

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024

Milla Salo

# Katualueen pohjanvahvistuksen vaihtoehtotarkastelut hiilipäästöjen näkökulmasta

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, insinööri

2024 | 54 sivua, 8 liitesivua

Milla Salo

## Katualueen pohjanvahvistuksen vaihtoehtotarkastelut hiilipäästöjen näkökulmasta

Opinnäytetyössä tarkasteltiin katualueen pohjanvahvistusmenetelmien hiilipäästöjä, keskittyen pilaristabilointiin ja kevennysrakenteisiin Sipoon Puu-Talman alueella. Työn tärkeimpänä tavoitteena oli tutkia ja vertailla näiden menetelmien soveltuvuutta pehmeillä maaperäalueilla hiilijalanjäljen näkökulmasta. Työssä käsiteltiin stabilointiprosessin ja kevennysrakenteiden perusteita sekä hiilipäästölaskennan periaatteita.

Laskennalliset tulokset osoittavat kevennysrakenteiden aiheuttavan huomattavasti vähemmän hiilipäästöjä verrattuna pilaristabilointimenetelmään. Kuitenkaan nämä menetelmät eivät yllä perinteisen murskerakenteen alhaiseen hiilipäästötasoon. Mikäli kuitenkin tarvitaan pohjanvahvistustoimenpiteitä, kevennysrakenteiden käyttö pilaristabiloinnin sijaan voi olla merkittävä askel kohti infrarakentamisen hiilipäästöjen vähentämistä.

Työ tarjoaa tietoa pohjanvahvistusmenetelmien hiilipäästöjen vertailusta ja edistää kestäväen kehityksen mukaisten ratkaisujen valintaa infrarakenteiden suunnittelussa. Työ korostaa suunnitteluvaiheen merkitystä hiilipäästöjen hallinnassa, tarjoten esimerkin hiilipäästöjen huomioon ottavassa suunnitteluprosessissa.

Asiasanat:

geotekniikka, pohjarakennus, pohjanvahvistus, hiilijalanjälki, päästölaskenta

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

2024 | 54 pages, 8 pages of appendices

Milla Salo

## A comparative analysis on the street zone subgrade strengthening alternatives in the viewpoint of carbon emissions

The thesis examined the carbon emissions of subgrade strengthening methods in street areas, focusing on column stabilization and lightweight structures in the Sipoo Puu-Talma area. The main goal of the work was to investigate and compare the suitability of these methods in soft soil areas from the perspective of carbon footprint. The thesis covered the basics of the stabilization process and lightweight structures, as well as the principles of carbon emission calculation.

The computational results indicate that lightweight structures cause significantly less carbon emissions compared to the column stabilization method. However, these methods do not reach the low carbon emission level of traditional crushed stone structures. If subgrade strengthening measures are needed, using lightweight structures instead of column stabilization can be a significant step towards reducing carbon emissions in infrastructure construction.

The work provides information on the comparison of carbon emissions from subgrade strengthening methods and promotes the selection of sustainable development solutions in infrastructure design. The work emphasizes the importance of the design phase in managing carbon emissions, offering an example of a design process that takes carbon emissions into account.

Keywords:

geotechnics, geotechnical engineering, foundation engineering, subgrade strengthening, carbon footprint, carbon emission calculation

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Pilaristabilointimenetelmä</b>	<b>8</b>
2.1 Sideaineet	8
2.2 Suunnitteluprosessi	11
2.3 Toteuttaminen	14
2.4 Ympäristövaikutukset	16
2.5 Haasteet ja riskit	17
2.6 Tulevaisuuden näkymät	19
<b>3 Kevennysrakenteet</b>	<b>20</b>
3.1 Materiaalit	21
3.2 Suunnitteluprosessi	23
3.3 Toteuttaminen	25
3.4 Ympäristövaikutukset	26
3.5 Tulevaisuuden näkymät	27
<b>4 Päästölaskenta</b>	<b>29</b>
4.1 Ohjeet ja standardit	29
4.2 Laskennan työkalut	30
4.3 Laskenta infrarakentamisessa	31
4.4 Hiilipäästöjen vähentäminen ja ympäristövaikutukset	33
4.5 Tulevaisuuden näkymät	34
4.6 Raportointi	35
<b>5 Puu-Talman alue</b>	<b>37</b>
5.1 Pinta- ja pohjaolosuhteet	39
5.2 Stabiloinnin mitoitus	40
5.3 Kevennysrakenteen mitoitus	43
5.4 Päästölaskenta	46
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>49</b>

## Liitteet

Liite 1. Stabiloinnin mitoitus

Liite 2. Kevennysrakenteen mitoitus

Liite 3. Kevennysrakenteen painumalaskenta

Liite 4. Hiilipäästölaskenta

## Kuvat

Kuva 1. Stabiloinnin sideaineiden päästökertoimia keväältä 2023.	10
Kuva 2. Iteratiivisen suunnitteluprosessin eteneminen.	12
Kuva 3. Pilaristabilointilaitteiston periaatekuva a) sekoitinkärkityyppiä: b) "kattilakärki" ja c) "käpykärki". b-kuvassa on esitetty sideaineen syöttöaukon ja sekoitinkärjen välinen etäisyys D.	15
Kuva 4. Pilaristabiloinnin valmistusjärjestys.	15
Kuva 5. Penkereen kevennyssovelluksia.	21
Kuva 6. Keventämisen päästöt esimerkkirakenteessa.	23
Kuva 7. Arvioitavat elinkaaren vaiheet.	32
Kuva 8. Suunnittelualan sijainti.	37
Kuva 9. Ote katusuunnitelmaehdotuksesta.	38
Kuva 10. Suunnitteluala GTK:n maaperäkartalla.	39
Kuva 11. Stabiloitavan rakenteen tyyppipoikkileikkaus.	42
Kuva 12. Kevennysrakenteen tyyppipoikkileikkaus.	44
Kuva 13. Vaihtoehtotarkastelujen kokonaishiilipäästöt.	47

## Käytetty sanasto

elinkaariarviointi	prosessi, jolla arvioidaan tuotteen tai toiminnan aiheuttamia ympäristövaikutuksia läpi koko sen elinkaaren (Tieteen termipankki 2023)
hiilidioksidiekvivalentti	mittayksikkö, jolla eri kasvihuonekaasujen vaikutukset ilmaistaan hiilidioksidin termein (Väylävirasto 2023b)
hiilijalanjälki	kuvaa toiminnan, tuotteen tai palvelun aiheuttamien kasvihuonepäästöjen kokonaismäärää (Väylävirasto 2023b)
hiilinielu	toiminto, joka poistaa ilmakehästä hiilidioksidia luonnollisesti, keinotekoisesti tai kemiallisesti (Väylävirasto 2023b)
käyttörajatila	rajatila, jonka saavuttamisen jälkeen rakenne ei tavallisessa käytössään enää vastaa sille asetettuja käyttökelpoisuusvaatimuksia (SFS-EN 1990+A1+AC)
murtorajatila	rajatila, jonka ylittämisen jälkeen rakenne menettää kantokykynsä (SFS-EN 1990+A1+AC)
pilaristabilointi	maapohjan vahvistamista, jossa sideaine ja maa-aineksen seos muodostaa pystysuuntaisia lieriömäisiä lujittuneita pilareita (Liikennevirasto 2018)
sideaine	kemiallisesti aktiiviset aineet, kuten kalkki, sementti, kipsi jne. (SFS-EN 14679)

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutos ja rakennusalan kestävyys ovat globaalissa keskustelussa keskeisiä aiheita, jotka vaativat alalta vastuullisia toimia ympäristöhaasteiden kohtaamiseksi. Infrarakentamisessa pohjanvahvistusmenetelmien valinnassa on olennaista yhdistää tekninen ja taloudellinen tehokkuus ekologisen kestävyuden näkökulmiin. Tämä edellyttää innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä ja nykyisten menetelmien kriittistä tarkastelua hiilipäästöjen vähentämiseksi.

Tämä opinnäytetyö keskittyy katualueiden pohjanvahvistusmenetelmiin, erityisesti pilaristabilointiin ja kevennysrakenteisiin sekä niiden hiilipäästöihin Sipoon Puu-Talman alueella. Pilaristabilointi suunnitellaan käyttäen kalkkisementtiä sekä Nordkalk Terra GTC-valmistetta, kun taas kevennysrakenteen suunnittelussa hyödynnetään vaahtolasimursketta.

Teoriaosuudessa syvennyttään pilaristabiloinnin ja kevennysrakenteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen sekä hiilipäästölaskennan perusperiaatteisiin. Käytännön osuudessa mitoitetaan ja suunnitellaan vaihtoehtoiset rakenteet Puum-Talman alueelle. Suunnitelluista rakenteista tehdään hiilipäästölaskenta, jonka tuloksia vertaillaan keskenään. Työn tavoitteena on tarjota vertailukelpoista tietoa erilaisten pohjarakenteiden hiilipäästöistä tarjoten malliesimerkin hiilipäästöjä huomioivassa suunnittelussa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Destia Oy.

## 2 Pilaristabilointimenetelmä

Stabilointiprosessien suunnittelu ja toteutus vaativat asiantuntemusta sekä erikoislaitteiston käyttöä. Stabilointi voidaan suorittaa käyttämällä joko syvästabilointimenetelmänä tunnettua pilaristabilointia tai vaihtoehtoisesti massastabilointia. (Jääskeläinen 2012, 210.)

Pilaristabilointi on menetelmä maaperän vahvistamiseksi, jossa käytettävät seosaineet yhdistyvät maa-aineksen ja veden kanssa muodostaen ympäröivää maata jäykemmän ja vahvemman lieriömäisen pilarin. Massastabiloinnissa taas lujitetaan koko maa-aines tavoitesyvyyteen asti. Nykyisin stabilointi on hyvin yleinen pohjanvahvistusmenetelmä. Stabiloinnissa hyödynnettävät sideaineet reagoivat pehmeän maa-aineksen, kuten saven tai liejun, kanssa parantaen merkittävästi sen leikkauslujuutta ja/tai vähentäen sen kokoonpuristuvuutta. Näin ollen menetelmä parantaa maaperän kantavuutta ja vakauttaa rakenteiden pohjarakenteita. (Autiola ym. 2023, 5, 7.)

### 2.1 Sideaineet

Sideaine koostuu yhdestä tai useammasta stabilointiin käytettävästä aineesta. Tyypillisiä sideaineen komponentteja ovat kalkki ja sementti, mutta käytössä on myös muita stabiloivia aineita, kuten kipsi. Lisäksi teollisuuden sivutuotteista, kuten jauhetusta masuunikuonasta ja lentotuhkasta, on todettu olevan hyötyä maan lujitteina. Mikäli sideaine sisältää useita stabiloivia ainesosia, sitä kutsutaan seossideaineeksi. (Liikennevirasto 2018, 27–28.) Tässä työssä käsitellään stabiloivina ainesosina vain kalkin, sementin ja kipsin käyttöä.

Sementtiä pidetään maaperän stabiloinnin teknologian vanhimpana sideaineena, joka on ollut käytössä 1960-luvulta lähtien. Sitä käytetään ensisijaisena stabilointiaineena tai hydraulisena sideaineena, koska se voi yksinään aikaansaada tarvittavan stabilointivaikutuksen. Sen stabilointivaikutus pehmeillä maaperäalueilla stabiloitaessa ei ole riippuvainen maaperän



mineraaleista, vaan perustuu sementin ja veden väliseen reaktioon. (Makusa 2012, 4–5.)

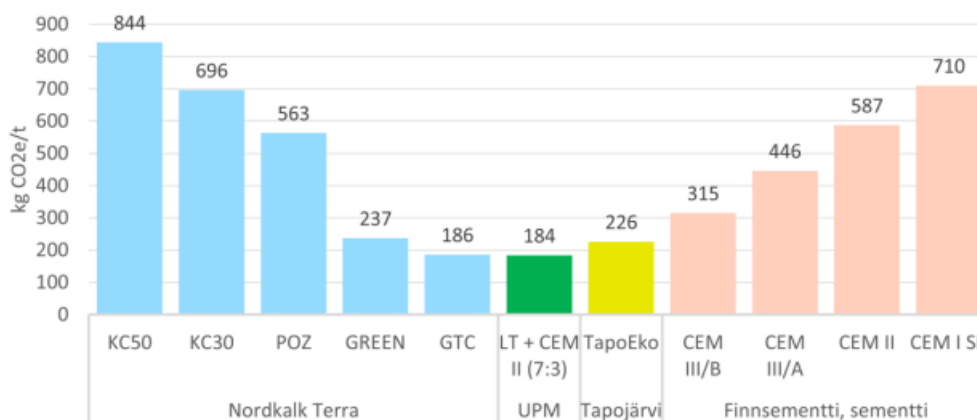
Markkinoilla on saatavilla useita sementtityyppejä, jotka kaikki sisältävät uusiokäytettyjä materiaaleja joko sementissä itsessään tai muissa sideaineen komponenteissa (Valjakka 2022, 17). Sementin valinta riippuu käsiteltävästä maaperästä ja halutusta lopullisesta lujuudesta. Sementin hydrautumisprosessi on monimutkainen ja siihen vaikuttavat useat tekijät, kuten vesi-sementtisuhde ja lisäaineet, jotka on huomioitava sekoitussuunnittelussa halutun lujuuden saavuttamiseksi. (Makusa 2012, 4–5.)

Kalkin lujittumisprosessi muuttaa saven rakennetta ja vähentää sen herkkyyttä veden sisällön muutoksille. Kalkin stabilointivaikutus perustuu pozzolaaniseen reaktioon, jossa se reagoi veden kanssa tuottaen sementtimäisiä yhdisteitä. Poltettu kalkki ( $\text{CaO}$ ) on suosituin vaihtoehto, sillä se on tehokkaampi ja tiiviimpi kuin sammutettu kalkki ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Kalkin lisääminen maaperään lisää pH:ta ja edistää kalsiumsilikaattien ja -aluminaattien muodostumista, mikä parantaa maaperän lujuutta. (Makusa 2012, 5–6.)

Kipsi, kemialliselta koostumukseltaan kalsiumsulfaatti ( $\text{CaSO}_4$ ), on laajalti käytetty rakennusmateriaali, joka on yleinen stabiloinninsideaineiden sekoituksissa. Tämä materiaali syntyy usein teollisuuden sivutuotteena, erityisesti hiilivoimaloiden rikinpoistoprosesseista ja fosforihapon valmistuksesta. Kipsin käyttö rakennusmateriaalina on esimerkki teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämisestä rakentamisessa. (Valjakka 2022, 18.)

Pilaristabiloinnin hiilipäästölaskennassa suurin osa päästöistä johtuu tuotteiden ja materiaalien valmistuspäästöistä, erityisesti liittyen sideaineiden valmistukseen. Tyypillisesti kuljetus aiheuttaa kokonaispäästöistä 5–20 %, kun taas työstä syntyvät päästöt vaihtelevat 10–30 %:n välillä. Kuvassa 1 on esitetty stabiloinnissa käytettävien sideaineiden päästökertoimia. Kalkkisementin valmistuspäästöt ovat korkeammat ja mitä enemmän sideaineseoksessa on poltettua kalkkia, sitä suuremmat päästöt ovat. Uusiomateriaalipohjaisten

sideaineseosten valmistuspäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin kalkkisementillä. (Kivi 2021, 25–26.)



Kuva 1. Stabiloinnin sideaineiden päästökertoimia keväältä 2023. KC50 = kalkkisementti 1:1, KC30 = kalkkisementti 3:7, Terra POZ, GREEN ja GTC = Nordkalkin valmistamia uusiosideaineita. LT = lentotuhka, päästökerroin UPM:n Jämsänkosken tehtaalla lentotuhkan ja sementin CEM II seokselle (Autiola ym. 2023).

Kokonaispäästöjen arvioinnissa ei voi nojautua pelkästään sideaineseosten valmistuksesta aiheutuvien päästökertoimien tarkasteluun. Tämä johtuu siitä, että pilarien vaaditun lujuuden saavuttaminen voi edellyttää sideaineen määrän lisäämistä tai vähentämistä, mikä saattaa vaatia korkeampipäästöisen sideaineen käyttöä. Näin ollen sideaineen määrän muutokset voivat merkittävästi vaikuttaa lopullisiin kokonaispäästöihin. Lisäksi pehmeikön syvyydellä on merkittävä vaikutus päästöihin, sillä pilaripituuden kasvaessa myös päästö määrä kasvaa. Penkereen korkeus vaikuttaa erityisesti tierakenteissa ja kapeissa väylissä, joissa luiskan pituus ja stabilointialueen pinta-alasuhteet ovat suuret. (Kivi 2021, 26.)

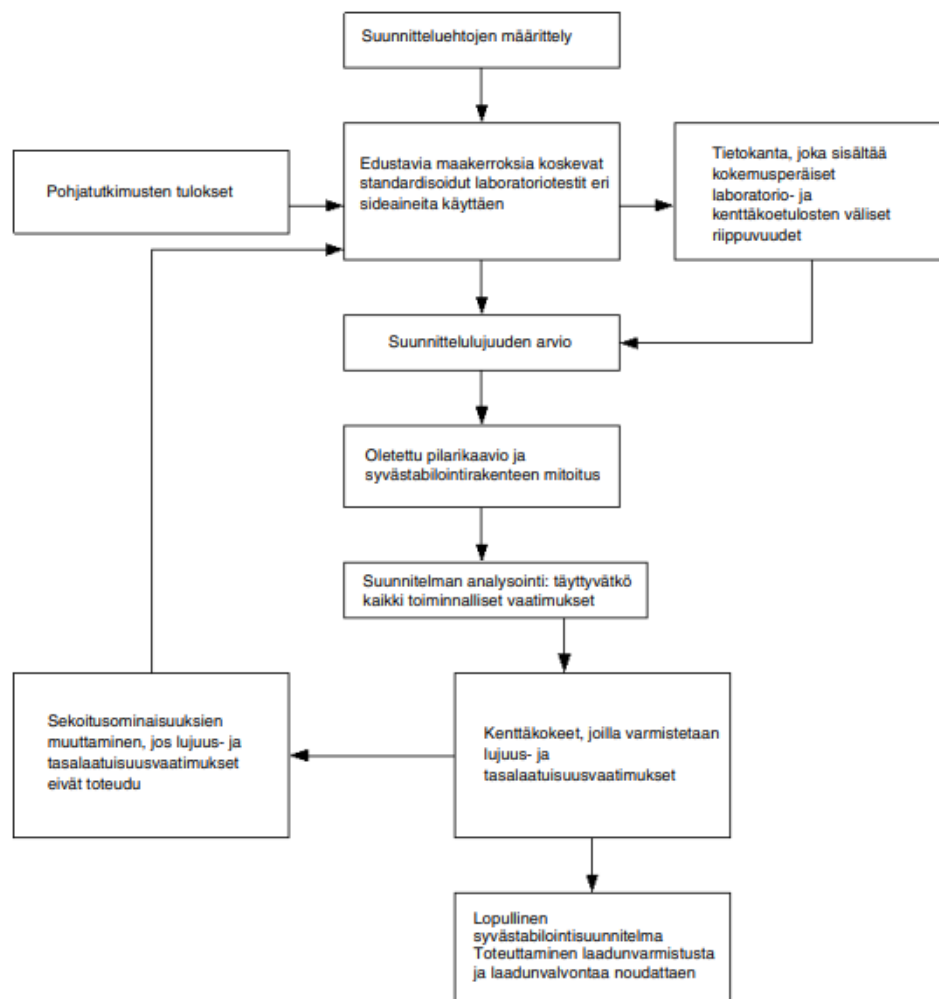
Sideaineiden laadun varmistaminen on olennainen osa pilaristabilointiprosessia. Tämän takaamiseksi ensisijainen keino on sideaineen CE-merkintä, joka osoittaa sementin laadun standardien mukaiseksi. Muiden sideainekomponenttien, kuten kalkin ja kipsin, laatu varmistetaan valmistajan dokumenttien ja rakennuspaikkakohtaisten kokeiden avulla. (InfraRYL 2023.)

Sideaineiden koostumus ja sen sisältämien kemiallisten aineiden pitoisuudet on tärkeää ilmoittaa selkeästi erityisesti niiden aineiden osalta, joilla on merkittäviä ympäristövaikutuksia. Sideaineen soveltuvuus suunniteltuun käyttökohteeseen varmistetaan suunnitteluvaiheessa laboratoriokokeiden, koestabilointien avulla tai samankaltaisen geologisen muodostuman aiempien stabilointikokemusten perusteella. Lisäksi on tärkeää varmistaa, ettei käytetty sideaine aiheuta ympäristöhaittoja ja että sen juoksevuus on tasainen, mikä mahdollistaa sideaineen tehokkaan syötön stabilointiprosessissa. (Liikennevirasto 2018, 27, 35.)

## 2.2 Suunnitteluprosessi

Pilaristabiloinnin suunnittelun ja mitoituksen tulee täyttää standardissa SFS-EN 1997-1 esitetyt vaatimukset (SFS-EN 14679, 34). Väylävirasto, ent. Liikennevirasto, on laatinut Eurokoodin soveltamisohjeen geoteknisestä suunnittelusta, josta löytyvät muun muassa geoteknisessä mitoituksessa käytettävät osavarmuuskertoimet. Varsinaisten syvästabilointipilarien mitoitus tehdään Väyläviraston ohjeen 17/2018 Syvästabiloinnin suunnittelu mukaisesti (Väylävirasto 2023a, 93). Edellä mainitut ohjeet sisältävät tarkat laskentakaavat ja ohjeet mitoituksen suorittamiseen.

Geoteknisen selvityksen tekeminen vallitsevista maaperäolosuhteista on välttämätöntä ennen kuin valitaan tai ryhdytään käyttämään pohjanvahvistus- tai -lujitusmenetelmää (SFS-EN 1997-1, 99). Maaperän pilaristabiloinnissa on keskeistä suunnitella ja toteuttaa rakenteet siten, että ne kestävät suunnitellun käyttöikänsä ajan mahdolliset kuormitustilanteet rakentamisen ja käytön aikana. Tämän tulee tapahtua riittävällä varmuudella ja kohtuullisin kustannuksin ilman, että käyttö- tai murtorajatilat ylittyvät. Iteratiivisessa suunnittelussa hyödynnetään eri testausmenetelmillä saatuja tuloksia ja keskitytään erityisesti niihin tekijöihin, jotka ovat olennaisia pilaristabiloinnin onnistumiselle. Iteratiivinen suunnitteluprosessi on esitetty kuvassa 2 standardin SFS-EN 14679 mukaisesti. (SFS-EN 14679, 34–35.)



Kuva 2. Iteratiivisen suunnitteluprosessin eteneminen (SFS-EN 14679).

Syvästabiloinnissa on otettava huomioon pahimman mahdollisen kuormituksen aiheuttamat riskit sekä mahdolliset maaperän sortumisen vastustuskyvyn heikkenemiset, jotka voivat johtua esimerkiksi huokosvedenpaineen noususta tai maa-ainesten liikkeistä. Paikalla valmistetut pilarit tulee sijoittaa niin, etteivät ne heikennä kokonaisstabiiliteettia. Jännityksen ja muodonmuutoksen suhde sekä käsitellyssä että käsittelemättömässä maa-aineksessa on otettava huomioon vakavuustarkasteluissa. Kaivannon tuennan suunnittelussa keskeisiä tekijöitä ovat käsitellyn maan puristuslujuus ja mahdollinen holvaantuminen. (SFS-EN 14679, 34–35.)

Syvästabiloitujen pilareiden keskeinen tehtävä kohdistuu usein stabiiliteetin parantamiseen ja/tai painumien vähentämiseen. Tästä syystä pilaristabiloinnin

mitoituksen keskeisiä laskelmia ovat stabiliteetti- ja painumatarkastelut sekä pilarien puristuskestävyyden tarkastelu. (Autiola ym. 2023, 5, 13.)

Stabiliteetin laskennassa tarkastellaan maaperän kykyä vastustaa liukumista ja sortumista. Laskenta perustuu maaperän lujuusominaisuuksiin, kuormituksen laatuun ja suuruuteen sekä mahdollisiin ympäristöseikkoihin. Alan standardit, kuten Eurokoodi 7 – Geotekninen suunnittelu, tarjoaa tarkemmat ohjeet ja laskentakaavat stabiliteetin arviointiin. Pilaristabiloinnin kokonaisstabiliteetti lasketaan murtorajatilassa STR/GEO mitoitustavalla D3. Laskennan alussa osavarmuusluvut sovelletaan muuttuviin kuormiin ja maaperän parametreihin. Nämä osavarmuusluvut kohdistetaan myös stabiloidun maan murtolujuuden ominaisarvoon. (Liikennevirasto 2018, 45.)

Penkereiden ja luiskien vakauden arvioinnissa käyttörajatilanteissa SLS korostuu maapohjan siirtymien huomioiminen. Kun maapohjan siirtymiä ei voida ennustaa luotettavasti, murtumisen vastainen varmuus on ratkaiseva. Tässä yhteydessä noudatetaan NCCI7:n ohjeistusta. Menetelmää käytetään erityisesti silloin, kun stabiloitu alue liittyy tärkeisiin infrastruktuurin osiin tai kun on välttämätöntä estää haitalliset kuormitukset. (Liikennevirasto 2018, 46.)

Tie-, rata- tai muun pengerryksen perustamisessa stabilointipilareiden varaan sovelletaan murtorajatilan STR/GEO mukaista mitoitustapaa DA3 pilarien puristuskestävyyden laskemiseen. Laskennan alussa osavarmuusluvut kohdistetaan muuttuviin kuormiin ja stabiloidun maan murtolujuuden ominaisarvoon. Näissä laskelmissa kuormien osalta käytetään NCCI7:ssä esitettyjä osavarmuuksia. Lisäksi kun pilari- tai massastabiloidun maakerroksen päälle rakennetaan antura tai muu perustus, suoritetaan perustuksen mitoitustarkastelu murtorajatilassa STR/GEO käyttäen mitoitustapaa DA2. (Liikennevirasto 2018, 46.)

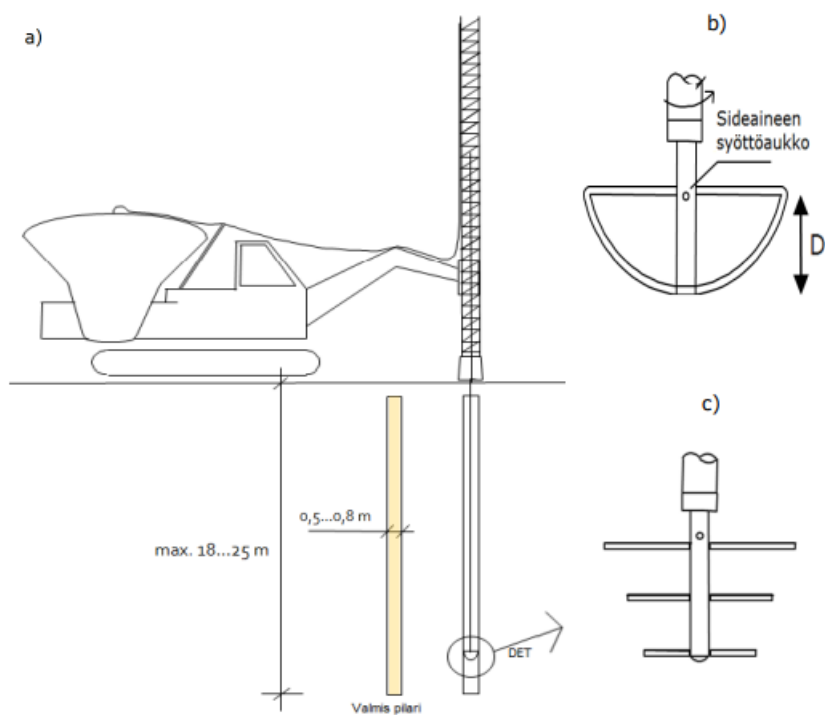
Syvästabiloidun maan painumalaskenta arvioidaan käyttörajatilassa SLS. Pilarien ja maaperän välillä tapahtuva kuormituksen jako riippuu niiden muodonmuutosmoduulien välisestä suhteesta, jossa sekä maaperään että pilareihin oletetaan kohdistuvan samansuuruiset painumat. Analyysi on

iteratiivinen prosessi, joka pohjautuu stabiliteetin laskentaan, puristuskestävyyden tarkasteluun ja penkereen holvautumisen analysoinnista. Näistä saadut tiedot, kuten mitoittavat pilarikaaviot, jotka sisältävät pilarivälin (k/k-väli), pilarihalkaisijan ja leikkauslujuuden, ovat perustana kuormitusten jakautumisen arvioinnille pilarien ja maaperän välillä. (Liikennevirasto 2018, 46, 91.)

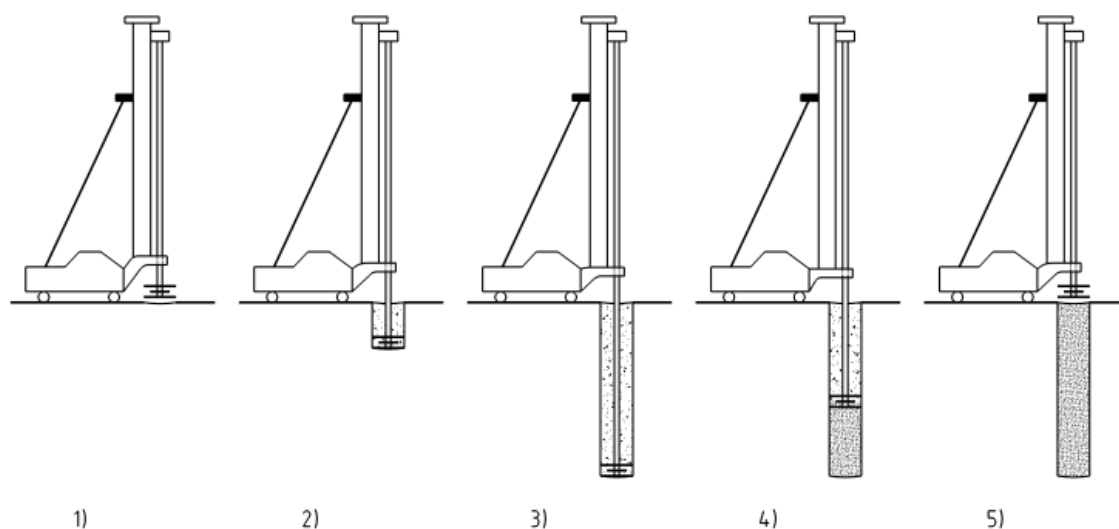
### 2.3 Toteuttaminen

Suomessa käytetään pilaristabiloinnissa niin kutsuttua kuivamenetelmää, jossa kuiva sideaine syötetään paineilmalla maaperään. Pilarin halkaisijat vaihtelevat tyypillisesti 500–800 mm:n välillä. (Liikennevirasto 2018, 19.)

Käytetyissä koneissa on yksi sekoitustanko ja -kärki, jossa sideaine syötetään sekoituskärjen yläosasta, jolloin sekoituskärjen alapuolelle jäävä osa maaperää ei lujitu. Pilaristabilointilaitteisto on esitetty kuvassa 3, jossa on esitetty myös tyypillisiä sekoitinkärkityyppejä. Sideaine sekoitetaan maaperään nostamalla ja pyörittämällä sekoitinkärkeä, mikä takaa sideaineen tasaisen jakautumisen. Pilarin halkaisija vastaa sekoitinkärjen halkaisijaa, kun sekoitus on onnistunut. Sekoitinkärjen pyörimis- ja nostamisnopeudet säädetään niin, että saavutetaan optimaalinen ja tasainen sekoitus. Valmistusjärjestys on esitetty kuvassa 4 standardin SFS-EN 14679 mukaisesti. (SFS-EN 14679, 24–25.)



Kuva 3. Pilaristabilointilaitteiston periaatekuva a) sekoitinkärkityyppinä: b) "kattilakärki" ja c) "käpykärki". b-kuvassa on esitetty sideaineen syöttöaukon ja sekoitinkärjen välinen etäisyys D (Liikennevirasto 2018).



Kuva 4. Pilaristabiloinnin valmistusjärjestys (SFS-EN 14679).

Pilarit asetetaan paikoilleen joko koneenohjausjärjestelmän avulla tai merkittävällä manuaalisesti stabiloitava alue. Pilaristabilointilaitteiston

mittausjärjestelmät valvovat jatkuvasti lisättävän sideaineen määrää, sideaineen syöttöpainetta, sekoittimen kierrosnopeutta, sekoitustangon kiertämiseen vaadittavaa vääntömomenttia sekä sekoitinkärjen liikenopeutta sekä nousu- että laskusuunnassa. Nämä tiedot tallennetaan automaattisesti stabilointipöytäkirjaan. (InfraRYL 2023.)

Pohjoismaissa käytössä olevat pilaristabilointikoneet mahdollistavat noin 25 metriin asti ulottuvien pilarien valmistuksen. Tyypillisesti käytännössä pilarien pituus on yleensä 18–20 metriä. Maksimipituutta lähestyvien pilarien toteutuksessa kohdataan useimmiten haasteita sijaintitoleranssien sekä laadunvalvonnan suhteen, joka tulee huomioida myös suunnittelussa. (Liikennevirasto 2018, 19–20.)

Vuodesta 1990 lähtien yleisimmät pilarit Pohjoismaissa ovat olleet halkaisijaltaan 600–700 mm. Erityiskohteissa on käytetty jopa 900 mm pilarikokoja ja massasyvästabilointia on toteutettu käyttäen noin 1 100 mm sekoitinkärjellä varustettuja laitteita. Suurempi pilarihalkaisija voi vaikeuttaa kovien maakerrosten läpäisyä ja aiheuttaa haasteita sideaineen tasaisessa jakautumisessa. Pienemmän halkaisijan ja pitkän pilaripituuden käyttö voi lisätä sideaineen syötön tukkeutumisen riskiä, mikä vaikuttaa laadunvalvontaan ja pilareiden vakavuuteen. Sideainesyötön tukkeutumisen seurauksena pilarin muodostuminen estyy kokonaan. (Liikennevirasto 2018, 20.)

## 2.4 Ympäristövaikutukset

Valjakka (2022) osoittaa tutkimuksessaan pilaristabilointiprosessin ympäristövaikutusten olevan vähäisiä pinta- ja pohjavesiin. Tutkimuksen mukaan pilaristabiloinnista peräisin oleva liukoinen kalsium siirtyy pohjavesiin stabiloiduilta alueilta, mutta sen ympäristölle aiheuttama haitta on vähäistä, sillä liuenneet pitoisuudet pysyvät alhaisina. Lisäksi tutkimuksessa esitettiin viitteitä siitä, että myös liukoisen koboltin, mangaanin ja nikkelin pitoisuudet voivat nousta stabiloinnin seurauksena. Näistä havainnoista huolimatta, pilaristabiloinnin katsotaan olevan ympäristön kannalta suhteellisen turvallinen



menetelmä, mikä korostaa jatkuvan seurannan ja tutkimuksen merkitystä mahdollisten pitkäaikaisten vaikutusten ymmärtämiseksi ja hallitsemiseksi.

Stabiloinnin suunnittelussa ja toteutuksessa on kuitenkin huomioitava, että se voi tilapäisesti aiheuttaa häiriintymistä ja tärinää stabilointialueella. Raskaiden stabilointi- ja kaivuukoneiden toiminta työmaalla voi synnyttää tärinää, jolla voi olla merkittäviä seurauksia olemassa oleville rakenteille. Sideaineen sekoituksesta aiheutuva tärinä on yleensä vähäistä. Sideaineen paineilmasyöttö voi poiketa suunnitellusta reitistä ja purkautua esimerkiksi aiempien stabilointipilareiden kautta, aiheuttaen lyhytaikaisia häiriintymistä lähialueilla. Häiriintymisen minimointi on erityisen tärkeää, kun työskennellään heikosti stabiloitujen kaivantojen, penkereiden tai luiskien lähellä. (Liikennevirasto 2018, 43.)

Pilaristabiloinnissa voidaan vähentää tärinää esimerkiksi suorittamalla stabilointi kitkamaatyöalustan päältä. Liian suuri syöttöpaine ja ilmamäärä lisäävät häiriintymistä, samoin kuin ilman huono poistuminen maasta. Pohjaveden suojelua varten pilarit voidaan suunnitella tiettyyn mittaan, välttämällä savikerroksen alaosan läpäisyä, erityisesti paineellisen pohjaveden alueilla. Sideaineesta ei saa liueta haitallisia aineita pohjaveteen. (Liikennevirasto 2018, 43–44.)

Ympäristön suojelemiseksi on kiinnitettävä huomiota sideaineen pölyämisen estämiseen. Pilarin yläpäättä tehdessä pölyämistä voidaan vähentää työskentelemällä työalustan päältä ja käyttämällä suojuksia pölyn leviämisen estämiseksi. Erityisen herkissä ympäristöissä pölyämisen estämisen tulee olla suunnitelmallista ja sitä voidaan vähentää esimerkiksi pölynsidonnalla. (Liikennevirasto 2018, 44.)

## 2.5 Haasteet ja riskit

Pilaristabiloinnin yksi merkittävä fyysinen haaste voi olla maaperässä sijaitsevat paksut täyttökerrokset, joiden materiaalikoostumus voi ratkaisevasti vaikuttaa stabiloinnin onnistumiseen. Täytteet, kuten kannot ja muut ylimääräiset

materiaalit stabiloitavassa kerroksessa, voivat estää stabilointiprosessin. Tämä ongelma korostuu erityisesti tilanteissa, joissa syrjäyttämällä tehtyjen massanvaihtojen yhteydessä vieressä olevat kivet ja muut ainekset sekoittuvat stabiloitavaan maaperään. (Liikennevirasto 2018, 19.)

Maaperän rakenteelliset piirteet voivat toisinaan tuoda lisähaasteita stabiloinnille. Erityisesti jos stabiloitavien kerrosten välissä on kovia maakerroksia, ne voivat huomattavasti heikentää syvästabiloinnin tehokkuutta. Samoin alueen aiemmat rakenteet, kuten maahan upotetut paalut tai hirsiarinat sekä erilaiset infrastruktuuri-elementit (putket, kaapelit, kaasuputket), voivat muodostaa esteen stabiloinnille. Samoin stabilointiprosessin toteuttamista saattavat rajoittaa alueen yllä olevat rakenteet, kuten ilmajohdot tai siltakannet, erityisesti jos stabilointilaitteistolle ei ole riittävästi tilaa toimia näiden alapuolella. (Liikennevirasto 2018, 19.)

Luonnonilmiöt, kuten tulvat tai erityisen kovat pakkaskaudet, voivat vaikuttaa stabiloinnin toteutettavuuteen. Kohteen saavutettavuuteen liittyvät tekijät, kuten puutteellinen tieverkosto tai siltojen painorajoitukset, ovat myös merkittäviä rajoitteita. (Liikennevirasto 2018, 19.)

Ympäristölliset sekä turvallisuuteen liittyvät seikat ovat keskeisiä huomioon otettavia tekijöitä. Maaperän pilaantuneisuus voi vaikuttaa stabilointiaineen reagoitukykyyn ja sitä kautta maan lujittumiseen. Tämän lisäksi voimakkaasti pilaantunut maaperä voi lisätä huomattavasti työturvallisuusriskejä. (Liikennevirasto 2018, 19.)

Kustannusriskien hallinta on projektin onnistumisen kannalta tärkeää. Stabiloinnin kustannukset voivat nousta korkeiksi erityisesti silloin, kun projektissa ilmenee odottamattomia haasteita tai kun joudutaan käyttämään erikoistekniikoita. Tämän takia huolellinen suunnittelu ja tehokas projektinhallinta ovat avainasemassa kustannusten hallinnassa.

## 2.6 Tulevaisuuden näkymät

Stabiloinnin tulevaisuuden näkymät ovat vahvasti kytköksissä sideaineiden kehitykseen. Sideaineiden kehitys kulkee kohti ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, joissa keskeisenä tavoitteena on hiilipäästöjen merkittävä vähentäminen. Innovaatioihin ja tutkimukseen panostamisen avulla tähdätään luomaan sideaineita, jotka yhdistävät tehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden vastaten samalla rakennusteollisuuden kasvaviin vaatimuksiin. (Kuusipuro 2022.) Sivutuotteiden hyödyntäminen ja kierrätysmateriaalien käyttöönotto sideaineiden valmistuksessa on osoitus kiertotalouden periaatteiden noudattamisesta (Ympäristöministeriö 2023a).

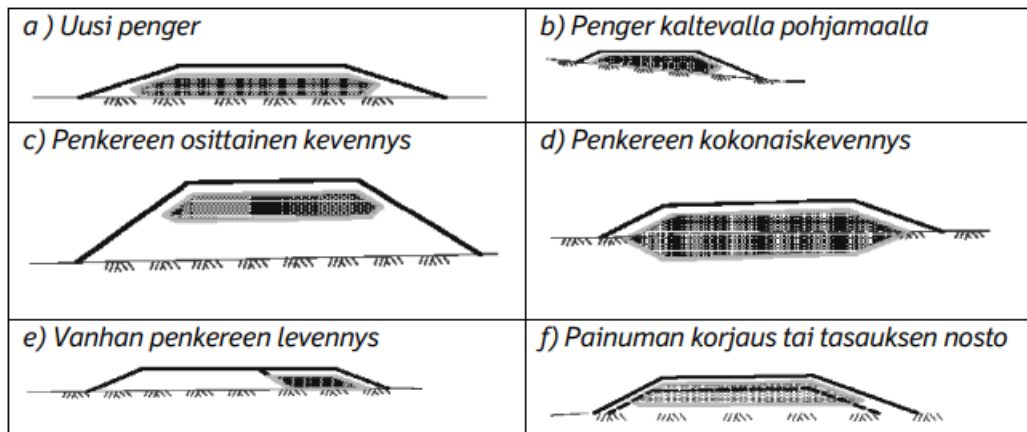
Tietokonepohjaisen mallinnuksen ja simuloinnin odotetaan olevan merkittävää tulevaisuuden kehityksessä. Ne mahdollistavat tarkemman suunnittelun ja toteutuksen, auttaen ennustamaan stabilointitoimenpiteiden suorituskykyä erilaisissa olosuhteissa ajan mittaan. Nanoteknologian soveltaminen syvästabiloinnissa voi tarjota uusia keinoja parantaa maaperän ominaisuuksia. Tulevaisuuden käytännöt tällä alalla korostavat hiilijalanjäljen minimointia, energiankulutuksen ja hukan vähentämistä stabilointiprosessin aikana. (Kontu 2023.)

### 3 Kevennysrakenteet

Kevennysrakenteet ovat olennainen ratkaisu erityisesti pehmeikköalueiden haasteisiin, joilla perinteiset maarakenteet voivat aiheuttaa ongelmia painumien ja stabiliteetin kannalta. Tällaisilla alueilla maarakenteista ja ulkopuolisista kuormista aiheutuvat kuormitukset voivat vaikuttaa haitallisesti rakenteeseen ja sen ympäristöön. (Liikennevirasto 2011, 10.)

Kevennysrakenteiden merkitys korostuu erityisesti tilanteissa, joissa rakennuskohteet sijoittuvat heikosti kantaville pohjamaille ja ilmastonmuutoksen vaikutukset, kuten tulva- ja merivedenpinnan nousu, vaativat rakenteiden tasauksen eli yläpinnan korottamisen. Nämä haasteet muodostavat perinteisille rakentamistekniikoille vaikeuksia, mutta kevennysrakenteiden avulla voidaan vastata tähän tarpeeseen tehokkaasti ja kestävästi. (Liikennevirasto 2011, 10.)

Kevennysrakenteet viittaavat tekniikkaan, jossa perinteinen luonnonkiviaineksesta muodostuva täyttö tai rakennekerros korvataan joko kokonaan tai osittain tilavuuspainoltaan kevyemmällä materiaalilla. Kevennetyön penkerein toteuttamistapoja on esitetty kuvassa 5 Liikenneviraston ohjeen 5/2011 Kevennysrakenteiden suunnittelu mukaisesti. Tämän pohjanvahvistustavan pääsääntöinen tarkoitus on vähentää maapohjalle kohdistuvaa kuormitusta ja parantaa rakenteen pitkäaikaistoimivuutta, kuten stabiliteettia, vähentää painumia ja minimoida maan liikkeitä, erityisesti pehmeillä ja heikosti kantavilla maaperillä. (Liikennevirasto 2012, 34.)



Kuva 5. Pengerrin kevennyssovelluksia (Liikennevirasto 2011).

Lisäksi kevennysrakenteet voivat parantaa maan mekaanisia ominaisuuksia, kuten kuivatuskapasiteettia ja routivuuden kestävyttä. Niiden käyttö mahdollistaa myös rakenteen kokonaiskustannusten optimoinnin, koska keveämpi rakenne vaatii yleensä pienemmät rakennekerrospaksuudet ja vähentää tarvetta pohjamaan lisävahvistukselle. (Foamit 2019, 4.)

Kevennysrakenteita sovelletaan laajalti erilaisissa infrarakentamisen hankkeissa, kuten teillä, silloilla, satamissa ja rautateillä. Ne ovat erityisen hyödyllisiä alueilla, joilla perinteiset pohjanvahvistusmenetelmät saattavat olla haasteellisia tai kustannuksiltaan rajoittavia. (Foamit 2019, 5.)

### 3.1 Materiaalit

Kevennysrakenteiden materiaalit ovat olleet laajassa käytössä pitkään ja jatkuvaa kehitystyötä suoritetaan erityisesti uusiomateriaalien parissa. Väylävirasto on julkaissut oppaan 20/2022 Uusiomateriaalien käytöstä väylärakentamisessa, joka tarjoaa kattavaa tietoa käytettävissä olevista materiaaleista. Lisäksi UUMA-hanke tarjoaa laajasti tietoa käytettävissä olevista uusiomateriaaleista sekä niiden käytöstä.

Infrarakentamisessa yleisimpiä kevennysmateriaaleja ovat vaahtolasimurske, kevytsora ja EPS-muovit, jotka ovat osoittautuneet keskeisiksi tekijöiksi

maaperän stabiliteetin hallinnassa ja painumien ehkäisyssä. Tässä työssä keskitytään kevennysmateriaalien osalta vain vaahtolasimurskeeseen.

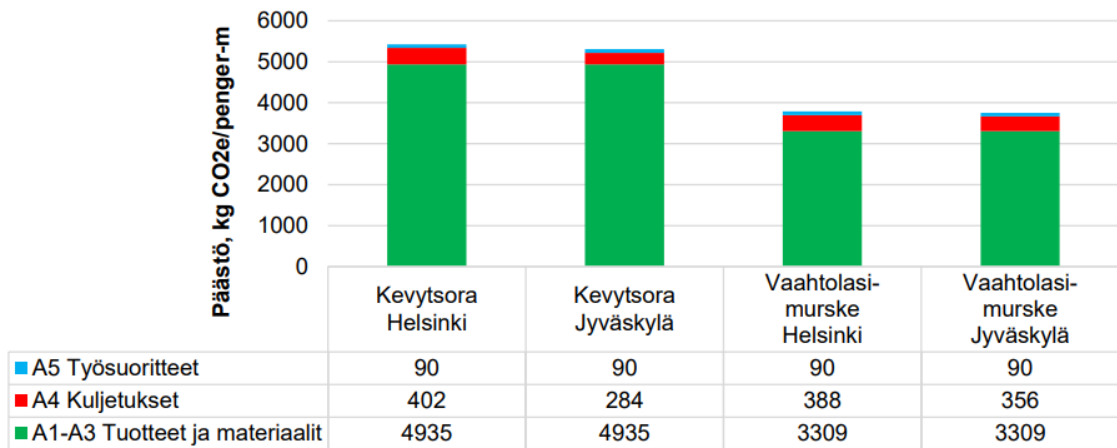
Vaahtolasimurske on kevyt ja ympäristöystävällinen materiaali, jota käytetään laajasti infrarakentamisessa. Se valmistetaan kierrätetystä lasista, joka prosessoidaan erityismenetelmällä muodostamaan kevyitä, huokoisia rakeita. Tämä prosessi vähentää sekä raaka-aineiden että energian kulutusta ja tekee siitä ekologisen vaihtoehdon. (Foamit 2019.)

Vaahtolasimurskeen keskeisiä ominaisuuksia ovat sen keveys, hyvä lämmöneristyskyky ja mekaaninen kestävyys. Sen keveys auttaa vähentämään rakenteiden kuormitusta, mikä on erityisen tärkeää rakennettaessa heikolla maaperällä. Hyvä lämmöneristyskyky taas tekee siitä ihanteellisen materiaalin routasuojauksessa ja eristyskerroksissa. Vaahtolasimurske on myös palamaton ja kemiallisesti kestävä materiaali, mikä tekee siitä turvallisen käyttää erilaisissa rakennuskohteissa. (Foamit 2019.)

Vaahtolasimurskeen valmistus ja käyttö ovat osa kiertotalouden periaatteita, mikä edistää kestävästä kehitystä rakennusalalla. Sen käyttö infrahankkeissa tukee ympäristötavoitteita, kuten jätteen vähentämistä ja luonnonvarojen säästämistä. (Foamit 2019.)

Viimeaikaiset tutkimukset ovat keskittyneet kevennysrakenteiden hiilipäästöjen arviointiin, erityisesti kevytsoran ja vaahtolasimurskeen osalta. Näissä laskelmissa on otettu huomioon monia tekijöitä, kuten päästöt, jotka syntyvät materiaalien valmistuksessa ja kuljetuksessa. (Kivi 2021, 35.)

Kiven (2021, 35–36) diplomityössä esitetyn esimerkkirakenteen päästöjä, jossa pengerkorkeus on 2,5 m ja osittaiskevennys on tehty 10 kPa leikkauspohjan päälle, esitellään kuvassa 6. Tuotteiden ja materiaalien valmistuspäästöt ovat noin 90 % kokonaispäästöistä, joista lähes kaikki johtuvat kevennysmateriaalien valmistuksesta. Kuljetusvaiheen päästöt taas puolestaan ovat hieman alle 10 % kokonaispäästöistä ja loput muodostuvat rakennusvaiheen päästöistä.



Kuva 6. Keventämisen päästöt esimerkkirakenteessa (Kivi 2021).

### 3.2 Suunnitteluprosessi

Kevennysmateriaalin valinnassa on otettava huomioon kohteen erityisvaatimukset ja varmistettava, että valitun materiaalin ominaisuudet vastaavat CE-standardeissa esitettyjä materiaalivaatimuksia. Näin varmistetaan kevennysmateriaalin laatu ja soveltuvuus suunniteltavaan kohteeseen. (Liikennevirasto 2011, 14.)

Kevennysrakenteiden suunnittelussa noudatetaan Liikenneviraston ohjetta 5/2011 Kevennysrakenteiden suunnittelu. Erityisesti kevennysrakenteissa, joissa käytetään rakeisia, kiviaineksiin verrattavia, kevennysmateriaaleja suunnitteluperiaatteet ovat samat kuin tavanomaisissa katurakenteissa. (Liikennevirasto 2012, 34.)

Maaperän ja maarakenteen vakavuutta, eli stabiiliteettia, on arvioitava silloin, kun maarakenteen aiheuttamat kuormitukset voivat mahdollisesti johtaa murtotilaan pohjamaassa tai siirtymiin ympäröivissä rakenteissa. Kevennyksen paksuus, laajuus ja materiaali valitaan vakavuustarkasteluiden vaatimusten perusteella varmistaen riittävä turvallisuus sortumista vastaan. Laskennassa on otettava huomioon käytetyn kevennysmateriaalin erityisominaisuudet. (Liikennevirasto 2011, 15.)

Maarakenteeseen kohdistuvat kuormitukset aiheuttavat painumia, joita on neljää tyyppiä: alkupainuma, konsolidaatiopainuma, plastinen painuma ja jälkipainuma. Painumamitoitus ja kevennyksen mitoitukset perustuvat geoteknisiin laskelmiin, joissa määritetään maaperän ominaisuudet ja kuormat kohdekohtaisesti. Konsolidaatio- ja jälkipainuma ovat yleensä merkittäviä kevennyksiä suunniteltaessa. Tavoitteena on usein kokonaiskevennys, jossa uusi rakenne ei lisää kuormitusta pohjamaalle tai jättää sen vähäisemmäksi kuin aikaisemmin. Osittaista kevennyksiä voidaan harkita, jos painumat ovat jo tapahtuneet tai tapahtuvat nopeasti, tai jos pohjavedenpinta on korkealla. (Liikennevirasto 2011, 15.)

Maamassoista aiheutuva maanpaine vaikuttaa rakenteeseen maan ja rakenteen rajapinnassa, kuten siltapenkereen, tukimuurin, perustuksen tai muun rakenteen kosketuspinnassa. Kevennysrakenteiden suunnittelussa on huomioitava myös mahdollinen nostevaikutus erityisesti tilanteissa, joissa vedenpinta voi nousta rakenteeseen esimerkiksi vesialueiden läheisyydessä tai tulva-alueilla. Maanpaine sekä nostemitoitus mitoitetaan Eurokoodi 7:n ja Liikenne- ja viestintäministeriön kansallisen liitteen soveltamisohjeen NCCI 7 mukaisesti. (Liikennevirasto 2011, 16.)

Kevennysrakenteiden suunnitteluprosessissa tulee lisäksi huomioida useita muita keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat rakenteen kokonaiskestävyyteen. Tien pinnan liukkaus, routamitoitus, päällysrakenne, ympäristövaikutukset, kuivatus, siirtymärakenteet ja kuormituskestävyyksimitoitus ovat kaikki olennaisia tarkastelukohtia, jotka on otettava huomioon suunnittelussa. Näiden tekijöiden kokonaisvaltainen tarkastelu mahdollistaa kevennysrakenteiden suunnittelun, joka on kestävä ja täyttää monipuoliset vaatimukset infrarakentamisessa. (Liikennevirasto 2011, 17–19.)

Kevennysrakenteen, kuten muidenkin rakenteiden, suunnittelussa tulee huomioida mm. rakenteen toteutettavuus, jälkihoito, mahdollisesti tulevat korjaukset ja aukikaivu sekä käytetyn materiaalin saatavuus. Työn toteuttamisen näkökulmasta on olennaista ottaa huomioon myös kohteen erityisominaisuudet. (Liikennevirasto 2011, 20.)



### 3.3 Toteuttaminen

Rakentaminen vaahtolasimurskeella on verrattavissa perinteiseen kiviaineksiin pohjautuvaan rakentamiseen, mutta sen käytössä on kuitenkin otettava huomioon sen erityisominaisuudet. Tyypilliset työkoneet, kuten kaivinkoneet ja puskutraktorit, ovat soveltuvia vaahtolasimurskeen levittämiseen, mutta materiaalin herkkyys mekaaniselle rasitukselle asettaa vaatimuksia sen käsittelylle. Materiaalin murskaantumisen välttäminen edellyttää huolellisuutta ja tarkkuutta niin materiaalin käsittelyssä kuin levittämisessäkin. (Eriksson & Hägglund 2008.) Rakentamisohjeet löytyvät InfraRYL:sta ja MaaRYL:sta.

Rakentamisprosessissa vaahtolasimurskeen lämpötilan pitäminen yli 0 °C on suositeltavaa materiaalin toimivuuden kannalta. Vaahtolasimurske tulee pitää puhtaana lumesta ja jäädä rakentamisen aikana, aivan kuten perinteisten kiviainestenkin kohdalla. Talvikuukausina materiaali tulisi suojata, jotta siihen ei pääsisi jäätä tai lunta. (Eriksson & Hägglund 2008.)

Tiivistys on keskeinen osa vaahtolasimurskeen käyttöä rakennusprosessissa, ja sen menetelmä vaihtelee valitun materiaalin sekä vallitsevien olosuhteiden mukaan. Tiivistäminen voidaan suorittaa joko kosteassa tai kuivassa muodossa, ja optimaalinen kerrospaksuus määräytyy valitun tiivistysmenetelmän mukaan: enintään 0,6 metriä käytettäessä telakonetta ja 0,4 metriä tärylevyä käytettäessä. Materiaalin levitys ja esitiivistys toteutetaan kerros kerrokselta, yleisimmin kaivinkoneen tai puskutraktorin avulla, jotka tuottavat 30–50 kPa:n pohjapaineen. Telakoneella tiivistettäessä tiivistyskerrat etenevät puolen telan leveyden siirtymillä, ja esitiivistyskertoja tulisi olla vähintään kaksi. (Foamit 2020, 6.)

Esitiivistäminen katsotaan riittäväksi, kun pinta on tasainen, telojen jälkiä ei jää vaahtolasimurskekerrokseen ja osa suuremmista rakeista pinnassa on rikkoutunut. Mikäli tela-alustaista konetta ei ole saatavilla, suositellaan 150–200 kg painoisen tärylevyn käyttöä. Heikosti kantavilla maaperillä on tärkeää huolehtia, että alimman tiivistettävän kerroksen paksuus on riittävä estämään maaperän häiriintyminen. Lopullinen tiivistäminen suoritetaan asettamalla 0,15–

0,20 metriä paksu kiviaineskerros vaahtolasimurskeen päälle ja tiivistämällä se täryjyrällä. Täryjyrän käyttö suoraan vaahtolasimurskeen päällä ei ole suositeltavaa, jotta vältetään materiaalin mahdollinen vahingoittuminen. (Foamit 2020, 6.)

Valittaessa tiivistyskalustoa ja määriteltäessä yliajokertojen lukumäärää otetaan huomioon sekä vaahtolasimurskekerroksen paksuus että pohjamaan kantokyky. Tiivistämistyön päätyttyä voidaan rakentaa muut rakennekerrokset. Kun vaahtolasimurskekerros on esitiivistetty oikeaoppisesti, ei välitiivistyskerroksia, kuten suodatinkangasta tai lisämursketta, yleensä tarvita. Jos kuitenkin päätetään käyttää välitiivistyskerrosta, on sen massan vaikutus otettava huomioon kevennyksen mitoituksessa. (Foamit 2020, 6.)

Vaahtolasimurskerakenteen ylläpito ei vaadi ylimääräisiä toimenpiteitä, ja sen käytön on havaittu vähentävän tien rakenteen huollon tarvetta, kuten routanousujen ja painumien korjaamista. Esimerkiksi Norjassa, jossa vaahtolasimursketta on käytetty vuodesta 1999 lähtien, ei ole ollut tarvetta ylimääräisille huoltotoimenpiteille kohteissa, joissa materiaalia on hyödynnetty. (Eriksson & Hägglund, 2008.)

### 3.4 Ympäristövaikutukset

Infrarakentamisessa käytettävän vaahtolasimurskeen ei ole todettu aiheuttavan merkittäviä ympäristöhaittoja, eikä sen käyttö edellytä erillistä ympäristölupaa tai ilmoitusta ympäristöviranomaisille. Vaahtolasimurskeen CE-merkintä viestii sen täyttävän tietyt laatu- ja ympäristövaatimukset. Tämä materiaali on palamaton ja kemiallisesti kestävä, minkä ansiosta se sopii hyvin kaduille ja teille, joilla esiintyy öljypitoisia tuotteita ja tiesuolaa. (Foamit 2020, 21.)

Vaahtolasimurskeen uudelleenkäyttö kevennysrakenteena tai routaeristeenä on mahdollista edellyttäen, että se on pidetty erillään muista maa- tai kiviaineksista. Suodatinkankaan käyttö on suositeltavaa, koska se estää tehokkaasti vaahtolasimurskeen sekoittumisen muihin maa-aineksiin. Mikäli vaahtolasimurskeeseen on sekoittunut muita aineksia, sen uudelleenkäytössä

on otettava huomioon muuttuneet ominaisuudet, kuten tilavuuspaino ja lämmönjohtavuus. (Foamit 2020, 21.)

Käytöstä poistuva vaahtolasimurske luokitellaan rakennusjätteeksi ja se tulee hävittää asianmukaisesti. Maa-ainekseen sekoittunutta vaahtolasimursketta ei saa viedä maankaatopaikalle. Vaahtolasimursketta voidaan pitää ekologisena kierrätystuotteena, koska sen käyttö vähentää kiviaineksen käyttöä, kaivumaiden määrää ja kuljetuksen päästöjä samalla parantaen rakenteiden lämmöneristävyyttä ja vähentäen tie- ja katualueiden routavaurioita. (Foamit 2020, 21.)

### 3.5 Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuuden näkymät kevennysrakenteissa suuntautuvat vahvasti kohti uusiomateriaalien käyttöä, mikä heijastaa pyrkimystä vähentää negatiivisia ympäristövaikutuksia ja edistää kestävästä rakentamisesta. Useat kierrätysmateriaalien käyttöön liittyvät tutkimukset ovat osoittaneet, että niiden hyödyntäminen voi merkittävästi vähentää luonnonvarojen tarvetta ja pienentää jätemääriä. Tavoitteena on varmistaa niiden ympäristöystävällisyys sekä rakenteellinen soveltuvuus.

Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa on Suomessa edennyt merkittävästi tutkimuksen ja innovaation ansiosta. Jo 1970-luvulta lähtien, esimerkiksi Oulun yliopisto ja VTT ovat tutkineet teollisuuden sivutuotteiden, kuten masuunikuonan ja kivihiilen poltosta syntyvän tuhkan, soveltuvuutta maarakennukseen. Vuosikymmenten ajan kehittyneet uusiomateriaalit, kuten betonimurske ja tietyt teräskuonat, ovat vakiinnuttaneet asemansa rakennusmateriaaleina, edistäen kestävästä kehitystä vähentämällä uusien raaka-aineiden tarvetta ja hyödyntämällä olemassa olevia resursseja innovatiivisesti. (Forsman ym. 2020, 5–6.)

Uusiomateriaalien käyttö infrarakentamisessa edustaa merkittävää askelta kohti kestävämpää rakennusteollisuutta, jossa materiaalien kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat keskeisiä elementtejä. Tutkimukset ja ohjeistukset, kuten

Väyläviraston Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa ja siihen liittyvät teknisen soveltuvuuden arviointioppaat, tarjoavat yksityiskohtaisen kehityksen uusiomateriaalien tehokkaalle hyödyntämiselle rakennusprojekteissa. Nämä ohjeistukset korostavat uusiomateriaalien, kuten betonimurskeen, bitumikaterouheen sekä teollisuuden sivutuotteiden tuhkan ja kuonan käytön teknistä ja ympäristöllistä soveltuvuutta tietyissä infrahankkeissa, mikä osoittaa sitoutumista kestäväen kehityksen periaatteisiin. (Väylävirasto 2022, 8–12.)

Tulevaisuudessa on odotettavissa, että uusiomateriaalien käytön laajentuminen infrahankkeissa saavuttaa uusia ulottuvuuksia materiaaliteknologian kehityksen ja syvällisempien tutkimusten myötä. Innovaatiot materiaaliteknologiassa ja perusteelliset analyysit uusiomateriaalien ominaisuuksista mahdollistavat niiden entistä laajemman hyödyntämisen, mikä edistää kestäväen kehityksen tavoitteita rakennusalalla. Tämä suuntaus ei ainoastaan auta vähentämään rakennusteollisuuden hiilijalanjälkeä vaan myös tukee resurssitehokkuutta, materiaalihukan vähentämistä ja kiertotalouden periaatteiden toteutumista rakennusalalla.

## 4 Päästölaskenta

Rakennushankkeiden päästölaskenta on menetelmä, jossa mitataan ja arvioidaan rakennushankkeen aiheuttamia kokonaishiilidioksidiekvivalenttipäästöjä (CO<sub>2</sub>e). Tämä laskenta ottaa huomioon eri vaiheet rakennushankkeen elinkaarella, kuten tuotevaiheen, rakentamisen, käyttö- ja purkuvaiheen. Laskenta voidaan toteuttaa myös vain osalle hanketta. Tämän prosessin tarkoituksena on kartoittaa hankkeen ympäristövaikutukset ja löytää keinoja päästöjen vähentämiseksi sekä edistää siten kestäväää ja ympäristönäkökulmien huomioon ottavaa rakentamista. (Perttu 2023, 12.)

### 4.1 Ohjeet ja standardit

Päästölaskennassa käytettävä arviointimenetelmä perustuu eurooppalaisiin kestäväen rakentamisen standardeihin SFS-EN 15643, SFS-EN 15804 ja SFS-EN 17472. On kuitenkin huomioitava, että tällä hetkellä arviointimenetelmä ei kata kaikkia standardin elinkaaren vaiheita eikä indikaattoriluokkia. Eurooppalainen standardi SFS-EN 17472 keskittyy infrarakentamisen ympäristöllisiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin arviointiperiaatteisiin. Ympäristöarvioinnin osalta standardi huomioi ilmastonäkökulman lisäksi muita keskeisiä ympäristönäkökohtia. (Väylävirasto 2023b, 9.)

Standardi jakaa infrarakentamisen elinkaaren vaiheisiin ja määrittelee näiden vaiheiden rajat. Arvioinnissa käytetään skenaarioita, jotka edustavat kyseisen infrarakentamisen elinkaaren vaiheita. Tuotteen hiilijalanjälki voidaan selvittää ilmoittamalla sen päästöt ja nielut. Lisäksi on hyödyllistä tarkastella näitä erikseen tuotteen elinkaaren eri vaiheissa, jotta saadaan kattava kuva sen ympäristövaikutuksista. (Väylävirasto 2023b, 9.)

Eurooppalainen standardi rakennustuotteiden ympäristöselosteista SFS-EN 15804:2012 + A2:2019/AC:2021 asettaa säännöt rakennustuotteiden ja -palvelujen ympäristöselosteiden laatimiselle. Sen keskeisenä tavoitteena on tarjota yhtenäiset periaatteet rakennustuotteiden, -palveluiden ja -prosessien

elinkaariarviointiin perustuvilla ympäristöilmoituksilla. Standardi on sovellettavissa sekä talonrakentamisen että muun rakentamisen, kuten väylärakentamisen, tuotteisiin ja palveluihin. (Väylävirasto 2023b, 9.)

#### 4.2 Laskennan työkalut

Laskennassa käytetään infrarakentamisen kansallisesta päästötietokannasta InfraCO2-palvelusta löytyviä päästötietoja. Tarvittaessa laskennassa voidaan hyödyntää myös talonrakentamisen päästötietokantaa. Päästötietokannassa olevien tuotteiden päästöt kuvaavat Suomessa tyypillisesti käytettyjen tuotteiden tietoja. (Väylävirasto 2023b, 16.)

Päästötietojen arvioinnissa, kansallisten tietokantojen lisäksi, voidaan hyödyntää rakennustuotteiden ympäristöselosteita (Environmental Product Declarations, EPD) tai vastaavilla menetelmillä laadittuja ilmastoselosteita. Ympäristöselosteet tarjoavat standardisoidun tavan raportoida tuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset, mikä tekee niistä hyviä työkaluja päästöjen arvioinnissa. (Väylävirasto 2023b, 16.)

Kun arviointi perustuu yksittäisen tuotteen päästökertoimen käyttöön, on välttämätöntä perustella tarkasti, millä perusteilla kyseistä tietoa käytetään. Tämän selventäminen on olennaista laskentaprosessin läpinäkyvyyden ja tieteellisen luotettavuuden varmistamiseksi, sillä eri tuotteiden ympäristövaikutukset voivat vaihdella suuresti riippuen niiden valmistusprosesseista, kuljetuksesta ja käyttäjästä. (Väylävirasto 2023b, 16.)

Elinkaariarviointipalvelujen tarjoajat hyödyntävät markkinoilla olevia elinkaariarviointimenetelmiä ja tietokantoja hankkeiden toteutuksessa. Keskeisiä työkaluja tässä työssä ovat muun muassa One Click LCA, FORE sekä hiljattain päivitetty Ihku-laskentapalvelu. Palveluntarjoajilla ja käyttäjillä on olennaista olla riittävästi kokemusta sekä osaamista näiden työkalujen käytössä, jotta hankkeen laatu ja tehokkuus voidaan varmistaa. Olennaista on myös se, että elinkaariarvioinnin tarjoajat, olivatpa he sitten työkalujen käyttäjiä tai kehittäjiä, varmistavat käyttämiensä ohjelmistojen ja tietokantojen olevan

linjassa Väyläviraston ohjeistuksen sekä kansallisten suositusten asettamien standardien ja laatuvaatimusten kanssa. (Väylävirasto 2020, 43.)

#### 4.3 Laskenta infrarakentamisessa

Vähähiilisyiden arviointimenetelmää voidaan hyödyntää monipuolisesti väylä- ja kaupunkirakentamisessa sekä muussa rakennetun ympäristön infrastruktuurin kehittämisessä. Menetelmä soveltuu sekä uudis- että perusparannushankkeisiin, rakenne- ja hankeosien vaihtoehtotarkasteluihin sekä yleisesti hankearvioinnin tueksi. Painopiste tässä arviointimenetelmässä on erityisesti tarkemman tason suunnitelmien ja rakentamisen hiilijalanjäljen arvioinnissa. Menetelmän avulla voidaan systemaattisesti analysoida hankkeiden vaikutusta ilmastonmuutokseen, tarjota arvokasta tietoa päätöksenteon tueksi ja mahdollistaa kestävä infrarakentamisen edistämisen. (Väylävirasto 2023b, 10.)

Arviointi perustuu yksityiskohtaiseen rakennusosa- ja hankeosatasoisen arvion tuottamaan tietoon. Tämä arviointimenetelmä soveltuu toteutettavaksi eri vaiheissa, kuten tie-, katu- ja rata- sekä rakentamissuunnitteluvaiheessa ja itse rakentamisvaiheessa. Arviointi on mahdollista suorittaa myös varhaisemman vaiheen suunnittelussa, erityisesti vaihtoehtotarkastelujen laatimiseksi hankeosatasoisen arvioinnin perusteella. Menetelmää tullaan edelleen kehittämään pilotoinnin ja kokemusten perusteella, erityisesti varhaisemman vaiheen suunnittelussa, jotta se vastaa parhaiten eri vaiheissa esiintyviin tarpeisiin. (Väylävirasto 2023b, 11.)

Infrarakentamisen ilmastovaikutusten arvioinnissa tarkastellaan vähintään seuraavia elinkaaren vaiheita: valmistus A1–A3, kuljetukset ja työmaatoiminnot A4–A5 sekä rakennustuotteiden suunnitellut vaihdot B4. Arvioitavat sekä pois jätettävät elinkaaren vaiheet on esitetty kuvassa 7 standardin SFS-EN 15978 mukaisesti. Vaihe B4 sisältää uusien materiaalien valmistuksen, niihin liittyvät kuljetukset, työmaatoiminnot sekä vanhojen rakenteiden purkamisen,

kuljetuksen, jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen aiheuttamat päästöt.  
(Väylävirasto 2023b, 14.)

Päävaihe	Vaihe	Menetelmään kuulu- vuus
<b>A Ennen käyttöä</b>	A1–3 Tuotteiden valmistus	Arvioidaan
	A4 Kuljetukset työmaalle	Arvioidaan
	A5 Työmaatoiminnot	Arvioidaan
<b>B Käytön aikana</b>	B1 Käyttö	Ei arvioida
	B2 Kunnossapito	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	B3 Korjaukset	Ei arvioida
	B4 Rakennustuotteiden vaihdot / Uusiminen	Arvioidaan
	B5 Laajamittaiset korjauk- set	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	B6 Energian käyttö	Ei arvioida
	B7 Veden käyttö	Ei arvioida
	B8 Hyötykäyttö	Ei arvioida tällä menetel- mällä
<b>C Käytön jälkeen</b> *	C1 Purkutyöt	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	C2 Kuljetukset käsittelyyn	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	C3 Jätteenkäsittely	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	C4 Loppusijoitus	Hankekohtaisesti sovitta- essa
<b>D Elinkaaren ul- kopuolella</b>	D1 Tuotejärjestelmän ulko- puoliset hyödyt ja haitat, uudelleenkäyttö, kierrätys, energiakäyttö ja muu tal- teenotto	Hankekohtaisesti sovitta- essa
	D2 Hyödykkeiden vieminen toiseen tuotejärjestelmään	Hankekohtaisesti sovitta- essa

\* Väylärakentamisen Infrarakentamisessa lähtökohtana on, että rakenne tehdään ylläpidettäväksi, joten rakenteen purkamisesta aiheutuvat päästöt huomioidaan vain käyttöjakson aikana tehtävien vaihtojen ja korjausten osalta. Infrarakentamisessa vain harvoissa tapauksissa lasketaan C-moduuli. Tapaukset, joissa C-moduuli huomioidaan voivat olla esimerkiksi lyhytikäisiksi tarkoitetut tai väliaikaiset rakenteet, kuten vaikka kiertotie. C-moduulin laskenta voidaan myös tällaisten rakenteiden osalta ohittaa jos sen vaikutus katsotaan kokonaisuuteen nähden hyvin pieneksi.

Kuva 7. Arvioitavat elinkaaren vaiheet (SFS-EN 15978 2012 Väylävirasto 2023b mukaan).

Infrarakentamisen peruseriaatteena on rakenteiden suunnittelu ylläpidettäväksi, joten purkamisen aiheuttamat päästöt otetaan huomioon vain käyttöjakson aikana tehtävissä vaihdoissa ja korjauksissa. Mikäli hankkeeseen sisältyy aikaisemmin arvioimaton perusparannus, joka vaikuttaa toiminnalliseen vastineeseen, kuten lisäkaistojen tai -raiteiden rakentaminen, toteutetaan tälle perusparannukselle oma erillinen arviointi. Perusparannushankkeissa



huomioidaan purettavien rakenteiden aiheuttamat päästöt, mukaan lukien purkutyöt ja tarvittavat kuljetukset työmaalla tai sieltä pois. Perusparannuksen aiheuttama hiilijalanjälki kohdistetaan moduuleille A1–A5. (Väylävirasto 2023b, 14.)

Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, kuten hiilinielujen lisääminen tai kompensointi, on tunnistettu osana elinkaarikestävää infrarakentamista. Kuitenkin niiden sisällyttäminen arviointiin on tällä hetkellä vapaaehtoista, sillä yhtenäistä tapaa määritellä näitä vaikutuksia ei vielä ole saatavilla. Elinkaaren ulkopuolisten vaikutusten huomioiminen tarjoaa mahdollisuuden laajentaa arviointikehystä ja parantaa kokonaisvaltaista ymmärrystä infrarakentamisen kestävyysnäkökohdista. Tulevaisuudessa tätä osa-aluetta tulee tarkastella yksityiskohtaisemmin ja kehittää standardeja näiden vaikutusten johdonmukaiseksi integroimiseksi infrarakentamisen elinkaariarvioihin. (Väylävirasto 2023b, 11.)

#### 4.4 Hiilipäästöjen vähentäminen ja ympäristövaikutukset

Suomen hallitus on asettanut tavoitteekseen vähentää maan hiilipäästöjä ja saavuttaa hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä. Tämä tavoite ylittää EU:n asettamat, Suomen tavoitteita löyhemmät ilmastotavoitteet. Saavuttaakseen tämän Suomen on vähennettävä päästöjään 60 % vuoteen 2030 mennessä ja jopa 95 % vuoteen 2050 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoihin. Tämän vuoksi on tarpeen toteuttaa päästövähennyksiä kaikilla talouden sektoreilla. (Ympäristöministeriö 2022.)

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus tuo infrarakentamisen alalle merkittäviä muutoksia, joilla pyritään edistämään muun muassa ilmastonmuutoksen torjuntaa, kiertotaloutta ja digitalisaatiota. Lain uudistaminen on osa laajempaa pyrkimystä parantaa rakentamisen laatua ja tehostaa alueiden käyttöä. Uusi rakentamislaki, joka on yksi uudistuksen kulmakivistä, astuu voimaan 1.1.2025 ja tuo mukanaan muun muassa ilmastonmuutoksen vastaisia toimia osaksi lainsäädäntöä, sekä pyrkii sujuvoittamaan rakentamisprosesseja. Uudistuksen

tavoitteena on vastata paremmin nyky-yhteiskunnan tarpeisiin, kuten digitalisaation hyödyntämiseen rakentamisessa ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen. (Ympäristöministeriö 2023b.)

Hiilineutraaliuteen pääsemistä tukee Rakennusteollisuuden RT:n laatima Tiekarttatyö. Infrarakentamisessa päästöjen vähentämisen mahdollisuudet liittyvät erityisesti työmaatoimintoihin, kiviainesten tehokkaaseen käyttöön ja kierrätysmateriaalien hyödyntämiseen. Rakennusmateriaalien, kuten sementin ja teräksen, valmistuksessa teknologinen kehitys on avainroolissa päästöjen vähentämisessä. Työmaatoimintojen osalta päästöjen alentamisessa keskeisiä toimia ovat sähköistys ja biopolttoaineiden käyttöönotto. (Rakennusteollisuus RT 2023, 3).

Ilmastopäästöjen vähentäminen edellyttää kattavaa yhteistyötä ja aktiivista panostusta kaikilta sidosryhmiltä, etenkin valtion ja kuntien tahoilta, jotka ovat avainasemassa vähähiilisyyteen tähtäävän sääntelyn sekä maankäyttöpolitiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Tiekartan seuraavassa vaiheessa keskitytään erityisesti kiinteistö- ja rakennusalaalla käytävään hiilineutraaliusdialogiin, jonka päätavoitteena on konkreettisten toimenpiteiden käynnistäminen. Tämä dialogi on suunnattu ohjaamaan alaa kohti kestävämpää ja vähähiilisempää toimintaympäristöä. (Rakennusteollisuus RT 2023, 3–4).

#### 4.5 Tulevaisuuden näkymät

Arviointimenetelmää kehitetään ja päivitetään jatkuvasti vastaanotetun palautteen, kasvavan tietomäärän ja käytännön kokemusten pohjalta. Kehittämistarpeina on tunnistettu muun muassa rakentamisvaiheessa tehtävä toteumaan perustuva laskenta, kunnossapidon toimintojen sisällyttäminen laskentaan sekä maankäytön ja hiilinielujen vaikutusten huomioiminen päästöarvioinneissa. Menetelmän tehokkuutta ja päivityksen tarvetta tarkastellaan vuoden käytön jälkeen, vuosien 2024 ja 2025 vaihteessa, tavoitteena varmistaa sen ajantasaisuus ja luotettavuus infrarakentamisen hiilijalanjäljen mittaamisessa. (Väylävirasto 2023b, 12.)

#### 4.6 Raportointi

Päätöksenteon tukemiseksi on välttämätöntä, että elinkaariarvioinnin tulokset viestitään selkeästi ja ymmärrettävästi. Vaikka ISO 14044 -standardin mukainen raportointi on suositeltavaa tulosten luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden takaamiseksi, sen soveltaminen ei ole aina käytännöllistä, erityisesti kun arvioinnilla pyritään tukemaan suunnitteluprosessin eri vaiheita.

Elinkaariarvioinnin tekijöiden ja kohderyhmien tarkka määrittely on olennainen vaihe tulosten esitystavan ja viestinnän suunnittelussa, jotta voidaan varmistaa tiedon oikea-aikainen ja tarkoituksenmukainen välittyminen. (Väylävirasto 2020, 38.)

Valinta elinkaariarviointimenetelmien ja niiden tietokantojen välillä on ratkaisevassa asemassa arvioinnin tulosten kannalta. Tulokset saattavat vaihdella, vaikka käytössä olisivat samat standardit ja ohjeistukset.

Eroavaisuudet johtuvat eri elinkaariarviointityökalujen sisältämistä menetelmävalinnoista, kuten siitä mitkä elinkaaren vaiheet sisällytetään tarkasteluun. (Väylävirasto 2020, 38.)

Hiilipäästöjen laskentaan liittyen on olemassa monenlaisia elinkaariarviointiaineistoja, mutta niiden sisältämät oletukset voivat vaihdella tietokantakohtaisesti. Tuloksia esitettäessä on suositeltavaa selventää, missä suunnitteluprosessin vaiheessa arviointi on suoritettu. Tämä auttaa ymmärtämään paremmin valittuja menetelmiä ja niiden vaikutusta tuloksiin. (Väylävirasto 2020, 38.)

Tulosten esittäminen selkeässä ja tiiviissä raportissa on suositeltavaa. Tulokset voidaan esittää kaavio- ja taulukkomuodossa sekä lopuksi antaa laskelmiin perustuva suositus. Kohderyhmästä riippuen saattaa olla hyödyllistä laatia laajempi raportti, joka on yhteensopiva ISO 14044 -standardin kanssa. Tulosten muodosta ja toimittamisesta on sovittava etukäteen tilaajan kanssa.

(Väylävirasto 2020, 39.)

Väylävirasto ohjeistaa tulosten raportointiin käyttämään sen tarjoamaa raportointiohjetta ja -pohjaa, jotka ovat saatavilla liitteenä ohjeessa 43/2023 Infrarakentamisen vähähiilisyiden arviointimenetelmä. Tulokset jaetaan elinkaaren eri vaiheiden mukaan, ja lisäksi käyttövaiheen päästöt esitetään vuosittaisina keskiarvoina. Tällainen jaottelu tekee rakennushankkeen hiilijalanjäljen eri tekijöiden vaikutusten ymmärtämisen helpommaksi. (Väylävirasto 2023b, 27.) Ohjeistusta voidaan hyödyntää myös katupuolen laskennassa, sillä erillistä yhtenäistä ohjeistusta tähän tarkoitukseen ei toistaiseksi ole saatavilla.

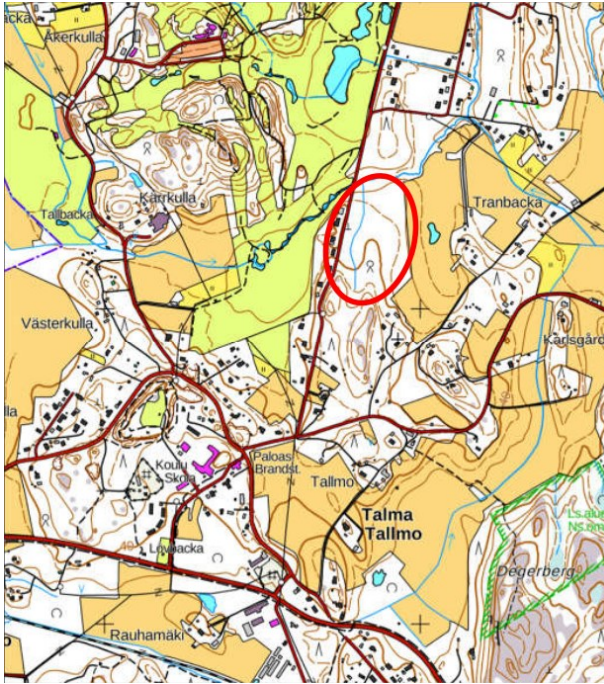
Arvioinnin tulosten luotettavuuden varmistaminen edellyttää useiden keskeisten ehtojen täyttymistä. Olennaista on, että arvioitava kohde on suunniteltu ja toteutettu noudattaen tilaajan asettamia suunnittelu- ja rakennusohjeita. Tämä takaa hankkeen yhdenmukaisuuden vaadittujen standardien ja normien kanssa. (Väylävirasto 2023b, 27.)

Lisäksi arvioinnin tulee pohjautua erityisesti infrarakentamisen vähähiilisyiden arviointimenetelmään, mikä varmistaa metodologisen johdonmukaisuuden ja tarkoituksenmukaisuuden. Arvioinnissa käytettävien tietojen tulee perustua luotettavaan lähteisiin, kuten kansalliseen päästötietokantaan tai standardin SFS-EN 15804:2012 + A2:2019/AC:2021 mukaisiin ympäristö- tai ilmastoselosteisiin. Tämä standardi asettaa yleiset vaatimukset rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laatimiselle, mikä edesauttaa tietojen luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta kestävässä rakentamisessa. Nämä vaatimukset muodostavat perustan arvioinnin tulosten pätevyydelle ja hyödynnettävyydelle. (Väylävirasto 2023b, 27.)

Arvioinnissa käytetyt päästötiedot katsotaan laadukkaiksi ja luotettaviksi, jos ne on hankittu joko infra- tai talonrakentamisen kansallisista päästötietokannoista tai rakennustuotteiden ympäristö- ja ilmastoselosteista. (Väylävirasto 2023b, 27.)

## 5 Puu-Talman alue

Puu-Talma on infrarakentamisen suunnitteluhanke Sipoossa, joka sijaitsee Talman taajaman läheisyydessä. Suunnittelualueen sijainti on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Suunnittelualueen sijainti (Sipoo 2023).

Alueen kehittämisessä keskitytään luomaan kestävän kehityksen mukaisia infrarakenteita, jotka palvelevat tulevia asuinpienaloja. Alueelle on hyväksytty uusi asemakaava vuonna 2023, joka on pinta-alaltaan noin 12,8 ha. Alueen katusuunnitelmaehdotus on tällä hetkellä nähtävillä kokonaisuudessaan Sipoon kunnan sivuilla, ja suunnitteluprosessi on siirtynyt infrarakenteiden osalta rakentamissuunnitelman laatimiseen. Ote katusuunnitelmaehdotuksesta on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Ote katusuunnitelmaehdotuksesta (Sipoo 2024).

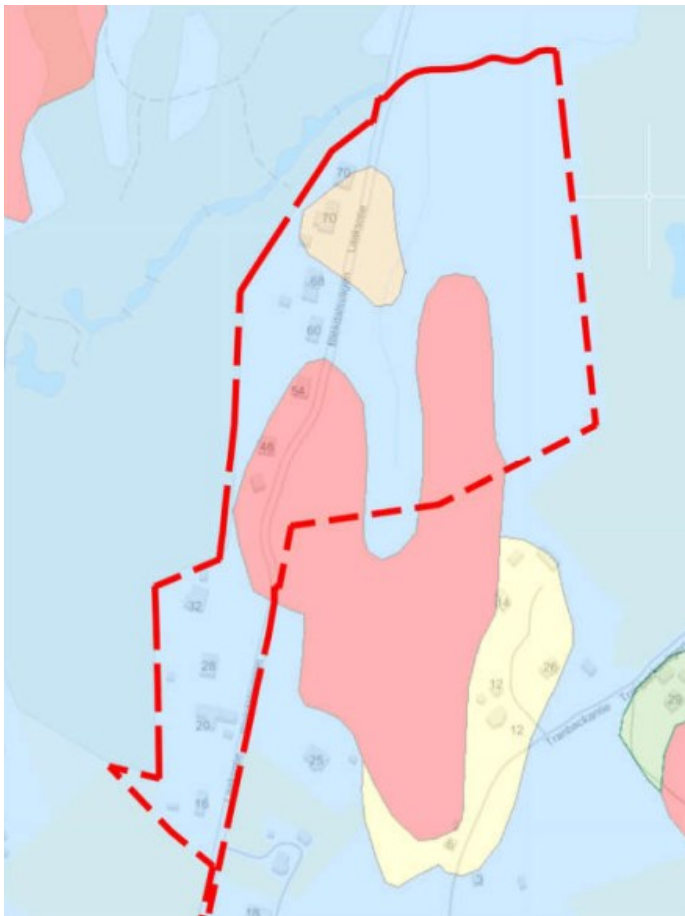
Infrarakenteiden suunnittelu ja rakentaminen on olennainen osa alueen kokonaisvaltaista kehitystä. Tavoitteena on tarjota asukkaalle toimivat, turvalliset ja kestävät liikenneyhteydet sekä vesi- ja viemärintiijärjestelmät. Kestävän kehityksen periaatteiden noudattaminen on keskiössä suunnitteluprosessissa, jossa valitaan huolellisesti materiaaleja ja teknologioita, jotka vähentävät ympäristövaikutuksia ja hiilipäästöjä.

Seuraavissa mitoituskappaleissa tarkastellaan Piilukirveen katuosuuden suunnittelua keskittyen asfaltoituun ja kivituhkapintaiseen osuuteen. Tämän työn pohjarakennesuunnittelu perustuu aiemmin laadittuun katusuunnitelmaehdotukseen.

## 5.1 Pinta- ja pohjaolosuhteet

Puu-Talman alueen geotekninen analyysi perustuu Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperäkarttoihin sekä laajoihin pohjatutkimuksiin. Alueella on tehty viimevuosina erilaisia kairauksia ja näytteenottoja, joita on täydennetty rakentamissuunnittelua varten puristinheijari-, siipi-, porakairauksilla, häiriintyneillä ja häiriintymättömillä näytteillä sekä ödometrikokeilla.

Suunnittelualue sijaitsee Laaksontien itäpuolella luonnontilaisessa metsämaastossa, jossa maaperäkartan mukaan pintamaalajeina esiintyy pääosin savea, hiekkamoreenia sekä kalliota. Pintamaalajien esiintyminen on esitetty kuvassa 10, jossa sininen väri kuvaa savikkoa, keltainen moreenia ja punainen kalliialuetta.



Kuva 10. Suunnittelualue GTK:n maaperäkartalla (Sipoo 2023).

Topografialtaan alue on enimmäkseen tasainen, mutta alueen lounaisosassa sekä alueen reunoilla on havaittavissa jyrkempiä kohtia. Alueen korkein kohta sijaitsee lounaiskulmassa Laaksontien läheisyydessä ja saavuttaa korkeustason noin +50, kun taas matalin kohta löytyy koilliskulmasta korkeustasolta noin +31. Alueen pohjoisrajaa rajaa puro ja lounaiskulmassa esiintyy avokalliota.

Pohjatutkimukset osoittavat, että valtaosalla aluetta on kuivakuorikerros, jonka paksuus vaihtelee 1,0–1,5 m. Kuivakuorikerroksen alapuolella on savikerros, jonka paksuus vaihtelee 0,5–6,0 m. Savikerroksissa luonnontilainen vesipitoisuus vaihtelee 38–79 %. Eteläosassa aluetta savikerros muuttuu siltiksi, jonka paksuus vaihtelee 0,5–4,5 m.

Siipikairauksista saadun tiedon mukaan maaperän leikkauslujuus vaihtelee 15–50 kPa. Laaksontien läheisyydessä alueen pohjoispuolella suoritettussa ödometrikokeessa havaittiin pohjamaan konsolidaatiojännityksen 3,5 metrin syvyydessä olevan 301,8 kPa ja 4,5 metrin syvyydessä 383,2 kPa.

Kairaukset päättyvät kiveen, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen 0,4–13,0 m syvyydellä maanpinnasta. Alueella on tehty kallionvarmistuskairauksia. Tutkimukset eivät ole osoittaneet viitteitä maaperän pilaantuneisuudesta. Alueelle asennettiin pohjavesiputkia 4 kpl ja mittauksia on tehty aikavälillä 23.11.2023–18.12.2023. Pohjaveden pinnan syvyydeksi on mitattu 3,0–3,9 metriä maanpinnasta.

## 5.2 Stabiloinnin mitoitus

Koska suunniteltava katualue sijaitsee pääosin savisen pehmeikön päällä, alue on suunniteltu vahvistettavaksi. Suunnittelualan pilaristabiloinnin mitoitus toteutettiin hyödyntäen Smuran kehittämää Excel-pohjaista laskentaohjelmaa, joka mahdollistaa sekä pilaristabiloinnin että massastabiloinnin mitoituksen erilaisissa geoteknisissä olosuhteissa. Laskentaohjelman avulla mitoitus voidaan suorittaa ottaen huomioon pilarien käyttäytyminen lujina, kimmoisina tai myötävävinä rakenteina. Puu-Talman alueelle suunnitellut stabilointipilarit mitoitettiin kimmoisina, mikä on kyseisistä vaihtoehtoista yleisimmin käytetty



ratkaisu. Laskentaohjelma käyttää varmuuskerroinmenetelmää. Laskentaprosessi on esitetty liitteessä 4.

Mitoitusprosessi aloitetaan analysoimalla vallitsevat olosuhteet, jonka pohjalta kerätään ja määritellään laskennalle kriittiset parametrit. Laskentaprosessi käynnistyy syöttämällä laskentaohjelmaan lähtötiedot, kuten kuormitukset ja pohjaveden pinnan taso, jonka jälkeen määritellään maakerrosrajat ja niiden ominaisuudet, kuten vesipitoisuus ja leikkauslujuus.

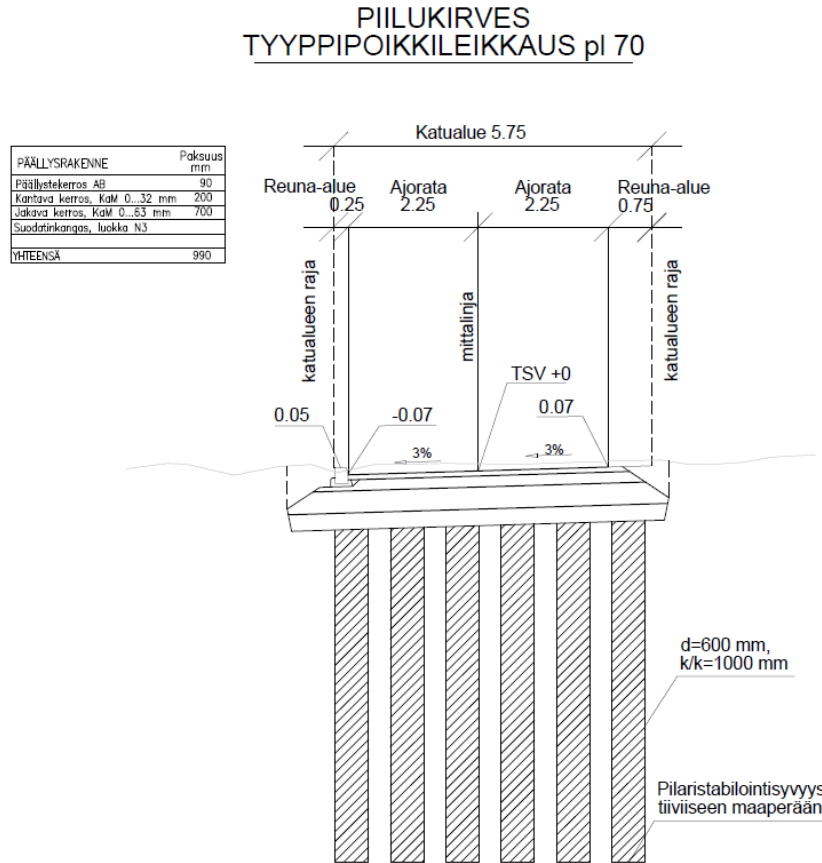
Laskentaparametrien määrittelyn jälkeen ohjelma suorittaa laskennan, jossa se määrittää optimaaliset mitoitusarvot eri pilarityypeille, ottaen huomioon sekä rakenteelliset että käytännön vaatimukset. Ohjelma ottaa lisäksi huomioon mahdolliset maaperän heterogeenisuudet ja muut muuttujat, jotka voivat vaikuttaa stabiloinnin suunnitteluun ja toteutukseen.

Eryistä huomiota kiinnitetään pilarin puristuslujuuden mitoitukseen, joka on kriittinen pilarin kyvyllä vastustaa rakenteeseen kohdistuvia kuormituksia menettämättä sen kantavuutta tai vakautta. Kimmoisan pilarin mitoitus keskittyy siihen, että pilarit kantavat suurimman osan kuormasta ilman, että niiden myötökuorma ylittyy. Tämän vuoksi rakenne on useimmiten lähes painumaton. Lisäksi laskelmat ottavat huomioon stabiloinnin vaikutuksen penkereen painumiin ja rakenteen kokonaisstabiliteettiin.

Sideainesreseptin valinnassa nojaututtiin aiempien projektien ja asiantuntijoiden kokemusperäiseen tietoon, sillä stabiloitavuuskokeita ei ollut mahdollista toteuttaa tällä hankkeella. Käyttämällä sekä kalkkisementtiä että Nordkalk Terra GTC:tä päädyttiin sideainereseptiin  $120 \text{ kg/m}^3$ . Tämä valinta perustuu vastaavien maaperäolosuhteiden aiemmin onnistuneisiin stabilointituloksiin.

Mitoituksessa lähdettiin tavoittelemaan stabilointipilareille  $100 \text{ kPa}$ :n leikkauslujuutta. Stabilointipilarin halkaisijaksi valittiin  $600 \text{ mm}$  ja stabilointi suunniteltiin ulottumaan tiiviiseen maakerrokseen asti, joka suunnittelualueella on keskimäärin  $6 \text{ m}$ :n syvyydessä maanpinnasta. Päälysrakenteena on  $0,99 \text{ m}$ etrin paksuinen murskerakenne. Kuvassa 11 on esitetty suunnitellun

stabiloinnin tyypipoikkileikkaus, joka havainnollistaa, miltä suunniteltu rakenne näyttää.



Kuva 11. Stabiloitavan rakenteen tyypipoikkileikkaus.

Lähtötietojen syöttämisen jälkeen ohjelma tarjoaa pilariväleiksi suuria arvoja saven korkean leikkauslujuuden vuoksi. Smuran koulutustilaisuudessa (2024) mainitun nyrkkisäännön mukaisesti pilarivälin ei tulisi ylittää pengerkorkeutta stabiileetin säilyttämiseksi. Tästä syystä pilariväliksi valittiin 1 m.

Laskennassa havaittiin Puu-Talman alueen saven olevan leikkauslujuudeltaan odotettua suurempi, mikä itsessään tarjoaisi katurakenteelle riittävän tuen kantavuuden ja painuman osalta ilman lisästabilointiakin. Ilman stabilointia laskennalliset painumat alueella jäivät vain 21 millimetriin, kun taas stabiloinnin myötä painumat pienenevät 17 millimetriin.

Laskentaohjelman ehdottama stabilointileveys on 9 m. Suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon alueen aikaisemmat suunnitelmat, kuten katusuunnitelmaehdotus, joka rajoittaa stabilointileveyden 5,75 metriin katualueen leveyden mukaisesti. Tämä ei muodosta ongelmaa suunnittelualueella, sillä pohjamaa on odotettua kantavampaa eikä näin ollen vaikuta rakentamisen onnistumiseen tai rakenteiden vakauden saavuttamiseen.

### 5.3 Kevennysrakenteen mitoitus

Suunnittelualueen kevennysrakenteen ja painumalaskennan mitoitukset toteutettiin Smuran kehittämällä Excel-pohjaisilla laskentaohjelmilla. Kevennysrakenteen mitoitus on esitetty liitteessä 2 ja painumalaskenta on esitetty liitteessä 3.

Mitoitusprosessi aloitetaan keräämällä olennaiset lähtötiedot, jotka sisältävät tiedot sekä maaperästä että suunnitellusta rakenteesta.

Kuormituskestävyysmitoitus perustuu Odemarkin kaavaan, joka mahdollistaa kantavien kerrosten paksuuden ja materiaalien lujuusominaisuuksien laskennallisen määrittämisen. Tässä vaiheessa otetaan huomioon esimerkiksi ajoneuvoliikenteen aiheuttama kuormitus, katurakenteen käyttötarkoitus sekä odotettavissa oleva liikennemäärä. Mitoituksessa tulee varmistaa, että katurakenne kestää suunnitellun käyttöiän ajan ilman merkittäviä vaurioita.

Kantavuusmitoituksen tuloksena kadun päällystetyn osuuden rakennekerrokset ovat

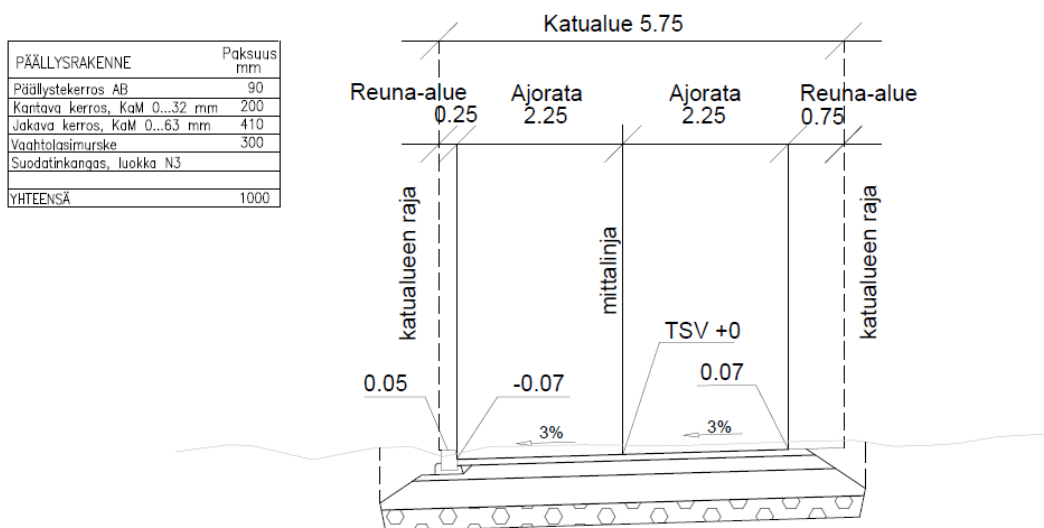
- asfalttibetoni (AB) 90 mm
  - kantava kerroksen kalliomurske 200 mm
  - jakavan kerroksen murske 410 mm
  - vaahtolasimurske 300 mm.
- Σ 1 000 mm

Päällystämättömän osuuden rakennekerrokset ovat

- kivituhkapinta 70 mm
  - kantava kerroksen kalliomurske 200 mm
  - jakavan kerroksen murske 430 mm
  - vaahtolasimurske 300 mm.
- Σ 1 000 mm

Vaikka pienemmillä rakennekerrospaksuuksilla voidaan saavuttaa tarvittava kantavuus, *Kevennysrakenteiden suunnitteluohjeet* edellyttävät, että tien pinnan liukkauden estämiseksi kevennyskerroksen yläpuolelle on rakennettava vähintään 0,7 m paksuinen rakennekerros. Kuvassa 12 esitetään suunnitellun kevennysrakenteen tyyppipoikkileikkaus, joka havainnollistaa mitoitettua rakennetta ja sen eri kerrosten sijoittelua toisiinsa nähden. Kevennyskerros on korostettu kuvioinnilla.

### PIILUKIRVES TYYPPIPOIKKILEIKKAUS pl 70



Kuva 12. Kevennysrakenteen tyyppipoikkileikkaus.

Turpoamiskerroinmenetelmän avulla voidaan arvioida routanousun vaikutus katurakenteeseen, sillä tämä antaa arvon maaperän potentiaaliselle turpoamiselle jäätyessään. Vaikka alueen pohjamaa ja olosuhteet mahdollistavat tavoitekantavuuden saavuttamisen ilman kevennysrakenteen käyttöä, on vaahtolasimurske valittu sen erinomaisten eristeominaisuuksien vuoksi. Tämä valinta mahdollistaa sen, että routamitoituksessa ei tarvitse suurentaa rakennekerroksia, joka puolestaan helpottaa rakenteen toteuttamista.

Vaahtolasimurskeen käytön myötä laskennallisen routanousun on arvioitu olevan 0 mm, mikä on merkittävä saavutus alueen rakenteellisen eheyden ja toimivuuden kannalta. Routavaurioita estämällä varmistetaan kadun pitkäaikainen käyttöikä ja vähennetään huoltotarvetta.

Kadun painumalaskenta on suoritettu huomioiden maaperän ominaisuudet ja pohjamaan tilavuuspaino, joka on Liikenneviraston ohjeen Tien geotekninen suunnittelu mukaisesti arvioitu vesipitoisuuden perusteella olevan  $17 \text{ kN/m}^3$ . Laskennallinen tilanne perustuu oletukseen, jossa maamassaa leikataan pois 1 metrin verran ja korvataan tila vastaavalla määrällä mursketta, jonka tilavuuspaino on  $20 \text{ kN/m}^3$ . Tämän materiaalin vaihdon seurauksena pohjamaahan syntyy lisäkuormitus.

Lisäkuormituksen määrä perustuu murskeen ja poistetun maa-aineksen tilavuuspainojen  $3 \text{ kN/m}^3$  erotukseen. Kun tämä lisäkuorma kerrotaan pengerkorkeudella, eli 1 metrillä, saadaan pohjamaahan kohdistuva kokonaiskuormitus  $3 \text{ kN/m}^2$ . Laskennallinen lisäkuormitus on 0,15-kertainen murskeen tilavuuspainoon nähden. Tämä suhde hyödynnetään laskennassa asettamalla pengerkorkeudeksi 0,15 m, jolloin saadaan tarkka arvio rakenteen painumasta.

Painumamitoitus voidaan arvioida vesipitoisuuden perusteella tai tangenttimoduulimenetelmää käyttäen. Tangenttimoduuli-menetelmässä huomioidaan maaperän moduuliarvot, kuormituksen suuruus ja kesto sekä mahdolliset maaperän parannustoimenpiteet. Tuloksena saadaan kuvaus siitä, miten suunniteltu rakenne vaikuttaa maaperään ja mikä on odotettavissa oleva

painuma eri ajanjaksoina. Laskennassa on huomioitava painuman pysyvän sallituissa rajoissa. Tangenttimoduuli-menetelmää käyttäen kadun laskennallinen painuma on 2 mm, mikä viittaa siihen, ettei suunniteltu kevennysrakenne ole välttämätön painuman hallinnan näkökulmasta.

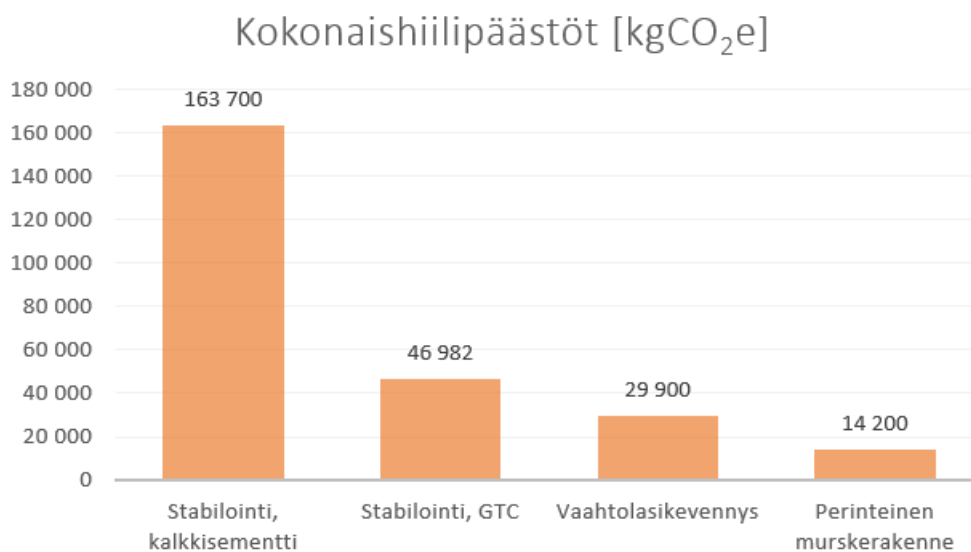
#### 5.4 Päästölaskenta

Tässä osiossa käsitellään katualueen vaihtoehtoisten pohjarakenteiden hiilipäästöjen laskentaprosessia keskittyen Piilukirveen osuuteen. Tämän rajauksen tavoitteena on varmistaa, että eri pohjarakenteiden ratkaisuvaihtoehtojen hiilipäästöt ovat vertailukelpoisia keskenään. Hiilipäästölaskenta on tehty Foren kustannuslaskentaohjelmistolla, jossa on käytössä hiilipäästöjen laskentaa varten suunniteltu lisäosa. Hiilipäästölaskenta kustannuksineen on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 4.

Aiemmat mitoituslaskelmat ovat osoittaneet, että alueen pohjamaa ei välttämättä vaadi pohjanvahvistusta kadun osalta sen odotettua paremman kantavuuden ansiosta. Tämän seurauksena päästölaskenta on tehty myös perinteiselle katurakenteelle, jotta voidaan arvioida sen hiilipäästövaikutuksia yhtenä ratkaisuvaihtoehtona.

Laskennassa on käytetty 1 m päällysrakennepaksuutta niin stabiloidun rakenteen kuin kevennysrakenteen osalta. Perinteisen katurakenteen rakenne poikkeaa muista vaihtoehdoista sen suuremman kerrospaksuuden vuoksi, joka mitoituksen perusteella on 1,19 m. Tämä kerrospaksuus on määritelty ottaen huomioon tarvittava kantavuus ja routamitoitus, mikä voi vaikuttaa rakenteen kokonaispäästöihin.

Tässä vertailussa huomioidaan perinteisen murskerakenteen lisäksi stabiloitu sekä kevennetty rakenne. Näiden menetelmien valinta perustuu niiden samankaltaiseen painumakäyttäytymiseen, mikä tekee niistä vertailukelpoisia keskenään. Hiilipäästöjen huolellinen arviointi on välttämätöntä kestävien ja ympäristöystävällisten pohjarakenteiden valinnassa. Hiilipäästölaskennan kokonaispäästöt on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Vaihtoehtotarkastelujen kokonaishiilipäästöt.

Perinteisen murskerakenteen hiilipäästöt ovat muihin vaihtoehtoihin verrattuna pienimmät, vain 14 200 kgCO<sub>2</sub>e, ja tämän vaihtoehdon kustannukset ovat 73 300 euroa. Tämän vaihtoehdon vähäiset päästöt ja taloudellisuus tekevät siitä erinomaisen valinnan päästöjen minimoinnin ja kustannustehokkuuden näkökulmasta.

Pohjanvahvistusmenetelmien tarkastelussa huomataan, että hiilipäästöt ja kustannukset kasvavat huomattavasti. Kalkkisementtistabiloinnin aiheuttamat hiilipäästöt ovat 163 700 kgCO<sub>2</sub>e ja kustannukset nousevat 148 300 euroon, mikä tekee siitä hiilipäästöjen näkökulmasta vähiten suotuisan vaihtoehdon.

Nordkalk Terra GTC:n käyttöä stabiloinnin sideaineena arvioitaessa pääasiallisena tietolähteenä toimivat Nordkalkin tarjoamat aineistot sekä alan kirjallisuus. Vaikka GTC:n arvo on saatavilla infrarakentamisen päästötietokannasta, päästöarvo pohjautuu vuoden 2019 dataan ja on näin ollen sideaineen kehitystyön myötä vanhentunut. Uusimpien tutkimusten, kuten Kuusipuron (2022) esityksen ja Autiolan ym. (2023) raportin mukaan, GTC:n päivitetty hiilipäästöarvo on määritelty olevan 0,186 kgCO<sub>2</sub>e/kg. Kun tätä arvoa tarkastellaan halkaisijaltaan 600 mm:n stabilointipilareissa, joissa sideainetta käytetään 120 kg/m<sup>3</sup>, laskennalliseksi yksikköpäästökseksi saadaan 6,32 kgCO<sub>2</sub>e.

Päästölaskennassa on hyödynnetty kalkkisementillä tehtävän stabiloinnin laskentapohjaa, johon on päivitetty yksikköpäästö vastaamaan Nordkalk Terra GTC:n arvoa. Tämän seurauksena GTC:n käytöllä toteutettujen stabilointipilarien hiilipäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin kalkkisementin käytössä, jolloin kokonaispäästöt ovat 46 982 kgCO<sub>2</sub>e. Kustannukset eivät ole täysin tarkkoja, koska laskentaan käytetty kustannustieto ei ole päivitetty vastaamaan GTC:n nykyistä hintaa.

Vahtolasikevennyksen hiilipäästöt ovat 29 900 kgCO<sub>2</sub>e ja sen kustannukset ovat 83 700 euroa asettuen näin keskitasolle hiilipäästöjen ja kustannusten suhteen. Kevennyksen käyttö voi olla perusteltua erityisolosuhteissa, vaikka hiilipäästöt ovat suuremmat kuin perinteisessä murskerakenteessa.

Vertailun perusteella perinteinen murskerakenne erottuu selvästi parhaana vaihtoehtona hiilipäästöjen minimoinnin näkökulmasta, koska pohjanvahvistus ei ole tarpeellinen pohjamaan hyvän kantavuuden vuoksi. Mikäli alueella olisi pohjanvahvistustarve, ei perinteinen murskerakenne olisi toteutettavissa. Sen alhaiset hiilipäästöt yhdistettynä kohtuullisiin kustannuksiin tekevät siitä suositeltavan vaihtoehdon. Rakennushankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa on olennaista löytää tasapaino teknisten, taloudellisten ja ympäristöllisten näkökohtien välillä, jotta voidaan edistää kestävästä kehityksestä ja pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä.



## 6 Yhteenveto

Pilaristabiloinnissa sideaineiden tuotanto on tunnistettu pääasialliseksi hiilipäästöjen lähteeksi, mikä korostaa sideainevalintojen keskeistä roolia menetelmän ympäristövaikutuksissa. Erityisesti kalkkisementin käyttö lisää hiilipäästöjä, kun taas uusiomateriaaleista valmistetut sideaineseokset tarjoavat mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseen. Tämä asettaa sideaineiden valinnan ja niiden ympäristövaikutusten huolellisen arvioinnin keskiöön infrastruktuurihankkeiden hiilipäästöjen tehokkaassa hallinnassa.

Kevennysrakenteiden, erityisesti vaahtolasimurskeen, käyttö pohjanvahvistusmenetelmänä tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia vähentää hankkeiden hiilipäästöjä. Vaahtolasimurskeen keveys ja alhaiset päästöt tekevät siitä erinomaisen vaihtoehdon perinteisemmille stabilointimenetelmille. Työn laskelmat todistavat, että kevennysrakenteiden suosiminen pilaristabiloinnin sijaan voi merkittävästi pienentää hiilipäästöjä. Tämä edistää kestävämmän infrastruktuurin kehittämistä, tarjoten ympäristöystävällisempiä ratkaisuja pohjanvahvistuksille.

Päästölaskenta on olennainen osa infrahankkeiden suunnittelua ja toteutusta, sillä se mahdollistaa hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen tarkan mittaamisen ja arvioinnin läpi hankkeen eri vaiheiden. Se tarjoaa työkalun hankkeiden ympäristövaikutusten kartoittamiseen ja hallintaan, mikä on avainasemassa kestävä ja ympäristöystävällisen rakentamisen edistämiseksi. Eurooppalaisiin standardeihin pohjautuva päästölaskenta luo vahvan perustan ekologisen kestävyuden huomioon ottavalle suunnittelulle, vaikka nämä menetelmät vaativatkin jatkuvaa kehitystä kattamaan laajemmin eri elinkaaren vaiheet ja indikaattoriluokat.

Puu-Talman alueelle tehdyt tarkastelut osoittavat, kuinka teoreettisia periaatteita voidaan soveltaa käytännön suunnitteluratkaisuihin. Vaihtoehtotarkasteluihin sisällytettiin pilaristabilointi ja kevennysrakenteet, koska ne kuuluvat yleisimpiin pohjanvahvistusmenetelmiin. Stabiloinnissa haluttiin käyttää sideaineena perinteistä kalkkisementtiä sekä Nordkalkin

uusiosideainetta Terra GTC:tä. Kevennysmateriaaliksi valikoitui perinteinen vaahtolasimurske, jonka ympäristövaikutuksia on tutkittu verrattain paljon.

Ensimmäisessä pohjanvahvistusvaihtoehdossa kohteeseen suunniteltiin halkaisijaltaan 600 mm:n stabilointipilarit, joiden keskiövälit ovat 1 000 mm. Stabilointipilarit ulotetaan tiiviiseen maakerrokseen saakka. Toisessa pohjanvahvistusvaihtoehdossa kevennysrakenteen kerrospaksuuden suunniteltiin olevan 1 000 mm, josta itse vaahtolasikerroksen paksuus on 300 mm. Tarkastelualueen savikerrospaksuus laskennassa oli 6 m. Molemmista ratkaisuista tehtiin hiilipäästö- ja kustannuslaskelmat.

Tutkimuksen tulokset korostavat kohdennettujen pohjatutkimusten merkitystä pohjarakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Täydennetyt pohjatutkimustulokset osoittavat, että koska alueella ei ole paksuja pehmeikköalueita, perinteisellä murskerakenteella voidaan saavuttaa riittävä kantavuus ja stabiilitetti sekä sallituissa rajoissa pysyvät painumat ilman kalliiden ja hiilipäästöjä lisäävien pohjanvahvistusten tarvetta. Näin oikea-aikaiset ja tarkat maaperätutkimukset voivat tuoda merkittäviä säästöjä niin kustannuksiin kuin hiilipäästöihin. Paksummilla pehmeikköalueilla pohjanvahvistus on yleensä välttämätön, jolloin perinteinen kiviainestäyttö ei ole toteutettavissa.

Tämän lisäksi tutkimus tuo esiin, että vaikka kevennysrakenteiden käyttö voi alentaa hiilipäästöjä verrattuna pilaristabilointiin, on olennaista huomioida koko rakennushankkeen taloudellinen kannattavuus. Vaikka hiilipäästöjen minimointi on ensiarvoisen tärkeää, valitut menetelmät voivat johtaa projektin kokonaiskustannusten merkittävään nousuun, mikäli ne ovat yksikkökustannuksiltaan korkeat. Siksi kustannus-hyötyanalyysi muodostuu olennaiseksi osaksi rakennushankkeen suunnittelua, jossa yhdistyvät niin hiilipäästöt kuin taloudelliset tekijät päätöksenteossa.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellun Puu-Talman alueen pohjarakenteet osoittautuivat kannattavammaksi toteuttaa perinteisellä murskerakenteella. Tämä suositus perustuu tutkimuksen tuloksiin, jotka osoittivat

pohjaolosuhteiden olleen kohtalaisen hyvät ja murskerakenteen olevan sekä ympäristöllisesti että taloudellisesti järkevin vaihtoehto. On kuitenkin tarpeellista tarkastella erikseen painumaherkkiä erityisalueita, kuten putkikaivantoja, painumien minimoinnin, kantavuuden ja stabiiliteetin varmistamiseksi. Rakennusprojektin hiilijalanjäljen pienentäminen on tärkeä tavoite, mutta yhtä lailla on otettava huomioon rakentamisen kokonaiskustannukset ja pohjarakenteilta vaadittavat ominaisuudet.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kattavat pohjatutkimukset ja huolellinen suunnittelu ovat keskeisiä tekijöitä hiilipäästöjen vähentämisessä ja taloudellisesti kannattavien rakennusprojektien toteuttamisessa. Tämän opinnäytetyön tulokset toimivat esimerkkinä tulevaisuuden infrahankkeiden suunnittelulle ja toteutukselle ympäristövastuullisuuden näkökulmasta.

## Lähteet

Autiola, M.; Forsman, J.; Valjakka, T.; Teittinen, T.; Järvinen, K. & Napari, M. 2023. Uusiosideaineet koheesiomaiden syvästabiloinnissa – Käyttökokemukset ja ympäristövaikutukset. UUMA4-ohjelma.

Eriksson, L. & Hägglund, J. 2008. Handbok. Skumglas i marks- och vägbyggnad. Luleå, Ruotsi: Luleå Tekniska Universitet.

Foamit 2019. Suunnitteluohje infrarakentamiseen.

Foamit 2020. Asennusohje infrarakentamiseen.

Forsman, J.; Dettenborn, T.; Suikkinen, S.; Harju, I.; Järkkä, H.; Kivimäki, J.; Teittinen, T.; Koivulahti, M. & Lahtinen, P. 2020. Uusiomateriaalit kaupunkien infrarakentamisessa – Käsikirja. UUMA3-hanke.

Jääskeläinen, R. 2012. Pohjarakennuksen perusteet. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Kivi, E. 2021. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa – Käyttömäärät ja hiilijalanjälki. Diplomityö. Georakentamisen maisteriohjelma. Espoo: Aalto yliopisto. Viitattu 1.2.2024. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/0a309556-72a4-468b-b089-cd6da2ec962a>

Kontu, G. 2023. The Future of Soil Stabilization: Trends and Technological Advancements. Viitattu 19.12.2023. <https://fas3.org/the-future-of-soil-stabilization-trends-and/>

Kuusipuro, K. 2022. Stabilointimäärät ja sideaineet. SGY Pohjanvahvistuspäivä 25.8.2022. PP-esitys. <https://sgy.fi/content/uploads/2022/06/kuusipuro-stabilointimaarat-ja-sideaineet-kari-kuusipuro.pdf>

Liikennevirasto 2011. Liikenneviraston ohjeita 05/2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Helsinki: Liikennevirasto.

Liikennevirasto 2012. Liikenneviraston ohjeita 10/2012. Tien geotekninen suunnittelu. Helsinki: Liikennevirasto.

Liikennevirasto 2018. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Helsinki: Liikennevirasto.

Makusa, G. P. 2012. Soil Stabilization Methods and Materials – In Engineering Practice. Ruotsi: Luleå University of Technology. Viitattu 22.12.2023.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:997144/FULLTEXT01.pdf>

Perttu, O. 2023. Pohjanvahvistuksen optimointi osana vähähiilistä esirakentamista. Diplomityö. Geotekniikka. Espoo: Aalto yliopisto. Viitattu 14.12.2023. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/6def4d63-0972-4600-88a9-f3b1cb988b0c>

Rakennusteollisuus RT 2023. Tiivistelmä: Vähähiilinen rakennusteollisuus. Helsinki: Rakennusteollisuus RT. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/vahahiilinen-rakennusteollisuus-tiivistelma-20200820.pdf>

Rakennustieto Oy 2023. InfraRYL – Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Vaatii lisenssin. Viitattu 19.12.2023.

SFS-EN 1990-1+A1+AC. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1997-1+A1+AC. 2014. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 14679. Pohjarakennustyöt. Syvästabilointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 15978. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sipoo 2023. TM 1 Puu-Talma. Viitattu 13.3.2024. <https://www.sipoo.fi/kaavoitus-ja-kehittaminen/voimaan-tulleet-asetukset/tm-1-puu-talma/>

Sipoo 2024. Nähtävillä olevat katu- ja puistosuunnitelmat. Viitattu 13.3.2024. <https://www.sipoo.fi/kadut-ja-liikenne/nahtavilla-olevat-katusuunnitelmat/>

Smura, M. 2024. Mitoitusohjelmien käyttökoulutus. [Koulutustilaisuus 2.1.2024 verkossa]

Tieteen termipankki 2023. Elinkaariarviointi. Helsinki: Sanastokeskus. Viitattu 12.3.2024.

Valjakka, T. 2022. Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä. Diplomityö. Georakentamisen maisteriohjelma. Espoo: Aalto yliopisto. Viitattu 18.12.2023. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/39c7f92b-373a-49f5-a3e4-a32c6c26196b>

Väylävirasto 2020. Väyläviraston julkaisuja 64/2020. Tie- ja raitinfraktuurin elinkaariarvioinnin opas. Helsinki: Väylävirasto.

Väylävirasto 2022. Väyläviraston ohjeita 20/2022. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Helsinki: Väylävirasto.

Väylävirasto 2023a. Väyläviraston ohjeita 14/2023. Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Helsinki: Väylävirasto.

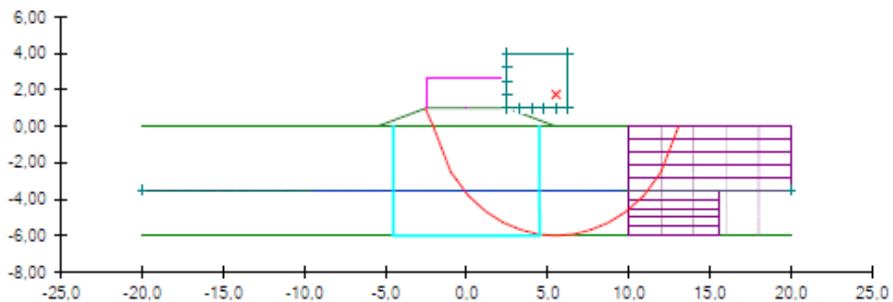
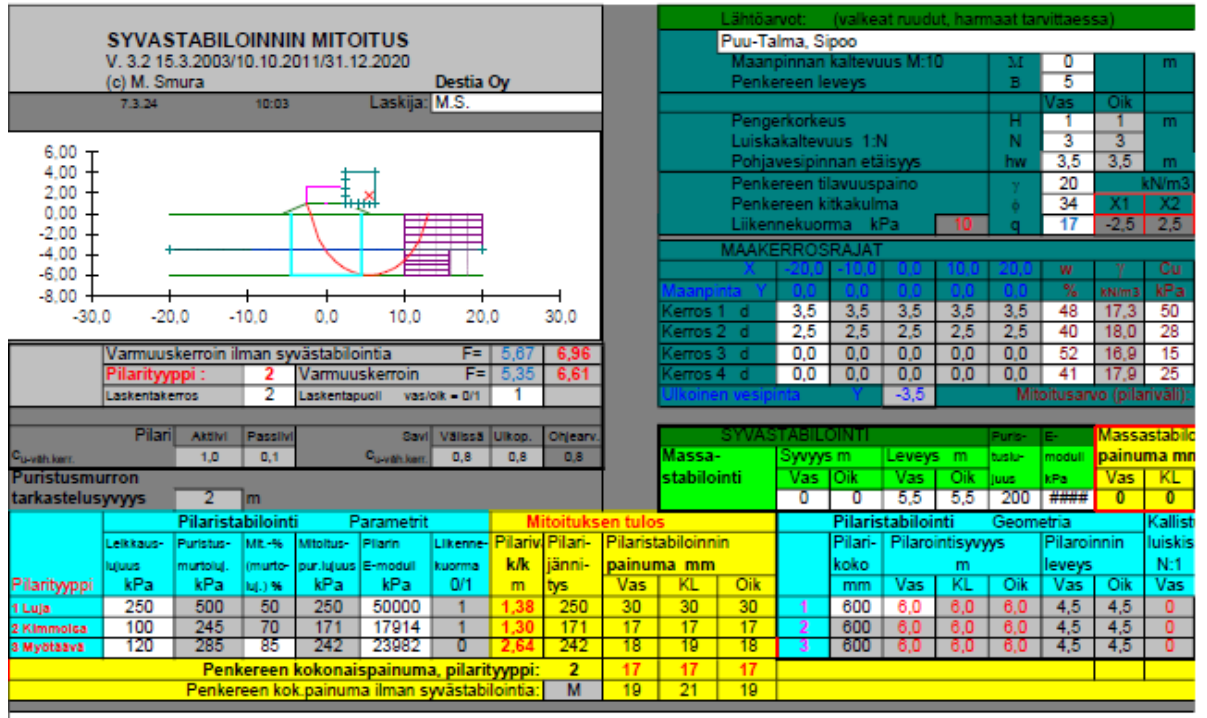
Väylävirasto 2023b. Väyläviraston ohjeita 43/2023. Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Helsinki: Väylävirasto.

Ympäristöministeriö 2022. Ilmastovuosikertomus 2022. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 28.3.2024. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164392>

Ympäristöministeriö 2023a. Kiertotalouden strateginen ohjelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 29.3.2024. <https://ym.fi/kiertotalousohjelma>

Ympäristöministeriö 2023b. Tietoa lakiuudistuksesta. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 28.3.2024. <https://mrluudistus.fi/tietoa-lakiuudistuksesta/>

# Stabiloinnin mitoitus



VAKAVUUSLASKENTA (STABIILITEETTI)										(Hila, vastapengerin ja kevennyksen mitat)					
Laskentakeros ja laskentapuoli annetaan aloitusnäytöllä										<b>VASTAPENGER</b>					
Hila 5x6										Vastapengerin korkeus		h	0	0	m
VAARALLISIN LIUKUPINTA										leveys		b	10	10	m
VARMUUSKERROIN 17 kPa F= 5,35										luiskakaltevuus		n	0	0	
Liikennekuorma 10 kPa F= 6,61 (määräava)										yläpinnan kaltevuus		m	0	0	
										tilavuuspaino		γ	18		kN/m <sup>3</sup>
<b>PAINUMALASKENTA PILARITYYPPI 2</b>										<b>KEVENNYKSEN</b>					
Painuma mm										Kevennyksen paksuus		h	0	0	0
Keros 1										Kevennyksen leveys		b	0	0	0
Keros 2										Päällisrakenteen paksuus		k	0	0	0
Keros 3										Kevennyksen luiskakaltevuus		n	0	0	0
Keros 4										Kevennyksmateriaalin tilav.paino		γ	0	-10	kN/m <sup>3</sup>
Yhteensä										Kevennyksmateriaalin kitkakuorma		φ	0		ast

# Kevennysrakenteen mitoitus

**Routauslaskeminen Tiehallinnon turpoamakerroinmenetelmällä**  
**Kuormituskäytävymitoitus Odemarkin kaavalla**

**DESTIA**  
A COLAS COMPANY

Projekti: 710910058  
 Kohde: Puu-Talma  
 Huom.: Piilukirves

Laskija M.S.  
 Tilaaja:  
 Pvm: 20.2.2024

Mitoitusroutaus S [m]: 1,5 [m]

Vaativuusluokka: 5,0  
 Kuormitusluokka: 0,3  
 Alusrakenneluokka: F  
 Rakenne (tyyppi): S; - 1500  
 Rakenne (pituus): F-1000-M  
 Paaluväli: -0-

Kerros	Materiaali	R <sub>i</sub> [m]	a <sub>i</sub>	t [%]	n	E [MN/m <sup>2</sup> ]	E	Materiaali	R <sub>i</sub> [m]	a <sub>i</sub>	t [%]	n	E [MN/m <sup>2</sup> ]	E	Materiaali	R <sub>i</sub> [m]	a <sub>i</sub>	t [%]	n	E [MN/m <sup>2</sup> ]	E					
Päällyste	AB	0,09	0,90	0	0	2500	248	Kivituhka	0,07	0,90	0	0	100	193												
Kantava	KaM 0/32	0,20	0,90	0	6	200	147	KaM 0/32	0,20	0,90	0	6	200	149								#####				
Jakava	Murske	0,41	0,90	0	6	200	113	Murske	0,43	0,90	0	6	200	117								#####				
Kevennys	VaM	0,30	4,00	0	6	50	33	VaM	0,30	4,00	0	6	50	33								#####				
							20							20								#####				
							20							20								#####				
							20							20								#####				
							20							20								#####				
							20							20								#####				
							20							20								#####				
Pohjamaan routapaisumiskerroin/kantavuus							16	20	Pohjamaan routapaisumiskerroin/kantavuus							16	20	Pohjamaan routapaisumiskerroin/kantavuus								
							[%]	[MN/m <sup>2</sup> ]								[%]	[MN/m <sup>2</sup> ]								[%]	[MN/m <sup>2</sup> ]

RN <sub>lask</sub>	0 [mm]	RN <sub>sall</sub>	70 [mm]	0 [mm]	RN <sub>sall</sub>	70 [mm]	0 [mm]	RN <sub>sall</sub>	70 [mm]
Rakennekerrosten paksuus	1,00 [m]			1,00 [m]			0,00 [m]		
Kantavuus päällysteen päältä	248 [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	200 [MN/m <sup>2</sup> ]	193 [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	130 [MN/m <sup>2</sup> ]	##### [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	##### [MN/m <sup>2</sup> ]
Kantavuus kantavan päältä	147 [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	120 [MN/m <sup>2</sup> ]	149 [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	130 [MN/m <sup>2</sup> ]	##### [MN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>vaad</sub>	##### [MN/m <sup>2</sup> ]

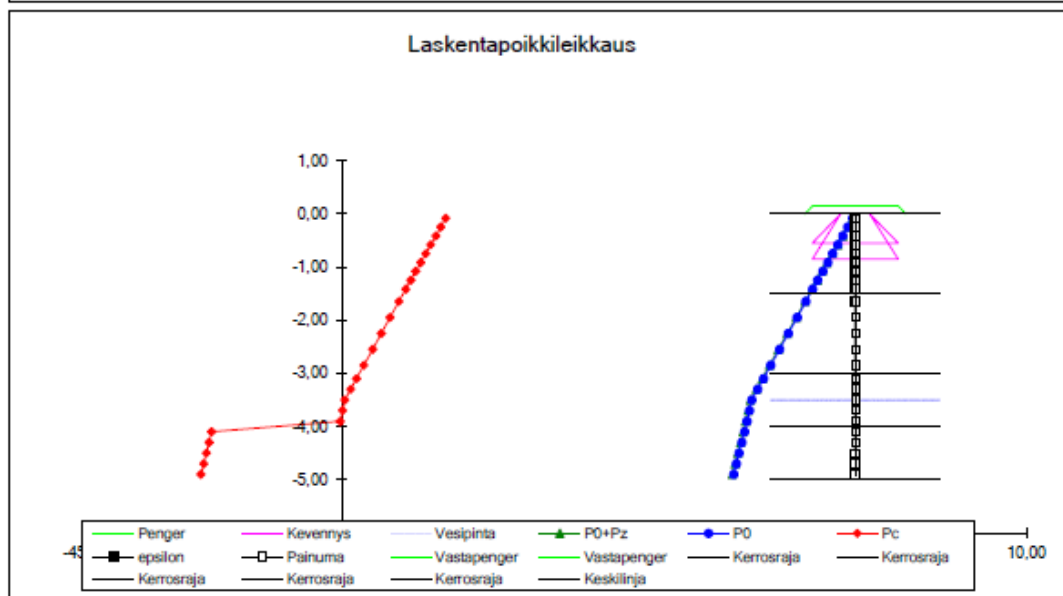
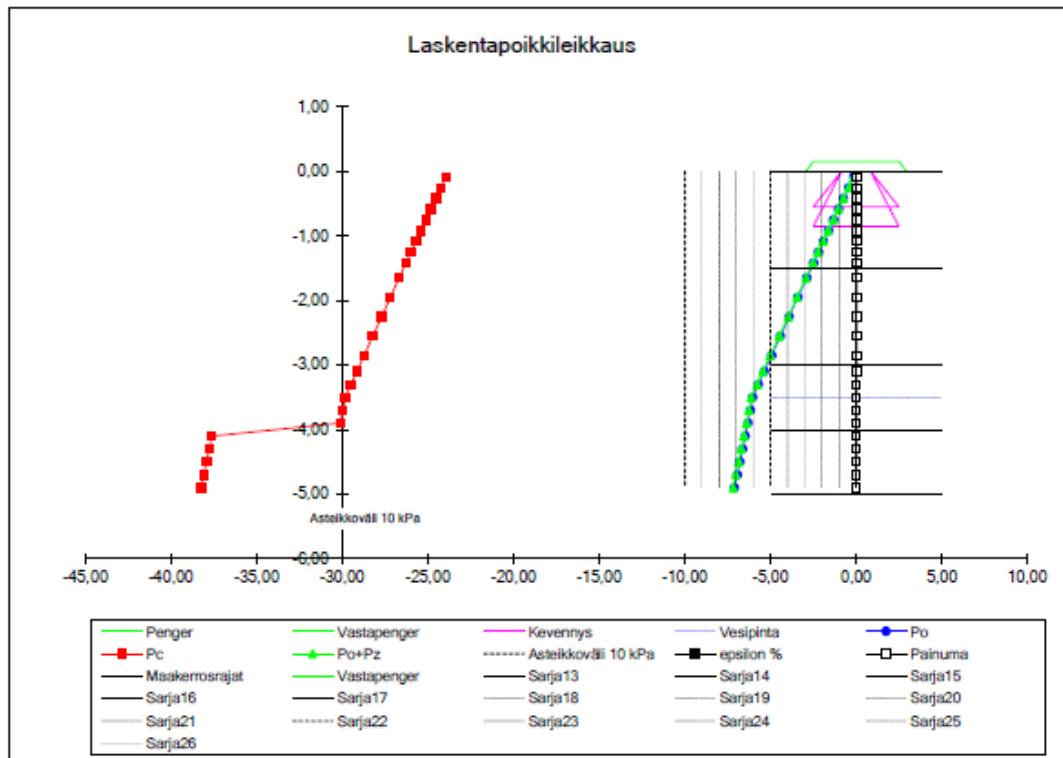
Rakennetyyppi: M M

(M, Lo, MHST, SST, BST, MaHk)



# Kevennysrakenteen painumalaskenta

v. 3.3 10.10.1994/10.10.2011 /30.3.2023										Geomitoitus Smura																																																																																																																												
© Mikko Smura					Destia Oy					TIEPENKEREEN PAINUMA																																																																																																																												
7.3.2024					9:55					Laskija: M.S.					Otsikkotiedot:																																																																																																																							
<b>Laskentapoikkileikkaus</b>																																																																																																																																						
<b>Puu-Talma</b> Lähtöarvot (valkeat ruudut) Maanpinnan kaltevuus M:10 M 0 Penkereen yläpinnan leveys B 5 m Penkereen tilavuuspaino $\gamma$ 20 kN/m <sup>3</sup> Tasainen pintakuorma 0 kPa Pengerkorkeus H 0,15 0,15 m Luiskakaltevuus 1:N N 3 3 Pohjavesipinnan etäisyys hw 3,5 3,5 m																																																																																																																																						
<b>POHJANVAHVISTUS</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>korkeus:</th> <th>vas.</th> <th>oik.</th> <th>leveys:</th> <th>vas.</th> <th>oik.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VASTAPENGER</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>KEVENNYS</td> <td>0,30</td> <td>0,30</td> <td>0,30</td> <td>pääll.rak:</td> <td>0,7</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>kevennyksen luiskakaltev:</td> <td></td> <td>3</td> <td>3</td> <td><math>\gamma</math></td> <td>4</td> <td>-6</td> </tr> </tbody> </table>																korkeus:	vas.	oik.	leveys:	vas.	oik.	VASTAPENGER	0	0	0	0	0	0	KEVENNYS	0,30	0,30	0,30	pääll.rak:	0,7	0,7	kevennyksen luiskakaltev:		3	3	$\gamma$	4	-6																																																																																												
	korkeus:	vas.	oik.	leveys:	vas.	oik.																																																																																																																																
VASTAPENGER	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																
KEVENNYS	0,30	0,30	0,30	pääll.rak:	0,7	0,7																																																																																																																																
kevennyksen luiskakaltev:		3	3	$\gamma$	4	-6																																																																																																																																
<b>MAAKERROKSET</b> w%-menetelmä 0/1 1					<b>TANGENTTIMODULI-MENETELMÄ (m - <math>\beta</math>)</b> 0/1 1																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>d(vas)</th> <th>d(oik)</th> <th>w%</th> <th><math>\gamma</math></th> <th><math>\gamma-10</math></th> <th>Kc</th> <th colspan="3">Painuma mm</th> <th><math>\sigma_0</math></th> <th><math>\Delta\sigma</math></th> <th><math>\sigma_c</math> [kPa]</th> <th>m1</th> <th><math>\beta_1</math></th> <th>m2</th> <th><math>\beta_2</math></th> <th colspan="3">Painuma mm</th> </tr> <tr> <th></th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[%]</th> <th>[kN/m<sup>3</sup>]</th> <th></th> <th></th> <th>vas</th> <th>KL</th> <th>oik</th> <th>alar.</th> <th>[kPa]</th> <th>ylär.</th> <th>alar.</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>vas</th> <th>KL</th> <th>oik</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kerros 1</td> <td>1,5</td> <td>1,5</td> <td>45</td> <td>17,5</td> <td>7,5</td> <td>0,85</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>26,3</td> <td>237,9</td> <td>237,9</td> <td>264,2</td> <td>5,0</td> <td>-0,3</td> <td>38,9</td> <td>0,8</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Kerros 2</td> <td>1,5</td> <td>1,5</td> <td>50</td> <td>17,1</td> <td>7,1</td> <td>0,85</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>52,0</td> <td>237,9</td> <td>264,2</td> <td>289,9</td> <td>5,0</td> <td>-0,3</td> <td>38,9</td> <td>0,8</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Kerros 3</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>52</td> <td>16,9</td> <td>6,9</td> <td>0,85</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>83,9</td> <td>237,9</td> <td>289,9</td> <td>301,8</td> <td>5,0</td> <td>-0,3</td> <td>38,9</td> <td>0,8</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Kerros 4</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>41</td> <td>17,9</td> <td>7,9</td> <td>0,85</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>71,8</td> <td>311,4</td> <td>375,3</td> <td>383,2</td> <td>18,5</td> <td>0,0</td> <td>31,1</td> <td>0,6</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						d(vas)	d(oik)	w%	$\gamma$	$\gamma-10$	Kc	Painuma mm			$\sigma_0$	$\Delta\sigma$	$\sigma_c$ [kPa]	m1	$\beta_1$	m2	$\beta_2$	Painuma mm				[m]	[m]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]			vas	KL	oik	alar.	[kPa]	ylär.	alar.					vas	KL	oik	Kerros 1	1,5	1,5	45	17,5	7,5	0,85	4	1	4	26,3	237,9	237,9	264,2	5,0	-0,3	38,9	0,8	1	0	1	Kerros 2	1,5	1,5	50	17,1	7,1	0,85	3	1	3	52,0	237,9	264,2	289,9	5,0	-0,3	38,9	0,8	1	0	1	Kerros 3	1,0	1,0	52	16,9	6,9	0,85	1	1	1	83,9	237,9	289,9	301,8	5,0	-0,3	38,9	0,8	0	0	0	Kerros 4	1,0	1,0	41	17,9	7,9	0,85	0	1	0	71,8	311,4	375,3	383,2	18,5	0,0	31,1	0,6	0	0	0	<b>KARKEA PAINUMA-ARVIO (W%-menetelmä)</b> mm 8 3 8 <b>KOKONAISPAINUMA (m - <math>\beta</math>)</b> mm 2 1 2				
	d(vas)	d(oik)	w%	$\gamma$	$\gamma-10$	Kc	Painuma mm			$\sigma_0$	$\Delta\sigma$	$\sigma_c$ [kPa]	m1	$\beta_1$	m2	$\beta_2$	Painuma mm																																																																																																																					
	[m]	[m]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]			vas	KL	oik	alar.	[kPa]	ylär.	alar.					vas	KL	oik																																																																																																																		
Kerros 1	1,5	1,5	45	17,5	7,5	0,85	4	1	4	26,3	237,9	237,9	264,2	5,0	-0,3	38,9	0,8	1	0	1																																																																																																																		
Kerros 2	1,5	1,5	50	17,1	7,1	0,85	3	1	3	52,0	237,9	264,2	289,9	5,0	-0,3	38,9	0,8	1	0	1																																																																																																																		
Kerros 3	1,0	1,0	52	16,9	6,9	0,85	1	1	1	83,9	237,9	289,9	301,8	5,0	-0,3	38,9	0,8	0	0	0																																																																																																																		
Kerros 4	1,0	1,0	41	17,9	7,9	0,85	0	1	0	71,8	311,4	375,3	383,2	18,5	0,0	31,1	0,6	0	0	0																																																																																																																		
<b>LASKENNAN TULOS</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>vas</th> <th>KL</th> <th>oik</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pengerkuorma Kpa</td> <td>0,3</td> <td>0,3</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>Kokonaispainuma mm</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Sivukaltevuuden muutos %</td> <td>0,0</td> <td></td> <td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>																vas	KL	oik	Pengerkuorma Kpa	0,3	0,3	0,3	Kokonaispainuma mm	2	1	2	Sivukaltevuuden muutos %	0,0		0,0																																																																																																								
	vas	KL	oik																																																																																																																																			
Pengerkuorma Kpa	0,3	0,3	0,3																																																																																																																																			
Kokonaispainuma mm	2	1	2																																																																																																																																			
Sivukaltevuuden muutos %	0,0		0,0																																																																																																																																			
<input type="text" value="100"/> mm =tavoitepainuma																																																																																																																																						



# Hiilipäästölaskenta

## KUSTANNUSARVIO RYHMITTÄIN



Projekti: Puu-Taima, Sipoo  
 Laskelma: Stabiointi, kalkkisementti  
 Työnumero:  
 Hankkeen tyyppi: Investointi  
 Vastuuhenkilö: Milla Salo  
 Asiakas: Destia Oy  
 Projektipäällikkö:  
 Aluekerroin: 1,08  
 Kustannusindeksi: 129,50 (2020=100)  
 Päivämäärä: 8.3.2024

Laskelman kustannukset yhteensä: 119 600 €  
 Laskelman päästöt yhteensä: 163 700 kgCO<sub>2</sub>e

### Koko laskelma

#### Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. päästö (kgCO <sub>2</sub> e)	Päästölaskelma (kgCO <sub>2</sub> e)	Yks. hinta	Yhteensä
1413.1	Pilaristabiointi 600 mm, kohdeko 2-10 km	mtr	5 440	27,78	151 123	12,22 €	66 495 €
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	1 230	0,96	1 181	2,98 €	3 661 €
1812	Luiskatäyte	m3tr	105	2,82	296	10,69 €	1 122 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	1 015	0,34	345	1,86 €	1 892 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3tr	m3tr	700	6,40	4 480	24,36 €	17 049 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3tr	m3tr	180	7,09	1 276	27,31 €	4 915 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	4,49	1 527	12,61 €	4 287 €
2141.11	AB 22 / 120 (50 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	5,42	1 843	18,17 €	6 176 €
2145.2	Kivituhkapääallyste	m2tr	215	2,41	518	6,92 €	1 488 €
2225	Nurmiverhouksen teko	m2tr	250	4,54	1 135	50,03 €	12 506 €
1000-4000	Rakennusosat yhteensä				163 724		119 591 €

#### Muut kustannukset

Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>Muut kustannukset yhteensä</b>				
Koko hanke yhteensä	(Alv. 0%)			119 600 €
	(Alv. 24%)			28 700 €
Koko hanke yhteensä	(Alv. 24%)			148 300 €
Koko hankkeen päästöt yhteensä				163 700 kgCO <sub>2</sub> e

## KUSTANNUSARVIO RYHMITÄIN



Projekti: Puu-Talma, Sipoo  
 Laskelma: Stabiointi, GTC  
 Työnumero:  
 Hankkeen tyyppi: Investointi  
 Vastuuhenkilö: Milla Salo  
 Asiakas: Destia Oy  
 Projektipäällikkö:  
 Aluekerroin: 1,08  
 Kustannusindeksi: 129,50 (2020=100)  
 Päivämäärä: 8.3.2024

Laskelman kustannukset yhteensä: 119 600 €  
 Laskelman päästöt yhteensä: 46 982 kgCO<sub>2</sub>e

## Koko laskelma

## Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. päästö (kgCO <sub>2</sub> e)	Päästölaskelma (kgCO <sub>2</sub> e)	Yks. hinta	Yhteensä
1413.1	Pilaristabiointi 600 mm, kohdekoko 2-10 km	mtr	5 440	6,32	34 381	12,22 €	66 495 €
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	1 230	0,96	1 181	2,98 €	3 661 €
1812	Luiskätäyte	m3rtr	105	2,82	296	10,69 €	1 122 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	1 015	0,34	345	1,86 €	1 892 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3rtr	m3rtr	700	6,40	4 480	24,36 €	17 049 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3rtr	m3rtr	180	7,09	1 276	27,31 €	4 915 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	4,49	1 527	12,61 €	4 287 €
2141.11	AB 22 / 120 (50 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	5,42	1 843	18,17 €	6 176 €
2145.2	Kivituksapäälyste	m2tr	215	2,41	518	6,92 €	1 488 €
2225	Nurmiverhouksen teko	m2tr	250	4,54	1 135	50,03 €	12 506 €
1000-4000	<b>Rakennusosat yhteensä</b>				<b>46 982</b>		<b>119 591 €</b>

## Muut kustannukset

Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>Muut kustannukset yhteensä</b>				
Koko hanke yhteensä	(Alv. 0%)			119 600 €
	(Alv. 24%)			28 700 €
Koko hanke yhteensä	(Alv. 24%)			148 300 €
Koko hankkeen päästöt yhteensä				163 700 kgCO <sub>2</sub> e

## KUSTANNUSARVIO RYHMITTÄIN



Projekti: Puu-Talma, Sipoo  
 Laskelma: Vaahtolasikevennys  
 Työnumero:  
 Hankkeen tyyppi: Investointi  
 Vastuuhenkilö: Milla Salo  
 Asiakas: Destia Oy  
 Projektipäällikkö:  
 Aluekerroin: 1,08  
 Kustannusindeksi: 129,50 (2020=100)  
 Päivämäärä: 8.3.2024

Laskelman kustannukset yhteensä: 67 500 €  
 Laskelman päästöt yhteensä: 29 900 kgCO<sub>2</sub>e

## Koko laskelma

## Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. päästö (kgCO <sub>2</sub> e)	Päästölaskelma (kgCO <sub>2</sub> e)	Yks. hinta	Yhteensä
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	1 230	0,96	1 181	2,98 €	3 661 €
1811.45	Vaahtolasimurskepenger, määrä 200-2000 m3	m3rtr	305	63,09	19 242	71,54 €	21 820 €
1812	Luisakatäyte	m3rtr	105	2,82	296	10,69 €	1 122 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	1 015	0,34	345	1,86 €	1 892 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3rtr	m3rtr	395	6,40	2 528	24,36 €	9 620 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3rtr	m3rtr	180	7,09	1 276	27,31 €	4 915 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	4,49	1 527	12,61 €	4 287 €
2141.11	AB 22 / 120 (50 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	5,42	1 843	18,17 €	6 176 €
2145.2	Kivituuhkapäällyste	m2tr	215	2,41	518	6,92 €	1 488 €
2225	Nurmiverhouksen teko	m2tr	250	4,54	1 135	50,03 €	12 506 €
1000-4000	<b>Rakennusosat yhteensä</b>				<b>29 891</b>		<b>67 487 €</b>

## Muut kustannukset

Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>Muut kustannukset yhteensä</b>				
Koko hanke yhteensä	(Alv. 0%)			67 500 €
	(Alv. 24%)			16 200 €
Koko hanke yhteensä	(Alv. 24%)			83 700 €
Koko hankkeen päästöt yhteensä				29 900 kgCO <sub>2</sub> e

## KUSTANNUSARVIO RYHMITÄIN



Projekti: Puu-Talma, Sipoo  
 Laskelma: Perinteinen murskerakenne  
 Työnumero:  
 Hankkeen tyyppi: Investointi  
 Vastuuhenkilö: Milla Salo  
 Asiakas: Destia Oy  
 Projektipäällikkö:  
 Aluekerroin: 1,08  
 Kustannusindeksi: 129,50 (2020=100)  
 Päivämäärä: 8.3.2024

Laskelman kustannukset yhteensä: 59 100 €  
 Laskelman päästöt yhteensä: 14 200 kgCO<sub>2</sub>e

## Koko laskelma

## Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. päästö (kgCO <sub>2</sub> e)	Päästölaskelma (kgCO <sub>2</sub> e)	Yks. hinta	Yhteensä
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	1 495	0,96	1 435	2,98 €	4 450 €
1812	Luisikatäyte	m3tr	130	2,82	367	10,69 €	1 389 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	1 045	0,34	355	1,86 €	1 948 €
2121.2	Jakava kerros KaM 0-63, alle 1500 m3tr	m3tr	970	6,40	6 208	24,36 €	23 625 €
2131.2	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, alle 1500 m3tr	m3tr	120	7,09	851	27,31 €	3 277 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	4,49	1 527	12,61 €	4 287 €
2141.11	AB 22 / 120 (50 mm) (levitettävä ala on 200-1500 m2)	m2tr	340	5,42	1 843	18,17 €	6 176 €
2145.2	Kivituuhkapäällyste	m2tr	215	2,41	518	6,92 €	1 488 €
2225	Nurmiverhouksen teko	m2tr	250	4,54	1 135	50,03 €	12 506 €
1000-4000	Rakennusosat yhteensä				14 238		59 145 €

## Muut kustannukset

Nimi	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
Muut kustannukset yhteensä				
Koko hanke yhteensä	(Alv. 0%)			59 100 €
	(Alv. 24%)			14 200 €
Koko hanke yhteensä	(Alv. 24%)			73 300 €
Koko hankkeen päästöt yhteensä				14 200 kgCO <sub>2</sub> e