



Kevennysrakenteiden suunnittelu

Tien pohjarakenteiden
suunnitteluohjeet

9.3.2011

Kevennysrakenteiden suunnittelu

Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet

Liikenneviraston ohjeita 5/2011

Kannen kuvat: Saint-Gobain Weber Oy:n ja Kuusakoski Oy:n kuva-arkistot

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-663X
ISBN 978-952-255-638-7

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-255-639-4

Kopijyvä Oy
Kuopio 2011

Ohje saatavissa Liikenneviraston www-sivuilta osoitteista:

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/fi/palvelut/tietopalvelut/liikenneviraston_ohjeita2011

http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelo_alku2.htm

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 020 637 373

Taitorakentaminen

Vastaanottaja
ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri
- vastuualueet,
Liikenneviraston investointi- ja
kunnossapitotoimialat

Säädösperusta
Maantielaki 109 §

Korvaa/muuttaa
Tien kevennysrakenteet TIEL 3200475

Kohdistuvuus
Tiehallinto

Voimassa
1.4.2011 - toistaiseksi

Asiasanat

pohjarakenteet, pohjarakennus, kevennykset, kevytsora, EPS-solumuovi, rengaskevennys, vaahtolasi, tuhkat, kuonat

Kevennysrakenteiden suunnittelu

Tässä ohjeessa esitetään yleiset vaatimukset kevennysrakenteiden suunnittelulle ja mitoitukselle.

Ohjetta sovelletaan eurokoodijärjestelmässä, joka on otettu käyttöön Liikenneviraston väylähankkeiden suunnittelussa 1.6.2010 alkaen. Geo-ohjeistuksen hierarkiaa on tarkemmin selostettu ohjeen luvussa 1.

Tämä ohje koskee vain maanteiden suunnittelua ja mitoitusta. Muiden teiden ja väylien suunnittelussa ohjetta voidaan käyttää soveltuvin osin.

Yksikön päällikkö
Taitorakentaminen


Antti Rytönen

Geoasiantuntija


Pentti Salo

LISÄTIETOJA

Pentti Salo
Liikennevirasto, Taitorakentaminen
puh. 020 637 373

LIITE Ohjelijaisu

TIEDOKSI Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL
 Rakennusteollisuus RT
 Infra ry
 Suomen Kuntaliitto
 Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
 VTT
 Tie- ja geokonsultit
 Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat
 Liikenneviraston kirjasto
 Rakennuttamisosaston ja Väylätekniikkaosaston yksiköt
 Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

Esipuhe

Tämän ohjeen on kirjoittanut Miikka Hakari, Juha Forsman ja Janne Sikiö Ramboll Finland Oy:stä. Työtä on ohjannut Pentti Salo ja Tiina Perttula Liikennevirastosta. Työn valmisteluun ovat osallistuneet myös Tuomo Kallionpää Liikennevirastosta sekä ohjeluonnoksen lausuntokierroksella kommentteja esittäneet suunnittelijat ja materiaalityöntekijät.

Helsingissä maaliskuussa 2011

Liikennevirasto
Investointi / Taitorakentaminen

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
1.1	Ohjeen soveltamisala	8
1.2	Suunnittelussa käytettävät ohjeet.....	8
1.3	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)	9
2	KEVENNYKSEN TARKOITUS JA KÄYTTÖKOHEET	10
2.1	Kevennyksen tarkoitus.....	10
2.2	Käyttökohteet	10
3	KEVENNYKSEN SUUNNITTELUN JA MITOITUKSEN PERIAATTEET	14
3.1	Suunnittelussa ja mitoituksessa huomioitavaa	14
3.2	Vakavuus	15
3.3	Painuma.....	15
3.4	Maanpaine.....	16
3.5	Noste	16
3.6	Päälysrakenteet	17
3.7	Tien pinnan liukkaus.....	18
3.8	Routamitoitus.....	18
3.9	Ympäristövaikutukset	18
3.10	Kuivatus.....	19
3.11	Siirtymärakenteet	19
3.12	Muuta suunnittelussa huomioitavaa.....	20
3.13	Suunnitelmissa esitettävät asiat	20
4	KEVYTSORA JA KEVYTSORABETONI	21
4.1	Ominaisuudet.....	21
4.1.1	Kevytsora	21
4.1.2	Muut kevytsoratuotteet	22
4.2	Käyttökohteet.....	23
4.3	Suunnittelu ja mitoitus.....	23
5	EPS-SOLUMUOVI.....	26
5.1	Ominaisuudet.....	26
5.2	Käyttökohteet.....	27
5.3	Suunnittelu ja mitoitus.....	28
6	RENGASKEVENNYKSET	31
6.1	Ominaisuudet.....	31
6.2	Käyttökohteet.....	32
6.3	Suunnittelu ja mitoitus.....	32
7	MUUT KEVENNYSMATERIAALIT	35
7.1	Vahtolasi	35
7.2	Kivihilituhkat	36
7.2.1	Yleistä 36	
7.2.2	Pohjatuhkan ominaisuudet.....	36
7.2.3	Lentotuhkan ominaisuudet.....	37
7.3	Terästeollisuuden kuonat.....	38

7.4 Muita kevennysmateriaaleja..... 39

KIRJALLISUUSLUETTELO..... 40

LIITTEET

Liite 1 EPS-tuotteiden kemiallinen kestävyys

1 Johdanto

1.1 Ohjeen soveltamisala

Tämä ohje on tarkoitettu suunnittelijoiden, rakentajien ja materiaalitoimittajien käyttöön. Keventäminen käsitellään ohjeessa pääosin suunnittelijan näkökulmasta. Ohje on tarkoitettu tien pohjarakenteen suunnitteluohjeeksi. Ohjetta voidaan käyttää soveltuvien osin myös muille väylille.

Ohjeessa käsitellään yksityiskohtaisemmin tavanomaisimmat kevennysmateriaalit; kevytsora, EPS-solumuovi ja rengaskevennykset sekä suppeammin muut kevennysmateriaalit; vaahtolasi, pohja- ja lentotuhka sekä terästeollisuuden kuonat.

Ohjeen päätavoite on edistää turvallisten ja taloudellisten kevennysrakenteiden suunnittelua ja tarjota ajankohtaista kevennysmateriaalitietoa ohjeeksi lukijalle.

1.2 Suunnittelussa käytettävät ohjeet

Eurokoodit on laadittu käytettäväksi erityisesti kantavien rakenteiden suunnittelussa, mutta ne on otettu käyttöön myös maarakenteiden suunnittelussa. Eurokoodijärjestelmään kuuluvat eurokoodeja täydentävät kansalliset liitteet.

Maarakenteiden suunnittelussa käytetään hyväksi geoteknistä suunnittelua koskevaa eurokoodin osaa 7 ja Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) siihen laatimaa kansallista liitettä¹, jota sovelletaan maanteiden ja muiden LVM:n alaisten väylien (rautatiet, vesiväylät) suunnittelussa ja rakentamisessa.

Suunnittelujärjestelmää täydentävät Liikenneviraston ohjeet:

- Eurokoodin 1997-1 ja kansallisen liitteen (LVM) soveltamisohje (NCCI7)
- ohje Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01

Liikenne- ja viestintäministeriön eurokoodi 7:n osaan 1 laatima kansallinen liite (Kansallinen liite (LVM), SFS EN 1997-1 Geotekninen suunnittelu, Yleiset säännöt: Soveltaminen infrahankkeisiin) on valmis. Liikenneviraston laatimat soveltamisohjeet (Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCI 7) julkaistaan vuoden 2010 aikana. Ohje Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01 on toistaiseksi voimassa kuitenkin siten, että ristiriitatapauksessa kuten varmuuslukujen osalta pätevät LVM:n kansallinen liite, standardi ja soveltamisohje tässä järjestyksessä.

Edellä mainittu ohjekokonaisuus pätee suhteessa tähän ohjeeseen.

¹ Ympäristöministeriö on laatinut talonrakentamista koskevan kansallisen liitteen, jonka sisältö poikkeaa LVM:n kansallisen liitteen sisällöstä. YM:n kansallista liitettä ei käytetä Liikenneviraston töissä.

Muita kevennysrakenteiden suunnittelussa käytettäviä ohjeita ovat:

- Geotekniset laskelmat TIEH 2100018-v-03
- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Edellän mainitut ohjeet ovat geoteknisiä suunnitteluohjeita. Kaikki pohjarakentamista koskevat ohjeet ja tietekniset suunnitteluohjeet on lueteltu Liikenneviraston ohjeluetelossa. Suunnittelun tulee perustua tieteknisen ja geoteknisen suunnittelun yhteensovittamiseen, jolloin ratkaisuja arvioidaan molemmista näistä näkökulmista ja otetaan huomioon tekniset, taloudelliset, turvallisuus- ja ympäristövaikutukset.

1.3 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)

InfraRYL 2010 sisältää kaksi osaa:

- toiminnalliset laatuvaatimukset ja
- tekniset laatuvaatimukset, sisältäen myös työlle esitettävät vaatimukset (yleiset työselostukset)

Liikennevirasto on ottanut käyttöön InfraRYL:n yleiset tekniset laatuvaatimukset siten, että sopimusasiakirjoissa viitataan aina InfraRYL:n teknisiin vaatimuksiin. Tiehankkeille laaditaan aina hankekohtaiset työselostukset ja laatuvaatimukset, joissa on esitetty miten ne pätevät suhteessa yleisiin laatuvaatimuksiin. Hankekohtaisissa materiaalivaatimuksissa voidaan poiketa useimmista InfraRYL:ssä esitetyissä vaatimuksista, mutta osa vaatimuksista on säädetty LVM:n hallinnonalan ohjeistuksella pakollisiksi.

InfraRYL:ssä esitettyjä toiminnallisia vaatimuksia voidaan hyödyntää suunnittelussa, mutta sopimusasiakirjoissa niihin ei viitata.

Suunnittelu perustuu pääsääntöisesti suunnittelua koskeviin ohjeisiin. Suunnittelussa on tarkistettava mahdolliset InfraRYL:n hankekohtaiset muutostarpeet. Tarvittaessa teknisen osan vaatimuksia täydennetään ja korjataan työkohtaisessa osassa suunnitellun rakenteen tarpeita vastaaviksi. Hankekohtaiset laatuvaatimukset ja työselostukset -asiakirjan pohjaksi otetaan käytännössä InfraRYL:n laatuvaatimukset, joihin poikkeamat ja täydennykset merkitään selvästi.

InfraRYL:n yleisistä työselostuksista käytetään aina viimeisintä voimassa olevaa versiota.

2 Kevennyksen tarkoitus ja käyttökohteet

2.1 Kevennyksen tarkoitus

Pehmeikköalueille rakennettaessa maarakenteista aiheutuvat kuormat ovat olosuhteisiin nähden suuria ja muodostavat siten ongelmia rakenteen pitkäaikaistoimivuudelle, kuten suuret painumat ja alhainen penkereen tai alueellinen vakavuus. Maarakenteista kohdistuva maanpaine voi aiheuttaa myös muihin rakenteisiin haitallisia kuormia ja pohjamaan liikkeitä. Kevennyksrakenteiden tarve on lisääntymässä sillä rakennuspohjat sijaitsevat yhä useammin heikosti kantavalla pohjamaalla ja varautuminen tulva- ja merivedenpinnan nousuun vaatii rakenteen tasauksen (yläpinnan) nostamista entistä korkeammalle.

Maarakenteista aiheutuvia kuormia voidaan vastaanottaa erilaisilla pohjanvahvistuksilla, jotka lujittavat pohjamaata tai kohdistavat kuormitukset kovaan maaperään. Vaihtoehtona on usein myös rakenteen keventäminen eli kiviaineksesta aiheutuvan kuorman pienentäminen. Tällöin osa kiviaineksesta korvataan kevyemmällä materiaalilla, jolloin vaikutus on sama kuin tasauksen alentamisella. Kuormia pienennettäessä vakavuus paranee ja painumat sekä muut maan liikkeet pienenevät.

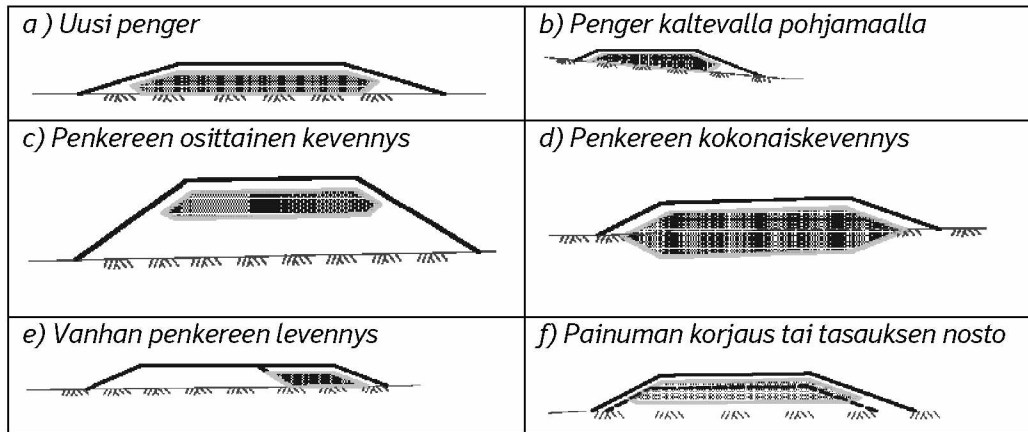
Kevennyksien etu korjauskohteissa on rakentamisen nopeus, menetelmän joustavuus ja soveltuvuus erityyppisiin kohteisiin. Osa kevennysmateriaaleista on sivutuotteita ja ne ovat edullisia tavanomaisiin maarakennusmateriaaleihin verrattuna.

2.2 Käyttökohteet

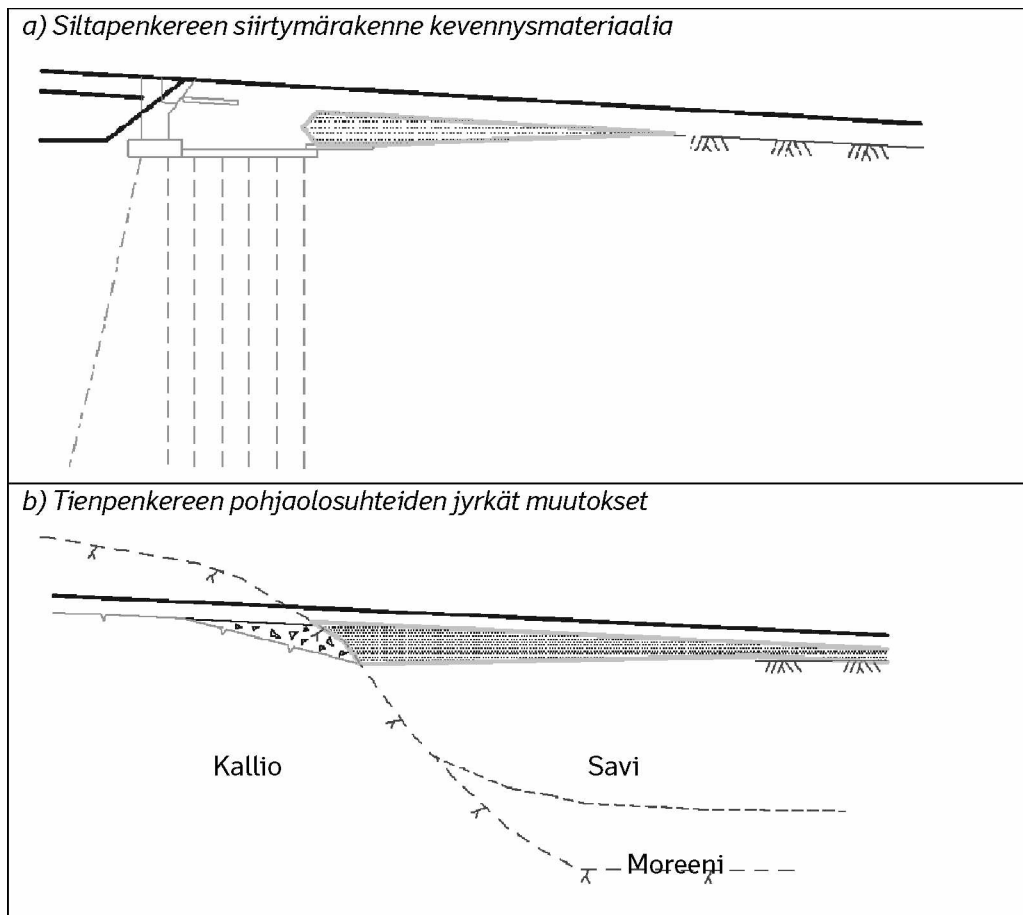
Kevennystekniikkaa voidaan soveltaa moneen käyttötarkoitukseen sekä uudisrakentamisessa että korjaus- ja täydennysrakentamisessa. Käyttökohteita ovat mm:

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

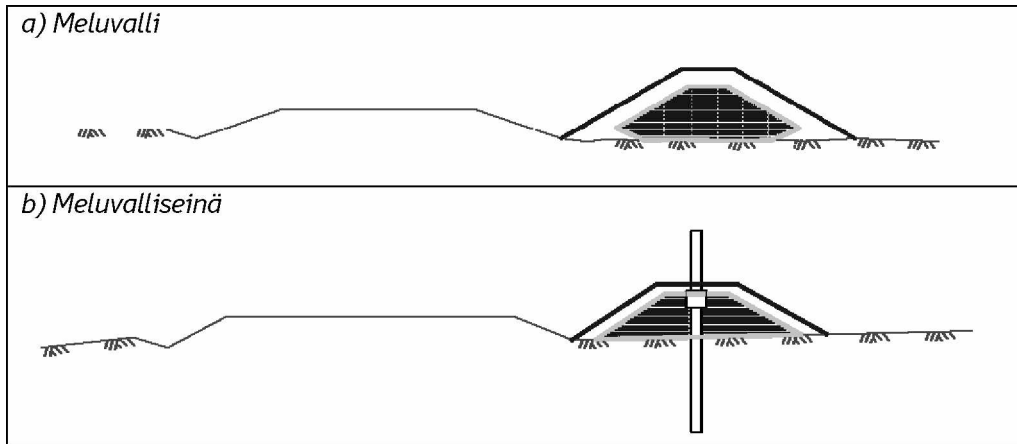
Tavanomaisimmat tiepenkereen kevennyssovellukset ja niiden käyttötarkoitukset on esitetty kuvissa 1–5. Kevennyksrakenteen poikki- ja pituusleikkauksen geometria riippuu käytettävän kevennysmateriaalin laadusta (blokki, hienorakeinen irtomateriaali tai karkearakeinen irtomateriaali).



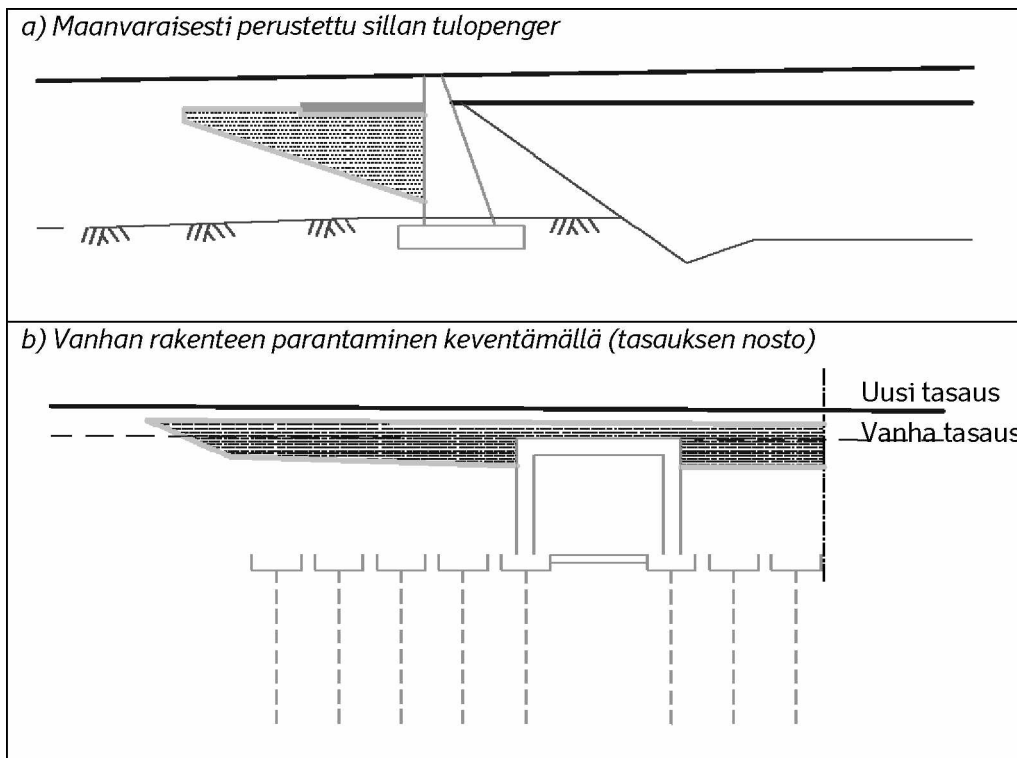
Kuva 1. a) - f) Tiepenkereen kevennysovelluksia, joilla vähennetään painumia ja/tai parannetaan stabiliteettia.



Kuva 2.a) ja b) Siirtymärakenteiden kevennyksillä tasataan painumia kun perustamistapa tai pohjaolosuhteet vaihtuvat jyrkästi.

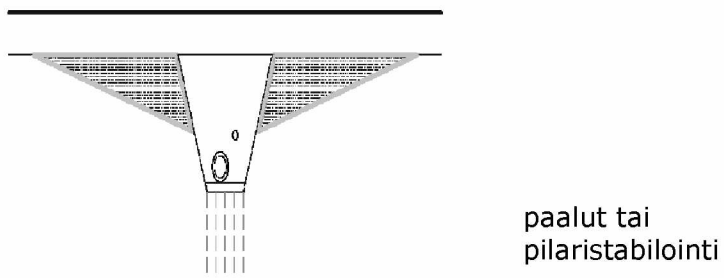


Kuva 3.a) ja b) Meluvallien kevennyksellä parannetaan penkereen tai luiskan vakavuutta ja vähennetään painumia.

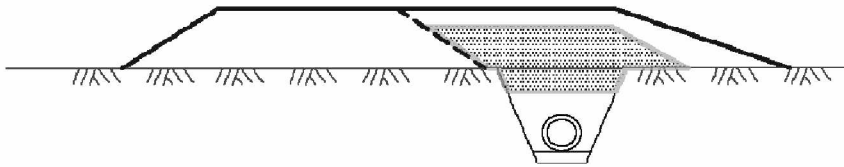


Kuva 4.a) ja b) Taitorakenteiden suunnittelussa voidaan keventämällä vähentää maarakenteista aiheutuvia vaaka- ja/tai pystykuormia.

a) Tiepenkereen poikkisuunnassa leikkaavan putkilinjan kevennys



b) Putkilinjan kevennys tiepenkereen levennyksen kohdalla.



Kuva 5.a) ja b) Putkilinjan kevennys tiepenkereen kohdalla.

3 Kevennyksen suunnittelun ja mitoituksen periaatteet

3.1 Suunnittelussa ja mitoituksessa huomioitavaa

Kevennyksen suunnittelu edellyttää kohteen kokonaisuuden arviointia. Ennen mitoitusta kartoitetaan kohteen geotekniset erityisvaatimukset ja määritellään kriittiset tekijät. Kevennyksen mitoituksessa ja suunnittelussa huomioitavia asioita on esitetty kappaleissa 3.2–3.13.

Kevennysmateriaalin vaatimuksenmukaisuus eli materiaalin ominaisuuksien varmenus osoitetaan ensisijaisesti CE-merkinnällä. Toissijaisesti vaatimuksenmukaisuus voidaan esittää materiaalin valmistajan dokumenttien perusteella ja/tai rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla kolmannen osapuolen valvonnassa. Materiaalin kelpoisuus eli soveltuvuus käyttökohteeseen selvitetään suunnittelussa. Kevennysmateriaalia valittaessa on huomioitava kohteen vaatimusten mukaisesti CE-standardeissa (EPS-solumuovi: EN 14933 ja kevytsora: prEN 15732 draft) esitetyt materiaaliominaisuudet, kuten:

Kevytsora:

- tiheys
- raekoko
- rakeisuus
- raemuoto
- vedenimeytyminen
- murskautuvuus
- jäätymis-sulamiskestävyys
- vedenimeytymiskorkeus
- tiivistyminen
- kuormituskestävyys
- syklisen puristuskuormituksen kestävyys
- kemialliset vaatimukset
- lämmönjohtavuus
- vedenläpäisevyys
- vaikutukset ympäristöön sekä muihin rakenteisiin

EPS-solumuovi:

- puristuslujuus
- taivutuskestävyys
- palotekniset ominaisuudet
- kokoonpuristuvuus
- syklisen puristuskuormituksen kestävyys
- pistekuorman kestävyys
- lämmönjohtavuus
- vedenimeytyminen
- jäätymis-sulamiskestävyys
- tilavuuspaino
- vaikutukset ympäristöön sekä muihin rakenteisiin
- pituus, leveys ja paksuus
- nelikulmaisuus
- tasomaisuus
- muotokestävyys (vallitsevissa olosuhteissa)

On myös tarkistettava, että kevytsoran kitkaominaisuudet vastaavat suunnittelukohteen vaatimuksia.

Edellä mainittua listaa materiaaliominaisuuksien varmentamisesta sovelletaan myös muille kevennysmateriaaleille.

3.2 Vakavuus

Maaperän ja maarakenteen vakavuus (stabiliteetti) on tarkistettava, mikäli arvioidaan, että maarakenteen kuormitukset voivat aiheuttaa murtotilan pohjamaassa tai siirtymiä ympäröivissä rakenteissa.

Kevennyksen paksuus, laajuus ja materiaali valitaan vakavuustarkasteluiden vaatimusten mukaisesti siten, että varmuus sortumista vastaan on riittävä. Laskennassa on huomioitava käytettävän kevennysmateriaalin erityispiirteet.

Rakenteen vakavuus mitoitetaan Eurokoodi 7:n ja LVM:n kansallisen liitteen soveltamisohjeen (NCCI 7) mukaisesti.

3.3 Painuma

Maarakenteen kuormitukset aiheuttavat painumia rakennettaessa heikolle maaperälle. Kokonaispainuma koostuu neljästä painumalajista: alkupainuma, konsolidaatiopainuma, plastinen painuma (leikkausjännitysten aiheuttama) ja jälkipainuma (sekundääripainuma), joista konsolidaatio- ja jälkipainuma ovat yleensä merkitseviä kevennystä mitoitettaessa. Painumamitoitus ja kevennyksen mitoitus tehdään geoteknisillä laskelmilla, joissa maaperän ominaisuudet ja kuormat määritetään kohdekohtaisesti. Lisäksi otetaan huomioon käytettävän kevennysmateriaalin erityispiirteet.

Kevennysmitoituksessa tavoitteena on yleensä ns. kokonaiskevennys, jossa uusi rakenne ei aiheuta lisäkuormaa pohjamaalle tai kuorma jää aikaisempaa kuormaa vähäisemmäksi. Osittaisessa kevennyksessä kevennysrakenteen mitoitetaan tavoitepainumalle. Osittainen kevennys voi olla perusteltua, mikäli on oletettavissa, että painumat ovat suurelta osin jo tapahtuneet tai tapahtuvat suhteellisen nopeasti. Myös pohjavedenpinnan korkea taso voi olla syynä osittaiseen kevennykseen. Valintaan kokonaiskeventäminen / osittaiskeventämisen vaikuttaa osaltaan rakentamiskustannukset, mikäli molemmat vaihtoehdot ovat teknisesti hyväksyttävissä. Painumamitoitus tehdään ohjeen "Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu" mukaisesti.

Yksinkertaisimmillaan kokonaiskevennys penkereelle pohjavedenpinnan yläpuolella lasketaan poistettavan maakerroksen sekä kevennysmateriaalin ja rakennekerrosten kuormien avulla kaavalla 1 (kuva 6). Mikäli osa kevennysmateriaalista sijoitetaan pohjavedenpinnan alapuolelle, lasketaan kokonaiskevennys kaavalla 2 (kuva 7).

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

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

q_{rak} on rakennekerrosten kuorma pohjavedenpinnan yläpuolella ($\gamma_{rak} \times h_{rak}$)

q_{kev} kevennysmateriaalin kuorma pohjavedenpinnan yläpuolella
($\gamma_{kev} \times h_{kev}$) + ($\gamma_{kev} \times h_{tä}$)

q_{kev}' kevennysmateriaalin kuorma pohjavedenpinnan alapuolella ($\gamma_{kev}' \times h_{rak}'$)

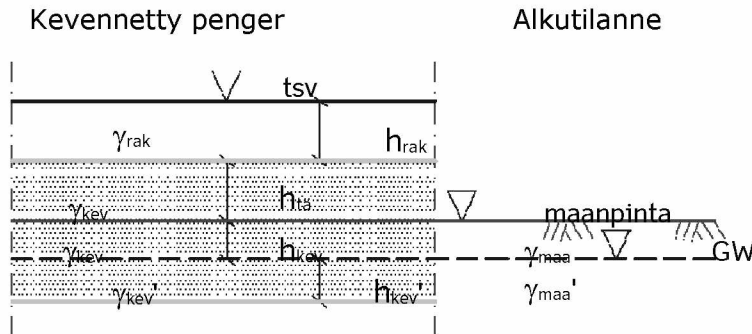
$q_{kaiv.maa}$ kevennyksen kohdalta poistetun maan kuorma ($\gamma_{maa} \times h_{kev}$) + ($\gamma_{maa}' \times h_{kev}'$)

q_w rakentamisen aiheuttaman pohjaveden alenemisen aiheuttama kuorma
($\gamma_{maa} - \gamma_{maa}'$) $\times h_{\Delta w}$

$h_{\Delta w}$ pohjavedenpinnan alenema



Kuva 6. Kokonaiskevennyksen periaate pohjavedenpinnan yläpuolella.



Kuva 7. Kokonaiskevennyksen laskentayhtälöiden 1 ja 2 merkinnät.

3.4 Maanpaine

Maamassoista aiheutuva maanpaine kohdistuu rakenteeseen maan ja rakenteen kosketuspinnassa. Maanpaine kohdistuu viereisiin rakenteisiin esimerkiksi siltapenkereeseen, tukimuuriin, perustukseen tai muuhun rakenteeseen. Maanpaine mitoitetaan Eurokoodi 7:n ja LVM:n kansallisen liitteen soveltamisohjeen (NCCI 7) mukaisesti.

3.5 Noste

Kevennysrakenne on mitoitettava nosteelle, mikäli vedenpinta voi nousta rakenteeseen, kuten esimerkiksi vesialueiden läheisyydessä tai tulva-alueella. Nostemitoitus tehdään Eurokoodi 7:n ja LVM:n kansallisen liitteen soveltamisohjeen (NCCI 7) mukaisesti. Nostemitoitus tehdään ylimmän mahdollisen toteutuvan vesipinnan tasoon lisättynä Eurokoodin varmuusluvulla.

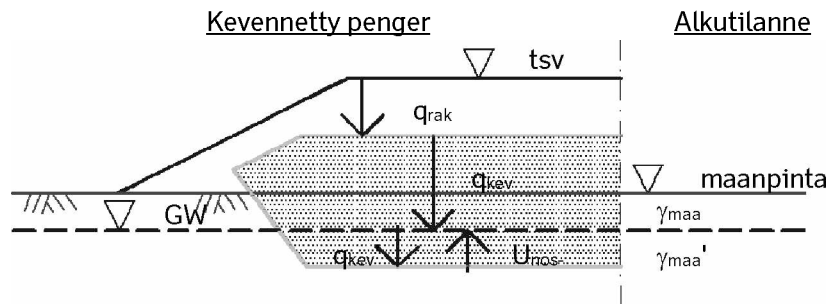
Nostemitoituksessa kevennysmateriaaleilla käytetään nostemitoitukseen tarkoitettuja mitoitustilavuuspainoja. Veden nousunopeus vaikuttaa tilavuuspainoon osalla kevennysmateriaaleista.

Varmuus veden aiheuttamaa nostetta vastaan lasketaan kuormien q ja nostevoiman U avulla kaavoilla 3 ja 4. Nostemitoitusta on havainnollistettu kuvassa 8 (osa merkinnöistä kuvassa 7).

$$F = (q_{rak} + q_{kev}) / U_{noste} \quad (3)$$

$$U_{noste} = (10kN/m^3 - \gamma_{kev}) h_{kev} \quad (4)$$

q on tilavuuspaino $\gamma \times$ kerrospaksuus h



Kuva 8. Kevennysrakenteen nostemitoitus, merkinnät.

3.6 Päällysrakenteet

Kevennysmateriaalien hyvät routaeristysominaisuudet mahdollistaisivat usein routamitoituksen kannalta tavanomaista ohuemman päällysrakenteen. Päällysrakenne-
mitoituksessa on otettava huomioon kuitenkin myös kevennysmateriaalin kantavuus ja kokoonpuristuvuusominaisuudet. Päällysrakenteen kantavuus- ja routamitoitus tehdään seuraavien ohjeiden ja tulevien päivitysten mukaisesti:

- Tierakenteen suunnittelu. Tiehallinto. Helsinki 2004. TIEH 2100029-04
- Tietoa tien suunnitteluun nro 71 (uusin versio)
- Liikenneviraston tekniset ohjeet (www.tiehallinto.fi/thohje).

Useilla kevennysmateriaaleilla on alhainen moduuli. Tästä syystä riittävän kantavuuden saavuttamiseksi on kevennysrakenteen yläpuolisesta päällysrakenteesta tehtävä tavanomaista paksumpi. Kevennyksen yläpuolisen päällysrakenteen kantavuutta voidaan parantaa ja/tai haitallisten muodonmuutosten riskiä pienentää mm. seuraavilla menetelmillä:

- geovahvisteet sitomattomissa rakennekerroksissa (synteettiset tai teräksiset)
- geovahvisteet päällysteessä (tai kevennyksen yläosassa esim. kevytsorabetonikerroksessa)
- lujittuvat materiaalit (esim. masuunihiekka/-murske, betonimurske tai stabiointi)
- kevennyksen yläosan lujittaminen (kevytsorabetonikerros tai lujempi EPS-pinnassa)
- betonilaatta.

Lujiteverkot päällysrakenteessa vähentävät päällysrakenteen pysyviä muodonmuutoksia (urautumista ja päällysteen vaurioita), mutta niiden vaikutus mitattuun kantavuuteen on yleensä vähäinen [Sintef. 2004].

Rakennekerroksen optimaalinen tiivistyminen joustavan kevennysmateriaalikerroksen päällä on usein vaikeaa tai mahdotonta. Tällöin päällysrakennekerroksen moduuli jää alhaisemmaksi. Jos tiivistyminen jää normaalia heikommaksi, on myös lujittuvan materiaalin lujittuminen normaalia vähäisempää (mm. betonimurske ja lentotuhka). Mikäli lujittuva kerros on liian ohut joustavan kevennyskerroksen päällä, saattaa päällysrakenne joustaa liikennekuorman alla liikaa ja syntyneet / syntyneessä olevat sidokset rakeiden välillä hajoavat, jolloin lujittuminen on odotettua vähäisempää tai lujittunutta kerrosta ei muodostu. Joillakin materiaaleilla lujittuminen vaatii vettä riit-

tävän pitkän ajan. Kevennysmateriaali katkaisee veden kapillaarisen nousun alhaalta päin ja päällyste ylhäältä, jolloin on mahdollista, että materiaalin lujittuminen jää alhaiseksi.

3.7 Tien pinnan liukkaus

Kevennysmateriaalien käyttö tierakenteessa voi tietyissä olosuhteissa aiheuttaa muuhun tieosuuteen poikkeavaa liukkautta tienpinnassa, aiheutuen kevennysmateriaalin hyvästä lämmöneristyskyvystä. Edellä mainitusta syystä on suositeltavaa käyttää vähintään 700 mm paksua päällysrakennetta kevennyksen päällä, jotta vältetään tienpinnan epätasaiselta jäätymiseltä.

Päällysrakenteen pinnan liukkautta tutkittiin koerakenteilla, laboratoriotutkimuksilla ja mallinnuksilla mm. 2000-luvun alussa. Tutkimuksessa todettiin, että ohuemman päällysrakenteen käyttäminen on joissakin tapauksissa mahdollista, mutta se edellyttää tarkempaa kohdekohtaista harkintaa ja mitoitusta. Tutkimuksen tuloksia on esitetty mm. raportissa Sintef. [2004]. Mikäli päällysrakenteen paksuutta halutaan ohentaa, on päällysrakenne suunniteltava ohjeen "Rakenteen parantamisen suunnittelu" mukaisesti [Tiehallinto 2005].

3.8 Routamitoitus

Ohjeessa esitetyt kevennysmateriaalit ovat routimattomia, lukuun ottamatta lentotuhkaa, joka saattaa olla routivaa. Kaikki ohjeessa esitetyt kevennysmateriaalit toimivat myös routaeristeenä.

Sisäisen konvektion merkitys lämmöneristävyttä heikentävänä tekijänä on sitä suurempaa, mitä paksumpi ja ilmaa läpäisevämpi eristekerros on ja mitä harvempi päällysrakenne on kevennyksen päällä. Mikäli kevennysmateriaali on erittäin huokoista tai karkearakeista, on kevennysmateriaalikerroksen ilman konvektion vaikutus tarvittaessa tarkasteltava routamitoituksessa.

3.9 Ympäristövaikutukset

Tehdasvalmisteiset kevennysmateriaalit, kuten kevytsora, kevytsorabetoni ja EPS-solumuovi ovat materiaaleja, joita voidaan käyttää maarakentamisessa ympäristöviranomaisen puolesta vapaasti ilman rajoituksia. Sivutuotteilla ja kierrätysmateriaaleilla ympäristövaikutukset vaihtelevat materiaalikohtaisesti.

Rengaskevennyksien maarakennuskäyttöä ei sallita pohjavesialueilla. Rengaskevennysmateriaalin ympäristövaikutukset on todettu kuitenkin melko vähäisiksi. Rengasmateriaalin käytölle vaaditaan aina hankekohtainen ympäristölupa. Kohteisiin joissa määrä on alle 10000 t/vuosi luvan myöntää kunta.

Pohjatuhka ja lentotuhka kuuluvat Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa [VNa 591/2006] piiriin. Asetus antaa mahdollisuuden hyödyntää tiettyjä tuhkia ilman ympäristölupaa pelkän ilmoitusmenettelyn perus-

teella edellyttäen, että asetuksessa esitetyt ympäristökelpoisuusvaatimukset ja muut ehdot täyttyvät. Materiaalit eivät sovellu pohjavesialueille.

Muista kevennysmateriaaleista vaahtolasi vaatii tällä hetkellä ympäristöviranomaisen luvan (suunniteltu tuoteistettavaksi vuonna 2011 tuotannon alkaessa, jolloin lupaa ei enää vaadita).

Terästeollisuuden kuonat kuten masuunihiekka ja masuunimurske ovat tuoteistettuja rakennusmateriaaleja ja siten maarakennuskäyttö ei vaadi ympäristöviranomaisen lupaa.

3.10 Kuivatus

Kevennysrakennetta suunniteltaessa ja mitoitettaessa on esitettävä rakenteen kuivatus. Mikäli kevennysrakenteen ei ole kokonaan vedenpinnan yläpuolella, on mitoituksessa huomioitava jääkö osa kevennyksestä ajoittain tai pysyvästi veden alle. Kevennysrakenteen kuivatustaso ja veden poistuminen on esitettävä suunnitelmissa.

Jos kevennysmateriaalipenkereen luiskat tehdään huonosti vettä läpäisevästä materiaalista, rakennetaan reunapenkereeseen pysyvä vedenpoistojärjestelmä tai vettä läpäiseviä aukkoja noin 30 m välein.

3.11 Siirtymärakenteet

Pohjaolosuhteiden vaihtelu tai maapohjalle tulevan kuormituksen muuttuminen lyhyellä matkalla voi aiheuttaa tiehen painumaeroja heikentäen siten rakenteiden toimintaa ja kestävyyttä. Suuria painumaeroja voi muodostua erityisesti pehmeikköjen reuna-alueilla, pohjanvahvistuksen muutoskohdissa sekä siltojen, rumpujen ja putkijohdosten kohdilla. Siirtymärakenteiden tarve kartoitetaan suunnittelutyön yhteydessä.

Yleisin kevennysmateriaali siirtymärakenteissa on kevytsora. EPS-solumuovi on myös yleisesti käytetty materiaali siirtymärakenteissa ja sitä voidaan käyttää, kun kevytsoran kevennysvaikutus ei ole riittävä.

Siirtymärakenteen kevennysmateriaalin määrä mitoitetaan siten, että ohuemmassa päässä painuma on sama kuin keventämättömällä penkereellä ja kiilan paksummassa päässä painumia ei tapahdu eli pehmeikön konsolidaatiojännitys ei ylity. Siirtymäkiilan laajuus arvioidaan tapauskohtaisesti riippuen kohteen rakenteista, pohjaolosuhteista ja vaatimustasosta. Tavallisesti siirtymäkiilan pituus vaihtelee 5...30 m. Siirtymäkiilan ohuemmassa päässä kevennysmateriaalikerroksen paksuus ei yleensä ole alle 0,2...0,3 m ellei kevennysrakenteen toimi myös routasuojauksen siirtymärakenteena (esim. EPS-solumuovilevy).

3.12 Muuta suunnittelussa huomioitavaa

Kevennysrakenteen suunnittelussa on huomioitava mm. rakenteen toteutettavuus, jälkihoito, myöhemmät mahdolliset korjaukset ja aukikaivu sekä kevennysmateriaalin saatavuus.

Kevennysrakennetta suunniteltaessa on huomioitava kohdekohtaiset erityispiirteet työn toteutettavuudessa. Esimerkiksi rakentamispaikoissa, joihin raskailla työkoneilla pääseminen on ongelmallista, on EPS-solumuovi tai puhallettava kevytsora asennettavuutensa puolesta järkevä kevennysvaihtoehto. Rakeisia kevennysmateriaaleja on myös mahdollista asentaa esim. hihnakuuljetusautoilla kohteissa, joihin on vaikea tai mahdotonta päästä muulla kalustolla (hihnakuuljetinautojen ulottuvuus on jopa yli 30 m ilman hihnan kannatinjaljoja).

Kevytsorarakenteiden ympäröinti tai osastointi suodatinkankaalla estää kevytsoran leviämisen putkikaivantoon tai leviämisen ympäristöön rakennetta aukikaivettaessa, kun vettä on alueella poikkeuksellisen paljon (putkirikko, tulva, tms.).

Ympäristölupaa vaativien materiaalien sijoittaminen todennäköisesti aukikaivettaviin rakenteisiin on tarkoin harkittava, koska pois kaivettujen materiaalien loppusijoitus ja uudelleen hyödyntäminen saattaa olla vaikeaa.

Kevennysmateriaalin saatavuus on varmistettava erityisesti sivutuotteita tai kierrätysmateriaaleja (tuhkat, rengasrouhe, yms.) käytettäessä. Sivutuotteen tai kierrätysmateriaalin hintaetu menetetään, mikäli materiaali joudutaan tuomaan kaukaa ja kuljetuskustannukset muodostuvat suuriksi.

Kevennysmateriaalin sijoittelussa ja suunnittelussa on huomioitava kevennysrakenteeseen liittyvien muiden rakenteiden asentamisen vaatimukset (esimerkiksi pylväiden ja kaiteiden perustukset).

3.13 Suunnitelmissa esitettävät asiat

Kevennysrakenteiden suunnitelmissa on aina esitettävä kevennyksen sijainti, laajuus, paksuus, kevennysmateriaalin tyyppi ja laatu sekä kuivatus ja liittyminen muihin rakenteisiin. Jokaisessa suunnitelmassa on esitettävä kyseisen käyttökohteessa vaadittavat materiaaliominaisuudet (luku 3.1). Lisäksi suunnitelmien tulee sisältää hankekohtainen työselostus, työn laatuvaatimukset ja ohjeet rakentamisen aikaisten mittauksen ja dokumentoinnin tekemiseen. Hankekohtaiset ohjeet täydentävät tai täsmenävät InfraRYL:n ohjeita.

Kevennyssuunnitelmat esitetään ohjeen "Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa" periaatteiden mukaisesti.

4 Kevytsora ja kevytsorabetoni

4.1 Ominaisuudet

4.1.1 Kevytsora

Kevytsora valmistetaan savesta polttamalla. Kevytsorarae on sisältä huokoinen ja pinnalta melko tiivis. Oikein mitoitettulla ja rakennetulla kevytsorakerroksella voidaan estää tai rajoittaa maarakenteen painumista ja routimista. Kevytsoran tärkeimmät ominaisuudet ovat:

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

Kevytsoran teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1. Maarakentamisessa käytetään yleisimmin kevytsoraa, jonka rakeisuus on 4...32 mm tai 10...20 mm. Puhallettavan kevytsoran rakeisuusalue on yleensä 4...20 mm. Ennen rakentamista on materiaalityömittajalta varmistettava, että käytettävän kevytsoran ominaisuudet vastaavat suunnittelussa käytettyjä ominaisarvoja.

Taulukko 1. Yleisimpien kevytsoralajitteiden teknisiä ominaisuuksia [vaihteluvälit julkaisuista: Maxit 2005, Sintef 2009, Sintef 2004]

Ominaisuus	Vaihteluväli	Ominaisarvo
Tilavuuspaino (irtokuiva)	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
– kuiva (w=30 paino-%)		
– ajoittain veden alla		
– pysyvästi veden alla		
– nostemitoituksessa		
Kitkakulma	33°...38°*	34° 37°
– löyhänä		
– tiivistettynä		
Vedenläpäisevyys **	10 ⁻³ ... 10 ⁻¹ m/s	10 ⁻³ m/s
Lämmönjohtavuus	0,12...0,19 W/mK	0,17 W/mK*** a _i =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 eristävyden kannalta (a_i) 0,7 m syvyydessä, kuivatiheys ≤ 400 kg/m³, alla 0,15 m kuivatuskerros. Vertailumateriaalina hiekka (a_i=1). Vaikeissa olosuhteissa lämmönjohtavuus voi olla tässä esitettyä suurempi.

4.1.2 Muut kevytsoratuotteet

Kevytsorabetonin moduuli on suuri, josta on etua silloin, kun päällysrakenteen paksuus pyritään minimoimaan. Siirtymärakenteissa, joissa kevytsoran jälkitiivistyminen pyritään estämään, saattaa olla perusteltua käyttää kevytsorabetonia. Myös silloin, kun päällysrakenteen yhtenäinen kantavuus kevennetyn rakenteen ulkopuolisen rakenteen kanssa halutaan varmistaa, saattaa kevytsorabetonin käyttäminen olla perusteltua.

Kevytsorabetoni voidaan valmistaa valmisbetonitehtaassa tai työmaalla. Betonitehtaassa valmistetun kevytsorabetonin saatavuus saattaa olla (alueellisesti) huono, joten on kehitetty myös menetelmä, jolla kevytsorabetonia voidaan valmistaa työmaalla. Työmaalla kevytsorabetoni valmistetaan puhallettavasta kevytsorasta, sideaineesta ja vedestä (sementtislurry). Kevytsora ja sementtislurry sekoitetaan puhallusletkun päässä ja seos puhalletaan letkua pitkin työkohteeseen. Työmaalla valmistetusta kevytsorabetonista käytetään myös nimitystä LBF (lightweight bounded filling).

Kevytsorabetoni ei ole lujuusluokiteltu, mutta lujuus määräytyy käytettävän sementtimäärän mukaan. Mitoituksessa kevytsorabetonin tilavuuspaino on noin 4 kN/m³ ja puristuslujuus 1 MPa. Tehdasvalmistetun kevytsorabetonin ominaisuudet sementtimäärän mukaan on esitetty taulukossa 2. [Maxit 2008, Tiehallinto 2005]

Kevytsoran stabiloinnissa sideaineena käytetään tavallisesti sementtiä, mutta myös bitumipohjaisia sideaineita on käytetty.

Taulukko 2. Tehdasvalmistetun kevytsorabetonin tilavuuspaino ja puristuslujuus sementtimäärän mukaan [InfraRYL, Tiehallinto 2005].

Luokka	Ominais­tilavuus­paino	Sementtimäärä	Puristus­lujuus (suuntaa-antava)
Qs 50	5,0 kN/m ³	50 kg/m ³	0,5 MPa
Qs 100	5,5 kN/m ³	100 kg/m ³	1,0 MPa
Qs 200	7,0 kN/m ³	200 kg/m ³	2,5 MPa
Qs 300	9,0 kN/m ³	300 kg/m ³	4,5 MPa

Puhallettava kevytsora soveltuu asennustapansa johdosta käytettäväksi ahtaisiin tai muutoin vaikeasti saavutettaviin kohteisiin.

Kevytsora on mahdollista pakata myös geosynteetistä valmistettuun säkkiin. Tehdasvalmistetun kevytsorabetonin on saatavana kahta eri kokoa olevia "kevytsorasäkkejä": pienempi säkki on tilavuudeltaan 65 l (suodatinkangassäkki) ja suursäkin tilavuus on noin 1 m³ (säkki kudottua kangasta). Suursäkkien korkeus päällekkäin ladottuna on noin 0,9 m.

Veden kapillaarinen nousu kevytsorassa on mahdollista katkaista emulsiopohjaisella lisäaineella, joka lisätään kevytsoraan lastauksen yhteydessä. Lisäaine voidaan sekoittaa myös puhallettavaan kevytsoraan. Kapillaarisen nousun katkaisevaa lisäainetta voidaan lisätä myös säkitettävään kevytsoraan.

4.2 Käyttökohteet

Kevytsoran tavanomaisimpia käyttökohteita ovat tiepenkereet ja muut liikennealueet sekä siltapenkereet ja putkijohtorakenteet (kaikki kunnalliset rakentajat eivät hyväksy kevytsoraa käytettävän putkijohtolinjojen täytöissä). Taustatäytöksi asennetulla kevytsoralla voidaan pienentää tukiseiniin ja -muureihin (tms. rakenteisiin) kohdistuvaa maanpainetta. Paaluperustusten ympärillä kevytsorakevennys vähentää paaluihin kohdistuvaa vaippahankauksesta aiheutuvaa lisäkuormaa. Puhaltamalla asennettuna kevytsora soveltuu käytettäväksi ahtaisiin paikkoihin.

Kevytsorabetonin tyypillisiä käyttökohteita ovat: kuormituskestävyyttä vaativat täytöt, sidottu kerros irtokevytsoran päällä, tukimuurien taustatäytöt ja suojabetonirakenteet.

4.3 Suunnittelu ja mitoitus

Kevytsorarakenteen mitoitusperusteet valitaan kohdekohtaisesti olosuhteiden perusteella arvioiden. Mitoituslaskennassa käytetään taulukon 1 mitoitusparametreja.

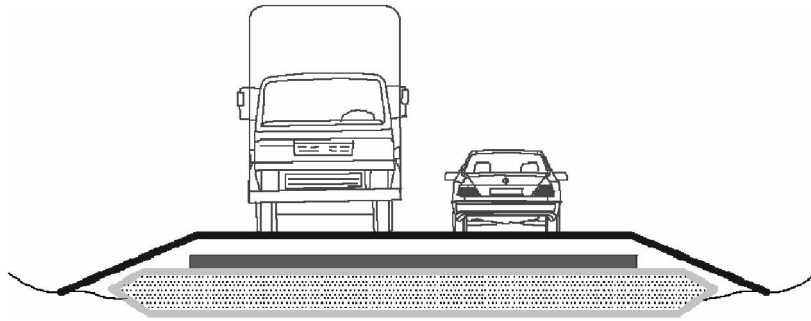
Kevytsoran kantavuusmitoitus tehdään päällysrakenteen mitoitusmenetelmällä, jossa kevytsorakerroksen yläpinnan kantavuutena käytetään tien alusrakenteen kantavuutta 50 MPa silloin, kun kevytsoran alapuolisen kerroksen kantavuus ja kevytsorakerroksen paksuus ovat riittävän suuria ko. kantavuus saavuttamiseksi. Ellei ole, on kevytsoran yläpinnalle käytettävä kantavuus määritettävä mitoituslaskelmilla. Tavallisesti ajoneuvoliikenteen väylillä käytetään vähintään 700 mm päällysrakennetta kevytsorakerroksen päällä, jolloin kevytsoran lämmöneristysominaisuus ei yleensä aiheuta merkittävää tien pinnan liukkausriskiä ja kantavuus on yleensä riittävä.

Kevytsora on vettä kevyempää ja nostemitoitus tehdään kevennysrakenteelle ylimmän pohjavedenpinnan tai vapaan veden pinnan määrittelemälle tasolle kohdan 3.5 mukaisesti. Rakennuspaikan olosuhteiden mukaan nosteen voidaan olettaa kehittyvän siten, että

- vedenpinta nousee niin nopeasti, että kevytsoran rakeiden huokokset eivät ehdi täyttyä vedellä ja nettonoste on 10 kN/m³ tai
- vedenpinta nousee niin hitaasti, että vesi ehtii tunkeutua kevytsoran rakeiden huokosiin vähentäen nostevoimaa.

Liikenneviraston kohteissa nostemitoitus tehdään ensin mainitun varovaisemman periaatteen mukaisesti.

Kevytsorabetonista valettua laattaa voidaan käyttää yhdessä kevytsoran kanssa. Kevytsorabetonilaatta on jäykkä ja jakaa kuormituksia laajemmalle ja tasaa painumia. Tiepenkereessä kevytsorabetonisen laatan paksuus on tavallisesti 0,3...0,5 m [Weber 2010]. Ruotsissa raudoitettun kevytsorabetonikerroksen (LLP = light loadspreading plate, kuva 9) käyttämisestä kevennyksen yläosassa on kehitetty, tutkittu ja käytetty enemmän. Menetelmää on siellä kehitetty käytettäväksi tie- ja rautatiepenkereissä. Raportoidut käyttökokemukset ovat olleet hyviä. Lisää menetelmästä on esitetty mm. raportissa Sintef. [2004].



Kuva 9. Tiepenkereen kevennys kevytsoralla, jonka päälle on valettu raudoitettu kevytsorabetonilaatta (ns. LLP = light loadspreading plate).

Tyypillinen kevytsoralla kevennetty tiepenger ja sen rakenneosien suositusmitat on esitetty kuvassa 10.

Kevytsorapenger suojataan aina vähintään 1,0 m leveällä reunapenkereellä. Kevytsorapengeren luiskakaltevuus on 1:1,5 tai loivempi. Isoissa kevennyskohteissa luiskakaltevuus voidaan toteuttaa jyrkempänä kohdekohtaisesti suunniteltuna. Kevytsora ympäröidään suodatinkankaalla.

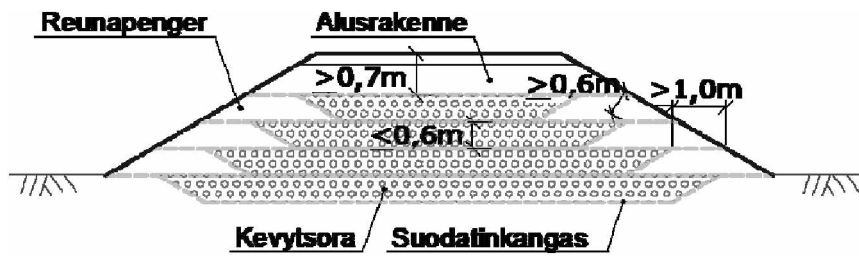
Kevytsorakevennyksen työjärjestys on seuraava (kuva 10):

- reunapenkereiden ja kuivatuksen rakentaminen
- suodatinkankaan asentaminen (alaosa)
- kevytsoratäytön rakentaminen
- suodatinkankaan asentaminen (yläosa)
- jakavan kerroksen ja luiskatäyttöjen rakentaminen
- kantavan kerroksen rakentaminen ja tien päällystäminen

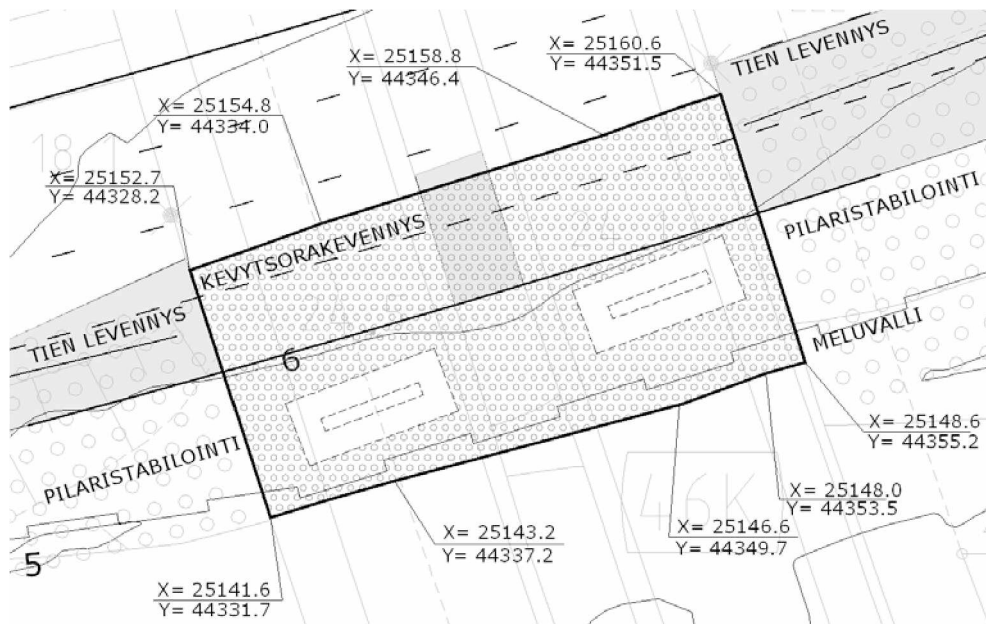
Talvirakentamisen aikana valvotaan silmämääräisesti, että kevytsora ja rakennusaluksia eivät sisällä lunta tai jäätä.

Kevytsoran tiivistäminen tehdään tärylevyllä, tela-alustaisella työkoneella tai jyrällä InfraRYL:ssä esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Tiivistäminen voidaan tehdä suoraan kevytsoran päältä tai ohuen murskekerroksen päältä [Maxit 2005, Weber 2010]. Tyypillisesti kevytsora tiivistyy n. 10 % tiivistettäessä löyhästä tiiviiseen tilaan. Kevytsoraa ei voi tiivistää enempää kuin 10...15 % aiheuttamatta rakeiden merkittävää murskaantumista [Sintef. 2004].

Rakentamisen työohjeita ja materiaalin laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä (Osa 1). Niitä täydennetään ja esitetään poikkeamat InfraRYL:in nähden kohdekohtaisessa työselityksessä.



Kuva 10. Tiepenkereen kevytsorakevennys ja rakenneosien suositusmitat [Infra-RYL].



Kuva 11. Kevytsorakevennyksen asemapiirustus.

5 EPS-solumuovi

5.1 Ominaisuudet

EPS on umpisoluista paisutettua polystyreenimuovia. EPS-solumuovissa muoviraaka-aineen määrä on 2...5 til-%. EPS-solumuovi on kevyt maarakennusmateriaali. EPS-kevennysrakenteella vähennetään maarakenteiden vaakasuoraa maapainetta tai pystysuoraa kuormaa, jolloin siirtymät tai painumat vähenevät / estyvät. EPS-solumuovien tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- pieni tilavuuspaino (suuri kevennysvaikutus)
- hyvä lämmöneristävyys
- kosteudenkestävä
- ei johda vettä kapillaarisesti
- kestää pitkäaikaista raskasta kuormitusta
- helposti muokattavissa ja käsiteltävissä
- täysin kierrätettävissä
- suojattava liuottimilta
- mitoitettava nosteelle
- suojattava paloturvallisuussyistä

Yleisimmät kevennyksissä käytettävät laadut ovat EPS 120 ja 200. Muita EPS-laatuja ovat EPS 100, 150, 250 ja 300, joissa tuotelaadun numero viittaa puristuslujuuteen 10 % kokoonpuristumalla (σ_{10}). Normaali blokkikoko on mitoiltaan 0,5 x 1,2 x 3 m³, mutta käytännössä EPS-blokit valmistetaan yleensä mittatilauksena työmaan tarpeiden mukaan. EPS-solumuovien teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 3. Meluvälleissä saattaa olla mahdollista käyttää kevyempää ja heikompaa EPS-materiaalia, mutta tämä mahdollisuus on tarkasteltava ja hyväksyttävä tapauskohtaisesti.

Taulukko 3. EPS-solumuovin teknisiä ominaisuuksia [RT 2009, InfraRYL, VTT 2008, EPS-rakennuseristeteollisuus 2008, Tiehallinto 2004, Viatek 1999, EN 14933, Tepper 2010].

Ominaisuus	Vaihteluväli	Ominaisarvo*
Tilavuuspaino – stabiliteetti ja painuma – nostemitoitus	0,2...0,45 kN/m ³	1,0 kN/m ³ 0,2 kN/m ³
Leikkauslujuus	80...350 kPa	
Lyhytaikainen puristuslujuus σ_{10} 10 % kokoonpuristumalla	100...350 kPa	120 / 200 / 300 kPa
Lyhytaikainen puristuslujuus σ_5 5 % kokoonpuristumalla	90...300 kPa	108 / 180 / 270 kPa
Pitkäaikainen puristuslujuus 0,30 x σ_{10}	-	36 / 60 / 90 kPa **
Puristuslujuus syklisesti kuormitettuna 0,35 x σ_{10}		42 / 70 / 105 kPa
Lämmönjohtavuus	0,033...0,040 W/mK	$a_i=15$ ***
Kitkakerroin EPS-pintojen sekä EPS:n ja maan välillä	0,5	0,5
Taivutuslujuus σ_B		170 / 250 / 450 kPa
E-moduuli (kantavuusmitoitus)		10 / 16 / 24 MPa

* EPS-laadut: EPS 120 / EPS 200 / EPS 300

** Pitkäaikainen puristuslujuus (kts. luku 5.3)

*** EPS-solumuovin vastaavuus eristävyyden kannalta (a_i) 0,7 m syvyydessä, EPS:n alla 0,15 m kuivatuskerros. Vertailumateriaalina hiekka ($a_i=1$).

Muita solumuovituotteita ovat mm. EPS-putkisuojat ja EPS-rakeet. EPS-putkisuojaa voidaan käyttää putken ympärillä routaeristeenä tai putken läpäistessä EPS-kevennettyä. EPS-putkisuojaa voidaan valmistaa lähes kaikenkokoisille putkille ja eri paksuuksina. EPS-rakeita voidaan käyttää esim. silloin, kun EPS-blokki liitetään epä-säännöllisen muotoiseen pintaan ja rakeilla täytetään blokin ja epä-säännöllisen muotoisen pinnan välinen tila.

EPS-solumuovi kestää vahingoittumattomana normaaleissa rakentamisen käyttöolosuhteissa. Osa kemiallisista aineista on haitallisia (liuottimet), jolloin niiden vaikutuksesta solumuovi voi vahingoittua. EPS-solumuovin kemiallista kestävyyttä on esitelty liitteessä 1 [ThermiSol. 2009].

EPS-solumuovi on palava rakennusmateriaali (europaloluokka F). Tarvittaessa paloturvallisuutta voidaan parantaa valitsemalla kevennysmateriaaliksi EPS-solumuovin S-laatu, joka ei ylläpidä palamista (europaloluokka D ja E), mutta joka on hinnaltaan normaalia EPS-solumuovia kalliimpaa.

5.2 Käyttökohteet

EPS-solumuovi soveltuu parhaiten tiealueiden, siltapenkereiden ja putkijohtorakenteiden keventämiseen. EPS-kevennyksen paksuus on tavallisesti 0,5...1,5 m, mutta huomattavasti paksumpiakin rakenteita on toteutettu. EPS-solumuovin avulla voi toteuttaa myös esim. meluvallirakenteita. EPS-solumuovin kevennysvaikutus ja leik-

kauslujuus on suuri, joten materiaalista voidaan toteuttaa myös jyrkkäluiskaisia masiivirakenteita.

5.3 Suunnittelu ja mitoitus

Geotekninen mitoitus

EPS-kevennetyn rakenteen stabiliteetti, painuma ja noste mitoitetaan luvussa 3 esitettyjen ohjeiden mukaisesti käyttäen NCCI7 mukaisia osavarmuuslukuja. Laaja-alaisissa vakavuus- ja maanpainetarkasteluissa käytetään tasaisen pintakuorman ominaisarvona 10 kN/m² NCCI7:n mukaisesti.

EPS-kevennyksen stabiliteettilaskennassa on huomioitava se, että kevennys koostuu EPS-blokeista, jolloin blokkien saumojen leikkauslujuus muodostuu vain blokkien välisestä kitkasta ja mahdollisista mekaanisista liittimistä. EPS-solumuovin materiaalin leikkauslujuus on n. 50 % solumuovin taivutuslujuudesta [EN 14933].

EPS -materiaalin kestävyysmitoitus

Maantieliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI1'.

EPS -materiaalin kestävyys mitoitetaan kokonaiskuormalle, joka käsittää liikennekuorman LM1 ja pysyvän kuorman. Liikennekuorman kaavioon LM1 sisältyvät eri kuormakaistojen telit voidaan käsitellä tasaisena kuormana eurokoodin soveltamisohjeen Geotekninen suunnittelu - NCCI7 kohdan 4.4.1 mukaisesti käyttäen kuormitettavalla kaistalla arvoa 84 kN/m² kuitenkin niin, että viereiset kaistat voidaan olettaa kuormittamattomiksi. Kuorman vaikutusala on leveyssuunnassa 3,0 m ja pituussuunnassa 2,4 m. Suurten kuljetusten reiteillä materiaalin kestävyys tarkistetaan lisäksi käyttämällä nauhamaista ja 3 m leveää liikennekuorman kaaviota, jonka kuormitusintensiteetti tien pinnassa on 65 kPa. Kuormitus korvaa NCC1:ssä annetun liikennekuorman LM3 kaavion. EPS -materiaalin kestävyysmitoituksessa käytetään liikennekuormalle osavarmuuslukua 1,35 ja maan painolle osavarmuuslukua 1,15. Materiaalin osavarmuusluku on 1,25. EPS -materiaalin päällä olevien kerrosten välityksellä kuormitus voidaan jakaa alempiin kerroksiin kaltevuuden 2:1 mukaan. Betonilaatta (≥ 100 mm) jakaa kuormitusta tehokkaammin kuin sitomattomat kerrokset. Alustavasti jännityksiä laskettaessa voidaan olettaa, että betonilaatta vastaa noin 3 kertaa paksumpaa tiivistettyä sorakerrosta.

Materiaalin kestävyys tarkistetaan pitkäaikaiselle ja sykliselle kuormitukselle. Materiaalin pitkäaikaista kuormitusta vastaavan kestävyysominaisarvoksi voidaan olettaa yleensä $0,3 \cdot \sigma_{10}$, missä σ_{10} on lyhytaikainen puristuslujuus 10 % muodonmuutoksella. Viruman voidaan tällöin olettaa olevan alle 2% 50 vuodessa. Materiaalin syklisistä kuormitusta vastaavan kestävyysominaisarvoksi voidaan olettaa yleensä $0,35 \cdot \sigma_{10}$. Mitoituskuorma syklisessä kuormituksessa on telikuorma, jonka suuruus on 150 kN + 150 kN ja jota laskennassa voidaan käsitellä tasaisena 2,4*3,0 m² suuruiselle alueelle jakautuneena kuormana, jonka intensiteetti on 42 kPa. Mitoituksessa käytetään sekä pitkäaikaiselle että sykliselle kuormitukselle osavarmuuslukua 1. Materiaalin osavarmuusluku on kummassakin tapauksessa 1,25.

Rakentamisen työjärjestys ja kerrospaksuudet on toteutettava siten, että EPS-kerroksen päällä ei liikuta raskailla työkoneilla ennen kuin riittävän paksu päällysrakennekerros on rakennettuna. Mikäli EPS-materiaaliin muodostuu liian suuria kuormien aiheuttamia muodonmuutoksia, EPS:n moduuli pienenee ja vedenimu kasvaa merkittävästi.

EPS-kevennyksen yläpuolisten rakennekerrosten paksuudeksi tien liukkauden kannalta suositellaan muiden kevennysmateriaalien tavoin vähintään 0,7 m [luku 3.7]. Rakennepaksuuden ollessa alle 0,7 m, toimitaan mitoituksessa luvun 3.7 mukaisesti.

Suurten kuljetuksen reiteillä rakennetaan EPS-solumuovin mekaaniseksi suojaksi aina betonilaatta. Betonilaatta suositellaan rakennettavaksi myös pääteille ja muille teille kohteisiin, joissa dynaaminen kuormitus on tavanomaista suurempaa (esim. siltojen tulopenkereet). Ilman betonilaattaa käytettävän EPS:n puristuslujuuden tulisi olla vähintään 120...150 kPa. Betonilaatan alla EPS-keventeen puristuslujuuden tulee olla vähintään 100...120 kPa.

EPS-keventeet on suojattava mm. öljyn ja orgaanisten liuottimien (liite 1) syövyttävältä vaikutukselta. Suojarakenteeksi soveltuu mm. ohutmuovi (InfraRYL) paksuudeltaan vähintään 0,5 mm + suojakerros / -geotekstiili tai vaihtoehtoisesti kohteen käyttötarkoituksesta riippuen tiivis asfalttipäällyste, betonilaatta (esim. 150 mm) tai vettä läpäisemättömät maakerrokset. Suojarakenne suunnitellaan kohdekohtaiset olosuhteet huomioiden. Muovin tai betonilaatan kaltevuuden on oltava vähintään 1,5 %, jotta vedet ohjautuvat laatan päältä pois.

EPS-rakenteen mitoitusikä on vähintään 50 vuotta, ellei muuta mitoitusikää ole erikseen määritetty.

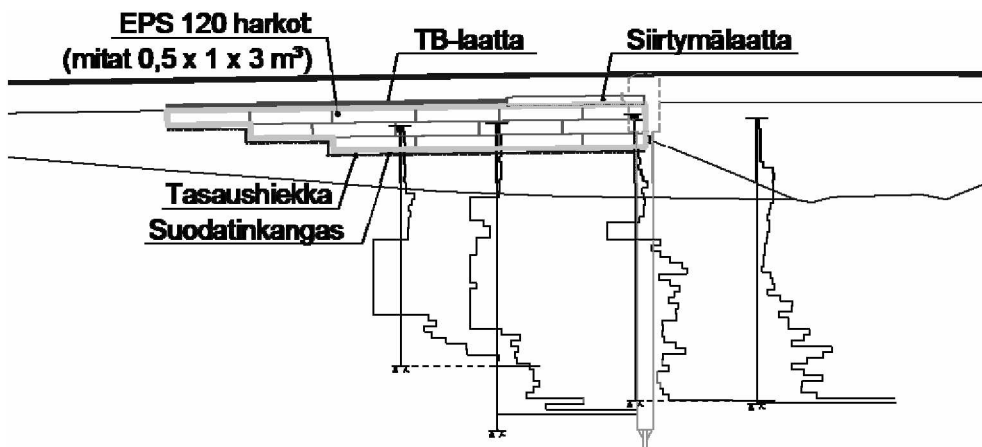
EPS-keventeen geometria

EPS-kevennys suunnitellaan tavallisesti siten, että penkereen porrasmaisen luiskan kaltevuus on 2:1 tai loivempi mutta EPS-kevennys voidaan suunnitella myös pystysuorana. Luiskan verhouspaksuus EPS-blokkien kohdalla on vähintään 250 mm.

Eri EPS-laatuja on mahdollista käyttää samassa rakenteessa esim. siten, että raskaimmin kuormitetussa kevennyksen yläosassa käytetään lujempaa EPS-laatua ja kevennyksen alaosassa käytetään heikompaa laatua.

Mikäli EPS-kevennys sijoitetaan pohjavedenpinnan alapuolelle, on mitoituksessa huomioitava veden aiheuttama noste ja rakentamistavaiheessa on vedenpinta alennettava kevennyksen pohjatason alapuolelle. Kosteusteknisesti vaativissa olosuhteissa, kuten routaeristyksissä on käytettävä käyttötarkoitukseen suunniteltuja tiiviitä EPS-solumuovilaatuja [RT 37790].

Esimerkki siltapenkereen kevennyksestä EPS-solumuovilla on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Siltapenkereen EPS-kevennys.

Rakentamishjeet

EPS-blokkien asennus ja käsittely on suhteellisen yksinkertaista. Materiaali on kevyttä ja sitä voi leikata helposti. Materiaali on suojattava varastoitaessa, asennettaessa ja asennettuna säältä ja tulipaloa vastaan.

EPS-blokit ladotaan ristiin välttämällä päällekkäisiä ja rinnakkaisia saumoja. Pitkittäisaumoja ajouran kohdalla on vältettävä [Duškov 1997]. Blokit kiinnitetään toisiinsa hammaslevy-tyyppisillä liittimillä. Päällekkäiset kerrokset kiinnitetään toisiinsa läpi työnnettävillä teräksillä. EPS-blokit liitetään muihin rakenteisiin mekaanisesti kiinnittämällä tai liimaamalla.

Ennen rakentamista on materiaalitoimittajalta varmistettava, että käytettävän EPS-solumuovin ominaisuudet vastaavat suunnittelussa käytettyjä ominaisarvoja.

Rakentamisen työohjeita ja materiaalin laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä (Osa 1). Niitä täydennetään ja esitetään poikkeamat InfraRYL:in nähden kohdekohtaisessa työselityksessä.

6 Rengaskevennykset

6.1 Ominaisuudet

Rengaskevennyksen materiaali saadaan käytöstä poistetuista kierrätetyistä renkaista. Renkaat voidaan leikata rengasrouheeksi, sitoa paaleiksi tai käyttää sellaisenaan kokonaisina. Renkaan materiaali koostuu pääasiassa kumista, mutta sisältää myös nokea ja terästä.

Rengaskevennyksen tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- voidaan käyttää myös tulva-alueella
- suuri kokoonpuristuvuus rakennettaessa
- vaatii paksut päällysrakennekerrokset (alhainen moduuli)
- suuri vedenjohtavuus
- vaatii ympäristöviranomaisen luvan
- ei pohjavesialueelle
- suojattava paloturvallisuussyistä
- kustannuksiltaan edullinen.
- ei nostemitoitusta

Rengaskevennyksen teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4. Ennen rakentamista on materiaalitoimittajalta varmistettava, että käytettävän rengaskevennyksen ominaisuudet vastaavat mitoituksessa käytettyjä mitoitusarvoja.

Taulukko 4. Rengaskevennyksen teknisiä ominaisuuksia [InfraRYL, Häkkinen 2005, SCC Viatek 2002, Mäkelä & Höynälä 2000, Kuusakoski Oy 2010].

Ominaisuus	Rengasrouhe	Kokonaiset renkaat	Rengaspaalit
Nimellismitat	sivumitta esim. 50 mm 150 mm 300 mm	saatavilla erikokoisia renkaita	pit x lev x kork 1,5 × 1,4 × 0,75 m ³
Tilavuuspaino – kuiva – märkä – veden alla	4...6 kN/m ³	2...4 kN/m ³	5,5 kN/m ³ 5,7 kN/m ³ 0,8 kN/m ³
Tilavuuspainon ominaisarvo	5...6 kN/m ³ (10...40 kPa)*	2...4 kN/m ³ (10...20 kPa)*	
Koheesio	8...9 kPa		
Kitkakulma	~20...40°		
E-moduuli	0,5...3 MPa		
Vedenläpäisevyys	1 × 10 ⁻³ ...10 ⁻¹ m/s	5 × 10 ⁻² ... 10 ⁻¹ m/s	1 × 10 ⁻² ...10 ⁻¹ m/s
Lämmönjohtavuus	0,1...0,25 W/mK	0,1...0,25 W/mK	

* Rengaskevennyksen tilavuuspaino suluissa esitetyn kuorman alla (vaikuttaa rengaskevennyksen tilavuuspainoon)

Yleisin käytetty rengasrouhe on RR 300, jossa leikatun palan sivumitta on 300 mm. Muita rengasrouheluokkia ovat hienorakeisemmat RR 30, RR 50, RR 80, RR 150 ja RR 200, joissa rouhe on valmistettu kokonaisista renkaista useammalla leikkauskerralla (numero viittaa palan sivumittaan). Rengasrouheelta kevennyskäyttöön vaaditut ominaisuudet saavutetaan usein jo rengasrouheluokalla RR 300. Rengasrouheen hinta kasvaa jokaisen leikkauskerran myötä, joten rengasrouheen hinta kasvaa palakoon pienentyessä.

Rengaspaalit koostuvat kokonaisista renkaista, jotka on sidottu paaleiksi terässiteillä. Yhden rengaspaalin tilavuus on noin 1,4 m³.

Kokonaisilla renkailla tarkoitetaan tavallisesti henkilöauton tai kuorma-auton renkaita. Myös suurempia renkaita kuten maarakennuskoneiden renkaita on yleensä saatavilla.

Rengasmateriaalin käytölle vaaditaan hankekohtainen ympäristölupa. Rengaskevennysten maarakennuskäyttöä ei sallita pohjavesialueilla.

6.2 Käyttökohteet

Rengasrouheen pääasialliset käyttökohteet ovat alemman luokan tiet, kenttärakenteet ja siirtymärakenteet. Tiepenkereisiin suositellaan käytettävän luokan RR 300 mukaista materiaalia. Mikäli rengasrouheen tiivistäminen raskailla työkoneilla on putkilinjojen tms. takia hankalaa, suositeltava rengasrouhelajite on RR 50 [SCC Viatek 2002].

Kokonaisia renkaita voidaan käyttää esimerkiksi meluvalleissa tms. rakenteissa. Rengaspaalit soveltuvat parhaiten meluvalleihin, alempiluokkaisten teiden keventämiseen pehmeiköllä ja tulva-alueella sekä tulvapenkereisiin ja muihin pengerrakenteisiin, joihin ei kohdistu suuria kuormia. Rengasrouhetta ja kokonaisrenkaita käytetään yleisesti myös kaatopaikkojen kuivatusrakenteissa.

6.3 Suunnittelu ja mitoitus

Rengaskevenneiden yläpuolisen päällysrakenteen suositeltava paksuus on noin 0,9...1,4 m (18...28 kN/m²). Rengaskevenneen päälle tulevan rakenteen paksuus vaikuttaa rengaskevennyksen tilavuuspainoon:

- rengasrouheen tilavuuspaino 5...6 kN/m³ pengerkuorman 10...40 kN/m² alla
- kokonaisten renkaiden tilavuuspaino 2...4 kN/m³ pengerkuorman 10...20 kN/m² alla [InfraRYL].

Rengaskevennyksen tiivistyminen on otettava huomioon ennakkokorotuksena rakentamisen yhteydessä:

- hyvin tiivistetty rengasrouhe tiivistyy noin 10...20 % päälle rakennettavan kerroksen 10...20 kN/m² kuorman alla
- kokonaisilla renkailla toteutettu kevennysrakenteen tiivistyy 30...50 % noin 14...20 kN/m² kuorman alla.

Rengasrouheen tiivistyminen tapahtuu pääasiassa rakentamisen aikana. Käytön aikainen rengasrouhekerroksen kokoonpuristuma on yleensä noin 0...3 % [SCC Viatek 2002].

Rengasrouheen päälle tarvitaan paksu päällysrakenne. Päällysrakenteen ohentamismahdollisuuksia on selvitetty tutkimalla erilaisia sitoutuvia materiaaleja ja lujitteita osana päällysrakennetta. Lupaavalta ratkaisulta päällysrakenteen kantavuuden parantamiseksi on vaikuttanut teräsverkoilla lujitettu masuunihiekan ja betonimurskeen yhdistelmä rakenne. [SCC Viatek 2002].

Viherrakentamisen tarpeet (istutusten kasvualusta) on huomioitava suunniteltaessa kevennystä meluvalleihin ja muihin maisemasuunnitelman sisältäviin penkereisiin.

Esimerkki tiepenkereen kevennyksestä rengasrouheella on esitetty kuvassa 13 ja meluvallin kevennyksestä kokonaisilla renkailla on esitetty kuvassa 14. Tienpenkereen kevennys rengaspaaleilla tulva-alueella on esitetty kuvassa 15. Rengaspaalirakenteen toimivuuden kannalta on suositeltavaa käyttää teräsverkkoa rakenteen ylä- ja alapinnassa sekä täyttää paalien väliset tyhjätilat murskeella. Tällöin rengaspaalirakenne toimii yhtenäisesti ja siitä saadaan kantavampi ja tiiviimpi. [Smura & Sihvonen 2010]

Rengaskeventeiden vedenläpäisevyys on suuri. Tiepenkereen läpi suodatautuvat vedet eivät jää rengaskevennyskerrokseen. Rengaskeventeet soveltuvat hyvin rakennuspohjan kuivatuskerrokseksi, eikä erillistä salaojitusta tällöin välttämättä tarvita. [Repo 1997]

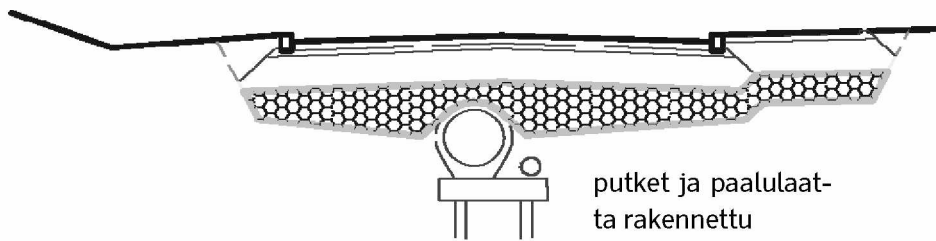
Rengaskevennysrakenteen sisältäessä paljon "tyhjätilaa" on rakenne ympäröitävä riittävän vahvalla lujite-/suodatinkankaalla, jotta pieneläimet eivät pesiydy rakenteeseen.

Rengasrouhepenkereet rakennetaan kerroksittain tai kiilapengerryksenä. Levityskoneen yliajokerrat tiivistävät rakenteen alustavasti. Levityksessä on vältettävä samojen ajourien käyttöä. Pääosin rakenne tiivistetään vasta jakavan kerroksen päältä.

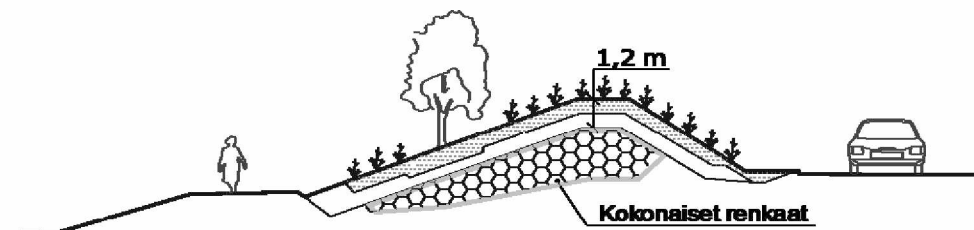
Rengasrouheen ja kokonaisten renkaiden levitykseen ja tiivistykseen käytetään tavallisesti tela-alustaista kaivinkonetta. Kokonaisia renkaita käytettäessä voidaan levitys tehdä myös pyöräkuormaajalla. Rengaspaalit asennetaan kaivinkoneeseen kiinnitetyllä puutavarakouralla tai kahmarilla. Rengaspaaleja on käsiteltävä varoen siten, että sidontalangat säilyvät ehjänä.

Rengasrouhe- ja rengaskevennys ympäröidään suodatin- tai lujitekankaalla, jotta tyhjätilat eivät täyty päältä varisevalla materiaalilla. Suuren kokoonpuristuvuuden takia on kankaiden asennuksessa käytettävä riittävää limityspituutta.

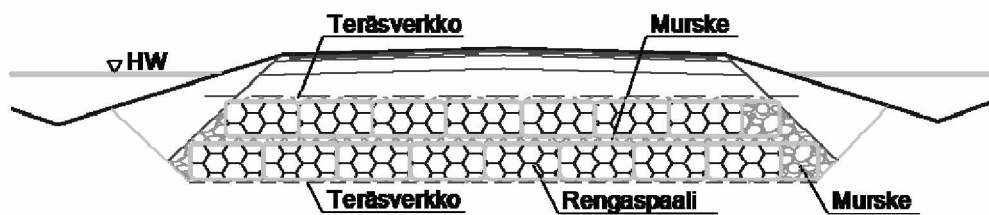
Rakentamisen työohjeita ja materiaalin laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä (Osa 1). Niitä täydennetään ja esitetään poikkeamat InfraRYL:in nähden kohdekohtaisessa työselityksessä.



Kuva 13. Tie- tai katupenkereen kevennys rengasrouheella, korjauskohde.



Kuva 14. Meluvallin kevennys kokonaisilla renkailla.



Kuva 15. Tiepenkereen kevennys rengaspaaleilla tulva-alueella.

7 Muut kevennysmateriaalit

7.1 Vaahtolasi

Vaahtolasi valmistetaan murskatusta keräyslasista, joka kuumennettuna paisutetaan vaahdotusagentin avulla noin viisinkertaiseksi alkuperäisestä tilavuudesta. Vaahtolasi on kuutiomainen raemuoto, jonka huokoinen koostumus sisältää 8 %-til. lasia ja 92 %-til. ilmaa.

Vaahtolasia voidaan käyttää kevennysmateriaalina maarakentamisessa. Muita sovelluksia ovat routaeristerakenteet sekä kuivatusrakenteet.

Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 5. Tiedot perustuvat osittain norjalaiseen aineistoon ja Suomessa valmistettavan vaahtolasin ominaisuudet saattavat poiketa esitetystä. Vaahtolasin ominaisuudet tarkentuvat sen jälkeen, kun materiaalin valmistus Suomessa alkaa.

Taulukko 5. Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia [Ritola & Vares 2008, Uusioaines Oy 2010]. Tässä esitetyt ominaisuudet voivat poiketa riippuen materiaalin valmistajasta.

Ominaisuus	Vaahtolasi
Rakeisuusalue	0...60 mm
Tilavuuspaino, mitoitus kuiva	3,5...4 kN/m ³ 1,8...2,3 kN/m ³
Kokoonpuristuvuus kuormitettuna (kuorma / kokoonpuristuma)	80 kPa / 2,4 % 150 kPa / 5,1 % 250 kPa / 9,0 %
Kitkakulma	36°...45°
Lämmönjohtavuus (kuiva)	≈ 0,1...0,2 W/mK

Tiepengerrakenteissa rakennekerrospaksuuksissa noudatetaan kappaleen 3.7 ohjeita.

Vaahtolasi tiivistetään noin 150 mm murskekerroksen päältä. Tiivistettäessä vaahtolasi kerros tiivistyy 10...25 %. Mitoittava pohjapaine valitaan huomioiden vaahtolasin puristuskestävyys ja kokoonpuristuvuus. [Ritola & Vares 2008]

Vaahtolasin käyttö maarakentamisessa vaatii tällä hetkellä ympäristöluvan. Vaahtolasi on suunniteltu tuoteistettavan tuotannon alkaessa, jonka jälkeen käyttö ei vaadi ympäristölupaa.

Vaahtolasin valmistus on alkamassa Suomessa v. 2011.

7.2 Kivihiilituhkat

7.2.1 Yleistä

Pohjatuhka ja lentotuhka syntyvät kivihiilen, turpeen tai puuperäisen aineksen palamistuotteena. Pohjatuhka kerätään talteen polttokattilan pohjalta ja lentotuhka savukaasuista suodattimien avulla. Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton pohjatuhkan ja lentotuhkan hyödyntäminen kevennysrakenteissa voidaan toteuttaa ilmoitusmenettelyllä "Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa" (VNa 591/2006) edellyttäen että asetuksessa esitetyt ympäristökelpoisuusvaatimukset ja muut ehdot täyttyvät. Muissa kuin VNa:n mukaisessa maarakennuskäytössä vaaditaan voimassa oleva ympäristölupa.

Tässä on esitelty kivihiilituhkien ominaisuuksia eli käsiteltävät materiaalit ovat kivihiilen polton pohjatuhka hiilipölykattilasta ja kivihiilen polton lentotuhka. Turpeen ja puuperäisen polton tuhkaa muodostuu lisäksi eri puolilla Suomea. Muita materiaaleja poltettaessa palamistuotteena syntyvä tuhka poikkeaa ominaisuuksiltaan kivihiilituhkasta.

Lentotuhka varastoidaan joko siilossa tai kasalla. Vain siilovarastoidun lentotuhkan voidaan olettaa lujittuvan. Kivihiilituhkan voimalaitoskohtaiset ominaisuudet riippuvat poltetusta kivihiililajitteesta, joten ominaisuudet ja materiaalin saatavuus on aina syytä varmistaa materiaalitöimittajalta ennen rakennemitoitusta.

VNa 591/2006 määrittelee kivihiilituhkan käyttökohteet, rakenteen erityisvaatimukset ja ympäristökelpoisuusvaatimukset siten, että hyödyntäminen voidaan tehdä ilmoitusmenettelyllä. Asetuksen mukaisen maarakennuskäytön vaatimuksia ovat mm.:

- käyttökohteet: yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet
- ei saa käyttää I-II –luokan pohjavesialueilla
- tuhkarakenne tulee päällystää (asfaltin tyhjätila $\leq 5\%$) tai peittää kiviaineksellä paksuus ≥ 10 cm)
- kerrospaksuus enintään 1,5 m.

Ympäristöluvitetussa kohteessa tuhkerakroksen paksuus voi olla suurempi kuin 1,5 m. Peitetyllä rakenteella liukaisuusvaatimukset ovat useiden aineiden osalta tiukempia kuin päällystetyllä rakenteella.

Kivihiilituhkien ominaisuudet poikkeavat seuraavasti luonnon maa- ja kiviaineksista:

- maarakennuskäyttö vaatii VNa:n mukaisen ilmoituksen ympäristönsuojelun tietojärjestelmään tai ympäristöluvan
- ei sovellu käytettäväksi korroosioherkkien materiaalien läheisyydessä
- ei saa rakentaa avoveteen tai liettyneen pohjamaan päälle
- jäänytyn tuhka ei sovellu rakenteeseen

7.2.2 Pohjatuhkan ominaisuudet

Pohjatuhkan geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Pohjatuhkan teknisiä ominaisuuksia [Rudus 2008 b, Helsingin Energia & Viatek Oy 2001, Finergy 2000].

Ominaisuus	Pohjatuhka
Rakeisuusalue	0,002...16 mm (raekokovastaavuus hiekka)
Lujittuminen	ei lujitu tai lujittuu heikosti
Routivuus	routimaton
Optimivesipitoisuus	16...24 %
Tilavuuspaino (irtokuiva)	10...15 kN/m ³
E-moduuli	50...100 MPa
Kitkakulma	39...53°
Koheesio	10...30 kPa
Vedenläpäisevyys	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁶ m/s
Lämmönjohtavuus	0,9 W/mK

Pohjatuhkarakenne suunnitellaan yleensä samalla tavalla kuin vastaavan rakeisuuden omaava luonnon maa- ja kiviaineksella toteutettava rakenne. Pohjatuhka soveltuu käytettäväksi alempiluokkaisten teiden päällysrakenteen alla esim. pengertäytöissä. Pohjatuhkan kevennysvaikutus on melko pieni mutta on silti materiaalina kevyempää kuin useimmat kiviainekset. Pohjatuhka on materiaalina kustannuksiltaan edullinen, mutta pitkät kuljetukset lisäävät hintaa.

7.2.3 Lentotuhkan ominaisuudet

Lentotuhkan geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Lentotuhkan teknisiä ominaisuuksia [Rudus 2008 a, Finergy 2000, Mäkelä & Höynälä 2000].

Ominaisuus	Lentotuhka
Rakeisuusalue	0,002...0,1 mm (raekokovastaavuus siltti)
Lujittuminen	siilossa varastoitu lujittuu, kasavarastoituneena lujittuminen vaihtelee
Routivuus	routivaa lujittumattomana, lujittuneena routivuus vaihtelee routimattomasta routivaan*
Optimivesipitoisuus	18...25 %
Tilavuuspaino (irtokuiva)	12...15 kN/m ³
E-moduuli	kasavarastoitu 50...150 MPa siilovarastoitu ja rakenteessa lujittunut 150...350 MPa
Kitkakulma	28...36°, lujittuneena 49...77°
Koheesio	23...47 kPa, lujittuneena 64...490 kPa
Vedenläpäisevyys	lujittumattomana 10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁷ m/s, lujittuneena 10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁸ m/s
Lämmönjohtavuus	hyvin tiivistettynä 0,4...1,0 W/mK

* Lentotuhkan routimattomuuden toteamiseen ja routimattomaksi rakentamiseen on kiinnitettävä huomiota - joissakin tapauksissa laboratorioissa routimattomaksi todetut lentotuhkat ovat rakenteessa routineet

Lentotuhkarakenteet on aina suunniteltava tapauskohtaisesti ottaen huomioon tapauskohtaiset olosuhteet ja saatavilla olevan lentotuhkan ominaisuudet. Lentotuhkan kevennysvaikutus on pieni, koska rakenteessa lentotuhkan vesipitoisuus ja tilavuuspaino kasvavat merkittävästi..

Lentotuhka on materiaalina kustannuksiltaan edullinen, mutta pitkät kuljetukset lisäävät hintaa..

7.3 Terästeollisuuden kuonat

Terästeollisuuden masuunikuonasta valmistettavat masuunimurske (MaKuM) ja masuunihiekka (MaHk) soveltuvat päällys- ja alusrakenteen rakennusmateriaaleiksi niiden kohtuullisen pienen tilavuuspainon ja hyvän kantavuuden takia. Masuunimurskeen ja -hiekan kantavuus lisääntyy ajan kuluessa sitoutumisen seurauksena ja siten päällysrakenteen rakennekerrokset voidaan toteuttaa normaalia ohuempina. Masuunikuona murskataan raekokoon, joka määräytyy työmaan tarpeiden mukaan.

Masuunimursketta voidaan käyttää päällysrakenteen jakavassa ja kantavassa kerroksessa. Jakavassa kerroksessa käytetään tavallisesti raekoon 0/200 mm masuunimursketta ja kantavassa kerroksessa 0/20 mm tai 0/32 mm. Suurin raekoko määräytyy rakennekerroksen paksuuden mukaan.

Masuunihiekan tavallisin käyttökohte tierakentamisessa on jakava kerros, jossa raekoko on noin 0,063/4 mm. Masuunihiekan pintaan on tehtävä vähintään 100 mm paksuinen murskekerros (#0/20 mm tai #0/32 mm) tartunnaksi asfaltille.

Masuunimurskeen teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 8 ja masuunihiekan taulukossa 9.

Taulukko 8. Masuunimurskeen teknisiä ominaisuuksia [Ruukki 2007].

Ominaisuus	Masuunimurske	
Rakeisuusalue	0–10...64 mm (raekokovastavuus murske)	0...200 mm (raekokovastavuus louhe)
Tilavuuspaino (rtr)	16...19 kN/m ³	15...18 kN/m ³
E-moduuli*	staattinen 600 MN/m ² dynaaminen 1000 MN/m ²	staattinen 500 MN/m ² dynaaminen 800 MN/m ²
Lämmönjohtavuus	0,9 W/mK	0,7 W/mK

* E-moduuli mitoitettaessa rakenne kuukauden ikäisenä

Taulukko 9. Masuunihiekan teknisiä ominaisuuksia [Ruukki 2006].

Ominaisuus	Masuunihiekka
Rakeisuusalue	0,063...4 mm (raekokovastavuus hiekka)
Tilavuuspaino (rtr)	14...15,5 kN/m ³
E-moduuli*	staattinen 600 MN/m ² ja dynaaminen 1000 MN/m ²
Vedenläpäisevyys	0,9...1,5 x 10 ⁻⁴ m/s
Lämmönjohtavuus	0,35 W/mK
Kapillaarisuus	0,1...0,20 m

* E-moduuli mitoitettaessa rakenne kuukauden ikäisenä

Masuunimurske tiivistetään tavanomaisella maarakennuskalustolla. Tiivistyskertoja vaaditaan tiivistyslaitteen massasta ja raekoosta riippuen vähintään 2...4 yliajokertaa. Tiivistettäessä masuunimurskeen rakeet särkyvät enemmän kuin kiviaineksella vaikuttamatta kuitenkaan materiaalin kantavuusominaisuuksiin. Masuunimurskettä tiivistettäessä on vaikea saavuttaa vaadittua tiiviysastetta Proctor-tiiviyyteen nähden, koska materiaalin sisäinen rakenne on huokoinen ja rakeet särmikkäitä.

7.4 Muita kevennysmateriaaleja

Muita kevennysmateriaaleja ovat mm. vaahtobetoni, palaturve, puunjalostuksen sivutuotteet. Näiden materiaalien ominaisuuksia on esitetty julkaisussa "Tien kevennysrakenteet" [Tielaitos 1997].

Kevennysmateriaaliksi soveltuvia sivutuotteita ja kierrätysmateriaaleja on esitetty myös Tiehallinnon ohjeessa "Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa" [Tiehallinto 2007].

Kirjallisuusluettelo

Banverket & Vägverket. 2009. TK Geo. Samhällsbyggare i Samverkan. TK GEO BVS 1585.001_VV Publ2009:46

Duškov, M. 1997. EPS as a light-weight sub-base material in pavement structures. Delft. Ph.D. thesis.

EN 14933. Thermal insulation and light weight fill products for civil engineering applications – Factory made products of expanded polystyrene (EPS) – Specification. European standard. September 2007.

EPS-rakennuseristeteollisuus. 2008. EPS 2000 tuoteluokitus. Dokumentti v04.08.

EPS-rakennuseristeteollisuus. 2004. EPS-eriste, palotekniset ominaisuudet.

Finergy. 2000. Tuhkarakentamisohje tie-, katu- ja kenttärakenteisiin. Viatek Oy.

Helsingin Energia & Viatek Oy. 2001. Pohjatuhka.

Häkkinen, I. 2005. Rengaspaalien käyttö maarakentamisessa. Diplomityö.

InfraRYL. 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustieto RT 14-10878.

Kuusakoski Oy. 2010. Kirjallinen tiedonanto. 22.11.2010.

Liikennevirasto. 2011. Tien pohjarakenteiden suunnitteluperusteet.

Liikennevirasto. 2010 a. Kansallinen liite (LVM), SFS EN 1997-1 Geotekninen suunnittelu, Yleiset säännöt: Soveltaminen infrahankkeisiin.

Liikennevirasto. 2010 b. Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCI 7.

Liikennevirasto. 2010 c. Tiepenkereiden ja –leikkausten suunnittelu.

Maxit. 2005. Leca-piharakentaminen. Esite. 1.1.2005

Mäkelä, H & Höynälä, H. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakentamisessa. Materiaalit ja käyttökohteet. Tekes. Teknologiakatsaus 91/2000.

prEN 15732. Light weight fill and thermal products for civil engineering application (CEA) – Expanded clay lightweight aggregate products (LWA). European standard. Draft. October 2007.

Repo, A. 1997. Renkaiden hyödyntäminen tierakenteissa. Esiselvitys. Tielaitos & Säk-kiväline. Helsinki.

Ritola, J & Vares, S. 2008. Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteena. VTT tiedotteita 2458.

RT 37790. 2009. EPS-lämmöneristeet. Tarviketieto. EPS-rakennuseristeteollisuus. 11/2009.

Rudus Oy. 2008 a. Lentotuhkaohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun.

Rudus Oy. 2008 b. Pohjatuhkaohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun.

Ruukki. 2007. Maa- ja tienrakennustuotteet. Masuunimurske. Esite 01/2007.

Ruukki. 2006. Maa- ja tienrakennustuotteet. Masuunihiekka. Esite 11/2006.

SCC Viatek. 2004. Leca-soran materiaalimoduulit, täydentävät analysoinnit 2003. Tutkimusraportti. Optiroc.

SCC Viatek. 2002. Uusiomateriaalit yhdyskuntien liikenneväylien pehmeikkörakentamisessa. Loppuraportti. Ekoinfra-projekti 2000–2002. Julkaisija Espoon tekninen keskus.

SFS-EN 13055-1 Kevytkiviainekset. Osa 1: Betonin, laastin ja juotoslaastin kevytkiviainekset.

SFS-EN 13055-2 Kevytkiviainekset. Osa 2: Kevytkiviainekset asfalttimassoihin ja pintauksiin sekä sitomattomiin ja sidottuihin käyttötarkoituksiin.

Sintef. 2009. Documentation of material properties for Leca aggregates and evaluated characteristic geotechnical parameters. Maxit Group. SBF IN F09414. 3.7.2009

Sintef. 2004. LWA-geolight. LWA for Roads and Railways. Internordic Research and Development Project. Final technical report. Nordisk Industrifond, Optirac. STF22 F0420. 28.5.2004. (Watn, A., Øiseth, E., Johanson, M., Forsman, J., Gustavson & H., Hagnestål)

Smura, M & Sihvonen, T. 2010. Mt 170 Östersundomin rengaspaalikevennys. Tekninen seuranta 2008-2010. Loppuraportti. Destia Oy. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Tepper, H. 2010. *Design Considerations*. EPS in Civil Engineering Applications - seminar. November 16.-17.11.2010. Amsterdam – the Netherlands.

ThermiSol. 2009. EPS-eristeet betoniteollisuudessa. Betoni-lehti 3/2009. Artikkelit.

ThermiSol. 1998. EPS-keventeet yhdyskuntarakentamisessa. Suunnittelu- ja rakentamishjeet.

Tiehallinto. Tiehallinnon tekniset ohjeet 2/2009. 23.10.2009.

Tiehallinto. 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Suunnitteluvaiheen ohjaus. TIEH 2100041-v-07.

Tiehallinto 2005. Tietoa tien suunnitteluun nro 71D. 27.1.2005

Tiehallinto 2005. Rakenteen parantamisen suunnittelu. TIEH 2100035-05.

Tiehallinto 2004. Tierakenteen suunnittelu. TIEH 2100029-04

Tielaitos. 1997. Tien kevennysrakenteet. Tielaitoksen selvityksiä 28/1997.

Tielaitos. 1990. Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa. TVH 703432.

Uusioaines Oy. 2010. Kirjallinen tiedonanto. 22.11.2010.

Viatek. 1999. EPS-kevenneet. Rakenteet ja käyttökokemukset. EPS-Rakennuseristeteollisuus. 7.4.1999.

VNa 591/2006. 2009. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Ympäristöministeriö. Muutokset 1825/2009 ja 403/2009.

VTT. 2003. Paksun EPS-kerroksen kuormituskestävyys. Sisäinen raportti RTE50-IR-14/2003. EPS-Rakennuseristeteollisuus ja VTT.

VTT. 2008. EPS-koetierakenne Muurlassa, Kevennerakennetutkimukset. EPS-Rakennuseristeteollisuus, Tiehallinto. Tutkimusselostus Nro VTT-S-S09017-08. 17.11.2008.

Weber. 2010. Maxit LWA Geotech. Guidelines. Internet-materiaali: <http://geotech.maxit-cms.com>. 13.8.2010.

EPS-tuotteiden kemiallinen kestävyys

Aine	Normaali ja palosuojattu S-laatu	Aine	Normaali ja palosuojattu S-laatu
Muurahaishappo	-	Alifaattiset hiilivedyt	
Savuavat hapot	-	Metaani, etaani	-
Heikot hapot		Propaani, butaani	-
Anhydritit	-	Heptaani	-
Nesteytetyt kaasut (epäorgaan.)		Kevyt ja raskat bensiini	-
Rikkidioksidi	-	Superbensiini, 10 % benzolia	-
Nesteytetyt kaasut (orgaan.)		Diesel, polttoöljy	+/-
Metaani	-	Parafiiniöljy	+/-
Etaani	-	Vaseliini	+/-
Propaani	-	Kasvis- ja eläinrasvat sekä öljyt	+/-
Butaani	-	Ketonit	
Propyleeni	-	Asetoni	-
Etyleenioksidi	-	Sykloheksanoni	-
Butadieni	-	Halogeenihiilivedyt	-
Orgaaniset rakennusmateriaalit		Amiinit	-
Bitumiliuokset	-	Amidit	-
Alkoholit		Nitriitit	-
Eetterit	-	Aromaattiset hiilivety-yhdisteet	-
Esterit	-		

+/- = Osittain kestävä.

Solumuovi vahingoittuu pidemmän vaikutusajan jälkeen

- = Kestämätön.

Solumuovi kutistuu nopeasti tai liukenee

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-639-4

www.liikennevirasto.fi