

Haastekilpailu: Käytetyn hiekoitussepelin uusiokäyttö: Hiekoitussepelin tiivistymiskokeet



Antti Kalliainen, Eetu Korhonen, Ari Mäkinen &
Teemu Uusikauppila, Ramboll

Juulia Puukari & Joonas Huhtanen, Tampereen Infra
Pirkko Eteläaho & Mika Kolari, Business Tampere

Sisällysluettelo

- Tutkimuksen tarkoitus.....4
- Tutkimusmenetelmät.....7
- Rakentamisaikaiset mittaustulokset.....16
- Seurantamittaukset.....22
- Päätelmät.....26
- Lähteet.....28





RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tausta

- Hiekoitussepinä käytetään katkaistuja kiviaineslajitteita, joiden raekoko on tyypillisesti noin 2...3/4...8 mm. Murskatusta kiviaineksesta siis erotetaan seulomalla halutun alarajan alittava lajite pois tuotteen käytettävyyden parantamiseksi ja mm. pölyämisen vähentämiseksi. Vastaavasti hiekoitussepinä käytettävästä lajikkeesta poistetaan seulomalla liian suuret kivet, jotka voivat aiheuttaa ongelmia tienkäyttäjille.
- Käytön aikana hiekoitusseppi hienonee jonkin verran ja kiviainesrakeet kuluvat (pyöristyvät), lisäksi sepin poistamisen yhteydessä materiaalin joukkoon kerääntyy katuverkolla muodostuvaa muuta hienoainesta (katupölyä) sekä muita epäpuhtauksia. Oleellista kuitenkin on, että katkaistun sepinlajitteen raekokojakauma muuttuu käytön aikana. Useammassa tutkimuksessa (mm. Wikman 2024 & Niskanen 2010) on selvitetty käytetyn hiekoitussepin rakeisuutta. Tutkimuksissa tehtyjen määritysten perusteella käytetty hiekoitusseppi on ollut routimatonta raekokojakauman perusteella määritettynä.
- Tampereen alueella, useiden muiden lisäksi, on selvitetty käytetyn hiekoitussepin hyödyntämismahdollisuuksia hiekoitussepin sisältämien epäpuhtauksien näkökulmasta. Esim. Pokkinen (2024) on selvittänyt, että Tampereella pois kerätyn ja eräaseen kaupungin järjestämään toimituspaikkaan toimitetun hiekoitussepinlajitteen sisältämät haitta-ainepitoisuudet eivät ole ylittäneet VnA 214/2007 esitettyjä kynnysarvoja lukuun ottamatta Pirkanmaalla kiviaineksille tyypilliseen arseenipitoisuuteen. Arseeninkin osalta tutkitut pitoisuudet ovat olleet Pirkanmaalla määritettyä arseenin taustapitoisuutta pienemmät.

Tutkimuksen vaikuttavuus

- Hiekoitussepeleitä käytetään Suomessa vuosittain jopa 1,3 miljoonaa tonnia (Manninen 2019). Esimerkiksi Tampereen kantakaupungin alueelta kerätään hiekoitussepeleitä talvikauden jälkeen talteen noin 10 000 tonnia (Pokkinen 2024). Lisäksi lumenkaatopaikoille kertyy lumen sulaessa noin 3000...5000 tonnia hiekoitussepeleijätettä.
- Nykytilanteessa käytetty hiekoitussepele on jätettä. Talven jälkeen poiskerätyn hiekoitussepelelin käsittelyä ja uusiokäyttöä liukkaudentorjuntamateriaalina on tarkasteltu useissa tutkimuksissa (esim. Kaila 2015 & Nissinen 2021), mutta toistaiseksi menetelmät eivät ole yleistyneet suuressa mittakaavassa.
- Hiekoitussepeleille on haussa EEJ-status, eli ei enää jätettä -sertifiointi, jolloin laajempi mahdollistaminen jatkokäyttöön avaisi entistä enemmän uusia ovia käytetyn hiekoitussepelelin hyödyntämiselle.
- Käytetyn hiekoitussepelelin hyödyntäminen maarakentamisen kerrosrakenteissa esimerkiksi kiertotalousalueiden kautta olisi, tutkimustulosten varmistuessa käytetyn hiekoitussepelelin teknistä kelpoisuutta, jatkossa mahdollista ja kannattavaa toimintaa.
- Käytetyn hiekoitussepelelin hyödyntäminen maarakentamisessa vähentäisi myös neitseellisen materiaalin louhintaa kun tarjolla olisi jo kertaalleen kierrätettyä materiaalia.

Tutkimuksen tavoitteet ja lähtökohdat

- Edellä kuvatun perusteella tässä työssä oletetaan, että käytetty hiekoitussepeleli kelpaa uusiokäyttöön:
 - Teknisestä näkökulmasta siten, että määritettyjen raekokojakaumien perusteella käytetty hiekoitussepeleli on routimatonta
 - Ympäristönäkökulmasta siten, että haitta-ainepitoisuudet eivät ylitä kynnyksarvoja.
- Työn tavoitteena on tutkia hiekoitussepelelin tiivistymistä ja selvittää käytetyn hiekoitussepelelin hyödyntämismahdollisuudet materiaalin tiivistymisen kannalta.
- Sepelin tiivistymismittauksia on tehty työmaakohteissa jonkin verran, mutta kattavaa ja tarkempaa tutkimusta tai mittauksia ei ole vielä tehty. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää mahdollisia käyttökohteita käytetylle hiekoitussepelelille.
- Tutkimustuloksesta riippuen tutkimuksessa tehtävillä mittauksilla voidaan perustella, minkä tyyppisissä kohteissa käytettyä hiekoitussepeleliä voidaan jatkossa käyttää.

Tutkimusmenetelmät



Koerakenteet ja mittaukset

- Tutkimusmenetelmänä käytettiin koerakenteita, joiden tiivistymistä tarkkailtiin kahdella mittausmenetelmällä.
 - Koerakenne 1: Kokonaispaksuus 30 cm, rakennetaan kahdessa 15 cm kerroksessa, Laatu luokka I
 - Koerakenne 2: Kokonaispaksuus 30 cm, rakennetaan kolmessa 10 cm kerroksessa, Laatu luokka I
 - Koerakenne 3: Kokonaispaksuus 40 cm, rakennetaan kahdessa 20 cm kerroksessa, Laatu luokka I
 - Koerakenne 4: Kokonaispaksuus 30 cm, rakennetaan kahdessa 15 cm kerroksessa, Laatu luokka I. Kasakostea rakenne.
- Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti tutkimuksessa oli tarkoitus vertailla myös kahden eri laatu luokan käytettyä hiekoitussepeä. Koska valtaosa alueella olleesta hiekoitussepeästä oli jo ajettu muualle, jouduttiin tästä tavoitteesta luopumaan.
- Sen sijaan tarkasteltiin laatu luokan I sepeä käyttäytymistä myös kastelemattomassa rakenteessa.
- Kunkin koerakenteen suunniteltu koko oli noin 3 x 5 m. Myös tästä tavoitteesta jouduttiin kuitenkin tinkimään käytössä olleen pienen sepeä määrän takia. Koerakenteiden lopullinen koko oli noin 2 x 2,5 m.
- Rakenteiden tiiviysastetta mitattiin säteilymittauslaitteella (Troxler 3411-B).
- Rakenteiden tiiviyssuhdetta mitattiin kannettavalla pudotuspainolaitteella (Loadman II).

Tiiviysasteen mittaaminen

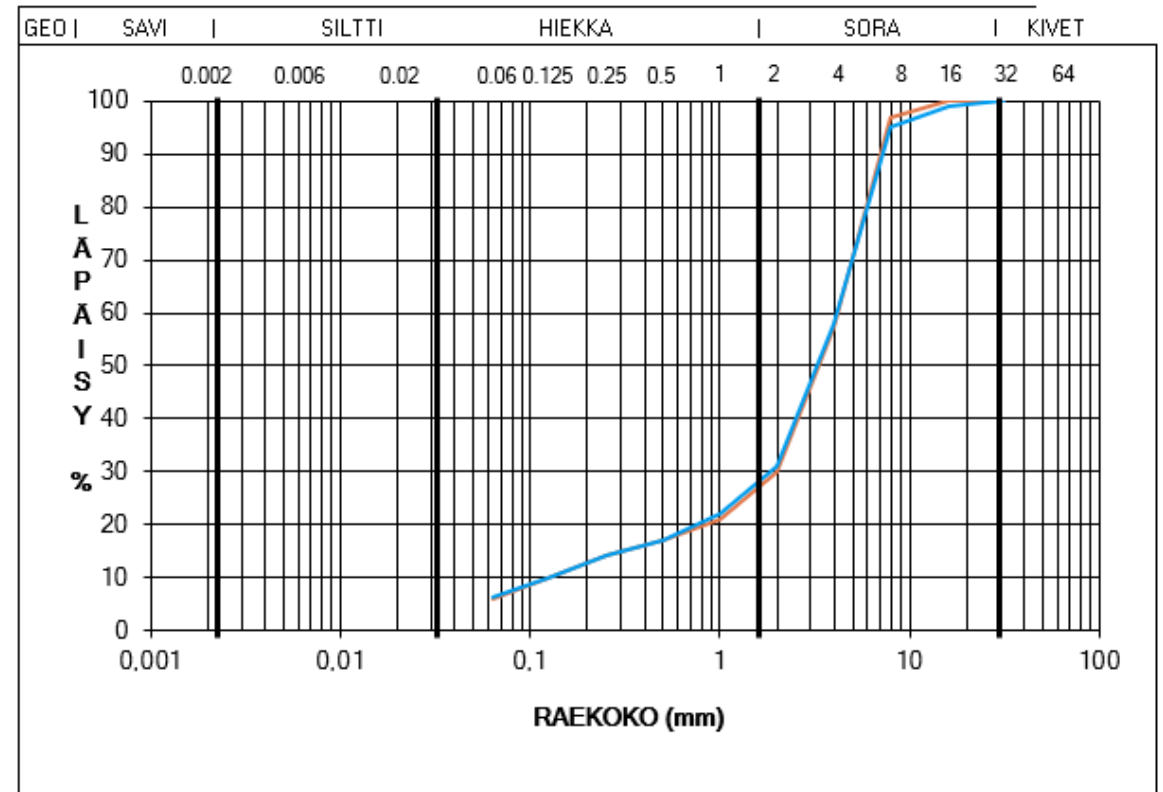
- Säteilymittauslaitteilla (Troxler) mitataan säteilylähteen lähettämän radioaktiivisen säteilyn kulkeutumista mitattavan kerroksen läpi laitteessa olevaan vastaanottimeen. Säteilyn voimakkuus on suoraan verrannollinen väliaineen tiheyteen. Mittaus voidaan tehdä sekä suoramittauksena (mittaussyvyys säädettävissä) että pinta- eli heijastusmittauksena (Kalliainen et. al. 2011).
- Suoramittauksessa laite asetetaan tasatulle maapohjalle ja sauvan päässä sijaitseva säteilylähde työnnetään rakenteen sisään. Tämän jälkeen mitataan rakenteen tiiviys- ja kosteustila valitulla syvyydellä (5...30 cm, 5 cm porrastus).
- Kun tiedetään väliaineen tiivein mahdollinen tila, saadaan säteilyn voimakkuudesta määritettyä rakenteen tiiviysaste. Maarakenteiden tapauksessa tarkasteltavalle maamateriaalille määritetään laboratoriossa maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus.
- Pintamittauksessa säteilylähde ei työnnetä rakenteeseen ja määritetty tilavuuspaino edustaa siten lähinnä mitattavan rakenteen pinnan tiheyttä. Rakenteen pinnan tasaisuus saattaa vaikuttaa pintamittauksen tarkkuuteen, sillä pinnan epätasaisuudet tulkitaan tyhjätilaksi.
- Tässä tutkimuksessa mitattiin tiiviysastetta pintamittauksena rakenteiden tiivistämisen aikana, jotta saadaan tietoa tiivistystyön onnistumisesta. Valmiit koerakenteet suoramitattiin tallentaen tieto tiiviystilasta kaikilla mittaussyvyyksillä.

Tiiviyssuhteen mittaaminen

- Loadman-kannettava pudotuspainolaite (AL-Engineering Oy) on alun perin kehitetty mittaamaan rakeisten maarakennekerrosten ja myöhemmin myös sidottujen kerrosten kantavuuksia. Kannettavalla pudotuspainolaitteella mitataan tutkittavan alustan painuminen laitteen aiheuttaman dynaamisen kuormituksen vaikutuksesta. Mittauksen vaikutussyvyyteen vaikuttaa kuormituslevyn halkaisija: Mitä suurempi mittauslevyn halkaisija on, sitä suurempi laitteen ”tehollinen” mittaussyvyys (Boussinesqin teoria). (Kalliainen et. al. 2011)
- Mittauksissa voidaan käyttää halkaisijaltaan 132, 200 tai 300 mm pohjalevyä. Laitteessa oleva 10 kg teräspaino pudotetaan (pudotuskorkeus 800 mm) vapaasti laitteen pohjalevyille. Painon pohjaan on kiinnitetty kumivaimennin, jonka avulla voidaan säätää sekä kuormituksen suuruutta että vaikutusaikaa. Kuormitus aiheuttaa tutkittavan alustan painuman, joka mitataan kiihtyvyyssanturin avulla. Pudotuspainolaitteen mittauselektroniikka on sijoitettu putken yläosaan. Putken alaosaan on asennettu lisäksi voima-anturi. Kevyehkön kuormituksen takia Loadmanin kuormitusvaikutus ei ylety kovin syvälle tai halkaisijaltaan suurta levyä käytettäessä kuormituksen mobilisoima jännitys- ja muodonmuutostaso jää alhaiseksi. Eräiden laboratoriossa tehtyjen mittausten perusteella on voitu päätellä, että laitteen kuormituksella on jonkinlaista vaikutusta jopa 300 mm syvyyteen saakka (Rinta-Aho, 2002). Parhaiten Loadman -laitteisto soveltuu hienorakeisten maakerrosten kantavuuden mittalaitteeksi. (Kalliainen et. al. 2011)
- Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään pienintä, halkaisijaltaan 132 mm mittauslevyä, koska koerakenteet tiivistettiin suhteellisen ohuina kerroksina. Lisäksi infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa eri rakenneosien tiiviyssuhdevaatimusten taso on ilmoitettu 132 mm mittauslevylle.

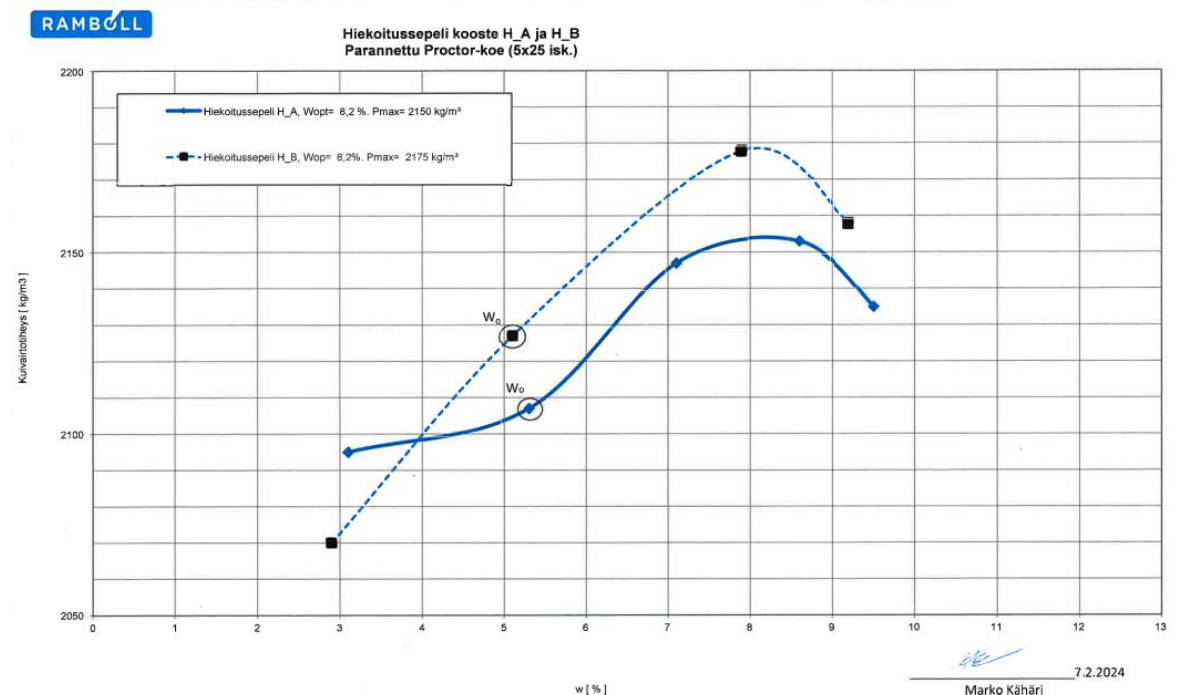
Näytteenotto ja hiekoitussepin raekokojakauma

- Näytteet otettiin Eskonperkiön kiertotalousalueelta 6.5.2024. Näytteitä otettiin kahdesta kasasta, joista suuremmassa kasassa oli Laatuluokan I ja pienemmässä kasassa Laatuluokan II käytettyä hiekoitussepiä.
- Näytteenotto tehtiin alueella olleista käytetyn hiekoitussepin varastokasoista ottamalla lapiolla osanäytteitä eri kohdista kasaa, joista rakennettiin varsinainen tutkimusnäyte.
- Otetuista näytteistä tutkittiin käytetyn hiekoitussepin raekokojakauma pesuseulonnalla. Näytteiden raekokojakaumat on esitetty oikealla kuvassa rakeisuuskäyrinä. Laatuluokan I (oranssi) ja laatuluokan II (sininen) rakeisuudet olivat lopulta lähes identtiset.
- Raekokojakaumat vastaavat verrattain hyvin aiemmissa tutkimuksissa tutkittuja käytettyjä hiekoitussepeleitä.



Hiekoitusseppelin optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino

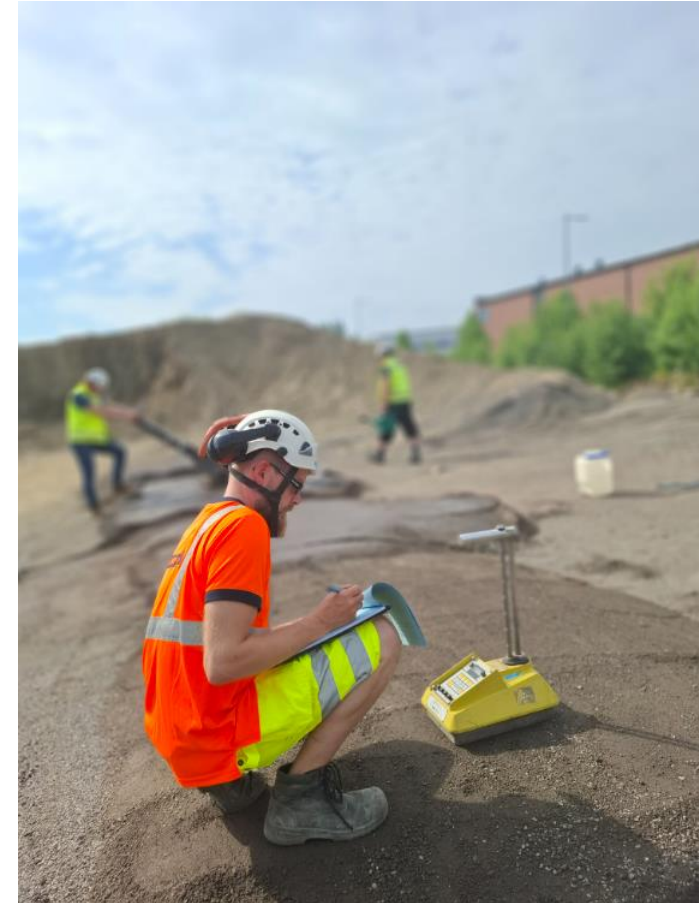
- Otetuista näytteistä tutkittiin käytettyjen hiekoitusseppien maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus parannetulla Proctor-kokeella.
- Molempien hiekoitusseppien optimivesipitoisuus oli 8,2 %.
- Laatuluokan I sepelin maksimikuivatilavuuspaino oli 2150 kg/m^3 ja laatuluokan II sepelin 2175 kg/m^3 .
- Tulokset olivat keskenään pääpiirteittäin identtiset ja varsinkin laatuluokan II sepelin maksimikuivatilavuuspainon ja optimivesipitoisuuden kehittymistä kuvaava käyrä on muodoltaan samankaltainen tavallisten maalajien, kuten hiekan, käyrän kanssa.
- Mittauksissa on käytetty maksimikuivatilavuuspainona arvoa 2150 kg/m^3 , joka siis vastaisi 100 % tiiviysastetta.



Koerakenteiden mittaukset

- Koerakenteiden periaate.
- Viereisen kuvan x-merkinnällä tarkoitetaan jokaisesta tiivistettävästä kerroksesta tehtävää tiiviysuhteen mittaamista kannettavalla pudotuspainolaitteella.
- Kuvan o-merkintä tarkoittaa jokaisesta tiivistettävästä kerroksesta tehtävää tiiviyssasteen mittaamista säteilymittauslaitteella.

			5 m			
			x		x	
3 m		o		o		o
			x		x	
			x		x	
3 m		o		o		o
			x		x	
			x		x	
3 m		o		o		o
			x		x	



Seurantamittaukset

- Käytetyn hiekoitussepin hyödyntämismahdollisuuksien kannalta on oleellista tutkia myös rakennettavien kerrosten jälkitiivistymistä. Jälkitiivistymistä tarkkaillaan toisen tiivysmittauskerran avulla.
- Jälkitiivistymisen tarkkailu tehtiin seuraavasti:
 - Valmiiden rakenteiden pinnasta mitataan tiiviyssuhde kannettavalla pudotuspainolaitteella 9 pisteestä ja tiivysaste säteilymittauslaitteella 9 pisteestä.
 - Säteilymittauslaitteella mitataan tiivysaste 250 ja 100 mm syvyyksien lisäksi myös 300, 200, 150 ja 50 mm syvyyksiltä.
 - Mittaukset tehtiin kahden viikon kuluttua koerakenteiden rakentamisesta.

			5 m		
		x o	x o		x o
3 m		o x	x	o x	o
		x o	x o		o x



Tiiviyssuhde- ja tiiviysastevaatimukset

- Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset-julkaisussa (InfraRYL) on esitetty maarakenteille asetetut yleiset vaatimukset rakenneosien tiiviyn osalta.
- Viereiseen taulukkoon on koottu esimerkkejä toteutuvan raekokojakauman perusteella käytetyille hiekoitussepelille soveltuvien kerrosrakenteiden tiiviysvaatimuksia.
- Taulukossa esitettyjä rakenneosia voidaan pitää soveltuvina käyttökohteina käytetyille hiekoitussepelille, jos tiiviysvaatimukset täyttyvät.

Rakennekerros	Tiiviysaste keskimääräinen (%)	Tiiviysaste yksittäinen (%)	Tiiviyssuhde E_{max}/E_1 (-)
18111 Maapenger katurakenteessa	92	90	-
18111 Maapenger tierakenteessa, kun syvyys TSV:stä 2...5 m	90	85	-
18310 Asennusalustat	90	88	$\leq 2,9$ (yksittäinen 3,0)
18330 Lopputäyttö	*riippuu ympäröivästä rakennekerroksesta	*riippuu ympäröivästä rakennekerroksesta	$\leq 2,9$
21110 Suodatinkerros	92	90	-



RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Rakentamisen- aikaiset mittaustulokset

Mittaukset koerakenteiden alustasta

- Kaikkien koerakenteiden alustan kantavuus mitattiin kannettavalla pudotuspainolaitteella kahdesta mittauspisteestä. Tulokset on esitetty viereisessä taulukossa.
- Tulosten perusteella koerakenteiden alusta on hyvin kantava ja suhteellisen tasalaatuinen. Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulosten tulkinnassa tulee aina huomioida mittausmenetelmän suhteellisen pieni syvyysvaikutus.
- Tulosten vaihtelu selittyy suurelta osin hyvin lähellä mitattua pintaa olevista kivistä ja alustan jäykkyydeksi otaksutaan myöhemmissä laskelmissa noin 100 MPa.

Rakenteen alusta	E_{\max} (MPa)	E_{\max}/E_1 (-)
Koerakenne I	94	1,75
Koerakenne II	137	2,16
Koerakenne III	148	2,59
Koerakenne IV	90	2,01

Mittaukset kannettavalla pudotuspainolaitteella

- Jokaisen tiivistetyn kerroksen pinnasta mitattiin suurin rakenteen jäykkyyttä kuvaava kantavuusarvo E_{max} ja tiiviyssuhde E_{max}/E_1 neljästä mittauspisteestä.
- Saavutettavat tiiviyssuhteiden arvot vaihtelevat pisteittäin jonkin verran, mutta keskimäärin tiiviyssuhteet ovat verrattain hyviä kaikkien rakenteiden tapauksessa.
- Käytetyn hiekoitussepelin jäykkyyssmoduuli on alhainen, rakennekerrosten paksutessa rakenteen pinnalta mitattava jäykkyyssmoduuli alenee kaikkien rakenteiden tapauksessa.



Koerakenne I					
Kantavuusarvo E_{max} (MPa)					
Mittauspiste	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 4	Keskiarvo
Kerros I, 10 cm	114	127	98	104	111
Kerros II, 20 cm	85	75	78	97	84
Kerros III, 30 cm	61	56	67	64	62
Tiiviyssuhde E_{max}/E_1 (-)					
Kerros I, 10 cm	2,24	3,34	2,33	2,31	2,56
Kerros II, 20 cm	2,36	3,26	2,11	3,59	2,83
Kerros III, 30 cm	2,03	2,07	1,91	1,83	1,96
Koerakenne II					
Kantavuusarvo E_{max} (MPa)					
Kerros I, 15 cm	57	107	80	105	87
Kerros II, 30 cm	74	66	75	75	73
Tiiviyssuhde E_{max}/E_1 (-)					
Kerros I, 15 cm	1,5	2,06	1,9	2,1	1,89
Kerros II, 30 cm	2,31	5,08	1,67	1,92	2,75
Koerakenne III					
Kantavuusarvo E_{max} (MPa)					
Kerros I, 20 cm	102	78	77	82	85
Kerros II, 40 cm	74	53	65	67	65
Tiiviyssuhde E_{max}/E_1 (-)					
Kerros I, 20 cm	2,22	1,9	1,79	1,95	1,97
Kerros II, 40 cm	3,52	1,83	1,81	1,72	2,22
Koerakenne IV					
Kantavuusarvo E_{max} (MPa)					
Kerros I, 15 cm	68	64	62	59	63
Kerros II, 30 cm	55	54	54	52	54
Tiiviyssuhde E_{max}/E_1 (-)					
Kerros I, 15 cm	1,7	1,73	4,77	1,74	2,49
Kerros II, 30 cm	3,44	1,57	1,54	1,63	2,05

Mittaukset säteilymittauslaitteella

- Jokaisen tiivistetyn kerroksen pinnasta mitattiin rakenteen vesipitoisuus ja tiiviysaste kolmesta mittauspisteestä ns. heijastusmittauksena.
- Heijastusmittauksen on todettu kuvaavan tilannetta vain hyvin lähellä rakenteen pintaa, joten valmiin rakenteen pinnasta mitattiin vastaavat suuret myös ns. suoramittauksena kaikilla mittalaitteen mahdollistamilla mittaussyvyyksillä (5...30 cm 5 cm portaissa).
- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteesta mitatut vesipitoisuudet ja tiiviysasteet.
- Lihavoidulla merkitty tiiviysaste on laskettu InfraRYLissä kuvatulla tavalla, 10 ja 25 cm syvyyksiltä määritettyjen mittaustulosten keskiarvona.



Koerakenne I				
Vesipitoisuus (%)				
Mittauspiste	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Keskiarvo
Kerros I, 10 cm	5,3	6,7	7,1	6,4
Kerros II, 20 cm	6,7	5,8	6,1	6,2
Kerros III, 30 cm	7,0	6,1	6,6	6,6
Tiiviysaste (%)				
Kerros I, 10 cm	96,6	96,9	95,6	96,4
Kerros II, 20 cm	96,1	96,3	90,6	94,3
Kerros III, 30 cm	90,8	89,4	89,0	89,7
Koerakenne II				
Vesipitoisuus (%)				
Kerros I, 15 cm	7,6	6,1	7,6	7,1
Kerros II, 30 cm	6,6	6,8	9,3	7,6
Tiiviysaste (%)				
Kerros I, 15 cm	100,0	95,5	99,8	98,4
Kerros II, 30 cm	91,0	88,1	90,0	89,7
Koerakenne III				
Vesipitoisuus (%)				
Kerros I, 20 cm	7,0	7,5	6,5	7,0
Kerros II, 40 cm	7,1	7,2	6,9	7,1
Tiiviysaste (%)				
Kerros I, 20 cm	96,3	97,4	100,0	97,9
Kerros II, 40 cm	87,8	89,9	88,7	88,8
Koerakenne IV				
Vesipitoisuus (%)				
Kerros I, 15 cm	4,7	3,9	4,2	4,3
Kerros II, 30 cm	4,1	4,6	4,4	4,4
Tiiviysaste (%)				
Kerros I, 15 cm	91,5	86,8	90,1	89,5
Kerros II, 30 cm	85,6	86,5	88,0	86,7

Mittaustulosten analysointi

- Koerakenteiden Troxler-laitteella mitattu vesipitoisuus eri rakennekerroksissa vaihteli noin 6-7 %-yksikön välillä. Rakenteisiin ei siis saatu toteutettua laboratoriokokeiden mukaista optimivesipitoisuutta. Kuten viereisestä kuvasta voidaan havaita, alkaa vesi nousta takaisinrakenteen pintaan tiivistystyön edetessä. Keskimäärin ilmiö havaittiin noin 6 tiivistyskerran jälkeen.
- Veden alkaessa nousta takaisin rakenteen pintaan tiivistystyö lopetettiin ja oletettiin, että käytössä olleella kalustolla on saavutettu paras mahdollinen lopputulos.
- Kalliomurske on myös materiaalina tyypillisesti sellainen, joka läpäisee vettä nopeasti ja toisaalta pidättää vettä huonosti. On täysin mahdollista, että kenttäolosuhteissa ei saavuteta laboratorio-olosuhteita.



Mittaustulosten analysointi

- Kannettavalla pudotuspainolaitteella mitatut tiiviyssuhteet olivat keskimäärin erittäin hyviä.
- Laitevalmistajan esittämä korrelaatio mittauksessa saavutettavan tiiviyssuhteen ja materiaalin tiiviysasteen välillä on esitetty esim. InfraRYL 2010-julkaisussa. Jos saavutettava tiiviyssuhde 132 mm pohjalevyllä on $\leq 2,9$, on tiiviysaste tällöin ≥ 90 %.
- Kaikkien rakenteiden jokaisen rakennetun kerroksen keskimääräinen tiiviyssuhde oli koerakenteissa $\leq 2,9$. Toki joukkoon mahtuu yksittäisiä mittaustuloksia, joiden suuruusluokka oli 4...5, mutta tällöin kyse voi olla myös osin epäonnistuneesta mittauksesta.
- Jos muutetaan mittauksissa käytettyä 100 % tiiviystilaa (maksimikuivatilavuuspainoa) vastaamaan 6...7 % vesipitoisuudella toteutuvaa maksimikuivatilavuuspainoa, saadaan viereisen taulukon mukaiset tiiviysasteet koerakenteille.

Koerakenne I				
Tiiviysaste (%)				
Kerros III, 30 cm	92	90,7	90,2	91,0
Koerakenne II				
Kerros II, 30 cm	92,3	89,4	91,3	91,0
Koerakenne III				
Kerros II, 40 cm	89	91,2	91,6	90,6
Koerakenne IV				
Kerros II, 40 cm	87	87,7	89,2	88,0

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, blue, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue checkmark-like shape inside it.

Bright ideas.
Sustainable change.

Seurantamittaukset



Mittaukset kannettavalla pudotuspainolaitteella

- Tiiviyssuhde ja kantavuus mitattiin seurantamittausten yhteydessä 9 pisteestä jokaisen koerakenteen pinnalta.
- Rakenteen jäykkyyttä kuvaava moduuliarvo E_{\max} oli kasvanut kaikissa rakenteissa hieman. Rakenteet olivat siis asettuneet rakentamisen jälkeen.
- Tiiviyssuhteet olivat puolestaan kasvaneet kaikissa rakenteissa. Todennäköisesti tämä johtuu rakenteen pinnan kuivumisesta, jolloin yksittäisten rakeiden liikkeet vaikuttavat mittaustuloksiin.
- Tuloksissa oli myös suurempi hajonta verrattuna rakentamisaikaisiin mittauksiin.

Mittauspiste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Keskiarvo
Koerakenne I										
Kantavuusarvo E_{\max} (MPa)	77	90	82	92	80	146	81	87	84	91
Tiiviyssuhde E_{\max} / E_1 (-)	2,48	2,43	2,34	2,30	2,50	5,62	1,88	2,23	2,33	2,68
Koerakenne II										
Kantavuusarvo E_{\max} (MPa)	83	83	85	85	89	89	82	95	81	86
Tiiviyssuhde E_{\max} / E_1 (-)	2,68	1,89	2,13	2,13	1,33	2,87	2,22	2,57	2,53	2,26
Koerakenne III										
Kantavuusarvo E_{\max} (MPa)	77	90	47	76	72	78	92	84	85	78
Tiiviyssuhde E_{\max} / E_1 (-)	7,00	2,09	1,81	2,00	2,00	2,00	4,60	5,25	1,93	3,19
Koerakenne IV										
Kantavuusarvo E_{\max} (MPa)	54	65	73	61	68	68	56	72	71	65
Tiiviyssuhde E_{\max} / E_1 (-)	1,86	1,59	2,03	2,10	1,70	1,79	3,11	1,64	5,46	2,36

Mittaukset säteilymittauslaitteella

- Tiiviysaste ja vesipitoisuus mitattiin seurantamittausten yhteydessä 9 pisteestä kaikista rakenteista. Viereisessä taulukossa tiiviysasteet on esitetty 100 ja 250 mm syvyydeltä tehtyjen mittausten keskiarvona.
- Rakenteiden vesipitoisuus oli rakentamisen jälkeen luonnollisesti alentunut, ja kaikkien koerakenteiden vesipitoisuus oli seurantamittausten aikaan kasakostean materiaalin luokkaa. Voidaan siis todeta, että käytetty hiekoitusseppeli pidättää itseensä vettä noin 4...5 paino-%.

Mittauspiste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Keskiarvo
Koerakenne I										
Vesipitoisuus (%)	4,7	4,3	4,5	4,7	4,7	4,4	4,3	4,1	4,9	4,5
Tiiviysaste (%)	90,6	89,2	89,4	88,6	89,0	88,7	90,0	89,1	89,9	89,4
Koerakenne II										
Vesipitoisuus (%)	4,3	4,6	4,4	4,3	4,3	4,2	4,8	4,0	4,1	4,3
Tiiviysaste (%)	89,2	89,3	90,1	88,6	89,1	88,5	90,5	88,7	88,8	89,2
Koerakenne III										
Vesipitoisuus (%)	4,4	4,4	4,9	4,4	4,5	4,6	4,0	4,4	4,8	4,5
Tiiviysaste (%)	88,3	90,1	87,6	89,1	89,8	88,7	87,7	88,1	92,7	89,1
Koerakenne IV										
Vesipitoisuus (%)	3,9	4,3	4,1	3,7	4,1	3,9	3,9	3,9	4,1	4,0
Tiiviysaste (%)	85,7	86,5	84,9	87,8	87,9	86,5	86,2	85,7	84,2	86,1

Mittaustulosten analysointi

- Jos kannettavalla pudotuspainolaitteella tehdyistä mittauksista jätetään huomioimatta yksittäiset pisteet, joiden tiiviyssuhde poikkeaa huomattavasti (kertaluokka 4...5) muista mitatuista, on kaikkien rakenteiden tiiviyssuhde $\leq 2,5$. Tiiviyssaste käyttäen valmistajan määrittämää korrelaatiokerrointa olisi tällöin $\geq 95 \%$.
- Viereisessä taulukossa on esitetty säteilymittauslaitteella mitatut tiiviyssasteet muunnettuna siten, että tiiviyssasteen vertailuarvona on käytetty 4 % vesipitoisuudessa toteutuvaa maksimikuivatilavuuspainoa 2100 kg/m^3 . Tällöin päästään keskimääräisen tiiviyssasteen osalta lähelle 92 % vaatimusta.
- Tiivistettävän rakenteen paksuudella näyttää olevan vaikutusta rakenteen tasalaatuisuuteen, 20 cm kerroksissa tiivistettäessä tiiviyssasteiden hajonta kasvaa. Rakennettaessa ei kannata tavoitella yli 20 cm kerrospaksuutta.
- Myös rakenteen kastelulla ennen tiivistämistä on tulosten perusteella huomattava vaikutus tiiviyssasteeseen.

Mittauspiste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Keskiarvo
Koerakenne I										
Tiiviyssaste (%)	92,8	91,3	91,6	90,7	91,2	90,8	92,2	91,2	92,0	91,5
Koerakenne II										
Tiiviyssaste (%)	91,3	91,4	92,3	90,7	91,2	90,6	92,7	90,9	91,0	91,3
Koerakenne III										
Tiiviyssaste (%)	90,5	92,3	89,7	91,2	92,0	90,9	89,8	90,2	94,9	91,3
Koerakenne IV										
Tiiviyssaste (%)	87,7	88,5	86,9	89,9	90,0	88,5	88,3	87,8	86,2	88,2

Päätelmät

- ✓ Jos tarkastellaan koerakenteiden tiiviyyttä kantavuusmittauksista määritettyjen tiiviyssuhteiden avulla, voisi käytettyä hiekoitussepeä käyttä lähes missä tahansa rakenteessa, joihin se rakeisuutensa perusteella sopii.
- ✓ Jos taas tarkastellaan koerakenteiden tiiviyyttä tiiviyssuhteiden avulla, voidaan todeta, että tiiviyssuhteet jäivät hieman liian pieniksi, jos InfraRYLissä esitettyihin tiiviyssuhteivaatimuksiin.
- ✓ Jos kuitenkin lasketaan koerakenteiden tiiviyssuhteita laboratoriossa määrittäytystä maksimikuivatilavuuspainosta perustellusti aavistuksen alennetulla vertailuarvolla, saavutetaan vähintään noin 90 % tiiviyssuhte.

Päätelmät

- ✓ Tehtyjen analyysien perusteella voidaan todeta, että käytettyä hiekoitussepeä voitaisiin käyttää kaikkiin sellaisiin rakennekerroksiin, joiden tiiviysastevaatimus InfraRYLissä on keskimäärin 92 % ja yksittäisen pisteen osalta 90 %. Tämä kuitenkin edellyttää, että rakennekerrokset tehdään verrattain ohuina, enintään 20 cm paksuina ja tiivistettävä rakenne kastellaan ennen tiivistämistä.
- ✓ Jos hiekoitussepeillä realistisesti saavutettavaan maksimikuivatilavuuspainon arvoa pitäisi ennen yleisempää käyttöä varmentaa tarkemmin, kannattaisi ominaisuutta tutkimustulosten perusteella tarkastella laboratoriossa kiertotiivistimellä Proctor-sullonnan sijaan.
- ✓ Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustuloksista määritetty käytetyn hiekoitussepeän moduuliarvo on noin 30...70 MPa. Moduuli oli korkeampi seurantamittausten aikaan, kun rakenne oli kuivunut. Suunnittelussa voitaisiin käyttää mitoitusarvona vähintään hienoa hiekkaa vastaavaa 35 MPa, joka huomioisi myös märät käyttöolosuhteet.

Lähteet

- Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset InfraRYL. 2024. Rakennustiedon verkkopalvelut. Saatavilla rajoitetusti.
- Niskanen, P., 2010. Hiekoitussepin uusiokäytön kartoitus. Rakennustekniikka. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2010.
- Kaila, O., 2015. Hiekoitussepin elinkaari ja uusiokäyttö Turun kaupungissa. Rakennustekniikka. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2015. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060812746>.
- Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A. & Kolisoja, P., 2011. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2011. Helsinki. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121366/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manninen, O., 2019. Mihin hiekoitushiekka päättyy kaduilta? Saatavilla: <https://www.op-media.fi/liikenne/mihin-hiekoitushiekka-paatyy-kaduilta/>
- Nissinen, J., 2021. Harjajätteen jalostaminen hiekoitusmateriaaliksi. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. LAB-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2021. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021060814991>.
- Pokkinen, M., 2024. Hakemus käytetyn hiekoitussepin jättestatuksen päättymiselle koskien kiinteistöä 837-320-6030-9 osoitteessa Lempääläntie 31. Jätteen luokittelun päättymistä koskeva tapauskohtainen päätöksenteko. Tampereen kaupunki. Saatavilla: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2024-01/hakemus_sepeli_lempaalantie_31.pdf
- Rinta-Aho, V., 2002. Loadman II –kennettava pudotuspainolaite. Ympäristö- ja yhdyskuntatekniikka. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Insinöörityö. 2002.
- Wikman, E., 2024. Hiekoitussepin hyötykäytön mahdollisuuksien arviointi asfalttikiviaineksena. Water and environmental management. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2024. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024042219875>

Bright
ideas.
Sustainable
change.

RAMBOLL