

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

2022

Onerva Oksman

Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus ja pilaristabiloinnin hankinta



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaaja: DI Juha Forsman (Ramboll Oy)

2022 | 72 sivua, 10 liitesivua

Onerva Oksman

Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus ja pilaristabiloinnin hankinta

UUMA4-ohjelman työryhmä 7 (Syvästabiloinnin uusiosideaineet) on kehittämässä syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitusta (SSV) ja sen rinnalla stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitusta (SPV). Tämä on kehitteillä oleva luokitusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on edistää stabiloinnin sideainereseptöinnissä ja hankinnassa vähähiilisen sideaineen valintaa ja vähentää pilaristabiloinnin sideaineiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. SSV-luokat kuvaavat kuinka paljon CO₂e-päästöjä syntyy sideaineen valmistuksesta ja kuljetuksesta työmaalle sideainetonnin kohden (kg CO₂e /t-sideaine). SPV-luokissa huomioidaan näiden lisäksi myös tarvittava sideainemäärä vaaditun pilarilujuuden saavuttamiseksi. Luokitus on kehitysvaiheessa ja valmis luokitus saattaa poiketa tässä työssä pohjana käytetystä ja esitellystä luonnosversiosta.

Hankinnassa SSV- tai SPV-luokka asetetaan tekniseen asiakirjaan (pilaristabiloinnin työselostus). Työssä esitellään SSV- ja SPV-luokituksen periaatteet ja vaihtoehtoja luokkien käyttämiseen pilaristabiloinnin työselostuksessa riippuen sideainereseptöinnin ja toteutuksen menettelyistä. Päästöluokkien tarkoituksena on asettaa perinteisten InfraRYLissä esitettyjen teknisten vaatimusten lisäksi myös päästökriteerit pilaristabilointityölle.

Tarkastelukohteena työssä toimi Turun Topinpuiston pohjanvahvistukset pilaristabiloinnilla. Alueella tehtiin koestabiloinnit uusiosideaineilla 03/2022 tulevia tuotantostabilointeja ajatellen. Koestabilointituloksista tarkasteltiin saavutettuja pilarilujuuksia ja käytettyjä sideainereseptejä. SSV- ja SPV-luokituksia tarkasteltiin esimerkkikohteen avulla. Tarkastelun perusteella SSV- ja SPV-päästöluokkia voitaisiin hyödyntää myös Topinpuiston alueen tulevien stabilointien hankinnassa asettamalla päästöluokka kriteeriksi urakkatarjoukseen. Työn tilaajana toimi Ramboll Finland Oy sekä Lounais-Suomen Jätehuolto Oy (Tommi Itkonen). Työn ohjausryhmään kuuluivat Ilari Simonen (Ramboll Finland Oy) ja Otto Kaarto (Ramboll CM Oy).

Asiasanat:

pilaristabilointi, uusiosideaine, hiilijalanjälki

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

Instructor: Juha Forsman M.Sc. Eng. (Ramboll Oy)

2022 | 72 pages, 10 pages in appendices

Onerva Oksman

Low carbon classification for deep mixing binders and procurement process of column stabilization

The UUMA4 programme (task 7 “Deep mixing with recycled binders”) is developing a low carbon classification for binders (SSV) and for stabilized columns (SPV). This classification is still under development and its purpose is to promote the selection of low carbon binders in design and procurement. SSV-classification includes emissions from the manufacturing and transport of the binder (kg CO₂e /t-binder). In addition to these, the SPV-classification also includes the amount of binder which is needed to achieve the required column strength. The classification is still in development stage and the finished classification may differ from the draft used in this thesis.

In procurement, the SSV- or SPV-category is set in the technical document (work specification for column stabilization). This thesis presents the principles of SSV- and SPV-classification and alternatives for using them in work specifications depending on the procedures of binder prescription and implementation. The purpose of the emission categories is to set emissions criteria for column stabilization, in addition to traditional technical requirements presented in InfraRYL (Finnish General Specifications for Infra Construction Work).

The subject of inspection in this thesis was the ground improvement of Turku Topinpuisto using column stabilization. A test column stabilization using recycled binders was executed in March of 2022 at Topinpuisto area. The achieved column strengths and used binder recipes were examined in this thesis. SSV- and SPV-classifications were also examined using the results of the test stabilizations. Based on the review, the SSV- and SPV-classifications could be used in the acquisition of future stabilizations in the Topinpuisto area by setting the emission class as a criterion in the tender for the contract. The clients of the thesis were Ramboll Finland Oy and Lounais-Suomen Jätehuolto Oy (Tommi Itkonen). The steering group of the thesis included Ilari Simonen (Ramboll Finland Oy) and Otto Kaarto (Ramboll CM Oy).

Keywords:

pillar stabilization, recycled binder, carbon footprint

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	9
1 Johdanto	11
2 Pilaristabilointimenetelmä	12
2.1 Sideaineet	13
2.2 Pilaristabiloinnin suunnittelun ohjeet	18
2.3 Pilaristabilointityön ja valmiin pilarin laadunvalvonta	19
2.3.1 Pilareiden laadunvarmistus-kairaukset (QA)	20
2.3.2 Työn aikainen ohjaava laadunvarmistus (QC)	21
2.4 Pilaristabiloinnin käyttökohteet Suomessa	24
3 Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset	26
3.1 Globaalit vaikutukset	26
3.2 Paikalliset ympäristövaikutukset	29
4 BY-, SSV- ja SPV-vähähiilisyysluokittelu	31
4.1 BY-vähähiilisyysluokitus betonille	31
4.2 SSV- ja SPV-luokitus	33
4.2.1 Menetelmän periaate	33
4.2.2 SSV-luokitus	34
4.2.3 SPV-luokitus	36
4.2.4 Vähähiilisyysluokitus pilaristabiloinnin hankinnassa	40
4.2.5 Ympäristöseloste (EPD)	42
4.2.6 Kompensaatiot	43
4.2.7 Sideainereseptöinnin lähtötiedot	43
4.2.8 Vähähiilisten sideaineiden saatavuus	45
5 Pilaristabiloinnin hankinta	47
5.1 Hankinnan vaihtoehdot	47
5.1.1 Tilaaajan suunnitelma ja sideaineresepti (ve1)	47
5.1.2 Tilaaajan suunnitelma ja urakoitsijan sideaineresepti (ve2)	48

5.1.3 Tilaajalta tekniset vaatimukset ja urakoitsijalta KV-suunnitelma (ve3)	50
5.1.4 SSV- ja SPV-luokitus hankintavaihtoehtoisissa	50
6 Topinpuiston alue	53
6.1 Koestabilointien suunnitelma	54
6.2 Koestabiloinnit	55
6.2.1 Aikataulu	55
6.2.2 Sideaineet	55
6.2.3 Koepilareiden hiilidioksidipäästöt	59
6.2.4 Valvontakairausten tulokset	60
6.3 Ympäristöntarkkailu	63
6.4 SSV-luokituksen soveltuvuus Topinpuiston tuotantostabilointiin	64
6.5 SPV-luokituksen soveltuvuus Topinpuiston tuotantostabilointiin	65
7 Yhteenveto ja johtopäätökset	67
Lähteet	70

Liitteet

- Liite 1. Mallityöselostus A
- Liite 2. Mallityöselostus B
- Liite 3. Mallityöselostus C
- Liite 4. Mallityöselostus D

Kuvat

Kuva 1. Pilaristabilointikone Topinpuiston koestabilointikentällä.	13
Kuva 2. Koestuksia varten esiinkaivetut ja merkatut pilareiden yläpäät Topinpuistossa.	21
Kuva 3. Topinpuiston koestabilointien tarkepiirustus.	24
Kuva 4. Pilaristabilointimäärät Suomessa sisältäen vuoden 2019 määrät.	25

Kuva 5. Pilaristabiloinnin päästöjen muodostuminen eri rakentamisvaiheissa sideainekohtaisesti teoreettisessa tiekohteessa.	27
Kuva 6. Sideaineiden valmistuksen päästökertoimet.	28
Kuva 7. Vähähiilisyysluokituksen toiminta käytännössä.	32
Kuva 8. Pilaristabiloinnin sideaineen hiilijalanjälki muodostuu elinkaaren tuotevaiheessa ja sideaineen kuljetuksesta työmaalle.	36
Kuva 9. SSV-luokituksen toiminta käytännössä.	36
Kuva 10. Vaihtoehto 1 on nykyisin julkisessa hankinnassa yleisimmin käytetty vaihtoehto syvästabiloinnin hankintaan.	48
Kuva 11. Vaihtoehto 2 on syvästabiloinnin hankintamalli, jossa urakoitsija vastaa sideainereseptoinnista.	49
Kuva 12. Topinpuiston aluesuunnitelma 6/2022.	53
Kuva 13. Koetoiminta-alueen sijainti, Topinpuisto.	54
Kuva 14. Topinpuiston koestabilointialue. Koeruudut ja pilarikaavio.	55
Kuva 15. Lujittumattomat koekappaleet sullottuna näyteputkiin.	56
Kuva 16. Sideainemäärällä 80 kg/m ³ saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä.	62
Kuva 17. Sideainemäärällä 120 kg/m ³ saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä.	62
Kuva 18. Sideainemäärällä 160 kg/m ³ saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä.	63

Taulukot

Taulukko 1. Erilaisiin maakerroksiin soveltuvat sideaineet ja sideaineen määrät tavoite leikkauslujuudeltaan 150 kPa pilareille.	18
Taulukko 2. Syvästabiloinnin kokonaispäästöt kg CO ₂ e ja %-osuus päästöistä Helsingin kaupungin rakennuskohteissa.	27
Taulukko 3. BY-vähähiilisyysluokittelu.	32
Taulukko 4. Eri päästöluokkien arvioitu saatavuus vuonna 2022.	33

Taulukko 5. SSV-luokitus ja luokitusta vastaavat sideaineen päästökertoimet. Kertoimet sisältävät sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt	35
Taulukko 6. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokitus.	37
Taulukko 7. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,5 m.	38
Taulukko 8. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,6 m.	39
Taulukko 9. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,7 m.	39
Taulukko 10. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,8 m.	40
Taulukko 11. Topinojan ennakkotutkimuksissa ja/tai koestabiloinneissa käytettyjen uusiosideaineiden arvioitu saatavuus vuonna 2022 ja sideaineiden tai sideainekomponenttien valmistuspaikat.	46
Taulukko 12. Vastuiden jakautuminen vaihtoehtoisissa kokonaisurakoissa A-D, joissa sovelletaan SSV tai SPV -luokitusta.	51
Taulukko 13. Koestabiloinnissa käytetyt sideaineseokset ja niiden raaka-aineet.	58
Taulukko 14. Topinpuistossa toteutetun koestabiloinnin sideainereseptit (laatu + määrä).	58
Taulukko 15. Topinpuiston koestabilointi. Koealueiden pilareissa käytettyjen sideaineiden päästöt (sisältävät valmistuksen ja kuljetuksen).	59
Taulukko 16. Topinpuiston koestabilointi. Sideaineseosten päästökertoimet	60
Taulukko 17. Topinpuisto. Valvontakairausten tulosten, sideaineen SSV-luokan ja sideainemäärän perusteella määritetyt SPV-luokat eri sideaineille erilaisilla pilareiden tavoitelujuuksilla. Taulukko on tarkkuudeltaan suuntaa antava.	65

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

SSV-luokitus	syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus (kehitysvaiheessa)
SPV-luokitus	stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitus (kehitysvaiheessa)
syvästabilointi	massasyvästabilointi tai pilaristabilointi
kuivastabilointi	menetelmässä maa-aines hajotetaan mekaanisesti ja sideaine sekoitetaan ja syötetään kuivana maa-ainekseen
pilari	sekoitinkärjellä in situ-menetelmällä valmistettu yksittäinen tai viereistä leikkaava lieriömäinen elementti, jonka halkaisija määräyty sekoitinkärjen halkaisijan mukaan. Paineilmalla syötetään sideainetta maahan sekoitinkärjellä, jolla sideaine sekoitetaan maa-ainekseen, josta lujituttuaan muodostuu stabiloitu pilari.
runkoaine	stabiloitava maa-aines tai maakerros
sekoitinkärki	maa-aineksen rakenteen hajottamiseen, sideaineen syöttämiseen ja sideaineen sekoittamiseen tarkoitettu työkalu
sideaine	kemiallisesti reaktiivinen materiaali (esimerkiksi sementti, kalkki, kuona, tuhka ja kipsi)
tuotteistamaton sideaine	esim. jättepohjainen materiaali, jota käytetään sideaineena ja sitä ei ole tuotteistettu sideainekäyttöön
tuotteistettu sideaine	esim. kaupallinen sideaine on stabiloinnin sideainekäyttöön tuotteistettu CE-merkitty tuote

seossideaine	sideaine, joka sisältää useampaa kuin yhtä stabiloivaa sideainetta, ks. sideaineen määritelmä. (Liikennevirasto, 2018) Seossideaineiden jotkut seosaineet ovat CE-merkittyjä (esim. sementti), mutta seossideaineille ei ole harmonisoitua EN-standardia, minkä mukaan CE-merkinnän voisi tehdä (henkilökohtainen tiedonanto K. Kuusipuro, 2.12.2022).
sideainemäärä	sideaineen kuivapaino käsiteltävän maa-aineksen tilavuusyksikköä kohden (kg/m^3)
sideaineresepti	määrittää käytettävän sideaineen tyypin ja määrän (kg/m^3)
stabilointi määräsyyvyyteen	pilari- tai massastabiloinnin alle jätetään pehmeitä maakerroksia
stabiloitu pohjamaa	pilarien välinen maa yhdessä
täyteaine	täyteaineen reaktiivisuus on vähäinen tai sitä ei ole lainkaan, mutta se edistää sideainereaktiota ja lisää stabiloidun materiaalin lujuutta; täyteaine voidaan syöttää kuivana painesyöttimen kautta (esim. kuiva heikosti reaktiivinen tuhka)
CO ₂ e-ekv. (kg/tn)	hiilidioksidiekvivalentti, joka kertoo kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärän
HaSu	happamilla sulfaattimailla (HaSu) tarkoitetaan rikkipitoisia sedimenttejä, orgaanisia materiaaleja (hehkutushäviö LOI > 20 %; esim. turve ja lieju) ja moreenia, joista vapautuu sulfidien hapettumisen seurauksena haitallisia määriä happamuutta maaperään ja vesistöihin.

1 Johdanto

Pilaristabilointi on syvästabilointimenetelmä, jolla pyritään parantamaan pehmeän maan kuten liejun ja saven ominaisuuksia lisäämällä sen leikkauslujuutta ja vähentämällä kokoonpuristuvuutta. Tämä tapahtuu sekoittamalla sideainetta maahan niin, että syntyy lujittuneita pilareita. Sideaineen osuus pilaristabiloinnin kokonaispäästöistä (CO₂e) on merkittävä. Perinteisesti käytetyn kalkkisementti-sideaineseoksen CO₂e-päästöt ovat erittäin suuret. Korvaamalla kalkkisementtiä uusiosideaineilla saadaan kokonaispäästöjä huomattavasti pienemmiksi. Uusiosideaineita ovat esimerkiksi erilaiset kipsit, kuonat ja tuhkat, joita syntyy teollisuuden sivuvirroista. Uusiosideaineiden käyttöä voitaisiin edistää asettamalla stabilointiurakoiden teknisiin ja kaupallisiin asiakirjoihin kirteerit CO₂e-päästöille tai kierrätysmateriaalien minimiosuudelle.

UUMA4-hankkeen työryhmä 7 ”Syvästabiloinnin uusiosideaineet” on kehittämässä ehdotusta sideaineiden ja stabilointipilareiden hiilidioksidipäästöjen luokitteluun. Luokitusten nimet ovat: syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus (SSV) ja stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitus (SPV). Opinnäytetyössä on esitetty, miten luokituksia voidaan käyttää pilaristabiloinnin työselostuksessa hankinnan kriteerinä. Luokituksen käytettävyyttä työselostuksessa arvioidaan esimerkkikohteen Turun Topinpuistossa 03/2022 tehtyjen koestabilointien avulla. Koepilarien laadunvalvontakairauksilla määritettyjä koepilarien keskiarvoleikkauslujuuksia hyödynnettiin luokituksen testaamisessa. Työselostuspohjasta arvioitiin luokituksen kehitystarpeita sekä käyttämisen mahdollisia riskejä hankintaan ja toteutukseen liittyen.

Työssä käydään läpi, miten SSV- ja SPV-luokituksia voidaan hyödyntää työselostuksessa erilaisilla pilaristabiloinnin hankintamenettelyillä. Työssä esitellään myös pilaristabilointi pohjanvahvistusmenetelmänä. Työssä käsitellään uusiosideaineiden ympäristöasioita, muutoin kuin CO₂e-päästöjen osalta, vain pintapuolisesti.

2 Pilaristabilointimenetelmä

Pilaristabiloinnissa pehmeään maa-ainekseen (esim. savi, siltti ja/tai lieju) sekoitetaan kemiallisia seosaineita, jotka reagoivat maa-aineksen kanssa. Saavutettu lujuus on riippuvainen sideaineen laadusta ja määrästä. Lujuus on riippuvainen myös maan ominaisuuksista kuten maan rakeisuudesta, vesi-, rikki-, ja humuspitoisuudesta sekä maan leikkauslujuudesta. Suomessa käytetään ns. pohjoismaista kuivamenetelmää, jossa sideainejauhe syötetään sekoitinkärjen ja paineilman avulla maa-ainekseen, jolloin muodostuu lujittuneita pilareita. (Liikennevirasto, 2018.)

Pilarin halkaisija on tavallisesti 500, 600, 700 tai 800 mm. Maakerrosten läpäisy tavallista kovemman kuivakuorikerroksen tai muiden lujien maakerrosten kohdalla muuttuu hankalammaksi pilarin halkaisijan kasvaessa. Myös suurilla pilarihalkaisijoilla sideaineen jakautuminen tasaisesti koko pilarin poikkileikkaukselle saattaa olla ongelmallista. Sideaineen tasaisella jakautumisella on merkittävä vaikutus pilarin lujuusominaisuuksiin. (Liikennevirasto 2018.)

Pohjoismaissa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa käytössä olevissa koneissa on yksi sekoituskärki ja -tanko. Sideaine syötetään pilariin sekoitinkärkeä ylösnostettaessa ja sideaine sekoitetaan maa-ainekseen sekoitinkärkeä jatkuvasti pyörittämällä. Sekoitinkärjen pyörimisnopeus ja ylösnostonopeus valitaan sellaisiksi, että saavutetaan tasainen sekoittuminen. Pohjoismaisilla pilaristabilointikoneilla on valmistettu enintään noin 25 m pitkiä pilareita. Yleensä koneet varustetaan työmaille siten, että pilarien maksimipituus on noin 18-20 m. Maksimipituutta lähentelevien pilareiden toteuttamiseen liittyy haasteita, koska pilarien alapäiden sijaintitoleranssien tarkistaminen on hankalaa ja laadunvalvontaan liittyy teknisiä haasteita. (Liikennevirasto 2018.) Kuvassa 1 on esitetty pilaristabilointikone Topinpuiston koestabilointikentällä.



Kuva 1. Pilaristabilointikone Topinpuiston koestabilointikentällä (valokuva Onerva Oksman 9.3.2022).

2.1 Sideaineet

Sideaineet sisältävät yhtä tai useampaa stabiloivaa ainetta, jotka reagoivat runkoaineen kanssa. Useampaa stabiloitavaa ainetta sisältäviä sideaineita kutsutaan sideaineseoksiksi. Sideaineseoksissa on lähes aina poltettua kalkkia tai sementtiä tai molempia. Lisäksi riittävällä sideainemäärällä saadaan myös hyvä lujittuminen humuspitoisissa savikerroksissa. (Liikennevirasto 2018.)

Kalkkisementti on hyvin päästöintensiivinen. Vertailuarvona voidaan käyttää esimerkiksi Nordkalk Terra KC50 (kalkkisementti 50/50 %) valmistuksen päästökerrointa, jonka arvo on 844 kg CO₂e/t ja tuotteistettu uusiomateriaaleja sisältävä Nordkalk Terra GTC (sementti, kalkki ja kipsi), jonka valmistuksen päästökerroin on 186 kg CO₂e/t. Kalkkisementin KC50 päästökerroin on siis 4,5 kertaa suurempi. (Nordkalk 2022.) Pilaristabiloinnin hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää siis huomattavasti käyttämällä uusiosideaineita kalkkisementin sijaan.

Pilareiden sideainereseptointi tehdään usein 1 tai 3 kk lujittumisaikaa vastaavasti. 3 kk:n lujittumisajan etuna on se, että haluttu mitoituslujuus saavutetaan pienemmällä sideainemäärällä ja pienemmillä CO₂e-päästöillä kuin 1 kk lujittumisajalla. Tämä perustuu siihen, että sideaineiden lujittumiskerroin (3 kk lujuuden suhde 1 kk lujuuteen) on seossideaineilla tyypillisesti 1,3-1,4. (Liikennevirasto 2018.)

Kaikissa Suomessa valmistetuissa syvästabiloinnin sideaineissa on uusiomateriaaleja (Forsman 2022). Uusiosideaine on seos, jonka raaka-aineena on käytetty jossakin osakomponentissa tai kaikissa osakomponenteissa jättepohjaista materiaalia. Uusiosideaineet voivat olla tuotteistettuja. Näillä tuotteilla ei ole jätenimikettä. (Helsingin kaupunki 2022). Jätteiden hyötykäyttöä säädetään ympäristösuojelulaissa ja jätelaissa sekä niiden nojalla annetuissa valtioneuvoston asetuksissa. (InfraRYL 2022). Kaikkien käytettyjen sideaineiden suunnitelmanmukaisuus tulee osoittaa joko CE-merkinnällä, tuotehyväksynnällä tai rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla. (Liikennevirasto 2018.)

Uusiosideaineiden eli erilaisten sivu- ja jättepohjaisten sideaineiden haasteita voivat ovat sivutuotteiden riittävyys ja tasalaatuisuus, logistiikka, toimitusvarmuus sekä tuotteen hyväksyttäminen. (Liikennevirasto 2018.) Käytettäessä uusiosideaineita tulisi huomioida (Liikennevirasto 2018):

- kahden tai useamman sideainekomponentin syöttömahdollisuus ja tarvittaessa sideainekomponenttien sekoittaminen keskenään jo ennen varsinaista stabilointityötä
- materiaalien saatavuus sekä laatu ja laatuvariaatio
- materiaalien välivarastointitarpeet
- materiaalien käsittely ja siirtotekniikka työmaalla
- sideainekomponenttien tai etukäteen sekoitetun sideaineseoksen säilyvyys
- sivutuotekomponenttien sideaineensyöttölaitteistoa mahdollisesti kuluttava vaikutus

- sivutuotemateriaalien käyttöön liittyvät ilmoitus- ja lupa-asiat.

Sideaineen laatua voidaan tutkia näytteillä ja niiden laboratoriotutkimuksilla. Tutkittavia ominaisuuksia voivat olla materiaalin lujuus, vedenläpäisevyys sekä ympäristöominaisuudet, kuten liukoisuus. (Koivulahti 2022).

Suomessa tavallisimmin käytössä olevia sideaineita ovat seuraavat:

Sementti

Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi, josta saadaan kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). Tämän lisäksi tarvitaan kivilajeja, jotka sisältävät piioksidia (SiO_2), rautaoksidia (Fe_2O_3) ja alumiinioksidia (Al_2O_3). (Finnsementti.) Sementti lujittaa myös sellaisia maalajeja, joissa pelkkä kalkki lujittaa huonosti. Sen alkulujittuminen on nopeaa, mutta pitkäaikaislujittuminen vähäistä. Pelkällä sementillä tehdyt pilarit ovat usein melko hauraita. Sekoitustyö vaikuttaa sementillä stabiloidun maan lujuuteen merkittävästi, minkä takia laboratorioissa usein saavutetaan suurempia lujuuksia kuin in situ. (Liikennevirasto, 2018.) Masuunikuonasementissä (CEM III) uusiosiomateriaalin osuus on 36-95 % riippuen sementin laadusta. Masuunikuonasementteillä stabiloitujen pilareiden ominaisuudet saattavat poiketa Portland- tai Portlandseossementteillä (CEM I ja II) stabiloiduista pilareista. (SFS-EN 197-1, Forsman 2022.)

Kalkki

Sideaineissa käytetään usein poltettua kalkkia (CaO). Pelkkä poltetu kalkki (CaO) oli 1980-luvun loppupuolelle asti selvästi yleisin sideaine. Sideaineseoksissa voidaan käyttää myös sammutettua kalkkia (Ca(OH)_2). Poltetu kalkki on hyvin reaktiivinen sideaine, ja se sitoo vettä erittäin tehokkaasti. Kalkin alkulujittumisvaihe on usein hidas, mutta pitkäaikaiset potsolaaniset lujittumisreaktiot voivat jatkua vuosia stabilointityön jälkeen. Kalkilla saavutetaan usein pilareille suurempi sitkeys, mutta lujuus jää melko matalaksi. Pelkällä kalkilla ei voida stabiloida humuspitoisia maita. (Liikennevirasto 2018.)

Kalkkiuunin sähkösuodinpöly

Sähkösuodinpölyä syntyy kalkinpolton yhteydessä. Uunin savukaasut johdetaan sähkösuodattimeen ja sieltä savukaasupuhaltimen kautta savupiippuun, josta syntynyt pöly ja tuhka kuljetetaan pneumaattisella kuljettimella keräyssiiloon. Kalkkiuunin sähkösuodinpöly sisältää kalsiumkarbonaattia (CaCO_3) ja poltettua kalkkia (CaO). Sähkösuotimien suodinpölyä on hyödynnetty vuodesta 2004 enemmän, koska sitä ei voi viedä enää kaatopaikalle. Suodinpöly sisältää vain vähäisiä määriä raskasmetalleja. (Ympäristökeskus 2008.)

Lentotuhka

Lentotuhka on metsä- ja energiateollisuuden energiantuotannon savukaasuista erotettava tuhka- ja polttoaineena käytetään kivihiiltä, turvetta sekä puuperäisiä ja muita kiinteitä biopolttoaineita tai lajiteltuja jättepohjaisia polttoaineita, niin kutsutussa rinnakkaispoltossa. Polttoaineen koostumuksen mukaan puhutaan kivihiilen poltosta, rinnakkaispoltosta ja seospoltosta. Kemialliselta koostumukseltaan lentotuhkat voidaan jakaa kalkkipitoisiin ja silikaattipitoisiin. Silikaattipitoinen tuhka koostuu pääasiassa piin, raudan ja alumiinin oksideista. Kalkkipitoisessa lentotuhkassa pääasialliset yhdisteet ovat piin, kalsiumin ja alumiinin oksidit sekä sulfaatit. (Infra 062-710191, 2018.)

Silikaattipitoisella lentotuhkalla on tyypillisesti pozzolaanisia ominaisuuksia, jolloin se sitoutuu ja kovettuu veden vaikutuksesta, kun saatavilla on kalsiumhydroksidia tai -oksidia. Kalkkipitoisella lentotuhkalla voi puolestaan olla hydraulisia sekä pozzolaanisia ominaisuuksia. Hydraulisten ominaisuuksien vuoksi se voi sitoutua ja kovettua pelkän veden vaikutuksesta. Tuhkat sisältävät pieniä määriä haitta-aineita, tyypillisesti raskasmetalleja ja sen vuoksi niiden hyötykäyttökelpoisuutta arvioidaan liukoisuus- ja kokonaispitoisuusmääritysten avulla. (Infra 062-710191, 2018.)

Kipsi

Kipsiä saadaan teollisuuden sivuvirtoina hiilivoimaloiden savukaasujen puhdistuksessa syntyvästä kipsistä. Savukaasut johdetaan kalkkikivilietteeseen märkämenetelmänä, ja kemiallisista reaktioista syntyy kipsiä. (Knauf 2020.) Syntyvää kipsiä käytetään sideaineseoksissa (Piispanen 2017).

Masuunikuonajauhe

Masuunikuona on piilevästi hydraulinen sideaine, jota saadaan jauhamalla granuloitua masuunikuonaa. Granuloitua kuonaa saadaan, kun raakaraudan valmistuksen yhteydessä syntyvä emäksinen sulate jäähdytetään vesisuihkuilla, jolloin kuonasta tulee lasimaista. Masuunikuona kehittää lujuutta lähes yhtä paljon kuin sementtiklinkkeri. (Finnsementti.)

Masuunikuonan päästöihin lasketaan vain jauhatuksesta ja kuljetuksesta syntyvät päästöt. Masuunikuonaa voidaan yleensä lisätä sideaineena runsaita määriä ja korvata perinteisiä päästöintensiivisiä sideaineita. Kuonasementtejä on kehitetty jo 1800-luvun loppupuolella. Kuonan määrä on korkeintaan ollut 85 % seoksesta, ja yleensä kuonan määrä on noin 70 %. Eurooppalainen sementtistandardi (SFS-EN 197-1) sallii muun muassa sementin, joka sisältää 95 % masuunikuonaa ja 5 % sementtiklinkkeriä (CEM III/C) (Punkki 2021). Taulukossa 1 on esitetty kalkin, sementin, lentotuhkan ja kuonan soveltuvuudet erilaisiin maalajeihin, kun pilareiden tavoiteleikkauslujuus on 150 kPa.

Taulukko 1. Erilaisiin maakerroksiin soveltuvat sideaineet ja sideaineen määrät tavoite leikkauslujuudeltaan 150 kPa pilareille (Kivi 2021, mukaillen Kirch & Bell 2013).

Maalaji	Sideaine*	Sideaineen määrä kg/m ³	Huomio
Savi	K, S, K/S, K/S/LT	70–150	—
Sensitiivinen savi	K, K/S, K/S/LT	70–100	Nopea reaktio erityisesti poltetulla kalkilla
Silttinen savi	K/S, S, S/KU	70–110	Korkea sementointiaste sementillä
Liejuinen savi	S, K/S, S/KU	100–200	Hidas reaktio, pieni määrä poltettua kalkkia nopeuttaa reaktiota
Lieju	S, S/KU	120–250	Hidas reaktio. Vaikea määrittää lujittumista.
Sulfaattisavi	S, K/S, S/KU	120–250	Hidas reaktio. Epähomogeeninen lujittuminen. Kokemusperäinen tieto tärkeätä.
Siltti	S, S/KU, K/S	100–150	—
Hiekkainen siltti	S, S/KU	60–110	Vesipitoisuus täytyy olla vähintään 30 %.
Turve	S, KU/S	150–300	Riittävät kenttä- ja stabiloitavuuskokeet tärkeitä
Ruoppausmassa	S, S/KU, S/FA	70–110	—

* K = kalkki; S = sementti; LT = lentotuhka; KU = kuona

2.2 Pilaristabiloinnin suunnittelun ohjeet

Pilaristabiloinnin suunnittelussa sovellettavien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestys on seuraava (Liikennevirasto 2018):

1. Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
2. Yhteentoimivuuden tekniset eritelvät YTE
3. Väyläviraston antamat hankkeen suunnitteluperusteet
4. Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet (noudatetaan LVM:n kansallisia liitteitä, jos samasta eurokoodista on sekä YM:n että LVM:n kansalliset liitteet)
5. Väyläviraston Eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI-sarja), oleellisimpana NCCI7 Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu LO13/2017

6. Väyläviraston Tien geotekninen suunnittelu LO10/2012 ja Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne LO13/2018 10

7. Syvästabilointiohje LO17/2018

8. Väyläviraston ohjeet:

- LO 10/2015 Geotekniset tutkimukset ja mittaukset
- LO 14/2018 Penkereiden stabiliteetin laskentaohje

9. Muut ohjeet ja oppaat:

- Massastabilointikäsikirja 2014
- Rakennustuotteiden CE-merkintä (Liikenneviraston opas 2015).

Ohjeiden nimet on päivitetty vastaamaan 11/2022 tilannetta.

2.3 Pilaristabilointityön ja valmiin pilarin laadunvalvonta

Stabiloinnin toteutuksen ja lujittuneen stabiloidun maan vaatimukset esitetään suunnitelma-asiakirjoissa. Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään myös stabilointityön dokumentointi ja toteutuneesta rakenteesta tehtävät laadunvalvontatoimenpiteet. Sideaineen vaatimuksenmukaisuus eli materiaalin ominaisuuksien varmennus tehdään InfraRYL:ssä litteroiden 14131 ja 14132 mukaan. Urakoitsijan vastuulla on stabilointityön vaatimusten täyttyminen ja urakoitsijan tulee dokumentoida tehty stabilointityö. Lisäksi toteutusta valvoo rakennuttajan paikallisvalvoja. (Liikennevirasto 2018.)

Laadunvalvonta ja -varmistus sisältää stabiloinnin työnaikaisen tuotantoa ohjaavan laadunvalvonnan (QC) ja stabiloinnin jälkeisen toteavan laadunvarmistuksen (QA). Toteavan laadunvarmistuksen tekee yleensä urakoitsijan palkkaama ulkopuolinen laadunvalvontakonsultti. Joissakin tapauksissa rakennuttaja hoitaa toteavan laadunvalvonnan kokonaisuudessaan tai tekee omia täydentäviä tutkimuksia urakoitsijan teettämien tutkimusten lisäksi. Kun syvästabiloidun maan laatuvaatimukset lujuuden osalta täyttyvät,

voi kohteen rakentaminen jatkua suunnitelman mukaisesti. Jos laatuvaatimukset eivät kaikilta osin täyty tarvitaan lisätoimenpiteitä. Korjaavia ratkaisuja voivat olla muun muassa uusien pilareiden tekeminen, esikuormituksen tehostaminen tai pengerkuorman vähentäminen sekä tutkimusten toistaminen pidemmän lujittumisajan jälkeen. (Liikennevirasto 2018.)

2.3.1 Pilareiden laadunvarmistus-kairaukset (QA)

Lujittuneiden pilareiden leikkauslujuudet määritetään kairauksilla ja niitä tehdään suunnitelma-asiakirjoissa esitetty määrä (InfraRYL, 2022). Kairauksilla varmistetaan myös lujittuneen stabiloidun maan homogeenisuus. Kairausmenetelmiä ovat: pilarikairaus, pilarisiipikairaus, puristinkairaus (CPTU) ja puristinheijarikairaus. Pilarikairaus on yleisimmin käytetty ja sen rinnalla käytetään usein pilarisiipikairausta. CPTU-kairausta käytetään harvoin stabiloinnin laadunvalvontaan. Pilareista voidaan tehdä myös näytteenottoja.

Valvontakairaukset tehdään yleensä 14-30 vuorokauden lujittumisajan jälkeen (Liikennevirasto 2018). Usein kairaukset olisi tarkoituksenmukaista tehdä vasta 90 vrk kuluessa. Laadunvalvontakairaukset suoritetaan esiinkaivetun pilarin yläpäästä (kuva 2). Valvoja valitsee tutkittavat pilarit ja urakoitsija kaivaa pilareiden yläpäät esiin.

Pilareista tehdyistä lujuustutkimuksista laaditaan tutkimusraportti, jossa esitetään kairaustulokset, kairaustulosten perusteella lasketut pilarien leikkauslujuudet, leikkauslujuuksien keskiarvot ja vaihtelut sekä poikkeamat lujuuksissa verrattuna suunnittelulujuuteen. Tutkimusraportissa esitetään tutkittujen pisteiden sijainnit kartalla sekä tutkittujen pilareiden ikä tutkimushetkellä. Tutkimusraporteissa esitetään myös mahdollisesti otettujen näytteiden laboratoriotutkimusten tulokset. Raportissa esitetään myös arvio suoritettujen kairausten edustavuudesta kohteessa. (InfraRYL 2022.)



Kuva 2. Koestuksia varten esiinkaivetut ja merkatut pilareiden yläpää
Topinpuistossa (Ramboll Oy).

2.3.2 Työn aikainen ohjaava laadunvarmistus (QC)

Stabilointipöytäkirja

Stabilointipöytäkirjasta käyvät ilmi seuraavat asiat (InfraRYL 2022):

- pilarin tekopäivämäärä
- pilarin tunniste
- sää stabiloinnin aikana (ellei kirjata työmaapäiväkirjaan)
- pilarin ala- ja yläpään korkeustaso (z-korko)
- pilarin sijainti (x- ja y-koordinaatit)
- maanpinnan taso pilarin kohdalla pilaria tehtäessä
- sideaine
- sideaineen syöttömäärä pilareittain (kg/pilari, sideainesäiliön vaa'an lukemat ennen pilarin tekoa ja sen jälkeen)
- sideainesyötön rekisteröinti jatkuvana diagrammina
- toteutunut pilarin kaltevuus
- häiriöt pilareiden kaltevuudessa

- sekoitinkärjen pyörittämiseen tarvittava vääntömomentti (suositus jatkuvana diagrammina)
- sekoitinkärjen nousu- ja pyörimisnopeus pilarin syvyyden mukaan.

Pöytäkirjan liitteenä esitetään yhteenveto työn aikana ja pöytäkirjan tarkastuksen yhteydessä havaituista poikkeamista verrattuna laatuvaatimuksiin. Liitteissä esitetään myös laboratoriotutkimuslomakkeet sideaineseoksen ja sen ainesosien kelpoisuudesta. Pöytäkirjoista käy ilmi hylättyjen pilareiden tilalle tehdyt uudet pilarit. (InfraRYL 2022.)

Kelpoisuusasiakirja

Kelpoisuusasiakirjaan liitetään toteumapiirustuksen tai -mallin tueksi seuraavat rakennuttajat tarkastamat dokumentit:

- painumatarkkailun tulokset
- tiedot esikuormituksesta ja kuormitusajasta
- stabilointipöytäkirjat
- raportit pilareiden laadunvarmistuskokeista (esim. valvontakairaukset ja näytetutkimukset)

Toteumamalli sisältää sijaintitiedon lisäksi myös pilarihalkaisijat ja suunnittelulujuuden. (InfraRYL 2022.)

Sideaineen laatu

Kaikkien sideaineessa käytettyjen aineiden koostumus ilmoitetaan (kemialliset aineet ja määrät). Kaikkien sideaineiden alkuperä tulee todeta ja dokumentoida. Sideaineseoksen, lukuun ottamatta CE-merkityn sementin, laatua tarkkaillaan ottamalla sideainenäytteet (noin 2 kg) työn alussa ja kerran jokaista käytettyä 1000 t:n sideaine-erää kohti. Sideainenäytteet tutkitaan tarvittaessa laboratoriossa suunnitelma-asiakirjoissa määritetyillä tutkimuksilla. (InfraRYL 2022.)

Sideaineen syöttömäärän (kg/m) tulee olla suunnitelmien mukainen. Työmaan tulee myös esittää sideaineentoimitusraportti, jossa kerrotaan työmaalle toimitetun, vähintään suunnitelmien ja toteutuneiden pilarien yhteispituuden mukaisen sideainemäärän (kg). (Liikennevirasto 2018.)

Pinta- ja pohjavesiseuranta

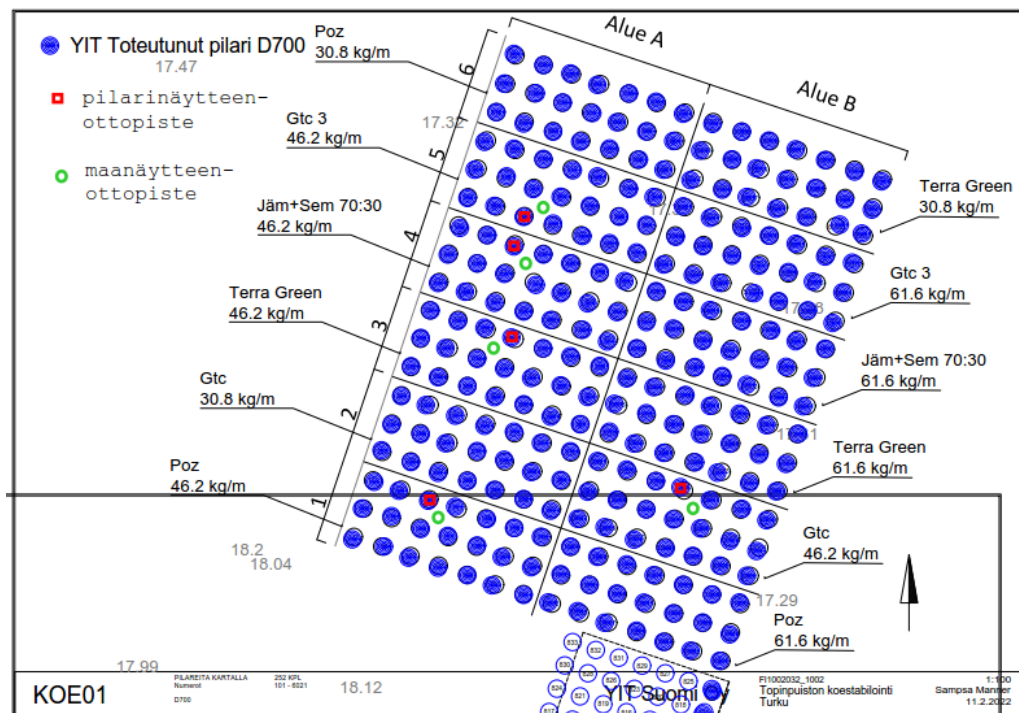
Stabilointialueen läheisyyteen voidaan asentaa pohjavesiputkia, joita käytetään syvästabiloinnin ympäristötarkkailussa. Pohjaveden laatu voidaan tutkia ennen stabilointia tai koestabilointia, sen aikana ja sen jälkeen. Alueen pintaveden laatua voidaan tarkkailla tekemällä pH-mittauksia ja näytteenottoja (Nguyen 2021.) Mikäli pohjaveden laatua seurataan, asennetaan pohjavesiputket ylä- ja alavirran puolelle stabilointiin nähden. Tätä ennen tulee arvioida pohjaveden virtaussuunta. (Valjakka 2022.) Pohja- ja pintaveden laadun seuranta stabilointityön yhteydessä, on harvoin käytetty menettely.

Koestabilointi

Lujittumisen selvittämiseksi koestabilointi tulee tehdä, jos syvästabilointi toteutetaan tavanomaisesta poikkeavasti esim. sideaineen tai runkoaineen osalta. Isoissa kohteissa koestabiloinnilla voidaan myös optimoida sideainemääriä ja -kustannuksia. Koestabiloinnilla voidaan selvittää pilaristabiloinnin käytettävyyttä paineellisen pohjaveden alueilla. Koestabiloinneilla voidaan selvittää myös stabiloinnin toteutettavuus, jos maassa on esimerkiksi luja kuivakuorikerros tai tiiviimpiä välikerroksia. Kokeiden avulla voidaan myös tarkentaa suunniteltuja toteutus-, lujittumis- ja painuma-aikoja. (Liikennevirasto 2018.)

Tarkepiirustukset

Urakoitsija laatii osa-alueittain pilareiden sijainneista tarkepiirustukset, joista käy ilmi pilareiden, osa-alueiden ja pilarikenttien sijainti ja numerointi (InfraRYL 2022). Kuvassa 3 on esitetty Topinpuiston koestabiloinneista tehty tarkepiirustus. Piirustus on koordinaatistossa, joten siitä ilmenevät toteutuneet sijaintitiedot. Tarkepiirustukset voidaan korvata tai tehdä myös mallipohjaisesti (toteumamalli).

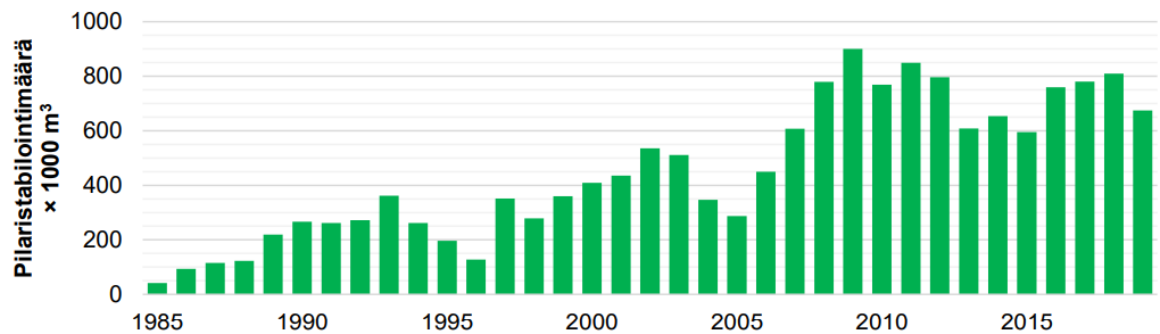


Kuva 3. Topinpuiston koestabilointien tarkepiirustus (YIT Oyj 2022).

2.4 Pilaristabiloinnin käyttökohteet Suomessa

Syvästabilointia käytetään yleensä tie- ja katupenkereiden sekä meluvallien stabiileetin parantamiseen ja painuman vähentämiseen. Syvästabiloinnin varaan voidaan perustaa kevyitä rakenteita, joita ovat esimerkiksi porttaaliperustukset, pumppaamot, raittien kevyet sillat, teräsputkisillat ja putkijohtojen perustaminen. Yleensä perustettavan rakenteen tulee olla staattisesti määrätty. Stabilointi esikuormitetaan usein ennen rakenteen

perustamista. Syvästabilointia voidaan käyttää pysyviin ja väliaikaisiin rakenteisiin. (Liikennevirasto 2018.) Pilaristabiloinnin vuosittainen määrä on ollut Suomessa 2010-luvulla välillä 600 000-900 000 m³ (kuva 4), joka vastaa vuosittaista 1,5-2,5 milj. pilarimetriä olettaen pilarihalkaisijaksi 0,7 m



Kuva 4. Pilaristabilointimäärät Suomessa sisältäen vuoden 2019 määrät (Kivi, 2021, muokattu Kuusipuro (2020) esittämien tietojen pohjalta).

Pilaristabiloinnin käyttökohteita ovat esimerkiksi (Liikennevirasto 2018):

- penkereiden, vallien ja putkijohtojen perustaminen
- painumien ja stabiiliteetin parantaminen
- paalujen sivusuuntaisen vastuksen lisääminen (työnaikaisesti tai pysyvästi)
- kaivannon pohjan tai luiskan vahvistaminen
- tuetun kaivannon ponttien passiivi- ja/tai aktiivipuolen lujuuden lisääminen
- pohjannousun estäminen
- liikennetärinän estäminen tai haittojen lieventäminen
- kaivu- ja ruoppausmassojen käsiteltävyyden parantaminen
- rakennus- tai täyttömateriaalin tuottaminen heikkolaatuisesta kaivumaasta
- sulfidisavien ja muiden happamien maiden liukoisuuden vähentäminen ja estäminen (pH:n säätö)
- haitta-aineiden eristäminen ja kiinteyttäminen (pilaantunut maa).

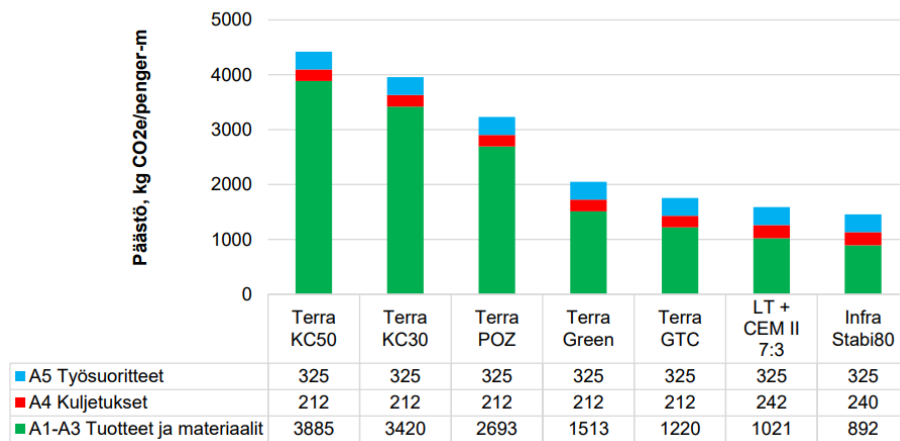
3 Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset

3.1 Globaalit vaikutukset

Kasvihuonekaasupäästöjen vaikutukset ovat globaaleja. Pilaristabiloinnissa sideaineen valmistuksen päästöt ovat suuret jopa yli 90 % syvästabiloinnin CO₂-päästöistä. Vähähiilisillä pilaristabiloinnin uusiosideaineilla voidaan vähentää CO₂-päästöistä jopa 70–80 % verrattuna perinteisiin sideaineisiin. Kuvasta 5 käy ilmi päästöjen muodostuminen eri työvaiheissa pilaristabiloinnissa teoreettisessa tiekohteessa, joka sijaitsee Pohjois-Helsingissä. (Kivi 2021.)

Helsingin kaupungin infrarakentamisessa syvästabiloinnista syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat toiseksi suurimmat maa- ja kiviaineksesta syntyvien päästöjen jälkeen taulukossa 2 esitetyn mukaisesti (Aalto 2022).

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennetussa ympäristössä on ensisijaisen tärkeää ja päästövähennysten osalta infrarakentamisessa on merkittävästi säästöpotentiaalia. Päästöjen vähentämiseen motivoivat myös päästökaupan aiheuttamat kustannukset ja EU:n tulevan taksonomian vaikutus rakentamisen hiilidioksidipäästöihin. (UUMA4 2022.)



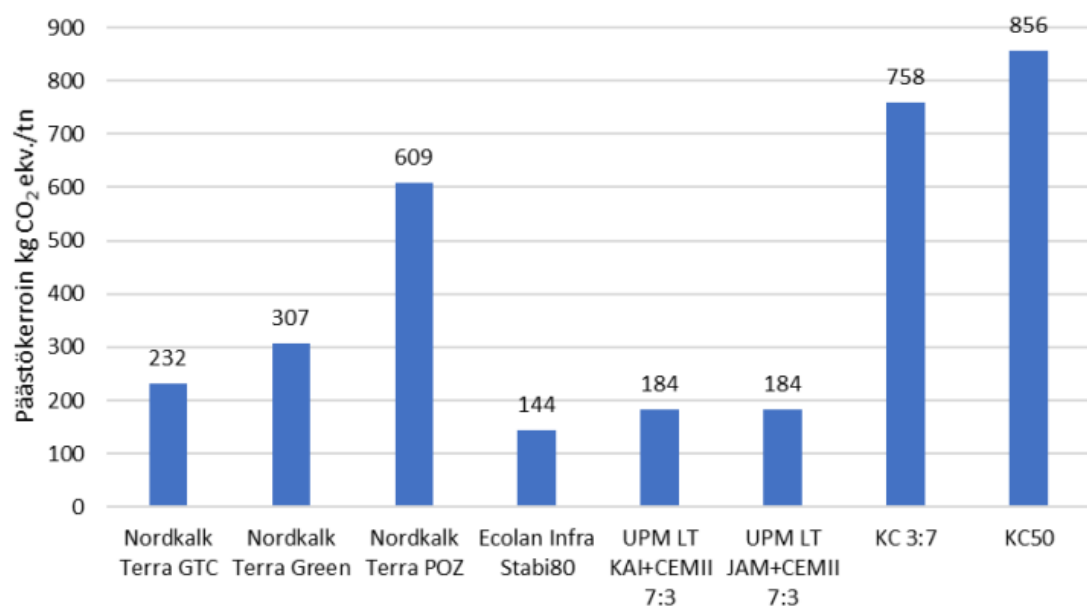
Kuva 5. Pilaristabiloinnin päästöjen muodostuminen eri rakentamisvaiheissa sideainekohtaisesti teoreettisessa tiekohteessa, joka sijaitsee Pohjois-Helsingissä. Sideaineen määrä on 110 kg/m³ ja pehmeikön syvyys on 8 m (Kivi 2021.)

Taulukko 2. Syvästabiloinnin kokonaispäästöt kg CO₂e ja %-osuus päästöistä Helsingin kaupungin rakennuskohteissa (Aalto 2022).

Selite	Kokonaispäästöt (kg CO ₂ ekv.)	Osuus päästöistä (%)	Järjestys kustannusten mukaan
Maa- ja kiviainekset	11 235 900	24.0	1
Syvästabilointi	10 774 300	23.1	9
Betoni	7 420 900	15.9	4
Kuljetukset	5 435 000	11.6	3
Luonnonkivi	4 214 900	9.0	2
Sidotut päällysteet	3 710 000	7.9	5
Teräs	892 800	1.9	16
Ratakiskot ja vaihteet	616 100	1.3	10
Muovi	599 700	1.3	7

= 96 %

Nguyen (2021) on esittänyt laskelman eri sideaineiden päästöistä, kun otetaan huomioon niiden kuljetuksesta Helsingin Kuninkaantammeen sekä valmistuksesta syntyneet päästöt. Laskelman mukaan vähiten ja eniten hiilidioksidipäästöjä tuottavan sideaineen päästöjen ero oli lähes kuusinkertainen. Kuvassa 6 on esitetty myös Nordkalkin kalkkisementti-sideaineseoksen päästökertoimet seossuhteilla 30 / 70 % sekä 50 / 50 %. Nguyenin (2021) eri sideaineille esittämät päästökertoimet (kuva 6) ovat pienentyneet diplomityön julkaisun jälkeen. (Valjakka 2022.)



Kuva 6. Sideaineiden valmistuksen päästökertoimet, tiedot kerätty keväällä 2020 (Nguyen 2021).

Globaaleja ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää asettamalla pilaristabiloinnille ympäristökriteereitä. Ympäristökriteerien tulisi olla ennen kaikkea suunnittelua ohjaavia kriteereitä, koska niiden merkitys on pienempi urakkavaiheessa, kun ratkaisut on jo tehty. Ympäristökriteereitä voisi olla esimerkiksi (Salmela 2022):

1. tarjoajan soveltuvuusvaatimukset
2. ympäristöasioiden hallintaa koskevat vaatimukset

3. palvelun tai tavarantoimittajan ympäristöasioita koskevat erityisehdot
4. tarjousten vertailuperusteet
5. ympäristönäkökulmasta maksettavat bonukset.

Kriteerien tulee olla vertailtavissa ja todennettavissa esimerkiksi yhtenäisillä laskentamenetelmillä. Hankintamenettelyn on kohdeltava kaikkia toimittajia tasapuolisesti ja syrjimättömästi. Hankintamenettelyssä on toimittava avoimesti ja suhteellisuuden vaatimukset huomioon ottaen. Hankinnassa ei saa mainita tai edellyttää tiettyä valmistajaa tai alkuperää olevaa tavaraa tai materiaalia. Jos kyse on täysin uudesta tai innovatiivisesta tuotteesta tai palvelusta, niin sen edellyttäminen voidaan myös tulkita syrjiväksi. (Salmela 2022.)

Tässä työssä on käsitelty edellä esitettyssä listassa kolmantena mainittuja ympäristöasioita. Työssä esitellään vähäpäästöisemmän syvästabiloinnin sideaineen valintaan ja optimointiin ohjaavat syvästabiloinnin sideaineen ja stabilointipilareiden vähähiilisyysluokittelut (SSV- ja SPV-luokittelu).

3.2 Paikalliset ympäristövaikutukset

Sideaineiden haitallinen leviäminen ympäristöön tulee estää. Käytettävät sideaineet eivät saa aiheuttaa pohjaveden tai maapohjan pilaantumista rakennuspaikalla tai sen ympäristössä. Side- ja seossideaineiden pölyäminen estetään oikeilla työmenetelmillä ja laitteistojen kunnosta huolehtimalla. Tarvittaessa käytetään pölynsidontamenetelmiä, kuten esimerkiksi kastelua. (InfraRYL 2022.)

Pilaristabiloinnin sideaineiden kulkeutuminen ympäristöön on paikallinen vaikutus. Sideainetta voi levitä sideaineen syötön aikana tapahtuvan virheen myötä ympäristöön maan pinnalla. Hyvin paineellisen pohjaveden alueella stabilointityön aikana sideainetta voi kulkeutua myös veden virtauksen mukana sekoittimen tangon muodostamaa ”keskireikää” pitkin ylös, levittäen ei reagoineutta sideainetta maan pinnalle ja/tai pintakerrokseen. Savikerroksen

alapuolisen vettä paremmin johtavaan kerrokseen voi myös levitä sideaineita. Tätä on tutkittu pohjavesiputkilla instrumentoiduissa kohteissa. (Valjakka 2022.)

Viranomaisen voi tarvittaessa edellyttää myös riskinarviointia suunniteltaessa tuotteistamattomien uusiosideaineiden käyttöä. Uusiosideaineiden riskinarviointi voidaan toteuttaa esimerkiksi kaksi vaiheisella ravistelutestillä (maa-aines + sideaine), jossa uusiosideaineella stabiloidun näytekappaleen tuloksia verrataan kaupalliseen samanlaisessa käytössä olevaan sideaineeseen, ja sillä stabiloituun näytekappaleeseen. Uusiosideaineen käyttö voidaan hyväksyä, jos tuloksissa ei ole havaittavissa merkittäviä eroja kaupallisen tuotteen raskasmetallien liukoisuuteen. (Helsingin kaupunki 2022.)

4 BY-, SSV- ja SPV-vähähiilisyysluokittelu

SSV- ja SPV-luokitusten ideoinnissa on käytetty mallina betonille laadittua BY-vähähiilisyysluokitusta, joka on julkaistu kesällä 2022. Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitusta (SSV-luokitus) ja stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitusta (SPV-luokitus) on laadittu UUMA4-ohjelman työryhmässä 7. Luokittelu on edelleen kehitysvaiheessa ja tässä luokittelu on esitetty 11/2022 luonnoksen mukaisesti. (UUMA4 2022.) Luokitusta kehitetään edelleen, ja sen on suunniteltu valmistuvan 2023.

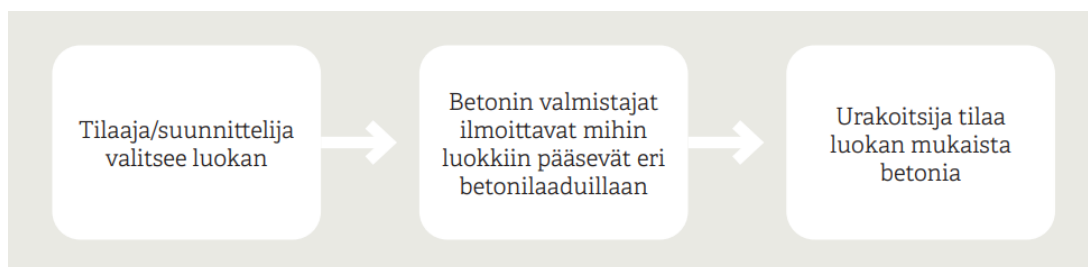
4.1 BY-vähähiilisyysluokitus betonille

BY-Vähähiilisyysluokitus on vapaaehtoinen, kansallinen luokitus betonin CO₂-päästöjen ilmoittamiseen. Luokituksen tarkoituksena on olla avoin ja läpinäkyvä järjestelmä. Luokituksen tekemiseen ovat osallistuneet Betoniteollisuus ry, Betoniyhdistys ry, sekä Aalto-yliopisto. Vähähiilisyysluokitus on yksinkertaistettu ja edullinen tapa esittää betoneista hiilidioksidipäästöarvot. (Vuori & Punkki 2022.)

Vähähiilisyysluokituksessa betonilaadut jaotellaan luokkiin hiilidioksidipäästöjen perusteella. Luokitus sisältää yhteensä 16 eri betonilaatua ja yhteensä 5 eri vähähiilisyysluokkaa. Luokitus on betoniasema ja betoniresepti kohtainen. Betonin valmistaja voi luokitella betonireseptit vähähiilisyysluokkiin edellyttäen, että reseptin päästöarvo täyttää luokituksen vaatimukset. (Vuori & Punkki 2022.) Norjassa on käytössä BY-vähähiilisyysluokitusta vastaava luokitus, jonka on arvioitu vähentäneen betonin päästöjä noin 20 % (Punkki 2022).

Lujuusluokkien kanssa analoginen päästöluokituksen tarkoituksena on helpottaa vähähiilisten betonien määrittelyä suunnitteluvaiheessa. Luokituksen vaiheet on esitetty kuvassa 7. Tavoitteena on, että BY-vähähiilisyysluokituksesta muodostuu vallitseva, kansallinen tapa eri betonilaatujen hiilidioksidipäästöjen ilmoittamiseen sekä betoneiden luokitteluun hiilidioksidipäästöjen perusteella. Luokituksen avulla betonin hiilidioksidipäästöt

voidaan laskea luotettavasti ja arvot ovat vertailukelpoisia (Vuori & Punkki 2022.)



Kuva 7. Vähähiilisyysluokituksen toiminta käytännössä (Vuori & Punkki 2022).

Vähähiilisyysluokat merkitään tunnuksella: GWP.NN. GWP-lyhenne tulee sanoista Global Warming Potential. NN tarkoittaa lyhenteessä päästötasoa verrattuna referenssitasoon. Esimerkiksi GWP.85 tarkoittaa, että betonin hiilidioksidipäästöt ovat korkeintaan 85 % verrattuna referenssitasoon (taulukko 3). Referenssitaso vastaa betonilaaduittain suomalaisten betonivalmistajien vuoden 2021 keskimääräistä päästötasoa. Vähähiilisyysluokat ovat päästötasoltaan aina alhaisempia kuin referenssitaso. (Vuori & Punkki 2022.) Kaikkia luokkia ei ole alkuvaiheessa saatavilla ja saatavuus on varmistettava betonin valmistajilta. Taulukossa 4 on esitetty vähähiilisten betonien arvioituja saatavuuksia vuonna 2022 (Punkki 2022).

Taulukko 3. BY-vähähiilisyysluokittelu (Vuori & Punkki, 2022).

BETONI	Päästöarvot: kg-CO ₂ e/m ³ (EPD: A1...A3)				
	Ref.taso	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150

Taulukko 4. Eri päästöluokkien arvioitu saatavuus vuonna 2022 (Vuori & Punkki 2022).

BETONI	Ref.taso				
	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu					
C25/30 - Ei huokostettu					
C30/37 - Ei huokostettu					
C35/45 - Ei huokostettu					
C45/55 - Ei huokostettu					
C50/60 - Ei huokostettu					
C30/37 - Huokostettu					
C35/45 - Huokostettu					
C45/55 - Huokostettu					
C50/60 - Huokostettu					
C30/37 P0					
C30/37 P30					
C35/45 P0					
C35/45 P30					
C35/45 P50					
C45/55 P50					

Todennäköisesti yleisesti saatavilla

Todennäköisesti saatavissa useilta valmistajilta¹

Todennäköisesti saatavilla joiltakin valmistajilta¹

Todennäköisesti saatavilla vain projektikohtaisena erikoistuotteena¹

¹ Saatavuus varmistettava etukäteen

4.2 SSV- ja SPV-luokitus

4.2.1 Menetelmän periaate

SSV- ja SPV-luokitukset ovat ehdotuksia syvästabiloinnin hankinnassa käytettäväksi menettelyiksi syvästabiloinnin CO₂-päästöjen vähentämiseksi. Luokitukset ovat tarkoitettu kansallisiksi ja vapaaehtoisiksi menettelyiksi.

Tavoitteena on, että syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokituskokonaisuudesta muodostuu vallitseva tapa sideaineiden ja stabiloidun maan luokitteluun hiilidioksidipäästöjen perusteella. Luokituksen avulla sideaineiden ja stabiloidun maan hiilidioksidipäästöt voidaan laskea luotettavasti ja arvot ovat vertailukelpoisia. (UUMA4 2022.)

SSV-luokitus huomioi sideaineen kuljetuksesta ja valmistuksesta syntyvät hiilidioksidipäästöt. SPV-luokitus huomioi näiden lisäksi vielä tarvittavan sideainemäärän, joka tarvitaan halutun pilarilujuuden saavuttamiseksi. Pelkän SSV-luokituksen tarkoituksena on edistää vähähiilisten sideaineiden käyttöönottoa, ilman sideaineen määrän (kg/m³) huomiointia. SPV-luokituksen käyttäminen on vaativampaa kuin SSV-luokituksen. (UUMA4 2022.)

Luokitusten tarkoituksena on luoda alalle tuotemerkeistä riippumaton yhtenäinen tapa kuvata erilaisten syvästabiloinnin sideaineiden CO₂-päästöjä. Menetelmän avulla tilaaja (esim. omistaja tai suunnittelija) tai stabilointiurakoitsija voi valita vähähiilisemmän stabiloinnin sideaineen ilman, että kilpailua rajoitetaan. Tilaaja voi asettaa SSV- tai SPV-vähähiilisyyssluokan stabiloinnille kohde- tai osa-aluekohtaisesti ja stabiloinnin urakointi voidaan kilpailuttaa normaaliin tapaan. SSV-luokitus on tarkoitettu käytettäväksi pilari- ja massastabiloinnissa. Tässä on esitetty luokituksen soveltaminen pilaristabiloinnin hankinnassa. Luokituksen soveltaminen massastabiloinnin hankinnassa laaditaan myöhemmin. SPV-luokitus on tarkoitettu käytettäväksi vain pilaristabiloinnissa. (UUMA4 2022.)

4.2.2 SSV-luokitus

Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyyssluokituksen (SSV) on tarkoitus helpottaa vähähiilisen sideaineen valintaa suunnitteluvaiheessa. SSV-luokituksella ilmoitetaan syvästabiloinnin sideaineen CO₂e-päästöt hankinta-asiakirjoissa. Luokituksen tarkoituksena on luoda alalle tuotemerkeistä riippumaton, yhtenäinen tapa kuvata erilaisia sideaineita ja niiden hiilidioksidipäästöjä, joita syntyy sideaineen valmistuksesta ja kuljetuksesta. (UUMA4 2022.)

SSV-luokituksessa sideaineet jaotellaan luokkiin hiilidioksidipäästöjen perusteella taulukon 5 mukaisesti. Luokitus käsittää yhteensä 7 eri vähähiilisyyssluokkaa. Sideaineiden vähähiilisyyssluokka määräytyy ympäristöselosteen (EPD) mukaisesti määritetyistä valmistuksen päästöistä. Luokitukseen vaikuttaa lisäksi kuljetuksen päästöt sideaineen valmistuspaikasta työmaalle. Koska sideaineen luokka sisältää kuljetuksen (A4) (kuva 8), voi sideaineen luokka vaihdella hankekohtaisesti hankkeen sijainnista riippuen. Sideaineen valmistajan tulee luokitella valmistamansa sideaineet vähähiilisyyssluokkiin siten, että luokan yhteydessä on ilmoitettu, millä kuljetusmatkalla luokka on voimassa. Luokituksessa on esitettävä aina erikseen

valmistuksen päästökerroin (A1-A3) ja kuljetuksen päästökerroin (A4) (UUMA4 2022.)

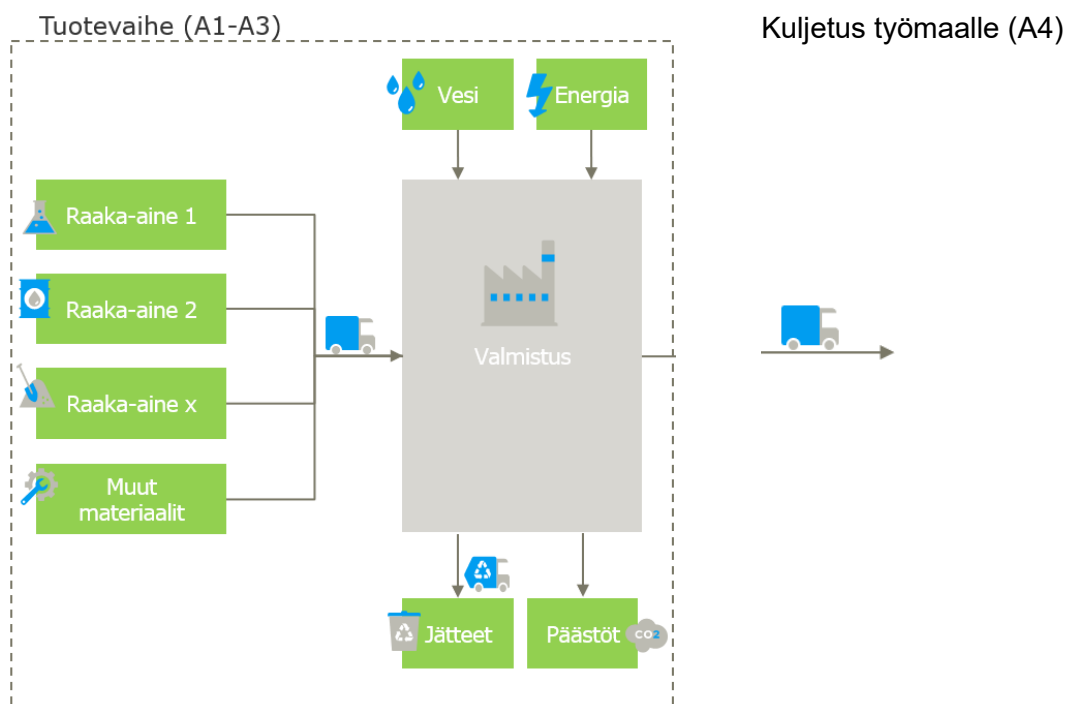
Vähähiilisyysluokat merkitään tunnuksella "SSV.n" (esim. SSV.2) (Taulukko 5).

"SSV" tulee sanoista Syvästabiloinnin Sideaineen Vähähiilisyysluokitus.

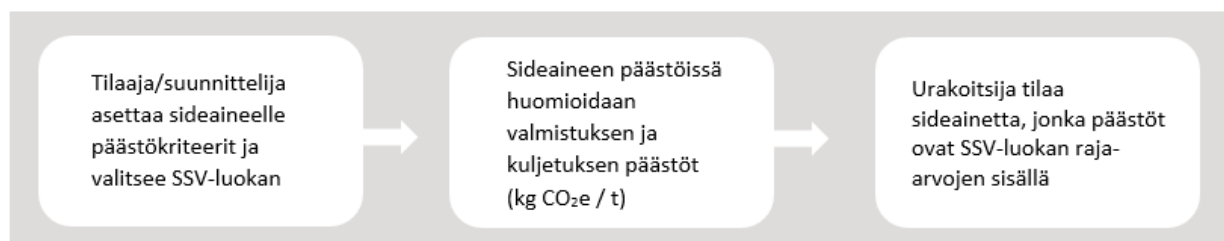
Tunnuksessa ".n" on ilmoitettu sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästökerroin, joka on ao. luokan vaatimukset täyttävällä sideaineella yläraja. Esimerkiksi SSV.2 tarkoittaa, että sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen hiilidioksidipäästöt saavat olla enintään 200 kg CO₂e/t (A1-A4). SSV-luokituksen vaiheet on esitetty kuvassa 9. (UUMA4 2022.)

Taulukko 5. SSV-luokitus ja luokitusta vastaavat sideaineen päästökertoimet. Kertoimet sisältävät sideaineen valmistuksen (A1-A3) ja työmaalle kuljetuksen päästöt (A4) (UUMA4 2022).

SSV-luokka	SSV-luokkaa vastaava päästökerroin, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt A1-A4 [kg CO ₂ e / t]
SSV.1	≤ 100
SSV.2	101-200
SSV.3	201-300
SSV.4	301-400
SSV.5	401-500
SSV.7	501-700
SSV.9	701-900



Kuva 8. Pilaristabiloinnin sideaineen hiilijalanjälki muodostuu elinkaaren tuotevaiheessa (A1-A3) ja sideaineen kuljetuksesta työmaalle (A4) (UUMA4 2022).



Kuva 9. SSV-luokituksen toiminta käytännössä, kun kriteereinä on sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen maksimi CO₂e-päästöt.

4.2.3 SPV-luokitus

Stabilointipilarien vähähiilisyysluokituksella (SPV) on tarkoitus ilmoittaa pilarin CO₂e-päästöt hankinta-asiakirjoissa. SPV-luokituksessa huomioidaan sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen CO₂e-päästöjen lisäksi leikkauslujuusvaatimuksen saavuttamiseksi tarvittava pilarin sideainemäärä

(kg/m-pilari). SPV-luokituksessa stabilointipilarit on jaettu luokkiin hiilidioksidipäästöjen perusteella taulukon 6 mukaisesti. Luokitus käsittää yhteensä 7 eri vähähiilisyysluokkaa. Taulukossa 6 esitetyt numeroarvot ovat sideaineen SSV-luokan mukaisen maksimipäästökertoimen ja sideainemäärän tulo. Luokitus on tehty pilareille, joiden halkaisijat ovat $D = 0,6 \text{ m}$, $0,7 \text{ m}$ ja $0,8 \text{ m}$ ja sideainemäärä on $60\text{-}200 \text{ kg/m}^3$. Taulukoissa 7, 8, 9 ja 10 esitetyt päästöt on taulukoitu sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. (UUMA4 2022.)

Taulukko 6. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokitus (UUMA4, 2022).

SPV-luokka	SPV-luokkaa vastaava CO ₂ -päästö, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt A1-A4 pilarimetrimille [kg CO ₂ e / m-pilari]				
	D [m]	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m
SPV1		≤ 2,1	≤ 3,0	≤ 4,1	≤ 5,4
SPV2		2,15-4,2	3,05-6,0	4,15-8,2	5,45-10,7
SPV3		4,25-5,9	6,05-8,5	8,25-12,0	10,75-15,2
SPV4		5,95-7,9	8,55-11,5	12,05-16,0	15,25-20,5
SPV5		7,95-10,4	11,55-15,0	16,05-21,0	20,55-27,0
SPV6		10,45-13,8	15,05-20,0	21,05-28,0	27,05-36,0
SPV7		13,85-35,0	20,05-51,0	28,05-69,0	36,05-90,0

Taulukko 7. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,5 m (UUMA4 2022).

<div>SPV.1</div> <div>SPV.2</div> <div>SPV.3</div> <div>SPV.4</div> <div>SPV.5</div> <div>SPV.6</div> <div>SPV.7</div>			Pilarihalkaisija [m]			0,5			
	Sideainemäärä [kg/m ³]	Sideainemäärä/m- pilari [kg/m-pilari]	SSV.1	SSV.2	SSV.3	SSV.4	SSV.5	SSV.7	SSV.9
			100	200	300	400	500	700	900
			CO ₂ -päästö [kg CO ₂ e / m-pilari]						
	60	11,8	1,2	2,4	3,5	4,7	5,9	8,2	11
	70	13,7	1,4	2,7	4,1	5,5	6,9	10	12
	80	15,7	1,6	3,1	4,7	6,3	7,9	11	14
	90	17,7	1,8	3,5	5,3	7,1	8,8	12	16
	100	19,6	2,0	3,9	5,9	7,9	10	14	18
	110	21,6	2,2	4,3	6,5	8,6	11	15	19
	120	23,6	2,4	4,7	7,1	9,4	12	16	21
	130	25,5	2,6	5,1	7,7	10,2	13	18	23
	140	27,5	2,7	5,5	8,2	11	14	19	25
	150	29,5	2,9	5,9	8,8	12	15	21	27
	160	31,4	3,1	6,3	9,4	13	16	22	28
	170	33,4	3,3	6,7	10,0	13	17	23	30
	180	35,3	3,5	7,1	11	14	18	25	32
	190	37,3	3,7	7,5	11	15	19	26	34
	200	39,3	3,9	7,9	12	16	20	27	35

Taulukko 8.Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,6 m (UUMA4 2022).

Sideainemäärä [kg/m³]	Sideainemäärä/m- pilari [kg/m-pilari]	Pilarihalkaisija [m]			0,6			
		SSV.1	SSV.2	SSV.3	SSV.4	SSV.5	SSV.7	SSV.9
		100	200	300	400	500	700	900
		CO ₂ -päästö [kg CO ₂ e / m-pilari]						
60	17,0	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	12	15
70	19,8	2,0	4,0	5,9	7,9	10	14	18
80	22,6	2,3	4,5	6,8	9,0	11	16	20
90	25,4	2,5	5,1	7,6	10	13	18	23
100	28,3	2,8	5,7	8,5	11	14	20	25
110	31,1	3,1	6,2	9	12	16	22	28
120	33,9	3,4	6,8	10	14	17	24	31
130	36,8	3,7	7,4	11	15	18	26	33
140	39,6	4,0	7,9	12	16	20	28	36
150	42,4	4,2	8,5	13	17	21	30	38
160	45,2	4,5	9,0	14	18	23	32	41
170	48,1	4,8	10	14	19	24	34	43
180	50,9	5,1	10	15	20	25	36	46
190	53,7	5,4	11	16	21	27	38	48
200	56,5	5,7	11	17	23	28	40	51

Taulukko 9.Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,7 m (UUMA4 2022).

Sideainemäärä [kg/m³]	Sideainemäärä/m- pilari [kg/m-pilari]	Pilarihalkaisija [m]			0,7			
		SSV.1	SSV.2	SSV.3	SSV.4	SSV.5	SSV.7	SSV.9
		100	200	300	400	500	700	900
		CO ₂ -päästö [kg CO ₂ e / m-pilari]						
60	23,1	2,3	4,6	6,9	9,2	12	16	21
70	26,9	2,7	5,4	8,1	11	13	19	24
80	30,8	3,1	6,2	9,2	12	15	22	28
90	34,6	3,5	6,9	10	14	17	24	31
100	38,5	3,8	7,7	12	15	19	27	35
110	42,3	4,2	8	13	17	21	30	38
120	46,2	4,6	9	14	18	23	32	42
130	50,0	5,0	10	15	20	25	35	45
140	53,9	5,4	11	16	22	27	38	48
150	57,7	5,8	11,5	17	23	29	40	52
160	61,6	6,2	12	18	25	31	43	55
170	65,4	6,5	13	20	26	33	46	59
180	69,3	6,9	14	21	28	35	48	62
190	73,1	7,3	15	22	29	37	51	66
200	77,0	7,7	15	23	31	38	54	69

Taulukko 10. Stabilointipilarin vähähiilisyysluokituksen (SPV-luokitus) taulukossa esitetyt päästöt taulukoituna sideainemäärän, sideaineen vähähiilisyysluokan ja pilarihalkaisijan suhteen. Pilarihalkaisija 0,8 m (UUMA4 2022).

SPV.1 SPV.2 SPV.3 SPV.4 SPV.5 SPV.6 SPV.7			Pilarihalkaisija [m]			0,8			
	Sideainemäärä	Sideainemäärä/m- pilari	SSV.1	SSV.2	SSV.3	SSV.4	SSV.5	SSV.7	SSV.9
			100	200	300	400	500	700	900
	[kg/m ³]	[kg/m-pilari]	CO ₂ -päästö [kg CO ₂ e / m-pilari]						
	60	30,2	3,0	6,0	9,0	12	15	21	27
	70	35,2	3,5	7,0	10,6	14	18	25	32
	80	40,2	4,0	8,0	12	16	20	28	36
	90	45,2	4,5	9,0	14	18	23	32	41
	100	50,3	5,0	10	15	20	25	35	45
	110	55,3	5,5	11	17	22	28	39	50
	120	60,3	6,0	12	18	24	30	42	54
	130	65,3	6,5	13	20	26	33	46	59
	140	70,4	7,0	14	21	28	35	49	63
	150	75,4	7,5	15	23	30	38	53	68
	160	80,4	8,0	16	24	32	40	56	72
	170	85,5	8,5	17	26	34	43	60	77
	180	90,5	9,0	18	27	36	45	63	81
	190	95,5	9,6	19	29	38	48	67	86
	200	100,5	10	20	30	40	50	70	90

4.2.4 Vähähiilisyysluokitus pilaristabiloinnin hankinnassa

SSV- ja SPV-luokituksissa pilaristabiloinnin geoteknisen mitoituksen tekee tilaajan toimeksiannosta geotekninen suunnittelija ja suunnitelmassa esitetään pilarihalkaisija (D), pilariväli (k/k), stabiloidun pilarin leikkauslujuusvaatimus (τ) ja sideaineen päästökerroin tai sallittu päästö pilarimetriä kohden.

Kummassakaan tapauksessa päästökertoimessa ei huomioida stabiloinnin työsuorituksen päästöjä, jotka oletetaan menettelyssä samoiksi sideaineen laadusta tai määrästä riippumatta. (UUMA4 2022.)

SSV-luokitus pilaristabiloinnin hankinnassa

SSV-luokitusta hyödynnetään pilaristabiloinnin hankinnassa silloin, kun tilaaja haluaa vaikuttaa pilaristabiloinnin päästöihin (kg CO_{2e} /t), jotka aiheutuvat sideaineesta. Menettelyssä tilaaja määrittää SSV-luokan hiilineutraalisuustavoitteidensa mukaisesti. Menettely on yksinkertainen ja siinä on kriteerinä sideaineen päästökerroin, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljettamisen päästöt. Sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen CO_{2e}-päästöt (A1-A4) eivät saa ylittää tarjouspyynnössä esitettyä SSV-luokan mukaista päästökriteeriä. (UUMA4 2022.)

SPV-luokitus pilaristabiloinnin hankinnassa

SPV-luokituksessa huomioidaan myös leikkauslujuusvaatimuksen saavuttamiseksi tarvittava sideainemäärä pilarimetriä kohden (t/m-pilari x kg CO_{2e} /t => kg CO_{2e} / m-pilari). Sideaineiden aikalujittuminen voi poiketa toisistaan oleellisesti valitun SSV-luokan sisällä, mikä tulee huomioida mm. hankkeiden, laadunvalvontakairausten, pilaroidun alueen kuormituksen aikataulussa. Mikäli pilareiden lujittumisen aikataulu on hankkeen kannalta kriittinen, on se esitettävä aikalujittumisvaatimuksena pilaristabiloinnin kriteereissä, tarvittaessa stabiloinnin osa-aluekohtaisesti. (UUMA4 2022.)

Esimerkki SPV-luokituksen käyttämisestä: Mikäli suunnitelmassa esitettäisiin pilarihalkaisijaksi 0,6 m ja SPV-luokaksi SPV2, olisi silloin mahdollista käyttää taulukon 9 mukaisesti halkaisijaltaan 0,6 m pilareita, joiden sideaineen SSV.1 määrä olisi 60-200 kg/m³, SSV.2 60-100 kg/m³ ja SSV.3 60-70 kg/m³. (UUMA4 2022.)

4.2.5 Ympäristöseloste (EPD)

Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöt voidaan esittää ympäristöselosteella (EPD = Environmental Product Declaration). Ympäristötuoteseloste on standardoitu tapa esittää luotettavasti olennaiset tiedot valmistetun tuotteen tai tuoteryhmän ympäristövaikutuksista. Elinkaariarviointilaskelmaan sisällytetään tuotteen elinkaaren vaiheet ”kehdosta hautaan” periaatteella seuraavan järjestelmärajauksen mukaisesti (UUMA4 2022):

- tuotevaihe (A1-A3)
- rakentamisvaihe (A4-A5)
- käyttövaihe (B1-B7)
- purkuvaihe (C1-C4)
- elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D).

Syvästabiloinnin sideaineelle tulee laatia ympäristöseloste, jossa esitetään arvio tuotteen ympäristövaikutuksista, mukaan lukien hiilidioksidiekvivalentti määräyksikköä kohti. Päästöarvo toimii arviointityökaluna vertailtaessa eri sideaineiden ympäristövaikutuksia. Ympäristöselosteen laadintaa täsmennetään SSV ja SPV-luokituksessa luokituksen kehittyessä. (UUMA4 2022.)

Pilaristabiloinnin kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat sideaineen tuotannossa, kuljetuksessa työmaalle sekä itse stabilointityössä. Edellä mainituista sideaineiden tuotanto on selkeästi päästöintensiivisin vaihe. SSV-luokituksessa hiilijalanjälki on suunniteltu laskettavan tuotevaiheelle ja kuljetukselle työmaalle. Jätepohjaisen sideaineen tapauksessa raaka-aineen hankinta eli vaihe A1 ei tuota päästöjä, koska muodostuvat kasvihuonekaasut kuuluvat valmistettavalle tuotteelle. Jättemateriaali saattaa vaatia pulverointia tai muuta homogenisointia soveltuakseen sideaineeksi. Nämä jalostustoimenpiteet nostavat materiaalin hiilijalanjälkeä (vaihe A3). Kuljetusmatkan muodostavat päästöt ovat suoraan verrannollisia matkan pituuteen sekä kuljetusajoneuvon kantokykyyn (vaiheet A2 ja A4). (UUMA4 2022.)

4.2.6 Kompensaatiot

Syvästabiloinnin sideaineiden päästöjä ei lähtökohtaisesti voida kompensoida vaan sideaineelle esitetyn päästön tulee perustua tuotannon ja kuljetuksen todellisiin päästöihin, jolloin tuotteen päästöjen on jätävä määritetyn rajan alle. Tämä logiikka on peräisin tieteen vaatimista päästövähennyksistä ilmastomuutoksen estämiseksi tai lieventämiseksi ja se on pohjana mm. YK:n omassa Climate Neutral Now -kompensointiohjelmassa. (UUMA4 2022.)

4.2.7 Sideainereseptöinnin lähtötiedot

Menettelyssä, jossa sideainereseptöinti on urakoitsijan vastuulla, on yksityiskohtia, joissa tarvittaneen kehitystä joko hankekohtaisesti tai yleisesti (esim. ohjeistusta kehittämällä) ajatellen tarjouspyyntöä ja urakkatarjousta.

Tällaisia tarkennettavia asioita ovat muun muassa

- geoteknisten tutkimusten eli kairausten ja indeksikoetulosten riittävyys, määrä ja laatu (riippuu mm. geologiasta)
- pohjamaan erityispiirteiden selvitysten riittävyys (esim. HaSu ja pilantuuneet maat)
- stabiloitavuuskokeiden edustavuus ja riittävyys (tilaajan / urakoitsijan teettämät)
- sideainereseptin toimivuuden riskien hallinta ja riskin jako (sideainetta tarvitaan urakkatarjouksessa esitettyä enemmän / sideainetta tarvitaan vähemmän)

Oleellinen ratkaistava asia on sideainereseptin toimivuuteen liittyvien riskien hallinta ja sitä varten tehtävät valinnat, jotka ovat osin olosuhderiippuvaisia. Kun alue on geologisesti tunnettu ja homogeeninen, maaperän ominaisuuksiin liittyvät riskit ovat vähäisiä. Sideainereseptiin liittyviä riskejä saattavat aiheuttaa esimerkiksi savikerroksen alapinnan tason ja maakerrosrajojen jyrkkäpiirteinen vaihtelu, maakerrosten ominaisuuksien vaihtelut ja maaperän happamat

sulffaattimaat. Tällöin tarvitaan enemmän geoteknisiä tutkimuksia ja stabiloitavuuskokeita stabiloitavan savialtaan tilavuuteen nähden verrattuna geologisesti tunnettuun ja homogeeniseen savialtaaseen. (UUMA4 2022.)

Lähtökohtana riittäviä tutkimusmääriä arvioitaessa voidaan käyttää ohjetta ”Syvästabiloinnin suunnittelu” (Liikennevirasto 2018), jossa on ohjeistettu syvästabiloinnin suunnittelua ja sideainereseptointia varten tarvittavat kenttä- ja laboratoriotutkimukset sekä suositukset tutkimusmääriksi. Taulukossa 11 on esitetty yhdestä geologisesta muodostumasta tehtävät tutkimukset stabiloinnin suunnittelua ja sideainereseptointia varten. Kun mitoitusluku määritetään stabiloitavuuskokeilla, tarvitaan ko. sideaineelle määritettyä kenttä- /laboratoriolujuuskerrointa (Liikennevirasto 2018; UUMA2 2022).

Taulukko 11. Geologisesta muodostumasta tehtävät tutkimukset syvästabiloinnin suunnittelua varten.

Tässä geologisella muodostumalla tarkoitetaan esimerkiksi saviallasta. Taulukko on ohjeesta ”Geotekniset tutkimukset ja mittaukset” (Liikennevirasto 2015) ja taulukon selitteitä 1-4 on täydennetty ohjeeseen ”Syvästabiloinnin suunnittelu” (Liikennevirasto 2018).

Suunnitelmavaihe	Stabiloitavuus	Mitoittamisen kannalta merkitykselliset kerrokset
tie- / ratasuunnitelma ⁴⁾	1–3 kpl / kohde ³⁾	3–5 tutkimuspisteessä ¹⁾
tie- ja ratasuunnitelman täydentäminen	kuten rakennus- / rakentamissuunnitelmassa	
rakennus- / rakentamissuunnitelma ⁴⁾	2–3 kpl / kohde ³⁾	– ²⁾
rakentaminen	ohjelmoidaan tarvittaessa toteutussuunnitteluvaiheessa	

- 1) maan ominaisuuksien määrittäminen ko. rakennusosan mukaisella tutkimusmenetelmällä kaikista rakenteen mitoittamisen kannalta merkityksellisistä kerroksista
- 2) pohjatutkimukset tehdään niin kattavasti, että kaikki pohjarakenteet voidaan suunnitella ja mitoittaa yksityiskohtaisesti
- 3) tässä kpl / kohde tarkoittaa näytepistettä / muodostuma
- 4) pienissä geotekniseen luokkaan GL2 kuuluvissa kohteissa, stabiloitavuus voidaan arvioida varovaisesti maaperätietoon, aiempiin alueella tehtyihin stabiloihin ja kokemukseen perustuen huomioiden kohdissa 6.3.3 ja 6.3.4 esitetyt rajoitukset

4.2.8 Vähähiilisten sideaineiden saatavuus

Suomessa saatavilla olevien uusiosideaineiden tietoja kootaan UUMA4-ohjelman toimesta taulukkoon, joka tulee saataville verkkosivuille www.uusiomaarakentaminen.fi. Tämän työn yhteydessä on koottu uusiosideaineiden saatavuustietoja (t/v) taulukkoon 11. Taulukossa esitetyt tiedot ovat sideainetoimittajilta tiedusteltuja (henkilökohtainen tiedontanto P. Rantala, K. Kuusipuro, J. Kouki, M. Lehtonen 16.11.2022). Taulukossa on esitetty lisäksi mistä uusiosideaineita tai sideaineen komponentteja on saatavilla. Taulukossa on esitetty sideaineiden valmistuspaikka, joka on lähtöpiste, kun määritetään sideaineen työmaalle kuljettamisen päästöt. Taulukon 11 tiedot ovat arvioita ja tuotteiden saatavuus ja toimitusehdot on aina varmistettava etukäteen. Jätepohjaisten materiaalien saatavuuteen vaikuttavat tuotteiden tuotantovolyymit ja teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen muihin sovelluksiin (Rantala 2022; Kuusipuro 2022).

Mikäli oletetaan, että sideaineseoksessa sementin ja lentotuhkan seossuhde on 3:7 (sementti:LT) ja kaikki taulukossa esitetty lentotuhka olisi käytettävissä syvästabiloinnin sideaineeksi, tarkoittaisi taulukon 11 riveillä 1-7 esitetty sideainemäärää 145 000-160 000 t/v ($30...40\text{kt} + 30\text{ kt} + 20...25\text{ kt} + (15\text{ kt} + 15\text{ kt} + 8\text{ kt} + 8\text{ kt}) \times 10/7$). Jos pilaristabiloitaisiin käyttäen sideainemääränä 130 kg/m^3 , voitaisiin vuosittain stabiloida halkaisijaltaan 0,7 m pilareita tuolla sideainemäärällä 2,9-3,2 milj. m-pilari. Tämä määrä ylittää Suomen vuosittaisen pilaristabilointimääräarvion, jota on arvioitu kohdassa 2.5. Kun huomioidaan pilari- ja massastabilointiin vuosittain tarvittava sideainemäärä ja se, että kaikki taulukossa 11 esitetty lentotuhka ei ole käytettävissä syvästabiloinnin sideaineeksi, ylittää tarve taulukon 11 perusteella arvioidun sideainemäärän saatavuuden.

Taulukko 11. Topinojan ennakkotutkimuksissa ja/tai koestabiloinneissa käytettyjen uusiosideaineiden arvioitu saatavuus vuonna 2022 ja sideaineiden (rivit 1-3) tai sideainekomponenttien (rivit 5-8) valmistuspaikat. Määrät on tiedusteltu materiaalitoimittajilta 11/2022.

Rivi	Materiaali / Tuote	Tuotantomäärä [t/v]	Valmistaja ja valmistuspaikka
1	Nordkalk GTC	30 000-40 000	Nordkalk, Lohja Tytyrin tehdas
2	Nordkalk Terra POZ	30 000	Nordkalk, Lohja Tytyrin tehdas
3	Nordkalk Terra GREEN	20 000-25 000	Nordkalk, Lohja Tytyrin tehdas
4	Lentotuhka	15 000	UPM, Jämsänkoski
5	Lentotuhka	15 000	UPM, Rauma
6	Lentotuhka	8000	Kaukaan Voima, Lappeenranta
7	Lentotuhka	8000	Kymin Voima, Kouvola
8	Pohjakuona*	10 000-15 000	Suomen Erityisjäte, Tampere

* materiaali ei sovellu stabilointikoneen painesyöttötimeen

5 Pilaristabiloinnin hankinta

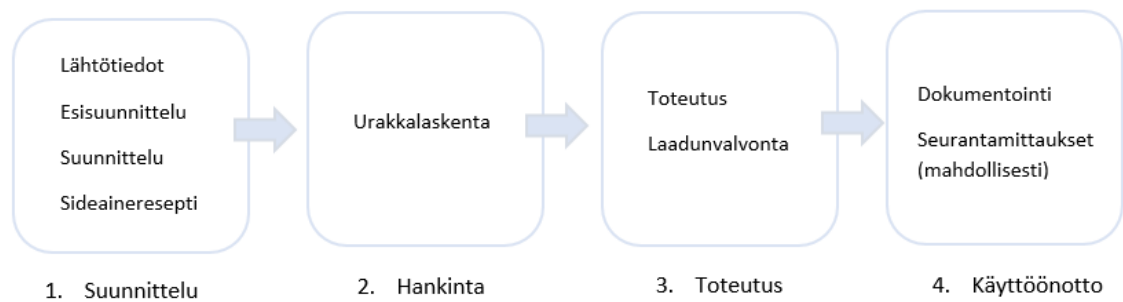
Pilaristabiloinnin hankinta-asiakirjat sisältävät kaupalliset ja tekniset asiakirjat. Työselostus on yksi teknisistä asiakirjoista. Syvästabiloinnin sideaineen ja/tai pilaristabiloinnin vähähiilisyysluokittelua (SSV ja SPV) laaditaan käytettäväksi pilaristabiloinnin työselostuksessa hankinnan kriteerinä. Luokittelu on edelleen luonnos, joten tässä esitetty saattaa vielä muuttua luokituksen valmistumisen myötä.

5.1 Hankinnan vaihtoehdot

Tässä kappaleessa esitellään pilaristabiloinnin hankinnan vaihtoehdot ve1, ve2 ja ve3. Selkeyden vuoksi jokainen hankinnan vaihtoehto on esitelty ensin, jonka jälkeen kappaleessa 5.2.3 on esitelty SSV- ja SPV-luokituksen yhdistäminen vaihtoehtoihin ve1 ja ve2. Vaihtoehdot on esitetty ajatellen julkisia hankintoja.

5.1.1 Tilaajan suunnitelma ja sideaineresepti (ve1)

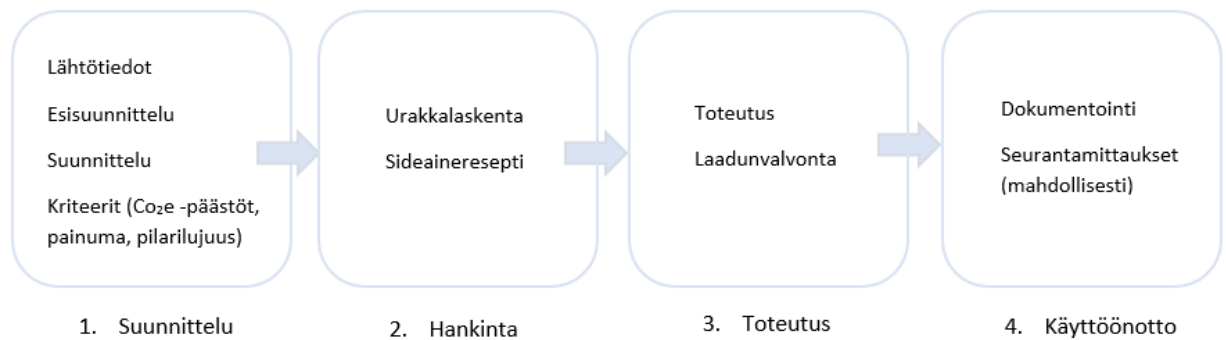
Perinteisesti kokonaisurakassa stabilointiurakoitsija toteuttaa stabiloinnin tilaajan laatiman yksityiskohtaisen pilarointisuunnitelman mukaisesti. Pilarointisuunnitelma sisältää piirustukset (ja/tai suunnittelu/tietomallin), työselostuksen, laatuvaatimukset ja sideainereseptin (laatu + kg/m³), käytännössä sideainereseptit eri alueille ja/tai eri syvyyksille. Urakoitsija tarjoaa ja toteuttaa stabiloinnin tilaajan suunnitelman ja sideainereseptin mukaisesti. Kuvassa 10 on esitetty pilaristabiloinnin hankinnan vaihtoehdon 1 vaiheet. Tilaajan vastuulla on, että määritetty sideaineresepti toimii, kun sekoitustyö on tehty suunnitelman mukaisesti. Urakoitsijan vastuulla on pilarien toteuttamien suunnitelman mukaisesti ja dokumentointi stabilointipöytäkirjoilla, tarkepiirustuksilla sekä valvontakairauksilla (Liikennevirasto, 2018). Yleensä urakoitsija voi vaihtaa sideainetta, mutta tällöin vastuu sideainereseptin toimivuudesta siirtyy urakoitsijalle, myös silloin, kun sideaineen vaihto on hyväksytetty tilaajalla.



Kuva 10. Vaihtoehto 1 on nykyisin julkisessa hankinnassa yleisimmin käytetty vaihtoehto syvästabiloinnin hankintaan (UUMA4 2022).

5.1.2 Tilaajan suunnitelma ja urakoitsijan sideaineresepti (ve2)

Pilaristabilointia voidaan toteuttaa myös siten, että sideaineen reseptointi ja pilareiden toteutus on urakoitsijan vastuulla. Suunnitelma on silloinkin tilaajan laatima (piirustukset, työselostus ja laatuvaatimukset). Menettelyn vaiheet on esitetty kuvassa 11. Tällöin urakoitsija tarjoaa työn valitsemallaan sideainereseptillä/sideaineresepteillä ja sekoitustyön parametreillä (mm. sekoitinkärjen pyörimisnopeus ja ylösnostonopeus). Urakoitsija vastaa sideaineen ja työmenetelmän toimivuudesta, eli siitä, että pilarit saavuttavat vaaditun lujuuden tilatussa aikataulussa. Urakoitsija vastaa stabilointityön toteutuksesta suunnitelman mukaisesti ja osoittaa sen stabilointipöytäkirjoilla tarkepiirustuksilla ja valvontakairauksilla (Liikennevirasto 2018). Stabilointipöytäkirjassa dokumentoidaan myös käytetty työmenetelmä esimerkiksi sekoittimen pyörimis- ja ylösnostonopeus.



Kuva 11. Vaihtoehto 2 on syvästabiloinnin hankintamalli, jossa urakoitsija vastaa sideainereseptoinnista (UUMA4 2022).

Urakkalaskenta-ajassa on huomioitava sideainereseptoinnin vaatima aika silloin, kun se on urakoitsijan vastuulla. Stabiloitavuuskokeissa lujittumisaika on normaalisti 28 vuorokautta ja toisinaan 91 vuorokautta (hitaasti lujittuvilla sideaineilla 91 vuorokautta on suositeltava). On suositeltavaa, että tilaaja teettää vähintäänkin alustavia stabiloitavuuskokeita, joita urakoitsijat voivat hyödyntää sideainereseptoinnissaan sellaisenaan tai lähtökohtana täydentäville stabiloitavuuskokeille. Näin erityisesti silloin, kun stabilointikohde on alueella, josta ei ole aiempaa stabilointikokemusta. Mikäli stabilointikohde on alueella, josta on edustavaa aikaisempaa kokemusta ja aikaisempia stabiloitavuus- ja/tai valvontakairaustuloksia on mahdollista, mutta ei suositeltavaa käyttää lyhyempää laskenta-aikaa. Lyhyen laskenta-ajan aikana urakoitsijoilla ei ole mahdollisuutta teettää uusia stabiloitavuuskokeita uusilla sideaineresepteillä.

Savinäytteet stabiloitavuuskokeita varten voidaan ottaa keskitetysti tilaajan toimesta. Mikäli näytteenotto on urakoitsijoiden vastuulla, voi se johtaa siihen, että samalle alueelle mobilisoidaan useampaan kertaan kaivinkone- ja/tai kairauskalusto näytteenottoa varten. Stabiloitavuuskokeiden lisäksi on suositeltavaa toteuttaa koestabilointi tilaajan toimesta, mikäli kyseessä on hyvin laaja kohde ja/tai alueelta ei ole ylipäättään kokemusta pilaristabiloinnista. Koestabilointi voidaan joissakin tapauksissa korvata koeluontoisella aloituksella, jossa stabilointiurakan aluksi valittu urakoitsija toteuttaa valitsemallaan sideaineella koepilareita ja odottaa niiden lujittumisen ja valvontakairaustulokset

tai jatkaa stabilointia varovaisesti valitulla suuremmalla sideainemäärällä (kg/m^3). Pelkän koeluontoisen aloituksen mallissa urakoitsijan urakkariski on suurempi. Molemmissa menettelyissä (ve1 ja ve2) pilaristabiloinnin geotekninen mitoitus tehdään Väyläviraston ohjeen ”Syvästabiloinnin suunnittelu” (2018) mukaisesti ja laadun arviointi valvontakairauksilla InfraRYL:n mukaisesti.

5.1.3 Tilaajalta tekniset vaatimukset ja urakoitsijalta KV-suunnitelma (ve3)

Suunnittelu ja toteuta -urakassa (ST) tai muussa rakentamissuunnittelua sisältävässä kokonaisurakkamuodossa urakka sisältää stabilointityön lisäksi pilaristabiloinnin suunnittelun. ST-urakkamuodossa tilaaja laatii kaupalliset asiakirjat, mutta teknisten asiakirjojen eli rakennussuunnitelmien laadinta on toteuttajan (urakoitsijan) vastuulla urakkasopimuksen sopimisen jälkeen. Tilaaja esittää rakenteille toiminnalliset vaatimukset. Väyläviraston ST-urakoissa tilaaja asettaa vaatimukset pilaristabiloinnin suunnittelulle (mitä suunnitteluohjetta noudatetaan ja tarvittaessa muita tarkentavia ohjeita tai vapausasteita). Kokonaisvastuurakentaminen (KVR) ja suunnittele ja toteuta (ST) tarkoittavat lähteestä riippuen joko melkein tai täysin samaa asiaa. Hanke, joka toteutetaan kokonaisurakkana, saattaa sisältää osatehtävänä pilaristabilointia, joka jossakin tapauksessa saattaa olla tarkoituksenmukaista toteuttaa ST- tai KVR-urakkana.

5.1.4 SSV- ja SPV-luokitus hankintavaihtoehtoissa

SSV ja SPV-luokitusta hyödynnetään pilaristabiloinnin työselostuksissa hankintavaihtoehtoihin ve1 ja ve2. Taulukossa 12 on esitetty kokonaisurakalle eri hankintamenettelyjä SSV- ja SPV-luokituksella. Vaihtoehtojen A-D kuvauksissa on esitelty ajatuksia, miten eri vaihtoehtojen vastuita voitaisiin jakaa.

Taulukko 12. Vastuiden jakautuminen vaihtoehtoisissa kokonaisurakoissa A-D, joissa sovelletaan SSV tai SPV -luokitusta (UUMA4 2022).

	Menettely		Sideainereseptointi	Vaihtoehtoisen sideaineen reseptointi	Sekoitus-parametrien määrittäminen
A	ve1	SSV	tilaaja	urakoitsija	tilaaja
B		SPV	tilaaja	urakoitsija *	tilaaja
C	ve2	SSV	urakoitsija	-	urakoitsija
D		SPV	urakoitsija *	-	urakoitsija

* tilaaja voi esittää max. SPV-luokan lisäksi myös max. SSV-luokan

Kaikissa taulukossa 12 esitetyissä vaihtoehtoisissa

1. tilaaja vastaa suunnitelmista (mm. vaadittu pilarilujuus, pilarihalkaisija, pilarikaavio (k/k-väli), työselostus ja laatuvaatimukset)
2. urakoitsija osoittaa esittämänsä sideainereseptin toimivuuden ja sideainemäärän riittävyyden tilaajalle stabiloitavuuskokeiden tai koestabiloinnin tuloksilla
3. urakoitsija hyväksyttää esittämänsä sideainereseptin / -reseptit tilaajalla, mistä huolimatta vastuu sideaineen toimivuudesta on urakoitsijalla,
4. mikäli sideainetta tarvitaan urakoitsijan esittämää enemmän (kg/m^3), vastaa urakoitsija lisäkustannuksista, ellei muuta ole sovittu tilaajan kanssa tai esitetty hankinta-asiakirjoissa.

Edellä esitetyistä kohta 4 vaatii vielä harkintaa mm. sen osalta, missä määrin tilaaja vastaa geologisten ja geoteknisten lähtötietojen riittävyydestä ja mahdollisista yllätyksistä maaperässä. Se olisiko mahdollisesta max. SPV-luokan mukaisten päästöjen ylityksestä seuraamuksia urakoitsijalle tai millaiset ylitykset olisivat sallittavissa, on määritettävä hankinta-asiakirjoissa. Tähän tarvitaan menettelyn kehittämistä hankekohtaisesti ja myös yleisesti SSV-luokituksen ohjeistuksessa. Hankinta-asiakirjoja ajatellen on pohdittava muun muassa, miten toteutetaan tarjousten vertailtavuus ja riskinjako.

Vaihtoehto A. Tilaaja määrittää sideainereseptin ja max. SSV-luokan vaihtoehtoiselle sideaineelle. Tilaaja vastaa esittämänsä reseptin toimivuudesta. Urakoitsija vastaa stabilointityön toteutuksesta tilaajan suunnitelman mukaisesti. Urakoitsija voi halutessaan vaihtaa sideaineen siten, että sideaineella toteutuu pilareiden lujuusvaatimus ja vaihdetun sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt eivät ylitä tilaajan esittämän SSV-luokan mukaisia päästöjä.

Vaihtoehto B. Tilaaja määrittää sideainereseptin ja max. SPV-luokan vaihtoehtoiselle sideainereseptille. Tilaaja voi esittää sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan. Tilaaja vastaa esittämänsä reseptin toimivuudesta. Urakoitsija voi halutessaan vaihtaa sideainetta, jolloin sideaineen päästöt (valmistus + kuljetus x määrä) eivät saa ylittää tilaajan määrittämän SPV-luokan päästöjä. Myös tilaajan mahdollisesti esittämä SSV-luokkavaatimus tulee täyttyä.

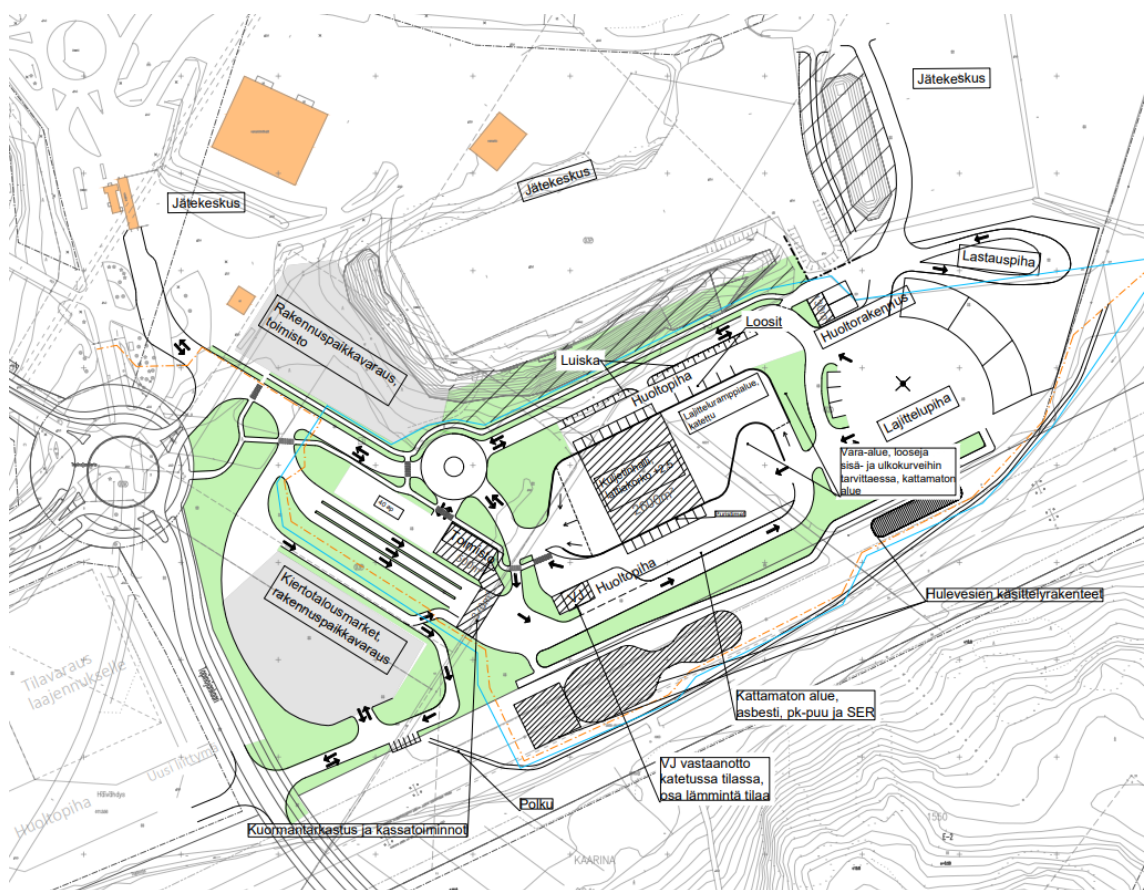
Vaihtoehto C. Tilaajan määrittää max. SSV-luokan ja urakoitsija määrittää sideainereseptin. Menettelyssä tilaaja ei rajoita sideaineen määrää. Käytettävän sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt eivät saa ylittää tilaajan määrittävää SSV-luokan mukaisia päästöjä. Urakoitsijan vastuulla on määrittää kohteeseen toimiva sideaineresepti / -reseptit. Urakoitsijan vastuulla on sekoitusparametrien (esim. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus) määrittäminen.

Vaihtoehto D. Tilaaja määrittää max. SPV-luokan ja urakoitsija määrittää sideainereseptin. Tilaaja voi esittää sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan. Tilaaja määrittää SPV-luokan ennakkokokeiden tai aikaisempien kokemusten perusteella. Urakoitsijan määrittämässä sideainereseptissä sideaineen päästöt (valmistus + kuljetus x määrä) eivät saa ylittää tilaajan määrittämän max. SPV-luokan päästöjä. Myös tilaajan mahdollisesti esittämä SSV-luokkavaatimus tulee täyttyä. Urakoitsijan vastuulla on määrittää kohteeseen toimiva sideaineresepti / -reseptit. Urakoitsijan vastuulla on myös sekoitustyön parametrien valinta (esim. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus).

Vaihtoehtoista A-D on luotu neljä kappaletta työselostuksia, jotka on esitetty työn liitteissä (liitteet 1-4).

6 Topinpuiston alue

Tarkastelukohteena työssä toimii Topinpuisto, joka sijaitsee koillis-Turussa Turun kaupungin omistamalla kiinteistöllä. Topinpuisto on Lounais-Suomen Jätehuollon ja Turun kaupungin kehityskohde, johon tullaan keskittämään kiertotalouden kasvun mahdollistavia toimintoja (kuva 12). Uudet toiminnot tulevat sijoittumaan pääosin pehmeikköalueille, jotka vaativat painumien hallintaan ja stabiliteetin varmistamiseen kohdistuvia esirakentamistoimenpiteitä. Alueelle on suunniteltu toteutettavan tuotantostabilointia 2023 uusiosideaineita hyödyntäen.



Kuva 12. Topinpuiston aluesuunnitelma 6/2022 (LSJH 2022).

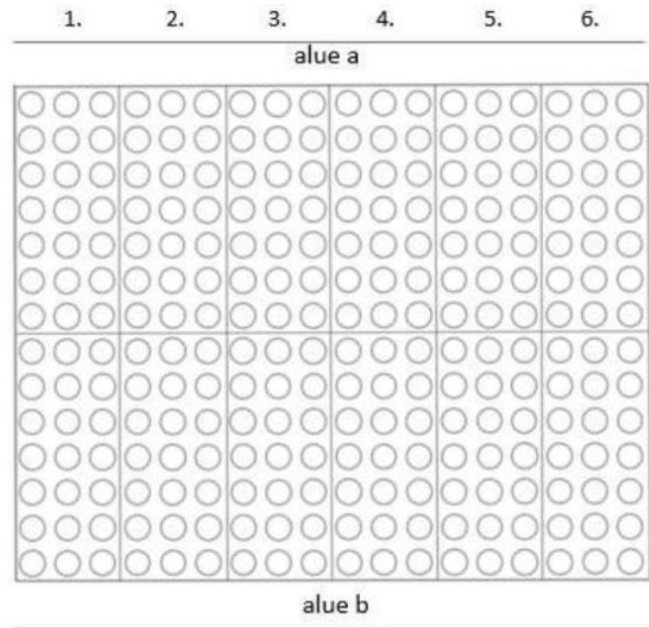
Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen kuuluu Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:n (LSJH:n) tavoitteisiin (mm. Hiilineutraali Turku v. 2029). Päästötavoitteiden saavuttamisen edistämiseksi Turun Topinpuistossa on toteutettu 03/2022 vähähiilisillä uusiomateriaalipohjaisilla sideaineilla koestabilointi, jossa uusiosideaineita valmistaville yrityksille tarjottiin mahdollisuus osoittaa sideaineiden toimivuus laboratorio- ja kenttäkokeissa. LSJH:n lähtökohtana on, että uusiomateriaalien käyttömahdollisuudet selvitetään jokaisessa rakennushankkeessa ja sitä kautta saadaan kehitettyä uusiomateriaalien markkina-arvoa.

6.1 Koestabilointien suunnitelma

Alue sijaitsee Lounais-Suomen jätehuolto Oy:n jätekeskuksen lähialueella. Koestabilointialueen pinta-ala on noin 550 m² (kuva 13). Saven syvyys koealueella on noin 17-18 m. Alue jakaantuu 12 koeruutuun kuvan 14 mukaisesti. Jokaisessa koeruudussa on 21 pilaria, joiden halkaisijat ovat 700 mm ja k/k väli 1,2 m (kuva 15). Pilarit ovat määrämittäisiä noin 10 m.



Kuva 13. Koetoiminta-alueen sijainti punaisella, Topinpuisto (Ramboll Oy 2022).



Kuva 14. Topinpuiston koestabilointialue. Koeruudut ja pilarikaavio. Pilarien halkaisija on 0,7 m ja k/k-väli 1,2 m (AVI 2022).

6.2 Koestabiloinnit

6.2.1 Aikataulu

Koepilareiden stabilointi tehtiin 03/2022. Stabilointiurakoitsijana toimi YIT Suomi Oy. Pilareiden valvontakairaukset tehtiin 28 ja 91 päivän lujittumisajan jälkeen 04/2022 ja 06/2022. 91 vuorokauden valvontakairausten yhteydessä otettiin myös näytteet pilareista ja pilareiden välisestä savesta ympäristötutkimuksia varten. Valvontakairaukset teki Ramboll Finland Oy LSJH:n tilaamina.

6.2.2 Sideaineet

Topinpuistossa toteutettiin laboratoriotutkimukset kahdessa vaiheessa – vaihe 1 vuonna 2020 ja vaihe 2 vuonna 2021. Vaiheessa 1 tehdyt tutkimukset olivat osa CircVol-hanketta, jolloin esitestattiin sivutuote- ja jätepohjaisia sideaineita laboratorio-olosuhteissa (stabiloitavuuskokeet).

Stabiloitavuuskokeita jatkettiin vaiheessa 2, jossa LSJH vastasi savinäytteiden otosta ja tutkimusten koordinoinnista. Laboratoriotutkimuksia varten savinäytteet otettiin koetoiminta-alueen vierestä. Testauksia suoritettiin neljässä laboratoriossa (Åbo Akademi, Renotech Oy, Turun AMK ja Nordkalk Oy). Stabiloitavuuskokeissa ja koestabiloinnissa tutkittiin testattavien sideaineiden lujittavaa vaikutusta sekä vertailtiin testattavien sideaineiden lujittumista toisiinsa ja kontrollina kaupalliseen tuotteeseen (Nordkalk GTC3), jossa kierrätysmateriaalien osuus on noin 50 %. Kuvassa 15 on esitetty täytetyt näyteputket, jotka sisältävät testausvaiheen sideaineseosta ja Topinpuiston savea.



Kuva 15. Lujittumattomat koekappaleet sullottuna näyteputkiin (kuva Onerva Oksman 17.11.2021, Turku AMK).

Topinpuistossa käytettiin sideaineseoksia Nordkalk Terra POZ, Terra Green, Terra GTC, Terra GTC3 ja Kaukaan voiman lentotuhka+sementti (LT + CEM II, 7:3). Terra-sideaineseoksissa sementin laatu oli CEM II koestabiloinnin aikana. Terra GTC:llä koestabiloinnit tehtiin molemmilla sementtilaaduilla (CEM II ja CEM III). CEM II vaihtui 5/2022 CEM III:ksi, joten taulukossa 15 GTC 80 kg/m³ sideaine on laskettu GTC3 päästökertoimella.

Kaukaan Voiman lentotuhkan ja sementin seoksella toteutettiin koekenttä, joka suunniteltiin toteutettavan UPM Kymmene Jämsänkosken tehtaan lentotuhkan ja sementin seoksella. Koestabiloinnin aikaan 03/2022 Jämsänkosken tehtaalla oli lakko ja sieltä ei ollut saatavissa ennakkotutkimuksissa käytetyn laatuista lentotuhkaa. Kaukaan Voiman lentotuhka on koostumukseltaan Jämsänkosken voimalaitoksen lentotuhkaa vastaavaa. Koestabilointivaiheessa jouduttiin hylkäämään yhdelle koealueelle suunniteltu kuona + sementti sideaineseos, joka ei soveltunut painesyöttimellä sekoitinkärkeen puhallettavaksi.

Sideaineista määritettiin ennen koetoiminnan aloittamista haitta-aineiden kokonais- ja liukoisia pitoisuuksia, joko pelkästä sideaineesta tai sideaineella stabiloidusta koekappaleesta.

Koestabiloinnissa käytettyjen sideaineiden toimittajat, tuotenimet ja koostumukset on esitetty taulukossa 13. Koestabiloinnissa käytettyjen sideaineiden määrä vaihteli välillä 80-160 kg/m³ taulukon 14 mukaisesti. Taulukon 14 esitetyt koealueen tunnuksset vastaavat kuvassa 14 esitetyjä tunnuksia.

Taulukko 13. Koestabiloinnissa käytetyt sideaineseokset ja niiden raaka-aineet. 5/2022 alkaen Terra GTC:n sementtilaatu on CEM III. Koestabiloinneissa käytettiin molempia sementtilaatuja CEM II (GTC) ja CEM III (GTC3) (Ramboll Oy 2022).

Sideaineen toimittaja	Tuotenimi / tunnus	Koostuvat osat	Osuus sideaineseoksesta [%]
Oy Nordkalk Ab	Terra POZ	Kalkkiuunin sähkösuodinpöly	33
		Poltettu, jauhettu kalkki	33
		CEM II	33
Oy Nordkalk Ab	Terra GTC	Sammutettu kalkki	33
		Kipsi	33
		CEM II	33
Oy Nordkalk Ab	Terra GTC3	Sammutettu kalkki	33
		Kipsi	33
		CEM III	33
Oy Nordkalk Ab	Terra Green	Kalkkiuunin sähkösuodinpöly	50
		CEM II	50
Kaukaan Voima Oy	Kaukaa LT + CEM II	Lentotuhka	70
		CEM II	30

Taulukko 14. Topinpuistossa toteutetun koestabiloinnin sideainereseptit (laatu + määrä) (Ramboll Oy 2022).

Sideaineen toimittaja	Tuotenimi / tunnus tässä tutkimuksessa	Sideaine-määrä [kg/m ³]	Koealueen tunnus
Oy Nordkalk Ab	Terra POZ	160	1b
		120	1a
		80	6a
Oy Nordkalk Ab	Terra GTC	120	2b
		80	2a
Oy Nordkalk Ab	Terra GTC3	160	5b
		120	5a
Oy Nordkalk Ab	Terra Green	160	3b
		120	3a
		80	6b
Kaukaan Voima Oy	Kaukaa LT + CEM II	160	4b
		120	4a

6.2.3 Koepilareiden hiilidioksidipäästöt

Topinpuiston koetoiminnan oleellisena tavoitteena on vähentää syvästabiloinnin aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Stabiloinnin työsuorituksen päästöt on jätetty huomioimatta Topinpuiston koestabiloinnin päästölaskelmissa. Taulukossa 15 on esitetty CO₂e -päästöt jokaista koealuetta (kuva 15) kohden. Taulukossa 16 on esitetty taulukon 15 laskelmissa käytetyt päästökertoimet.

Taulukko 15. Topinpuiston koestabilointi. Koealueiden pilareissa käytettyjen sideaineiden päästöt (sisältävät valmistuksen ja kuljetuksen). Kullakin koealueella on 230 pilarimetriä halkaisijaltaan 0,7 m pilareita. Taulukossa on esitetty myös sideaineseokselle KC50, jota ei käytetty koestabiloinnissa, lasketut päästöt (kalkkisementti 50 % / 50 %).

<i>päästökerroin</i> <i>kg CO₂e / t</i>		Sideainemäärä			
		80	120	160	kg/m ³
		31	46	62	kg/m
Sideaineseos		CO ₂ e -päästö / koealue			
Nordkalk Terra POZ	567	4013	6019	8026	kg CO ₂ e
Nordkalk Terra Green	241	1706	2559	3411	kg CO ₂ e
Nordkalk Terra GTC3	190	1345*	2017	2689	kg CO ₂ e
Kaukaa LT + CEM II	194	-	2060	2746	kg CO ₂ e
<i>Vertailuarvo KC50, ei käytetty koestabiloinnissa</i>					
Nordkalk Terra KC50	848	6002	9003	12004	kg CO ₂ e

värien selitteet:

	1000-2000 kg CO ₂ e
	2000-3000 kg CO ₂ e
	3000-4000 kg CO ₂ e
	4000-6000 kg CO ₂ e
	>6000 kg CO ₂ e

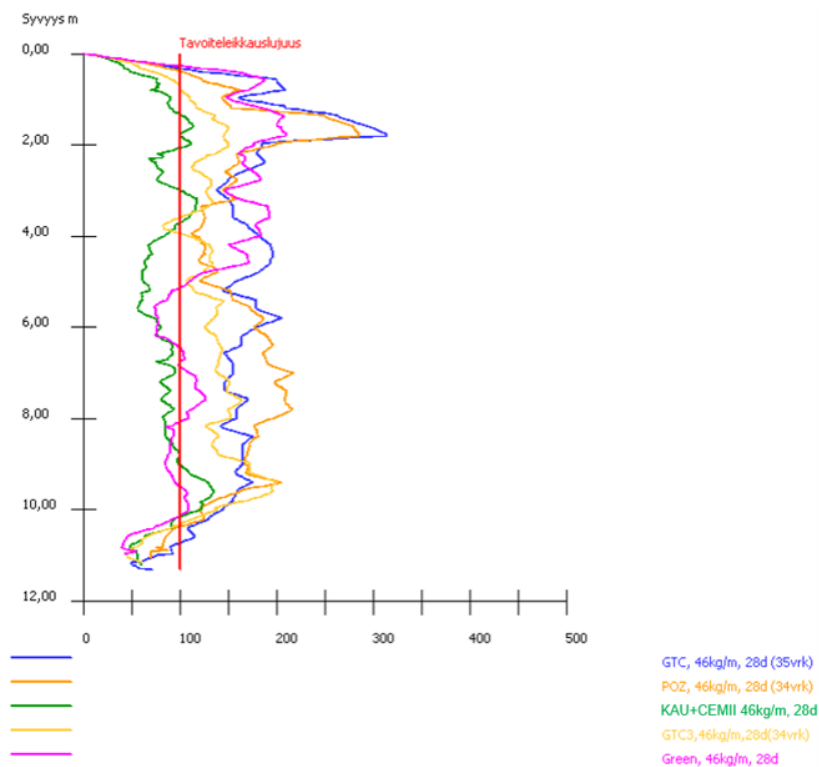
*Tähdellä merkitty on stabiloitu sideaineella GTC (CEM II), mutta taulukkoon on laskettu päästöt GTC3 (CEM III) päästökertoimella

Taulukko 16. Topinpuiston koestabilointi. Sideaineseosten päästökertoimet (Ramboll Oy).

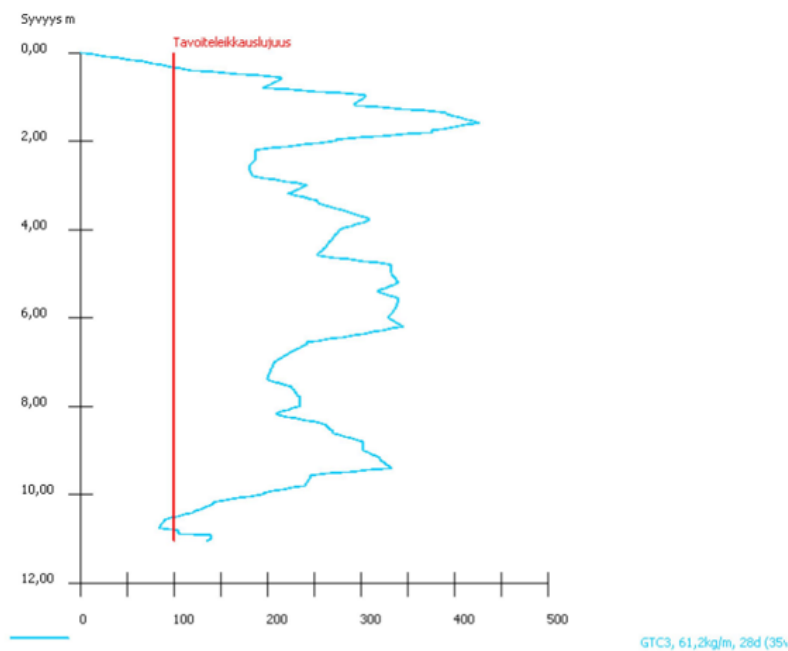
Sideaineen	valmistus	kuljetus	valmistus + kuljetus	Kirjallisuus
päästökerroin	[kg CO ₂ e/t]			
Nordkalk Terra POZ	563	4,0	567	Nordkalk info 21.4.2022
Nordkalk Terra Green	237	4,0	241	Nordkalk info 21.4.2022
Nordkalk Terra GTC3	186	4,0	190	Nordkalk info 21.4.2022
Kaukaa LT + CEM II	184	10,2	194	Nguyen 2021, DI-työ
<i>Vertailuarvo, ei käytetty koestabiloinnissa</i>				
<i>Nordkalk Terra KC50</i>	<i>844</i>	<i>4,0</i>	<i>848</i>	<i>Nordkalk info 21.4.2022</i>

6.2.4 Valvontakairausten tulokset

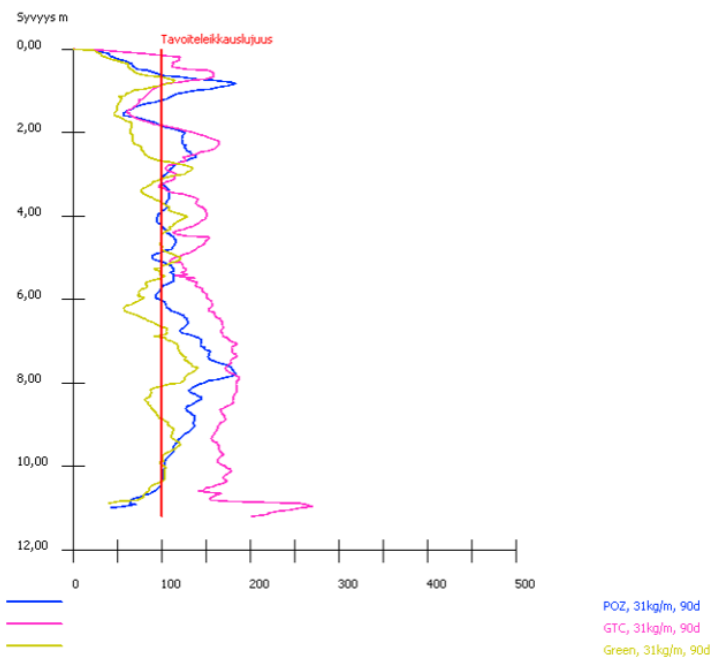
Tässä yhteenvedossa on esitetty kairausten keskiarvokuvaajat yhdistettynä siten, että yhdessä kuvassa (kuvat 16-20) on samaa sideainemäärää ja lujittumisaikaa edustavat keskiarvokuvaajat. Nämä keskiarvokuvaajat on muodostettu yksittäisistä kairaustuloksista, jotka on esitetty koetoiminnan loppuraportissa (Ramboll 2022). Kuvissa esitetty tavoiteleikkauslujuus edustaa usein suunnitelmissa esitettyä pilaristabiloinnin leikkauslujuutta. Se on tässä esitetty tulosten lukemisen helpottamiseksi, mutta se ei edusta Topinpuistossa tuotantostabiloinnissa käytettävää lujuuutta. Tuotantostabiloinnin lujuuden määrittää rakennussuunnitelman tekijä erikseen.



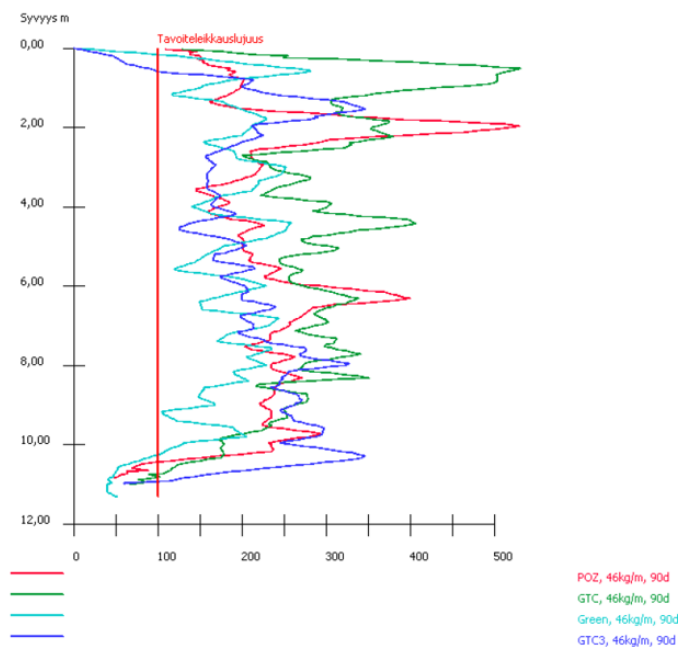
Kuva 16. Sideainemäärällä 120 kg/m^3 saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 28 vuorokauden iässä (Ramboll Oy 2022).



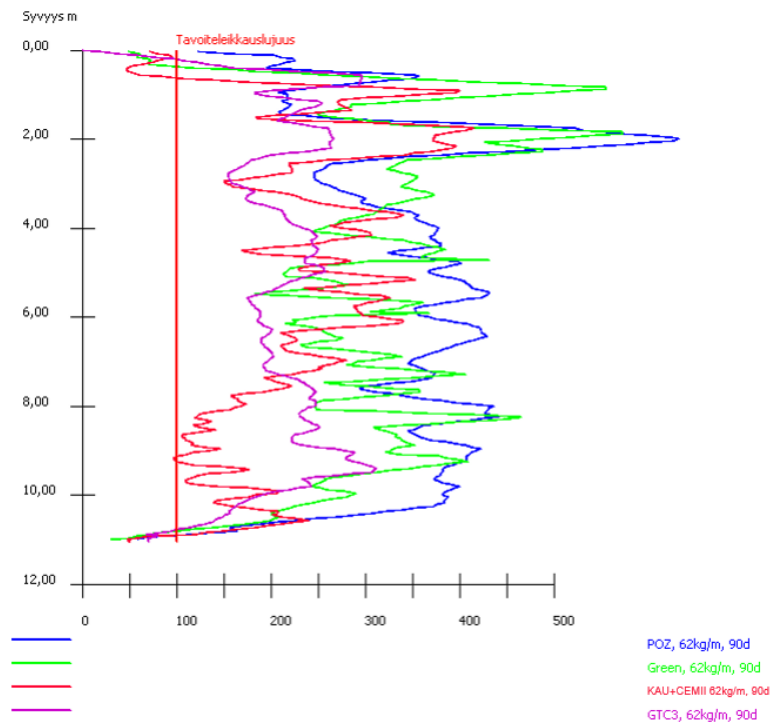
Kuva 17. Sideainemäärällä 160 kg/m^3 saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 28 vuorokauden iässä (Ramboll Oy 2022).



Kuva 16. Sideainemäärällä 80 kg/m^3 saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä (Ramboll Oy 2022).



Kuva 17. Sideainemäärällä 120 kg/m^3 saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä (Ramboll Oy 2022).



Kuva 18. Sideainemäärällä 160 kg/m^3 saavutetut keskiarvoleikkauslujuudet 91 vuorokauden iässä (Ramboll Oy 2022). KAU+CEM II -kuvaajassa on mahdollisesti osa kairauksista ulkona pilareista syvyyden 8 m alapuolella, mikä ilmenee muita alhaisempaa lujuutena.

6.3 Ympäristöntarkkailu

Koetoiminnan yhteydessä toteutettiin ympäristöntarkkailua pohja- ja pintavesistä. Pinta- ja pohjavesitarkkailun tulokset toimitettiin Varsinais-Suomen ELY-keskukseen ja kaupungin ympäristöviranomaiselle koetoimintaluvan mukaisesti. Seurannan aikana pinta- tai pohjavesissä ei havaittu koetoiminnasta aiheutuneita muutoksia. Kaikkien stabilointipilareiden metallien liukoisuudet olivat ympäristökriteereissä esitettyjä pienempiä eli vastasivat pitoisuuksiltaan enintään tavanomaista jätettä. Ainoastaan kloridipitoisuus oli korkeampi stabilointipilareita ympäröivässä maassa, todetut pitoisuudet alittivat kuitenkin selkeästi tavanomaisen jätteen raja-arvon. (Ramboll Oy 2022.)

6.4 SSV-luokituksen soveltuvuus Topinpuiston tuotantostabilointiin

Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyyssuositusta SSV olisi mahdollista käyttää Topinpuiston alueella tuleviin tuotantostabilointeihin. SSV-luokka voitaisiin asettaa pilaristabiloinnin työselostukseen hankinnan kriteeriksi. Koestabiloinnissa käytettyjen sideaineiden ”epäviralliset” päästökertoimet tiedetään (valmistus + kuljetus). Koestabiloinneissa käytettyjen sideaineiden SSV-luokat ovat:

- Nordkalk GTC3 (SSV.2)
- Nordkalk GTC (CEM II) (SSV.3)
- Nordkalk Terra POZ (SSV.7)
- Nordkalk Terra GREEN (SSV.3)
- Kaukaa lentotuhka + CEM II (SSV.2)
- *Nordkalk Terra KC50 (vertailuarvo, ei käytetty koestabiloinneissa, SSV.9)*

Luettelossa Nordkalk Terra GTC3 on 05/2022 jälkeen sama kuin GTC. SSV-luokitus on sideainekohtainen ja työmaa kohtainen (sijainti määrää osaltaan sideaineen kuljetusmatkan). SSV-luokka ei ota kantaa käytettävän sideaineen määrään kg/m³. Valmistuksesta ja kuljetuksesta eniten päästöjä syntyy Nordkalk Terra POZ sideaineella, joka kuuluu SSV-luokkaan SSV.7.

SSV-luokitusta Topinpuiston tuotantostabilointien hankintaan voitaisiin hyödyntää vaihtoehtoja A ja C, jotka on esitetty kappaleessa 5.2.4:

- Vaihtoehto A. Tilaajan sideaineresepti ja max. SSV-luokka urakoitsijan vaihtoehtoiselle sideaineelle
- Vaihtoehto C. Urakoitsijan sideaineresepti ja tilaajan esittämä max. SSV-luokka sideaineelle

Kappaleessa 5.2.4. on esitetty ehdotuksia urakoitsijan ja tilaajan vastuiden jakautumiseen SSV-luokitusta käytettäessä. Kappaleessa 4.2.7 on esitetty vaihtoehdon C mahdollisia riskejä.

6.5 SPV-luokituksen soveltuvuus Topinpuiston tuotantostabilointiin

Stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitusta SPV olisi mahdollista käyttää Topinpuiston alueella tulevissa tuotantostabilointeja varten. Ennakkotutkimusten perusteella alueen geologia ja sideaineilla saavutettavat pilarilujuudet tiedetään kohtuullisen hyvin. Olemassa olevia tuloksia voidaan hyödyntää asettamalla SPV-luokka työselostukseen hankinnan kriteeriksi. Taulukkoon 17 on koottu eri sideaineiseoksilla stabiloitujen koepilareiden SPV-luokat saavutettujen leikkauslujuuksien mukaan jaoteltuna.

Taulukko 17. Topinpuisto. Valvontakairausten tulosten, sideaineen SSV-luokan ja sideainemäärän perusteella määritetyt SPV-luokat eri sideaineille erilaisilla pilareiden tavoitelujuuksilla. Taulukko on tarkkuudeltaan suuntaa antava.

Leikkauslujuus Sideaineseos	80-120 kPa	120-160 kPa	> 160 kPa
Nordkalk Terra GREEN	SPV3	SPV4	SPV5
Nordkalk Terra GTC3	SPV2	SPV3	SPV4
Nordkalk Terra POZ	SPV5	SPV7	SPV7
Kaukaa lentotuhka + CEM II	SPV3	SPV3	SPV4

Sideainereseptille voidaan asettaa eri SPV-luokat riippuen tarvittavasta sideainemäärästä ja käytetystä sideaineesta. Esimerkiksi Kaukaan lentotuhka + CEM II seosta tarvitaan koepilareiden kairaustulosten ja stabiloitavuuskokeiden perusteella noin 120 kg/m³, jotta tavoitelujuus 100 kPa saavutetaan. Näin ollen sideainemäärän ja-päästökertoimen (valmistus + kuljetus) perusteella SPV-luokka on SPV3. Nordkalk GTC3 sideaineella SPV-luokka on pienempi, koska sideaineen päästökerroin on pienempi ja sideainetta tarvitaan vähemmän.

Topinpuiston tuotantostabilointien hankintaan voitaisiin hyödyntää SPV-luokitusta vaihtoehtoja B ja D, jotka on esitetty kappaleessa 5.2.4, mukaisesti:

- Vaihtoehto B. Tilaajan sideaineresepti ja max. SPV-luokka urakoitsijan vaihtoehtoiselle sideaineelle. Tilaaja voi halutessaan asettaa sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan
- Vaihtoehto D. Urakoitsijan sideaineresepti ja tilaajan esittämä max. SPV-luokka. Tilaaja voi halutessaan asettaa sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan

Kappaleessa 5.2.4. on esitetty ehdotuksia urakoitsijan ja tilaajan vastuiden jakautumiseen SPV-luokitusta käytettäessä. Kappaleessa 4.2.7 on esitetty vaihtoehtoon D mahdollisia riskejä.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokituksella (SSV- ja SPV-luokituksella) voidaan vähentää merkittävästi stabiloinnin sideaineen valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä asettamalla ne stabilointityön työselostukseen hankinnan kriteeriksi. Suunnittelu ja tilaajan vähähiilisyystavoitteet ovat avainasemassa luokituksen käyttöönottamisessa.

Oleellinen ratkaistava asia on sideainereseptin toimivuuteen liittyvien riskien hallinta ja sitä varten tehtävät valinnat, jotka ovat osin olosuhderiippuvaisia. Silloin, kun alue on geologisesti tunnettu ja homogeeninen, maaperän ominaisuuksiin liittyvät riskit ovat vähäisiä. Sideainereseptiin liittyviä riskejä saattavat aiheuttaa esimerkiksi: savikerroksen alapinnan tason ja maakerrosrajojen jyrkkäpiirteinen vaihtelu, maakerrosten ominaisuuksien vaihtelut ja maaperän happamat sulffaattimaat. Tällöin tarvitaan enemmän geoteknisiä tutkimuksia ja stabiloitavuuskokeita stabiloitavan savialtaan tilavuuteen nähden verrattuna geologisesti tunnettuun ja homogeeniseen savialtaaseen. (UUMA4 2022.) Lähtökohtana riittäviä tutkimusmääriä arvioitaessa voidaan käyttää ohjetta ”Syvästabiloinnin suunnittelu” (Liikennevirasto 2018), jossa on ohjeistettu syvästabiloinnin suunnittelua ja sideainereseptointiä varten tarvittavat kenttä- ja laboratoriotutkimukset sekä suositukset tutkimusmääriksi.

Topinpuiston koestabiloinnissa käytettyjen sideaineiden päästökertoimet (valmistus+kuljetus) vaihtelevat välillä 184-563 kg CO_{2e} /t. Päästökertoimet olivat pienimmät Nordkalk Terra GTC3:llä (190 kg CO_{2e} /t) ja Kau LT + CEM II -seoksella (194 kg CO_{2e} /t). Terra Greenillä päästökerroin oli hieman suurempi (241 kg CO_{2e} /t). Päästökerroin oli selvästi suurempi Terra POZilla (567 kg CO_{2e} /t). Käytännössä sideaineen päästöt ovat tarvittavan sideainemäärän [kg/m] ja sideaineen (valmistus+kuljetus) päästökertoimen [kg CO_{2e} /t] tulo, mikä tulee huomioida sideainereseptointiä tehtäessä ja sideaineiden päästöjä optimoitaessa.

Tässä työssä tehtyjen tarkastelujen ja arviointien perusteella syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitusta SSV olisi mahdollista käyttää Topinpuiston alueella tulevassa tuotantostabiloinnissa hankinnan kriteerinä.

Tuotantostabilointien hankintaan voitaisiin hyödyntää SSV-luokitusta vaihtoehtojen A ja C mukaisesti:

- Vaihtoehto A. Tilaajan sideaineresepti ja max. SSV-luokka urakoitsijan vaihtoehtoiselle sideaineelle
- Vaihtoehto C. Urakoitsijan sideaineresepti ja tilaajan esittämä max. SSV-luokka sideaineelle

Stabilointipilareiden vähähiilisyysluokitusta SPV olisi mahdollista käyttää Topinpuiston alueella tulevassa tuotantostabiloinnissa. Ennakkotutkimusten perusteella alueen geologia ja sideaineilla saavutettavat pilarilujuudet tiedetään kohtuullisen hyvin. Olemassa olevia tuloksia voidaan hyödyntää asettamalla SPV-luokka työselostukseen hankinnan kriteeriksi. Hankinnassa voitaisiin hyödyntää SPV-luokitusta vaihtoehtojen B ja D mukaisesti:

- Vaihtoehto B. Tilaajan sideaineresepti ja max. SPV-luokka urakoitsijan vaihtoehtoiselle sideaineelle. Tilaaja voi halutessaan asettaa sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan
- Vaihtoehto D. Urakoitsijan sideaineresepti ja tilaajan esittämä max. SPV-luokka. Tilaaja voi halutessaan asettaa sideaineelle lisäksi max. SSV-luokan

Menettelyjä A, B, C ja D vastaavat mallityöselostukset on esitetty liitteissä.

SSV- ja SPV-luokitus ovat kehitysvaiheessa. Yksi työn tavoitteista oli tunnistaa asioita, joihin tulisi kiinnittää huomiota menettelyä kehitettäessä ja testattaessa. Tällaisiksi asioiksi, joissa tarvitaan jatkokehitystä UUMA4-ohjelmassa, tunnistettiin mm. seuraavat:

- sideainereseptin toimivuuteen liittyvät riskit ja riskien jakaminen
- riskien hallintaan tarvittavien geologisten ja geoteknisten lähtötietojen riittävyyden varmistaminen

- profiilipilarien, joissa tarvitaan eri syvyyksille eri sideainemäärä, SPV-luokan asettaminen

Lähteet

- Aalto, O.-P. 2022. Vähähiilinen betoni ja betonin kaltaiset materiaalit infrarakentamisessa. UUMA-vuosiseminaari 28.9.2022. PP-esitys. Saatavissa https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/07%20Olli-Pekka%20Aalto%20ja%20Jarno%20Arkko_V%C3%A4h%C3%A4hiilinen%20betoni%20ja%20betonin%20kaltaiset%20materiaalit%20infrarakentamisessa.pdf
- Aluehallintovirasto. 2022. Uusiosideaineiden käyttöä syvästabiloinnissa Topinpuistossa koskeva koetoiminta 4.1.2022 ESAVI/42643/2021. Turku. Viitattu 7.12.2022: <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/2114495>
- Finnsementti Oy. Masuunikuonajauhe KJ400. Sementin ja masuunikuonajauheen seos sideaineena parantaa sementin ominaisuuksia. Viitattu 24.9.2022: <https://finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet/masuunikuona-kj400/>
- Forsman, J. L. 2022. Uusiosideaineet syvästabiloinneissa – kokemuksia ja kehitysajatuksia.- UUMA4-ohjelma. Vuosiseminaari 28.9.2022. PP-esitys. Saatavissa: https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/09%20Juha%20Forsman_Uusi%20sideaineet%20syv%C3%A4stabiloinneissa%20-%20kokemuksia%20ja%20kehitysajatuksia.pdf
- Finnsementti Oy. Sementin valmistus. Viitattu 31.10.2022: <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-sementista/valmistus/>
- Helsingin kaupunki 2022. Kaupunkiympäristölautakunnan ympäristö- ja lupajaosto: Helsingin kaupungin ympäristölupahakemus Kalasatamasta Pasilaan raitiotiehankkeessa syntyvien ja jätteeksi luokiteltavien ylijäämämaiden, purkumateriaalien sekä uusiomateriaalien hyötykäytölle hankkeen maarakentamisessa. Pöytäkirja. Viitattu 7.12.2022: https://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunkiymparistolautakunnan_ymparisto-ja_lupajao/Suomi/Paatos/2022/Kymp_2022-03-17_Ylja_5_Pk/BC88CC68-F7D2-C886-85FB-7FADA3100000/Helsingin_kaupungin_ymparistolupahakemus_Kalasatam.pdf
- Infra 062-710191. 2018. Tuhkien käyttö maarakentamisessa, Metsä- ja energiateollisuuden tuhkamateriaalit. RT-ohjekortit. Helsinki: Rakennustieto.
- Kivi, E. 2021. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa: Käyttömäärät ja hiilijalanjälki. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. Viitattu 7.12.2022: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/112692>

Kiviniemi O.; Sikiö J.; Jyrävä H.; Ollila S., Autiola M.; Ronkainen M.; Lindroos N.; Lahtinen P. & Forsman J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkut väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. [Verkkodokumentti] saatavissa:

https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Knauf. 2020. Kipsi. Viitattu 23.11.2022: <https://knauf.fi/knauf-oy/ymparisto-laatu-ja-turvallisuus/kipsi>

Koivulahti, M. 2022. Sementin korvaaminen säästää rahaa ja ympäristöä.

Rakennuslehti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2022/09/sementin-korvaaminen-saastaa-rahaa-ja-ymparistoa-pienessa-kylassa-pirkanmaalla-on-tutkittu-vaihtoehtoisia-sideaineita-yli-30-vuotta/>

KPO 2002. Kalkkisementtipilariohje. Geotekniikkayksikkö. Espoo: Espoon kaupungin tekninen keskus.

Liikennevirasto 2018. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikennevirasto. Helsinki. 128 s. ISBN 978-952-317-588-4.

Lounais-Suomen ympäristökeskus: Ympäristölupapäätös 9.12.2008: LOS-2002-Y-1709-111. Viitattu 7.12.2022: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LounaisSuomen_ymparistokeskuksen\(26475\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LounaisSuomen_ymparistokeskuksen(26475))

Nguyen, T. 2021. Uusiosideaineet pilaristabiloinnissa: Kuninkaantammen koestabilointi. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. Viitattu 7.12.2022: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/103361>

Paatsema, M. & Kangas, H. 2003. Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seurantatutkimukset. Geotekninen osasto, Helsingin kaupunki.

Piispanen, P. 2017. Massastabiloinnin pitkäaikaistoimivuus. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 92 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28497>

Punkki J, 2021. Betonin sideaineet tulevaisuudessa. BET2104_74-83. Viitattu 7.12.2022: https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104_74-83.pdf

Punkki, J. 2022. Betonin hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Uusiomaarakentamisen vuosiseminaari 28.9.2022. PP-esitys. Saatavissa: https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/06%20Jouni%20Punkki_Betonin%20hiilidioksidip%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen%20v%C3%A4hent%C3%A4minen.pdf

Ramboll Finland Oy 2022. Topinpuiston suunnitelmat 2021-2022.

Salmela, S. 2022. Hankintakriteerit kiertotaloutta ja vähähiilisyttä vauhdittavaan infrarakentamiseen. Ympäristöministeriön ja Väyläviraston tilaama koonti ja kehitystyö 2022. -UUMA Vuosiseminaari 28.9.2022. PP-esitys. Viitattu 7.12.2022: https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/05%20Suvi%20Salmela_Hankintakriteerit%20kiertotaloutta%20ja%20v%C3%A4h%C3%A4hiilisytt%C3%A4%20vauhdittavaan%20infrarakentamiseen.pdf

SFS-EN 197-1. Sementtistandardi.

UUMA4 syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokittelu (luonnos) 14.11.2022.

Valjakka, T-W. 2022. Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. Viitattu 7.12.2022: https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/2022--%20Valjakka_DI_Pilaristabiloinnin%20.pdf#overlay-context=uusiomaarakentamisen-opinn%25C3%25A4ytety%25C3%25B6t

Vuori, M. & Punkki, J. 2022. BY-Vähähiilisyysluokitus käyttöön. Betoni. Viitattu 7.12.2022: https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/03/BET2201_90-95.pdf

Liite 1. Mallityöselostus A

VAIHTOEHTO A: TILAAJAN SIDEAINERESEPTI JA MAX. SSV-LUOKKA VAIHTOEHTOISELLE SIDEAINEELLE (LUONNOS)

RAKENNUSHANKKEEN YLEISTIEDOT

Urakoitsijalle kuuluvat työt ja hankinnat

- valmistelevat työt
- liikennejärjestelyjen suunnittelu ja toteuttaminen mm. työmaa-alueen aitaaminen
- meluilmoituksen laatiminen
- urakoitsija voi vaihtaa sideainetta tässä työselostuksessa ja SSV-luokitusohjeessa esitetyin ehdoin
- vaihdettaessa sideainetta urakoitsija osoittaa sideaineen toimivuuden ennakkokokein
- urakoitsija vastaa esittämänsä sideainereseptin toimivuudesta, vaikka tilaaja olisi sen hyväksynyt

Hankekohtaiset asiakirjat

Työssä noudatetaan seuraavia yleisiä työselityksiä ja -selostuksia sekä ohjeita soveltuvin osin:

- InfraRYL
- RIL 121–2004 Pohjarakennusohjeet
- RIL 263–2014 Kaivanto-ohje (noudatetaan ensisijaisesti kaivantojen osalta)
- Liikennevirasto, Syvästabiloinnin suunnitteluohje 17/2018
- SSV-luokitusohje

Materiaalit

Urakoitsijan tulee huolehtia, että hänen käyttämänsä rakennustuotteet ovat joko Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) nro: 305/2011 (rakennustuoteasetuksen) mukaisesti CE-merkittyjä tai siltä osin kuin tuotteiden ei tarvitse olla CE-merkittyjä, tuotteet ovat lain eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 2012/954 (tuotehyväksyntälain) ja vastaavan asetuksen mukaisesti varmennettuja. Urakoitsijan tulee varmistaa rakennustuotteen kelpoisuus eli tuotteen CE-merkintä ja kansallinen hyväksyntä ennen tuotteiden tilaamista / käyttämistä / kiinnittämistä rakennuskohteeseen. **Tilaajan osoittaman ja määräämän sideaineen osalta voidaan poiketa CE-merkinnän ja tuotehyväksynnän vaatimuksista.**

Tilaaja voi määrätä tuotantostabiloinnin yhteydessä tehtäväksi koepilareita, joita ei ole esitetty tässä työselostuksessa. Koepilareiden sijainti esitetään erikseen laadittavassa suunnitelmapiirustuksessa ja ne tehdään erikseen laadittavan työohjeen mukaisesti.

10000 MAA-, POHJA JA KALLIORAKENTEET

14000 Pohjarakenteet

14100 Vahvistetut maarakenteet

14131 Pilaristabiloidut rakenteet

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 14130 mukaiset.

Stabiloitavat alueet on esitetty suunnitelmapiirustuksissa.

14131.1 Pilaristabiloinnin materiaalit

Sideaineseoksena käytetään sideainetta X, jonka sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ovat SSV.n -luokan mukaiset.

Urakoitsija voi halutessaan vaihtaa sideainetta, mutta urakoitsijan esittämän sideaineen CO₂e-päästöt saavat olla enintään SSV.n -luokan mukaiset. Käytettävän sideaineen määrää kg/m³ ei ole rajoitettu. Urakoitsijan tulee hyväksyttää sideaineen vaihto tilaajalle ennen stabilointityön aloittamista.

Tilaajan sideaineresepti/-reseptit (sideaineen laatu + määrä) on valittu alueella tehtyjen stabiloitavuuskokeiden tulosten perusteella. Urakoitsijan tulee osoittaa esittämänsä sideainereseptin / -reseptien toimivuus ennakkokokeilla. Stabiloitavuuskoetulosten muunnoksessa kentäljuudeksi tulee käyttää ko. sideaineelle tarkoitettua kenttä-/laboratoriolujuuskerrointa.

Sideaineen tulee täyttää InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset.

Ennen työn aloittamista tulee urakoitsijan hankkia sideaineen valmistajan laatututkimus käytettävästä sideaineesta. Sideainenäytteet otetaan InfraRYL:ssä esitetyin välein. Näytteet toimitetaan tilaajalle.

14131.3 Pilaristabiloinnin tekeminen

Pilaristabilointityö suoritetaan työselostuksen mukaisesti, vaikka urakoitsija vaihtaisi sideainetta.

Pilaroinnin lujuusvaatimukset:

Pilareiden leikkauslujuusvaatimus on tason X alapuolella X kPa.

Stabiloitavuuskokeiden ja alueella aiemmin toteutettujen pilaristabilointien tulosten perusteella on arvioitu, että lujuusvaatimus on saavutettavissa koko pilarointisyvytydellä. Lujuusvaatimusten alitukset tulkitaan työstä johtuviksi, ellei kohteesta löydy stabiloituvuutta heikentävää muuta syytä.

Pilareiden lujuusvaatimus tulee saavuttaa 3 kk ikäisenä.

1 kk ikäisenä tutkittavien pilareiden lujuuden tulee olla $\geq x$ % ja 2 kk ikäisenä tutkittuna $\geq x$ % 3 kk lujuusvaatimuksesta käytettäessä tilaajan sideainereseptiä. Mikäli käytetään urakoitsijan esittämää sideainereseptiä, tulee urakoitsijan esittää sideaineelle ennakkokokeisiin perustuvat aikalujittumiskertoimet, joiden perusteella määritetään lujuusvaatimukset 1 kk ja 2 kk lujittuneille pilareille.

Pilaroinnin laadunvalvonta:

Taulukossa 1 on esitetty laadunvalvontakairauksen määrät osa-alueittain.

Taulukko 1. Pilarien määräärvio ja laadunvalvontatutkimusten määrät osa-alueittain. Osa-alueet on esitetty pohjanvahvistuskartalla.

osa-alue	pilarihalkaisija [mm]	pilareita [kpl]	pilareita [m]	pilarikairauksia 3 kk * [kpl]
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
yhteensä alueet x-x:		x	x	x

* tarvittaessa kairaukset voidaan tehdä vähemmän aikaa lujittuneille pilareille

Urakoitsija voi halutessaan tehdä yllä olevassa taulukossa esitettyä enemmän laadunvalvontakairauksia ja ottaa tulokset mukaan laskettaessa pilarointityön keskiarvotuloksia. Kaikki onnistuneeksi tulkitut kairaukset on kuitenkin huomioitava keskiarvolujuutta laskettaessa. Tilaaja voi myös halutessaan teettää stabilointialueella valvontakairauksia.

Mikäli tilaaja teettää alueella koepilareita muilla sideaineilla urakan yhteydessä, esitetään niille tehtävät laadunvalvontakairaukset erillisessä suunnitelmassa.

Liite 2. Mallityöselostus B

VAIHTOEHTO B: TILAAJAN SIDEAINERESEPTI JA MAX. SPV-LUOKKA VAIHTOEHTOISELLE SIDEAINEELLE (LUONNOS)

RAKENNUSHANKKEEN YLEISTIEDOT

Urakoitsijalle kuuluvat työt ja hankinnat

- valmistelevat työt
- liikennejärjestelyjen suunnittelu ja toteuttaminen mm. työmaa-alueen aitaaminen
- meluilmoituksen laatiminen
- urakoitsija voi vaihtaa sideainetta tässä työselostuksessa ja SPV-luokitusohjeessa esitetyin ehdoin
- vaihdettaessa sideainetta urakoitsija osoittaa sideainereseptin/-reseptien toimivuuden ennakkoarvioin
- urakoitsija vastaa esittämänsä sideainereseptin toimivuudesta, vaikka tilaaja olisi sen hyväksynyt

Hankekohtaiset asiakirjat

Työssä noudatetaan seuraavia yleisiä työselityksiä ja -selostuksia sekä ohjeita soveltuvin osin:

- InfraRYL
- RIL 121–2004 Pohjarakennusohjeet
- RIL 263–2014 Kaivanto-ohje (noudatetaan ensisijaisesti kaivantojen osalta)
- Liikennevirasto, Syvästabiloinnin suunnitteluohje 17/2018
- SPV-luokitusohje
- SSV-luokitusohje

Materiaalit

Urakoitsijan tulee huolehtia, että hänen käyttämänsä rakennustuotteet ovat joko Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) nro: 305/2011 (rakennustuoteasetuksen) mukaisesti CE-merkittyjä tai siltä osin kuin tuotteiden ei tarvitse olla CE-merkittyjä, tuotteet ovat lain eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 2012/954 (tuotehyväksyntälain) ja vastaavan asetuksen mukaisesti varmennettuja. Urakoitsijan tulee varmistaa rakennustuotteen kelpoisuus eli tuotteen CE-merkintä ja kansallinen hyväksyntä ennen tuotteiden tilaamista / käyttämistä / kiinnittämistä rakennuskohteeseen. Tilaaajan osoittaman ja määräämän sideaineen osalta voidaan poiketa CE-merkinnän ja tuotehyväksynnän vaatimuksista.

Tilaaja voi määrätä tuotantostabiloinnin yhteydessä tehtäväksi koepilareita, joita ei ole esitetty tässä työselostuksessa. Koepilareiden sijainti esitetään erikseen laadittavassa suunnitelmapiirustuksessa ja ne tehdään erikseen laadittavan työohjeen mukaisesti.

10000 MAA-, POHJA JA KALLIORAKENTEET

14000 Pohjarakenteet

14100 Vahvistetut maarakenteet

14131 Pilaristabiloidut rakenteet

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 14130 mukaiset.

Stabiloitavat alueet on esitetty suunnitelmapiirustuksissa.

14131.1 Pilaristabiloinnin materiaalit

Sideaineseoksena käytetään sideainetta X, jonka sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen sekä käytettävän sideainemäärän (kg/m^3) päästöt ovat enintään SPV.n -luokan mukaiset. Sideaineen päästöluokka on enintään SSV.n.

Urakoitsija voi halutessaan vaihtaa sideainereseptiä. Urakoitsijan esittämän sideainereseptin CO_2 e-päästöt saavat olla enintään tilaajan asettaman SPV.n -luokan mukaiset ja sideaineen päästöt enintään SSV.n -luokan mukaiset. Urakoitsijan tulee hyväksyttää sideainereseptin vaihto tilaajalle ennen stabilointityön aloittamista.

Tilaajan sideaineresepti/-reseptit (sideaineen laatu + määrä) on valittu alueella tehtyjen stabiloitavuuskokeiden tulosten perusteella. Urakoitsijan tulee osoittaa esittämänsä sideainereseptin / -reseptien toimivuus alueen savinäytteillä tehtävillä ennakkokokeilla. Stabiloitavuuskoetulosten muunnoksessa kenttälujuudeksi tulee käyttää ko. sideaineelle tarkoitettua kenttä-/laboratoriolujuuskerrointa.

Sideaineen tulee täyttää InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset.

Ennen työn aloittamista tulee urakoitsijan hankkia sideaineen valmistajan laatututkimus käytettävästä sideaineesta. Sideainenäytteet otetaan InfraRYL:ssä esitetyn välein. Näytteet toimitetaan tilaajalle.

14131.3 Pilaristabiloinnin tekeminen

Pilaristabilointityö suoritetaan työselostuksen mukaisesti, vaikka urakoitsija vaihtaisi sideainetta.

Pilaroinnin lujuusvaatimukset:

Pilareiden leikkauslujuusvaatimus on tason X alapuolella X kPa.

Stabiloitavuuskokeiden ja alueella aiemmin toteutettujen pilaristabilointien tulosten perusteella on arvioitu, että lujuusvaatimus on saavutettavissa koko pilarointisyvyydellä. Lujuusvaatimusten alitukset tulkitaan työstä johtuviksi, ellei kohteesta löydy stabiloituvuutta heikentävää muuta syytä.

Pilareiden lujuusvaatimus tulee saavuttaa 3 kk ikäisenä.

1 kk ikäisenä tutkittavien pilareiden lujuuden tulee olla $\geq x \%$ ja 2 kk ikäisenä tutkittuna $\geq x \%$ 3 kk lujuusvaatimuksesta käytettäessä tilaajan sideainereseptiä. Mikäli käytetään urakoitsijan esittämää sideainereseptiä, tulee urakoitsijan esittää sideaineen hyväksyttämisen yhteydessä ennakkokokeisiin perustuvat aikalujuuttumiskertoimet, joiden perusteella määritetään lujuusvaatimukset 1 kk ja 2 kk lujittuneille pilareille.

Pilaroinnin laadunvalvonta:

Taulukossa 1 on esitetty laadunvalvontakairauksen määrät osa-alueittain.

Taulukko 1. Pilarien määräärvio ja laadunvalvontatutkimusten määrät osa-alueittain. Osa-alueet on esitetty pohjanvahvistuskartalla.

osa-alue	pilarihalkaisija [mm]	pilareita [kpl]	pilareita [m]	pilarikairauksia 3 kk * [kpl]
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
yhteensä alueet x-x:		x	x	x

* tarvittaessa kairaukset voidaan tehdä vähemmän aikaa lujittuneille pilareille

Urakoitsija voi halutessaan tehdä yllä olevassa taulukossa esitettyä enemmän laadunvalvontakairauksia ja ottaa tulokset mukaan laskettaessa pilarointityön keskiarvotuloksia. Kaikki

onnistuneeksi tulkitut kairaukset on kuitenkin huomioitava keskiarvolujuutta laskettaessa. Tilaaja voi myös halutessaan teettää stabilointialueella valvontakairauksia.

Mikäli tilaaja teettää alueella koepilareita muilla sideaineilla urakan yhteydessä, esitetään niille tehtävät laadunvalvontakairaukset erillisessä suunnitelmassa.

Liite 3. Mallityöselostus C

VAIHTOEHTO C: URAKOITSIJAN SIDEAINERESEPTI JA TILAAJAN MÄÄRITTÄMÄ MAX. SSV-LUOKKA (LUONNOS)

RAKENNUSHANKKEEN YLEISTIEDOT

Urakoitsijalle kuuluvat työt ja hankinnat

- valmistelevat työt
- liikennejärjestelyjen suunnittelu ja toteuttaminen mm. työmaa-alueen aitaaminen
- meluilmoituksen laatiminen
- urakoitsija määrittää käytettävät sideaineresepit tämän työselostuksen ja SSV-luokitusohjeen mukaisesti
- urakoitsija osoittaa sideaineen toimivuuden ennakkokokein
- urakoitsijan vastuulla on sekoitustyön parametrien valinta (mm. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus)
- urakoitsija vastaa valitsemansa sideaineresepin ja sekoitustyön parametrien toimivuudesta

Hankekohtaiset asiakirjat

Työssä noudatetaan seuraavia yleisiä työselityksiä ja -selostuksia sekä ohjeita soveltuvin osin:

- InfraRYL
- RIL 121–2004 Pohjarakennusohjeet
- RIL 263–2014 Kaivanto-ohje (noudatetaan ensisijaisesti kaivantojen osalta)
- Liikennevirasto, Syvästabiloinnin suunnitteluohje 17/2018
- SSV-luokitusohje

Materiaalit

Urakoitsijan tulee huolehtia, että hänen käyttämänsä rakennustuotteet ovat joko Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) nro: 305/2011 (rakennustuoteasetuksen) mukaisesti CE-merkittyjä tai siltä osin kuin tuotteiden ei tarvitse olla CE-merkittyjä, tuotteet ovat lain eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 2012/954 (tuotehyväksyntälain) ja vastaavan asetuksen mukaisesti varmennettuja. Urakoitsijan tulee varmistaa rakennustuotteen kelpoisuus eli tuotteen CE-merkintä ja kansallinen hyväksyntä ennen tuotteiden tilaamista / käyttämistä / kiinnittämistä rakennuskohteeseen. Tilaaajan osoittaman ja määräämän sideaineen osalta voidaan poiketa CE-merkinnän ja tuotehyväksynnän vaatimuksista.

Tilaaaja voi määrätä tuotantostabiloinnin yhteydessä tehtäväksi koepilareita, joita ei ole esitetty tässä työselostuksessa. Koepilareiden sijainti esitetään erikseen laadittavassa suunnitelmapiirustuksessa ja ne tehdään erikseen laadittavan työohjeen mukaisesti.

10000 MAA-, POHJA JA KALLIORAKENTEET

14000 Pohjarakenteet

14100 Vahvistetut maarakenteet

14131 Pilaristabiloidut rakenteet

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 14130 mukaiset.

14131.1 Pilaristabiloinnin materiaalit

Sideaineseoksena käytetään urakoitsijan valitsemaan sideainetta X, jonka sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt ovat enintään SSV.n -luokan mukaiset.

Urakoitsija määrittää sideainereseptin/reseptit. Sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt eivät saa ylittää SSV.n -luokan mukaisia CO₂e-päästöjä. Käytettävän sideaineen määrää (kg/m³) ei ole rajoitettu. Urakoitsijan tulee hyväksyttää sideaineresepti ennen stabilointityön aloittamista.

Urakoitsijan tulee osoittaa esittämänsä sideainereseptin / -reseptien (sideaineen laatu+määrä) toimivuus alueen savinäytteillä tehtävillä ennakkokokeilla. Stabiloitavuuskoetulosten muunnoksessa kenttälujuuksiksi tulee käyttää ko. sideaineelle tarkoitettua kenttä-/laboratoriolujuuskerrointa.

Sideaineen tulee täyttää InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset.

Ennen työn aloittamista tulee urakoitsijan hankkia sideaineen valmistajan laatututkimus käytettävästä sideaineesta. Sideainenäytteet otetaan InfraRYL:ssä esitetyin välein. Näytteet toimitetaan tilaajalle.

14131.3 Pilaristabiloinnin tekeminen

Pilaristabilointityö suoritetaan urakoitsijan valitsemilla sekoitustyön parametreilla (mm. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus).

Pilaroinnin lujuusvaatimukset:

Pilareiden leikkauslujuusvaatimus on tason X alapuolella X kPa.

Stabiloitavuuskokeiden ja alueella aiemmin toteutettujen pilaristabilointien tulosten perusteella on arvioitu, että lujuusvaatimus on saavutettavissa koko pilarointisyvyydellä. Lujuusvaatimusten alitukset tulkitaan työstä johtuviksi, ellei kohteesta löydy stabiloituvuutta heikentävää muuta syytä.

Pilareiden lujuusvaatimus tulee saavuttaa 3 kk ikäisenä.

Urakoitsija esittää, mikä %-osuus pilareiden 3 kk lujuusvaatimuksesta tulee olla saavutettuja pilareita valvontakairauksilla 1 kk ja 2 kk ikäisenä tutkittuna. Esitys perustuu sideaineen hyväksyttämisen yhteydessä urakoitsijan esittämiin ennakkokokeisiin perustuviin sideaineen aikalujuuttumiskertoihin.

Pilaroinnin laadunvalvonta:

Taulukossa 1 on esitetty laadunvalvontakairausten määrät osa-alueittain.

Taulukko 1. Pilarien määräarvio ja laadunvalvontatutkimusten määrät osa-alueittain. Osa-alueet on esitetty pohjanvahvistuskartalla.

osa-alue	pilarihalkaisija [mm]	pilareita [kpl]	pilareita [m]	pilarikairauksia 3 kk * [kpl]
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
yhteensä alueet x-x:		x	x	x

* tarvittaessa kairaukset voidaan tehdä vähemmän aikaa lujittuneille pilareille

Urakoitsija voi halutessaan tehdä yllä olevassa taulukossa esitettyä enemmän laadunvalvontakairauksia ja ottaa tulokset mukaan laskettaessa pilarointityön keskiarvotuloksia. Kaikki onnistuneeksi tulkitut kairaukset on kuitenkin huomioitava keskiarvolujuutta laskettaessa. Tilaa voi myös halutessaan teettää stabilointialueella valvontakairauksia.

Mikäli tilaaja teettää alueella koepilareita muilla sideaineilla urakan yhteydessä, esitetään niille tehtävät laadunvalvontakairaukset erillisessä suunnitelmassa.

Liite 4. Mallityöselostus D

VAIHTOEHTO D: URAKOITSIJAN SIDEAINERESEPTI JA TILAAJAN MÄÄRITTÄMÄ MAX. SPV-LUOKKA (LUONNOS)

RAKENNUSHANKKEEN YLEISTIEDOT

Urakoitsijalle kuuluvat työt ja hankinnat

- valmistelevat työt
- liikennejärjestelyjen suunnittelu ja toteuttaminen mm. työmaa-alueen aitaaminen
- meluilmoituksen laatiminen
- urakoitsija määrittää käytettävät sideaineresepit tämän työselostuksen ja SPV-luokitusohjeen mukaisesti
- urakoitsija osoittaa sideaineen toimivuuden ennakkokokein
- tilaaja on määrittänyt pilareille SPV-luokan ja sideaineelle SSV-luokan
- urakoitsijan vastuulla on sekoitustyön parametrien valinta (mm. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus)
- urakoitsija vastaa valitsemansa sideaineresepin ja sekoitustyön parametrien toimivuudesta

Hankekohtaiset asiakirjat

Työssä noudatetaan seuraavia yleisiä työselityksiä ja -selostuksia sekä ohjeita soveltuvin osin:

- InfraRYL
- RIL 121–2004 Pohjarakennusohjeet
- RIL 263–2014 Kaivanto-ohje (noudatetaan ensisijaisesti kaivantojen osalta)
- Liikennevirasto, Syvästabiloinnin suunnitteluohje 17/2018
- SPV-luokitusohje
- SSV-luokitusohje

Materiaalit

Urakoitsijan tulee huolehtia, että hänen käyttämänsä rakennustuotteet ovat joko Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) nro: 305/2011 (rakennustuoteasetuksen) mukaisesti CE-merkittyjä tai siltä osin kuin tuotteiden ei tarvitse olla CE-merkittyjä, tuotteet ovat lain eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 2012/954 (tuotehyväksyntälain) ja vastaavan asetuksen mukaisesti varmennettuja. Urakoitsijan tulee varmistaa rakennustuotteen kelpoisuus eli tuotteen CE-merkintä ja kansallinen hyväksyntä ennen tuotteiden tilaamista / käyttämistä / kiinnittämistä rakennuskohteeseen. Tilaajan osoittaman ja määräämän sideaineen osalta voidaan poiketa CE-merkinnän ja tuotehyväksynnän vaatimuksista.

Tilaaja voi määrätä tuotantostabiloinnin yhteydessä tehtäväksi koepilareita, joita ei ole esitetty tässä työselostuksessa. Koepilareiden sijainti esitetään erikseen laadittavassa suunnitelmapiirustuksessa ja ne tehdään erikseen laadittavan työohjeen mukaisesti.

10000 MAA-, POHJA JA KALLIORAKENTEET

14000 Pohjarakenteet

14100 Vahvistetut maarakenteet

14131 Pilaristabiloidut rakenteet

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 14130 mukaiset.

14131.1 Pilaristabiloinnin materiaalit

Urakoitsija määrittää sideainereseptin/-reseptit. Sideaineesta aiheutuvat päästöt eivät saa ylittää SPV.n -luokan mukaisia CO₂e-päästöjä (sideaineen päästökerroin x sideainemäärä kg/m-pilari). Sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen päästöt eivät saa ylittää SSV.n -luokan mukaisia CO₂e-päästöjä. Urakoitsijan tulee hyväksyttää sideaineresepti ennen stabilointityön aloittamista.

Urakoitsijan tulee osoittaa esittämänsä sideainereseptin / -reseptien (sideaineen laatu+määrä) toimivuus alueen savinäytteillä tehtävillä ennakkokokeilla. Stabiloitavuuskoetulosten muunnoksessa kenttälujuuksi tulee käyttää ko. sideaineelle tarkoitettua kenttä-/laboratoriolujuuskerrointa.

Sideaineen tulee täyttää InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset.

Ennen työn aloittamista tulee urakoitsijan hankkia sideaineen valmistajan laatututkimus käytettävästä sideaineesta. Sideainenäytteet otetaan InfraRYL:ssä esitetyn välein. Näytteet toimitetaan tilaajalle.

14131.3 Pilaristabiloinnin tekeminen

Pilaristabilointityö suoritetaan urakoitsijan valitsemilla sekoitustyön parametreilla (mm. sekoitinkärjen pyörimis- ja ylösnostonopeus).

Pilaroinnin lujuusvaatimukset:

Pilareiden leikkauslujuusvaatimus on tason X alapuolella X kPa.

Stabiloitavuuskokeiden ja alueella aiemmin toteutettujen pilaristabilointien tulosten perusteella on arvioitu, että lujuusvaatimus on saavutettavissa koko pilarointisyvytydellä. Lujuusvaatimusten alitukset tulkitaan työstä johtuviksi, ellei kohteesta löydy stabiloituvuutta heikentävää muuta syytä.

Pilareiden lujuusvaatimus tulee saavuttaa 3 kk ikäisenä.

Urakoitsija esittää, mikä %-osuus pilareiden 3 kk lujuusvaatimuksesta tulee olla saavutettuja pilareita valvontakairauksilla 1 kk ja 2 kk ikäisenä tutkittuna. Esitys perustuu sideaineen hyväksyttämisen yhteydessä urakoitsijan esittämiin ennakkokokeisiin perustuviin sideaineen aikalujuuttumiskertoihin.

Pilaroinnin laadunvalvonta:

Taulukossa 1 on esitetty laadunvalvontakairauksen määrät osa-alueittain.

Taulukko 1. Pilarien määräarvio ja laadunvalvontatutkimusten määrät osa-alueittain. Osa-alueet on esitetty pohjanvahvistuskartalla.

osa-alue	pilarihalkaisija [mm]	pilareita [kpl]	pilareita [m]	pilarikairauksia 3 kk * [kpl]
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
yhteensä alueet x-x:		x	x	x

* tarvittaessa kairaukset voidaan tehdä vähemmän aikaa lujittuneille pilareille

Urakoitsija voi halutessaan tehdä yllä olevassa taulukossa esitettyä enemmän laadunvalvontakairauksia ja ottaa tulokset mukaan laskettaessa pilarointityön keskiarvotuloksia. Kaikki onnistuneeksi tulkitut kairaukset on kuitenkin huomioitava keskiarvolujuutta laskettaessa. Tilaa voi myös halutessaan teettää stabilointialueella valvontakairauksia.

Mikäli tilaaja teettää alueella koepilareita muilla sideaineilla urakan yhteydessä, esitetään niille tehtävät laadunvalvontakairaukset erillisessä suunnitelmassa.