

Sideaineen ja työtavan vaikutus pilaristabiloinnissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

Kevät, 2017

Henna Kotilainen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri
Visamäki, Hämeenlinna

Tekijä	Henna Kotilainen	Vuosi 2017
Työn nimi	Sideaineen ja työtavan vaikutus pilaristabiloinnissa	
Työnohjaaja	Jari Mustonen	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä kerrotaan sideaineen ja työtekniikan vaikutuksesta pilaristabilointiin. Toimeksiantajana tälle opinnäytetyölle toimii YIT Rakennus Oy, IP/ IPV/ stabilointi. Työn taustalla ovat kesän 2016 harjoittelussa tehdyt huomioidut eri lujittumisen mahdollisuuksiin ja tapoihin tehdä pilastabilointia. Materiaalina tälle työlle on käytetty erilaisia pilaristabilointiin liittyviä kirjallisuksia, haastatteluita ja vanhoja tutkimustöitä.

Työn tavoitteena on nähdä se miten erilaiset tekijät vaikuttavat pilaristabiloinnin pilarien lujittumiseen sekä siihen, miten ne reagoivat erilaisten maa-ainesten kanssa. Tavoitteena siis on myös saada uutta tietoa siitä, miten sideaineet käyttäytyvät eri maa-alueilla ja mahdollisesti myös erilaisilla työtekniikoilla.

Työn tavoitteena on myös kertoa enemmän pilaristabiloinnista, joten työssä kerrotaan pilaristabiloinnista sen alusta lähtien. Eli kerrotaan mitä on pilaristabilointi. Pääasiallisesti työssä keskitytään sideaineisiin ja työtekniikkaan, koska se on työn aiheena. Joten työn tavoitteena on syventyä sideaineisiin ja työtekniikkaan pilaristabiloinnissa, eli näistä kerrotaan tarkemmin tässä työssä. Tästä työstä tulisi käydä ilmi mitä pilaristabilointi on ja se millaisia erilaisia sideaineita voidaan käyttää pilaristabiloinnissa, sekä miten pilaristabilointia tehdään.

Työn lähteenä on käytetty erilaisia lähteitä, jonka perusteella työ on tehty. Kirjallisuus on valittu mahdollisimman tuoreista lähteistä, jotta tieto olisi tämän päivän mukaista. Myös Ramboll Oy:n haastatteluita on työssä käytetty lähteinä.

Avainsanat Pilaristabilointi, sideaine, työtekniikka, laadunvalvonta

Sivut 41 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

Author	Henna Kotilainen	Year 2017
Subject	The impact of binder and working technique on the pillar stabilization	
Supervisor	Jari Mustonen	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the impact of the binder and working technique on pillar stabilization. The aim was to examine how the various binders and methods of work affect the quality and strength of the pillar. The thesis was commissioned by YIT Construction Ltd, IP/ IPV/ stabilizers. The company wanted to find out the various possibilities of reinforcement and methods of carrying out the pillar stabilization. The material used in the thesis consisted of publications and previous studies on pillar stabilization and interviews.

The aim was to find out how different factors affect the strengthening of the stabilization pillars and how they react with different soil types. The aim was also get new information how can be binders act different kind of soils and also possibly to different working technique's.

the aim to work is also tell more about pillar stabilization, so in this work tell from the beginning about pillar stabilizations. That is telling what is the pillar stabilization. Essentially in this work focuses on the binders and the working technique, because it is the subject of the work. The aim is to immerse binders and working technique on pillar stabilization, those discussed in more detail in more detail in this work. In this work it should be apparent what is pillar stabilization and what kind of binders can be used in pillar stabilization, together with how the pillar stabilizations work done.

The source of the work has been used in different sources, the basis of which the work is done. Literature has been selected as possible from fresh sources so that the information would be in this day. Also Ramboll Ltd. interviews have been used as sources of the work.

Keywords Pillar stabilization, binder, working technique, quality control

Pages 41 pages including appendices 0 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PILARISTABILOINTI YLEISESTI.....	2
2.1	Yleisestä pilaristabiloinnista.....	2
2.2	Pilaristabiloinnin historia.....	5
2.3	Pilaristabiloinnin määrät Suomessa.....	6
2.4	Pilaristabiloinnissa käytettävät koneet.....	7
2.5	Pilaristabiloinnin säädöksiä.....	9
2.5.1	Pilaristabiloinnin määrämittaiset pilarit.....	9
2.5.2	Pilaristabiloinnin laatuvaatimukset ja työselitykset.....	10
2.5.3	Pilaristabiloinnin laadunvalvonta.....	11
2.5.4	Pilaristabiloinnin laadunvalvonta kairaukset.....	11
2.5.5	Pilaristabiloinnin työnaikainen laadunvalvonta.....	13
2.5.6	Pilaristabiloinnin säädösten normit.....	14
3	PILARISTABILOINNIN SUUNNITTELU.....	16
3.1	Suunnitelmat/ suunnittelu pilaristabiloinnissa.....	16
3.2	Pilaristabiloinnin suunnitelmien esitystapa.....	17
3.3	Pilaristabiloinnin suunnittelun kulku.....	19
3.4	Pilaristabiloinnin sideaineet.....	20
3.4.1	Pilaristabiloinnin vaikutus maan puristuslujuuteen.....	22
3.4.2	Pilaristabiloinnin sideaineen ominaisuus.....	23
3.5	Pilaristabiloinnin indeksiomenetelmä.....	24
3.6	Pilaristabiloinnin sideaine: kalkki.....	24
3.7	Pilaristabiloinnin sideaine: sementti.....	25
3.8	Pilaristabiloinnin: kalkki- sementti.....	26
4	PILARISTABILOINNIN TYÖTEKNIIKOITA.....	27
4.1	Yleistä työtekniikoista.....	27
4.2	Pilaristabiloinnin työtekniikan ohjeistus.....	30
4.3	Pilaristabiloinnin työtekniikan vaikutus.....	30
4.4	Pilaristabiloinnin työtekniikan toimivuus.....	31
5	YHTEENVETO/ JOHTOPÄÄTÖKSET.....	33
	LÄHTEET.....	34
	HAASTATTELUT.....	35

1 JOHDANTO

Pilaristabilointi on Suomessa nykyään varsin yleistynyt maanrakenteen lujuuden parantamiseen kehitetty menetelmä. Pilaristabiloinnilla parannetaan maan kantavuutta, joka tehdään huonosti kantaville maaperille, yleensä savisille maaperille. Parempi kantavuus maalle saadaan, kun maaperään sekoitetaan sideaineita, josta tehdään pilarimainen rakenne. Näin saadaan maa- ainekselle sen haluttu lujuus ja kantavuus.

Pilaristabilointia on tehty jo 1960- luvulta lähtien, mutta periaatteet ovat silti pysyneet pääpiireittään samantapaisina nykypäivään asti. Tekniikka on kehittynyt kuitenkin, mutta työtekniikka on samalla periaatteella toimiva. Pilaristabilointi ei ole siis vielä kovinkaan vanha menetelmä ainakaan Suomessa.

Työssä käsitellään pilaristabiloinnin sideaineen ja työtavan vaikutusta, tätä aihetta on käsitelty erilaisten kirjallisuuksien ja haastattelujen pohjalta. Työn tilaajana toimii YIT Rakennus Oy, stabiloinnin osasto.

Työssä on kerrottu aluksi pilaristabiloinnille ominaisia ja yleisiä asioita. Jotta työn lukijalle selviää, millainen työ pilaristabilointi on, ja miten sitä tehdään.

Pilaristabilointi on vielä monelle vieras käsite ja työvaihe, jonka puitteissa asiasta on lähdetty tässä työssä kertomaan ruohonjuuri tasolta alkaen. Työn tarkoitus ei kuitenkaan ole selvittää mitä pilaristabilointi on, vaan keskitytään syvemmin pilaristabiloinnin sideaineisiin ja työtekniikkaan.

Pilaristabilointi suoritetaan siihen tarkoitukseen tehdyillä koneilla, joiden avulla työ onnistuu. Koneet ovat isoja, mutta pystyvät menemään pehmeille alueille isojen telojen ansiosta. Koneissa on järjestelmät, joilla ohjataan pilaristabilointityön sideaineita ja oikeanmukaisuutta.

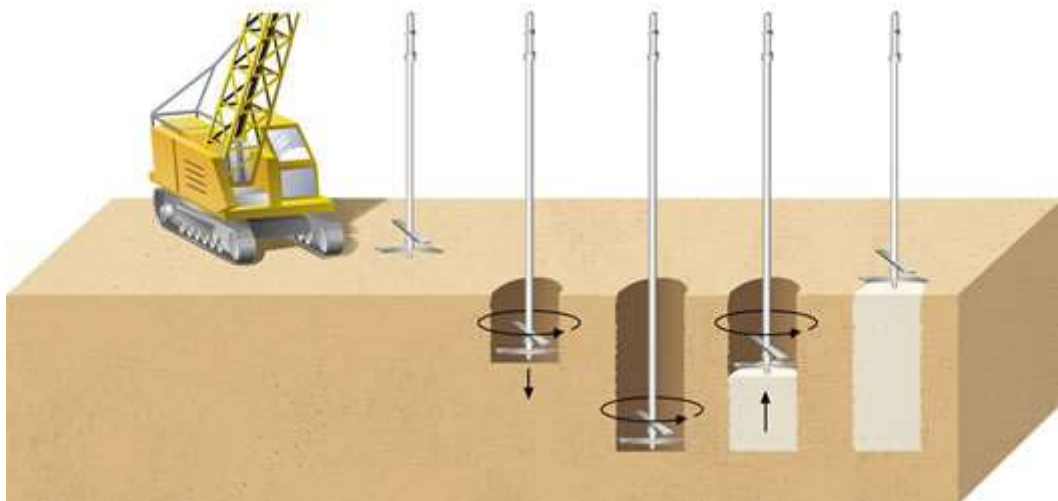
Tiivistetysti voidaan todeta että, pilaristabilointi on kehitetty maan kantokyvyn parantamiseksi, jolla ehkäistään painumien syntyjä.

2 PILARISTABILOINTI YLEISESTI

2.1 Yleisestä pilaristabiloinnista

Stabilointi tarkoittaa maapohjan käsittelemistä siten, että heikosti kantaviin maalajeihin sekoitetaan sideainetta, joka pohjamaan kanssa reagoiessaan lujittaa maata. Pilaristabiloinnilla tarkoitetaan menetelmää, jossa sideaineella stabiloitu maa muodostaa pystysuuntaisen, ympäröivää maata lujemman, yleensä pilarin muotoisen vyöhykkeen. (Paatsema & Kangas 2003, 11.)

Pilaristabilointi on syvästabilointimenetelmä, jossa maaperää vahvistetaan lisäämällä maaperään kalkkia- ja sementtipohjaista sideainetta. Erilaisia sideaineita sekoitetaan keskenään halutulla suhteella, joka sopii maastoon. Pilaristabilointikoneen kaira porataan haluttuun maaperän syvyyteen, jonka jälkeen kairaa nostettaessa sideainetta työnnetään maahan samalla sekoittaen tätä, kuten kuvassa 1 havainnollistetaan. Kun sideaine reagoi maan kosteuden kanssa, muodostuu maahan pilarimainen rakenne, joka parantaa maaperän kantavuutta. (YIT 2015.)



Kuva 1. Pilaristabiloinnin sideaineen syöttö, maaperään. (Donald, n.d.)

Pilaristabilointia käytetäänkin lisäämään maan rakenteen stabiiliteettia ja vähentämään näin ollen maan ja rakenteen painumia. Yksinkertaisesti pilaristabiloinnin tarkoituksena on lisätä maapohjan lujuutta. Tämä lujuus on yleensä 5-15-kertainen pilaroimattoman pehmeän pohjamaan lujuuteen nähden. Pilarien laatu kuitenkin vaihtelee maaperän olosuhteiden mukaan. Pilaristabiloinnin etuja ovatkin muun muassa sen joustava muunneltavuus olosuhteiden sekä tarpeen mukaan. (Liikennevirasto 2010, 13.)

Pilaristabiloinnin pilarit tehdään saveen ja silttiin, eikä juurikaan turpeeseen. Saven ja siltin geokemiallinen ominaisuus Suomessa on melko tasa-

laatuista. On myös joitain sulfidisavialajeja (sulfidi savi on yleensä silttimäisempi, jolla saadaan lujutta helpommin pilariin), joissa lujittuminen on vaikeampaa. (Lahtinen, 2016.)

Pilaristabilointi eli syvästabilointi on maan homogeenisyyden ja kantavuuden lisäämiselle kehitetty tapa, jolla saadaan huonommallekin maaperälle rakennettua esimerkiksi tie, ilman suurempia painumisia. Pilaristabilointia tehdään yleensä savikoille, joilla on huono kantavuus. Pilaristabiloinnilla pyritään välttymään maan painumilta. Kuitenkin pilaristabiloinnin kohdalla tulee muistaa se, ettei pilari ole kantava rakenne, vaan se on lujitettua maata. Kun pilaristabiloinnissa ei pyritä liian suuriin lujuuksiin, saavutetaan pilaroinnilla sen tarkoitettu tapa toimia maaperän kanssa.

Keskeinen periaate pilaristabiloinnissa on se, että stabiloinnin pilarit muodostavat ympäröivän maan kanssa stabiloidun alueen. Sillä tarkoitetaan aluetta, missä pilarit toimivat yhdessä ympäröivän maan kanssa. Tämä mahdollistaa pilaristabiloinnin päällä olevan kuormituksen jakautumisen pilareille ja ympäröivälle savelle niiden kimmomoduulien suhteessa. Kun pilareilla on tavanomainen pilaritiheys kyseessä (merkitään karttaan k/k), toimivat pilarit kuormituksen alla yhtenäisesti. Pilarin ja saven väliin jää niin sanottu savivaippa, jossa ei tapahdu normaalikuormitustilanteessa liukumista. Tämä johtuu siitä, että vaippa jakaa pilarien tai pilaroidun vyöhykkeen kuormitusta ympärillä olevaan saveen. (Tiehallinto 2001, 29.)

Pilaristabilointityön tarkoituksena on kaava- alueella ensisijaisesti rakennettavien pihojen, katujen sekä putkijohtojen haitallisten painumien ehkäiseminen pitkällä aikavälillä. Suunnitteluvaiheessa asetetaan pihuille, kaduille ja putkijohdoille niiden toiminnan kannalta laatuksiteerit, joissa määritetään rakenteille sallittavat painumat sekä painumaerot. (Paatsema & Kangas 2003, 12.)

Pilaristabiloinnissa tehtävät pilarit ovat suhteellisen suuria vedenjohtavuudeltaan, minkä vuoksi pilaroidun vyöhykkeen painumat tapahtuvat varsin pian kuormituksen jälkeen. Tämä painuminen voi tapahtua jo useimmiten kahden tai kolmen kuukauden aikana edellyttäen, ettei pilarien myötöjännitystä ylitetä.

Pilaristabilointi saattaa aiheuttaa savipohjalle häiriintymistä, mutta tämä maanperän häiriintyminen ei ole pysyvää. Pilaristabiloinnin ympärillä tapahtuvat koneen liikkuminen, huojuminen sekä värinä vaikuttavat häiriintymiseen. Jos koneiden painopistettä sijoitettaisiin alemmas, häiriintymisen aiheuttamista pystytään ehkäisemään. (Liikennevirasto 2010, 12.)

Pilaristabilointia käytetään tavallisimmin pysyvissä kohteissa maan vakavuuden lisäämiseen paikallisesti ja myös alueellisen vakavuuden parantamiseen. Pilaristabilointia on myös käytetty työnaikaiseen tuentaan, kuten esimerkiksi kaivantojen tukemiseen. (Leppänen, M. 1990, 10.)

Jos pilaristabiloinnilta vaaditaan hyvää kestäkykyä vinoja kuormituksia vastaan, tehdään pilarit toisiinsa kiinni yhtenäiseksi rakenteeksi, eli lamelliksi. Nämä voivat olla seinämäisiä, blokkimaisia tai kaarevia rakenteita. Pilaristabiloinnin pilarit voidaan tehdä toisiaan leikkaavina, mutta stabilointi työssä ei saa olla liian pitkiä taukoja silloin. Tämä johtuu pilarin kovettumisesta. (Tiehallinto 2001, 12.)

Pilaristabiloinnilla voidaan pienentää perustamiskustannuksia esimerkiksi paaluperustamiseen verrattuna. Pilaristabilointi soveltuu erinomaisesti mittavien projektialueiden esirakentamiseen ja on pohjavahvistusmenetelmänä varsin kilpailukykyinen. (YIT 2015.)

Yleisimpänä pilaristabiloinnin kohteena on tie- ja katupenkereiden perustaminen, mutta muita yleisiä käyttökohteina ovat:

- penkereiden perustaminen
- putkijohdon perustaminen
- leikkauspohjan perustaminen
- leikkauspohjan vahvistaminen
- tärinähaittojen vahvistaminen

(Liikennevirasto 2010, 15.)

Tärinähaittojen vahvistamisella tarkoitetaan pehmeän alueen vahvistamista, jolloin myös tärinähaitat vähenevät varsinkin enemmän liikennöidyiltä alueilta.

Pilaristabiloinnilla voidaan myös parantaa penkereen vakavuutta, mutta jos alkutilanteen vakavuus on heikko, maanpinta on kalteva tai penkereen sivulle tehdään kaivanto, ei rakenne ole kestävä. (Liikennevirasto 2010, 13.)

Pilaristabiloidulla alueella maan jännitykset jakautuvat pilareille ja pilareita ympäröivälle maalle eli sille maalle, joka jää pilarien väliin. Tämä jännitys kuitenkin jakautuu muodonmuutosmoduulien suuruudesta riippuvalla tavalla. (Liikennevirasto 2010, 13.)

Ennen varsinaista pilaristabiloinnin työn aloittamista tehdään niin sanotut esityöt, joita ovat raivaustyöt, mahdollinen humusmaan poisto, työalueen tasaus, työalustan rakentaminen ja pintakuivatus. Pilaristabilointia mahdollisesti haittaavat rakenne- ja täyttökerrokset poistetaan tai välpätään (eli ylimääräiset kivet ja maa- ainekset poistetaan maaperästä) pilaroinnin edellyttämässä laajuudessa. Pilaristabilointi työmaalla tulee selvittää pilaroitavalta alueelta sijaitsevat rakenteet ja muut työtä rajoittavat esteet. Näitä esteitä voivat olla esimerkiksi maassa olevat sähkökaapelit, viemärit, kaasuputket ja muut vastaavat asiat.

2.2 Pilaristabiloinnin historia

Pilaristabilointi kehitettiin Ruotsissa, josta se on rantautunut Suomeen. Pilaristabiloinnin kehitti Kjeld Paus vuonna 1967, joten tämä menetelmä sai alkunsa 1960-luvun loppupuolella. Vasta 1980-luvulla pilaristabilointi tuli laajempaan käyttöön, ja nykyään menetelmä on varsin yleinen jopa Suomessa. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 9.)

Ensimmäisen kerran pilaristabilointia on käytetty Helsingissä vuonna 1974, jolloin Itäkeskuksessa perustettiin koepenger kalkkipilareiden varaan. Tielaitoksen ensimmäiset pilaristabiloinnin kohteet rakennettiin 1980-luvun alkupuolella. (Korhonen, O. 1990, 17.)

Pilaristabilointia sovellettiin sen alkuvaiheessa talorakenteiden pohjaratkaisuissa. Vuonna 1981 eräs päiväkotiperustettiin pilaristabiloinnin varaan, jolloin pysyvä rakenne onnistuttiin mitoittamaan kaavoilla ilman tarkempaa pilarien toiminnan analysointia. (Korhonen, O. 1990, 17.)

Pelkällä poltetulla kalkilla pilaristabilointi oli yleistä 1980-luvun loppupuolelle asti. 1990-luvusta asti kalkin ja sementin seos pilaristabiloinnin sideaineena oli yleisin; tätä sideainetta käytettäessä saadaan pilarille parempi lujuus. Kalkin ja sementin seokselle yleisin seossuhde on 1:1, mikä tarkoittaa sitä, että kumpaakin sideainetta osaa on sekoitettuna saman verran. (Liikennevirasto 2010, 12.)

1990-luvulla analysoinnin ongelmana oli epävarmuus siitä, toimiiko pilari-kenttä yhtenäisenä homogeenisesti lujittuneena massana vai erillisinä paalumaisina elementteinä saven käyttäytymisestä riippumatta. Sideaineen toimivuuden kannalta oli suunnittelijoilla eri näkemyksiä. Suunnittelijat eivät myöskään ajatelleet tilaajan kannalta edullisinta ja parasta vaihtoehtoa tuolloin. (Lahtinen & Parkkinen 1992,)

2000-luvun alussa kipsin, sammutetun kalkin ja sementin seokset tulivat käyttöön melko yleisesti. Nämä seokset ovat osoittautuneet monissa tapauksissa toimiviksi liejuisissakin savissa. (Liikennevirasto 2010, 12.)

Myös Torpparinmäellä Helsingissä olevalla asuntomessualueella on kehitetty kaivantojen yhteydessä pilaristabilointia. Tämän lopputulos ei ollut kuitenkaan toimiva, koska varsin pystysuorat kalkkipilarit eivät toimi luotettavina tukirakenteina kaivannoille. (Korhonen, O. 1990, 17.)

Pilaristabiloinnin merkitys ei ole muuttunut vuosien aikana. Jo 1980-luvulta lähtien pilaristabilointia on käytetty savikoiden pohjavahvistusmenetelmänä pääasiassa kunnallisteknisten rakenteiden kuten katujen ja putki-johtojen perustamisessa.

Pilaristabilointiin kehitettiin erilaisia koneita. Ensimmäiset pilaristabilointikoneet tehtiin pyöräkuormaajan runkoon, kun taas uudemmat koneet

ovat tela- alustaisia koneita. Tela- alustaisilla koneilla päästään huomattavasti paremmin sellaisille stabiloitaville alueille, joilla kantavuus ei ole hyvä.

Ennen nykyisiä GPS- järjestelmiä mittamies tikutti alueen, jolla stabilointia alettiin tehdä. Tikutus tarkoittaa tekniikkaa, jolla laitettiin tikkuja pilarin sijainnin kohdalle, minkä mukaan koneen kuljettaja tiesi, mihin pilarit kuuluvat tehdä.

2.3 Pilaristabiloinnin määrät Suomessa

Vuodesta 1985 pilaristabiloinnin määrät ovat kasvaneet vähitellen ja tasaisesti, toki pieniä notkahduksia näissäkin vuosien varrella on ollut. Vuoteen 2015 mennessä määrät ovat vuodesta 1985 kasvaneet 553 000 m³. (Kuusipuro, 2016.)

Pilaristabilointi on yleisempää Uudellamaalla (Porvoossa, Järvenpäässä, Espoossa sekä Vantaalla) ja Turun seudulla. Pilaristabilointia tehdään siis paikkoihin, jotka ovat vanhaa meren tai järven pohjaa eli ovat pehmeitä, savisia alueita. Satama ja teollisuusalueet ovat myös yleisiä pilaristabilointi kohteita. (Forsman & Winqvist, 2016)

2.4 Pilaristabiloinnissa käytettävät koneet

Pilaristabiloinnissa käytettävänä koneina on tähän tarkoitukseen rakennetut koneet. Kone koostuu sekoitinkärjestä ja kalkkisäiliöstä. Koneessa on pitkä puomi, jonka mitta saattaa olla 10–20 metriä, kuten kuvasta 2 huomataan. Puomia pystytään myös pidentämään, jolloin päästään koneen normaaleista syvyyksistä vielä syvemmälle.



Kuva 2. Pilaristabilointikoneen puomi.

Pilaristabiloinnin pilarien maksimipituus on nykypäivänä 18–20 metrin luokkaa, nykypäivän kalustolla. Maksimipilarimitalle tehdyt pilarit eivät ole taloudellisia, sillä pidempien pilareiden tekeminen on hitaampaa kuin lyhempiin, esimerkiksi 10 metrin pilareihin, verrattuna, jotka ovat ns. ihanne mittaisia pilareita, koneenkuljettajien mukaan. Myös maksimimitaisten pilarien sekoitustyön tasalaatuisuuden saavuttaminen on sitä hankalampaa, mitä pidempi pilari on. (Tiehallinto 2001, 10.)

Koneet varustellaan myös sekoitinkärjen ympärille asennettavalla suojalla (Kuva 3), ja eri käyttäjillä on erilaisia suoja. Suojan tarkoituksena on estää ylimääräisen roiskeiden lentäminen muualle ympäristöön, jottei se vahingoita muita alueella olevia henkilöitä tai esineitä. Saven ja sideaineen sekoitusta roiskuu paineen avulla pilarikairauksen aikana, kun kairaa nostetaan ylöspäin maasta. Tämä johtuu paineilman aiheuttamasta paineesta, joka nostaa myös savea pyörityksen aikana liikkeelle. Tämän takia suoja on hyvä olla olemassa, varsinkin kun pilaristabilointia tehdään teiden varilla.



Kuva 3. Pilaristabilointikoneen sekoitinkärjen suojaus

Pilaristabilointikone varustetaan mittareilla, joista voidaan seurata syötettävän sideaineen määrää ja syöttöpainetta. Stabiloinnissa käytettävä laitteisto, erityisesti sekoitinkärki, hyväksytetään suunnittelijalla ennen pilaristabilointityön aloittamista.

Stabilointikoneesta ja kalustosta on käytettävä stabilointityön suorittamisen kannalta riittävät tiedot. Sekoitinkärjestä esitetään kuvallisesti ja myös tarvittaessa sanallisesti terätasojen määrä ja sijainti. Nämä kaluston tiedot voidaan esittää lomakkeella ”Syvästabilointikoneen tietokortti”.

Koneen puomin pystykaltevuus mitataan jokaisen pilarin kohdalla ennen työn aloittamista. Syöttökärjen kuntoa tarkkaillaan ennen jokaisen pilarin tekoa silmämääräisesti. Sideaineen virtaus työsäiliöstä suuttimille varmistetaan. Sekoitinkoneen sideaineen säiliön pohja on ilmastettu tai sideaineen virtaus työsäiliöstä suuttimille varmistetaan muulla tavoin. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 41.)

Pilaristabilointikoneet varustetaan mittareilla, joista voidaan jatkuvasti seurata syötettävän sideaineen määrää 20 mm:n välein. Kaikki nämä vaiheet, kirjataan pöytäkirjaan.

Pilaristabilointikoneelle tehdään yleensä työalusta, joka tehdään enintään noin puolen metrin tiivistämättömällä mursketäytöllä, tai noin metrin hiekka täytöllä. (Liikennevirasto 2010, 12.)

Kuten työn alussa mainittiin, YIT Rakennus Oy toimii tämän opinnäytetyön tilaajana. YIT:n pilaristabiloinnin kalusto on alansa huippuluokkaa. Kaikki pilaristabiloinnin koneet on varustettu satelliitti paikannusjärjestelmällä ja automaattisella raportointijärjestelmällä, joka kattaa kaikki InfraRYL- ohjeistuksen suosittamat raporttitiedot. Kuvassa neljä (4) näkee YIT:n pilaristabilointikoneen (YIT 2015.)



Kuva 4. YIT Rakennus Oy:n pilaristabilointikone.

2.5 Pilaristabiloinnin säädöksiä

Eurokoodit ovat yksi pilaristabilointia määrittävä ohjeistus. Varmuus pilaristabiloidun rakenteen sortumaa vastaan käsitellään eurokoodijärjestelmän mukaan. Vakavuuslaskennassa käytettävät varmuusluvut on esitetty liikenne- ja viestintäministeriön eurokoodiin seitsemän (7) laatimassa kansallisessa liitteessä. (Liikennevirasto 2010, 25.)

Pilaristabiloinnilla on toteutusstandardi (SFS-EN), joka systematisoi stabiointityön toteuttamista ja sen dokumentaatiota.

2.5.1 Pilaristabiloinnin määrämittaiset pilarit

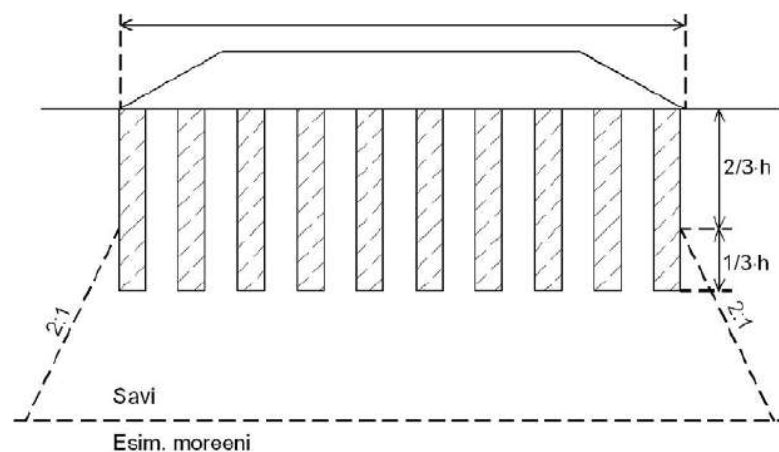
Määrämittaisilla pilareilla tarkoitetaan pilareita, kun niitä ei ajeta kovan pohjan mukaan vaan annetun mitan mukaisesti. (Liikennevirasto 2010, 15.)

Pilaristabiloinnissa käytetään määrämittäisiä pilareita, kun pilarointia ei uloteta painuvan maakerroksen alarajaan, vaan kun niiden alapuolelle jä-

tettävissä maakerroksissa harkitusti sallitaan penkereen käyttövaiheen aikaisia painumia. Pilaristabiloinnissa määrämittainen pilarointi soveltuu parhaiten painumien rajoittamiseen sellaisissa kohteissa, joissa välittömästi kuivakuoren alapuolella sijaitsevat savikerrokset ovat painuman kannalta kriittisiä ja joissa savikerrosten kokonaispaksuus on suuri. (Liikennevirasto 2010, 36.)

Määrämittaisten pilarien alapuolelle ei saa jättää maakerroksia, joiden suljettu leikkauslujuus alittaa 15 kPa, vesipitoisuus ylittää 100 % tai humuspitoisuus ylittää 2 %. Nämä vaatimukset eivät ole ehdottomia, kun kyseessä on suppea- alainen siirtymärakenne. Näiden määrämittaisten pilarien mitoittavana leikkauslujuutena saa käyttää enintään arvoa 120 kPa. Jos lujitettavan kerroksen pienin leikkauslujuus on alle 12 kPa, saa pilarin leikkauslujuutena käyttää enintään kymmenkertaista maan leikkauslujuutta. (Liikennevirasto 2010, 36- 37.)

Kuvassa viisi (5) huomataan määrämittainen pilarointi, jossa tasaisena kuormana kokonaispengerkuorma jaetaan pilaroinnin leveydellä. (Liikennevirasto 2010, 38.)



Kuva 5. Määrämittainen pilarointi (Liikennevirasto, 2010. s38)

2.5.2 Pilaristabiloinnin laatuvaatimukset ja työselitykset

Pilaristabiloinnin työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä on esitettävä seuraavat asiat, jos ne eivät riittävästi käy ilmi yleisistä laatuvaatimuksista ja työselityksistä. Jos näitä koneelle oleellisia pilarien sallittujen poikkeamien määräyksiä ei ole kerrottu suunnitelma-asiakirjoissa, tehdään pilaristabiloinnin työ InfraRyl-ohjeiden mukaisesti.

Suunnittelijat määrittelevät laatuvaatimukset, eli jokaisella kunnalla/kaupungilla voi olla omanlaisensa laatuvaatimukset ja työselitykset. Ennen jokaista työtä laatuvaatimukset määritellään kohteelle ja työselitykset tehdään myös. Nämä tiedot annetaan jo tarjouspyyntöjä tehtäessä tarjouksia antaville yrityksille.

2.5.3 Pilaristabiloinnin laadunvalvonta

Pilaristabiloinnin laadunvalvontaa suorittaa yleensä muu kuin itse pilaristabilointia tekevä aliurakoitsija. YIT:llä nämä laadunvalvontakairaukset tekee Ramboll Oy, sekä myös laadunvalvontaraportit. Laadunvalvontakairaukset tehdään samanlaisella laitteella, kuin mitä käytetään maaperän tutkimuksiin. Ramboll Oy:llä on pilaristabiloinnin kairauksiin omat työmiehet, jotka tekevät ainoastaan näitä koestuksia. Pilaristabiloinnin urakoitsija merkitsee itse koestajalle pilarit, joita tulee tutkia, ellei tilaaja itse halua näitä päättää. Näistä pilareista annetaan tarpeelliset tiedot koestajalle. Koestaja haluaa tietää pilarin numeron, pituuden sekä koordinaatit. (Forsman & Winqvist 2016.)

Pilaristabilointi on prosessi, jolle suunnitelma-asiakirjoissa annetaan ohjeita sekä asetetaan vaatimuksia. Nämä koskevat käytettävää sideainetta, stabilointityötä ja lopullista rakennetta. Pilaristabilointityötä koskevien tavoitteiden ja vaatimusten toteuttamisen osoittaa urakoitsija dokumentoimalla tehdyn pilaristabilointityön. Toteutuneesta rakenteesta tutkitaan sen yksittäisten osien ominaisuuksia, joita verrataan niitä annettuihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin yksittäisinä havaintoina ja toisaalta koko rakenteen kannalta. Lopulliseen rakenteeseen kohdistuvista laadunvalvontatoimenpiteistä vastaavat riippumaton laadunvalvonta ja paikallisvalvoja. Näistä raportoidaan laadunvalvonta dokumentein.

Koestetuista pilaristabiloinnin pilareista tehdään kairausraportti, mistä selviää pilarien laatu. Näiden pilariraporttien tekeminen kestää n. 3–20 tuntia kohteesta riippuen. Tämä tarkoittaa sitä, että jos suurempi kohde on kyseessä, tulee sieltä enemmän koestettavia pilareita, jolloin myös raportin tekeminen kestää pidempään. (Forsman & Winqvist 2016.)

2.5.4 Pilaristabiloinnin laadunvalvonta kairaukset

Heijari on yksi laadunvalvontakairauksien tapa, jota käytetään kovimmissa pilareissa silloin, kun monitoimikaira ei jaksa tai kykene toimimaan. Heijaroimalla saatujen kairausvastustulosten tarkkuus on heikompi kuin puristamalla saatujen tulosten. (Paatsema & Kangas 2003, 15.)

Pilarikairauksella saadaan pilarin suhteellinen pystysuuntainen leikkauslujuus. Tämä pilarikairaus on nopea tutkimus. Koko pilarin matkalta saatava tulos paljastaa heikoimmat kerrokset pilarista. Pilarikairaus on perinteinen koestusmenetelmä, joka soveltuu vain pehmeille ja osin keskilujille pilareille. Kairauksen käyttöä rajoittavat pilarin rakenteen rikkova työmenetelmä, pilarin pituus sekä pilarin kaltevuus. Pitkissä pilareissa on vaarana se, että kairakärki alkaa työntyä ulos pilarista pilarin vinouden takia. (Paatsema & Kangas 2003, 16.)

Laadunvalvontakairauksia tehdään pilarikairauksilla ja pilarisiipikairauksilla. Lujissa pilaristabiloinnin pilareissa, joihin eivät normaalikairaukset sovellu, käytetään puristinheijarikairausta. Lujissa ja pitkissä pilareissa suositellaan käytettäväksi esiporausta ennen laadunvalvontakairauksen suoritusta. (Forsman & Winqvist 2016.)

Esiporaus tehdään pilaristabiloinnin koestettaviin pilareihin, jos pilari on esim. liian kova, liian pitkä (yli 10 m pitkä pilari) tai jos pilarissa on ollut täyttömaata. Liian pitkässä pilarissa on vaarana, että koetuksen kaira saattaa lähteä hakeutumaan ulos pilarista, joten esiporauksella pyritään siihen, että kaira pysyisi paremmin pilarin sisällä. Täyttömaan kohdalla pilari kovettuu enemmän, jolloin koetuksessa käytettävä kaira alkaa puskea ulos pilarista. (Forsman & Winqvist 2016.)

Pilaristabiloinnin pilarin välillistä leikkauslujuutta mitataan sekä pilari- että puristinheijarikairauksella. Pilarisiipikairausta käytetään pilari- ja puristinheijarikairausten kalibroinnissa kantavuuskertoimen arviointiin. Pilarikairauksella tutkittavan stabiloinnin leikkauslujuus on yleensä enintään 300 kPa, mutta tarkkuus heikkenee vaippakitkan vaikutuksesta jo 150–200 kPa:n jälkeen.

Puristinheijarikairauksilla voidaan korvata tai täydentää pilarikairauksia, jos pilareiden leikkauslujuus on yli 100 kPa. Tulosten tulkinnassa on kuitenkin otettava huomioon pilarikairan kärkeä pienempi, muodoltaan kartiomainen kärki.

Heijarikairausvastus tulkitaan pilarileikkauslujuudeksi. Tämän ohjeen soveltamisalueella yleensä oletetaan kairausvastuksen 10 lyöntiä/0,2 m vastaavan kärkivastuksen q_c -arvoa MPa. Kun tulosten tulkinnassa yleensä käytetään kantavuuskertoimen N_c -arvona 10, vastaa 10 lyöntiä/0,2 m -heijarikairausvastus pilarin leikkauslujuutta 100 kPa ja 20 lyöntiä/0,2 m pilarin leikkauslujuutta 200 kPa.

Pilaristabiloinnin pilareita koestetaan työmaalta yleensä 1 % pilarien määrästä, mutta ohjeistuksena koestuksien määrään voi olla esim. 400 alkavaa pilaria kohden kolme (3) pilarikairausta ja yksi (1) pilarisiipikairaus.

Työmailta otettavista laadunvalvontakairauksista tehdään tutkimusraportti, jossa tulee esittää

- kairaustulokset tulkittuna
- koestettujen pilarien ikä koestushetkellä
- kairausten perusteella lasketut pilarien leikkauslujuudet
- leikkauslujuuksien keskiarvot ja vaihtelu
- lujuuspoikkeamat suunnittelulujuuteen verrattuna

Pilarointityöstä pidetään pöytäkirjaa, josta ilmenevät pilarin tunniste, teko päivä, sijainti ja kaltevuus pilarin ala- ja yläpään korkeustaso, sideaineen

syöttömäärä sekä vaa'an lukemat ennen pilarin tekoa ja pilarin teon jälkeen. Sideaineen laatu todetaan materiaalikohdassa. Sekoitustyöstä pidetään pilarikohtaista pöytäkirjaa. YIT:llä nämä pöytäkirjat muodostuvat OPR (Ontec Pillar Report) -ohjelman avulla helposti. Ohjelmasta löytyvät kaikki tarvittavat pöytäkirjaan merkittävät tiedot. Nämä tiedot keräytyvät ohjelmaan koneiden lähettämien sähköisten tietojen kautta mitkä ladataan joka päivä WebOntec:sta, josta ne viedään tähän OPR-ohjelmaan manuaalisesti. (Forsman & Winqvist 2016.)

Pilarien pöytäkirjat liitetään kelpoisuusasiakirjaan. Pöytäkirjan liitteenä esitetään yhteenveto pilarointityön aikana ja pöytäkirjan tarkastuksen yhteydessä havaituista poikkeamista laatuvaatimukseen verrattuna sekä laboratoriotutkimuslomakkeet sideaineseoksen ja sen aineosien kelpoisuudesta. Pöytäkirjoista ilmenevät myös hylättyjen pilarien tilalle tehdyt uudet pilarit. Toteumapiirustuksen tueksi kelpoisuusasiakirjaan liitetään seuraavat rakennuttajan tarkastamat dokumentit:

- pilaristabiloinnin pöytäkirjat
- pilarien mittaustiedot (eli koordinaatit)
- raportit pilarien laadun varmistuskokeista
- tiedot esikuormituksesta ja kuormitus ajasta
- esikuormituksen painuma tarkkailun tulokset

Pilaristabiloinnin pilarien sijainnista laaditaan alueittain tarkepiirustukset, joista ilmenevät pilarien ja pilarikenttien sijainti sekä numerointi.

Jos pilaristabiloinnin pilarit ovat suunniteltu päättyviksi syvemmälle maanpinnasta, tutkittavat pilarit tehdään 0,25 metriä maanpinnan alapuolelle. Tuloksista laaditaan raportti, joka liitetään kelpoisuus asiakirjaan.

Valvontakairaukset tehdään 14–30 vuorokauden ikäisille pilareille leikkauslujuuden määrittämiseksi. Jos pilarin yläosa on niin luja, että tutkimusmenetelmiä ei pystytä käyttämään, esiporataan pilariin reikä, jota kautta pilarin alaosa voidaan tutkia. Pilarien lujuusleikkauksista laaditaan tutkimusraportti, jossa esitetään kairaustulokset kairausten perusteella, laske-
tut pilarien leikkauslujuudet, leikkauslujuuksien keskiarvo ja vaihtelu sekä lujuuspoikkeamat suunnittelulujuuteen verrattuna. (Forsman & Winqvist 2016.)

2.5.5 Pilaristabiloinnin työnaikainen laadunvalvonta

Nykyisin pilaristabiloinnin laadunvarmistus keskittyy pääasiassa itse stabilointityön tarkkailuun sekä laadunvalvontaan.

Pilaristabiloinnin tuotantoparametreja rekisteröidään pilaristabilointityön yhteydessä, ja näitä tuotantoparametreja käytetään laadunvalvonnassa. Tästä rekisteröinnistä vastaa käytännössä pilaristabilointityön urakoitsija, näitä parametreja ovat:

- sekoituskärjen nousu- ja pyörimisnopeus

- sideaineen virtaama sekoitustyökalun välittömässä läheisyydessä
- sekoittimen akselin momentti
- käytetty ilmanpaine
- sideaineen syöttömäärä

Työnaikana tehtävästä laaduntarkkailusta huolehtii rakennuttajan valvoja. Työnaikainen tarkkailu on pääasiassa työtapatarkkailua. (Paatsema & Kangas 2003, 14.)

2.5.6 Pilaristabiloinnin säädösten normit

Valmiilla pilaristabiloinnilla on sääntöjä ja normeja, joita tulee noudattaa työtä tehtäessä. Ellei suunnitelma-asiakirjoissa ole annettu ohjeistusta, tehdään työ InfraRyl 2010:n mukaisesti.

Pilaristabiloinnin suurin sallittu poikkeama suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta sijainnistaan on 0,1 metriä. Suurin sallittu poikkeama vaakasijainnista on 0,2 metriä, paitsi putkijohtojen alla se on 0,1 metriä kuitenkin siten, että kahden vierekkäisen pilarin välinen etäisyys ei poikkea suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta enempää kuin 0,2 metriä. Jos nämä arvot ylittyvät, tulee pilarointi korjata esimerkiksi tekemällä liian suureen väliin lisäpilari. (InfraRyl 2010, 97.)

Kuvassa kuusi (6) näkyy valmista pilaristabilointia. Oikeassa kuvassa heti pilaroinnin jälkeen oleva pilarikenttä, vasemmassa kuvassa pilarikentältä on otettu ylimääräinen savi pois pilarien päältä.



Kuva 6. Valmis pilaristabilointi, kenttä.

Yksittäisen pilarin suurin sallittu kaltevuus on 20 mm/m sideaineen syötön vaihtelulle ja mittauksen tarkkuudelle asetetaan seuraavia vaatimuksia:

- mittauksen tarkkuus on vähintään 5 % pilarimetrillä
- yksittäispoikkeama kg/m on -10... +20 %
- pilarin keskimääräinen laskettu sideainemäärä poikkeaa suunnitelma-asiakirjoissa esitetystä arvosta enintään 5 %.

(InfraRyl 2010, 97.)

Pengerkohteissa pilaroinnin kelpoisuutta arvioidaan lujuustutkimuksen perusteella. Lujuustutkimuksia tehdään suunnitelma-asiakirjoissa osoitettu määrä. Tuloksia arvioidaan kokonaisuutena ja pilareittain seuraavasti:

- yli 30 %:n lujuuden alitukset
 - ei sallita
- 10- 30 %:n lujuuden alitukset
 - sallitaan 5 %:n tutkittavien pilarien yhteenlasketusta pituudesta
 - sallitaan yksittäisissä pilareissa 10 % pilari pituudesta, kuitenkin siten, että alitukset eivät keskity samalle syvyydelle
- 5- 10 %:n lujuuden alitukset
 - sallitaan 15 % tutkittavien pilarien yhteenlasketusta pituudesta
 - yksittäisessä pilarissa 30 % pilarin yhteenlasketusta pituudesta
 - yksittäisessä pilarissa 30 % pilarin pituudesta, kuitenkin siten, että alitukset eivät keskity samalle syvyydelle
- alle 5 %:n lujuuden alitukset
 - sallitaan yksittäisinä mittaushavaintoina
 - sallitaan yksittäisen pilarin keskiarvolle
 - ei sallita keskiarvolle, joka on laskettu tutkittavien pilarien yhteenlasketusta pituudesta

Pilaristabiloinnin työselostuksessa esitetään haluttu pilarien leikkauslujuus. Jos kairavastus alittaa suunnitelma-asiakirjoissa vaaditun vähimmäisarvon yli 20 %, otetaan leikkausvyöhykkeestä näyte laboratoriossa tehtäviä lujuuskokeita varten. Jos vaadittu leikkauslujuus alittuu, tutkitaan näytteestä sideainepitoisuus. Sideainemäärä saa alittaa suunnitelma-asiakirjojen mukaisen sideainemäärän 25 %. (InfraRyl 2010, 97.)

Sideaineelle on annettu myös raja, paljonko tämä saa poiketa suunnitelmasta. Yleensä se on ± 2 kg/m, mutta esimerkiksi Espoon kaupungilla tämä raja on ± 1 kg/m.

3 PILARISTABILOINNIN SUUNNITTELU

3.1 Suunnitelmat/ suunnittelu pilaristabiloinnissa

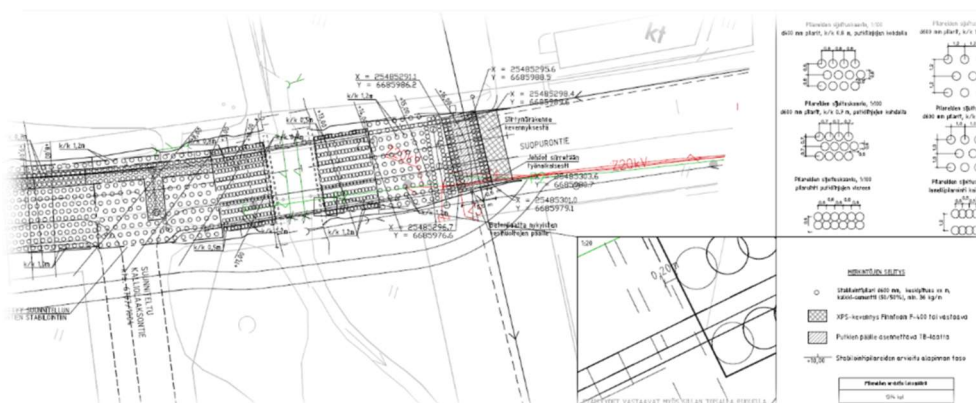
Pilaristabiloinnin suunnitelmat koostuvat työselityksestä sekä suunnitelmapiiirustuksesta. Työn sujuvuus ja lopputuloksen laatu sekä myös kustannukset riippuvat suunnitelma-asiakirjojen laadusta. Pilaristabilointisuunnittelun tärkein piirustus on kartta, jossa mittakaavana käytetään sudetta 1:200 yleisesti. Yksinkertaisimmissa tapauksissa mittakaavana voidaan käyttää 1:500.

Pilarikartalla esitetään:

- pilarikenttien rajat ja pilariyhteydet
- pilarikenttien nurkkapisteiden koordinaatit
- monissa tapauksissa yksittäiset pilarit
- tarvittaessa esim. pohjatutkimuspisteet
- pilarien pituus tai tavoitetaso kenttäosittain: syvyyskäyrät tai maakerrosraja/ määrätaso
- pikarikentän rajautuminen muihin pohjavahvistuksiin tai pohjarakenteisiin
- pilarien halkaisija, tavoitelujuus, sideaineen laatu ja määrä kenttäosittain.

(Tiehallinto 2001, 38.)

Nämä edellä luetellut asiat nähdään tarkemmin kuvasta seitsemän (7), jossa on pilaristabiloinnin suunnitelmapiiirustus.



Kuva 7. Pilaristabiloinnin suunnitelmapiiirustus YIT:n kohteesta.

Kartan lisäksi pilaristabiloinnin pilarit esitetään pohjavahvistussuunnitelman pituusleikkauksissa ja paalukohtaisissa poikkileikkauksissa. Leikkauspiirustuksissa esitetään yksityiskohtaisesti pohjatutkimukset ja pilarien tavoitetaso sekä siirtymärakenteet. (Tiehallinto 2001, 38.)

Työjärjestys ja tekemisen aikataulu suunnitellaan siten, että viereisten rakenteiden vakavuus säilyy riittävänä kaikissa työvaiheissa.

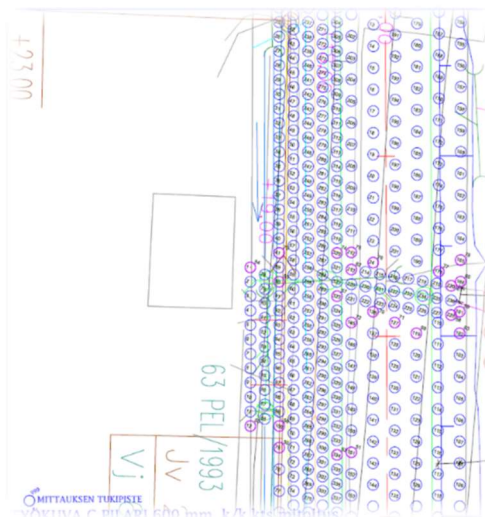
Suunnitteluun vaikuttaa se, ettei maaperäntiedoista voi olla koskaan täysin varma. Tämän vuoksi suunnittelussa joudutaan tekemään maakerrosmalliin yksinkertaistuksia ja oletuksia. Sideainemäärä suunnitellaan vakioksi koko pilarin pituudelle yksinkertaisuuden vuoksi, jolloin maan heikoin kerros määrittää sideainemäärän. Myös niin sanottuja profiilipilareita on olemassa, ja niissä sideainemäärä vaihtuu pilarin eri syvyyksissä. Kun ei tehdä profiilipilareita, vaan tehdään pilari kokonaan samalla sideainemäärällä, voi pilarista tehdä keskimääräistä paremman. Tämä voi koitua ongelmaksi siksi, koska liian hyvin stabiloituneen kohdan läpi on vaikeaa lyödä paaluja. Sen vuoksi sideainemäärälle tarvitaan säätömahdollisuuksia eri syvyyksiin.

(Juvankoski, Valasti, Korkiala-Tanttu 2007, 11.)

3.2 Pilaristabiloinnin suunnitelmien esitystapa

Suunnitelmissa esitetään pilarointityölle asetettavat vaatimukset. Näistä tärkeimpiä ovat sideaineen laadusta ja määrästä sekä valmiin pilarin lujuudesta eri ajankohtina asetettavat vaatimukset. Näissä tulee esittää myös esittää pilareiden sijaintiin ja laadunvaihteluun liittyvät toleranssit. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 14.)

Kuvassa kahdeksan (8) näkyy pilaristabiloinnin työkuva, jonka mukaan kohde tehdään ja josta työmies pystyy seuraamaan, mitä kaikkea on jo tehty ja mitä ei.



Kuva 8. Pilaristabiloinnin YIT:n työkuva

Suunnitelmat perustuvat usein joko yhteen tai kahteen mitoitusajankohdtaan. Ensimmäisenä mitoitusajankohtana pidetään usein rakennusvaiheen aikaista mitoitushetkeä ja toisena käyttöönottovaiheen mitoitushetkeä. Kaikille eri mitoitusajankohdille esitetään suunnitelmassa lujuusvaatimukset pilareille. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 14.)

Suunnitelmapiirustuksissa on pyrittävä esittämään mahdollisimman täydellisesti maaston erityispiirteet, kuten täyttöalueet sekä erityisen vaikeakulkuiset alueet, jotta työnsuorittajalla on riittävän hyvät edellytykset työmenetelmien ja kustannusten arvioimiseksi. (Leppänen, M. 1990, 13.)

Esittämällä alueella olemassa olevat ja syvästabilointityöhön vaikuttavat rakenteet, kuten putki, johdot, kaapelit sekä mahdolliset perusrakenteet, vältetään ikäviltä yllätyksiltä ja helpotetaan työn sujuvuutta.

Nykyään pilaristabiloinnin toimintaprosessia esitetään 2D-tasolla. Perustuen pistemäisiin kairauksiin stabilointia varten luotavat kuvat ovat puutteellisia. Kairauksia tarvitaan maakerrosten määrittämiseksi, mutta suunnittelijan luoma maaperämalli on epätarkka, jolloin myös kuvaus stabiloituvuudesta on epätarkka. Stabiloituvuuskokeita tehdään harvoilta tasoilta esimerkiksi kahden metrin syvyydeltä ja käytetään yhdistettyjä näytteitä, jotka eivät kerro osakerroksista. (Juvankoski & Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 11.)

Pilaristabilointikoneiden GPS-järjestelmään ladataan sähköiset työkuvat, jotka toimivat kuljettajan apuna työn teossa. GPS tunnistaa koordinaattien avulla, missä kohdassa työmaalla kyseinen pilari tulisi olla (Kuvassa 9 näkyy pilaristabilointikoneen GPS, jossa on työkuva). Se näyttää pilarin sijainnin ja kyseisen pilarin numeron, jonka mukaan työmies täyttää paperikuvaan pilarit, jotka hän on tehnyt.



Kuva 9. Pilaristabilointikoneen GPS, jossa näkyy työkuva.

3.3 Pilaristabiloinnin suunnittelun kulku

Pilaristabiloinnin suunnittelun kulku etenee vaiheittain, kun muu suunnittelu etenee. Maasto- ja laboratoriotutkimukset ovat oleellinen osa suunnittelua, koska näiden perusteella luodaan onnistuneet ja oikeat pilaristabiloinnin suunnitelmat. (Lahtinen 2016.)

Ensimmäisenä suunnitelmista tehdään yleissuunnittelu, jossa katsotaan pilaristabiloinnin soveltuvuuden alustava selvitys. Toiseksi tehdään rakennussuunnittelu, jossa tehdään yksityiskohtainen mitoitus ja kustannustarkastelu.

Keskeisimpiä mitoituskeinoja ovat yksittäisen pilarin kantavuus, pilaristabiloidun alueen painuma sekä pilaroidun maapohjan stabiliteetti. Yleisimmät virheet syntyvät, kun pilarit mitoitetaan esimerkiksi penkereen stabiliteetin tai painuman mukaan, mutta samalla jätetään tarkastamatta yksittäisen pilarin kantavuus, joka saattaa ylittyä. Pilaristabiloidussa savessa pilarien ja ympäröivän saven oletetaan toimivan yhdessä siten, että niiden muodonmuutokset ovat yhtä suuret. Pilaristabiloinnin pilarit pystyvät ottamaan puristusta vastaan, mutta eivät juurikaan vetoa. Tämä huomioidaan suunnittelussa. Jos pilareille halutaan enemmän myös sivuttaisien voimien vastaan ottamista, tulee pilarointi tehdä lamelliksi. (Leppänen 1990, 7.)

Stabiloitavat maat saattavat olla nykypäivänä saastuneita, mikä tulee ottaa huomioon pilaristabiloinnin suunnittelussa. Pilaristabilointi on yksi saastuneiden maiden kunnostusmenetelmistä. Saastuneiden maiden pilaristabiloinnissa joko ylös kaivettuun maahan tai maan pintakerrokseen sekoitettuna lisätään sideainetta pilaristabilointiin, mikä saa aikaan reaktioita tai mekanismeja, jotka estävät haitta-aineiden kemiallisen sitoutumisen, aineiden kemiallisen muuttumisen ja/tai fysikaalisen pidättämisen. Haitta-aineet kuitenkin vaikuttavat sideaineen käyttäytymiseen. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 22.)

Pilaristabiloitavassa maassa haitta-aineiden olemassaolo muuttaa tuoreen tai kovettuneen sideaineen ominaisuuksia, mistä yleensä aiheutuu lujittumisen viivästymistä ja alhaisempi lujuus kuin mitä saastumattomassa maassa olisi. Pilaristabiloinnissa käytettävään portlandsementin hydrataatioon on usein vahingollinen vaikutus epäorgaanisilla ja orgaanisilla haitta-aineilla. Kuitenkaan kaikkien haitta-aineiden vaikutukset eivät ole tuhoisia, sillä jotkut haitta-aineet saattavat jopa parantaa pilaristabiloinnissa sideaineen ominaisuuksia, etenkin pilarien lujuutta. Nämä tulee huomioida, kun pilaristabilointia suunnitellaan, jotta saadaan haluttuja lopputuloksia. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 22.)

3.4 Pilaristabiloinnin sideaineet

Pilaristabiloinnissa käytettävän sideaineen sekoituksella on suuri merkitys pilarin lujuuteen ja tasalaatuisuuteen. Oleellinen asia on sideaineen syötön tasaisuus ja hallittavuus, riittävän tehokas sekoitustyö sekä paineilman käytön minimointi. (Tiehallinto 2001, 10.)

Sideaineen nousuna kerrotaan 20 mm, jolloin tämä myös kertoo sen, kuinka usein syöttömäärä rekisteröidään. Tämä mittaus perustuu säiliön massan vähenemiseen sideainetta syötettäessä, mikä myös asettaa rajoitukset todelliselle mittaustarkkuudelle. Nykyisin päästään 1 kg:n mittaustarkkuuteen tyypillisesti. Sideaineen syöttöä pystytään myös säätelemään syvyyssuunnassa. (Liikennevirasto 2010, 11.)

Sekoituskärjen tarkoituksena on saada aikaan mahdollisimman tehokas eli Sekoituskärjen tarkoituksena on saada aikaan mahdollisimman tehokas eli tasainen sideaineen sekoittuminen saveen samalla, kun sillä pitäisi olla pilaria tiivistävä vaikutus. Tämän vuoksi kärjen siipien tulisi olla kallistettu siten, että sekoitus tehostuu samalla kun kärki tiivistää pilarin. Mikäli sekoitustasoja eli siipiä on useampia, tehostuu sekoitus entisestään. Sekoituskärjen muodolla on merkittävä vaikutus pilarin lujuuteen ja ennen kaikkea tasalaatuisuuteen. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 34.)

Kierronnousussa yritetään saada tasaisempaa sekoitusta pilarille. Näin saadaan tasalaatuinen pilari. Liian suuren nousun pitäisi tehdä pilarista epähomogeeninen ja kerroksellinen, ja myös kärjen tiivistävä vaikutus jää vähäiseksi. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 19.)

Pilaristabiloinnissa käytettävien stabilointiaineiden alkuperä todennetaan ja dokumentoidaan. Seosaineesta ilmoitetaan ympäristön kannalta merkittävien kemiallisten aineiden määrät. Näiden seosaineiden kokeiden tulokset ja havainnot dokumentoidaan. Pilaristabiloinnin sideaine sisältää yleensä kalkkia ja sementtiä, mutta voi myös sisältää muita stabilointiin käytettäviä sideaineosia, esimerkiksi kipsiä.

Pilaristabiloinnissa käytettävän sideaineen tulisi olla juoksevuudeltaan selailaista, että sideaineen tasainen syöttö olisi mahdollista. (Liikennevirasto 2010, 17.)

Maan pehmein osa löytyy 1,5–2 metrin syvyydeltä maasta, minkä jälkeen maan oma rakenne alkaa lujittua, mitä alemmas maassa mennään. Tämä selittää sen, miksi sideaine ei ole joka kohdassa samassa ajassa lujittunut yhtä hyvin. Pehmeämpi osuus voi olla maa-ainesta, joka vaatii enemmän aikaa lujittumiselle, jolloin tämä kohta saattaa myöhemmin ottaa kiinni muiden maa-ainekerrosten lujittumisen. Tähän reaktioon vaikuttavat maan kemialliset ominaisuudet. (Lahtinen 2016.)

Pilaristabiloinnissa käytettävät sideaineet sisältävät yhtä tai useampaa stabiloivaa ainetta. Kalkki ja sementti ovat yleisimpiä komponentteja, joita pilaristabiloinnissa käytetään, mutta muitakin aineita, kuten kipsiä, käytetään. Sideainetta voidaan myös kutsua seossideaineeksi, jos tämä sisältää useampaa kuin yhtä ainetta.

Sideaineiden sekoituksissa voi olla kalkin ja sementin lisäksi myös jauhetta masuunikuonaa, lentotuhkaa ja muita teollisuuden sivutuotteita. Jotta ennestään tuntemattomalla sideaineseoksella saavutetaan lujuus ja työtekeminen kelpoisuus, on sillä tehtävä maastossa koepilarointeja. Uusille, ennestään tuntemattomille sideaineille tulee selvittää ympäristökelpoisuus. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 14.)

Suunnittelussa selvitetään sideaineen kelpoisuus pilaristabiloitavalle kohteelle. Työmaalla tulisi käyttää sellaista sideainetta, joka reagoi halutulla tavalla maakerrosten kanssa niin, että pilareille saadaan halutut ominaisuudet. (Liikennevirasto 2010, 17.)

Pilaristabiloinnissa käytettävät sideaineet eivät saa aiheuttaa itsessään tai maaperän kanssa reagoidessaan maaperän tai pohjaveden pilaantumista (Liikennevirasto 2010, 17).

Jotta haluttu vaikutus pilareille saavutetaan, voidaan tehdä kokeita, joilla tämä selvitetään. Mahdollisesti voidaan käyttää hyödyksi jo aikaisempien työmaiden tietoja, jos vastaavilla alueilla on tehty pilaristabilointityötä aiemmin. Nämä ennakkokokeet aloitetaan riittävän ajoissa ennen kuin työmaa alkaa. (Liikennevirasto 2010, 17.)

Saavutettava lujuus, joka halutaan pilareille maastossa, riippuu hyvin monesta tekijästä. Tekijöitä lujuuden saavuttamiselle voivat esimerkiksi olla maaperän laatu ja vesipitoisuus, käytettävä sideaine, sideainemäärä, sekoituskaluston kärki, sekoituskaluston kärjen kierroslukumäärä sekä nostonopeus. Saavutettavaa lujuutta voi myös heikentää lyhyellä ja pitkällä aikavälillä maaperässä olevilla sitoutumisen kannalta haitallisilla aineilla tai olosuhteilla. Näitä haitallisia aineita tai olosuhteita voivat olla esimerkiksi maamateriaalin korkea humuspitoisuus ja alhainen pH. Myös sulfidipitoisuus on haitallista stabiloinnin lujittumiselle. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 14.)

Sideaineen syöttöä seurataan jatkuvasti pilaristabiloinnin pilareiden teon aikana. Pilaristabilointikoneen tietokoneelta saadaan sideaineen määrä numeerisena tulostuksena esimerkiksi metrin välein ja tarvittaessa jatkuvana. Kuvassa 10 nähdään koneen hytti, jossa nähdään pilaristabilointikoneen tietokone ja GPS-järjestelmä. Vaakalukemien tarkkuuden on oltava vähintään 1 kg/m. Sideainemenekkien toleranssit ilmoitetaan suunnitelmissa. Näitä pystytään säätämään pilaristabilointikoneessa olevan tieto-

koneen avulla, johon kuski laittaa tarvittavat sideainetiedot. Näitä ovat esimerkiksi sideaine määrä (kg/m) sekä nousunopeus. (Lahtinen & Parkkinen 1992, 40.)



Kuva 10. Pilaristabilointikoneen hytti.

Määrän tarkkailu perustuu pilaristabilointikoneen vaakalukemien jatkuvaan seurantaan ja rekisteröintiin sekä vaa'an loppulukemien vertailuun. Tarkempia pilaristabiloinnin sideaineen määräyksiä ja vaatimuksia voidaan esittää suunnitelma-asiakirjoissa.

Pilaristabilointiaineiden ja niiden komponenttien myrkyttömyys ja kemiallinen koostumus varmistetaan ennen niiden käyttöä (Lahtinen & Parkkinen 1992, 40).

Pilaristabiloinnin stabilointisideaineiden ja niiden tehokkuus (terätasokierrosta/ pilarimetri) ovat riippuvaisia terän noususta kierrosta kohti ja sekoittimen terätasomäärästä niiden kaavan mukaisesti. Kaava on: sekoitus-työn tehokkuus = n/nousu kierrosta kohti, jossa n on terätasojen määrä sekoitinkärjessä (nykyisin tavallisesti 2-4) terän nousu/kierros (nykyisin yleensä 8- 15 mm/r). (Liikennevirasto 2010, 11.)

3.4.1 Pilaristabiloinnin vaikutus maan puristuslujuuteen

Stabiloinnin pilarin puristuslujuus on suoraan verrannollinen valittuun vesi-sideainesuhteeseen. Vesi-sideainesuhteella tarkoitetaan maaperän luonnollisen vesimäärän suhdetta valittuun sideainemäärään. Korkeita lujuuksia saavutetaan pienillä vesi-sideainesuhteilla eli silloin, kun sideaineen määrä on suuri suhteessa veden määrään. Kun vesi-sideainesuhde kasvaa kuivemmalla maaperällä, putoavat lujuudet jyrkästi, jolloin tällaisella maaperällä kannattaa käyttää kalkki-sementtiseosta, joka lujittuu paremmin. Vesi-sideainesuhteen kasvun myötä tapahtuva lujuuden voima-

kas putoaminen kuivatuilla näytteillä korostuu erityisesti pilaristabiloitaessa savista liejua yleisementillä. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu, 2007, 47.)

Puristuslujuuden vaihtelu syvyyssuunnassa on samanlainen kaikilla sideaineilla, jossa stabiloituvuus on heikko 3,5 metrin syvyydessä ja paranee ylös- ja alaspäin (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 26).

3.4.2 Pilaristabiloinnin sideaineen ominaisuus

Sideaineiden komponenteille vaaditaan CE- merkintä, millä osoitetaan materiaalin ominaisuudet eli sideaineen vaatimuksenmukaisuus. Vaatimuksenmukaisuus voidaan osoittaa myös rakennuspaikkakohtaisien kokeiden perusteella. Sementin vaatimuksenmukaisuus tulee osoittaa CE- merkinällä. (Liikennevirasto 2010, 17.)

Sideaineessa käytettyjen aineiden koostumus tulee ilmoittaa siten, että ympäristön kannalta merkittävien kemiallisten aineiden määrät käyvät ilmi. (Liikennevirasto 2010, 17.)

Haitta-aineiden ja sideaineen yhteistoiminta voi vaikuttaa lyhyt- tai pitkäaikaisesti pilaristabiloidun materiaalien ominaisuuksiin, mutta tätä ei täysin tunneta. Vaikutukset ovat riippuvaisia konsentraatiosta, ja myös useita haitta-aineita voi esiintyä samanaikaisesti. Haitta-aineet voivat joskus tehostaa toistensa toimintaa ja ne voivat muuttua reagoidessaan toistensa kanssa. Sideaineen ja haitta-aineiden yhteistoiminta voi johtaa riittämättömään lujuuskehitykseen, muutoksiin huokoisuudessa ja vedenläpäisevyydessä sekä pitkäaikaiskestävyyden alentumiseen, mikä voi johtaa siihen, että pilaristabilointia pidetään epäonnistuneena vaadittuihin fyysikaalisiin ja kemiallisiin parametreihin nähden. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 22.)

Pilaristabiloidun maan kestävyyttä ja pitkäaikaisominaisuuksia on tutkittu ja raportoitu joissain tapauksissa. Näissä materiaalien tutkimisessa ja ominaisuuksien arvioinnissa voidaan soveltaa ja käyttää hyödyksi betonitutkimuksissa saatuja tietoja, koska pilaristabiloitua maata voidaan pitää heikkolaatuisena betonina. Tosin sideaineet vaihtelevat, mutta kuitenkin lujuutta aikaansaavat reaktiotuotteet ovat useimmissa tapauksissa samankaltaisia kuin ne ovat myös betonissa. Tämä tarkoittaa sitä, että sideaineen rapautumismekanismit ovat tunnettuja, mutta materiaalin fyysisten ominaisuuksien määrittäminen ja yhteistoiminta ympäristön kanssa on vaikeammin määritettävissä. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 28.)

Pääkaupunkiseudun kaupunginosissa tunnetaan melko hyvin savet ja se, miten sideaineet lujittuvat kyseisille alueille. Sekoittamalla esimerkiksi kipsiä, masuunikuonaa tai tuhkaa sideaineeksi saadaan erilaisia ominaisuuksia, jotka saattavat parantaa tietyissä olosuhteissa pilarin leikkauslujuutta. (Lahtinen 2016.)

3.5 Pilaristabiloinnin indeksiomenetelmä

Indeksiomenetelmä on kehitetty osana pilaristabiloinnin tutkimusta VTT:llä. Indeksiomenetelmällä tutkitaan vesi-sideainesuhteen, vesipitoisuuden, sideaineen laadun, humuspitoisuuden sekä säilytysajan ja lämpötilan vaikutusta pilaristabiloidun maa-aineksen yksiakksiaaliseen puristuslujuuteen. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 42.)

Indeksiomenetelmällä on pyritty saamaan mahdollisimman nopea stabiloituuskoemenetelmä, jossa eri sideainemäärien sekä -laatujuen varioiminen (vaihtelu) olisi mahdollisimman vaivatonta ja nopeaa. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 43.)

3.6 Pilaristabiloinnin sideaine: kalkki

Käytettävä kalkki on kovaksi poltettua sammuttamatonta kalkkia CaO, jonka aktiivinen CaO-pitoisuus on vähintään 75 %. Tämä poltettu kalkki on hienojakoista, rakeisuudeltaan 0/0,2 siten, että vähintään 80 % läpäisee seulakoon 0,2 mm ja enimmäisraekoko on suurempi kuin 1 mm. (Liikennevirasto 2010, 18.)

Poltettu kalkkikivi valmistetaan polttamalla kalkkikiveä yli 1000 C^o:n lämpötilassa. Pääasiallinen aineosa on kalsiumkarbonaatti, josta poltossa poistuu hiilidioksidia ja jäljelle jää kalsiumoksidia. Polton jälkeen kalkki on raemaista ainetta, joka jauhetaan käyttötarkoituksen mukaan haluttuun hienousasteeseen.

Kemiallisilta ominaisuuksiltaan kalkki on emäsanhydridi, joka reagoi voimakkaasti veden kanssa. Laadultaan pilaristabiloinnissa käytettävän kalkin tulee täyttää sekä kemialliset että laitteistotekniset vaatimukset.

Kalkin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat

- vesiliukoisuus
- aktiivinen CaO- pitoisuus
- sammumisnopeus
- juoksevuus
- raekoko

Kalkin aktiivinen CaO-pitoisuuden tulee olla vähintään 75 %. Kalkin ja seosaineiden laatu todennetaan materiaalin toimittajan laatutositteista, joista ilmenevät kalkin CaO-pitoisuus ja rakeisuus sekä seossideaineen komponenttien määrät.

Kalkki on pilaristabiloinnissa tärkeä käytettävä sideaine, koska se homogenisoittaa pilaria.

3.7 Pilaristabiloinnin sideaine: sementti

Sementti on sideaineena yleisin, koska sitä voidaan käyttää pelkästään ja sitä on nykyisin lähes kaikissa stabiloinnin sideaineissa. Sementtiä heikentävinä tekijöinä vaikuttavat periaatteessa samat tekijät kuin betonirakenteillakin. Tulee kuitenkin muistaa, ettei stabiloinnissa käytetä raudoituksia, kun taas betonirakenteissa näitä käytetään, jolloin korroosio ei ole uhkana sementille. Betonin rasitusluokat määräytyvät ympäristöolosuhteiden mukaan ja niitä voidaan pitää olennaisina myös sementille, mutta niitä ei voi kuitenkaan verrata toisiinsa. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 20.)

Betoninormeissa annettuja arvoja voidaan pitää suuntaa-antavina stabiloinnin sideaineena käytettävälle sementille. Betonin jäätymis-/sulamisrasitus voi koskea myös lähimpänä maanpintaa olevaa stabilointia. Myös kemiallisia rasituksia voidaan hyödyntää stabilointia ajatellen. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 20.)

Hapot ja sulfaatit voivat vaikuttaa stabiloinnin onnistumiseen, koska hapot syövyttävät sementtikiven yhdisteitä, sillä sen reaktiotuotteet eli sulfaatit aiheuttavat myös betonin paisumisvaurioita. Sulfaattivaurioiden erityisolosuhde on merivesi, jonka kloridit voivat suurimmaksi osaksi ehkäistä sen sisältämien sulfaattien betonia vaurioittavan vaikutuksen. Masuuni-kuona parantaa sulfaattikestävyyttä, mikä johtuu siitä, ettei masuuni-kuona sisällä C_3A :ta, jolloin ettringiitin muodostuminen sulfaattien vaikutuksesta vähenee. Myös masuuni-kuona on kovettumisajankin jälkeen tiiviimpää kuin portlandsementtibetoni. Kuitenkaan pilaristabiloinnin kuivamenetelmällä tehtävässä pilaristabiloinnissa käytetään harvoin betoninormeissa esitetyn suuruisia sideainemääriä. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 22.)

Tyypillisessä orgaanisessa savessa sulfaatteja on 3–6 g/l, jolloin sementteistä suositellaan käytettäväksi sulfaatinkestävää portlandsementtiä tai kuonasementtiä, jonka kuonapitoisuus on vähintään 74 %. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 22.)

Pilaristabiloinnissa käytetään yleisimmin portlandsementtiä. Tämä sisältää portlandklinkkeriä ja yhteensä enintään 5 % seosaineita laskettuna klinkkerin ja seosaineiden yhteisestä määrästä. Muidenkin sementtilaatujen käyttö on mahdollista pilaristabiloinnissa.

Sementin sekoittaminen pitää olla huomattavasti tarkempaa kuin kalkin. Sementillä saavutetaan suurempia lujuuksia, mutta itse rakenne on kuitenkin hauraampi pelkällä sementillä tehtäessä, koska sementtipilarin sisälle saattaa jäädä osioita, jotka ovat tyhjiä ilmavia kohtia.

Käytettävä tavallinen sementti on standardin SFS- EN 197-1 mukaista, CE-merkittyä ja siitä Suomessa annettujen viranomaismääräysten mukaista sementtiä. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 11.)

Haitta-aineiden vaikutuksia sementillä stabiloidessa on pyritty arvioimaan muun muassa kiihdytyksellä vanhentamisella. Pelkkä kohotetun lämpötilan käyttö ei ole yksistään riittävä vanhentamisen aikaansaamiseksi. Kiihdytetyssä vanhentamisessa on käytetty kohotettuja lämpötiloja ja kiihdytettyä karbonointia.

Pilaristabiloinnissa ei juurikaan käytetä pelkästään sementtiä. Syynä tähän on sementin huono kyky diffuntoitua eli homogenisoitua. Kalkki on tästä syystä hyvä olla sementin kanssa pilaristabiloinnin sideaineessa. Sementti-pilari saattaa jäädä epähomogeeniseksi: vaikka pilariin saadaan lujia osia ja palasia, pilarissa on myös pehmeitä osia. (Lahtinen 2016.)

3.8 Pilaristabiloinnin: kalkki- sementti

Laatuvaatimukseen pätevät samat vaatimukset kuin kalkille ja sementille. Kalkki-sementti on nimensä mukaan kalkin ja sementin seosta. Tätä seosta voidaan valmistaa joko asemasekoitteisesti tai pilaristabilointikoneessa olevan sekoitinlaitteiston avulla.

Keskimääräinen kalkin ja sementin seossuhteen poikkeama suunnitelma-asiakirjoissa osoitetuista on enintään 5 prosenttiyksikköä. Yksittäisten seossuhteiden poikkeama suunnitelma-asiakirjoissa osoitetusta on enintään 10 prosenttiyksikköä.

Kalkki-sementtiseoksella saadaan parempi kokonaisuus aikaiseksi pilarille, koska sementti tuo pilarille lujuutta nopeammin ja kalkki homogenisoi pilarin rakenteen maastolle ominaiseksi. Kalkki-sementtiseos on perinteinen sideaine pilaristabiloinnissa, mistä kokemusten mukaan on usein saavutettu epätyytyttäviä stabilointituloksia. Uusilla sideainesekoituksilla, joissa on mukana muun muassa kuonaa, kipsiä ja lentotuhkaa, jotka ovat sekoitettu sementin tai kalkki-sementin kanssa, näistä seoksista on saavutettu parempia lujuuksia. Sulfidipitoisilla mailla on havaittu tarvittavan suurempia sideainemääriä tavallisiin saviin verrattuna. (Juvankoski, Valasti, Korkiala-Tanttu 2007, 23–24.)

Sideaineiden lisäaineita tarvitaan enemmän pilaristabiloinnissa sulfidimailla kuin niin sanottujen normaalisaviin stabiloinnissa. Sementin tai kalkin kanssa lisäaineita sekoittaen saadaan suurempi stabiloitu lujuus. (Juvankoski, Valasti, Korkiala-Tanttu 2007, 28.)

4 PILARISTABILOINNIN TYÖTEKNIIKOITA

4.1 Yleistä työtekniikoista

Työtekniikalla tarkoitetaan sitä, miten työ suoritetaan ja millaisilla apuvälineillä se toteutetaan. Pilaristabiloinnin työtekniikkaan lukeutuvat nousu- nopeus, terän koko, sideainemäärät (kg/m) sekä terän kierrosnopeus.

Pilaristabiloinnin työtekniikoita on erilaisia, muttei liikaa. Työtekniikoita ovat esimerkiksi eri pilarin välijaolla tehty kenttä tai lamellipilarointi. Lamellipilarointi tarkoittaa pilarointia, joka ovat tehty tiheästi vierekkäin ilman välejä. Niiden tarkoituksena on silloin ottaa myös vetoa vastaan puristuksen lisäksi.

Pilaristabilointikoneen sekoitinkärki upotetaan suunniteltuun alapään mitaan tai saven alapintaan asti (Kuvassa 11 on pilaristabilointikone, jonka kaira ja sekoitinkärki ovat upotettuina maahan). Tämän näkee yleensä työselostuksesta tai poikkileikkauksista. Kun kairaa aletaan nostaa maasta ylöspäin, aloitetaan pilarin sideaineen syöttö ja sekoitus maahan. Suomessa pilaristabiloinnin menetelmänä käytetään pääsääntöisesti kuivamenetelmää, jossa jauhemainen sideaine syötetään paineilmaa apuna käyttäen. (Tiehallinto 2001, 10.)



Kuva 11. Pilaristabilointikoneen kaira on maan sisällä.

Kun terää painetaan maahan, työnnetään siitä samalla ilmaa ulos, jottei terä tukkeudu. Ilman määrä ja paine kuitenkin pyritään minimoimaan, jotta savi ei häiriintyisi liikaa. Ilmamäärää voidaan tarvittaessa pienentää esimerkiksi terän nopeudella, upottamisella sekä mahdollisesti myös kehittämällä terään suljettavat suuttimet. (Tiehallinto 2001, 10.)

Pilaristabilointikoneen terällä ei pystytä läpäisemään kiviä tai lohkareisia täyttöjä eikä myöskään tiivistettyjä mursketäyttöjä. (Liikennevirasto 2010, 12.)

Pilaristabiloinnin pilarien yleisimmät käytettävät halkaisijat ovat: 500–800 mm. 1990-luvun alkupuolelta lähtien yleisimpiä halkaisijoita ovat olleet 600–700 mm:n pilarit. Mitä isompi terän halkaisija on pilaristabiloinnissa, sen haastavampaa on maanläpäisy, koska maassa on kuivakerros tai muita lujia maakerroksia. Myös sideaineen sekoittaminen maahan tasaisesti koko pilarille on haastavampaa isommalla terän halkaisijalla. Toisaalta pienemmän pilarihalkaisijan ja suuren pilarin pituuden yhdistelmä voi olla jopa riskialtis sideaineen syötön katkotilanteiden kannalta. (Tiehallinto 2001, 10.)

Pilarit ulotetaan suunnitelma-asiakirjoissa osoitettuun syvyyteen työsuunnitelman tai poikkileikkauksien mukaisesti. Pilaristabilointityö aloitetaan koepilarointiluontoisesti, jolloin suunnitelma-asiakirjoissa esitetyt arvot tarkistetaan. Pilarit valmistetaan painamalla sekoitin maahan määräsyyvyyteen. Painettaessa sekoitinta maahan vältetään paineilman käyttöä ja käytetään sen sijaan mekaanista sulkulaitetta. (Tiehallinto 2001, 14.)

Pilaristabiloinnissa sideaineen syöttö lopetetaan 0,3–0,5 metriä työalustan yläpinnan alapuolella, ellei suunnitelma-asiakirjoissa pilarin yläpään tasoa ole erikseen määritelty. Syöttö lopetetaan kuitenkin niin, ettei sideaine pääse purkautumaan ilmaan (kuten Kuvassa 12) ja näin ollen pölyämään ympäristöön. Sideaineen leviämistä pyritään estämään muutenkin kuin pelkän noston yhteydessä. Näin tehdään esim. tankkausten aikana, jolloin tehdään niin sanottu tomumonttu, johon tulee nimensä mukaisesti kuoppa ja sideainesäiliöstä tulevan letkun päälle suodatinkangas. Muitakin keinoja kuin tomumontut ja suodatinkangas pölyämisen estämiselle on. Itse työnteossa koneen kunto, työn laatu ja kuskin aktiivisuus työtehtäväsään ovat kuitenkin vaikuttavia tekijöitä. (Tiehallinto 2001, 37.)

Kuva 12. Pilaristabilointikoneessa on päässyt pölypilvi taivaalle, jota pyritään välttämään. (Partanen 2016, 18.10.)



Pilaristabiloitu alue pengerretään kerrospengerryksellä. Tämän ajankohta on suunnitelma-asiakirjojen mukainen. Pilaristabiloitualue esikuormiteaan stabiloinnin jälkeen suunnitelma-asiakirjoissa esitettävällä tavalla.

Tulevaisuuteen on suunnitteilla pilaristabilointiin liittyvä tietoverkottunut toimintaprosessi. Tietoverkottuneeseen toimintaprosessiin sisältyvät lähötietomittaukset, geotekninen 3D-suunnittelu, työprosessin simulointi ja virtuaalinen ohjaus sekä automaattinen työn ohjaus. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 12.)

Suunnittelija suunnittelee ja optimoi stabiloitavan pilarikentän painumaominaisuudet, kantavuudet ja stabiliteettivaatimukset täyttäväksi 3D-mallia käyttäen. Pilarikenttä käsittää stabiloitavan alueen, tarvittavat pilarien määrät, pilarien pituudet ja halkaisijat sekä pilarien väliset etäisyydet. Suunnitteluohjelmisto muuttaa edellä mainitut tiedot suoraan automatisoidun stabilointikoneen käyttämiksi syöttötiedoiksi, minkä jälkeen automatisoitu 3D-ohjaus vastaa suunnitellun pilarin aikaansaamisesta. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 12.)

Pilaristabiloinnintyön toteumatietoa mitataan jatkuvasti sekoitustyön aikana, ja tämä toteutusprosessi dokumentoidaan automaattisesti. Jatkuva mittaus ja dokumentointi antavat mahdollisuuden pilarikohtaisen lujouden reaaliaikaiseen arviointiin ja vertailuun. Sekoituskärkeen on mahdollista liittää reaaliaikaista mittaustietoa takaisinsyöttäviä mittalaitteita, joiden avulla sideaineen määrä voidaan vielä tarkentaa pilarikohtaisesti työn aikana. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 12.)

Pilaristabilointikonetta ohjataan manuaalia ja automaattisia koneohjausrutiineja käyttäen. Pilarin teossa käytettävä syvyysuuntainen ohjaus ja

siitä saatavat dokumentaatiot voivat jäädä puutteelliseksi ja pilari epähomogeeniseksi olosuhteista johtuen. (Juvankoski, Valasti, Korkiala-Tanttu 2007, 11.)

Laboratorioissa tutkitaan pilarien leikkauslujuuksia, jolloin huomataan se, että maastossa saavutettu leikkauslujuus on yleensä pienempi kuin mitä laboratorion olosuhteissa näytteillä saadaan aikaan. Saavutettava leikkauslujuus maastossa riippuu maaperän ominaisuuksista, käytettävästä sideaineesta ja sen määrästä, saavutettavasta lujuudesta sekä tuotantoon liittyvistä tekijöistä. Ero laboratorioissa ja maastossa saavutetulle leikkauslujuudelle johtuu kuitenkin sideaineen ja maamateriaalin tehokkaamasta sekoittamisesta laboratorioissa. Laboratorioissa ei ole samoja olosuhteita kuin mitä maastossa sekoitustyöllä on, joten laboratorion tulokset muunnetaan maastossa saavutettavaksi lujuudeksi. Tämä tehdään redusointikertoimella (redusointi=muutos), jonka suuruuteen vaikuttavat periaatteessa samat asiat kuin maastossa saavutettavaan lujuuteen. Tuotantoon liittyviä tekijöitä ovat kärkikappaleen muoto, sekoitusteho (joka koostuu nostonopeudesta/ kierroslukumäärästä koneen terälle) sekä syötöpainne. (Juvankoski, Valasti & Korkiala-Tanttu 2007, 31.)

Pilaristabiloinnissa käytettävän suunnitteluohjeen mukaan laboratoriolujuutta voidaan käyttää sellaisenaan ilman redusointikerrointa vain, kun

- pilarien leikkauslujuustavoite on alle 120 kPa
- sideaineena käytetään kalkki- sementtiä
- sideainemäärä korotetaan 10 % laboratorioissa käytetystä.

(Juvankoski, Valasti, Korkiala-Tanttu 2007, 32.)

4.2 Pilaristabiloinnin työtekniikan ohjeistus

Työtekniikan ohjeistuksen määrittelee suunnittelija, koska suunnittelija asettaa alueelle sideaineen kilomäärät ja lujuuden vaatimuksen.

Ohjeistusta määrittelevät myös esimerkiksi InfraRyl ja tilaajan laatimat laatusuunnitelmat. Näissä kerrotaan nousun sallitut arvot, mahdolliset kaltevuudet sekä muut työtekniikkaan liittyvät vaatimukset. Näitä vaatimuksia on jo työssä käsitelty aiemmin (ks. luku 2).

Työtekniikan ohjeistuksen annosta työmiehelle huolehtii työnjohto. Työnjohdon tulee kertoa koneenkuljettajille, miten ja millaiset pilarit työmaalle tulee tehdä.

4.3 Pilaristabiloinnin työtekniikan vaikutus

Pilarikoneen sekoitussiivekkeiden nousu- ja pyörimisnopeus on säädettävissä. Sekoitussiivekkeet ovat muotoilultaan sellaisia, että ne pyöriessään tiivistävät sekoitettavaa maata. Sekoitinosa varustellaan työturvallisuuden

vuoksi suojalla, jotta maa- ja sideaine ei roisku ympäristöön sekoittimen upotuksen alussa ja noston loppuvaiheessa.

Pilareita tehtäessä kiinnitetään erityistä huomiota sekoitustekniikkaan. Homogeenisuuteen pyritään varmistamalla, että sideaineen syöttö on tasaista ja että sideaine leviää tasaisesti koko pilarin poikkipinnalle. Puhallettava ilmamäärä on sideaineen syöttövaiheessa mahdollisimman pieni.

Työn tulokseen heijastuvat kaikki epäyhtenäiset menettelytavat, vaikka toki epätasaiseen lopputulokseen voivat olla syynä myös pohjaolosuhteet. Sekoitustyöhön vaikuttavat monet tekijät, joita ovat

- sekoituksen määrä
- sekoituskärjen nousu kierrosta kohti
- siipien lukumäärä ja muotoilu
- sideaineen syötön katkokset ja tukkeumat
- sekoittimen ylösveto maanpinnan lähellä (vaikuttaa lähinnä pilarin yläosan laatuun).

Pilaristabiloinnin laatuun vaikuttavat pilarin sideaine sekä se, miten pilari tehdään. Sekoitus on tärkeämpiä vaikuttavia tekijöitä pilaristabiloinnissa eli siinä katsotaan, kuinka paljon sekoitustyö homogenisoi pilaria. Sekoitustyön jälkeen mietitään, mikä sen diffuusionopeus on kyseisessä sideaineessa, jota pilariin käytetään. Lisäksi tarkastellaan sideaineen vaikutusaikaa, mikä tarkoittaa pilarin homogenisoitumisaikaa. (Lahtinen 2016.)

Pilaristabilointia saatetaan myös esikuormittaa, kun se on tehty. Esikuormituksen määrä pilareille riippuu siitä, onko kyseessä märkä vai kuiva ja jäykkä maaperä. Esikuormituksessa on yleisesti käytetty noin yhden metrin pengertä, koska suurempi pengerrys saattaa vaurioittaa pilaroinnin. Jos pengerrystä on liikaa, voi pilari siis menettää stabiliteettinsa, jolloin pilari voi leikkaantua. Tämän jälkeen pilari on mennyt piloille. (Lahtinen 2016.)

4.4 Pilaristabiloinnin työtekniikan toimivuus

Vaadittavaan pilaristabiloinnin sekoitustyön määrään vaikuttavat erityisesti maaperäolosuhteet, sideaineen laatu ja juoksevuus sekä terän (sekoittimen) rakenne. Käytettävä sekoitustyön määrä määritellään alustavasti suunnitelma-asiakirjoissa. Sekoitustyön tehokkuus voidaan määrittää terätasokierrosten lukumäärällä. Terätasolukumäärä saadaan terätasojen lukumäärä kerrottuna sekoituskierrosten lukumäärällä -periaatteella. Terätasoksi lasketaan taso, jonka kaltevuus kulkusuuntaan on vähintään 15°.

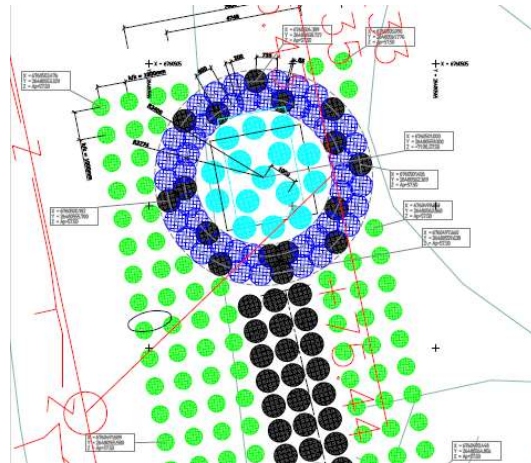
Kaikissa pilaristabiloinnin kohteissa on tarkistettava maanrakenteen vakavuus sekä ilman stabilointia, että stabilointi huomioon ottaen. Vakavuus ilman pilaristabilointia vaikuttaa siihen, kuinka pilarien ja maan voidaan olettaa toimivan yhdessä. (Liikennevirasto 2010, 24.)

Pilaristabiloinnissa käytetään lamellirakennetta (Kuva 13 havainnollistaa lamellirakenteen työkuvassa), jossa siis pilarit leikkaavat toisiaan. Tällä lamellirakenteella saadaan stabiileitin kannalta vahvin rakenne, jolloin siihen saadaan parempi leikkauslujuus kuin erillisillä yksittäisillä pilareilla. Rakenteen tulee olla yhtenäinen, jotta se on toimiva. (Lahtinen 2016.)



Kuva 13. YIT:n työkuvassa näkyy lamelli pilarointia, jolla tuetaan tulevaa silta rakennetta.

Pilaristabiloinnissa tehdään myös kennomaisia rakenteita, joilla saadaan lamellin tapaan kestäviä rakennekokonaisuuksia. Stabilointi voi myös olla pyöreä, jolla voidaan tehdä esimerkiksi kaivantoja ja kaivoja (Kuva 14). Pyöreään stabilointiin tehdään nimensä mukaisesti pyöreä osuus, joka kaivetaan keskeltä, jolloin siihen tulee puristus joka puolelta. (Lahtinen 2016.)



Kuva 14. Pyöreä stabilointi

5 YHTEENVETO/ JOHTOPÄÄTÖKSET

Yhteenvetona voidaan todeta, että sideaineeseen ja sen toimivuuteen vaikuttavat lähinnä maan ominaisuudet, työtekniikka sekä tavat, joilla pilaristabilointia tehdään.

Sideaineen laadun tulee siis olla hyvää ja oikeanlaista, kun se saapuu työmaalle, jotta se toimisi halutulla tavalla maa-ainesten kanssa. Myös työtekniikan tulee olla laadultaan hyvää ja sekoitustyön huolellista. Työtekniikan huolellisuudesta vastaa koneenkuljettaja, joka säätää koneen asetuksia ja tietää mitä tekee. Koneenkuljettajan ohjeistuksesta vastaa puolestaan työnjohto.

Pilaristabilointi on siis hyvä mahdollinen keino saada heikosti kantavalle maalle hyvä kantokyky, joka ennaltaehkäisee maan liiallista painumisia. Myös esimerkiksi teiden kuntoa parannetaan tällä menetelmällä.

Johtopäätöksenä voidaan pitää tämän työn mukaan sitä, että sementillä saadaan yhtä hyvin lujuutta kuin kalkki-sementtiseoksella. Toki kalkki on tärkeä osa pilaristabilointia sen diffuntoitumiskyvyn takia (homogeenisuuden). Kalkkia käytetään myös siksi, koska pilarilla pitää olla tietty homogeenisuus, jotta rakenne on oikeanlainen. Myös työtekniikka ja koneen oikea ohjattavuus ja käsittely ovat tärkeitä osia pilaristabiloinnissa, jotta sekoitustyö olisi mahdollisimman tasalaatuista.

Kipsipitoiset sideaineet eli GTC on hitaammin lujittuvaa yleensä pitkän aikaa vielä normaalista lujittumisen ajasta. Myös kalkin lujittuminen on pidempiaikaista, mutta sementillä lujittuminen on nopeaa eikä jatku ajansaatossa pitkälle. (Lahtinen 2016.)

Pilarit olivat koostumukseltaan pehmeämpiä pilaristabiloinnin alkuvuosina, kun pilareita tehtiin pelkällä kalkilla. Siksi sementti kalkin kanssa on nykyään paras ja yleisin vaihtoehto pilaristabiloinnissa. (Lahtinen 2016.)

Sideaineilla saavutetaan usein parempia lujuuksia kuin mitä olisi haluttu. Tämä johtuu siitä, että sideaine valitaan maan osien heikoimman osan mukaan, jolloin muulle maan rakenteille sideainetta voi olla liian iso määrä. Tätä määrää toki pystyy muuttamaan koneessa niin, että eri maa-aineskerroksille olisi omat sideainemäärät. Tällöin voidaan saada tasalaatuista pilaria koko pilarin matkalta, koska jokainen maa-aineskerros on huomioitu erikseen.

LÄHTEET

Donald, A. (n.d.) Deep Mixing method for ground improvement. Emerging construction technologies Venetsia. Haettu 5.1.2016 osoitteesta <http://wpvcemweb02.itap.purdue.edu/ect/links/technologies/civil/deep-mix.aspx>

Juvankoski, M. Valasti, P. Korkiala- Tantt, L. (2007) POHVA 1 3D- maape-rämalli syvästabilointiin ja paalutukseen sekä pohjasuhdetiedon hallinnan riskit. VTT

Korhonen, O. (1990). *RIL K128-1990*. Painopaikka Pikapaino Paatelainen Oy

Lahtinen, P. Parkkinen, E. (1992). *Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje*. Helsinki, Tielaitos.

Leppänen, M. (1990). *RIL K128-1990*. Painopaikka Pikapaino Paatelainen Oy

Paatsema, M. Kangas, H. (2003). Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seuranta-tutkimukset. Geotekninen osasto, Helsingin kaupunki.

Rakennustieto Oy (2010). *InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatu-vaatimukset osa1 Väylät ja alueet*. Helsinki, Rakennustieto Oy.

Salo, P. (2010). Syvästabiloinnin suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikennevirasto Helsinki 11/2010. Haettu 19.10.2016 osoitteesta http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-11_syvasta-biloinnin_suunnittelu_web.pdf

Tiehallinto (2001). Syvästabiloinnin suunnitteluohje. Tiehallinto Helsinki 12/2001. Haettu 17.10.2016 osoitteesta <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100008-v-04.pdf>

Weckman, H. (1995). Epäkelpoisten maiden paikallinen käsittely ja hyödyntäminen.

YIT (2015). Pilaristabilointi. YIT Rakennus Oy 10/2015. Haettu 17.10.2016 osoitteesta http://www.yit.fi/yit_fi/infrapalvelut/maa--ja-pohjarakentaminen/pilaristabilointi

YIT- Kalusto (2011). KP2011 Käyttö- ja turvallisuusohje. YIT Kalusto Oy

HAASTATTELUT

Forsman, J. & Wingvist, F. (2016) Pilaristabiloinnin sideaineet ja työtekniikka. Haastattelu, 26.10.2016, Ramboll Oy, Espoo

Lahtinen, P. (2016) Pilaristabiloinnin sideaineet ja työtekniikka, Haastattelu. 31.10.2016, Ramboll Oy Laboratorio, Luopioinen.