

Vastaanottaja

**UUMA 4 Työryhmän 3 jäsenet**

Asiakirjatyyppi

**OPAS**

Päivämäärä

**3.4.2023**

**UUMA 4 TYÖRYHMÄ 3: TEKNISET VAATIMUKSET JA NIIDEN TÄYTTÄMISEN OSOITTAMINEN**

## **UUSIOMATERIAALIEN KOERAKENTAMISOPAS**



# UUMA 4 TYÖRYHMÄ 3: TEKNISET VAATIMUKSET JA NIIDEN TÄYTTYMISEN OSOITTAMINEN UUSIOMATERIAALIEN KOERAKENTAMISOPAS

Projekti **UUMA 4, työryhmä 3**  
Projekti nro **1510061535**  
Vastaanottaja **UUMA 4 Ohjausryhmä**  
Asiakirjatyyppi **Opas**  
Versio **1.0**  
Päivämäärä **3.4.2023**  
Laatija **Pyry Potila, Anne Kasari**  
Tarkastaja **Marjo Koivulahti, Ilari Harju**  
Kuvaus **Opas koerakentamisen suunnittelusta ja toteutuksesta**

Ramboll  
Vohlisaarentie 2 B  
36760 LUOPIOINEN

P +358 20 755 611  
F +358 20 755 6201  
<https://fi.ramboll.com>

## Esipuhe

Rakennusmateriaalien tekniset ominaisuudet sekä niiden säilyvyys tulee olla tutkittu, jotta materiaali voidaan hyväksyä käytettäväksi hankkeella. Suomen isoimmista julkisista infrarakennuttajista erityisesti Väylävirasto edellyttää ohjeessaan *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa 20/2022*, että Väyläviraston ja ELY-keskusten väylähankkeissa käytettävät uusiomateriaalit ovat soveltuvia joko yleisen tai hankekohtaisen teknisen soveltuvuuden arvioinnin mukaan. Teknisen soveltuvuuden arvioinnissa edellytetään testaamiseen ja koerakentamiseen perustuvaa tutkimusta materiaalin pitkäaikaiskestävyyden sekä teknisiä ominaisuuksia koskevien parametrien ja niiden vaihteluvälien määrittämiseksi. Pienimuotoisilta T&K-kohteilta ei edellytetä hankekohtaista teknisen soveltuvuuden arviointia, mutta rakenteiden toimivuus tulee olla alustavasti selvitettyä. T&K-kohteen tavoitteena on kerätä tietoa suurmittakaavaisempaa koerakentamista ja/tai teknisen soveltuvuuden arviointia varten.

Uusiomateriaalien hyödyntämistä maarakentamisessa on tutkittu Suomessa ainakin 1970-luvulta saakka erityyppisissä koerakentamis- ja tutkimushankkeissa, joita on esitelty esimerkiksi Väyläviraston tutkimuksessa *Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa 7/2019*. Koerakentamiskohteet, rakenteet ja tutkimushankkeissa tehdyt tutkimukset on tyypillisesti suunniteltu kulloinkin tapauskohtaisesti, eikä tiedossa ole, että testaamisen ja koerakentamisen suunnittelusta olisi laadittu ohjeistusta materiaalitutkimusta tai teknisen soveltuvuuden arviointia suunnittelevia tahoja varten.

Tässä oppaassa esitellään kuvaus suunnittelu- ja rakentamisprosessista uusiomateriaalin teknisten ominaisuuksien ja arvojen sekä niiden vaihteluvälien määrittämiseksi testaamisen ja koerakentamisen avulla. Oppaan tavoitteena on täydentää olemassa olevia ohjeita, edistää uusiomateriaaleilla tehtävää testausta ja koerakentamista, yhdenmukaistaa soveltuvilta osin koerakentamiskohteissa tehtäviä mittauksia ja seurantatutkimuksia sekä yhtenäistää koerakentamiskohteissa tehtävien tutkimusten ja mittausten tarkastelu-, raportointi- ja dokumentointitapaa.

Oppaassa tarkastellaan testaamista ja koerakentamista Suomessa yleisimmin muodostuvilla uusiomateriaaleilla sitomattomissa päälly-, penger- ja täyttörakenteissa. Opas on sovellettavissa soveltuvien osin myös muiden materiaalien koerakentamiseen. Tässä oppaassa ei käsitellä uusiomateriaalin ympäristökelpoisuuden arviointia. Oppaassa ei tarkastella uusiomateriaalien käyttöä sidotuissa rakennusosissa tai kulutuskerroksissa. Oppaassa ei myöskään tarkastella seikkaperäisesti sitoutumisominaisuuksia omaavien uusiomateriaalien jälkilujittumisen osoittamista testaamisen ja koerakentamisen avulla tai lujittumisen vaikutusta materiaalin teknisten ominaisuuksien arvoihin ja niiden vaihteluväleihin.

Oppaan käsikirjoituksen ohjausryhmään ovat kuuluneet:

Laura Valokoski, Väylävirasto  
Timo Tirkkonen, Väylävirasto  
Sami Petäjä, Väylävirasto  
Kirsi Pätsi, Uudenmaan ELY-keskus  
Elina Ahlqvist, Welado Oy  
Aaron Vuola, Metsäteollisuus ry  
Riikka Silmu, UPM-Kymmene Oyj  
Pekka Rantala, UPM-Kymmene Oyj  
Marja-Terttu Sikiö, Destia Oy  
Pauli Kolisoja, Tampereen yliopisto  
Leena Korkiala-Tanttu, Aalto-yliopisto  
Anne Kasari, Tampereen ammattikorkeakoulu  
Jarno Arkko, Skanska Infra Oy  
Heidi Lettojärvi, Energiäteollisuus ry  
Ilari Harju, Ramboll Finland Oy  
Pyy Potila, Ramboll Finland Oy  
Marjo Koivulahti, Ramboll Finland Oy

Ohjeen käsikirjoituksen ovat valmistelleet:

Pyy Potila, Ramboll Finland Oy  
Anne Kasari, Ramboll Finland Oy

## SISÄLTÖ

<b>1.</b>	<b>Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Koerakentamista edeltävät toimenpiteet</b>	<b>5</b>
2.1	T&K-koerakentaminen ja teknisen soveltuvuuden arviointi	5
2.2	Koerakentamisprosessi	5
2.3	Lähtötietojen kokoaminen	7
2.4	Täydentävät materiaalitutkimukset	7
2.5	Käyttökohteen etsiminen	8
<b>3.</b>	<b>Pienimuotoinen koerakentaminen</b>	<b>8</b>
3.1	Koerakentamiskohde	8
3.2	Suunnittelu	10
3.3	Toteutus	11
<b>4.</b>	<b>Koerakenne väylän tai kadun osana</b>	<b>13</b>
4.1	Koerakentamiskohde	13
4.2	Koerakenteen tutkimus- ja seurantasuunnitelma sekä mitoitus	14
4.3	Toteutus	15
<b>5.</b>	<b>Seurantatutkimukset ja -mittaukset</b>	<b>16</b>
5.1	Rakentamisen laadunvarmistus	16
5.2	Kantavuus ja E-moduuli	17
5.3	Tiiveyden mittaaminen	18
5.4	Lämmönjohtavuus, roudan eristävyyskerroin ja turpoamiskerroin	18
5.4.1	Roudan syvyys	19
5.4.2	Routivuus	19
5.5	Muodonmuutokset	20
5.6	Hienoneminen	20
5.7	Päällystevaurioinventoinnit	21
<b>6.</b>	<b>Dokumentointi</b>	<b>22</b>
6.1	Referenssikohteita	23
<b>7.</b>	<b>Viitteet</b>	<b>24</b>

Liitteet:

Liite 1: Laboratorio- ja kenttätutkimusten standardeja ja menetelmäkuvauksia

Liite 2: Jätteenpolton pohjakuonan laboratoriokokeiden tutkimustuloksia (Söderholm 2020)

## 1. JOHDANTO

Uusiomateriaalien käytöllä on tarkoitus korvata neitseellisiä luonnonkiviaineita. Koerakentamisen tarkoituksena on todeta, että uusiomateriaalit soveltuvat luonnonkiviainesten korvaajiksi teknisten ominaisuuksien puolesta. Koerakentamisessa on suositeltavaa edetä vaiheittain, jolloin voidaan selvittää myös soveltuvat työtavat materiaalin levittämisen- ja tiivistystyössä. Ensimmäiset kokeilut uuden uusiomateriaalin soveltuvuudesta maarakentamiseen voi olla tarkoituksenmukaista tehdä pienimuotoisina, esimerkiksi materiaalitoimittajan oman kiinteistön alueella. Omalla alueella tehdyllä pienimuotoisella koerakenteella voidaan selvittää sopivat tiivistysmenetelmät ja tiiviiden tarkkailumenetelmät sekä takaisinlaskelmalla mitoitusparametrit uusiomateriaalille. Myöhemmässä vaiheessa koeobjekteita voivat olla esimerkiksi yleisille teille johtavat raaka-aineiden ottoaikojen yhdystiet, väliaikaiset kiertotiet tai muut vastaavat tiet, joilla liikennesuunnitelma on riittävä. Tietokohteisiin toteutetuissa koerakenteissa on usein mahdollista tarkastella pienimuotoisia koerakenteita kattavammin myös deformaatioita, routanousua ja purettavissa rakenteissa materiaalin vedensitomista ja hienonemista käytönaikana. Tässä raportissa suurmittakaavaisella koerakentamisella tarkoitetaan materiaalin käyttöä todellisissa rakenteissa täydessä mittakaavassa, vaikka rakenteet ovat vielä koerakenteita. Kun uusiomateriaalin soveltuvuudesta on saatu riittävästi hyviä kokemuksia ja dokumentoituja seuranta tuloksia, on koerakentaminen mahdollista myös maanteilla. Jos materiaalista ja sen toimivuudesta on olemassa valmiiksi riittävästi tietoa, voidaan koerakentamisessa edetä nopeammin tietokokeiluihin saakka. (Väylävirasto, 2022a)

Väyläviraston teknisen soveltuvuuden arvioinnin tavoitteena on selvittää uusiomateriaalin tekninen soveltuminen Väyläviraston ja ELY-keskusten väylähankkeisiin. Uusiomateriaaleilla toteutettava rakenne tulee olla riittävän kestävä ja tasalaatuinen ja sen pitkäaikaiskestävyys täytyy tuntea. Tekninen kelpoisuus osoitetaan standardoiduilla menetelmillä toteutetuilla materiaalitutkimuksilla, koerakentamisella sekä koerakenteiden pitkäaikaisseurannasta saaduilla tuloksilla. Tarvittavat laboratoriotutkimukset riippuvat materiaalin käyttökohteesta ja tutkittavasta uusiomateriaalista. (Väylävirasto, 2022a)

Rakennustuotelainsäädännön mukainen tuotevastuu säilyy toimittajalla myös Väyläviraston teknisen soveltuvuuden arvioinnin jälkeen. Jos rakennustuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai jos sille on eurooppalainen tekninen arviointi (ETA) tulee se CE-merkitä. Uusiomateriaalien ympäristökelpoisuuden varmistamisessa tukeudutaan ympäristölainsäädäntöön ja sen mukaisiin menettelytapoihin. (Väylävirasto, 2022a)

## 2. KOERAKENTAMISTA EDELTÄVÄT TOIMENPITEET

### 2.1 T&K-koerakentaminen ja teknisen soveltuvuuden arviointi

Koerakenteita tarvitaan uusiomateriaalien teknisten ominaisuuksien ja pitkäaikaiskestävyyden tutkimiseksi sekä työtekniikoiden kehittämiseksi. *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa* -ohjeen mukaan Väyläviraston tai ELY-keskusten pienimuotoisilta T&K-kohteilta ei edellytetä hankekohtaista teknisen soveltuvuuden arviointia, mutta rakenteiden toimivuus tulee olla alustavasti selvitettyä. T&K-kohteen tavoitteena on kerätä tietoa suurmittakaavaisempaa koerakentamista ja/tai teknisen soveltuvuuden arviointia varten. Rakenteiden alustavan toimivuuden selvittäminen suoritetaan esimerkiksi materiaalitoimittajan hallinnoimalla alueella.

Kaikkia haluttuja materiaaliominaisuuksia tai vertailua rakennusosien vaatimuksiin tai työtekniikoihin ei välttämättä pystytä tutkimaan samanaikaisesti. Siksi on varauduttava tekemään lukuisia koerakenteita eri parametrien, rakennusosavaatimusten tai työtekniikoiden selvittämiseksi. Koerakenne voi osoittautua myös sellaiseksi, ettei haluttua tietoa saada selville, jolloin rakennetta joudutaan muuttamaan ja koerakenteen tutkiminen uusimaan esimerkiksi lisäämällä kuormitusta.

Koerakentamista varten tarvitaan tutkimus- ja seurantasuunnitelma. Tutkimussuunnitelmassa esitetään, mitä ominaisuuksia koerakenteen avulla halutaan selvittää ja seurantasuunnitelmassa esitetään toteutettavat seurantatoimenpiteet ja aikataulu.

Mikäli koerakenteita halutaan rakentaa osana Väyläviraston ja ELY-keskusten hanketta, suositellaan näistä ottamaan yhteyttä em. tahoihin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja keskustelemaan koerakentamismahdollisuuksista. Teknisen soveltuvuuden arviointityöryhmään on syytä ottaa yhteyttä arviointitarpeesta.

Materiaalitoimittaja laatii materiaalin suunnittelu- ja käyttöohjeen viimeistään osaksi arviointia, mutta ne voidaan laatia jo hyvissä ajoin ennen arviointiprosessia. Näissä esitetyt vaatimukset tulee ottaa huomioon koko koerakentamisprosessin suunnittelussa, mikäli ohjeistusta on laadittu. Ohjeistusta tulee päivittää koerakentamisesta saadun lisätiedon perusteella. Ohjeistuksen laadinta voi olla osa koerakentamisen tavoitteita, esimerkiksi työtapojen selvittämisen muodossa. Kunnilla ja kaupungeilla voi olla olemassa Väylävirastosta poikkeavia ohjeistuksia, jotka on huomioitava koerakentamisen suunnittelussa.

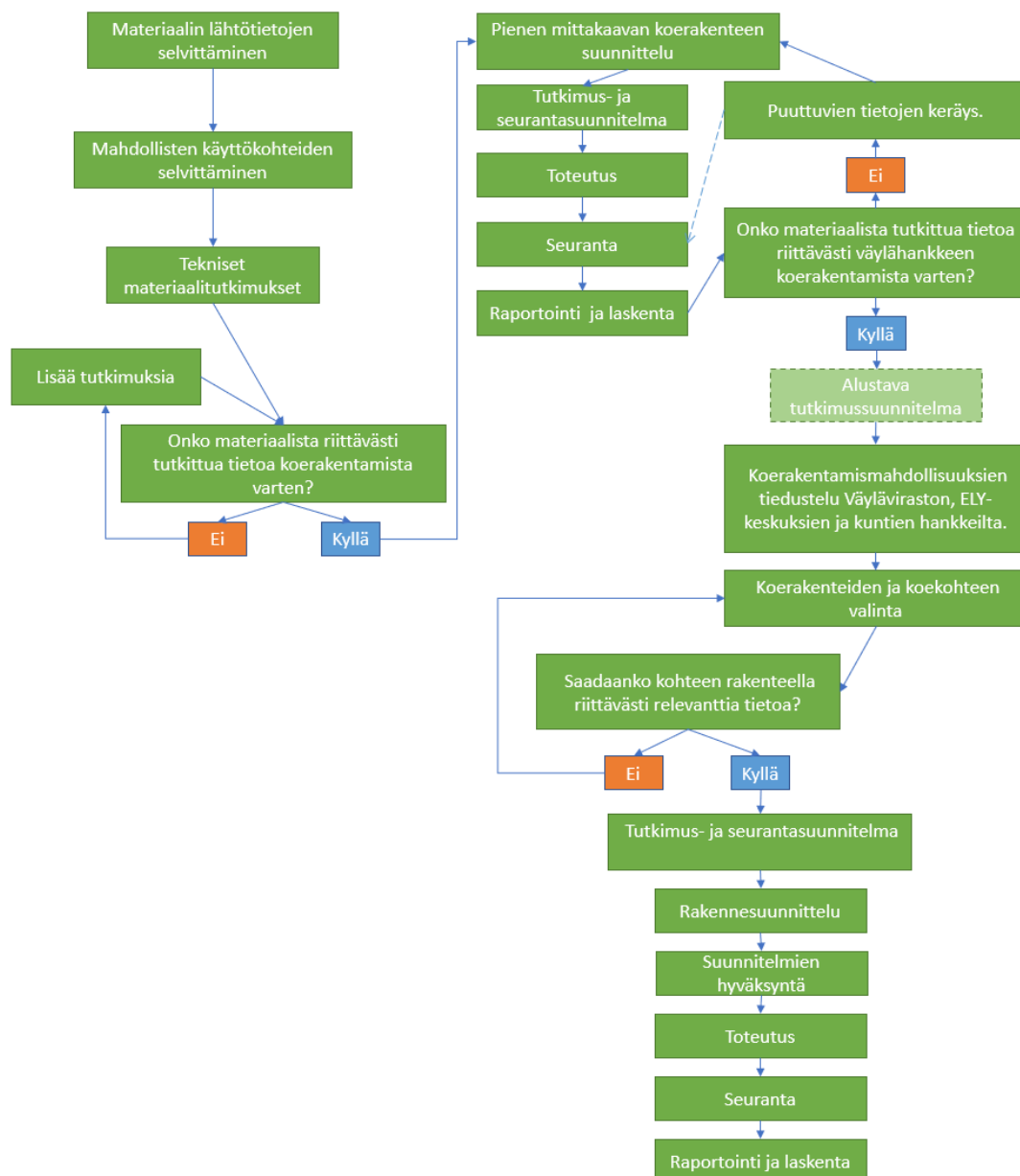
Pienimuotoista T&K-koerakentamista laajempi koerakentaminen Väyläviraston ja ELY-keskusten hankkeissa edellyttää joko Väyläviraston yleistä tai hankekohtaista teknisen soveltuvuuden arviointia. Lisätietoa arvioinnin edellytyksistä ja arvioinnin etenemisestä löytyy Väyläviraston oppaasta *Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi*. Teknisen soveltuvuuden arviointi on väylähankkeen tilaajan asettama vaatimus, jonka tavoitteena on varmistua rakenteiden toimivuudesta ja materiaalien turvallisesta käytöstä. (Väylävirasto 2022a)

Teknistä soveltuvuuden arviointia varten tarvittavista tiedoista on koottu listaus *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa*-ohjeen liitteeseen 1. Tarvittavat tiedot ja ominaisuudet riippuvat rakennusosasta, johon materiaalia aiotaan hyödyntää.

### 2.2 Koerakentamisprosessi

Kuvan 1 vuokaaviossa esitetään koerakentamisen eteneminen vaiheittain. Vaiheittaisuus alkaa keräämällä olemassa olevaa tietoa materiaalin ominaisuuksista ja asettamalla tavoitteet sekä

koerakentamiselle että koerakentamisen seurannalle. Kun materiaalin ominaisuudet ovat selvillä, suunnitellaan pienen mittakaavan koerakenteita materiaalin käyttäytymisen seurantaan ja soveltuvuuden varmistamiseen. Kun materiaalin käyttäytymisestä on saatu riittävästi tietoa ja se on osoittautunut soveltuvaksi aikaisemmin tunnistettuun käyttötarkoitukseen, on vuorossa mahdollinen koerakentaminen osana väylähanketta. Vuokaaviossa esitetään karkeasti koerakentamisen aikana suoritettavat toimenpiteet. Alustava tutkimussuunnitelman olisi hyvä olla laadittuna ennen koerakentamismahdollisuuksien tiedustelua Väyläviraston tai ELY-keskuksen hankkeilta, sillä se edesauttaa keskustelun avausta. Koerakentamismahdollisuuksia voi tiedustella myös kaupungeilta ja kunnilta. Kaikki materiaalit eivät sovellu väylähankkeisiin tai etene järjestelmällisesti kuvan 1 vuokaavion mukaan.



Kuva 1. Vuokaavio koerakentamisen vaiheittaisesta etenemisestä.



### 2.3 Lähtötietojen kokoaminen

Uusiomateriaalilla toteutettavan koerakentamisen suunnittelu aloitetaan kartoittamalla jo olemassa olevaa tietoa, eli mitä tutkimuksia ja selvityksiä materiaalille on tehty aiemmin ja onko Väylävirasto aiemmin tehnyt teknisen soveltuvuuden arvioinnin vastaavalle materiaalille. Näiden jälkeen selvitetään, mitä lähtötietoja materiaalin valmistajalta löytyy ja voidaanko materiaali luokitella teknisten ominaisuuksien tai vaatimusten perusteella, kuten esimerkiksi tuhkat tai betonimurskeet sekä kuuluuko materiaali ympäristökelpoisuudeltaan MARA-asetuksen (843/2017) piiriin. Asetuksessa on esitelty myös haitta-aineiden raja-arvot sekä haitta-aineiden määrittämenetelmät. Mikäli tutkittavalle uusiomateriaalille ei löydy valmista luokittelua tai lähtötietoja on hyvin vähän saatavilla, voidaan seuraavaksi selvittää, mitä aikaisemmin määriteltyä materiaalia tutkittava uusiomateriaali vastaa teknisiltä ominaisuuksiltaan parhaiten. Näiden selvittyä määritetään materiaalin hyödyntämiseen vaadittavat lisätutkimukset.

Eri rakenteiden rakennekerroksilta vaaditaan eri ominaisuuksia. Kun materiaalin tekniset ominaisuudet on saatu selville, määritellään alustavasti materiaalin potentiaalisimmat käyttömahdollisuudet.

### 2.4 Täydentävät materiaalitutkimukset

Mikäli materiaalille löytyy valmiiksi luokittelukriteerit, näissä esitetyt vaatimukset on otettava huomioon laboratoriotutkimusten suunnittelussa. Myös materiaalin käyttötarkoitus määrittelee tarvittavat tutkimukset. Tutkimukset voivat esimerkiksi määräytyä InfraRYL:n rakennusosavaatimuksien perusteella, tai Väyläviraston arviointityöryhmän kanssa käytävien keskusteluiden pohjalta. Yleisimmin tarvittavat tutkimukset materiaalin perustietojen määrittämiseksi ovat:

- rakeisuus
- kiintotiheys
- pH
- vedenimeytyminen
- kapilaarinen nousukorkeus
- jäädytys-sulatuskestävyys
- hienoneminen
- kiviaineksen lujuus mm. iskunkestävyys
- maksimikuivatilavuuspaino
- optimivesipitoisuus
- routivuusominaisuudet
- vedenläpäisevyys
- lämmönjohtavuus
- hehkutushäviö
- kolmiaksiaaliko
- muut lujuuden määrittämisessä tarvittavat kokeet
- (ympäristökelpoisuuteen liittyvät kokeet).

Laboratoriotutkimuksien standardit ja menetelmäkuvauksia on taulukoituna liitteessä 1.

Laboratoriotutkimukset useissa tapauksissa on hyödyllistä tehdä vaiheittain, jotta tutkimukset pysyvät johdonmukaisina. Mekaanisten ominaisuuksien kuten rakeisuuden, kiintotiheyden ja optimivesipitoisuuden selvittyä, saadaan materiaalin käyttötarkoitusta rajattua ja seuraavissa

laboratoriotutkimuksissa sekä koerakentamisessa keskitytään uusiomateriaalille sopivan käyttötarkoituksen mukaisten vaatimusten testaamiseen.

Liitteessä 2 on esitetty jätteenpolton pohjakuonalle tehdyt laboratoriotutkimukset.

## 2.5 Käyttökohteen etsiminen

Uusiomateriaaleja voidaan hyödyntää päällystetyissä ja päällystämättömissä päällysrakenteissa sekä liikennekuormitetuissa ja ei liikennekuormitetuissa penkereissä. Käyttökohteita voivat olla esimerkiksi tiet, jalankulku- ja pyörätiet, huoltotiet sekä muut liikennealueet ja soratiet. Lisäksi uusiomateriaaleja voidaan hyötykäyttää useassa rakenteen elinkaaren vaiheessa (uudet tiet, rakenteen parantaminen ja leventäminen). Uusiomateriaalien hyötykäyttömahdollisuudet eri rakennusosissa vaihtelevat käytettävän materiaalin sekä sen laadun mukaan. Käyttömahdollisuus tulee varmistaa aina Väyläviraston ohjeen *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa* mukaisesti. Lisäksi Väyläviraston selvityksessä *Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa* on esitetty uusiomateriaalien käytön osalta kokemusten lisäksi havaintoja, johtopäätelmiä ja suosituksia.

# 3. PIENIMUOTOINEN KOERAKENTAMINEN

## 3.1 Koerakentamiskohde

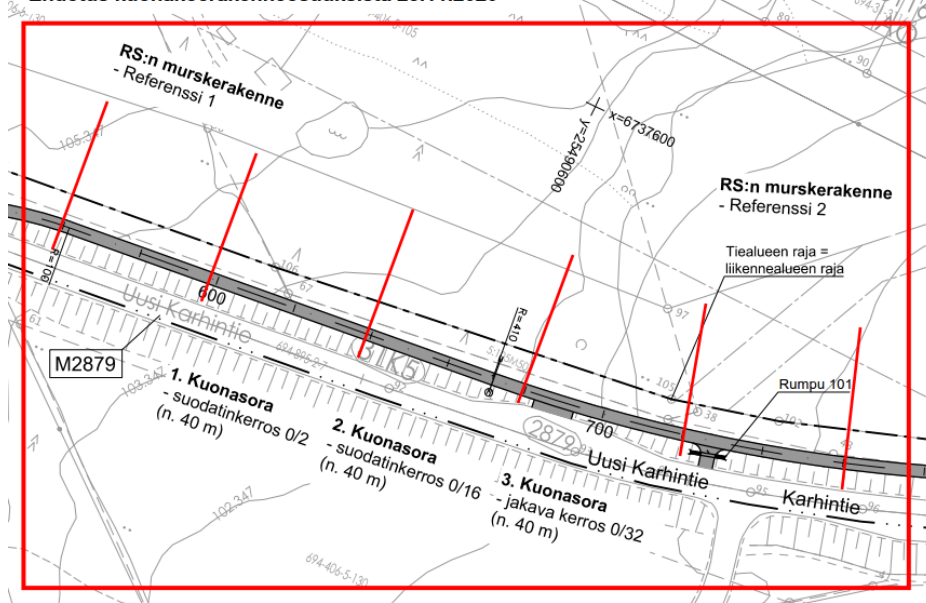
Kun materiaalin tarkemmin selvitettävät ominaisuudet on määritelty, siirrytään etsimään sopivaa koerakentamiskohdetta. Mikäli selvityksen aikana on käynyt ilmi, että tietoa materiaalin käyttäytymisestä ja rakennettavuudesta ei ole saatavilla tai tarpeeksi, on koerakentaminen suositeltavaa tehdä esimerkiksi materiaalitoimittajan hallinnoimalla alueella, kuten teollisuuslaitoksen kentällä, tiellä tai pihalla. Jos materiaalista on kerätty jo enemmän tietoa ja materiaali on osoittautunut toimivaksi, on seuraavan vaiheen koerakentamismahdollisuuksista suositeltavaa keskustella Väyläviraston ja ELY-keskuksen kanssa. Mahdollisia koerakentamiskohteita ovat esimerkiksi jalkakäytävät, pyörätiet tai levähdyspaikat. Koerakentamismahdollisuutta tiedusteltaessa on eduksi esittää alustava tutkimussuunnitelma, jossa esitetään koerakentamisen tavoitteet. Hankekohtaisen teknisen soveltuvuuden arviointitarve täytyy selvittää koerakentamiskohdemahdollisuuksista keskusteltaessa. Mikäli toteutettava koerakenne on luonteeltaan pienimuotoinen T&K-koerakenne, jossa on tavoitteena kerätä tietoa soveltuvuuden arviointia varten, ei hankekohtaista soveltuvuuden arviointia vaadita.

Rakennetta suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon, mitä rakenteella halutaan testata. Yleensä ensimmäisessä vaiheessa halutaan testata tiivistysmenetelmiä sekä materiaalin E-moduuleja, jolloin toteutettavat rakenteet voivat olla myös väliaikaisia. Mikäli tavoitteena on seurata materiaalin lujuuden kehittymistä, täytyy rakentaminen ajoittaa siten, että halutut mittaukset saadaan tehtyä ennen rakenteen purkamista tai jäätymistä. Jos puolestaan halutaan seurata routimiseen tai lämmönjohtavuuteen liittyviä asioita, kannattaa rakenteet toteuttaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, koska seurantajakso voi vaatia pakkasmäärästä riippuen jopa kaksi tai kolme talvea.

Koerakenteet tulee suunnitella niin, että vertailurakenne ja uusiomateriaalirakenne on mitoitettu samoilla periaatteilla, mutta on huomioitava, että mitoituspametrit ovat materiaalikohtaisia. Vertailuparikoerakennetta suunniteltaessa tulee suunnitella uusiomateriaalirakenteen lisäksi myös vertailurakenne eli referenssirakenne tyyppillisesti rakenteissa käytetyillä materiaaleilla. Tällöin esimerkiksi rakenteiden pohja- ja kuivatusolosuhteet sekä rakenteen dimensiot ovat samanlaiset.

Kuvassa 2 on esitetty koerakenteiden ja referenssirakenteiden sijainnit suunnitelmakartalla (Ramboll 2020). Kuvassa vertailurakenteista on käytetty nimitystä referenssi 1 ja referenssi 2.

**Ehdotus kuonakoerakennemuutoksista 23.11.2020**



**Kuva 2. Riihimäki – Hikiä KLV MARA-koerakenteiden sijainti suunnitelmakartalla (Ramboll 2020).**

Koerakentamiskohteen valinnalla on merkitystä siitä saatavan tiedon hyödynnettävyyden kannalta. Aluksi koerakentaminen tulee suorittaa kovapohjaisella alueella, jolloin saadaan tietoa materiaalikerroksen tiivistymisestä ja muodonmuutoksista. Vertailurakenteita suunniteltaessa tulee pohjaolosuhteiden olla samankaltaiset.

Myöhemmin kohde voi olla olosuhteissa, joissa materiaalin ominaisuuksia saadaan testattua myös heikomman pohjamaan alueilla. Huonon pohjamaan alueella materiaalin tiivistäminen ei ole yhtä helppoa ja tiiveysaste jää matalammaksi samalla työmäärällä, kuin kovan pohjamaan alueella. Pohjamaa voi olla esimerkiksi routimisaltis, jolloin rakennekerrokset altistetaan mahdolliselle routimiselle. Tällöin materiaalin toiminnasta saadaan kerättyä monipuolista tietoa ja kartoitettua käyttöön liittyviä riskejä ja käyttömahdollisuuksia.

Koerakentamisen laajuutta suunniteltaessa on mietittävä, mitä parametreja ollaan määrittelemässä ja minkälainen rakenne testattavalla materiaalilla aiotaan jatkossa toteuttaa. Tavoitteena on, että materiaalin kuljetus, mahdollinen kastelu ja seostus, levitys, muotoilu ja tiivistäminen onnistuu ns. normaalin rakentamisen tapaan ja tyypillisesti käytettävällä kalustolla. Jos samaa materiaalia aiotaan käyttää esimerkiksi eri kerroksissa, eri paksuuksina tai eri rakeisuuksina, kunkin testattavan materiaaliyksikön välissä on hyvä olla koerakennetta vastaava vertailurakenne toteutettuna rakennusosaan tyypillisesti käytetyllä materiaalilla.

Muita asioita, jotka vaikuttavat kohteen valintaan ovat mm:

- alueen omistussuhteet
- alueen jatkokäyttö ja kehittyminen
- alueella sijaitseva kunnallistekniikka, kaapelit tai muut rakenteet
- sijoitetaanko materiaali penkereeseen, leikkaukseen vai ns. nollatasaukseen
- sijaintiin liittyvät suositukset.

Ympäristön näkökulmasta on selvittävä, tarvitaanko koetoimintailmoituksen tai MARA-ilmoituksen tekemistä vai vaaditaanko ympäristölupa ja mitkä ovat ympäristömääräykset ja -ehdot.

Uusiomateriaalien ympäristökelpoisuuden varmistamisessa tukeudutaan ympäristölainsäädäntöön ja sen mukaisiin menettelytapoihin.

### 3.2 Suunnittelu

Suunnittelussa on huomioitava, mitä tietoja materiaalista halutaan saada selville pitkällä aikavälillä. Näin ollen ennen kohteen yksityiskohtaista rakennesuunnittelua on hyvä laatia luonnos seurantasuunnitelmasta.

Yksi keskeisimpiä asioita pienimuotoisen koerakentamisen suunnittelussa on tiivistystyön suunnittelu huomioiden tiivistettävä materiaali, kerrospaksuus sekä materiaalin vesipitoisuuden hallinta työn aikana.

Suunniteltavia tai suunnittelussa huomioitavia asioita ovat:

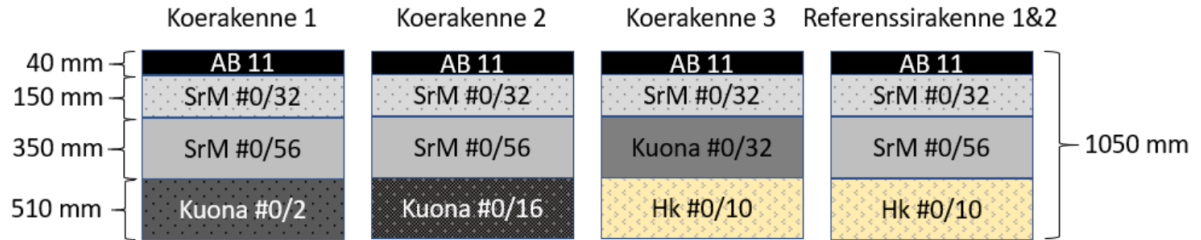
- rakennusosa, jossa materiaalia käytetään
- rakennusosalta vaadittavat ominaisuudet
- vaatimukset rakennusosan ala- ja yläpuolisille rakenteille
- rakennettavan materiaalikerroksen ja kerralla tiivistettävän osan paksuus ja sallitut vaihteluvälit
- koekohteen pohjamaa ja sen vaihtelu
- kuivatusratkaisut
- tiivistyskalustovaihtoehdot ja tiivistyskaluston valinta
- mahdollisesti tarvittava kastelukalusto
- käytettävä kalusto levitystyössä
- laadunvarmistustoimenpiteet ja laadunvarmistuksessa käytettävä välineistö
- tavoiteltava tiivistysaste tai kantavuus
- alustavat ja lopettavat työvaiheet
- rakentamisen aikainen ja pitkäaikainen seuranta.

Testattavaa materiaalia kannattaa testata ohjeiden ja suositusten mukaisessa rakennusosassa. Rakennusosan yleisistä vaatimuksista löytyy tietoa Rakennustieto Oy:n ajantasaisesta InfraRYL:stä ja näiden soveltuvuus kohteeseen tulee huomioida tapauskohtaisesti ja määrittellä tarvittavat tarkennukset. Rakennusosan alapuolisista vaatimuksista kannattaa kiinnittää huomiota mahdollisiin salaojituskerroksiin ja reunatukiin sekä vaadittaviin tavoitekantavuuksiin. Yläpuoliset rakenteet suunnitellaan alapuolisten rakenteiden tavoin yleisten ohjeiden perusteella ja näitä tarkennetaan kohdekohtaisten vaatimusten mukaisesti. Koerakenteen rakennussuunnitelma koskee vain koerakennetta ja ympäröivä rakenne rakennetaan kohteen rakennussuunnitelman mukaisesti. Ympäröivän rakenteen rakennussuunnitelmaa on syytä käyttää pohjana suunniteltaessa koerakenteen rakennussuunnitelmaa. Koerakenteen ollessa osa suurempaa kokonaisuutta on koerakenteen aiheuttamat muutokset rakennussuunnitelmaan syytä pitää mahdollisimman vähäisinä, jottei koerakentaminen aiheuta merkittävää lisätyötä.

Tiivistyskaluston valintaa voi suunnitella esimerkiksi InfraRYL:n taulukon *18110:T3. Tiivistyskoneiden ohjeellinen jyräyskertamäärä eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen ollessa lähellä optimivesipitoisuutta* (Rakennustieto, 2017) avulla ja tämän jälkeen tarkentaa jyrätyyppi ja paino paikallisen saatavuuden perusteella. Tavoiteltava tiiviysaste määritellään laboratoriokokeiden avulla.

Käytettävät mitoitusparametrit riippuvat käyttökohteesta ja rakennusosasta. Näistä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.2.

Koekohteesta laaditaan lyhyehkö työselostus tyyppirakenteineen, josta käy ilmi, kuinka edellä mainitut asiat aiotaan kohteella toteuttaa. Kuvassa 3 on esitetty, kuinka koerakenteen eri rakenteiden kerrospaksuudet ja materiaalit voidaan yksinkertaisimmillaan esittää.



**Kuva 3. Koerakenteen eri rakenteiden kerrospaksuudet ja materiaalit (Matikka 2021).**

### 3.3 Toteutus

Ennen varsinaista uusiomateriaalilla rakentamista kohteella toteutetaan uusiomateriaalin alapuoliset rakenteet InfraRYL:n sekä kohdekohtaisten ohjeiden ja laatuvaatimusten mukaisesti. Tämän jälkeen suositellaan alapuolisten rakenteiden kantavuuksien mittaamista raskaalla pudotuspainolaitteella tai levykuormituskokeella vähintään neljästä pisteestä / koemateriaalijakso ja vertailujakso siten, että mittauspisteiden sijainti tallennetaan. Kuvassa 4 on esitetty kantavuuden mittausta levykuormituskokeella. Myös rakenteen yläpinnan sijainti mitataan. Varsinaisen uusiomateriaalikerroksen alapuolella oleva rakennekerros tai pohjamaa ei saa häiriintyä esimerkiksi roudan tai ylimääräisen kuormituksen takia ennen varsinaisen uusiomateriaalin levitystä. Koerakentamisen aikainen rakenteen laadunvarmistus toteutetaan InfraRYL:n ohjeistuksen mukaisesti. Uusiomateriaalin levittäminen tehdään kerroksittain, ja tarvittaessa materiaalista ja kerroksista otetaan näytteet laadunvarmistamiseksi. Näiden näytteiden vesipitoisuus-, lujuus- ja rakeisuustuloksia verrataan materiaalista aiemmin mitattuihin tuloksiin.



**Kuva 4. Kolmen mittakellon levykuormituskoe (Matikka 2021).**

Uusiomateriaalit pääsääntöisesti tiivistyvät parhaiten optimivesipitoisuudessa. Optimivesipitoisuus määritetään usein laboratoriossa, mutta sen todellinen vaikutus rakentamiseen, esimerkiksi tiivistystyömäärään, saadaan selville koerakentamisessa. Tiivistämisen kannalta optimivesipitoisuuden sekä tavoiteteiveyden määrittämiseen laboratoriossa käytetään esimerkiksi proctor-sullontaa tai modifioitua proctor-sullontaa pienemmällä tiivistystyömäärällä. Kastelun tarpeellisuuden ja vesimäärän dokumentointi on tärkeää, jotta materiaalin käyttöohjeeseen saadaan mahdollisimman oikea suositus ja vaihteluväli vesipitoisuudelle.

Tiivistystyön aikana kirjataan seuraavat asiat:

- tiivistettävä materiaali
- materiaalin vesipitoisuuden määrittämismenetelmät: lisätyn veden alkuperä ja levitystapa, mitatut vesipitoisuudet ja menetelmät
- tiivistuskoneen mitat, paino ja toimintanopeus; täryjyrän laajuus ja tärytysteho
- jyräskertojen määrä erikseen kaikille koerakennejaksolle
- kerrospaksuus ennen ja jälkeen tiivistyksen
- tiivistystyön ajankohta
- työn aikaiset häiriöt
- sääolosuhteet
- muut vaikuttavat asiat.

Kuvassa 5 on jätteenpolton kuonan koetiivistäminen käynnissä.



**Kuva 5. Jätteenpolton kuonan koetiivistys (Matikka 2021).**

Tiivistystyön valmistuttua otetaan tarvittaessa näytteitä materiaalin rakeisuuden muutosten selvittämiseksi ja mitataan kantavuudet samojen pisteiden kohdilta kuin aiemmassa vaiheessa. Näiden mittausten avulla voidaan tehdä takaisinlaskentaa rakennekerrosten E-moduulien määrittämiseksi. Tästä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 5.1. Myöskin materiaalin hienoneminen on osa koerakenteen tarkkailua ja tästä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 5.5.

Uusiomateriaalikerroksen päälle rakennetaan suunnitellut kerrokset yleisten laatuvaatimusten mukaisesti ja aloitetaan kohteen seuranta. Seurantaan liittyvistä vauriokartoituksista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 5.4-5.6.



## 4. KOERAKENNE VÄYLÄN TAI KADUN OSANA

### 4.1 Koerakentamiskohde

Laajemman vaiheen koerakentamisen tavoitteena on selvittää materiaalin soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Näin ollen rakenteen ja rakennusosan on vastattava suunniteltua käyttötarkoitusta. Suunniteltaessa tämän vaiheen koerakennetta, on materiaalin teknisten ominaisuuksien suuruusluokka ja rakennettavuus jo melko hyvin selvillä. Tietoa on saatu laboratoriotutkimuksista, materiaalin riittävän tunnettavuuden ja/tai pienimuotoisen koerakentamisen avulla.

Väyläviraston ja ELY-keskusten kohteissa vaaditaan suurmittakaavaisen koerakentamiseen tarjottavalta uusiomateriaalilta joko hankekohtainen tai yleinen teknisen soveltuvuuden arviointi. Jos jonkin uusiomateriaalin soveltuvuuden arviointia ei ole vielä tehty, se voidaan tehdä hankekohtaisesti aikataulun salliessa. Soveltuvuuden arviointi vaatii myös tällöin vaadittujen tietojen ja ominaisuuksien täyttymisen, jotta voidaan todeta materiaali soveltuvaksi käyttökohteeseen. Lisää tietoa soveltuvuuden arvioinneista löytyy Väyläviraston oppaasta *Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi*.

Suurmittakaavaisessa koerakentamisessa tavoitellaan tilannetta, jossa materiaalin kuormitus vastaa käyttötarkoituksen mukaista kuormitusta sekä vertaillaan koerakenteen toimivuutta tavanomaisin materiaalein toteutettuun rakenteeseen. Kohde voi siis olla esimerkiksi jalankulku-, pyöräily- ja mopoliikenteelle tarkoitettu väylä tai raskaasti kuormitettu kiertotie. Myöskin eri tavoin kuormitetut kadut, levähdysalueet, kentät tai jopa meluvalli voivat tulla kyseeseen.

Kohteen valinnassa on huomioitava esimerkiksi seurantanäytteenoton vaikutukset liikenteelle. Jos puolestaan halutaan seurata kantavuuden kehitystä, routimiseen tai lämmönjohtavuuteen liittyviä asioita, seurantajakson pituus on vähintään kolme talvea riippuen pakkasmäärästä.

Mitä aikaisemmassa suunnittelun vaiheessa uusiomateriaalin käyttömahdollisuus tunnistetaan, esimerkiksi tiesuunnitelman yhteydessä tehtävässä uusiomateriaaliselvityksessä, sitä paremmin suunnitteluratkaisuissa voidaan huomioida myös koerakenteen rakentaminen. Tällöin myös työn yhteensovittaminen muiden työvaiheiden kanssa voidaan ottaa paremmin huomioon aikataulullisesti ja sopia työnjaosta ja vastuista.

Koerakentamiskohteeksi kaavaillun alueen pohjatutkimukset tulee tehdä normaalia tarkemmin tiheämmällä näytteenotolla, jotta mahdollinen pohjaolosuhteiden vaihtelu saadaan selville ja siihen osataan varautua tulosten tulkinnessa.

Koerakenteen suunnittelussa tulee hyödyntää InfraRYL:n ohjeistuksia ja Väyläviraston ohjetta *38/2018 Tierakenteen suunnittelu*. Koerakentaminen on syytä suunnitella ja toteuttaa siten, että materiaalin kuljetus, mahdollinen kastelu ja jalostus, levitys, muotoilu ja tiivistäminen onnistuu ns. normaalin rakentamisen yhteydessä ja on toteutettavissa tavanomaisella kalustolla. Samoin muut asiat, jotka vaikuttavat kohteen valintaan ovat samat kuin pienimuotoisessa koerakentamisessa. Koerakentamistoiminnan mahdollisten haittojen tai vaurioiden vastuunjaosta on tarpeen sopia etukäteen.

Ympäristölainsäädännön näkökulmasta on selvitettävä, tarvitaanko koetoimintailmoituksen tai MARA-ilmoituksen tekemistä vai vaaditaanko ympäristölupa ja mitkä olisivat ympäristölupa-

määräykset ja -ehdot. Esimerkiksi jos uusiomateriaalin käyttö perustuu tilaajan ehdotukseen, vastaa tilaaja MARA-asetuksen mukaisen rekisteröinti-ilmoituksen tai ympäristölupahakemuksen laatimisesta. Luvan hakijana on silloin yleensä tilaaja.

#### 4.2 Koerakenteen tutkimus- ja seurantasuunnitelma sekä mitoitus

Suunniteltaessa on päätettävä, mitä tietoja materiaalista halutaan saada selville seurantajakson aikana. Näin ollen ennen kohteen yksityiskohtaista suunnittelua on hyvä laatia luonnos rakennus-, tutkimus- ja seurantasuunnitelmasta. Tutkimus- ja seurantasuunnitelmaa laadittaessa on syytä ottaa yhteyttä teknisen soveltuvuuden arviointityöryhmään, jotta esimerkiksi yleisen teknisen soveltuvuuden arvioinnin kannalta oleellisia asioita pyritään selvittämään koerakentamisella.

Rakennussuunnitelmaan on kirjoitettava rakennekerrokset, työmenetelmät ja työmäärät sekä koerakenteen piirustukset ja periaatekuvat. Tutkimus- ja seurantasuunnitelmaan kirjataan auki mitä koerakenteella aiotaan tutkia ja miten tutkittavia asioita aiotaan mitata. Suunnitelmaan kirjoitetaan auki, miten mahdollisiin muutoksiin seurannan aikana varaudutaan ja suhtaudutaan. Mahdollisia muutoksia voivat olla esimerkiksi tutkimuksen kannalta epäedulliset sääolosuhteet tai liikennekuormituksen eroavaisuus ennakoituun nähden. Seurantasuunnitelmassa aikataulutetaan seurantamittausten ajankohdat.

Koerakennetta suunniteltaessa on mietittävä, mitkä ovat materiaalin ja rakennusosan kannalta keskeisimpiä parametrejä pitkäaikaistoimivuuden kannalta ja keskittyä näiden ominaisuuksien sekä muiden puuttuvien ominaisuuksien selvittämiseen.

Keskeisimpiä parametrejä ovat mm.:

- routaturpoama  $t_r$ , (%)
- E-moduuli, MPa
- materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta,  $a_i$
- tilavuuspaino eri kosteustiloissa,  $kN/m^3$
- rakenteen muodonmuutoskestävyys
- routanousu rakenteessa.

Tarvittavat mitoitusparametrit riippuvat käyttökohteesta ja rakennusosasta. Mikäli materiaaleja käytetään väylän alus- tai päällysrakenteissa, E-moduuli on yksi keskeisimmistä parametreistä ja sitä tarvitaan kantavuusmitoituksessa. Materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta on parametri, jota tarvitaan routamitoituksessa, jos materiaalia aiotaan käyttää väylän päällysrakenteissa. Mikäli materiaali on routivaa, tarvitaan myöskin tietoa routaturpoamasta. Kaikki edellä mainitut parametrit, ja miten niitä käytetään kantavuus- ja routamitoituksessa, on ohjeistettu Väyläviraston ohjeessa *38/2018 Tierakenteen suunnittelu*. Parametrien suuruutta voidaan arvioida aiemmin tehtyjen selvitysten, luokitusten ja laboratoriotutkimusten perusteella. Toteutuneet parametrit saadaan selville seuranta- ja laadunvarmistusmittausten perusteella ja niistä on kerrottu kappaleessa 5. Tietoa tilavuuspainoista tarvitaan tehtäessä esimerkiksi painuma- ja vakavuuslaskelmia. Laskelmissa käytettyjä arvoja saadaan laboratoriotutkimuksista. Penkereitä ja meluvalleja suunniteltaessa tarvittavia parametrejä ovat esimerkiksi materiaalin kitkakulma ja koheesio. Materiaalin vedenläpäisevyydellä on merkitystä, jos kohdetta ei aiota päällystää tai vedenimeytymistä rakenteeseen estää. Maastossa mitattuja arvoja verrataan laboratoriotutkimusten arvoihin ja tehdään tarvittavia tarkennuksia.

Pienimuotoisesta koerakentamisesta poiketen tässä vaiheessa suositellaan muuttujien varioimista esimerkiksi testattavan kerroksen paksuuden ja pohjamaan suhteen, mutta koerakentamisessa



edelleen käytetään vertailuparimenetelmää kullekin rakenneratkaisulle. Koekohteesta laaditaan lyhyehkö työselostus tyyppirakenteineen pienimuotoisen koerakentamisen tapaan.

Vertailuparirakenteet tulee rakentaa mahdollisimman samankaltaisiin pohjamaaolosuhteisiin, jotta vertailu on luotettavaa. Pohjaolosuhteiltaan hyvälaatuisia ja huonompilaatuisia koerakentamiskohteita suositellaan käytettäväksi, jotta materiaalin soveltuvuudesta saadaan mahdollisimman monipuolisesti tietoa. Kohteen maantieteellinen sijainti vaikuttaa talven pakkasmääriin ja potentiaaliseen roudantunkeutumissyvyyteen. Koerakenteen maantieteellistä sijaintia muuttamalla vaikutetaan rakenteen rakenteeseen kohdistuvaan routarasitukseen.

Koerakenteen ollessa väylän osa, noudatetaan poikkileikkauksen suunnittelussa Väyläviraston ohjetta *Tien poikkileikkauksen suunnittelu*. Ohjeessa on esitetty poikkileikkauksen suunnittelu, keskialueen-, sivuojien- ja luiskien muotoilut on oltava koerakenteessa vastaavanlaisia kuin normaalisti rakenteelta vaadittavat.

### 4.3 Toteutus

Kohteella toteutetaan uusiomateriaalin alapuoliset ja muut rakenteet kohdekohtaisten ohjeiden mukaisesti. Tämän jälkeen suositellaan alapuolisten rakenteiden kantavuuksien mittaamista. Dokumentointia jatketaan kuten pienimuotoisessa koerakentamisessa.

Kerrosrakenteita ja pohjamaahan liittyviä muuttujia varioitaessa materiaalille aiemmin määriteltyjen optimialueiden rajoilta, kiinnitetään huomiota rakentamisen aikana mm. seuraaviin asioihin:

- Millä kerrosrakenteella materiaalin tiivistäminen muuttuu ongelmalliseksi ja materiaali alkaa kulkeutumaan tiivistyskaluston edessä?
- Tarvitseeko materiaalia tukea reunoilta?
- Hienoneeko materiaali ylitiivistämisen yhteydessä?
- Miten pohjamaan vaihtelu vaikuttaa tiivistystyön onnistumiseen?
- Miten työt sujuvat, jos keli ei ole optimaalinen?

Materiaalin muutosten dokumentointi on osa koerakenteen tarkkailua. Kuvassa 6 näkyy, kuinka materiaali on liettynyt tiivistämisen ja sateen seurauksena.



**Kuva 6. Koemateriaalin liettynyt pinta (Matikka 2021).**

Uusiomateriaalikerroksen päälle rakennetaan suunnitellut kerrokset kohdekohtaisten laatuvaatimusten mukaisesti ja kohteen seuranta aloitetaan. Seurannalla on suuri painoarvo, jotta voidaan analysoida, kuinka käytettävä materiaali toimii suunnitellussa käyttökohteessa suunnitellun kuormituksen alla.

## 5. SEURANTATUTKIMUKSET JA -MITTAUKSET

### 5.1 Rakentamisen laadunvarmistus

Rakentamisen aikainen paikkaan sidottu laadunvarmistus, kuten pinnankorkeudet ja kerrospaksuudet, on syytä toteuttaa takymetrimittauksilla. Kulutuskerroksen pinnan sijainti mitataan myös takymetrillä ja kaltevuus PANK 5209 menetelmän mukaisesti. Pinnan tasaisuutta voidaan arvioida visuaalisesti tai oikolaudalla (PANK 5102/SFS-EN 13036-7) menetelmän mukaisesti.

InfraRYL:ssä on määritelty rakennusosakohtaisesti, kuinka laadunvarmistus on tehtävä käytettäessä luonnonkiviaineksia.

Samat periaatteet pätevät myös uusiomateriaalien osalta mm. seuraavien mitattavien dimensioiden ja käytettyjen parametrien osalta:

- materiaalin raekokojakauma (rakeisuuskäyrä)
- tavoitekantavuus (MPa) ja tiiviyssuhde E2/E1
- tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna (mm)
- rakenteen yläpinnan tasosijainnin poikkeama vaakasuunnassa (mm)
- rakenteen yläpinnan korkeustason yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten (mm).

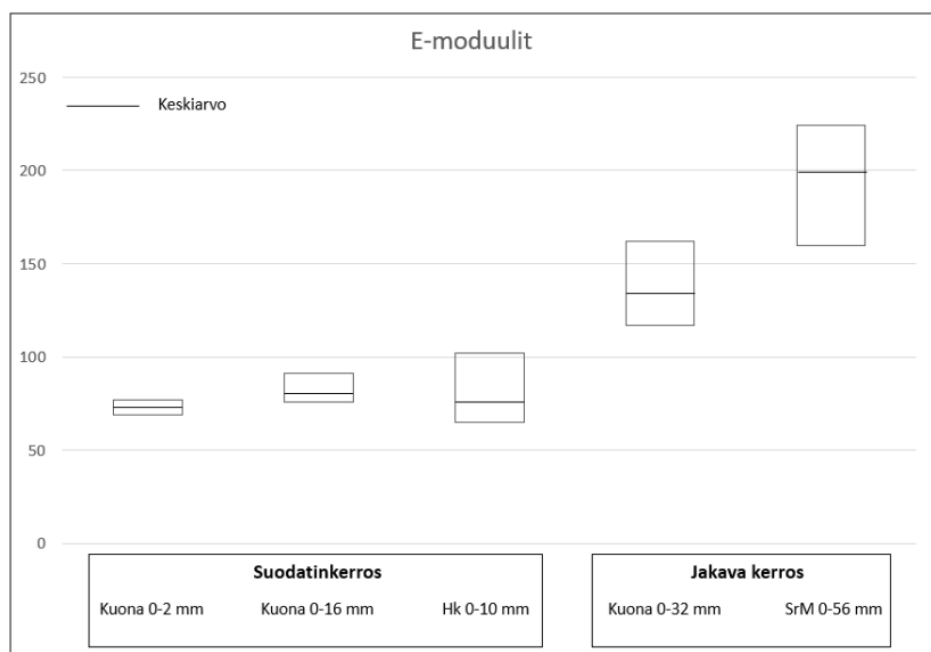
Tiivistettävän materiaalin vertailuarvot, optimivesipitoisuus ja enimmäiskuivairtoteiheyden määrittämisen laboratorioissa sullontakokeella ennen tiivistyksen aloitusta. Sullontakoe voi olla standardin SFS-EN 13286-2 mukainen parannettu Proctor-menetelmä, kiertotiivistysmenetelmä tai tärypöytämenetelmä (SFS-EN 13286-5). Kiertotiivistysmenetelmää käytettäessä on tunnettava menetelmän korrelaatio Proctor-menetelmän kanssa. Kiertotiivistimellä saadut tulokset on varmistettava Proctor-sullonnalla tai vaihtoehtoisesti vertailuarvot voidaan määrittää koetiivistysrakenteella tiivistystyön aikana tai erillisellä koerakenteella, jos suunnitelmissa on niin vaadittu. (InfraRYL, 2022). Työselostuksessa määritellään, kuinka edellä mainittuja asioita seurataan rakentamisen aikana. Lisäksi työselostuksessa määritellään, mitä muita laadunvarmistustoimenpiteitä kohteella käytetään edellä mainittujen lisäksi.

## 5.2 Kantavuus ja E-moduuli

Koerakenteen kantavuus ja materiaalin E-moduuli ovat keskeisimpiä tietoja, kun arvioidaan materiaalin soveltuvuutta eri käyttökohteisiin. Mitoitukset perustuvat laboratorioissa määriteltyihin E-moduuleihin. Näiden toteutumista tarkastellaan kohteella tehtyjen mittausten ja takaisinlaskennan avulla.

Mittaukset tehdään joko raskaalla pudotuspainolaitteella tai levykuormituskokeella. Samoilla menetelmillä voidaan mitata kantavuuksia myös päällysteen päältä. Koerakenteen suunnittelun yhteydessä määritellään mittauspisteet ja toteutuneita kantavuuksia verrataan tavoiteltuihin. Mikäli halutaan tarkkailla ja selvittää lujuuden kehittymistä, kantavuuksien mittaamista jatketaan samoista mittauspisteistä kohteen valmistumisen jälkeen suunnitelluin aikavälein. Kaikilla koerakenteilla suositellaan kantavuuksien mittaamista esimerkiksi kahden vuoden ajan kaksi kertaa vuodessa, mikäli se on mahdollista. Näistä toinen mittaus tapahtuu esimerkiksi keväällä roudansulamisen jälkeen ja toinen kesällä. Mittauksen suorittaminen on kuvattu menetelmäkuvauksessa TPPT 2 "Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta".

Mikäli halutaan selvittää materiaalin toteutunut E-moduuli, mitataan kantavuudet koerakenteen alapuolisista rakenteista ja koerakenteen päältä. Tämän jälkeen uusiomateriaalin E-moduuli on mahdollista määrittää takaisinlaskennalla. Takaisinlaskettu E-moduuli riippuu merkittävästi laskentaotaksumista ja olosuhteista, joten koerakenteen rinnalla on syytä tehdä vertailurakenne normaalisti rakennusosissa käytetyillä materiaaleilla. Tällöin uusiomateriaalilla saatu E-moduulin arvon luotettavuus saadaan samalle tasolle kuin vertailuun käytetyillä materiaaleilla. Yleensä hyväksytään vain vertailuparin kanssa tehtyjä mitoitusmoduuleja uusiomateriaaleille. (Väylävirasto 2022a). Kuvassa 7 on esitetty materiaalin E-moduulien takaisinlaskentojen tuloksia (Matikka 2021). Laskentoja voidaan tarkentaa laboratorioissa tehtävillä kolmiakselikokeilla.



Kuva 7. Takaisinlaskettuja materiaalien E-moduuleja (Matikka 2021).

### 5.3 Tiiveyden mittaaminen

Tiivistystyöllä saavutetun kuivairtitiheyden kehitystä voidaan mitata Troxler- ja/tai volymetrimittalaitteilla. Materiaalin maksimikuivairtitiheys selvitetään esimerkiksi Proctor-sullonnalla. Tavoitekuivairtitiheys voidaan määrittää joidenkin uusiomateriaalien osalta laboratoriossa modifoidulla Proctor-sullonnalla. Modifoidulla Proctor-sullonnalla saadaan todellista kentällä järkevästi toteutettavaa työmäärää vastaavia tuloksia. Perinteisellä Proctor-sullonnalla saadaan selville materiaalin maksimikuivairtitiheys.

Täryjyrällä tiivistettävissä koerakennekohteissa vaihtoehto pistekohtaisille tiiviyden laatumittauksille on koko tiivistettävän alueen kattava jatkuvatoiminen dynaaminen tiiviyden tarkkailumenetelmä. Rakenteen tiivistymistä rakennustyön aikana mitataan jyrän täryvalssiin asennetun kiihtyvyyssanturin avulla. Sen käytön edellytys on valssin värähtely, joka saadaan aikaan yhden tai useamman valssin sisäpuolella pyörivän epäkeskon avulla.

Jatkuvalla tiivistystarkkailulla voidaan tarkkailla rakenteen kantavuuden yhtenäisyyttä. Jatkuva tiivistystarkkailu täytyy kuitenkin kalibroida materiaaliakohtaisesti, jotta sitä voidaan käyttää suurmittakaavaisessa rakentamisessa. Tällöin materiaaliakohtainen kalibrointi voidaan suorittaa pienimittakaavaisen koerakentamisen yhteydessä.

### 5.4 Lämmönjohtavuus, roudan eristävyyskerroin ja turpoamiskerroin

Materiaalin lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ), materiaalin vastaavuus roudan eristävyyskerroin ( $a_r$ ) ja turpoamiskerroin ( $t$ ) ovat routamitoituksessa tarvittavia ominaisuuksia. Lämmönjohtavuus on mitattava arvo, joka kuvaa materiaalin kykyä siirtää lämpöä. Jos materiaalin lämmönjohtavuus on pieni, toimii se rakenteessa eristeinä. Kivi- ja maa-ainesten lämmönjohtavuus voidaan määrittää laboratoriossa esimerkiksi standardin ASTM D5334 mukaisesti. Kevytkiviaineksen lämmönjohtavuus määritetään standardien EN 12664 tai EN 12667 mukaisesti. Esimerkiksi kevytkiviaineksen lämmönjohtavuus tulee määrittää standardin EN 12664 mukaisesti ilmakuivassa

tilassa olevasta kevytkiviaineksesta tai standardin EN 12667 mukaisesti kevytkiviaineksesta, jonka lämmönjohtavuus on pienempi kuin  $0,15 \text{ W/(mK)}$  (UUMA2, 2014). Lämmönjohtavuuden määrittämisen menetelmä on kuvattu kattavasti Menetelmäkuvauksessa TPPT 8 "Lämmönjohtavuuden määrittäminen".

Routanousuherkkyys ilmaistaan routaturpoama-arvolla ( $t$ ). Se kertoo, kuinka monta prosenttia maakerroksen paksuus kasvaa, kun maakerros jäätyy hitaasti. Materiaalin vastaavuus eristävytyden kannalta riippuu lämmönjohtavuudesta sekä jäähtymis- ja jäätymisominaisuuksista. Arvoa käytetään tierakenteen routamitoituksessa.

Koerakenteen avulla voidaan materiaalin roudan eristävyyskerroin määritellä roudan syvyyksmittausten ja ilman lämpötilaseurannan perusteella. Turpoamiskerroin voidaan puolestaan määritellä routanousumittausten ja lämpötilaseurannan avulla TPPT menetelmäkuvauksessa 7 "Routimiskertoimen määrittäminen" esitetyn menetelmän mukaisesti. Lisäksi tarvitaan tietoa materiaalin vesipitoisuudesta. Koerakenteen suunnittelun yhteydessä on selvitettävä, missä on lähin ilman lämpötilan havaintopaikka ja voidaanko näitä mittauksia hyödyntää vai tarvitaanko paikallisen lämpötilaseurannan järjestämistä.

#### **5.4.1 Roudan syvyys**

Tarvittaessa voidaan määritellä koerakenteen avulla roudan eristävyyskertoimia, tällöin koerakenteeseen täytyy asentaa lämpötila-antureita. Antureiden lukua helpottaa mahdollisuus etäluentaan. Antureita suositellaan sijoittamaan vähintään 1 / testattava materiaali tai lajike sekä 1 / vertailurakenne. Anturit suositellaan sijoittamaan pituussuunnassa keskelle koerakennetta. Antureita varten täytyy rakentaa suojaputket osana muuta rakentamista. Kulutuskerroksen rakentamisen jälkeen suojaputkiin asennetaan lämpötilasauva, jossa on kalibroituja antureita esimerkiksi 10 cm välein. Lämpötilan kehittymistä rakenteessa seurataan vähintään kahden talven ajan. TPPT:n menetelmäkuvauksessa 5 "Roudan syvyyden määrittäminen" on kerrottu mittareiden asentamisesta ja mittaamisesta.

#### **5.4.2 Routivuus**

Suomessa ei ole standardoitua menetelmää routivuuden määrittämiseen, mutta sille on useita "yleisesti hyväksytyjä" menetelmiä. Nämä jakautuvat kentällä suoritettaviin mittauksiin ja laboratorioissa tehtäviin routanousukokeisiin. Routanousukoe on kuvattu esimerkiksi TPPT Menetelmäkuvauksessa 6 "Routimiskertoimen (SP) määrittäminen laboratorioissa" ja routimiskertoimen määrittäminen TPPT Menetelmäkuvauksessa 7 "Routimiskertoimen määrittäminen".

Koerakenteen routanousua voidaan tarkkailla vaaituksen tai takymetrimittausten avulla pakkasjakson alusta alkaen roudan sulamiseen asti. Menetelmä on kuvattu TPPT:n menetelmäkuvauksessa 14 "Routanousun ja painuman mittaus" (2001). Mittauspisteet valitaan esimerkiksi 3...5 m ruutuun siten, että myös vertailurakennetta mitataan. Mittauksia suositellaan tehtävän koerakenteen keskeltä ja reunoilta. Samoja mittauskohtia tulee käyttää jokaisella mittauskerralla, joten mittauspaikkojen sijainnit on syytä mitata takymetrillä. Lisäksi mittauspisteet merkitään kulutuskerrokseen. Jokainen korkeustaso kirjataan ylös jokaisella mittauskerralla, jotta voidaan tarkastella mahdollista routanousua suhteessa roudan tunkeutumissyvyyteen tarkkailujakson aikana. Tunkeutumissyvyyttä voidaan seurata rakenteeseen asennetuilla lämpötila-antureilla. Routamittauksia tehdään kolmen talven ajan. Vaaitustulosten ja roudan syvyyksmittausten avulla lasketaan materiaaleille lämmönjohtavuus ja turpoamiskerroin.

## 5.5 Muodonmuutokset

Materiaalista johtuvien muodonmuutoksien seuraamiseksi rakenteet tulee rakentaa kovan pohjamaan alueelle. Tällöin muodonmuutokset tapahtuvat vain seurattavassa rakenteessa. Roudan aiheuttamien muodonmuutosten seuraaminen vaatii routimiselle otolliset pohjaolosuhteet.

Muodonmuutoksia raportoidaan koerakenteen seurannan yhteydessä. Seurantasuunnitelmaan kirjataan muodonmuutosten mittaus- tai arviointiajankohdat ja -välit. Muodonmuutos voi tapahtua mihin tahansa suuntaan. Muodonmuutoksen mittaamiseen käytetään siihen kehitettyjä painumalevyjä ja letkuja. Myös jatkuvatoimisia mittausmenetelmiä on kehitetty muodonmuutoksen seuraamiselle. Muodonmuutoksia voidaan seurata myös silmä määräisesti tai takymetrimittauksilla. Takymetrimittauksessa verrataan pisteiden sijaintimuutoksia rakentamisen valmistumisen jälkeen tehtyihin mittauksiin. Menetelmät on kuvattu TPPT:n menetelmäkuvaussessa 14 "Routanousun ja painuman mittaus" (2001)

Mikäli koerakenne on osa väylää ja sen koko on riittävä, on mahdollista mitata koerakenteen tasaisuus ja urasyvyys laserkeilauksella tai esimerkiksi PTM-mittaukseen käytettävällä laitteistolla. Tasaisuuden mittaamisesta löytyy lisätietoa esimerkiksi PANK-5206 (2002) menetelmäkuvauksesta. Tasaisuutta voidaan arvioida myös oikolautaa käyttäen PANK 5102/SFS-EN 13036-7 menetelmän mukaisesti.

## 5.6 Hienoneminen

Muodonmuutokset viittaavat materiaalin hienonemiseen rasituksen aikana tai materiaalin tai alusrakenteen kokoonpuristumiseen. Hienonemista koerakentamisen aikana voidaan selvittää tekemällä rakeisuustutkimukset ennen ja jälkeen koerakentamisen otetuilla näytteillä joko heti tiivistämisen jälkeen tai pitkäaikaisen kuormituksen jälkeen.

Materiaalin hienonemisherkkyyttä voi tutkia myös laboratorio-olosuhteissa, jossa materiaalia rasietaan mekaanisesti ja hienonemista seurataan rakeisuusanalyysillä. Suomen kiviaineksille on kehitetty erilaisia koestusmenetelmiä hienonemisen seuraamiseen kuten esimerkiksi kuulamylyttesti. Koestusmenetelmät ovat usein tarpeettoman voimakasrasitteisia uusiomateriaaleille, sillä ne on jalostettu Suomen kovalle kallioainekselle. Kevytkiviaineksille kehitetyt hienonemisen testausmenetelmät, kuten puristuskokeet, voivat soveltua kevytkiviaineksien kaltaisille uusiomateriaaleille. Näiden kokeiden perusteella voidaan indikoida hienonemista ennen koerakentamista.

Mikäli halutaan seurata materiaalin hienonemista pidempiaikaisen kuormituksen seurauksena, voidaan tarkastelua yrittää tehdä esimerkiksi hienonemissäkkien avulla. Tällöin koerakenteeseen asennetaan hienonemissäkkejä, esimerkiksi yksi säkki jokaista rakenteessa käytettyä lajiketta kohden. Säkkien on oltava kestäviä ja ne täytetään testattavalla materiaalilla ja suljetaan tiiviisti. Säkit asennetaan osaksi kutakin rakennekerrosta, samalle syvyydelle, jossa kyseistä materiaalia käytetään rakenteessa, ja tiivistetään normaalisti. Säkit asennetaan poikkileikkauksen kohtaan, jossa niihin kohdistuu mahdollisimman paljon rasitusta. Muutaman vuoden päästä rakentamisen jälkeen säkit kaivetaan ylös, jonka jälkeen säkitettyjen materiaalien rakeisuudet tutkitaan ja tuloksia verrataan koekentässä tiivistetyn materiaalin rakeisuustuloksiin. Menetelmä ei ole vakiintunut, eikä se ole tarpeellinen joka kohteessa. Kuvassa 8 on hienonemissäkki ennen päälle asetettavia materiaaleja.



**Kuva 8. Hienonemissäkki jakavassa kerroksessa (Söderholm 2020).**

Väliaikaisissa koerakenteissa voidaan materiaalin hienonemistä tutkia purkamisen yhteydessä otettujen rakeisuusnäytteiden avulla. Näytteenotto toteutetaan kerroksittain ja/tai vaurioalueittain ja tuloksia verrataan käyttämättömään materiaaliin. Näytteiden tulee olla riittävän suuria, jotta ne edustavat materiaalia hyvin. Yhden näytteen koko on oltava ainakin 50 l. Myös materiaalin vedensitomismomenteja voidaan tarkkailla purkamisen yhteydessä otetuista näytteistä määrittämällä näytteen vesipitoisuuksia eri syvyyksillä.

## **5.7 Päällystevaurioinventoinnit**

Päällystevaurioinventointi suoritetaan normaalisti keuhäisn roudan sulamisen jälkeen huhti- tai toukokuussa riippuen kevään etenemisestä. Mikäli koerakentamisen epäillään aiheuttavan tien vaurioita, tulee inventointeja tehdä esimerkiksi ensimmäisen vuoden aikana kuukauden tai kahden välein ja mikäli kohde pysyy vertailurakenteen veroisena, voidaan inventointeja harventaa. Inventointien tarve ja väli on hyvä kirjata seurantasuunnitelmaan. Inventoinnin aikana tien pinnan tulee olla lumeton ja jäätön. Eri vauriotyyppit viittaavat rakenteen eri ongelmiin ja näin ollen eri vauriotyyppien erottelu on suositeltavaa. Kirjattavia vaurioita ovat pituushalkeamat, poikkihalkeamat, verkkohalkeamat, reiät + purkaumat, leveät halkeamat ja reunapainumat. Vaurioiden arvioinnissa voidaan hyödyntää soveltuvn osin Tiehallinnon julkaisua 13/1994 *Päällystevaurioiden inventointiohje*.

## 6. DOKUMENTOINTI

Suunnitelmallinen toiminta ja järjestelmällinen dokumentointi edistävät materiaalin hyötykäyttöä ja tuotteistamista. Tiedon puuttuminen, katoaminen ja unohtaminen hidastavat materiaalin hyötykäyttöä. Koerakentamis-, tutkimus- ja seurantasuunnitelmat on laadittava ennen koerakentamista. Dokumenttien sisältö riippuu koerakenteen laajuudesta ja tutkittavista parametreista, dokumentit ovat vapaamuotoisia.

Tarkan työnaikaisen työmaapäiväkirjan ylläpitäminen edesauttaa dokumentointia. Työmaapäytäkirjaan tulee merkitä mm. työjärjestys, työsaavutukset, poikkeamat, sääolosuhteet, materiaalien välivarastointiolosuhteet, materiaalin ominaisuudet (esim. vesipitoisuus) ja kulloinkin käytetyt materiaali-erät. Kuvien ottaminen työmaapäiväkirjaan kirjattujen havaintojen liitteeksi, tukee havaintojen myöhempää tulkintaa.

Koerakentamisen aikana ja sen jälkeen tärkeimmät dokumentoitavat tiedot ovat:

- käytetty uusiomateriaali
- materiaalin käyttömäärä
- mihin rakennusosaan uusiomateriaalia on käytetty (kantava, jakava, suodatin, pengeri, siirtymäkiila, meluvalli ym.)
- koerakenteen sijainti (tierekisteriosoite sekä rakenteen alku- ja loppupisteen koordinaatit tien keskilinjalta tai karttakuva)
- rakentamisen ajankohta (alku pvm, loppu pvm)
- sääolosuhteet rakentamisen aikana
- uusiomateriaalin käyttömäärä (tonnia)
- mihin käyttö perustuu (MARA-asetuksen mukainen rekisteröinti-ilmoitus tai ympäristölupa tai ei kumpikaan edellä mainituista)
- liittyykö kohteeseen seurantaa (seurantasuunnitelma toimenpiteineen)
- laatudokumentaatio.

Koerakenteen valmistumisen jälkeen laaditaan raportti, jossa kuvataan koerakentamisen kannalta keskeisimmät ratkaisut, joiden avulla jatkokohteiden suunnittelussa voidaan edetä. Raporttiin suositellaan liitettäväksi laboratoriotutkimustulokset keskeisimpine huomioineen tiedon hallinnan selkeyttämiseksi. Päivämäärä, aika ja paikka pitää merkitä ylös dokumentoitaessa rakentamisen vaiheita ja seurantatuloksia. Rakentamisen osalta raportissa vastataan, kuinka päästiin rakentamiselle ja rakenteille asetettuihin tavoitteisiin.

Tällaisia asioita voi olla esimerkiksi:

- tiivistyskaluston ylityskerrat, joilla saavutettiin tavoiteltu tiiviyssaste tai kantavuus
- vesipitoisuuden vaihteluväli ja hallintakeinot
- mitatut kantavuudet
- takaisinlasketut E-moduulit
- havainnot ja poikkeamat rakentamisen aikana.

Raporttia täydennetään seurantatutkimustuloksilla ja havainnoilla. Seurantatutkimustuloksia verrataan oletettuihin ja laboratoriotutkimustuloksissa saatuihin arvoihin. Kirjattavia, laskettavia ja/tai muulla tavoin määriteltäviä asioita on mm.:

- materiaalin roudan eristävyyskerroin
- materiaalin roudan turpoamiskerroin
- havainnot koerakenteen ja vertailurakenteen muodonmuutoksista
- havainnot koerakenteen ja vertailurakenteen vaurioista
- materiaalin rakeisuusmuutokset



Raportissa jatkotoimenpiteiden osalta tulee miettiä esimerkiksi:

- Saavutettiin tavoitteet vai tarvitseeko koerakentaminen toteuttaa uudelleen joiltakin osin tai eri laajuudessa? Miksi, miten ja milloin mahdollinen uusiminen tehdään?
- Tarvitaanko lisää laboratoriotutkimuksia?
- Miten materiaalin käytön tutkimusta jatketaan?

## **6.1 Referenssi kohteita**

Tämän oppaan esimerkkikohteina on käytetty kahta jätteenpolton pohjakuonalla toteutettua koerakennetta, joiden yhteydessä on laadittu julkiset opinnäytetyöt. Referenssi kohteet ovat:

- Kuulojantie, Hausjärvi. 2020. Jätteenpolton pohjakuona. Fortum. Opinnäytetyö: Anniina Söderholm. 2020 Jätteenpolton pohjakuona tierakenteessa Koerakenteen rakentaminen ja tutkimus pohjakuonan teknisistä ominaisuuksista
- Riihimäki-Hikiä mt 2879, Riihimäki. 2021. Jätteenpolton pohjakuona. Fortum. Opinnäytetyö: Matikka Sami. 2021. Jätteenpolton pohjakuonan käyttö kevyen liikenteen väylällä

## 7. VIITTEET

Fortum Waste Solutions Oy. 2020. Jätteenpolton pohjakuonasta jalostetun arinakuonan hyödyntäminen maarakentamisessa, Ohjeet käsittelyyn, käyttöön ja suunnitteluun, versio 1.

Lahtinen, W. 2021. Jätteenpolton kuonan routaeristävyys- ja kantavuusominaisuudet. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/134746/LahtinenWaldemar.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Matikka, S. 2021. Jätteenpolton pohjakuonan käyttö kevyen liikenteen väylällä. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/510472/J%c3%a4tteenpolttokuonan%20k%c3%a4ytt%c3%b6%20tierakenteessa.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Rakennustieto. 2017. InfraRYL 2017/1, 9.5.2017

Rakennustieto. 2022. InfraRYL 2022/1, 30.6.2022

Ramboll. 2020. Riihimäki-Hikiä klv, käsitellyn jätteenpolton pohjakuonan koerakennuskohteen pohjavesiolosuhteet.

Söderholm, A. 2020. Koerakenteen rakentaminen ja tutkimus pohjakuonan teknisistä ominaisuuksista. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/349589/Soderholm\\_Anniina.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/349589/Soderholm_Anniina.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

TPPT-ohjelma. 2000. Menetelmäkuvaus 2 Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta. <https://www.tieh.fi/tppt/pdf/2-rakennekerrosmod.pdf>

TPPT-ohjelma 2001. Menetelmäkuvaus 5 Roudan syvyyden määrittäminen. <https://docplayer.fi/20348265-Roudan-syvyyden-maaritys.html>

TPPT-ohjelma 2001. Menetelmäkuvaus 6 Routanousukoe: Routimiskertoimen (SP) määrittäminen laboratoriossa. <https://docplayer.fi/24895107-Menetelmakuvaus-tppt-6-routanousukoe-routimiskertoimen-sp-maaritys-laboratoriossa-tien-pohja-ja-paallysrakenteet-tutkimusohjelma.html>

TPPT-ohjelma 2001. Menetelmäkuvaus 7 Routimiskertoimen määrittäminen. <https://www.tieh.fi/tppt/pdf/7-routimiskerroin.pdf>

TPPT-ohjelma 2001. Menetelmäkuvaus 14 Routanousun ja painuman mittaus. <https://www.tieh.fi/tppt/pdf/14-routanousu.pdf>

UUMA2. 2014. Uusiomateriaaliopas.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843#Pidp446275008>

Väylävirasto. 2021. Tien poikkileikkauksen suunnittelu. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-16\\_tien\\_poikkileikkauksen\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-16_tien_poikkileikkauksen_web.pdf)

Väylävirasto. 2022a. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-20\\_uusiomateriaalien\\_kaytto\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf)

Väylävirasto. 2022b. Uusiomateriaalien teknisen soveltuvuuden arviointi. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Opas\\_2022-2\\_uusiomateriaalien\\_arviointi\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Opas_2022-2_uusiomateriaalien_arviointi_web.pdf)

## Liite 1: Laboratorio- ja kenttätutkimusten standardeja ja menetelmäkuvaus

<b>Standardi tai menetelmäkuvaus:</b>	<b>Nimi:</b>	<b>Lisäselite:</b>
SFS-EN 1744-1	Tests for chemical properties of aggregates. Part 1: Chemical analysis	Hehkutushäviö (kiviaines)
SFS-EN 15935	Soil, waste, treated biowaste and sludge. Determination of loss on ignition	Hehkutushäviö (biojätteiden, pilaantuneen maaperän, lietteiden ja maatalousmaan kaltaisten maa-ainesten)
SFS-EN ISO 10390	Soil, treated biowaste and sludge. Determination of pH	pH:n määrittäminen
EN 13286-2:2010	Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction	Paranneltu proctorkoe → maksimikuivatilavuuspaino
SFS-EN 1097-2	Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation	Hienontuminen
SFS-EN 1097-6	Determination of particle density and water absorption	Kiintotiheys ja veden imeytyminen
Menetelmäkuvaukset TPPT 6 ja 7	Routanousukoe ja routimiskertoimen määrittäminen	
SFS-EN 1367- 1 ja SFS-EN 1367-6	Jäädytys-sulatuskestävyyden määrittäminen	
SFS-EN 13285	Sitomattomat kiviainesseokset. Tuotevaatimukset	määritellään tuotevaatimukset sitomattomille kiviainesseoksille, joita käytetään teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa ja ylläpitämisessä. Koskee sitomattomia seoksia, jotka on valmistettu luonnon kiviaineksista, keinokiviaineksista ja uusiokiviaineksista
SFS-EN ISO 14688	Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan tunnistaminen ja luokitus.	

SFS-EN ISO 17892 1-12	Geotekninen tutkimus ja testaus. maan laboratorioskokeet.	1 Vesipitoisuuden määrittäminen 2 Hienorakeisen maan irtotiheyden määrittäminen 3 Kiintotiheyden määrittäminen, pyknometrinen menetelmä 4 Rakeisuuden määrittäminen 5 Portaittainen ödometrikoe 6 Kartiokoe 7 Hienorakeisen maan yksiakiaalinen puristuskoete 8 Konsolidoimaton kolmiakiaalikoete 9 konsolidoitu kolmiakiaalikoete 10 Suorat leikkauskokeet 11 vedenläpäisevyys 12 Konsistenssirajojen määrittäminen, Atterbergin rajat
Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 (21.4.2017)	Korroosiotutkimukset	Liitteen 5 mukaiset tutkimukset
<b>Ympäristökelpoisuuteen liittyvät tutkimukset:</b>		
SFS-EN 14405:2017:en	Characterization of waste. Leaching behaviour test. Up-flow percolation test.	Läpivirtaustesti
SFS-EN 12457-3	Jätteen karakterisointi. Liukoisuus.	2-vaiheinen ravistelutesti
SFS-EN 14039	Jätteen karakterisointi. Hiilivetyjen (C10–C40) pitoisuuden kaasukromatografisen määrittäminen	
SFS-EN 17322	Environmental Solid Matrices. Determination of polychlorinated biphenyls (PCB) by gas chromatography. mass selective detection (GC-MS) or electron-capture detection (GC-ECD)	
SFS-EN 17503	Soil, sludge, treated biowaste and waste. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by gas chromatography (GC) and high performance liquid chromatography (HPLC)	PAH-yhdisteiden analysointi

SFS-EN 14429	Characterization of waste. Leaching behaviour test. Influence of pH on leaching with initial acid/base addition	
SFS-EN 14997	Characterization of waste. Leaching behaviour test. Influence of pH on leaching with continuous pH control	
SFS-EN 15936	Soil, waste, treated biowaste and sludge. Determination of total organic carbon (TOC) by dry combustion	Orgaanisen hiilen pitoisuuden määrittäminen
SFS-EN 15935	Soil, waste, treated biowaste and sludge. Determination of loss on ignition	Hehkutushäviön määrittäminen
<b>Muu seuranta:</b>		
Suomen Vesiyhdistys ry: Pohjavesitutkimusopas – käytännön ohjeita (2005)	Pohja- ja pintavesien ympäristöseuranta	Ympäristöseurantaohjelman mukaiset menetelmät
SFS-EN ISO 22475-1:2021	Geotechnical investigation and testing. Sampling methods and groundwater measurements. Part 1: Technical principles for the sampling of soil, rock and groundwater	Seurantamittaukset: pohjavedenpinnan ja painetason tutkimukset
ASTM D5334-22	Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Rock by Thermal Needle Probe Procedure	Lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ) arvon määrittäminen.

Liite 2: Jätteenpolton pohjakuonan laboratoriokokeiden tutkimustuloksia

TAULUKKO 2. Laboratoriokokeiden tutkimustuloksia (Söderholm 2020)

<b>Ominaisuus</b>		<b>0/2 mm</b>			<b>0/16 mm</b>				<b>0/32 mm</b>										
<i>Vedenimeytyminen</i>	0,063/4 mm	10,95			5,23				4,57										
<i>WA<sub>24</sub> [%]</i>	4/16 mm	-			6,72				-										
	4/32 mm	-			-				6,06										
<i>Kiintotiheys [Mg/m<sup>3</sup>]</i>		$\rho_a$	$\rho_{rd}$	$\rho_{ssd}$	$\rho_a$	$\rho_{rd}$	$\rho_{ssd}$	$\rho_a$	$\rho_{rd}$	$\rho_{ssd}$									
	0,063/4 mm	2,84	2,17	2,40	2,77	2,42	2,54	2,85	2,52	2,64									
	4/16 mm	-	-	-	2,75	2,32	2,48	-	-	-									
	4/32 mm	-	-	-	-	-	-	2,74	2,35	2,49									
<i>Metallipitoisuus [%]</i>		magneettiset		ei magneettiset		magneettiset		ei magneettiset		magneettiset		ei magneettiset							
	4/8 mm	-	-	-	-	16,2	0	13,9	0,1										
	8/16 mm	-	-	-	-	10,1	0,5	9,9	0,1										
	16/32 mm	-	-	-	-	-	-	4,6	4,5										
<i>Vesiliukoiset sulfaatit [mg/kg]</i>		6100			11000				8800										
<i>Hehkutushäviö [%] &lt;4mm aineksesta</i>		2,8			2,9				2,4										
<i>Kokonaisrikki [mg/kg]</i>		7260			8720				9190										
<i>Jäädytys-sulatuskestävyys</i>	4/8 mm	-			-				< 2 mm:ksi 6,6/6,7/7,1 % keskiarvo <b>6,8 %</b>										
	8/16 mm	-			-				< 4 mm:ksi 7,2/7,8/6,3 % keskiarvo <b>7,2 %</b>										
	16/32 mm	-			-				< 16 mm:ksi 5,4/4,4 % keskiarvo <b>4,9 %</b>										
<i>Uusiokiviaineksen luokittelu</i>	4/8 mm	Rc	Ru	Rb	Ra	Rg	X	Rc	Ru	Rb	Ra	Rg	X <sub>2)</sub>	Rc	Ru	Rb	Ra	Rg	X <sub>2)</sub>
	8/16 mm	-	-	-	-	-	-	1)	1)	1,5	1)	5,3	16,2	1)	1)	2,1	1)	6,3	14
	16/32 mm	-	-	-	-	-	-	1)	1)	7,5	1)	5,7	10,6	1)	1)	2,5	1)	1,9	10
<i>Los Angeles -luku</i>		-			-				43										
<i>Radioaktiivisuusindeksi</i>		<i>I</i> <sub>1</sub>	<i>I</i> <sub>2</sub>	<i>I</i> <sub>3</sub>	<i>I</i> <sub>4</sub>	<i>I</i> <sub>1</sub>	<i>I</i> <sub>2</sub>	<i>I</i> <sub>3</sub>	<i>I</i> <sub>4</sub>	<i>I</i> <sub>1</sub>	<i>I</i> <sub>2</sub>	<i>I</i> <sub>3</sub>	<i>I</i> <sub>4</sub>						
		0,30	0,12	0,04	0,02	0,33	0,13	0,05	0,02	0,30	0,12	0,04	0,02						

1) ei määritetty

2) sisältää vain metallit