

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka, Maa- ja kalliorakentaminen

Tommi Nororaita

Kevennysrakenteen suunnittelu ja toteuttaminen tierakenteessa

Opinnäytetyö 2014

Tiivistelmä

Tommi Nororaita

Kevennysrakenteen suunnittelu ja toteuttaminen tierakenteessa, 45 sivua, 1 liite
Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikka

Maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2014

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, Rakennusinsinööri Antti Korkeamäki, YIT Rakennus Oy

Tämä opinnäytetyö käsittelee kevennysmateriaalien suunnittelua, toteuttamista sekä kustannusvertailua tierakenteessa. Työn tavoitteena oli kertoa kevennysrakenteen suunnittelusta ja siitä saatua tietoa apuna käyttäen antaa selkeä ohje YIT Rakennus Oy:n työmaille kevennysrakenteen toteuttamisesta ja materiaalien välisistä kustannuseroista. Käsiteltävät kevennysmateriaalit olivat kevytsora, vaahtolasi ja rengaskevennykset.

Tieto on kerätty alan julkaisuista, ohjeista ja määräyksistä. Työn tekemisessä on käytetty hyödyksi myös Kehä III:n parannuksen toisen vaiheen työmaan yhteydessä saatuja kokemuksia sekä hankittu tietoa materiaalien toimittajilta ja suunnittelijoilta.

Opinnäytetyöprosessin aikana ilmeni, että käytännöt työmaalla ovat erilaisia. Eri-tyisesti tiivistystyön ja luiskauksen suhteen havaittiin, että työn toteuttajan tietämys ei aina ollut samalla tasolla materiaaltoimittajien antamien ohjeiden kanssa. Toivottu lopputulos vaatii, että työnjohdolla sekä työntekijöillä on riittävät tiedot työn oikeaoppisen toteuttamisen kannalta.

Asiasanat: kevennysrakenne, kevennysmateriaalit, kevennysrakenteen toteutus

Abstract

Tommi Nororaita

Planning and creating a lightening structure in road construction, 45 Pages, 1 appendice

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2014

Instructors: Mr Tuomo Tahvanainen, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

Mr Antti Korkeamäki, Civil Engineer, YIT Rakennus Oy

This bachelor's thesis deals with lightweight aggregates in road construction focusing on light gravel, foamed glass and tire lightened structures. The purpose of this work was to describe the whole lightened structure work from planning basics to building stage and costs. The knowledge of planning basics gives to workers the right instructions to create a proper lightened structure. The work was commissioned by YIT Rakennus Oy.

The information was gathered from literature, the internet and interviewing. The thesis was coordinated by YIT Rakennus Oy. The information was also gathered from the second phase of Ring III improvement work in Vantaa, Finland.

The management and workers had a different way to do the work and they also had lacking information of a proper lightened structure. Everyone should respect the building instructions of materials to avoid expensive repairs of a structure that are caused by mistakes during the work. This thesis gives the instructions how to secure the quality of a lightened structure work.

Keywords: Lightened structure, lightweight aggregate, realization of a lightened structure

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Kevennysrakenteet.....	6
2.1	Kevennysrakenteen käyttö.....	6
2.2	Käyttökohteet tierakentamisessa.....	7
2.2.1	Kevennys tiepenkereessä.....	7
2.2.2	Kevennys meluvalleissa ja meluvalliseinissä.....	9
2.2.3	Kevennys pohjaolosuhteiden jyrkissä muutoksissa.....	10
2.2.4	Putkilinjojen kevennys.....	11
2.2.5	Yhdistelmärakenteet ja rajoitukset.....	12
3	Kevennysmateriaalit.....	13
3.1	Suomessa käytetyt kevennysmateriaalit.....	13
3.2	Kevytsora.....	13
3.2.1	Kevytsoran käyttökohteet.....	14
3.2.2	Kevytsoran ominaisuudet ja tekniset tiedot.....	15
3.3	Vaahtolasi.....	16
3.3.1	Vaahtolasin käyttökohteet.....	18
3.3.2	Vaahtolasin ominaisuudet ja tekniset tiedot.....	19
3.4	Rengaskevennykset.....	21
3.4.1	Rengaskevennyksen käyttökohteet.....	22
3.4.2	Rengaskevennyksen ominaisuudet ja tekniset tiedot.....	23
4	Kevennyksen suunnittelu ja mitoitus.....	25
4.1	Suunnittelun ja mitoituksen periaatteet.....	25
4.1.1	Vakavuus.....	25
4.1.2	Painuma.....	25
4.1.3	Muut suunnittelussa huomioitavat asiat.....	27
4.2	Kevytsora- ja vaahtolasikevennyksen suunnittelun perusteet.....	27
4.3	Rengaskevennyksen suunnittelun perusteet.....	29
5	Kevennysrakenteen toteutus.....	30
5.1	Kevytsorapenkereen toteutus.....	30
5.1.1	Valmis kevytsorapenger ja –rakenne.....	32
5.1.2	Kevytsorapenkereen ja –rakenteen kelpoisuuden osoittaminen...32	
5.2	Vaahtolasipenkereen toteutus.....	33
5.2.1	Valmis vaahtolasipenger ja –rakenne.....	34
5.2.2	Vaahtolasipenkereen ja –rakenteen kelpoisuuden osoittaminen...35	
5.3	Rengaskevennyksen toteutus.....	37
6	Kustannukset.....	40
7	Yhteenveto.....	41

Liitteet

Liite 1 Kevytsora- ja vaahtolasikevennyksen laatu- ja työsuunnitelma

1 Johdanto

YIT Oyj on suomalainen rakennusalan yritys, joka toimii asunto-, toimitila- ja inf-rarakentamisen sektoreilla. YIT:n päämarkkina-alueet ovat Suomi, Venäjä, Baltian maat, Tšekki ja Slovakia.

Pääkaupunkiseudun merkittävät rakennushankkeet nyt ja tulevaisuudessa asettavat haasteita myös liikenteelle. Vantaalla Kehä III:n parantamisen toisessa vaiheessa Lahdenväylän ja Porvoonväylän väliselle osuudelle rakennetaan uusia rampeja ja siltoja sekä kolmannet kaistat. Lisäksi lentoaseman ympäristöä parannetaan liikenteen sujuvoittamiseksi tulevaisuuden isompia liikennemääriä huomioiden.

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa suunnitteluperusteisiin nojautuen työohje työmaalle kevennysrakenteen oikeaoppista toteutusta varten. Työ käsittelee aluksi yleisesti kevennysrakenteita ja materiaalien ominaisuuksien sekä suunnittelun perusteiden kautta päädytään kevennysrakenteen oikeaoppiseen toteutukseen ja kustannuksiin.

2 Kevennysrakenteet

2.1 Kevennysrakenteen käyttö

Kevennysrakenteiden käyttöä on esitetty Tielaitoksen ohjeessa Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tien kevennysrakenteet 1997 sekä Liikenneviraston ohjeessa Kevennysrakenteiden suunnittelu – Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 2011.

Rakentaminen on viime vuosina lisääntynyt merkittävästi heikosti kantavilla pohjamailla ja varautuminen tulva- ja merenpinnan nousuun on lisännyt kevennysrakenteiden käyttöä huomattavasti pengerkorkeuden kasvaessa.

Pehmeikköalueille rakennettaessa maarakenteista aiheutuvat kuormat ovat ympäröiviin olosuhteisiin nähden suuria, mikä muodostaa ongelmia rakenteen pitkäaikaistoimivuudelle. Tällaisia ongelmia ovat muun muassa suuret painumat ja penkereen tai kyseessä olevan alueen vakavuus. Myös siltojen tai tien ulkopuolisten rakenteiden perustuksia tulee suojella liian suurilta kuormilta ja pohjamaan liikkumisesta aiheutuvilta vaurioilta.

Kevennysrakenteet toimii hyvänä vaihtoehtona erilaisille pohjanvahvistusmenetelmille kuten stabiloinnille tai paalutukselle. Kevennys tarkoittaa yksinkertaisuudessaan kiviaineksesta aiheutuvan kuorman pienentämistä. Tällöin osa kiviaineksesta korvataan kevyemmällä materiaalilla, jolloin vaikutus on sama kuin tasauksen alentamisella. Pengerkorkeus ja penkereen tilavuus pysyy siis samana, mutta kevennysmateriaalin kiviainesta huomattavasti pienempi tilavuuspaino alentaa penkereen painoa, jonka seurauksena penkereen vakavuus paranee ja painumat sekä muut mahdolliset maan liikkeet pienenevät, kun kuorma pienenee.

Kevennystekniikka on pohjanvahvistusmenetelmistä kaikkein luonnollisin ja yksinkertaisin. Merkittävä etu erityisesti korjauskohteissa on rakentamisen nopeus, menetelmän joustavuus ja soveltuvuus erilaisiin kohteisiin.

Materiaaleista erityisesti kevytsora ja vaahtolasi toimivat myös routaeristeenä.

2.2 Käyttökohteet tierakentamisessa

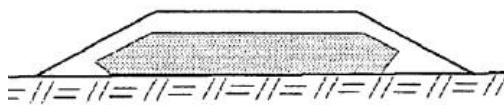
Kevennysrakenteita voidaan käyttää monessa eri yhteydessä sekä uudisrakentamisessa että korjaus- ja täydennysrakentamisessa. Käyttökohteita tierakenteissa ovat muun muassa

- tiepenkereet
- sillan tulopenkereet
- siirtymärakenteet
- meluvallit
- putkilinjat poikki- ja pituussuunnassa
- korjaus- ja täydennysrakentaminen.

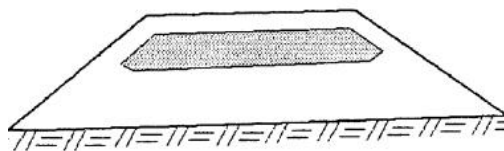
Tierakentamisessa kevennyspenger voidaan toteuttaa usealla eri tavalla riippuen ympäröivistä olosuhteista.

2.2.1 Kevennys tiepenkereessä

Yksinkertaisimmissa tapauksissa (Kuva 1, Kuva 2) kevennys saadaan helposti toteutettua pohjamaan tai penkereen päälle ilman suurempia kustannuksia tai lisätöitä. Pohja tasataan oikeaan korkoon ja tehdään reunapenkereet niin, että kevennysrakenteelle muodostuu niin sanottu allas, johon kevennysmateriaali voidaan kipata suoraan auton lavalta.

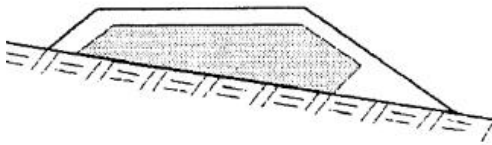


Kuva 1. Kevennyspenger tasaisella pehmeiköllä (Tien kevennysrakenteet 1997).



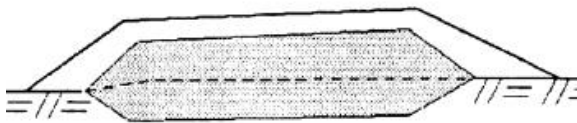
Kuva 2. Penkereen osittainen keventäminen (Tien kevennysrakenteet 1997).

Haastetta lisää maaston kaltevuus (Kuva 3), jolloin alueen ja penkereen vakavuus tulee ottaa tarkemmin huomioon virheiden tai riskien pienentämiseksi. Riskinä voi olla penkereen sortuminen tai liukuminen kaltevan pohjamaan päällä. Kyseisessä tilanteessa kevennyksellä pyritään osaltaan myös pienentämään liukumisriskiä, kun penkereen kuorma pienenee.



Kuva 3. Kevennys sivukaltevassa maastossa (Tien kevennysrakenteet 1997).

Kompensaatioperustuksessa (Kuva 4) kevennys toteutetaan penkereen lisäksi myös pohjamaahan. Tässäkin tapauksessa alueen vakavuus on otettava ennakkoon huomioon, jotta kaivanto ja kevennys voidaan toteuttaa turvallisesti ja riskejä välttämällä. Toteutustapa on hyvin saman tyyppinen kuin tasaisen pehmeikön ja osittaisen keventämisen tapauksessa.



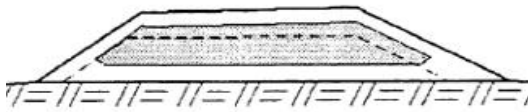
Kuva 4. Kompensaatioperustus (Tien kevennysrakenteet 1997).

Vanhan penkereen leventäminen voidaan myös toteuttaa kevennyksen avulla (Kuva 5), jos esimerkiksi lähellä sijaitsee olemassa olevia perustuksia tai muita rakennelmia, joita täytyy suojella, tai jos pohjaolosuhteet ovat epäedullisemmat kuin jo olemassa olevan penkereen kohdalla. Tien leventämisen yhteydessä putkilinjat ja kaapelit estävät usein stabiloinnin toteuttamisen, jos sellainen pohjanvahvistusmenetelmä on kyseiseen kohteeseen valittu. Tällöin kevennys on hyvä vaihtoehto, jotta saadaan estettyä tai pienennettyä painumia kyseisellä kohdalla kun maaperä jää stabiloimattomuuden takia putkilinjan kohdalla ympäröiviä alueita heikommaksi.



Kuva 5. Vanhan penkereen leventäminen levennystekniikalla (Tien kevennysrakenteet 1997).

Olemassa olevan penkereen korottamisen yhteydessä (Kuva 6) pehmeikköalueilla kevennysmateriaali tulee usein tarpeelliseksi sillä tasauksen nosto lisää penkereen kokonaiskuormaa, mikä lisää painumia erityisesti pehmeikköalueilla.

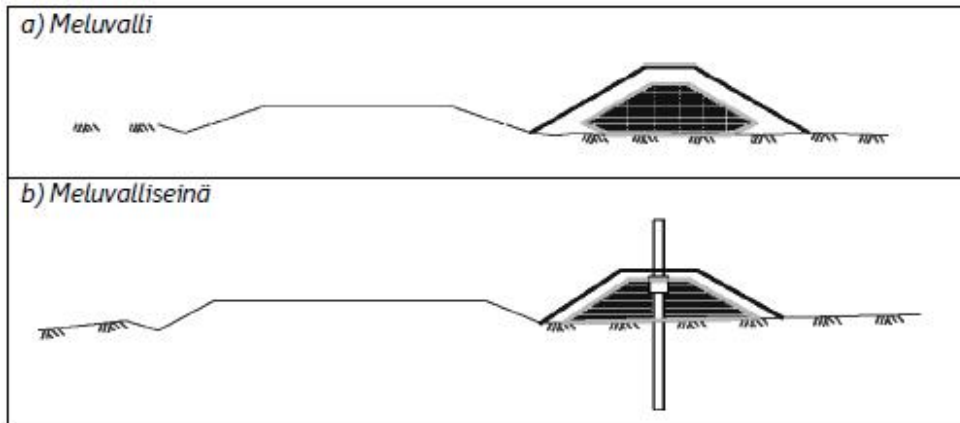


Kuva 6. Vanhan painuneen penkereen korjaaminen tai tasauksen nosto (Tien kevennysrakenteet 1997).

2.2.2 Kevennys meluvalleissa ja meluvalliseinissä

Tiepenkereen viereiset meluvallit (Kuva 7) ovat usein niin korkeita tai leveitä, että ilman kevennysratkaisua penkereen kuorma aiheuttaa painumia tai siirtymiä viereisessä tiepenkereessä tai muualla rakenteen läheisyydessä erityisesti huonommin kantavissa pohjaolosuhteissa.

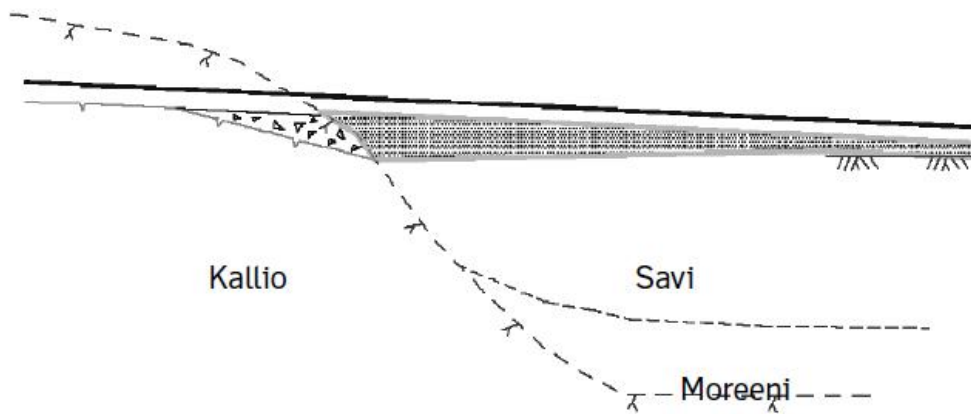
Meluvalli voidaan toteuttaa Kuvan 7a mukaisesti korvaamalla maa- tai kiviaines suoraan kevennysrakenteella. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää paalujen ja kevennysmateriaalin muodostamaa yhdistelmärakennetta (Kuva 7b), joka tulee tavallisesti kyseeseen rakenteissa, joissa on yhdistetty meluvalli ja –seinä huonosti kantavalla maaperällä.



Kuva 7. Kevennykset meluvallissa ja meluvalliseinässä (Tien kevennysrakenteet 1997).

2.2.3 Kevennys pohjaolosuhteiden jyrkissä muutoksissa

Kevennysrakennetta voidaan käyttää myös tasaamaan painumia, jos pohjaolosuhteet muuttuvat jyrkästi (Kuva 8). Siltojen tulopenkereissä kevennys tasaa painumia ja pienentää sillan rakenteisiin kohdistuvia maan paineesta aiheutuvia kuormia (Kuva 9).



Kuva 8. Pohjaolosuhteiden jyrkät muutokset tiepenkereessä (Tien kevennysrakenteet 1997).

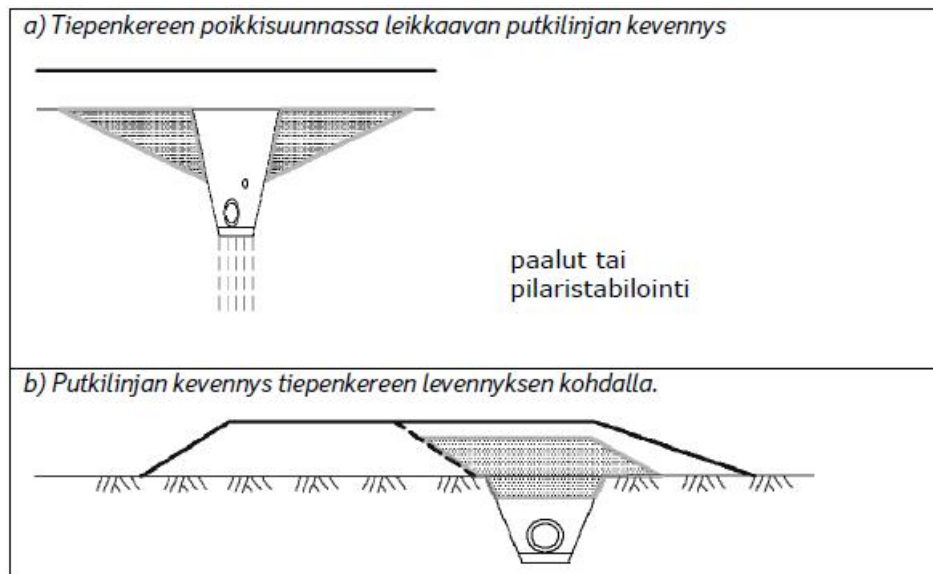


Kuva 9. Siltapenkereen siirtymärakenne kevennysmateriaalilla (Tien kevennysrakenteet 1997).

Siltojen tai niiden tulopenkereisiin liittyvissä kevennysratkaisuissa tulisi olla tiiviissä yhteistyössä siltasuunnittelijan kanssa. Kevennysrakenteella aikaansaatu maanpaineen pieneneminen on lähtökohtaisesti positiivinen asia, mutta pystykuorman pieneneminen voi kuitenkin joissain tapauksissa olla haitallisempaa. Paalukuormat jakaantuvat joka tapauksessa toisin ja siltatuen paalukosta tulee erilainen kuin muita pohjanvahvistusmenetelmiä käytettäessä (Tien kevennysrakenteet 1997).

2.2.4 Putkilinjojen kevennys

Putkilinjojen kohdalla (Kuva 10) kevennys pienentää putkeen kohdistuvia kuormia. Jotkin kevennysmateriaalit toimivat myös tehokkaana lämmöneristeenä. Tämä tulee monesti esiin kohteissa, joissa ei ole esimerkiksi päästy putkilinjan takia stabiloimaan kyseistä kohtaa, jolloin tie painuu kyseisellä kohdalla enemmän kuin muualla. Kevennyksen avulla penkereen kuorma pienenee ja tien pinta saadaan pysymään suunnitellussa korossa.



Kuva 10. Putkilinjoiden kevennys tiepenkereen kohdalla (Tien kevennysrakenteet 1997).

2.2.5 Yhdistelmä rakenteet ja rajoitukset

Kevennystekniikkaa on myös mahdollista käyttää silloin kun muita pohjanvahvistusmenetelmiä käytettäessä on ajauduttu ongelmiin, esimerkiksi jos stabilointityössä ei ole saavutettu riittävän suurien lujuuksien tai pystyöjitetun penkereen painumat ovat ennakoitua suurempia.

Lukuisten käyttömahdollisuuksien lisäksi kevennystekniikalla on myös omat rajoituksensa. Jos pohjamaan painumaominaisuudet ovat epäedulliset myös kevennetylle penkereelle saattaa tulla suurehkoja painumia, mikäli konsolidatiorajännitys ylitetään selkeästi. Esimerkiksi suoalueilla kevennysrakenteen ja telmaisten puu- tai teräsrakenteiden yhdistelmällä tiepenkereessä voi saavuttaa riittävän kantavuuden lähinnä vain alempiluokkaisilla teillä. Tulva-alueilla kevennysten tekemistä tai materiaalivalintaa rajoittaa veden aiheuttama noste, sillä osa materiaaleista on vettä kevyempää, mikä aiheuttaa haasteita rakennusvaiheessa ja myös silloin, kun vedenpinta on korkealla.

Pengerpaalutuksessa paalukuormien pienentäminen ja sitä kautta paalumäärän pienentäminen pengertä keventämällä ei ole vielä tällä hetkellä osoittautunut kilpailukykyiseksi ratkaisuksi, mutta esimerkiksi syvästabiloinnin ja kevennyksen yhdistelmä korkeilla penkereillä on joissain tapauksissa osoittautunut kilpailukykyiseksi ratkaisuksi (Tien kevennysrakenteet 1997).

3 Kevennysmateriaalit

3.1 Suomessa käytetyt kevennysmateriaalit

Suomessa on käytetty ja käytetään edelleen lukuisia eri kevennysmateriaaleja. Tämä työ keskittyy kevytsoraan, vaahtolasiin sekä osaltaan myös rengaskevennyksiin, joita on yleisesti käytetty tiepenkereissä sekä niihin liittyvissä rakenteissa. Muita käytettyjä materiaaleja ovat

- EPS-solumuovi
- kevytsorabetoni
- kivihiilituhkat
- terästeollisuuden kuonat
- vaahtobetoni
- palaturve
- puunjalostuksen sivutuotteet.

3.2 Kevytsora

Kevytsoraa on Suomessa käytetty laajasti kevennystarkoitukseen. Se valmistetaan savesta polttamalla 1100–1200 asteen lämpötilassa pitkässä sylinterimäisessä uunissa. Uunilla on hieman pituuskaltevuutta ja sen pyöriessä poltettava savimateriaali kulkee uunin päästä päähän. Uunin polttoaineena käytetään öljyä ja kivihiilipölyä (Tien kevennysrakenteet 1997).

Uunin läpi kulkiessaan savi kuivuu ensin pulverimaiseksi jauheeksi. Sen varsinainen paisuminen tapahtuu kideveden höyrystyessä, jonka jälkeen paisuneet ja pehmenneet savihiukkaset tarttuvat kiinni toisiinsa ja lopputuloksena syntyy erikokoisia pyöreähköjä rakeita (Kuva 11). Rakeet sisältävät runsaasti suljettuja vesihöyryn täyttämiä huokosia (Tien kevennysrakenteet 1997).

Kuusankoskella toimiva Weber Saint-Gobainin tehdas on merkittävä kevytsoran valmistaja Suomessa. Yritys valmistaa ja markkinoi kevytsoraa lisensoidulla Leca-tuotemerkillä, joka on CE-merkitty tuote.



Kuva 11. Weber Saint-Gobainin valmistamaa Lecasoraa (Weber Saint-Gobain 2014).

3.2.1 Kevytsoran käyttökohteet

Kevytsora on Suomessa yleisimmin käytetty kevennysmateriaali ja se sopii käytettäväksi tierakenteessa pohjavedenpinnan yläpuolella keventämään penkereen painoa ja/tai routaeristeeksi suojaamaan esimerkiksi putkilinjoja.

Se sopii myös käytettäväksi kohteissa, jossa pohjaolosuhteet muuttuvat jyrkästi, jolloin se tasaa tehokkaasti painumia (Kuva 8, Kuva 9).

Kevytsoraa voidaan käyttää myös siltapenkereen siirtymärakenteessa (Kuva 9), jolloin se tasaa painumia samalla periaatteella kuin pohjaolosuhteiden jyrkässä muutoksessa. Kevennys myös pienentää siltaan kohdistuvia maan paineesta johtuvia kuormia.

3.2.2 Kevytsoran ominaisuudet ja tekniset tiedot

Kevytsoran tärkeimmät ominaisuudet ovat

- pieni tilavuuspaino
- hyvä lämmöneristävyys
- hyvät geotekniset ominaisuudet (mm. kantavuus ja kitkakulma)
 - o kantavuutta voidaan lisätä betonoimalla (kevytsorabetoni)
- puhaltamalla asennettavissa myös vaikeisiin paikkoihin
- suuri vedenläpäisevyys
- haitaton tuote ympäristölle
- mitoitettava nosteelle

Maarakennuskevytsorana käytetään tavallisimmin KS432-kevytsoraa (rakeisuusalue 4-32mm) (Tien kevennysrakenteet 1997), josta alle 4 mm:n rakeita saa olla enintään 15 % ja yli 32 mm:n rakeita enintään 10 %. Kevytsoran, jonka rakeisuus on 4/32, kuivatilavuuspaino on enintään 3,2 kN/m³ ja yksittäisen toimituserän kuivatilavuuspaino enintään 3,5 kN/m³. Rakeisuus tarkistetaan silmä määräisesti toimituksen yhteydessä. Puhallustoimituksissa käytetään lajiketta, jonka rakeisuus on 4–20 mm. (InfraRYL2010 180141.1 Kevytsorapenkereen ja -rakenteen materiaalit; Weber Saint-Gobain 2014.)

Yleisimpien kevytsoralajitteiden teknisiä ominaisuuksia on esitetty Taulukossa 1.

Ominaisuus	Vaihteluväli	Ominaisarvo
Tilavuuspaino (irtokuiva) – kuiva (w=30 paino-%) – ajoittain veden alla – pysyvästi veden alla – nostemitoituksessa	2,2...3,2 kN/m ³	4,0 kN/m ³ 6,0 kN/m ³ 10 kN/m ³ 3,0 kN/m ³
Kitkakulma – löyhänä – tiivistettynä	33°...38° *	34° 37°
Vedenläpäisevyys **	10 ⁻³ ...10 ⁻¹ m/s	10 ⁻³ m/s
Lämmönjohtavuus	0,12...0,19 W/mK	0,17 W/mK*** a ₁ =4 ****
E-moduuli (kantavuusmitoitus)	35...130 MPa	50 MPa
Kuormitus 2 % kokoonpuristumalla	150...400 kPa	-

* löyhä ... tiivis

** vedenläpäisevyyskokeiden ja rakeisuuskäyrien perusteella arvioituna

*** vaikeissa olosuhteissa lämmönjohtavuus voi olla tässä esitettyä suurempi

**** kevytsoran vastaavuus eristävyuden kannalta (a₁) 0,7 m syvyydessä, kuivatiheys ≤ 400 kg/m³, alla 0,15 m kuivatuskerros. Vertailumateriaalina hiekka (a₁=1).
Vaikeissa olosuhteissa lämmönjohtavuus voi olla tässä esitettyä suurempi.

Taulukko 1. Yleisimpien kevytsoralajitteiden teknisiä ominaisuuksia (Liikennevirasto 2011)

Kevytsora saa toimitettaessa sisältää vettä keskimäärin enintään 100 l/m³ ja yksittäinen mittausarvo saa olla enintään 150 l/m³. Talvityön aikana varmistetaan silmämääräisesti, ettei materiaaliin ole sekoittunut lunta tai jätettä. (InfraRYL 2010.)

3.3 Vaahtolasi

Vaahtolasi valmistetaan puhdistetusta kierrätyslasista, joka murskataan 0,1 mm raekokoon. Murskauksen jälkeen siihen lisätään erillinen vaahdotusagentti. 900-asteisen uunin läpi kulkiessaan lasi sulaa ensin, jonka jälkeen siihen lisätty vaahdotusagentti aktivoituu ja lasi paisuu noin viisinkertaiseksi alkuperäiseen tilavuuteen verrattuna. Jäähdyessään massa kovettuu ja pirstoutuu vaahtolasi-murskeeksi (Kuva 12), jonka tilavuudesta 92 % on ilmahuokosia ja loput 8 % itse lasia. Materiaalia voidaan myös murskata halutun raekoon aikaansaamiseksi. (Liikennevirasto 2011; Uusioaines Oy Foamit-vaahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Vaahtolasin tilavuuspaino rakenteessa on vain viidesosa verrattuna murskeeseen. Kantavuudeltaan se vastaa karkeaa hiekkaa. Lämmöneristävyyssominaisuuksiltaan vaahtolasimurskekerros vastaa neljä kertaa paksumpaa hiekkakerrosta, joten kaivumassojen ja materiaalimäärien vertailussa vaahtolasi antaa hyvän vaihtoehdon perinteiselle massanvaihdolle. (Uusioaines Oy.)

Vaahtolasia valmistetaan Suomessa tällä hetkellä vain Forssassa Uusioaines Oy:n lasinpuhdistuslaitoksen läheisyydessä Foamit-tuotemerkillä. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 150 000 m³/v. Vaahtolasi on CE-merkitty tuote, joka täyttää standardin SFS-EN 13055-2 kevytkiviaineksen sidottuihin ja sitomattomiin käyttötarkoituksiin 2+ mukaiset vaatimukset. Rambollin vuonna 2011 tekemän riskiarvion mukaan vaahtolasimurskeen käyttö tie-, katu- ja kenttärakenteiden routaristeenä ja/tai kevennysmateriaalina ei aiheuta pohjaveden pilaantumisriskiä (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Suomessa vaahtolasi on vielä melko uusi tuote, mutta muissa Pohjoismaissa kuten Norjassa ja Ruotsissa materiaalia on käytetty jo pidempään.



Kuva 12. Foamit-vahtolasimurskeen tyypillinen raemuoto (Valokuva Matti Vuohelainen; Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012)

3.3.1 Vaahtolasin käyttökohteet

Vaahtolasimursketta voidaan käyttää käyttötarkoituksen mukaan keventeenä, routa- tai lämmöneristeenä, kuivatuskerroksena sekä infra- että talonrakentamisessa. Monissa kohteissa vaahtolasimurskeella voi olla useitakin käyttötarkoituksia. Kevennys toimii usein myös routaeristeenä.

Kevennyksrakenteen paksuus vaihtelee tyypillisesti 0,5–2,0 metrin välillä. Vaahtolasimurskeen sisäistä kitkakulmaa eli leikkauskestävyyskulmaa voidaan verrata murskeisiin. Kevennyksen luiskat voidaan rakentaa jopa 1:1 kaltevuuteen tai loivempina riippuen mm. luiskan korkeudesta, luiskan yläpuolisista kuormista ja pohjamaan lujuudesta. Jyrkät luiskat mahdollistavat vaahtolasin käytön ahtaamissa paikoissa, sillä se ei leviä niin herkästi kuin esimerkiksi kevytsora. Vaahtolasin avulla kevennyksiä on myös helpompi tehdä jo olemassa olevien kaistojen alle. Esimerkiksi kaksikaistaisen tien alle voidaan toteuttaa kevennyksrakente kaista kerrallaan ilman, että viereisen kaistan liikenne vaikuttaa työn suoritukseen niin paljon kuin esimerkiksi kevytsoran kohdalla. (Häkkinen 2014.)

3.3.2 Vaahtolasin ominaisuudet ja tekniset tiedot

Vaahtolasimurskeen ominaisuudet ja tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2.

a) Ominaisuus	Vaihteluväli kirjallisuudessa	FOAMIT® Mitoitussarvot
Rakoko	10-50 / 10-60 mm	10-60 mm
Tiheys (litokuva)	180...230 kg/m ³	210 ± 15 %
Tiheys (kuva, tiivistetty)*	225...290 kg/m ³	220...280 kg/m ³
Tiheys (kosteaa, pitkäaikaisesti tierakenteessa)	270...530 kg/m ³	350 kg/m ³
Tiheys, pitkäaikaisesti veden alla (<1 vuosi)		600 kg/m ³
Tiheys, pysyvästi veden alla		1000 kg/m ³
Tilavuuspaino (nostentilaisuus)		3,5 kN/m ³
Tilavuuspaino (pysyvästi veden alla)		10 kN/m ³
Kittäkulma (leikkauskestävyyskulma)	36...45°	36...45°
pH-arvo		10
Tiivistyskerroin		1,15...1,25
Vedenimeytyminen**		
Lyhytaikainen (4 vk)	30...60 palno-%	= 60 palno-%
Pitkäaikainen (1 vuosi)	40...116 palno-%	= 100 palno-% ***
Puristuslujuus		
10 % kokoonpuristuma		0,3...0,4 MPa
20 % kokoonpuristuma	0,77...0,92 MPa	> 0,9 MPa

* tiheys riippuu tavoitettävyydestä ** näyte vesipotuksessa *** pitkäaikaisen vedenimeytymisen arvo tarkentuu pitkäaikaisissa materiaalitutkimuksissa

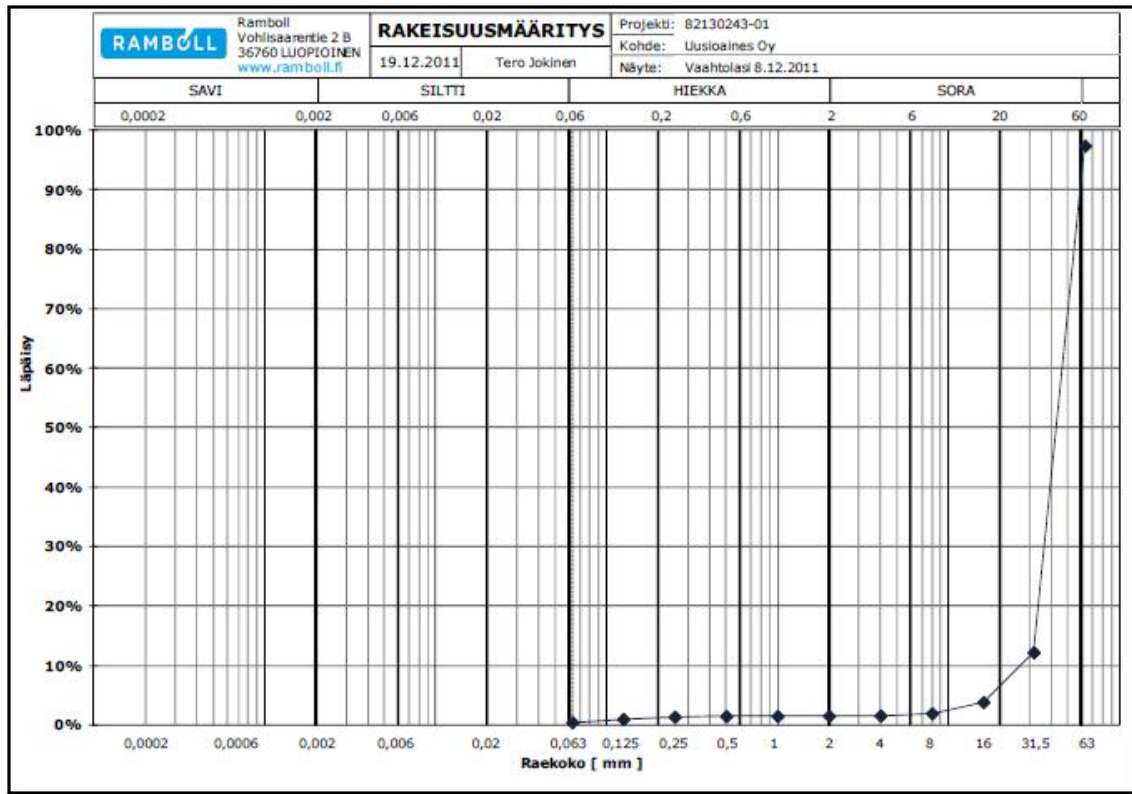
b)	Moduuli	Määrittäminen
E-moduuli	55...70 MPa *, ohut...paksu päällysrakenne	levykuormituskokeista takaishlaskettu
Resilient-moduuli Mr	≥ 75 MPa, keskimääräinen pääjännitys 40 kPa ≥ 150 MPa, keskimääräinen pääjännitys 100 kPa	syklinen 3-aksoalioke

* vaahtolasimurskeen moduulilla rakenteessa kasvattavia tekijöitä ovat paksu päällysrakenne, pohjamaan hyvä kantavuus sekä tukiperheet

Taulukossa 1 esitetyt parametrit on määritetty / arvioitu seuraavien julkaisujen, raporttien ja muistioiden perusteella: Byggforsk [2005]; Liikennevrasto [2011a]; Rambol [2012 ja aikaisempia laboratorioetelöksiä]; Rambol [2011a]; Rambol [2010]; SGI [2008]; Sintef [2010]; Staters vegesien [2008]; TTY [2012].

Taulukko 2. Vaahtolasimurskeen teknisiä ominaisuuksia (a) ja kantavuusominaisuuksia (b) (Uusioaines Oy Foamit-vaahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Kuvassa 13 on esitetty Foamit-vahtolasimurskeen 0/60 rakeisuuskäyrä ennen tiivistämistä.



Kuva 13. Foamit-vahtolasimurskeen rakekokojakauma (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012; Ramboll 2012).

Lämmöneristävyydeltään vahtolasimurske vastaa neljä kertaa paksumpaa hiekkakerrosta (RT-tuotetieto Infra 38245). Vahtolasimurskerakenteen lämmöneristävyyden arvoja on ilmoitettu taulukossa 3. Lämmöneristävyyden vastaavuus kerrosrakennepaksuuksina ilmoitettuna verrattuna luonnon maa- ja kiviaineksiin on esitetty Taulukossa 4.

Ominaisuus	Materiaali	
	Vaihteluväli kirjallisuudessa	FOAMIT® Mitoitusarvot
Raekoko	10–50 tai 10–60 mm	10-60 mm
Lämmönjohtavuus		
- kuiva	0,10...0,11 W/mK	0,11 W/mK
- kostea	0,13...0,15 W/mK *	0,15 W/mK
Vastaavuus eristävyyden kannalta**	-	$\alpha_s = 4$
Kapillaarinen nousu	120...175 mm	200 mm

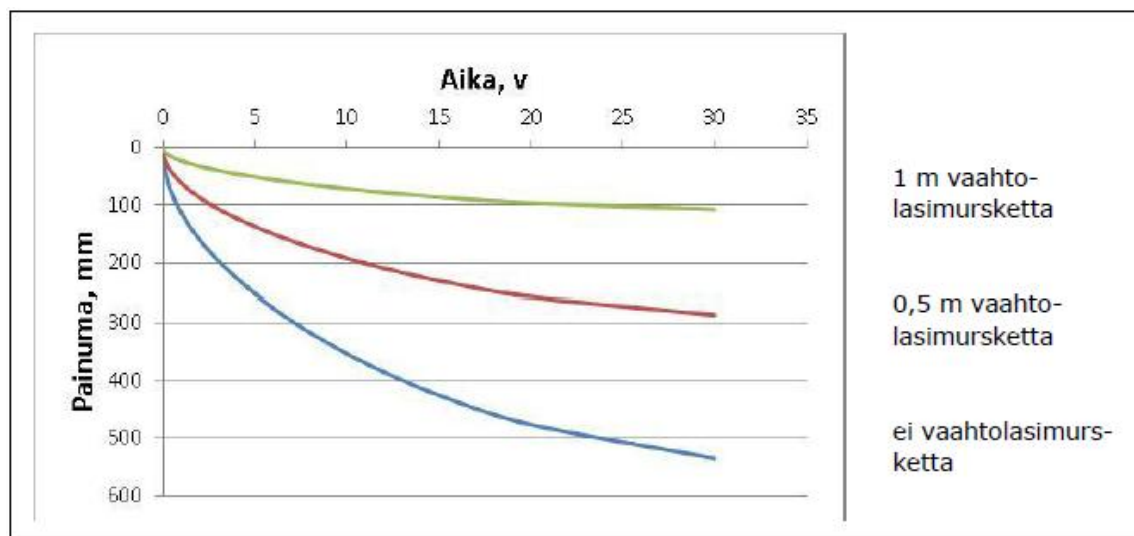
* vesipitoisuus 25 palno-%, kuivairtitiheys 210...280 kg/m³ ** vahtolasimurskeen vastaavuus eristävyyden kannalta verrattuna hiekkaan (α_s)

Taulukko 3. Vahtolasimurskerakenteen lämmöneristävyyden arvoja (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Kerros	Materiaali			
	Vaahtolasimurske	Hiekka	Murske / sora	Louhe
Kerros	0,2 m	0,8 m	0,9 m	1,0 m
	0,25 m	1,0 m	1,1 m	1,25 m
	0,3 m	1,2 m	1,3 m	1,5 m

Taulukko 4. Vaahtolasimurskerakenteen lämmöneristävyyden vastaavuus luonnon maa- ja kiviaineksiin (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Vaahtolasikerroksen painumaa on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Vaahtolasimurskekerroksen painuma ajan suhteen (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

3.4 Rengaskevennykset

Rengaskevennyksien tekemisessä käytetään käytöstä poistuneita autonrenkaita, jotka voidaan leikata rouheeksi, sitoa paaleiksi tai käyttää sellaisenaan kokonaisina. Materiaali on pääasiassa kumia, mutta renkaissa on myös nokea ja terästä. (Liikennevirasto 2011.)

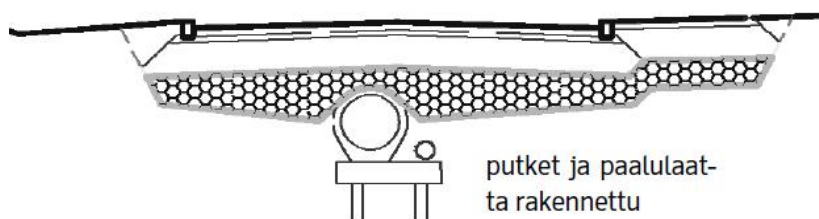
Yleisimmin käytetty rengasrouhetyyppi on RR1, jonka nimellimitat ovat 100 x 300 mm. Pienempiä raekokoja saadaan leikkaamalla kokonaista rengasta useamman kerran. Tyypillisesti kevennyksikäyttöön vaaditut ominaisuudet saavutetaan jo rengasrouhetyypillä RR1. Rengasrouheen hinta kasvaa jokaisen leikkauskerran myötä, joten palakoon pienentyessä myös hinta kasvaa. (InfraRYL 2010, Liikennevirasto 2011.)

Rengaskevennyksiä voidaan tehdä myös kokonaisista renkaista, jolloin yksittäiset renkaat sidotaan kiinni toisiinsa tilavuudeltaan noin 1,4 m³ paaleiksi terässi- teiden avulla. Kokonaiset renkaat tarkoittavat tässä tapauksessa yleensä tavallisen henkilöauton tai kuorma-auton renkaita. (InfraRYL 2010.)

Rengaskevennyksiä tehtäessä on aina hankittava kohdekohtainen ympäristö- lupa, mikä osaltaan rajoittaa sen käyttöä. Maarakennuskäyttöön sitä ei sallita lainkaan pohjavesialueilla. (Liikennevirasto 2011.)

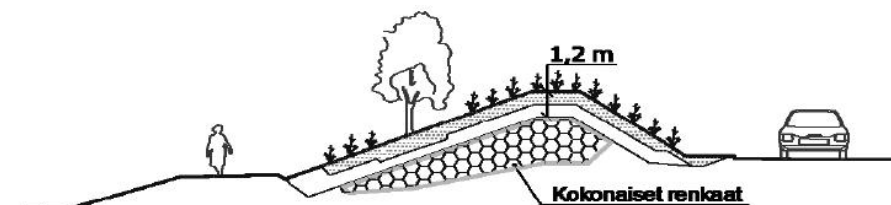
3.4.1 Rengaskevennysten käyttökohteet

Rengaskevennysten pääasialliset käyttökohteet ovat alemman luokan tiet, kenttä- ja siirtymärakenteet. Sitä on käytetty yleisesti kaatopaikkojen kuivatusra- kenteissa. Pienemmän raekoon luokkia käytetään yleensä hankalasti tiivistettä- villä paikoilla kuten putkilinjojen läheisyydessä (Kuva 15).



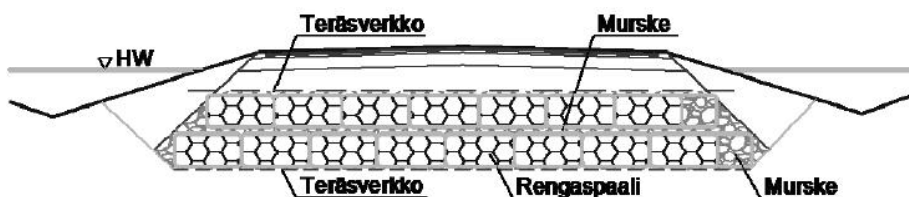
Kuva 15. Tie- tai katupenkereen kevennys rengasrouheella, korjauskohde (Liikennevirasto 2011).

Kokonaiset renkaat soveltuvat tavallisesti käytettäväksi esimerkiksi meluvalleissa (Kuva 16) ja tulvapenkereissä. Tulvapenkereissä sen käyttö on muihin yleisimpiin kevennysmateriaaleihin nähden yleisempää sillä sitä ei tarvitse mitoittaa nos- teelle. (Liikennevirasto 2011.)



Kuva 16. Meluvallin kevennys kokonaisilla renkailla (Liikennevirasto 2011).

Rengaskevennysten yhteydessä voidaan käyttää myös teräsverkkoa kerroksen ylä- ja alapuolella lujittamaan rakennetta (Kuva 17).



Kuva 17. Tiepenkereen kevennys rengaspaaleilla tulva-alueella (Liikennevirasto 2011).

Rengaskevennyksiä käytetään vielä aika harvoin Suomessa tierakenteissa. Meluvallit taas koostuvat pääosin ylijäämämaista. Jos riittävän suurta meluvallia ei pystytä pohjaolosuhteista johtuen rakentamaan, niin tavallisesti tehdään meluvalli-meluseinä-yhdistelmä rakenteita tai vaihtoehtoisesti stabiloidaan pohjamaata paremman kantavuuden saavuttamiseksi. (Häkkinen 2014.)

3.4.2 Rengaskevennyksen ominaisuudet ja tekniset tiedot

Rengaspenkereissä käytettyjen rengasmateriaalien irtotilavuuspainot on esitetty taulukossa 5.

Tuote	Nimellimitat, mm	Irtotilavuuspaino, kuormittamaton, kN/m ³	Mitoitustilavuuspaino rakenteessa, kN/m ³
RR0	Käsitlemättömät renkaat	1,3	2,0...4,0 (10...20 kPa:n kuorma)
RR1	100 x 300	3,7	5,0...6,0 (10...40 kPa:n kuorma)
RR2	100 x 50	4,2	5,0...6,0 (10...40 kPa:n kuorma)

Taulukko 5. Rengaspenkereiden materiaalin irtotilavuuspainot (InfraRYL 2010 Taulukko 18144:T1)

Rengasrouheen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 6.

		RR1	RR2
Palakoko (nimellinen)		100 mm x 300 mm	100 mm x 50 mm
Kiintotiheys	ρ	0,4...0,45 t/m ³	0,55...0,6 t/m ³
Tilavuuspaino	γ	4...4,5 kN/m ³	5,5...6 kN/m ³
Vedenläpäisevyys	κ	1 x 10 ⁻³ ...1 x 10 ⁻¹ m/s	
Koheesio	c	--	8...9 kN/m ²
Kitkakulma	ω	--	~ 20...40°
Lämmönjohtavuus	λ	--	0,14...0,23 W/mK
Muodonmuutosmoduuli	E	--	1,0 MPa
Poisson-luku	--	--	0,1

Taulukko 6. Rengasrouheen ominaisuuksia (InfraRYL 2010 Taulukko 18144:T2).

4 Kevennyksen suunnittelu ja mitoitus

4.1 Suunnittelun ja mitoituksen periaatteet

Ennen varsinaisen suunnittelutyön aloitusta on ensin arvioitava kohteen kokonaisuus eli geotekniset erityisvaatimukset ja määritettävä kriittiset tekijät (Liikennevirasto 2011).

Kevennysmateriaalin vaatimuksenmukaisuus eli materiaalien ominaisuuksien varmennus osoitetaan ensisijaisesti CE-merkinnällä. Vaatimuksenmukaisuus voidaan esittää myös materiaalin valmistajan dokumenttien perusteella ja/tai rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla kolmannen osapuolen valvonnassa. Materiaalin kelpoisuus kohteeseen selvitetään suunnittelun yhteydessä. (Liikennevirasto 2011.)

4.1.1 Vakavuus

Maaperän ja maarakenteen vakavuus eli stabiiliteetti tarkistetaan aluksi, mikäli arvioidaan, että maarakenteen aiheuttamat kuormitukset voivat aiheuttaa murto-tilan pohjamaassa tai siirtymiä ympäröivissä rakenteissa (Liikennevirasto 2011).

Kevennyksen paksuus, laajuus ja materiaali valitaan vakavuustarkasteluiden vaatimusten mukaisesti niin, että varmuus sortumista vastaan on riittävä. Laskennassa huomioidaan myös käytettävän kevennysmateriaalin ominaisuudet ja erityispiirteet. Vakavuus mitoitetaan Eurokoodi 7:n ja LVM:n kansallisen liitteen soveltamisohjeen, NCCI 7, mukaisesti. (Liikennevirasto 2011.)

4.1.2 Painuma

Heikolle maaperälle rakennettaessa maarakenteen kuormitukset aiheuttavat painumia. Kokonaispainuma koostuu neljästä eri painumalajista, jotka ovat alkupainuma, konsolidaatiopainuma, leikkausjännityksen aiheuttama plastinen painuma ja jälkipainuma eli sekundääripainuma. Näistä erityisesti konsolidaatio- ja jälkipainuma ovat tavallisesti merkitseviä kevennystä mitoitettaessa. (Liikennevirasto 2011.)

Painumamitoitus ja kevennyksen mitoitus suoritetaan geoteknisillä laskelmilla, joissa maaperän ominaisuudet ja kuormat määritetään kohdekohtaisesti. Lisäksi käytettävän materiaalin erityispiirteet otetaan tässä vaiheessa huomioon. Lähtökohtaisesti kevennysmitoituksessa tavoitteena on niin sanottu kokonaiskevennys, jossa uusi rakenne ei aiheuta lisäkuormaa pohjamaalle tai kuorma jää aikaisempaa kuormaa vähäisemmäksi (Liikennevirasto 2011.)

Kevennys voidaan tehdä myös niin sanottuna osittaisena kevennyksenä jolloin kevennysrakenne mitoitetaan tavoitepainumalle. Osittainen kevennys voi olla perusteltu ratkaisu, jos on oletettavissa, että painumat ovat suurelta osin jo tapahtuneet tai tapahtuvat suhteellisen nopeasti. Myös pohjavedenpinnan korkea taso voi olla syynä osittaiseen kevennykseen. Osaltaan valintaan vaikuttavat myös rakentamiskustannukset, mikäli molemmat vaihtoehdot ovat teknisesti hyväksyttävissä. (Liikennevirasto 2011.)

Yksikertaisimmillaan penkereen kokonaiskevennys pohjavedenpinnan yläpuolella lasketaan poistettavan maakerroksen sekä kevennysmateriaalin ja rakennekerrosten avulla kaavalla 1. Pohjavedenpinnan alapuolelle tulevan kevennyksen mitoituksessa on huomioitava myös kevennysmateriaalin kuorma vedellä kyllästettynä kaavalla 2:

$$q_{\text{kaiv. maa}} \geq q_{\text{rak}} + q_{\text{kev}} \quad (1)$$

$$q_{\text{kaiv. maa}} \geq q_{\text{rak}} + q_{\text{kev}} + q_{\text{kev}'} + q_w \quad (2)$$

$q_{\text{kaiv. maa}}$ = kevennyksen kohdalta poistetun maan kuorma

q_{rak} = rakennekerrosten kuorma

q_{kev} = kevennysmateriaalin kuorma

$q_{\text{kev}'}$ = kevennysmateriaalin kuorma pohjavedenpinnan alapuolella

q_w = rakentamisen aiheuttaman pohjavedenpinnan aiheuttaman pohjaveden alenemisen aiheuttama kuorma

(Liikennevirasto 2011.)

4.1.3 Muut suunnittelussa huomioitavat asiat

Kevennysrakenteen suunnittelussa muita huomioitavia asioita ovat:

- maanpaine
- noste
- päällysrakenteet
- tien pinnan liukkaus
- routamitoitus
- ympäristövaikutukset
- kuivatus
- siirtymärakenteet
- kuormituskestävyysmitoitus.

Kevennysrakenteen suunnittelussa tulee huomioida myös rakenteen toteutettavuus, jälkihoito, myöhemmät mahdolliset korjaukset ja aukikaivu sekä kevennysmateriaalin saatavuus. Myös kohdekohtaiset erityispiirteet tulee huomioida työn toteutettavuuden kannalta (Liikennevirasto 2011.)

Kevennysmateriaalin saatavuus on tarkistettava erityisesti sivu- ja kierrätystuotteiden kohdalla sillä materiaalin halvempi hinta ei välttämättä ole lopulta se taloudellisin ratkaisu jos kyseinen materiaali on tuotava kaukaa jolloin kuljetuskustannukset voivat kasvaa suuriksi (Liikennevirasto 2011.)

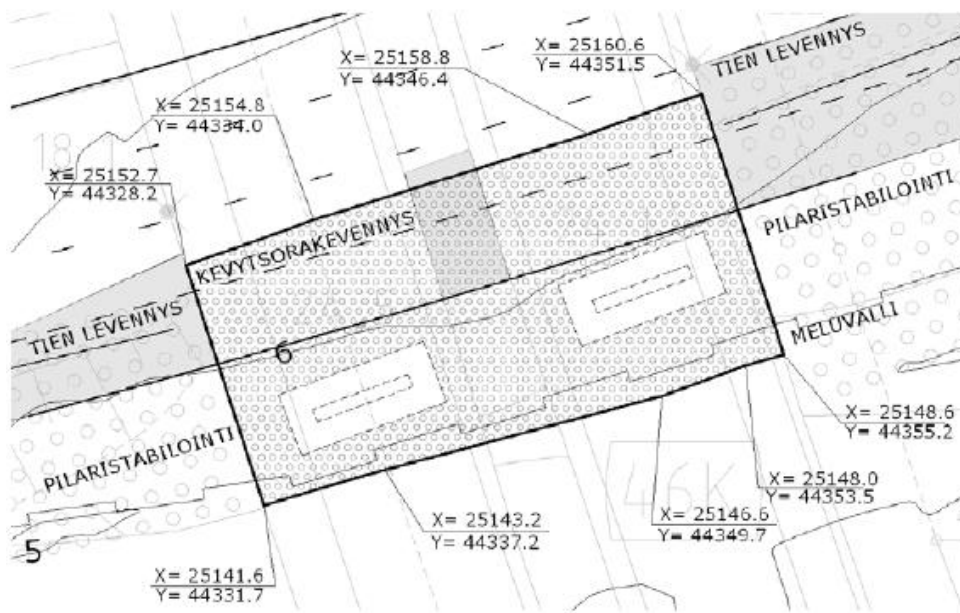
4.2 Kevytsora- ja vaahtolasikevennyksen suunnittelun perusteet

Lähtökohta kevennyksen suunnittelulle ja toteuttamiselle on se, että alue itsessään vaatii keventämistä. Kevytsoran ja vaahtolasin ominaisuudet ovat melko lailla lähellä toisiaan. Kevytsoran ja vaahtolasin suunnittelussa tärkeä tekijä on nostemitoitus. Materiaalit ovat vettä kevyempiä, mikä voi aiheuttaa ongelmia pohjavedenpinnan alapuolelle rakennettaessa. Ajan myötä materiaalit kyllästyvät vedellä, jos ne ovat jatkuvasti veden ympäröimänä, mutta ennen kaikkea suunnittelussa on huomioitava myös rakennustyön toteutettavuus.

Merkittävin ero materiaalien välillä on kitkakulma, joka on vaahtolasilla suurempi. Se mahdollistaa jyrkemmät luiskat penkereessä, mikä helpottaa rakennustyötä

erityisesti ahtaammissa rakennuspaikoissa. Vaahtolasipenger on rakennusvaiheessa myös kantavampaa, mikä tarvittaessa mahdollistaa esimerkiksi työaikaisen liikenteen rakenteen päällä ennen päällysrakennekerrosten tekemistä.

Kevennystä suunniteltaessa on mietittävä myös mahdollisia jatkotoimenpiteitä kuten putkilinjan huoltoa tai tien leventämistä myöhemmässä vaiheessa. Vaahtolasin parempi käsiteltävyys aukikaivun yhteydessä on myös nykyisin merkittävämmässä asemassa kevennystä suunniteltaessa. (Häkkinen 2014.)



Kuva 18. Kevytsorakevennyksen asemapiirustus (Liikennevirasto 2011).

4.3 Rengaskevennysten suunnittelun perusteet

Rengaskevennykset vaativat muita kevennysmateriaaleja paksumman yläpuolisen päällysrakenteen, sillä niiden kokoonpuristuvuus on muihin kevennysmateriaaleihin verrattuna suurempi. Suositeltava päällysrakennepaksuus on noin 0,9–1,4 m (18–28 kN/m²) (Liikennevirasto 2011.)

Suuri kokoonpuristuvuus on otettava huomioon rakentamisen yhteydessä. Hyvin tiivistetty rengasrouhe tiivistyy noin 10–20 % päälle rakennettavan kerroksen alla kuorman ollessa 10–20 kN/m². Kokonaisista renkaista tehty kevennys tiivistyy taas 30–50 % 14–20 kN/m² kuorman alla. Käytännössä tiivistyminen otetaan huomioon suunniteltuna ennakkokorotuksena rakentamisen yhteydessä eli pengertehdään aluksi lopullista korkoa korkeammaksi. Rengaskevennyksen suuren kokoonpuristuvuuden takia pengertehdään painuu kuormitettuna matalammaksi. Rengasrouheen tiivistyminen tapahtuu pääosin rakentamisen aikana. (InfraRYL 2010.)

Rengasrouhepenkereet rakennetaan kerroksittain tai kiilapengerryksenä ja tiivistetään alustavasti levityskoneella ajamalla rakenteen yli muutamia kertoja eri kohdista. Varsinainen tiivistystyö tehdään jakavan kerroksen päältä. (Liikennevirasto 2011.)

Rengasrouhe ja –kevennys ympäröidään suodatin- tai lujitekankaalla.

5 Kevennysrakenteen toteutus

5.1 Kevytsorapenkereen toteutus

Kevytsorapenger rakennetaan vaiheistettuna (Kuva 19). Penger suojataan aina vähintään 1,0 metrin reunapenkereellä luiskakaltevuuden ollessa 1:1,5 tai loivempi. Reunapenger tehdään ennen kevytsoran pengerrystä ja tiivistetään pengertäytteen tiiviyteen. Reunapenkereen rakentamisen jälkeen kaivannon pohjalle ja sivuille levitetään käyttöluokan N3 suodatinkangas. Tässä vaiheessa kevytsora voidaan kipata suoraan auton lavalta kaivantoon ja levittää levityskoneella (InfraRYL 2010). Weber Saint-Gobainin toimitukset Kuusankoskelta tehdään täysimitaisilla kuorma-autoilla, joissa yhden kuorman maksimikoko on noin 110 m³.

Kaivanto tulee pitää työn aikana kuivana, sillä kevytsoran tilavuuspaino on pienempi kuin veden, joten se jää kellumaan veden pinnalle, mikäli vettä on liikaa. Silloin ongelmia syntyy erityisesti levittämisen ja tiivistämisen yhteydessä. Mikäli reunapenkereet tehdään vettä huonosti läpäisevästä materiaalista, on syytä rakentaa pysyvä vedenpoistojärjestelmä rakenteen yhteyteen. Kuivatusjärjestelmä esitetään suunnitelma-asiakirjoissa. Kuivatus voidaan järjestää esimerkiksi salaojilla tai suoto-ojilla 30...60 metrin välein. (InfraRYL 2010.)

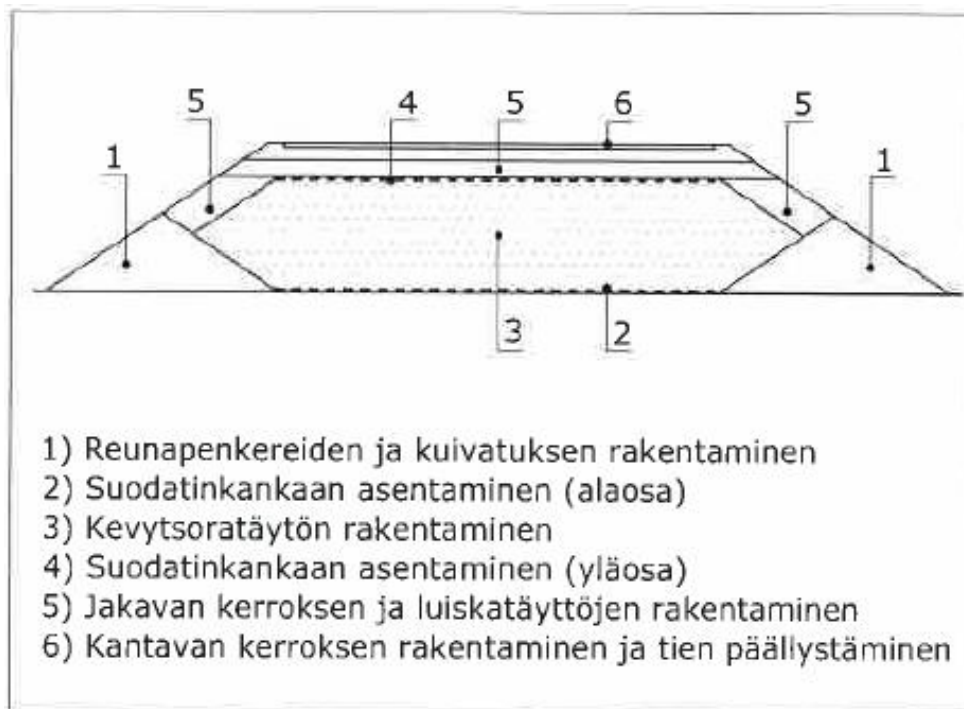
Kevytsoratäytön jälkeen suodatinkangas levitetään myös täytön yli, jolloin suodatinkangas ympäröi kevytsoratäytön kokonaisuudessaan. Jos kevytsorakevennystä ei saada kerralla peittoon, on erityisesti liikennealueilla ja niiden läheisyydessä kevytsora hyvä peittää suodatinkankaalla esimerkiksi yön tai viikonlopun ajaksi, jotta kovan tuulen mahdollisesti kuljettama aines ei leviä pois kohteesta esimerkiksi ympäröivän liikenteen sekaan. Myös virtaavien vesien kuljettaman aineksen leviäminen ympäristöön on estettävä. (InfraRYL 2010.)

Kun suodatinkangas on levitetty täytön yli, voidaan tehdä päällysrakenteet ja viimeistään niiden teon yhteydessä 0,6...1,0 metrin täytemaakerrokset penkereen luiskiin (InfraRYL 2010).

Kevytsora tiivistetään enintään 0,6...0,7 metrin kerroksina, tärylevyllä tai ajamalla tela-alustaisella levityskoneella sen päällä. Tiivistystyö voidaan suorittaa myös

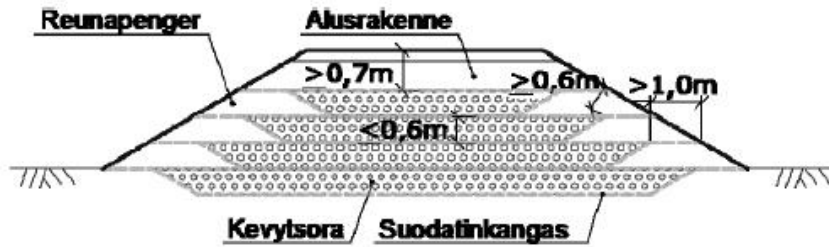
tyräämällä rakenne 300 mm:n murskekerroksen päältä. Kevytsora tiivistyy tyypillisesti noin 10 % tiivistettäessä rakenne löyhästä tiiviiseen tilaan (InfraRYL 2010; Liikennevirasto 2011). Kokemukset työmaalta ovat osoittaneet, että erityisesti tiivistystyöhön tulee kerrospaksuuden osalta kiinnittää tarkempaa huomiota. Lisäksi kevytsorakevennys tulisi luiskata, jotta tulevat painumat jakaantuvat tasaisemmin suuremmalle alueelle. Näin päälle tuleva asfaltti ei halkea niin herkästi materiaalien saumakohdissa.

Kevytsorapenger voidaan toteuttaa myös talvityönä, mutta silloin alustan on oltava sula ja lumi on poistettava pengerrettävältä alueelta. Reunapenkereiden välissä ei saa myöskään olla lunta tai vesilammikoita. Penkereen alustan tasaus ja muoto tarkastetaan silmämääräisesti ja tarvittaessa mittaamalla. (InfraRYL 2010.)



Kuva 19. Kevytsorapengeren rakentaminen (InfraRYL 2010, kuva 18141:K1).

Kevytsorapengeren kerrosrakenteet on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Tiepenkereen kevytsorakevennys ja rakenneosien suositusmitat (Liikennevirasto 2011)

5.1.1 Valmis kevytsorapenger ja -rakenne

Ennen suodatinkankaan päälle levittämistä varmistetaan vielä, että kevytsorapenger ja reunapenkereet ovat suunnitellussa tasossa ja muodossa. Penkereen pinta ei saa olla suunnitelma-asiakirjoissa esitetyn korkeuden yläpuolella. Lopuksi vielä varmistetaan, ettei pinnassa ole vettä kerääviä painanteita (InfraRYL 2010).

Suurin sallittu keskimääräinen poikkeama alaspäin on 50 mm ja suurin sallittu yksittäinen poikkeama alaspäin 100 mm. Luiskan reunan suurin sallittu poikkeama vaakasuunnassa ulospäin on 150 mm. (InfraRYL 2010.)

Tiivistymistä seurataan paikan päällä työn aikana. Samalla tulisi välttää liiallista tiivistämistä, sillä rakeet murskaantuvat tiivistämisen aikana.

5.1.2 Kevytsorapenkereen ja -rakenteen kelpoisuuden osoittaminen

Kevytsorapenkereen mitat tarkastetaan maastossa 20 metrin välein mittaamalla poikkileikkauksen taitepisteet sekä taitepisteiden välit 1,0 metrin välein. Penkereen tiiviyttä ja kantavuutta valvotaan työmenetelmätarkkailuna ja tiivistystyön laatua tarkkaillaan silmämääräisesti. (InfraRYL 2010.)

Työmenetelmätarkkailussa kevennystäyttöä varten tehty kaivanto valokuvataan ennen täyttöä 20...40 metrin välein enintään 1 päivä ennen täytön tekemistä. Kuvia otetaan myös toteutuneesta rakenteesta. Työmenetelmä tarkkailun ohjeet on esitetty tarkemmin julkaisussa Urakoitsijan laaturaportointi (InfraRYL 2010).

Suodatinkankaasta tarkistetaan, että se on asennettu asianmukaisesti ja että se täyttää asetetut laatuvaatimukset erityisesti käyttöluokan osalta.

5.2 Vaahtolasipenkereen toteutus

Vaahtolasia voidaan kuljettaa tavallisilla kuorma-autoilla, mutta verrattuna luonnonkiviainekseen sen pienen tilavuuspainon vuoksi sitä on mahdollista kuljettaa suurempia määriä kerralla. Uusioaineksen toimittamaa vaahtolasimursketta voidaan kuljettaa yhdellä kuormalla jopa 114 m³.

Vaahtolasipenkereen tukipenkereitä ei tarvitse välttämättä rakentaa ennen kevennyspenkereen toteuttamista vaahtolasin suuren kitkakulman vuoksi, mutta tukipenkereen rakentamisella voidaan välttää penkereen leviäminen tiivistystyön aikana sekä varmistetaan tiivistystyön onnistuminen myös penkereen reunaan saakka (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Kevennysrakenteissa esitiivistys voidaan suorittaa joko tärylevyllä, jolloin tiivistettävän kerroksen paksuus saa olla enintään 0,4 m, tai tela-alustaisella koneella tiivistettäessä, jolloin tiivistettävän kerroksen paksuus saa olla enintään 0,9 m. Näin korkeaa kerrospaksuutta voidaan käyttää huonosti kantavan maapohjan päälle tulevalle vaahtolasikerrokselle, jotta tiivistämisestä ei aiheudu haitallista pohjamaan häiriintymistä. Lopullinen tiivistys tehdään kevennyksen päälle tulevan murskekerroksen päältä esimerkiksi valssijyrällä. Tiivistystyön kerrospaksuudet on esitetty taulukossa 7.

Tiivistettäessä vaahtolasikerros tiivistyy 10–25 %. Rakeet murskaantuvat tiivistämisen aikana erityisesti kerroksen pinnasta, joten vaahtolasinkin kohdalla tulisi välttää liiallista tiivistämistä. Lopullinen tiivistys tehdään kevennyksen päälle tulevan murskekerroksen päältä esimerkiksi valssijyrällä. (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

	Maksimi kerrospaksuus (ennen tiivistystä)	Ylijokerrat
Tela-alustainen työkone (pohjapaine 30...50 kPa)	0,6 m (0,9 m*)	≥ 2
Tärylevy (50...200 kg)	0,4 m*	≥ 2

* Heikosti kantavalle pohjamaalle rakennettaessa alimman tiivistyskerroksen paksuus voi olla max. 0,9 m, jotta ei aiheutettaisi pohjamaan häiriintymistä

Taulukko 7. Vaahtolasimurskeen tiivistäminen (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Vaahtolasi on teollinen tuote, joten se on ympäröitävä suodatinkankaalla kokonaisuudessaan, ettei se sekoitu ympäröivien luonnonmateriaalien kanssa. Vaahtolasin emäksisyyden takia on käytettävä polypropeenista valmistettua suodatinkangasta eli mm. polyesteristä valmistettu suodatinkangas ei sovellu tähän käyttötarkoitukseen (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012).

Vaahtolasikevennyksiä voidaan tehdä myös talvisin, kunhan varmistutaan, ettei materiaaliin ole sekoittuneena jäätä tai lunta.

Kaivanto on toteutuksen aikana pidettävä kuivana, sillä myös vaahtolasin tilavuuspaino on vettä kevyempää. Näin ollen se jää kellumaan veden pinnalle hankaloittaen tiivistystyötä ja sitä kautta rakenteen toimivuutta. Reunapenkereiden ollessa vettä huonosti läpäisevästä materiaalista, on myös vaahtolasin yhteydessä rakennettava erillisiä vettä läpäiseviä aukkoja noin 30 metrin välein (Uusioaines Oy Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Työn toteutus tapahtuu samoilla periaatteilla kuin kevytsorapenkereen toteutus.

5.2.1 Valmis vaahtolasipenger ja –rakenne

Täytön ja esitiivistyksen jälkeen varmistutaan, että vaahtolasipenger ja reunaluiskat ovat suunnitellussa tasossa ja muodossa eikä pinnassa ole vettä kerääviä painanteita.

Lopullinen tiivistys tehdään kevennyksen päälle tulevan murskekerroksen päältä esimerkiksi valssijyrällä.

5.2.2 Vaahtolasipenkereen ja –rakenteen kelpoisuuden osoittaminen

Vaahtolasimurskerakenteen tiiveyden laadunvarmistus toteutetaan työn yhteydessä materiaalin menekkitarkastuksella. Toteutunut moduuli tarkistetaan kantavuusmittauksin, jotka suoritetaan tiivistystyön jälkeen vaahtolasimurskekerroksen päälle rakennetun murskekerroksen päältä. (Uusioaines Oy Foamit-vaahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Rakennuspohjan pinta mitataan ennen vaahtolasimurskekerroksen asentamista. Rakenteen yläpinta puolestaan mitataan asennuksen ja esitiivistyksen jälkeen. Toimitetun vaahtolasimurskeen määrä jaetaan mittaustuloksista lasketulla rakenteen tilavuudella, jolloin saadaan toteutunut tiivistymiskerroin, kun tiedetään toimitetun vaahtolasimurskeen tiheys löyhänä, jonka jälkeen sitä verrataan suunnitelmissa esitettyyn arvoon (esim. 1,15...1,25). Suoraan vaahtolasimurskekerroksen päältä tehtyjen mittausten perusteella laskettuna tiivistymiskerroin saa olla enintään -0,05 suunnitelmissa esitetyn lopullisen tiivistymiskertoimen alapuolella. (Uusioaines Oy Foamit-vaahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Vaahtolasimurskekerroksen pinnan suurin sallittu poikkeama alaspäin on 50 mm ja suurin yksittäinen sallittu poikkeama 100 mm. Yläpinnan taso mitataan ylimmän kerroksen tiivistämisen jälkeen. Mikäli pinnan korkeustaso on sallittua poikkeamaa enemmän suunnitellun tason alapuolella, on rakenteeseen levitettävä tiivistettävä lisää vaahtolasimursketta sen verran, että suunnitelmissa esitetty vaatimus täyttyy. (Uusioaines Oy Foamit-vaahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012.)

Kevytsora- ja vaahtolasipenkereen toteutuksessa tulisi käyttää oheista Taulukkoa 8 laadukkaan ja suunnitelmien mukaisen rakenteen aikaansaamiseksi.

Y vaatimus	Esitetty	Tekävä	Virheet/Riskit	Dokumenti	Y vaatimukset/Kelpoisuus
Materiaali	InfraRYL 2010, 18140				KevytsoraKS432 (#4-32) Vaahtolasi 10/60 (0/60 tai 11/63 lähteestä riippuen)
CE-merkintä	InfraRYL 2010, 18140	Pyydyä todistus toimittajalta		Toimittajan toimittama todistus CE-merkinnästä.	
Ei CE-merkintää	InfraRYL 2010, 18141.1 Viitteet	Kokeet työmaalla kolmannen osapuolen valvonnassa. Näytteidenotto: Tilavuuspainoselvitys, rakeisuus selvitys, kosteus pitoisuus Näytteet otetaan ja käsitellään standardin SFS-EN 932-1 mukaisesti		Työmaalla suoritettavien kokeiden dokumentointi ja arkistointi laulukansioon.	
Alusta	InfraRYL 2010, 18140 Suunnitelma-asiakirjat	Reunapenkereet vettä hyvin läpäisevästä materiaalista/ Suoto-ajat 30-60m vlein	Vajava in luiskaus johtaa halkeamiin asfaltissa materiaalien rajapinnan kohdalla. Vesien kerääntyminen rakenteeseen		Tarkemittaus ennen täyttöö
Suodatinkangas	InfraRYL 2010, 18140	Riittävä limitys 1-2m. Ei reikiä. "Pussimainen" Materiaali ei pääse karkaamaan	Vajava in limitys	Todistus/Merkintä soveltavasta luokasta (N3). Lisäksi CE-merkintä ja todistus siitä toimittajalta	N3-luokan kangas
Kosteus	InfraRYL 2010, 18140	Toimittaja ottaa näytteet. Työmaalla silmämääräinen tarkistus. Kevytsora: Pinnaltaan vaalean ja pölyvän kevytsoran vesipitoisuus on alle 2 tilavuus-%. Kauttaaltaan tummuneen kevytsoran vesipitoisuus vaihtelee 2-4 tilavuus-%. Kun vesipitoisuus on suurempi kuin 4 tilavuus-% alkaa rakeiden pinnalla näkyä selvä kiiltävä vesikalvo. Tarkastus kuormittain	Vaikeuttaa tiivistystyötä		Saapuvan materiaalin vesipitoisuuden oltava alle 2 tilavuus-%
Lumi/jää	InfraRYL 2010, 18140	Ei saa sisältyä. Silmämääräinen tarkistus työmaalla	Vaikeuttaa tiivistystyötä		
Levitys	InfraRYL 2010, 18140	Enintään 0,7m kerroksina telalustaisella kaivinkoneella, jonka telojen pintapaine on 25-45kN/m².			
Tiivistys	InfraRYL 2010, 18140	Kevytsora: Enintään 0,7m kerroksina ajamalla levityskoneella 5-6 krt jokaisen kerroksen yli niin, että pintaan muodostuu ohut hienontunut kerros Lopullinen tiivistys 300mmn murskekerroksen päällä. Tiivistys n. 10% Vaahtolasi: Maantiivistäjällä enintään 0,4m kerroksina. Telalustaisella levityskoneella enintään 0,3m kerroksina. Maahan kohdistama paine enintään 50 kPa. Tiivistys n. 10-25%	Liiallinen tiivistys, rakeet murskaavat liikaa		
Valmis rakenne	InfraRYL 2010 18140				Tarkemittaukset 20m vlein

Taulukko 8. Kevytsora- ja vaahtolasipenkereen työvaiheen tarkistustaulukko

5.3 Rengaskevennyksen toteutus

Rengas- ja rengasrouhepenkereen tekeminen edellyttää, että rengasmateriaalin käytölle on hankekohtainen ympäristölupa. Uusiomateriaalien ja sivutuotteiden haitat oleville ja tuleville rakenteille selvitetään ennakkokokein. Rengasmateriaalin käyttö ei saa aiheuttaa haittaa tai vaaraa rakennuspaikalla tai sen ympäristössä, pohjaveden tai maapohjan pilaantumisen vaaraa eikä korroosiota tai muuta vauriota sen kanssa kosketuksiin tuleville rakenteille. (InfraRYL 2010.)

Materiaalin laatu osoitetaan suunnitelma-asiakirjoissa eikä se saa sisältää jäätä tai lunta. Laatu ja puhtaus tarkistetaan työmaalla silmämääräisesti. (InfraRYL 2010.)

Rengas- ja rengasrouhepenkereen alusta tehdään suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti niin, että suurin sallittu yksittäinen poikkeama pohjan tasauksessa ylöspäin on 0 mm ja alaspäin enintään 200 mm. Alustan tasaus ja muoto tarkastetaan silmämääräisesti ja tarvittaessa mittaamalla. (InfraRYL 2010.)

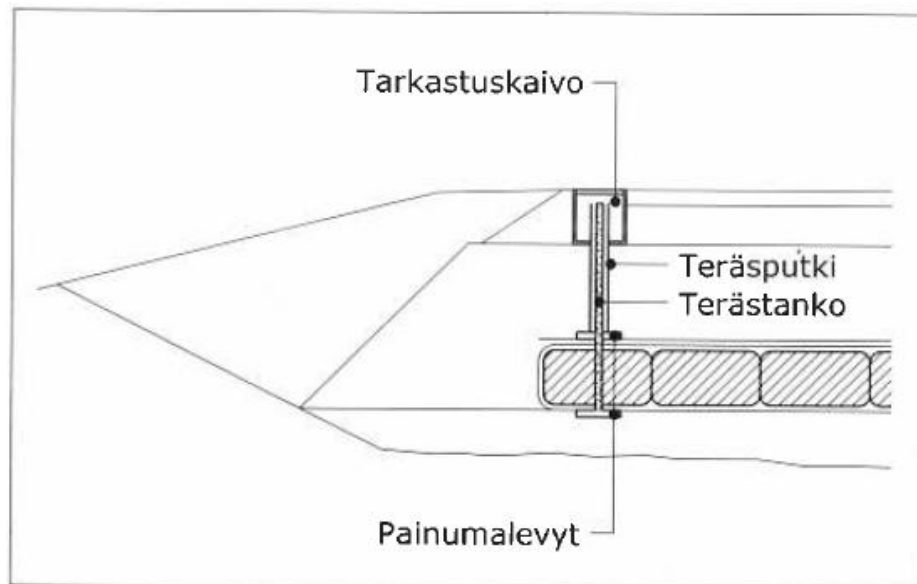
Kokonaisia renkaita käytettäessä on rakenne ympäröitävä suodatin- tai lujitekankaalla, jotta tyhjätilat eivät täyty. Rengaskevennyksen suuren kokoonpuristumisen takia on kiinnitettävä erityistä huomiota lopulliseen kerrospaksuuteen sekä kuitukankaiden riittävään limitykseen. Kankaan käyttöluokka on myös tarkistettava, että se on laatuvaatimusten mukainen sekä asianmukaisesti asennettu. (InfraRYL 2010.)

Kumirouhepenkereet rakennetaan kerroksittain tai kiilapengerryksenä. Rakenne tiivistetään alustavasti levityskoneella yliajaen ja samalla välttäen samojen ajourien käyttöä. Tiivistystyössä tulisi käyttää tela-alustaista konetta sillä rouheen sisältämät teräkset voivat rikkoa pyörät. Kokonaisia renkaita käytettäessä levitys- ja tiivistystyö voidaan tehdä myös pyöräalustaisella kuormaimella. Varsinainen tiivistystyö tehdään jakavan kerroksen päältä. (InfraRYL 2010.)

Kumirouhepenkereiden rakentamista ja tiivistämistä valvotaan pääosin työtapavalvontana. Siinä valvotaan, että pengertä tehtäessä otetaan huomioon myös 15...20 %:n ennakkokorotus, joka vastaa pääosin päällysrakennekerrosten aiheuttamaa välitöntä painumaa. (InfraRYL 2010.)

Valmiin penkereen korkeusaseman sallittu poikkeama on 0...-100 mm ja leveyden 0...+150 mm. Paksuuden tulee olla vähintään suunnitelma-asiakirjojen mukainen. Rakenteen mitat tarkistetaan 20 metrin välein. (InfraRYL 2010.)

Rengaskeventeen kokoonpuristumaa ja painumaa voidaan mitata painumamittarin avulla (Kuva 21).



Kuva 21. Painumalevyjen periaate mitattaessa rengaspenkereen kokoonpuristumaa ja painumaa (InfraRYL 2010).

Rengaskevennyksen toteutuksessa tierakenteeseen tulee noudattaa Taulukkoa 9:

Vaatus	Esitetty	Tehtävä	Virheet/Riskit	Dokumentti	Vaatimukset/ Kelpoisuus
Materiaali	InfraRYL	Hankittava ympäristölupa			RR0, RR1, RR2
CE-merkintä	InfraRYL	Pyydä todistus toimittajalta		Toimittajan toimittama todistus CE-merkinnästä	
Ei CE-merkintää	InfraRYL	Kokeet työmaalla kolmannen osapuolen valvonnassa		Työmaalla suoritettavien kokeiden dokumentointi ja arkistointi	
Alusta	InfraRYL		Vajavainen luiskaus, halkeamat asfaltissa materiaalien rajapinnan kohdalla. Vesien kerääntyminen rakenteeseen		Tarkemittaus ennen täyttöä
Suodatinkangas	InfraRYL	Limitettävä reilusti. Ei saa olla reikiä "Pussimainen", materiaali ei pääse karkaamaan	Vajavainen limitys	Todistus toimittajalta. Lisäksi oltava CE-merkintä	N3-luokan kangas
Kosteus	InfraRYL				
Lumi/jää	InfraRYL	Ei saa sisältää, silmämääräinen tarkistus työmaalla			
Levitys	InfraRYL	Kaivinkoneella, mielellään tela-alustaisella	Renkaiden sisältämät teräkset voivat rikkoa pyöräalustaisen kaivinkoneen pyörät		
Tiivistys	InfraRYL	Alustavasti levityskoneella. Lopullinen tiivistys jakavan kerroksen päältä Päällysrakenteeseen tehtävä ennakkokorotus. Työtapa- ja valvonta			
Valmis rakenne	InfraRYL				Tarkemittaukset 20m välein

Taulukko 9. Rengaskevennyksen rakentamisen tarkistuslista

6 Kustannukset

Kevennysmateriaalien alueellinen saatavuus vaikuttaa edelleen voimakkaasti eri materiaalien käyttöön. Suomessa ainoat merkittävät tehtaat, jotka valmistavat vaahtolasia ja kevytsoraa, sijaitsevat Etelä-Suomessa, joten erityisesti pohjoisemmassa rakennettaessa kuljetuskustannukset voivat nousta niin suuriksi, että muut, paremmin saatavilla olevat materiaalit voivat olla kustannustehokkaampi ratkaisu. Vaihtoehtoisesti voidaan miettiä kuljetuksia tarkemmin. Esimerkiksi pohjoisesta etelään täydellä kuormalla muuta tavaraa kuljettava tavaraliikenne voi esimerkiksi ottaa paluumatkalle tarvittavaa kevennysmateriaalia kyytiin, jos kuljetuskustannukset muuten nousisivat liian korkeiksi.

Kehä III:n parantamisen toisessa vaiheessa tehdyn tarjousvertailun yhteydessä kävi ilmi, että vaahtolasi on kuutiohinnaltaan kevytsoraa 23 % kalliimpaa. Vaahtolasin kokonaiskustannuksia alentavat kuitenkin rahtikustannukset, joita sen kohdalla ei ole ollenkaan tämän kyseisen työmaan osalta. Kuljetuskustannukset huomioon ottaen materiaalien kustannusero siis kaventuu, mutta vaahtolasi tulee silti kokonaiskustannuksineenkin noin 12 % kevytsoraa kalliimmaksi.

Kevytsoran ja vaahtolasin yhteydessä voidaan käyttää myös geolevyjä kevennyskerroksen alla tasaamaan painumia. Nämä levyt lisäävät osaltaan rakenteen kustannuksia sekä materiaalin että työn osalta (Häkkinen 2014).

7 Yhteenveto

Kevennysrakenteet ovat vuosien saatossa lisääntyneet infrarakentamisen yhteydessä voimakkaasti. Käyttö yleistyy ja kevennetyt alueet laajenevat entisestään, kun rakentaminen yleistyy myös heikommin kantavalla maaperällä. Tämän seurauksena myös laaduntarkkailun merkitys on entistä suurempi, jotta vältytään kalliilta korjaustoimenpiteiltä.

Työmaalla työnjohdon ja työntekijöiden tulisi ennen toteutusta perehtyä kunnolla suunnitelmiin ja työohjeisiin, jotta rakenne saadaan toteutettua oikeaoppisesti ja se toimii halutulla tavalla. Työn toteutettavuus on yleensä todettu jo suunnitteluvaiheessa, mutta myös työmaalla on hyvä tarkistaa, että työ on varmasti toteutettavissa ennen kuin siihen ryhdytään.

Tarkemmittauksiin on lisäksi kiinnitettävä entistä enemmän huomiota, jotta materiaalia saadaan varmasti tilattua oikea määrä. Työohjeen noudattaminen ja tarkemmittausten ottaminen penkereen tekemisen jälkeen auttavat varmistamaan, että riittävä laatu on saavutettu ja työ toteutettu suunnitelmien mukaisesti. Näin vältytään korjaustöiltä ja sitä kautta lisääntyviltä kustannuksilta.

Suunnittelun, tavarantoimittajien ja työmaan henkilöstön välisellä yhteydenpidolla lopputulos on yleensä parempi, kun jokaisella osapuolella on tarvittavat tiedot työn toteuttamiseksi.

Kevennysmateriaaleja on tällä hetkellä käytössä lukuisia. Harvemmin käytetyt materiaalit lisääntyvät sitä mukaa, kun tutkimustieto ja kokemukset paranevat. Ammattitaitoisia työntekijöitä on jokaisella osa-alueella, mutta materiaalien kehityksessä eivät välttämättä kaikki pysy aina mukana, mikäli tiedotus ei ole riittävällä tasolla.

Tämä työ ja kokemukset työmaalla osoittivat, että vaahtolasin ja kevytsoran ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset. Myös toteutustapa on melko lailla samanlainen. Vaahtolasin merkittävin etu kevytsoraan verrattuna on suurempi kitkulma, mikä mahdollistaa kevennysrakenteen tekemisen myös ahtaamissa paikoissa. Tämän hetkisen kokemuksen mukaan vaahtolasin käyttöä ovat rajoittaneet lähinnä sen kevytsoraa kalliimpi hinta.

Rengaskevennysten käyttöä on puolestaan rajoittanut sen sopimattomuus tiettyihin paikkoihin sekä sen haastava käsiteltävyys työn aikana.

Kuvat

Kuva 1. Kevennyspenger tasaisella pehmeiköllä, s. 7

Kuva 2. Penkereen osittainen keventäminen, s. 7

Kuva 3. Kevennys sivukaltevassa maastossa, s. 8

Kuva 4. Kompensaatioperustus, s. 8

Kuva 5. Vanhan penkereen leventäminen levennystekniikalla, s. 9

Kuva 6. Vanhan painuneen penkereen korjaaminen tai tasauksen nosto, s. 9

Kuva 7. Kevennykset meluvallissa ja meluvalliseinässä, s. 10

Kuva 8. Pohjaolosuhteiden jyrkät muutokset tiepenkereessä, s. 10

Kuva 9. Siltapenkereen siirtymärakenne kevennysmateriaalilla, s. 11

Kuva 10. Putkilinjojen kevennys tiepenkereen kohdalla, s. 12

Kuva 11. Weber Saint-Gobainin valmistamaa Lecasoraa, s.14

Kuva 12. Foamit-vahtolasimurskeen tyypillinen raemuoto, s.17

Kuva 13. Foamit-vahtolasimurskeen raekokojakauma, s. 20

Kuva 14. Vaahtolasimurskekerroksen painuma ajan suhteen, s. 21

Kuva 15. Tie- tai katupenkereen kevennys rengasrouheella, korjauskohde, s. 22

Kuva 16. Meluvallin kevennys kokonaisilla renkailla, s. 22

Kuva 17. Tiepenkereen kevennys rengaspaaleilla tulva-alueella, s. 23

Kuva 18. Kevytsorakevennyksen asemapiirustus, s. 28

Kuva 19. Kevytsorapenkereen rakentaminen, s. 31

Kuva 20. Tiepenkereen kevytsorakevennys ja rakenneosien suositusmitat, s. 32

Kuva 21. Painumalevyjen periaate mitattaessa rengaspenkereen kokoonpuristumaa ja painumaa, s. 38

Taulukot

Taulukko 1. Yleisimpien kevytsoralajitteiden teknisiä ominaisuuksia, s. 16

Taulukko 2. Vaahtolasimurskeen teknisiä ominaisuuksia (a) ja kantavuusominaisuuksia (b), s. 19

Taulukko 3. Vaahtolasimurskerakenteen lämmöneristävyyden arvoja, s. 20

Taulukko 4. Vaahtolasimurskerakenteen lämmöneristävyyden vastaavuus luonnon maa- ja kiviainekseen, s. 21

Taulukko 5. Rengaspenkereiden materiaalin irtotilavuuspainot, s. 23

Taulukko 6. Rengasrouheen ominaisuuksia, s. 24

Taulukko 7. Vaahtolasimurskeen tiivistäminen, s. 33

Taulukko 8. Kevytsora- ja vaahtolasipenkereen työvaiheen tarkistustaulukko, s. 36

Taulukko 9. Rengaskevennyksen rakentamisen tarkistuslista, s. 39

Lähteet

Häkkinen, Ilona 2014. DI, suunnittelija A-insinöörit Oy. Haastattelu 18.11.2014.

InfraRYL 2010 a. 18140 Kevennetyt penkereet. 18141 Kevytsorapenkereet ja – rakenteet.

InfraRYL 2010 b. 18140 Kevennetyt penkereet. 18144 Rengas- ja rengasrouhepenkereet.

Liikennevirasto 2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 9.3.2011. Liikenneviraston ohjeita.

Tien kevennysrakenteet 1997. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitos: Tielaitoksen selvityksiä 28/1997.

Uusioaines Oy, Foamit-vahtolasi, suunnittelu- ja rakennusohje 2012. <http://www.uusioaines.com>. Luettu 24.9.2014.

Weber Saint-Gobain. <http://www.e-weber.fi>. Luettu 19.10.2014.

Laatu- ja työsuunnitelma	
Työmaa:	Työnumero: Päivämäärä:
Laatija:	Kohde ja sijainti:
Resurssit: Kalusto Työryhmä Vastuuhenkilö(t) Materiaalit	Työryhmä: Vastaava työnjohtaja: Työnjohtaja: Työmaainsinööri: Mittatyönjohtaja: Kalusto: Siirtokalusto/tasauskalusto Kaivinkone <input type="checkbox"/> Kuorma-auto <input type="checkbox"/> Pyöräkuor- maaja <input type="checkbox"/> Tiivistyskalusto: Tärylevy <input type="checkbox"/> Valssijyrä <input type="checkbox"/> Kuivatuskalusto: Pumppu + <input type="checkbox"/> Aggregaatti/ letkut muu virtalähde <input type="checkbox"/> Materiaalit: Kevytsora <input type="checkbox"/> Vaahtolasi <input type="checkbox"/>

Laatu- ja työsuunnitelma

Aloitus-
Edellytykset:
Aiemmat
työvaiheet
Hankinnat
Aloituspalaveri

- Johdot ja kaapelit tiedossa
- Alle jäävän penkereen taso, leveys ja pintojen muoto tiedossa
- Kevennysmateriaalin toimitukseen liittyvät asiat selvillä
(Toimittaja, määrä, ajankohta)
- Aloituspalaveri pidetty (tekijöillä tiedot miten tehdään)
- Suunnitelmien tarkistus (toteutettavissa)
- Koneiden käyttöönottotarkastus pidetty
- Työalustan ja työmaateiden soveltuvuuden tarkastus
(Korjataan jos korjattavaa)

Laatu- ja työsuunnitelma	
Työn suoritus: Menetelmät Työjärjestys	<ol style="list-style-type: none">1.) Kaivetaan pohjamaa suunnitelmien mukaiseen korkoon2.) Rakennetaan reunapenkereet3.) Jos kevennysrakenteen alle tulee geolevyjä, ne asennetaan kaivannon pohjalle ennen suodatinkankaan levitystä ja limitetään sivusuunnassa 0,2m ja pituussuunnassa 0,5m toistensa päälle ja ruuvataan kiinni toisiinsa n. 30cm ruuvijaolla. Poraruuvit helpottavat työskentelyä4.) N3-luokan suodatinkankaan levitys kaivannon pohjalle ja reunoille siten, että kankaan reunat ulottuvat n. 1-2m reunapenkereiden yli, jotta kankaat saadaan myös loppuvaiheessa limitettyä riittävästi myös kevennyskerroksen yläpuolelle. Kankaat limitetään joka saumasta n. 1-2m5.) Kevennysmateriaalin levitys kaivantoon suoraan kuljetusauton lavalta kippaamalla ja tela-alustaisella levityskoneella levittäen6.) Kevytsoran tiivistys: Tiivistetään enintään 0,7m kerroksina ajamalla tela-alustaisella levityskoneella kerroksen päältä. Voidaan tiivistää myös valssi-jyrällä 300mm murskekerroksen päältä. Tiivistyy n. 10% Vahtolasin tiivistys: Tärylevyllä enintään 0,4m kerroksina tai ajamalla tela-alustaisella levityskoneella sen päältä enintään 0,9m kerroksina Lopullinen tiivistys 300mm murskekerroksen päältä valssi-jyrällä. Tiivistyy tavallisesti 10-25%. Kumpaakin materiaalia tiivistettäessä on vältettävä liikatiivistystä, jotta rakeet eivät murskaannu liikaa.

Laatu- ja työsuunnitelma	
Työn suoritus: Menetelmät Työjärjestys	7.) Jakavan kerroksen ja luiskatäyttöjen rakentaminen 8.) Kantavan kerroksen rakentaminen ja tien päällystäminen
Määräseuranta Mittausperusteet Menekki	Sopimuksen mukaisesti; suunnittelijan määräämät mittaperusteet ja työselitys sekä InfraRYL 2010 18140 Kevennetyt penkereet
Riskit ja niihin varautuminen	Maaperän häiriintyminen ja pilaantuminen (öljy- ja polttoainevuodot) - Koneiden tarkistus ja imeytysturpeen varaaminen niin, että se on tarvittaessa saatavilla riittävän nopeasti Kaivanto pidettävä työn aikana kuivana Kaivannon riittävä luiskaus
Noudatettavat työselitykset ja ohjeet	Työselitys InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet. 18140 Kevennetyt penkereet

Laatu- ja työsuunnitelma						
Laadun- varmistus	Laatutekijä	Vaatus/ Toleranssi	Mittaus- menetelmä	Mittaus- tiheys	Dokumentti	Mittauksen suorittaja
	Raekoko	Kevytsora KS432(#4-32) Vaahtolasi 10/60 (0/60 tai 11/63)	Seulonta/ Rakeisuus- käyrä	Lähtevät kuormat Saapuvat kuormat	Kuormakirja	Toimittaja Työmaalla työnjohtaja/ Vastaa- ottaja silmä- määräinen tarkastus
	Tyyppirakei- suuden vaihtelu	Kevytsora #0-32. Alle 4mm rakeita kork. 15% ja yli 32 mm rakeita kork. 10%	Seulonta	Valmistuksen aikana tai varastoinnin jälkeen	Kuormakirja	Toimittaja
	Yksittäiset rakeisuudet		Seulonta	Valmistuksen aikana tai varastoinnin jälkeen	Kuormakirja	Toimittaja
	Vesi- pitoisuus	Enintään 100l/m ³ , suurin yksit- täinen arvo 150l/m ³	Työmaalla sillemäär. tarkastus. Kuiva ta- vara pölyää	Lähtevät/ Saapuvat kuormat	Kuormakirja	Toimittaja. Työmaalla Vastaa- ottaja
	CE-merkintä				Todistus	Toimittaja toimittaa työmaalle
	Kevennetyn penkereen sallitut mitta- poikkeamat	InfraRYL 2010 18141.4 mukaisesti	Takymetri, laserit ym	20m välein. Lisäksi jokaisesta taite- pisteestä	Mittaus- pöytäkirja	Työmaa- henkilöstö. Mittamies/ mittaryhmä