia sideaineena käytettäessä karkeampi ja sen vedenläpäisevyys saattaa kasvaa. Kalkkia käytettäessä alkulujittumisvaihe on suhteellisen hidas, mutta toisaalta rakenteessa tapahtuu huomattavissa määrin pitkäaikaisreaktioita. Kalkki onkin hitaasti stabiloituva sideaine, jonka putsolaaniset reaktiot voivat jatkua vielä vuosiakin stabilointityön jälkeen. Kalkin kyky diffuntoitua ympäröivään saveen tasoittaa mekaanisen sekoittamisen epähomogeenisuuksia ja parantaa sitä kautta lopputuloksen laatua.

7.4 MUUT SIDEAINEKOMPONENTIT

Muita tyypillisesti massastabilointityössä hyödynnettäviä sivutuotesideainekomponentteja ovat erilaiset kuonat, lentotuhkat sekä kipsimäiset materiaalit. Useimmiten näitä materiaaleja käytetään kaupallisten sideainekomponenttien rinnalla tarkoituksena vaikuttaa positiivisesti saavutettaviin teknisiin ja/tai

ympäristöllisiin ominaisuuksiin sekä sideainekustannuksiin. Joissain erikoistapauksissa massojen stabilointi/kiinteyttäminen on mahdollista toteuttaa jopa pelkästään mainittuja materiaaliratkaisuja sideaineena käyttäen.

Ns. sivutuotesideainekomponentteja käytettäessä kokonaissideainemäärä useimmiten kasvaa jonkin verran, mutta toisaalta sideainekustannuksissa on monissa tilanteissa saavutettavissa merkittäviäkin hyötyjä. Edellinen parantaa massastabilointitekniikan kilpailukykyä. Toisaalta kokonaissideainemäärän kasvattaminen voi hieman hidastaa varsinaisen massastabilointityön toteutusta.

Tekijöitä, jotka on syytä huomioida käytettäessä kuonia, tuhkia tai kipsimäisiä sideainekomponentteja ovat mm.:

- materiaalien saatavuus ja laatu/laatuvaihtelu
- välivarastointitarpeet
- materiaalien käsittely ja siirtotekniikka työmaalla
- kahden tai useamman sideainekomponentin syöttömahdollisuus, tarvittaessa sideainekomponenttien sekoittaminen keskenään jo ennen varsinaista stabilointityötä
- sideainekomponenttien tai etukäteen sekoitetun sideaineseoksen säilyvyys
- massastabilointilaitteistolla voidaan syöttää vain kuivia hienorakeisia osakomponentteja, kosteat sideainekomponentit täytyy levittää stabiloitavan kerroksen pintaa erikseen ja tarvittaessa esisekoittaa kaivinkoneella
- sivutuotekomponenttien sideaineensyöttölaitteistoa mahdollisesti kuluttava vaikutus
- sivutuotemateriaalien käyttöön liittyvät ilmoitus-/lupa-asiat

Vaihtoehtoratkaisujen käyttömahdollisuudet, saavutettavat ominaisuudet sekä lopputuloksen laatuun vaikuttavat tekijät on selvitettävä etukäteen laboratoriossa.

Yhdistelemällä erilaisia sidekomponentteja pyritään saamaan aikaan "räätälöityjä", tiettyyn kohteeseen mahdollisimman hyvin soveltuva ominaisuuksia. Sideaineyhdistelmien käytöllä voidaan vaikuttaa mm. lujuuden kehittymisen nopeuteen (aina nopea lujittuminen ei ole toivottavaa), märkien massojen kiinteytymiseen (kuivattavat, vettä sitovat, komponentit), rakenteen lopulliseen lujuustasoon, muodonmuutosominaisuuksiin, sideaineen epätasaista sekoittumista korjaavaan vaikutukseen, haitallisten komponenttien sitoutumiseen, vedenläpäisevyyteen ja luonnollisesti myös sideainekustannuksiin. Useimmiten sideaineyhdistelmissä on mukana yhtenä komponenttina, reaktioiden käynnistäjänä/heräteaineena, sementtiä tai kalkkia.

7.5 STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET

Stabiloituvuustutkimusten tarkoituksena on löytää teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyisimmät vaihtoehdot, joista voidaan valita toteutettavaan kohteeseen parhaiten sopiva vaihtoehto. Joissakin tapauksissa (esim. pima-massat) myös ympäristökelpoisuusominaisuudet vaikuttavat valintoihin. Tutkimusten tavoitteita ovat lopullisen tuotteen laatuominaisuuksien varmistaminen, soveltuvimman sideaineen ja sideainemäärän valinta sekä stabiloinnin lopputulokseen vaikuttavien tekijöiden ja edellisten vaikutusten suuruusluokan määrittely.

Stabiloinin yhteydessä saavutettavien materiaaliominaisuuksien määrittely tehdään sillä tarkkuudella, että geoteknisten laskelmien (kuten stabiliteetti ja painumat) ja suunnitelmien luotettava toteuttaminen on mahdollista. Suunnittelun osalta on tärkeää tuntea mm. käsiteltävän alueen materiaalivaihtelut ja niiden vaikutus stabilointitulokseen sekä se kuinka nopeasti lujuus kehittyy.

Stabiloituvuustestaus toteutetaan usein vaiheistettuna eli ensin "haarukoidaan" karkealla tasolla erityyppisten sideaineratkaisujen toimivuutta, saavutettavia ominaisuuksia sekä erityisesti keskinäisiä eroja, ja saatujen tulosten pohjalta valitaan tarkempiin tutkimuksiin vain kiinnostavimmat vaihtoehdot. Tarkemmissa tutkimuksissa optimoidaan mm. sideaineseosten seossuhdetta ja sideainemäärää sekä selvitetään tarkemmin kohteen stabiloituvuudessa esiintyviä vaihteluja ja lopputuloksen kannalta kriittisiä tekijöitä (hankalat

alueet/kerrokset, on­gelma­komponentit yms.) ja mah­dol­li­suuksia vaikuttaa edellisten osalta stabiloinnin lopputulokseen parantavasti/tasoittavasti (esim. lisärunkoaineen käyttö, sideainetyypin vaihto paikallisesti jne.). Myös eri sideainevaihtoehtojen väliset erot aikalujittumiskäyttäytymisessä, lujittumisen aikaisten lämpötilaolosuhteiden vaikutusten testaaminen sekä joissain tilanteissa vaadittavien tarkentavien tutkimusmenetelmien kuten kolmiak­siaaliko­keiden ottaminen mukaan tutkimuksiin kuuluvat tyypillisesti tähän tutkimusvaiheeseen.

7.6 SIDEAINERESEPTOINTI

Sideaine muodostaa tyypillisesti noin 50...70 % massastabilointikustannuksista ja näin ollen optimaalisen sideainetyypin ja -määrän käyttö vaikuttaa oleellisesti kohteen toteutuskustannuksiin. On tärkeää tunnistaa ne tarpeet ja vaatimukset, joita kohde asettaa käytettävälle sideaineelle ja toisaalta ylimeroitusta tulee välttää. Esimerkiksi massojen riittävä alkulujittuminen on osassa tapauksista välttämätöntä kohteen sujuvan toteutuksen ja alueen mahdollisimman nopean käyttöönoton kannalta, mutta toisaalta osalla kohteista nopeasta alkulujittumisesta on jopa haittaa (esim. tilanteessa, jossa kiinteytettävät massat siirretään ja tiivistetään lopulliseen hyödyntämiskohteeseen vasta alkulujittumisvaiheen jälkeen). Osalla kohteista lujuuden kehittymisnopeudella ei taas ole juurikaan käytännön merkitystä, jolloin nopeaan alkulujittumiseen ei ole tarvetta panostaa. Edellisten huomioiminen sideainevalinnoissa on tärkeää, sillä rakennusprojekteissa aikataulu on yksi merkittävimmistä päätöksentekoon vaikuttavista asioista, ja se voidaan näin ottaa huomioon jo sideainereseptointia tehtäessä.

Rakentamisen lopputuloksen on oltava tasalaatuinen ja toteutuvan kohteen laatutaso määräytyykin käytännössä heikoimman kohdan mukaan. Mikäli koko kohde mitoitetaan hankalimman runkomateriaalin mukaisesti, päädytään merkittävällä osalla aluetta helposti huomattavaankin ylimeroitukseen, jolloin kustannukset kohoavat tarpeettomasti. Toisaalta taas keskimääräisen maaperän laadun mukaan tehty mitoitus voi johtaa siihen että kohteelle jää heikommin lujittuneita kohtia hankalimpiin maakerroksiin tai maa-aineksiin. Edellisen vuoksi on tärkeää pystyä määrittelemään lujittumisen kannalta kriittiset tekijät ja kohteen stabilointia ajatellen hankalimmat alueet tai kerrokset (stabiloitavien massojen laatu­vaihtelu), jolloin suunnittelussa ja rakentamisessa pystytään tarvittaessa optimoimaan reseptointi aluekohtaisesti. Edellä mainitulla tavalla toimien välttämällä ylimeroitukselta, mutta samalla varmistetaan laatuvaatimusten täyttyminen koko kohteella.

Sideainereseptoinnissa pyritään huomioimaan sekä tekninen että taloudellinen näkökulma, mikä tarkoittaa paitsi sideainelaadun ja -määrän optimointia myös erilaisten sideainevaihtoehtojen käyttömahdollisuuksien arviointia. Monissa tapauksissa on mahdollista pienentää sideainekustannuksia korvaamalla osa kaupallisista sideainekomponenteista esim. teollisuuden sivutuotemateriaaleilla.

Sideainereseptoinnin merkitys korostuu tilanteissa, joissa olosuhteet stabilointiympäristössä poikkeavat normaalista. Esimerkiksi erittäin kylmien tai lämpimien olosuhteiden vaikutuksia stabiloitujen massojen käyttäytymiseen työn aikana, ja lopputuloksen laatuun, kannattaa pyrkiä arvioimaan etukäteen jotta oletettua hitaampi/nopeampi alkulujittuminen ei aiheuta ongelmia työn toteutuksen suhteen. Samoin stabilointityön toteutuksen kannalta normaalia hankalampien kohteiden (esim. erittäin kuivat massat, joiden käsittely helpottuu vettä lisäämällä) yhteydessä on syytä selvittää käytettävän toimintatavan ja työn toteutuksessa mahdollisesti esiintyvien poikkeamien vaikutukset lopputulokseen (=vaihteluvälit, joissa pysyttävä halutun laadun saavuttamiseksi).

Sideaineet stabiloinnissa

- Sideainekustannukset muodostavat merkittävän osan massastabilointiprojektista
- Käytetyin sideaine on sementti ja kalkki tai niiden seos
- Erilaiset kuonat, lentotuhkat ja kipsimäiset materiaalit voivat tulla kohdekohtaisesti kysymykseen
- Sideainevalintaan vaikuttavat mm. lujittumisominaisuudet, jännitys-muodonmuutosominaisuudet, liukoisuus- ja vedenläpäisevyysominaisuudet sekä alkulujittuminen/lujittumisnopeus
- Hyödyntämällä teollisuuden sivutuotteita sideaineena mahdollistetaan suurienkin massamäärien taloudellinen toteutus

7.7 KÄYTETTÄVÄT LABORATORIOTUTKIMUSMENETELMÄT**Käytettävät laboratoriotutkimusmenetelmät**

Stabiloitavan alueen runkomateriaalin laadun ja laatu vaihtelun arvioinnissa (luokittelussa) hyödynnetään tyypillisesti seuraavia laboratorioissa määritettäviä ominaisuuksia:

- vesipitoisuus (uunikuivaus), (%)
- märkätiheys, (kg/m³)
- hehkutushäviö (hehkutusuuni, 800 °C), (%)
- rakeisuus (areometrikoe, tarvittaessa pesuseulonta)
- pH
- SO₄- ja Cl-pitoisuudet

Lisäksi hyödynnetään lähtötietoina tehtyjen kairausten tuloksia.

Lähtötietoina toimivien laboratoriotutkimusten ja kairausten perusteella pyritään alustavasti hahmottamaan stabiloitavien massojen laatu ja laatu vaihtelu kohteella, ja erityisesti haarukoimaan stabiloituvuutta ajatellen hankalimmat alueet ja/tai kerrokset. Varsinaiseen stabiloituvuustestaukseen valitaan runkomateriaalinäytteitä siten, että niiden laatu kattaa mahdollisimman hyvin koko kohteen sekä alueellisesti että luokittelutestauksen perusteella tehdyn arvioinnin perusteella odotettavissa olevien lujittumiserojen suhteen. Tavoitteena on se, että stabiloituvuustestit voidaan luokittelutietoja hyödyntäen kohdentaa varsinaista stabilointia ajatellen mahdollisimman hyvin kokonaisuutta palvelevalla tavalla.

Stabiloituvuustestauksen yhteydessä massojen lujuusominaisuudet määritetään tyypillisimmin 1-akσιαalisina puristuslujuuskokeina, joita täydennetään tarpeen mukaan 3-akσιαali- ja ödometrikokeilla. Ympäristökohteissa tutkimuksia usein täydennetään vedenläpäisevyysmäärityksillä ja liukoisuustesteillä.

Stabiloituvuustestauksen osalta on tärkeää huomioida tutkittavan runkomateriaalin laatu ja toteuttaa lujittumistestaaminen kyseiselle materiaalityypille sopivalla tavalla. Mm. savien, silttien ja ruoppausmassojen osalta tutkimukset toteutetaan ”tyypillisimmin stabiloituvuustestauksessa käytettyä toimintatapaa käyttäen” eli sekoittamalla testattava sideaine runkomateriaaliin, tiivistämällä saatu seos näytesyliintereihin sekä säilyttäen näytesyliinterit kuivumiselta suojattuna ja vakioituissa lämpötilaolosuhteissa lujittumisvaiheen ajan. Kyseisten materiaalityyppien testaamisen yhteydessä ei tavallisesti käytetä lujittumisvaiheen esikuormitusta kuten käytetään turvenäytteillä.

Turvenäytteillä sideaineen sekoittamisen jälkeen näytesyliinterit asetetaan esikuormituspenkkiin, jossa stabiloituun massa kohdistuu pystykuormitus (tavallisesti 18 kPa). Pystykuormituksen vaikutuksesta stabiloitu massa painuu lujittumisvaiheen aikana, erityisesti lujittumisen alkuvaiheessa, suhteellisen voimakkaastikin kokoon. Kokoonpuristumisen vaikutuksesta massa tiivistyy ja samalla siitä poistuu vettä. Esikuormituksen vaikutus saavutettavaan lujuuteen on merkittävä ja näin saadut lujuudet vastaavat saatujen kokemusten perusteella huomattavasti paremmin todellisissa työmaaolosuhteissa saatavia tuloksia kuin ilman esikuormituksen käyttämistä saatavat. Tutkimusten yhteydessä saadaan myös suuntaa-antavaa tietoa stabiloitavan turvekerroksen odotettavissa olevan kokoonpuristumisen suuruusluokasta. Testauksessa käytettävän esikuormituksen tasoa varioimalla voidaan tarvittaessa arvioida myös mahdollisuuksia vaikuttaa lujittumiseen ja/tai painumiskäyttäytymiseen esim. stabiloitavalla alueella rakentamisen yhteydessä käytettävää lisäkuormitusta/painopengertä hyödyntäen.

Liejujen sekä joidenkin muiden suhteellisen voimakkaasti kokoonpuristuvien materiaalien osalta testaustapa voi tilanteesta riippuen olla kumpi tahansa edellä mainituista. Testaustavan valinta tapahtuu tältä osin tapauskohtaisen harkinnan perusteella siten, että käytettävä tutkimustapa vastaa mahdollisimman hyvin todellista tilannetta stabiloitavalla kohteella mm. kerrosten oletetun kokoonpuristumisen, stabiloitavaan kerrokseen kohdistuvien kuormitusten sekä rakennetta tiivistävien tekijöiden (esim. esi- tai ylikuormituspenger) sekä veden rakenteesta poistumisen suhteen.



a)



b)

Kuva 7.1 a) Turvekappaleiden tekoa laboratoriossa ja b) lujuusmäärittämisessä käytetään tyypillisesti puristuskokeita (1-akselinen puristus).

8. MASSASTABILOINNIN SUUNNITTELU

8.1 LÄHTÖTIEDOT

Massastabiloinnin suunnitteluun tarvittavan lähtötiedon määrä vaihtelee massastabiloitavan kohteen vaativuustasosta riippuen. Esimerkiksi pohjatutkimustietojen määrä voi olla vähäisempi selväpiirteiseen maakerrosrajaan ulotetussa massastabiloinnissa verrattuna kohteeseen, jossa massastabilointi tehdään määräsyvyyteen ja stabiloidun kerroksen alapuolelle jätetään painuvia maakerroksia.

Ensimmäinen alustava arvio massastabiloinnin soveltuvuudesta kohteeseen voidaan yleensä tehdä melko puutteellisilla lähtiedoilla alueilla, joilla on aikaisempaa kokemusta syvästabiloinnista. Mitä ”vieraammalla” maaperällä kohde on, sitä enemmän lähtötietoja tarvitaan ensimmäistäkin alustavaa teknis-taloudellista arviota varten – mikäli stabiloitavan materiaalin stabiloitavuudesta ei ole aikaisempaa kokemusta ja stabiloitavuuskokeita käytettävissä, on luotettavan alustavankin arvion tekeminen mahdotonta.

Yleensä ennen massastabiloinnin suunnittelun aloittamista tulee kohteesta olla selvitettyinä seuraavat lähtötiedot:

- Maakerrosrajat
- Maakerrosten indeksiominaisuudet (rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus)
- Maakerrosten erikoistutkimukset esim. pH, SO₄- ja/tai Cl-pitoisuus, pilaantuneisuus, ...)
- Maakerrosten lujuusominaisuudet
- Maakerrosten painumaominaisuudet
- Pohja- ja orsiveden sijainti ja sen vaihteluvälit
- Olemassa olevat rakenteet

Varsinainen massastabiloinnin suunnittelu alkaa lisäpohjatutkimusten ohjelmoinnilla. Täydentävien pohjatutkimusten kairausdiagrammien ja näytetietojen avulla ohjelmoidaan stabiloitavuustutkimukset ja tehdään geotekninen suunnittelu. Massastabilointikohteen suunnittelun tulokset esitetään piirustuksissa sekä työselityksessä. Massastabiloinnin suunnitteluun sisältö on:

- Lisätutkimusten ohjelmointi
 - Kairaukset ja näytteenotto, kartoitukset, ...
- Stabiloitavuustutkimukset
 - Sideaineseos (laatu ja määrä)
 - Leikkaus- tai puristuslujuus
 - Painuma esikuormituksen aikana
 - Kantavuusominaisuudet (moduuli)
- Geotekninen suunnittelu (sisältää alla olevia osatehtäviä)
 - Stabiliateettitarkastelu
 - Painumalaskenta
 - Kaivannon stabiliateetti
 - Kantavuusmitoitus
 - Routamitoitus
 - yms.
- Piirustukset
 - Suunnitelmapakartta
 - Pituus- ja poikkileikkaukset

- Detaljipiirustukset (tarvittaessa)
- Laatuvaatimukset ja työselitykset
 - Sideaineen laatuvaatimukset, määrät ja sallitut poikkeamat
 - Stabiloinnin sekoitustyövaatimukset
 - Stabiloinnin lujusvaatimukset ja sallitut poikkeamat
- Stabilointiurakan aikainen suunnittelu
 - Stabilointityön aikana tai jälkeen tehtävä suunnittelu

8.2 MITOITUSPARAMETRIEN MÄÄRITYS

Massastabiloidun maakerroksen mitoitusparametrit voidaan määrittää joko laboratoriokokeilla, maastossa tehtävällä koestabiloinnilla tai samassa maaperässä aikaisemmin tehdyn massastabiloinnin toteutumätiedoista. Mikäli suunnittelussa hyödynnetään lähiympäristön massastabilointien toteumatietoja, on erikseen tarkistettava maaperän ominaisuuksien kuten vähintäänkin humus- ja vesipitoisuuksien vastaavuus kohteissa.

Laboratoriokokeiden tai maastossa tehtävien koestabilointien ohjelmointi aloitetaan määrittämällä selvitettävien asioiden tärkeys sekä vaihtoehtojen määrä, joita ovat mm.:

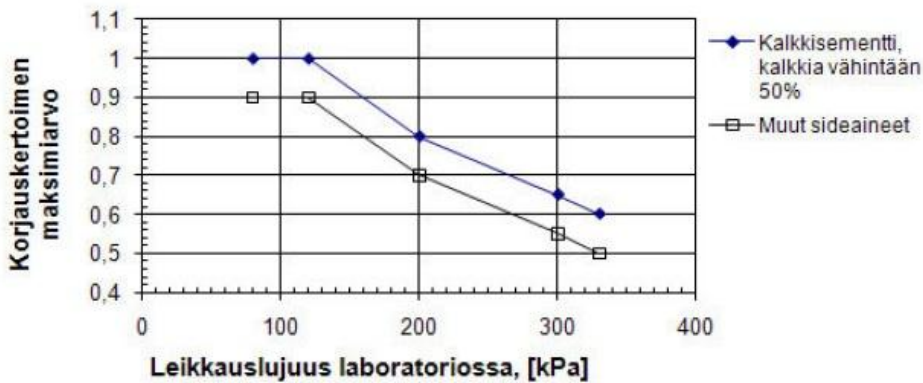
- Sideaineen / sideaineseoksen valinta
- Sideaineen määrä
- Työtekniset detaljit
- Lujittumisaika

Laboratoriossa tehtävistä koekappaleista määritetään aina vähintään puristuslujuus sekä muodonmuutosmoduuli E (E_{50}) 1-akσιαalisella puristuskokeella. Vaativissa kohteissa on suositeltavaa määrittää stabiloidun maan lujusparametrit ja muodonmuutosominaisuudet kolmiakσιαalikokeilla, jotka jäljittelevät maassa vallitsevaa kuormitustilannetta sekä tapahtuvia muodonmuutoksia paremmin kuin yksiakσιαalinen puristuskoe.

Massastabiloidulle maa-ainekselle on hyvin tyypillistä epähomogeenisuus, joten tutkittaessa stabiloitavuutta koestabiloinnilla, on kairauksia tehtävä riittävästi. Koestabiloinnin leikkauslujuutta määritettäessä tulisi tehdä vähintään noin 8-10 kpl edustavia puristinkairauksia (esim. pilarikaira) ja 4...6 kpl siipikairauksia (esim. pilarisiipikaira) sideaineyhdistelmää kohden.

Massastabiloidun maan leikkauslujuustavoite arvioidaan suuntaa-antavasti jo stabilointikokeiden ohjelmointivaiheessa. Kokeiltavat sideaineet ja sideainemäärät valitaan kokemusperäisesti alustavan lujustavoitteen ja maakerrosten indeksiominaisuuksien (rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus, rikkipitoisuus) perusteella.

Laboratoriossa saatuja leikkauslujuuden arvoja tulee kertoa korjauskertoimella, jolle on Suomen Liikenneviraston Syvästabiloinnin suunnitteluohjeessa (2011) on esitetty arvot kuvassa 8.1. Ko. kuvaaja ei ulotu tyypilliselle massastabiloinnin lujusalueelle (< 100 kPa) ja käytännössä on havaittu, että sementtiseidaineilla korjauskerroin voi olla alle 1 maa-aineksen vesipitoisuuden ollessa suuri ja sideainemäärä alhainen.



Kuva 8.1. Laboratoriolujuuden korjauskertoimen maksimiarvo pilaristabiloinnille (Liikennevirasto 2010). Massastabiloinnissa redusointikerroin on harkittava ottaen huomioon mm. sideaineen laatu ja määrä, sideainekomponenttien homogeenisuus, runkoaineen tyyppi, stabilointiolosuhteet, yms.

8.3 MASSASTABILOINNIN VAKAVUUSTARKASTELU

Varmuus massastabiloidun rakenteen sortumaa vastaan määritetään käyttäen rakennuttajan määräämää tai rakennuttajan kanssa sovittavaa menettelyä (Suomessa eurokoodijärjestelmän tai kansallisen menettelyn (Pohjarakennusohje) mukainen, ulkomailla muita menettelyjä). Stabiliateetilaskennassa käytettävät eurokoodijärjestelmän mukaiset osavarmuusluvut on esitetty Liikenneviraston julkaisussa ja mitoitus on ohjeistettu Liikenneviraston Eurokoodin soveltamishjeessa ja Syvästabiloinnin suunnittelu 2010 -ohjeessa. Stabiliateetilaskennassa käytetään eurokoodin mitoitus tapaa 3, jossa osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin ja maan lujuusparametreihin. Pohjarakennusohjeen mukaisessa mitoituksessa käytetään kokonaisvarmuuslukuja.

Lähtökohta massastabiloinnin stabiliateettitarkastelussa on, että ensimmäiseksi on tarkistettava maarakenteen vakavuus sekä ilman stabilointia että stabilointi huomioon ottaen. Ilman stabilointia tehdyllä lähtötilanteen stabiliateetilaskelmalla arvioidaan missä määrin stabiliateetti on merkittävä tekijä stabiloinnin mitoituksessa. Yleensä kohteen stabiliateetti ilman stabilointia lasketaan ympyräliukumenetelmällä ja laskelmassa on otettava huomioon penkereen tai leikkauksen muoto mahdollisine vastapenkereineen ja kevennysleikkauksineen sekä mahdolliset pengerkevennykset tai massanvaihdot.

Massastabiloidun rakenteen stabiliateetti määritetään käyttäen ympyräliukupintoja lukuun ottamatta rakenteita, joissa suunnitellun massastabiloidun kerroksen alle jää heikko ja/tai vino stabiloimaton kerros. Tällöin suositellaan stabiliateetilaskenta tehtäväksi myös yhdistelmäliukupintoja käyttäen. Kaltevan maanpinnan tai sivukuormitetun rakenteen yhteydessä stabiliateetilaskelmia varten on lisäksi arvioitava massastabiloinnin ja kitkamaakerroksen kontaktin laatu eli onko mahdollista, että rajapintaan jää heikkousvyöhyke vai saadaanko massastabilointi ulotetuksi kitkamaakerroksen pintaan. Useissa tapauksissa on turvallista olettaa, että massastabiloinnin kontakti kitkamaakerrokseen ei ole täydellinen.

Pehmeän maakerroksen päällä kelluvan kapean raskaasti kuormitetun massastabiloinnin tapauksessa on joissakin erikoistapauksissa tarpeen tarkastella myös pohjamaan sivulle puristumisen mahdollisuus.

Stabiliateetilaskelmissa käytetään massastabiloinnin leikkauslujuutena valittua mitoituslujuutta redusoiduttomana. Stabiloinnissa käytettävä sideainemäärä valitaan siten, että valittu mitoituslujuus varmasti saavutetaan (riittävä varmuuskerroin määritettäessä stabiloinnin lujuusvaatimus mitoituslujuudesta).

Massastabiloitaessa heikolla pohjamaalla kapeaa aluetta, jossa kone etenee tehdyn stabiloinnin päällä, saattaa työnaikainen stabiliateetti olla liian alhainen. Tällaisia kohteita on esimerkiksi pitkä ja kapea tie suoalueen poikki. Stabiliateetin varmistamiseksi on mahdollista asentaa suodatinkankaan sijaan geovahviste tiivistyspenkereen alle. Tämä vahviste voidaan myös huomioida myös lopullisen rakenteen stabiliateettitarkastelussa.

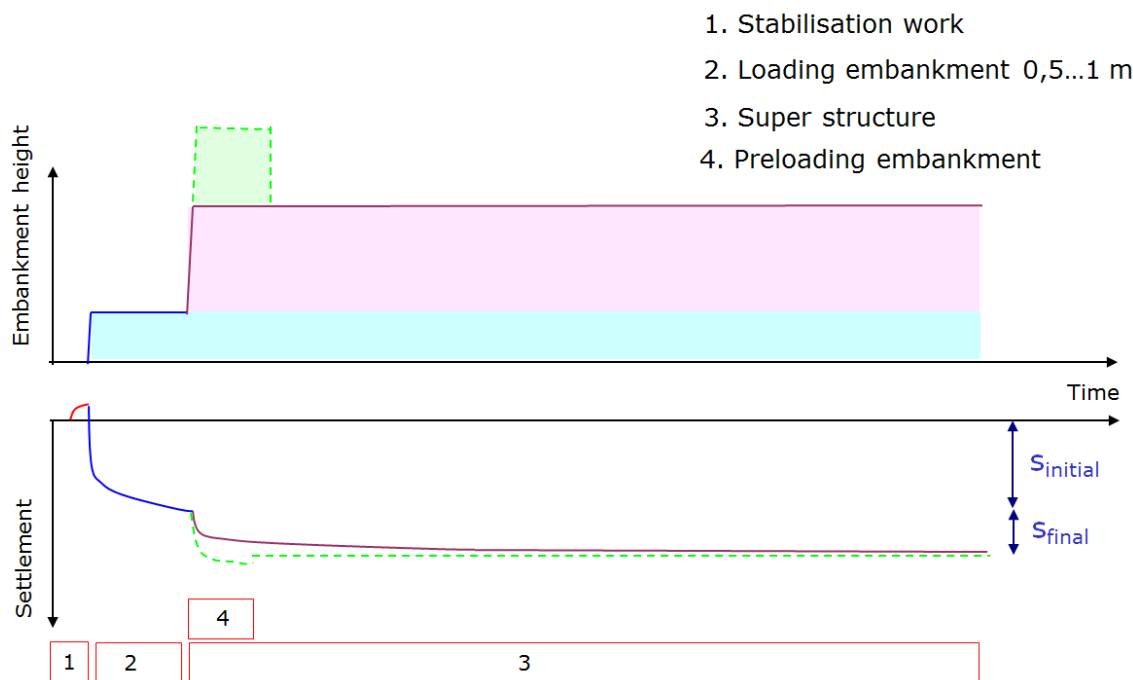
8.4 MASSASTABILOINNIN PAINUMALASKENTA

Massastabiloidun kerroksen painuma koostuu neljästä eri vaiheesta:

1. Stabilointityö: Stabilointityön aikana stabiloitavaan kerrokseen syötetään sideaine paineilmalla sekoitinkärjen kautta. Sideaine sekoitetaan stabiloitavaan maakerrokseen pyörivällä sekoitinkärjellä. Tämä aiheuttaa usein stabiloitavan maa-aineksen "kuohkeutumista" nostaten stabiloitavan kerroksen pintaa stabilointivaiheessa.
2. Tiivistyspenger: Suurin massastabiloidun kerroksen painuma tapahtuu yleensä silloin, kun alkutiivistys tehdään esitiivistyspenkereellä kuormittaen. Esitiivistyspenkereen paksuus vaihtelee yleensä 0,5...1 m välillä. Jäykän massastabiloidun kerroksen esitiivistys voidaan joissakin tapauksissa tehdä tela-alustaisella kaivinkoneella yliajaen. Esitiivistyspenkereen annetaan vaikuttaa massastabiloinnin lujittumisajan.
3. Esikuormituspenger: Mikäli käytön aikaiset painumat ovat tarpeen minimoida, on suositeltavaa esikuormittaa massastabiloitu kerros ylipenkereellä. Mikäli massastabilointikerroksen alle jää painuvia stabiloimattomia kerroksia, joiden painumia ei saada esikuormittamalla poistettua, jatkuu käytön aikainen painuma pidempään. Stabiloitaessa turvekerroksia on esikuormitus yleensä välttämätön.
4. Lopullinen pengger: Varsinainen pengger rakennetaan tiivistyspenkereen päälle tai tarvittaessa tiivistyspenkereen materiaalit korvaten. Ennen lopullisen penkereen rakentamista suositellaan varmistettavaksi tiivistämistyön eteneminen painumamittausten avulla.

Massastabiloinnin painuman vaiheet on esitetty kuvassa 8.2.

Sulfiittisavea stabiloitaessa massastabiloidun kerroksen laajeneminen on mahdollista (etringiittireaktio). Mahdollinen stabiloidun kerroksen laajeneminen lujittumisen aikana ei pengerrakenteilla käytännössä aiheuta ongelmia, mutta asia on hyvä tiedostaa, mikäli esim. painumamittautuloksissa havaitaan ennako-odotuksista poikkeavia tuloksia.



Kuva 8.2 Massastabiloidun kerroksen painuman vaiheet ja aika-painuma -kuvaaja (Lähde: Forsman 2008).

Massastabiloidun kerroksen kokonaispainumaa voidaan arvioida kaavalla 8.1 olettaen, että stabiloitu kerros käyttäytyy lineaarisesti ja kimmoisesti (Forsman 2008).

$$S_{total} = \frac{q}{E_{50}} * h \quad (8.1)$$

S_{total} = kokonaispainuma [m]
 q = pysyvä kuorma [kN/m²]
 E_{50} = stabiloidun maakerroksen moduuli [kN/m²]
 h = stabiloidun maakerroksen paksuus [m]

Koska kokonaispainuma koostuu painuman eri vaiheista, on painumakin syytä laskea vähintään kahdessa eri vaiheessa.

$$S_{total} = S_{initial} + S_{final} \quad (8.2)$$

$S_{initial}$ = tiivistyspenkereen aiheuttama painuma [m]
 S_{final} = lopullisen penkereen aiheuttama painuma [m]

Laskemalla erikseen tiivistyspenkereen aiheuttama painuma, voidaan sen avulla arvioida lopullisen penkereen materiaalimäärää. Lisäksi esitiivistysvaiheen painuman suuruutta tarvitaan lopullisen rakenteen painuman suuruutta arvioitaessa. Lopullisen penkereen ja massastabiloidun kerroksen paksuus lopullisessa painumalaskennassa määritetään ottaen huomioon tiivistyspenkereen aiheuttama painuma.

Tiivistyspenkereen aiheuttama painuma lasketaan kaavalla 8.3.

$$S_{initial} = \frac{q_{loading\ embankment}}{E_{initial}} * h \quad (8.3)$$

$S_{initial}$ = tiivistyspenkereen aiheuttama painuma [m]
 $q_{loading\ embankment}$ = tiivistyspenkereen kuorma [kN/m²]
 $E_{initial}$ = esitiivistymis- / lujittumisajan moduuli [kN/m²]
 h = stabiloidun maakerroksen paksuus [m]

Esitiivistymis- / lujittumisajan moduuli on usein n. 0,1...0,3 MPa (100...300 kN/m²), joka voidaan määrittää mittaamalla stabiloituvuuskoekappaleiden lujittumisajan painuma. Yleensä esitiivistymisen voidaan arvioida olevan savilla ja silteillä 5...15 % ja liejuilla ja turpeilla 10...30 % massastabiloitavan kerroksen alkuperäisestä paksuudesta.

Lopullisen lujittuneen massastabiloinnin päälle rakennetun penkereen painuma lasketaan kaavalla 8.4.

$$S_{final} = \frac{q_{total}}{E_{final}} * (h - S_{initial}) \quad (8.4)$$

S_{final} = lopullisen penkereen aiheuttama painuma [m]
 q_{total} = lopullinen pengerkuorma (massastabiloinnin pinnan ja penkereen harjan välisen etäisyyden perusteella arvioitu) [m]
 E_{final} = lujittuneen massastabiloidun maan moduuli (usein n. 350...450 × τ) [kN/m²]

Esikuormituspengertä käytettäessä suositellaan arvioimaan erikseen ko. penkereen aiheuttama painuma ja sen jälkeen tapahtuva painuma. Painumalaskennassa on myös huomioitava alle jäävät painuvat kerrokset tai massastabiloinnin alapuolelle tehty pilaristabilointi.

Edellä mainituissa laskentakaavoissa esitetyt massastabiloidun kerroksen moduulit ovat tarkkuudeltaan suuntaa antavia. Mitoituksessa käytettävät moduulit ovat arvioitava tapauskohtaisesti laboratoriokokeiden perusteella tai kokemuspäisästi. Moduulit eivät ole vakioita vaan niihin vaikuttavat useat eri tekijät, kuten maa-aineksen laatu, sideainemäärä sekä tyyppi, kuormituksen suuruus ja lujittumisaika tiivistyspenkereen alla.

Massastabiloidun kerroksen painuma-aika riippuu monesta eri tekijästä kuten esim. kerroksen paksuudesta, lujuustasosta, ja lujuuskehityksestä.

Massastabiloidun kohteen rakentamisaikataulu on aina suunniteltava tapauskohtaisesti, mutta suuntaa antavana aikatauluna päällystetyn rakenteen rakentamisaikataulun arvioinnissa voidaan käyttää:

- 0,5...3 kk – tiivistyspenger
- 1...3 kk lopullinen tiepenger (tarvittaessa vaiheittain korottaen)
- 0...6 kk yli-/esikuormituspenger (stabiliteetti yms. huomioiden)
- 2...6 kk kantava kerros
- 3...9 kk päällyste

Rakentamisen aikaisen aikataulun tarkistamiseen ja seurantamittaushavaintojen kerryttämiseksi suositellaan tehtäväksi painumamittauksia massastabiloiduissa kohteissa. Seurantamittaukset voidaan tehdä esim. painumalevyillä tai -letkuilla.

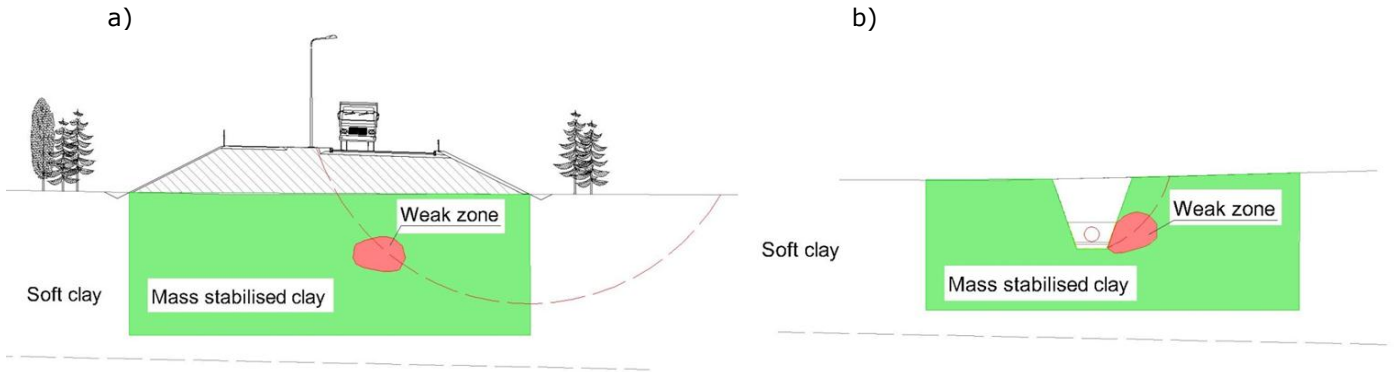
8.5 LUISKATTU KAIVANTO

Massastabilointia voidaan hyödyntää kaivantojen luiskan lujittamisessa. Massastabiloitua lujittunutta kerrosta voidaan hyödyntää luiskattuja ja tuettuja kaivantoja tehtäessä. Tässä ei käsitellä tuettuja kaivantoja, jotka on mitoitettava tapauskohtaisesti.

Luonnonmaakerrokseen kaivettavat luiskatut kaivannon mitoitetaan yleensä taulukoiden avulla, joita on esitetty mm. InfraRYL:ssä ja Kaivanto-ohjeessa (RIL 263-2014). Massastabiloidun maan tapauksessa ko. taulukoita ei voida soveltaa suoraan olettaen maakerroksen ominaisuudet pelkästään massastabiloidun kerroksen lujuuden perusteella ja arvioiden, että massastabiloituun kerrokseen kaivanto voidaan mitoittaa vastaavan leikkauslujuuden omaavan luonnonmaan taulukon mukaisesti. Syynä tähän on luonnonmaan ja massastabiloidun kerroksen erilainen lujuusvaihtelu. Luonnonmaakerroksessa lujuuden vaihtelu on vähäisempää ja ”loogisempaa”. Massastabiloidussa kerroksessa lujuuden vaihtelu on suurta ja ”sattumanvaraista” ja siten muutoin lujassakin massastabilointikerroksessa saattaa olla paikallisia heikkoja kohtia tai kerroksia, jotka saattavat vaarantaa kaivannon luiskan pysyvyyden.

Massastabiloituun kerrokseen luiskattua kaivantoa mitoitettaessa on aina otettava huomioon massastabiloidun kerroksen mahdollinen lujuuden hajonta.

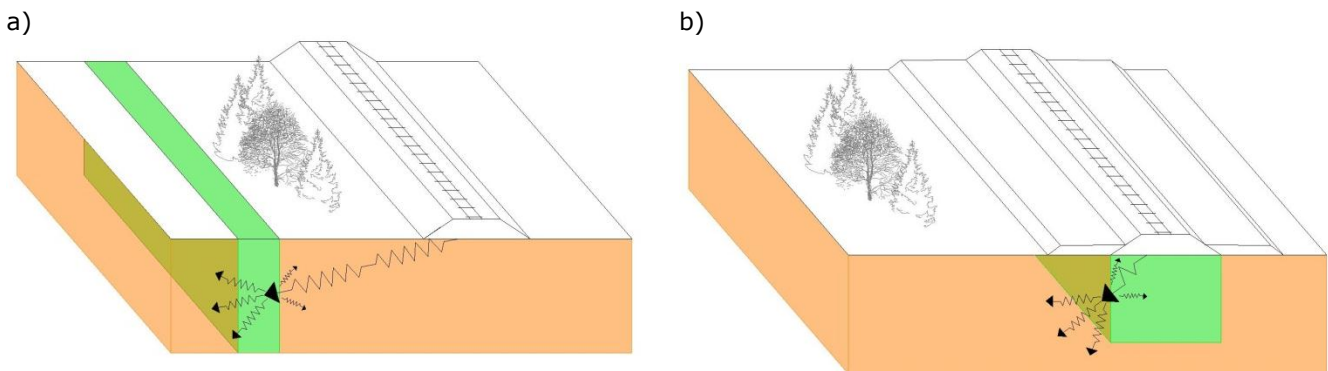
Kuvassa 8.3 on havainnollistettu massastabiloinnin lujuuden hajonnan ja mahdollisten paikallisten heikompien kohtien vaikutusta penkereen ja kaivannon tapauksessa. Penkereen tapauksessa paikallisella heikommalla kohdalla ei ole käytännössä merkitystä toisin kuin kaivannon tapauksessa, jossa paikallinenkin heikompi kohta voi vaarantaa kaivannon luiskan stabiliteetin. Mahdolliset heikot kohdat on luonnollisesti otettava huomioon myös penkereen mitoituksessa esim. massastabiloinnin lujuusvaatimusta asetettaessa mitoituslujuudesta.



Kuva 8.3. Massastabiloinnin mahdollisella paikallisella heikolla kohdalla ei ole merkitystä penkereen laajan liukupinnan tapauksessa a), mutta kaivannon luiskan stabiliteetin paikallinen heikko kohta voi vaarantaa b).

8.6 TÄRINÄSUOJAUS

Massastabilointia voidaan hyödyntää liikenne- ja junatärinän ehkäisemiseen. Tärinän ehkäisemiskeinoina massastabilointia voidaan käyttää tien tai junaradan alla maapohjan vahvistamiseen tai eristysseinämänä tärinälähteen ja tärinäherkkien kohteiden välillä. Jäykkä ja tasainen liikenneväylä (rata, tie tai katu) vähentää syntyvää tärinää, kun taas eristysseinämän toiminta perustuu sitä kohti tulevan tärinäaallon heijastamiseen, vaimentamiseen ja hajauttamiseen.



Kuva 8.4. a) Massastabiloitu eristysseinämä tärinälähteen vieressä ja b) massastabilointi radan / tien alla tärinän vaimentamiseksi.

Eristysseinämän vaimennusvaikutus riippuu seinämän pituuden, leveyden ja syvyyden suhteesta toisiinsa, etäisyydestä tärinälähteestä ja suojattavasta kohteesta sekä tärinän aallonpituudesta. Seinämä mitoitetaan siten, että pituuden tulee olla vähintään kolme kertaa eristettävän alueen leveys ja syvyyden tulee olla samaa luokkaa kuin pisin ehkäistävä aallonpituus. Seinämän sijainnissa on myös otettava huomioon vaimennustehon pieneminen seinämän etäisyyden kasvaessa tärinälähteestä.

Tärinän kannalta ongelmallisimpia alueita ovat pehmeistä koheesiomaalajeista muodostuneet alueet. Koheesiomaalajeissa, kuten siltissä, savessa, turpeessa ja liejussa tärinän amplitudi on yleensä suurin ja tärinän vaikutusalue ulottuu kauimmaksi. Näillä alueilla ongelmallisin värähtely muodostuu heikosti vaimenevista matalista taajuuksista (2...8 Hz). Suomessa on tehty stabilointiseinämäkoerakenteita, mm. Koriolla, jossa saavutettiin hyvä vaimennustaso 5...8 Hz taajuuksilla. Koerakenteissa alle 5 Hz ja yli 13 Hz taajuuksilla seinämän vaimennusteho on ollut heikompi.

9. RAKENTAMINEN

Työselitys ja työsuunnitelma

Kohteen rakentamisen työohjeet, määräykset ja laadunvalvontatoimenpiteet kerrotaan stabilointisuunnitelmassa, joka koostuu mm. työselityksestä, laadunvalvontasuunnitelmasta ja suunnitelmapiirustuksista. Stabilointisuunnitelman yleensä laatii rakennuttajan suunnittelija.

Urakoitsija laatii työsuunnitelman, josta ilmenevät massastabiloitavien alueiden ja ruutujen sijainnit ja numerointi. Stabilointikartta jaetaan osa-alueisiin (stabilointiruutuihin, -blokkeihin), joita urakoitsija käyttää stabilointityössä ”perusyksikkönä”, johon tietty määrä sideainetta syötetään. Yleensä stabilointiruudun koko on noin $5 \times 5 \text{ m}^2$.

Stabilointityö voidaan jakaa karkeasti seuraaviin osiin:

- Valmistelevat työt I:
 - pintamaan poisto, putkiliinjojen, kaapeleiden, rumpujen, ymv. rakenteiden sijaintitietojen merkkkaus maastoon
- Valmistelevat työt II:
 - työmaan ja sen lähialueen liikennejärjestelyt, sekä työmaatukikohdan ja tankkauspaikkojen valmisteleminen ja rakentaminen
- Työmaan mittaukset, stabiloinnin nurkkapisteiden ja ruudukoiden mittaukset, maanpinnan vaaitukset
- Mahdollisen työpedin teko
- Massastabilointityö (=sideaineiden sekoittaminen runkoainekseen)
- Tiivistyspenkereen tekeminen
- Laadunvalvonta

Valmistelevat työt

Valmistelevina töinä stabiloitavalta alueelta raivataan/harataan pois stabilointia haittaavat puut, pensaat, kannot ja juuret sekä muut materiaalit ja rakenteet kuten rummut. Myös stabilointia haittaavat täytöt poistetaan ennen stabilointia työn edellyttämässä laajuudessa.

Stabilointityötä varten on myös putkiliinjojen, kaapeleiden ym. rakenteiden sijainnit oltava tiedossa. Työmaaliikennettä varten tarpeelliset liikennejärjestelyt tulee huomioida myös ajoissa. Sideaineiden varastoinnille tulee varata toimintaan sopiva alue.

Stabilointityö

Ennen stabilointityötä, mitataan stabilointiruudukot. Mittaustyö voi tapahtua koneohjatusti (stabilointikoneet varustettu GPS-yksiköillä), tai manuaalisesti mittaryhmän toimesta (takymetrit, GPS-mittaus). Ennen varsinaista tuotantostabilointia voidaan tehdä koestabilointi. Koestabiloinnilla voidaan tarkistaa sideainemäärä, jolla haluttu tavoitelujuus saavutetaan. Yleensä koestabiloinnin jälkeen jatketaan välittömästi tuotantostabilointia.

Stabilointityössä on tärkeää syöttää sideainetta mahdollisimman tasaisesti ja homogeenisesti stabiloitavaan runkoainekseen. Sallitut mittapoikkeamat ovat yleensä tasolla $\pm 0,25 \text{ m}$ (x,y,z).

Stabilointityö on aina suunniteltava ja toteutettava tapauskohtaisesti, sillä jokainen kohde on uniikki. Joissain tapauksissa massastabiloitavaa aluetta tulee kuivattaa joko pumppauksin tai tekemällä ojia. Alueelta pois virtaavan veden laatua on seurattava silmämääräisesti tai tarpeen vaatiessa näyttein, jotta voidaan varmistua,

ettei haitallisia aineita pääse leviämään ympäristöön. Joskus kuivatusvesille voidaan rakentaa myös laskeutusallas jota kautta vedet ohjataan alueelta pois. Toisinaan on stabiloitavaan massaansa myös lisättävä vettä, jotta stabilointi onnistuu ja tavoitelujuus saavutetaan. Tällöin veden saanti ja riittävä määrä on varmistettava työn onnistumiseksi. Veden lisäystä on käytetty mm. kuiviin silttisiin maihin.

Mikäli kohteessa suoritetaan sekä massa- että pilaristabilointia, on työ rytmittävä niin, että pilaristabilointi on ongelmitta toteutettavissa massastabiloinnin läpi. Pilaristabilointi voidaan tehdä massastabiloinnin läpi, jolloin on kiinnitettävä erityistä huomiota massastabiloinnin lujuuden kehitykseen. Yleisesti pilaristabilointi on tehtävä miltei välittömästi massastabiloinnin jälkeen. Monesti turpeen alapuoleisen savikerroksen pilaristabilointi toteutetaan ennen massastabilointia. Tällöin pilaristabilointi vaatii erityisen työpedin.

Sideaineen syöttö ja painopenkereen rakentaminen

Onnistuneen massastabiloinnin edellytyksenä on sideaineen tasainen sekoittuminen maa-ainekseen. Työssä on otettava huomioon eri maakerrosten asettamat vaatimukset sekoitustyölle ja sideaineen syötölle.

Stabilointiruutuja käytettäessä syötetyn sideaineen määrä mitataan ruutukohtaisesti. Yleensä syötetty sideainemäärä saa poiketa suunnitellusta arvosta enintään 5 %. Sideainemäärä tarkistetaan tarvittaessa näytteenoton ja sideaineen pitoisuustutkimuksen avulla. Sideaineen sekoitustyön tehokkuuden valvonta tapahtuu työtapatarkkailuna ja sideaineen syötön on ulotuttava piirustuksissa esitettyihin tasoihin saakka. Sekoitustyön tehokkuutta seurataan myös koneohjaukseen perustuen erilaisilla 3D-ohjelmilla silloin, kun stabilointilaitteisto on varustettu ko. järjestelmällä.

Stabilointityöstä tehdään ruutukohtaista raportointia sisältäen seuraavia tietoja:

- Stabiloitavan kentän tunniste ja sijainti
- Stabiloidun blokin tunnistetiedot (numero/sijainti)
- Blokin koordinaattitiedot (x,y,z)
- Stabilointiruudun(alueen) ala- ja yläpinnan korkeustaso ja stabilointiruudun syvyys
- Syötetyn sideaineen määrä (kg/maa-m³)
- Sideaineen laatu (esimerkiksi CEM II, plussementti, kalkkisementti KC50, jne.)
- Sideaine-erän määrä ja laatu
- Mahdolliset ongelmat sideaineen syötössä tai muut havainnot
- Stabiloinnin tekopäivämäärä
- Sää rakennusaikana

Stabilointityöstä tulostetaan toteumakartat (myös ACAD-versiot).

Massastabilointi löyhdyttää stabiloitavaa maakerrosta sekoituksen ja sideaineen syötön aikana. Massastabiloidun alueen päälle tehdään paino-/tiivistyspenger tiivistämään massastabilointia, jolloin sementin reaktiot käynnistyvät nopeammin sekä ylimääräinen vesi saadaan puristettua pois massastabiloidusta rakenteesta. Painopenkereen paksuus on yleensä 0,5...1,0 m ja sen alle asennetaan yleensä suodatinkangas.

Erytisen tärkeä on rakentaa tiivistyspenger saman työvuoron kuluessa turvetta stabiloitaessa. Painopenger voi olla kohteen alin rakennekerros tai pengertäyttöä, jolloin siihen soveltuva materiaali valitaa tulevat rakenteet huomioiden. Silloin, kun tiivistyspenger leikataan pois ennen jatkorakentamista, on tiivistyspenkereen materiaali harkittava tapauskohtaisesti materiaalin jatkokäyttömahdollisuudet huomioiden.

Stabiloinnin lujittumisaikana huomioitavaa

Stabiloiduilla alueilla tulee välttää liikkumista raskaalla kalustolla välittömästi stabiloinnin jälkeen. Penkereet saa tehdä täyteen korkeuteensa siinä vaiheessa, kun suunnittelulujuus on saavutettu. Myöskään kaivutöitä ei saa tehdä stabiloiduilla alueilla tai niiden välittömässä läheisyydessä ennen kuin stabiloinnin aikaansaama

lujuus on kasvanut riittäväksi. Lujittumisaikana toteutetaan laadunvalvontakairauksia ja otetaan tarpeen mukaan maaperänäytteitä stabiloidusta runkoaineesta.

Massastabiloinnin toteutuksessa huomioitavaa

Stabilointia hidastavia tekijöitä voivat olla esim. massassa olevat puunrungot, kivet, kannot tai muut esteet. Stabiloitavasta kerroksesta voidaan harata sekoitustyötä häiritsevät esteet omana työvaiheenaan ennen varsinaisen työn aloitusta.

Jos stabiloitava massa on erittäin sitkeää savea, voi esisekoitus tai ns. esihomogenisointi olla järkevä ratkaisu. Hyvin epähomogeenisiin massoihin lisätään tarvittaessa vettä tai muita lisäkomponentteja. Käsiteltävään kerrokseen voidaan lisätä myös muita osakomponentteja, kuten sideaineita tai lisärunkomateriaaleja esim. hiekkaa. Aineet levitetään ennen varsinaista stabilointityötä stabiloitavan kerroksen pintaan omaksi kerrokseksi tai tarvittaessa esisekoitetaan massaun kaivinkoneella.

Edellä mainituilla menetelmillä parannetaan stabiloinnin lopputulosta, mutta ne pienentävät työsaavutusta. Joissain tapauksissa, erityisesti turvestabiloinnin yhteydessä, stabilointitulosta on mahdollista parantaa myös ulottamalla stabilointi hieman pehmeän ja vetisen, vaikeasti lujitettavan kerroksen alapuolelle. Vaikeasti lujittuvan kerroksen alla oleva, stabilointiin paremmin soveltuva runkoaines siirtyy stabilointikärjen nostavasta vaikutuksesta varsinaiseen stabilointikerrokseen. Näin runkomateriaalin keskimääräinen laatu paranee ja vaikuttaa positiivisesti stabilointitulokseen. Myös ylijäämäsaveen lisääminen raivatun ja haratun turvekerroksen pinnalle ja sekoittaminen turvekerrokseen mineraaliaineksen määrän lisäämiseksi, on mahdollista.

Stabiloidun kerroksen päälle levitetään välittömästi sekoitustyön loputtua suodatinkangas ja tilanteesta riippuen 0,5...1 metrin paksuinen työ-/painopenger. Kerroksen tarkoituksena on toimia työalustana massastabilointityön edetessä sekä kuormittaa stabiloitua kerrosta. Kuormitus pystysuunnassa puristaa stabiloitua massaa kokoon ja sitä kautta vaikuttaa positiivisesti lujittumiseen.

Stabilointityön aikana tulee ottaa huomioon seuraavat laitteistoon ja työmaahan liittyvät toiminnalliset näkökulmat:

- vallitseva lämpötila
- työmaan tilavaraukset laitteistolle
- työmaan pohjaolosuhteiden vaihtelu
- sideaineiden kuljetus työmaalle (ja työmaalla) sekä varastointi
- stabiloitavan kerroksen alkulujittuminen ja sen vaikutus työn etenemiseen

Stabilointia voidaan tehdä talviolosuhteissa, mutta erittäin ankarat pakkaset hidastavat stabilointityön tekemistä. Massastabilointia on tehty Suomessa jopa -30 °C lämpötilassa. Jos maa on roudassa, voidaan aukikaivu joutua tekemään iskuvasaralla "rammeroimalla". Tämä pienentää saavutettavaa työtehoa.

Vallitseva lämpötila voi vaikuttaa rakenteessa tapahtuvaan lujittumiseen. Esimerkiksi kipsi, kuona, tuhka ja kalkki ovat hitaita sideaineita, joiden aikaansaamat lujittumisreaktiot jatkuvat pitkään sideaineen sekoittamisen jälkeen. Sementti sen sijaan on hydraulinen sideaine, joka lujittuu nopeammin. Sementin ja kalkin sekä muiden seosaineiden yhdistelmät ovat hyvin yleisiä.

Laitteiston ja työmaan aikaisen toiminnan kannalta tulisi ottaa huomioon tarpeet parkkipaikoille, autoille, sideainesäiliöille, kiviainesautojen kääntöpaikoille, varastointialueille ja tarvittaessa silloille. Eniten tilaa vie sideainetankkauksen tukikohta, jonka täytyy olla kantavalla alustalla. Tankkauksen tukikohdan tilantarve on noin 10 × 20 m².

Yksittäisellä työmaalla pohjamaan ominaisuudet voivat vaihdella paljonkin. Erityisen pehmeät pohjamaat voivat vaikeuttaa koneiden liikkumista ja etenemistä. Pehmeisiin vaikeasti liikuttaviin alueisiin varaudutaan erilaisilla apuvälineillä kuten puu- tai teräsarinoilla, hirsiteloilla, ponttooneilla tai muilla väliaikaisilla työalustoilla.

Joissain tapauksissa työn aloitusvaiheessa kasvatetaan sideainemääriä, jolloin koneilla voidaan varmemmin ja nopeammin ajaa lujitetuilla alueilla. Myös sideainevalinnoilla voidaan vaikuttaa lujittumisnopeuteen. Työmaa voi näin edetä nopeammin lujittuvalla pohjalla.

Työmaalla käytettävät painesyöttimet syöttävät sideainetta stabilointikärkeen. Painesyöttimet täytetään työmaalle tuodulla sideaineella sideainesäiliöistä, jotka toimivat samalla puskurivarastona. Sideaineiden saatavuus tulee aina varmistaa. Taloudellisten ja sopimusteknisten reunaehtojen lisäksi myös tekniset asiat tulee ottaa huomioon. Esim. sideaineen varastointiin tulisi varautua jokaisella työmaalla. Sideaineiden tulee olla kuivia ja pulverimaisia, kun niitä syötetään painesyöttimeltä sekoitinyksikköön. Yleisimmin sideaineen siirrossa työmaalle käytetään säiliöautoja. Pienemmissä kohteissa sideainelogistiikka voidaan hoitaa suursäkeillä. Varastointiin ja työmaatoimituksiin soveltuvia tekniikoita ovat:

- säiliöautosiirto
- suursäkit
- hallivarastointi
- siilovarastointi

Sideaineen toimittaja punnitsee sideaineen määrän lähtöpisteessä, joten työmaalle toimitetun sideaineen määrä on tiedossa. Massastabilointilaitteiston painesyöttimessä on vaaka, jolla mitataan stabilointiruutuihin syötetty sideainemäärä. Tarkat vaa'at mahdollistavat sideaineen kulutuksen seurannan ja ohjauksen.

Massastabiloinnin työjärjestys pääpiirteissään:

1. Pintamaan poisto
2. Mahdollisten esteiden poistaminen ja kuoppien/ojien täyttäminen
3. Stabilointikenttien ja -ruutujen / nurkkapisteiden merkitseminen
4. Maanpinnan korkomittaukset
5. Stabilointityö
6. Painopenger / työalusta
7. Lujittuvan stabilointikerroksen laadunvalvonta
8. Lujittuneen stabiloinnin laadunvalvontatutkimukset

10. LAADUNVARMISTUS

Massastabiloinnin suunnitelma-asiakirjoissa asetetaan tavoitteita ja vaatimuksia sideaineelle, stabilointityölle ja lopulliselle rakenteelle. Stabilointityötä koskevien tavoitteiden ja vaatimusten toteutumisen osoittaa urakoitsija dokumentoimalla tehdyn stabilointityön. Toteutuneesta rakenteesta tutkitaan sen yksittäisten osien ominaisuuksia ja verrataan niitä asetettuihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin yksittäisinä havaintoina sekä tutkittavan alueen kannalta. Lopulliseen rakenteeseen kohdistuvista laadunvalvontatoimenpiteistä vastaavat riippumaton laadunvalvoja ja paikallisvalvoja. Stabilointityön laadunvalvonnasta ja -hallinnasta vastaa urakoitsija.

Laadunvarmistustoimenpiteet alkavat samanaikaisesti massastabilointityön käynnistyessä. Laadunvarmistukseen kuuluvat toimenpiteet vaihtelevat kohteittain. Massastabilointityöstä pidetään pöytäkirjaa, jonka sisältö on esitetty kohdassa 9.

Alla on esitetty tavanomaisia, suositeltavia laadunvalvontatutkimuksia. Tarvittavat tutkimukset ja käytettävät menetelmät määräytyvät tapauskohtaisesti.

Kenttätutkimukset:

Kentällä suoritettaviin laadunvalvontatutkimuksiin kuuluvat kairaukset, koekuopat, painumalevyt- ja tarvittaessa näytteenotto. Tarvittavat laadunvalvontatutkimukset on kerrottu työselostuksessa. Kairaukset ovat yleensä pilarikairauksia ja siipikairauksia. Kairauksia tehdään vähintään työselityksessä esitetty määrä ja ne suoritetaan kohteesta riippuen tavallisesti 7...90 vrk lujittumisajan jälkeen. 7...14 vrk kairaukset ovat työn toteutusta ohjaavia ja 28...90 vrk kairaukset lopputuloksen laatua osoittavia. Sideaineesta riippuen lopullinen lujuus voidaan saavuttaa vasta pidemmän ajan kuluessa, jolloin osa laadunvalvontakairauksista voidaan tarvittaessa tehdä myös 6...12 kk kuluttua stabilointityöstä.

Mikäli valvontakairaukset osoittavat, että lujuusvaatimusta ei ole saavutettu, usein tehdään uusia kairauksia, jolloin hitaasti reagoivat sideaineet voivat saavuttaa tavoitelujuuden pidemmällä lujittumisajalla ja muita tutkimuksia tai täydentäviä rakennustoimenpiteitä ei tarvita. Mikäli pidempi lujittumisaika ei paranna lujuutta ja/tai lujuusalitusten syy on selvitettävä, tehdään lisätutkimuksia selvittämällä esim. sideaineen määrää ja jakautumista, sekoitustyön riittävyttä σ ja sideaineen koostumusta. Lisäksi selvitetään geoteknisillä laskelmilla suunniteltua pienemmän toteutuneen lujuuden vaikutukset lopulliseen rakenteeseen ja kaivantojen stabiliteettiin.

Kairausmenetelmät:

Laadunvalvontakairauksina tehdään yleisimmin pilarikairauksia ja pilarisiipikairauksia. Pilarikairauksella mitataan massastabiloinnin leikkauslujuutta välillisesti. Pilarikairausten kantavuuskertoimen kalibrointiin käytetään pilarisiipikairausta. Pilari- ja pilarisiipikairaukset tehdään käyttäen kairavaunua (kuva 10.1).

Pilarikairauksen heijarikairausvastuksen 10 lyöntiä/0,2 m oletetaan vastaavan kärkivastuksen qc arvoa 1 MPa. Pilari- ja pilarisiipikairaus on esitelty tarkemmin kuvissa 10.2, 10.3 ja 10.4.

CPTU-kairausta ($A=10 \text{ cm}^2$) suositellaan käytettävän ainoastaan kohtuullisen heikkolujuuksisen massastabiloinnin tutkimuksissa. CPTU-kairan kärjen pinta-ala on pieni, joten yhden kairauksen edustavuus on vähäinen. Näin ollen CPTU-kairauksia suositellaan tehtäväksi enemmän kuin esim. pilarikairauksia eikä sillä suositella täysin korvattavaksi pilari- tai pilarisiipikairauksia.

Kairaukset suoritetaan esiin kaivetun massastabiloinnin pinnalta. Mahdollisen suodatin-/lujitekankaan takertuminen kairaamiseen on estettävä esim. tekemällä laadunvalvontakairaus kankaaseen viilletyn reiän läpi.

Kuva 10.1 Kairavaunu (valokuva: Fredrik Winqvist).



Figure 1. Column penetrometer

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DRY MIX METHODS FOR DEEP SOIL STABILIZATION/STOCKHOLM/SWEDEN/13-15 OCTOBER 1999

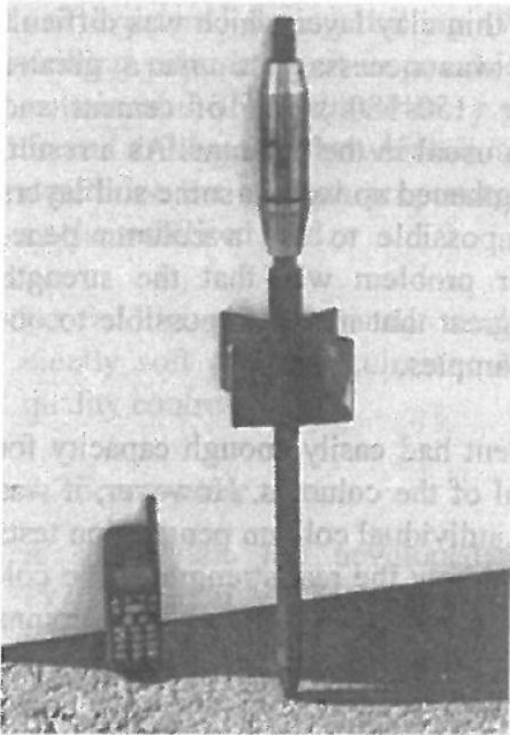
Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization

4.2 Column penetrometer

In this method a mechanical penetrometer equipped with two vanes (see Figure 1) is pressed down (without rotation), and the compressive strength employed is measured at the upper end of the penetrometer rod. The cross-sectional area of the penetrometer is $A = 100\text{cm}^2$ and the diameter $D = 375\text{mm}$. The device was originally developed in Sweden at the start of the 1980's (Torstensson 1980) and a slightly adapted version was used in Finland from 1981 (Halkola 1983). The aim was to shape the penetrometer head so that the sleeve friction would be as little as possible and that the penetrating resistance would be mainly formed outside the centre part of the column.

Because the cross-sectional area of the column penetrometer is ten times as large as that of a normal CPT cone, its application area (due to its capacity) is in relatively soft columns in which the shear strength $S_u < 200\text{ kPa}$. Because the penetrometer is durable, the dynamic penetration method has been experimented with in the harder columns, although the interpretation of results has then proved more difficult. As the dimensioning value used in engineering is either uni-axial compressive strength or shear strength, the measured penetration resistance is converted into shear strength by dividing it by the factor $N_c = 10$ (in Sweden) or $N_c = 10-15$ (in Finland). In Finland the shear strength values measured by the vane penetrometer are used in defining the N_c -factor.

Kuva 10.2 Pilarikairausmenetelmä (Halkola 1999).



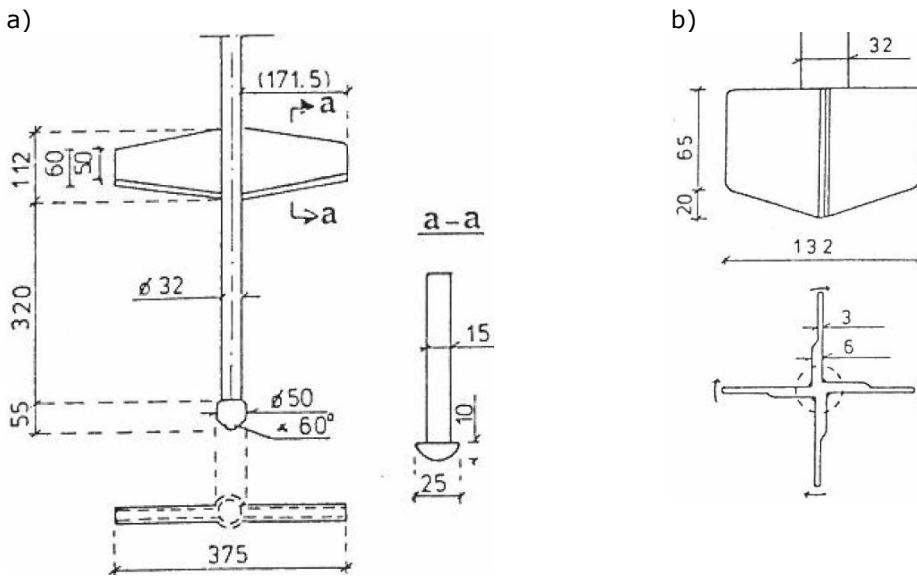
4.3 Vane penetrometer for columns

This method has been used in Finland since the beginning of the 1980's (Halkola 1983). The device (see Figure 4) is best suited for the examination of columns whose shear strength $S_u < 200\text{kPa}$. Because the core of soft lime-columns was softer than the sides, the vane penetrometer has been designed with as large a diameter as possible ($D = 130 / 160\text{mm}$, $H = 0.5 \times D$). The sleeve friction caused by the rods in the available models is eliminated by an angular motion switch above the vanes.

Depending on the length of the columns and the desired measurement density, vane penetrometer test is carried out at intervals of 0.5 or 1.0 metre. Since the method is relatively expensive, it is customary for vane penetrometer tests to be done much less frequently than normal penetrometer tests. Although the vane penetrometer tests can be used as such to determine the shear strength of the column, the method is used in particular as an aid in interpreting the results of conventional penetrometer tests.

Figure 4. Vane penetrometer

Kuva 10.3 Pilarisiipikairausmenetelmä (Halkola 1999).



Kuva 10.4 Pilarikairan a) ja pilarisiipikairan b) kärjen ja tangon mitat (STO 1991)

Näytteenotto ja muut kenttämittausmenetelmät:

Näytteenoton haasteena massastabiloinnin tutkimisessa on, että ehjän näytteen ottaminen onnistuu yleensä varsin vaihtelevasti. Mikäli stabiloidusta kerroksesta otetaan jatkuva näyte niin lujuuden (lujuusvaihtelu) arvioinnissa voidaan käyttää penetrimittauksia ja sideainemäärän vaihtelun mittauksissa Nitonia. Lisäksi,

jatkuvat näytteet kannattaa aina valokuvata ja tehdä silmämääräinen arviointi tasalaatuisuudesta/vaihtelusta yms. Näytteiden puristuskoe on suositeltavaa tehdä 3-aksaalikokeena, koska vähänkin häiriintyneellä tai murtuneella näytteellä, saadaan 1-aksaalisella puristuskokeella liian alhainen lujuus.

Koekuopista tarkastetaan ja dokumentoidaan massastabiloidun maa-aineksen laatu ja homogeenisuus silmämääräisesti arvioiden sekä otetaan näytteet mm. pH- ja vesipitoisuusmäärittäystä varten. Koekuopasta voidaan ottaa näytteet myös lujuusmäärittäystä varten, sekä tehdä stabiloidulle massalle penetrometri-, pienoissiipikaira ja/tai Niton-mittaukset.

Painumalevyillä mitataan stabiloidun massan painumia. Karkealla tarkkuudella painumalevyistä voidaan mitata myös sivusiirtymiä, jolloin mittaustarkkuus on lähinnä suuntaa antava.

Niton-alkuaineanalyysointilaitteella (kuva 10.5) voidaan kentällä arvioida stabiloidun massan homogeenisuutta. Laitteella voidaan arvioida myös sideaineen määrää mittaamalla kalsiumpitoisuutta stabiloidusta massasta ja vertaamalla mittaustuloksia ko. runko- ja sideaineelle tehtyihin "kalibrointituloksiin". Niton-alkuaineanalyysointilaitteen mittaus perustuu röntgenfluoresenssimenetelmään, jossa mittauskyky tukeutuu röntgenputki-säteilylähteeseen ja sen tuottaman säteilyn takaisheijastumiseen mitattavasta väliaineesta.



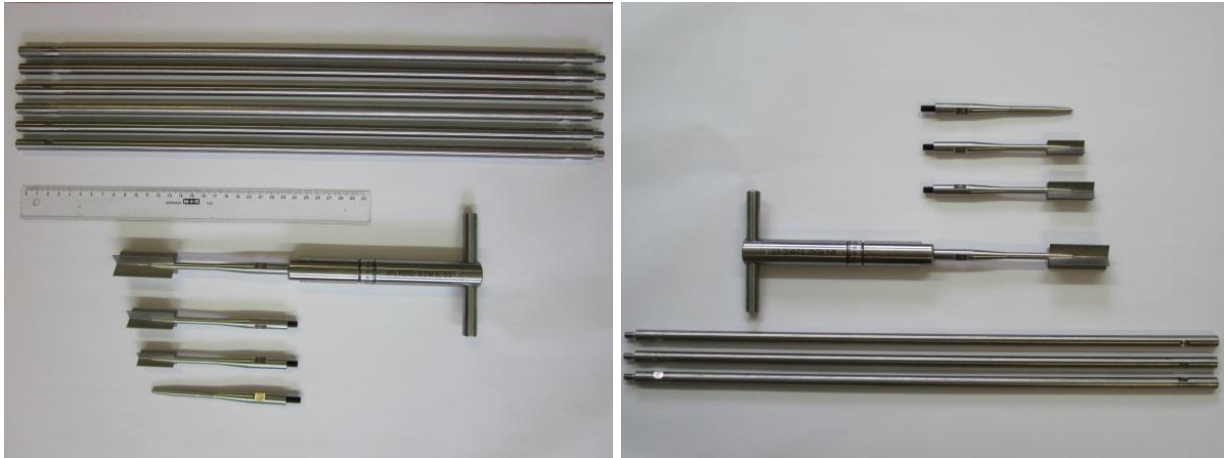
Kuva 10.5. Niton-alkuaineanalyysointilaitte.



Kuva 10.6 Erilaisia penetrometrejä.

Penetrometrin (kuva 10.6) avulla voidaan havainnoida suuntaa antavasti esim. maa-aineksen lujuutta. Penetrometrissa on tangon päässä piikkimäinen kartion muotoinen kärki, jota painetaan tasaisella voimalla tutkittavaan/mitattavaan materiaaliin murtumiseen tai penetrometrin osoittamaan merkkiin asti. Penetrometrin asteikko osoittaa piikin työntämisen aiheuttaman vastuksen ja sitä kautta materiaalin lujuuden.

Pienoissiipikairan (kuva 10.7) avulla voidaan määrittää kentällä stabiloimattoman ja stabiloidun massan lujuustasoa. Siipikaira työnnetään haluttuun syvyyteen mitattavassa materiaalissa ja T-kahvaa käännetään kunnes siipikaira pyörähtää tyhjää ja kahvan asteikko osoittaa materiaalin leikkauslujuuden.



Kuva 10.7. Pienoissiipikaira.

Laadunvalvonnan aboratoriotutkimukset:

Laboratoriossa suoritettaviin laadunvalvontatutkimuksiin kuuluvat puristuslujuustutkimukset, homogeenisuuden mittaaminen sideainemääriä analysoimalla, vesipitoisuusmääritys, pH-mittaukset ja pilaantuneiden maiden osalta myös liukoisuustutkimukset.

Lujuustutkimukset suoritetaan puristuskokeella. Kokeen tuloksen perusteella voidaan arvioida miten stabiloitu massa on lujittunut. Laadunvalvonnassa lujuustutkimukset laboratoriossa suoritetaan yleensä stabiloidusta rakenteesta otettavista koekappalenäytteistä. Voidaan myös tehdä kokeita, joissa näyte otetaan työmaalla juuri stabiloidusta massasta ja massaä sulletaan sylinterin muotoiseen putkeen, jossa sen annetaan lujittua työkohteen mukaisissa olosuhteissa. Säilytysajan jäljessä kappaleesta määritetään puristuslujuus, jossa muotoon leikattua sylinterin muotoista koekappaletta kuormitetaan tasaisella nopeudella kunnes se murtuu. Kuormitusnopeus on yleensä 1 mm/min.

Vesipitoisuusmäärityksessä lasketaan näytteen vesipitoisuus suhteessa kuiva-aineen määrään.

pH mitataan sekä stabiloimattomasta maa-aineksestä että stabiloidusta massasta. Kohteesta riippuen pH-mittauksia tehdään eri syvyyksistä. Arviointi tehdään sideainemäärityksen aiheuttaman pH-muutoksen perusteella.

Sideainemäärityksellä voidaan tarkastaa toteutuneen sideainemäärän määrä maa-aineksessa.

Tarvittaessa pilaantuneiden maiden kohteessa laboratoriossa tehdään myös liukoisuustutkimuksia stabiloidusta maa-aineksestä. Liukoisuustutkimuksista käy ilmi, mitä haitta-aineita maa-aineksestä liukenee. Liukoisuustutkimusten kesto raportointineen on noin 3 kk.

Laadunvarmistus

- Oleellinen osa stabilointityötä
- Kenttäkokeet:
 - kairaukset, koekuopat, painumalevyt, näytteenotto
- Laboratoriotutkimukset:
 - stabiloituvuustutkimukset, homogeenisuuden arviointi, vesipitoisuus, pH, sideainemääritykset, liukoisuustutkimukset (pima-maat)

KIRJALLISUUSLUETTELO

Deep Soil Mixing Ltd. UK, esite Poole Quay Extension – RNLI, 2 s.

Forsman, J. 2008. Stabilisation project - step by step, designing. International Mass Stabilisation Conference 2008 8.-10.10.2008, Lahti, Finland

Forsman, J. 2008. Kotolahden ratapiha, Kotka, rakennussuunnitelma.

Halkola, H. 1999. Keynote lecture: Quality control for dry mix methods. Stockholm 1999. Proceedings of the International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization, 13-15 October 1999, Ed. by: Bredenberg, H., Holm, G., Broms, B. Brookfield, Rotterdam, 1999.

Hautalahti, P., Halkola, H & Puumalainen, N., 2007. Kivikon teollisuusalueen stabiloinnin koerakentaminen. Geoteknisen osaston julkaisu 92/2007. 105 s.

Heikkilä, J. 2006. Massastabilointi stabiliteetin parantamisessa Tampere – Seinäjoki radalla. SGY, Syvä- ja massastabilointipäivä. 24.8.2006, Otaniemi.

Kiviniemi, O. et. al. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiatuotannon tuhka väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. 13.1.2012. 65 s + liitteet.

Koivisto, K., Forsman J. & Leppänen, M. 2004. Column and Mass Stabilisation of the Yards of IKEA in Vantaa, Finland. NGM 2004, Ystad, Sweden, 19.-21.5.2004.

Liikennevirasto 2010. Syvästabiloinnin suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. 11/ 2010 Liikenneviraston ohjeita. 56 s. + liitteet

Lindroos, N. et al. 2012. Stabilisation as an alternative for mass exchange for clays with high sulphide content. WASCON 2012 Conference proceedings.

Nauska, J. & Havukainen, J. 1998. Esirakentaminen 1998. Geoteknisen osaston tiedote 77/1998. 105 s.

Syvästabilointiohje STO-91. 1992. Rakennusaineteollisuusyhdistys ry ja Rakennustieto Oy. Helsinki. 52 s.

Tikkanen, V. 2006 Massastabiloinnin yleisiä hyödyntämismahdollisuuksia. SGY, Syvä- ja massastabilointipäivä. 24.8.2006, Otaniemi.

Valokuvat:

ALLU Valencian satama, Espanja

Aspholm, Jonas 2011 Mustasaari

Havukainen, Jorma 2004 Vuosaaren satama, Helsinki

Leppänen, Mikko 1995, 1996 Råneå ja Skyttorp, Ruotsi

Nuotio, Aino-Kaisa 2013 ja 2014, Ida Aalbergin puisto, Helsinki

Winqvist Fredrik, Arabianranta, Helsinki

KÄSITTEISTÖ/TERMISTÖ

E	kimmomoduuli, jäykkyys (MN/m^2 , MPa tai kN/m^2 , kPa)
H_h	hehikutushäviö, maalajin sisältämän orgaanisen aineksen suhteellinen osuus kuivan maa-aineksen määrään verrattuna suoraan koetuloksesta laskettuna huomioimatta kideveden osuutta (%)
H_u	humuspitoisuus, maalajin sisältämän orgaanisen aineksen suhteellinen osuus kuivan maa-aineksen määrään verrattuna, hienorakeisilla maalajeilla hehikutushäviöstä vähennetään kideveden osuus, joka arvioidaan näytteen sisältämän savilajitteen määrän perusteella (%)
c	koheesio, maarakeiden välinen kiinnevoima (kN/m^2 , kPa)
k	vedenläpäisevyys, ilmaisee pinta-alayksikön suuruisen poikkileikkauksen läpi aikayksikössä virtaavan veden määrää, kun hydraulinen painekorkeus on 1 (m/s)
w	vesipitoisuus, maalajin sisältämän veden massa kuivan maa-aineksen massaan verrattuna (%)
w_L	juoksuraja, plastinen maa-aines muuttuu juoksevaksi vesipitoisuuden ollessa juoksurajalla (%)
w_p	plastisuusraja/kierityusraja, kiinteä maa-aines muuttuu plastiseksi vesipitoisuuden ollessa plastisuusrajalla eli kieritysrajalla (%)
q_u	puristuslujuus, puristusvoiman ja koekappaleen poikkipinta-alan suhde (MN/m^2 , MPa tai kN/m^2 , kPa)
ϕ	kitkakulma, leikkauskestävyysskulma ($^\circ$)
τ	leikkauslujuus, joka maa-aineksella muodostuu kitkasta ja koheesiosta (kN/m^2 , kPa)

esikuormituspengeri massastabiloidun kerroksen käytön aikaisten painumien poistaminen tai rajoittamiseen käytetään esikuormituspengertä ennen kopullisen rakenteen rakentamista, mikäli esikuormituspenkeen massastabiloituun kerroksen aiheuttama kuorma on suurempi kuin käytön aikainen kuorma, on kyseessä ylipenger

ex situ muualla kuin alkuperäisessä paikassa tapahtuva (esim. kaivettujen maiden massastabilointi maarakennusmateriaaliksi)

in situ alkuperäisessä paikassa tapahtuva (esim. massastabilointi pohjavahvistuksena)

koheesiomaalaji maa-aines, jonka koossapitävänä voimana ovat sekä kitka että koheesio, suljetun leikkauslujuuden tapauksessa leikkauslujuuden määrää koheesio, jolloin maan sisäinen kitkakulma oletetaan nolaksi, koheesiomaalajeja ovat mm. siltti, savi, lieju

kitkamaalaji maa-aines, jonka koossapitävänä voimana on maarakeiden välinen kitka, kitkamaalajeja ovat mm. hiekka, sora, karkea moreeni

tiivistyspengeri massastabiloidun kerroksen alkutiivistys esitiivistyspenkereellä kuormittaen massastabiloinnin lujittumisvaiheessa

työpengeri vrt. tiivistyspengeri

1-aksiaalinen puristuskoe puristuskoe, jossa koekappaleeseen ei vaikuta vaakasuuntaista jännitystä

3-aksiaalinen puristuskoe puristuskoe, jossa koekappaleeseen vaikutta vaakasuuntainen jännitys, vaakasuuntainen jännitys valitaan siten, että se vastaa maassa vallitsevaa jännitystä