

## 18110 Maapenkereet

### 18110.1 Materiaalit

#### 18110.1.1 Maapenkereen materiaalit, yleistä

##### Vaatimukset

Pengermateriaalina käytetään hiekkaa ja sitä karkeampia tiivistettävissä olevia kivennäismaalajeja. Materiaali ei sisällä kiviä tai lohkareita, joiden läpimitta on suurempi kuin 2/3 kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta. Penkereiden maa-ainekset eivät sisällä haitallisia määriä epäpuhtauksia. Pengermateriaali ei sisällä lunta, jäätä eikä jäätyneitä maakokkareita tai materiaaleja.

##### Ohje

Tie- ja katurakenteiden pengertäytteenä käytetään tiivistämiskelpoisia kelpoisuusluokkien S ja H maita, *kuvat Liite:K2 ja Liite:K3* sekä *taulukko Liite:T17*. Maat soveltuvat pengerrykseen ja tiivistykseen seuraavasti:

- S1, H1: Pengerry- ja tiivistämistyössä ei yleensä ole vaikeuksia. Tämän ryhmän maamateriaalit soveltuvat pengermateriaaliksi myös ns. pohjaantäyttöihin sekä vesistö- ja suopenkereisiin. Hienoainespitoisuus (alle 0,063 mm) alle 7 %
- S2, S3, H2 ja H3: Maamateriaalien (lievästi routivia tai routivia) tiivistäminen ja käsittely on epäsuotuisissa olosuhteissa vaikeampaa kuin edellisen ryhmän maiden. Hienoainespitoisuus (alle 0,063 mm) 7...30 %
- S4 ja H4: Vähäinenkin (> 2%-yksikköä) optimivesipitoisuuden ylitys vaikeuttaa tiivistämistä. Vesipitoisuuden lähestyessä juoksurajaa ei maata voida yleensä käyttää sellaisenaan penkereeseen. Pengerrakenne on yleensä verhottava välittömästi pintaeroosion ja valumisten estämiseksi. Käsittelävyyttä voidaan parantaa esimerkiksi kalkilla. Hienoainespitoisuus (alle 0,063 mm) 31...50 %
- Si, jäykkä Sa ja SiMr: Maata ei yleensä voi käyttää pengermateriaalina muulloin kuin erityisen suotuisissa ja kuivissa olosuhteissa. Materiaali soveltuu vastapenkereisiin ja ns. voileipäarakenteeseen mitoitusroudansyvyyden (S) alapuolella. Pengerrakenne on yleensä verhottava välittömästi pintaeroosion ja valumisten estämiseksi. Käsittelävyyttä voidaan parantaa esimerkiksi kalkilla.

Kuivakuorisavea saa käyttää pengertäytteenä vain suunnitelma-asiakirjoissa osoitetulla tavalla.

Soilla mataliin, alle 1,5 m, penkereisiin saa käyttää vain routimattomia kelpoisuusluokkien S1, S2, H1 ja H2 materiaaleja.

Pengertäytteenä käytettävästä maa-aineksesta määritetään maalaji ennen käyttöönottoa sekä työn kestäessä aina, kun ottopaikan maalaji vaihtuu tai on syytä epäillä maa-aineksen kelpoisuutta penkereeseen.

##### Viihteet

- *Liite K2 Tien pengermateriaali S, InfraRYL*
- *Liite K3 Tien pengermateriaali H, InfraRYL*
- *Liite T17 Tien pohjamaa ja alusrakenne, InfraRYL.*

Rakenteiden pengertäytteenä käytettävästä materiaalista määritetään maalaji ja vesipitoisuus ennen niiden käyttöönottoa.

Pengertäytteen kelpoisuus tarkastetaan rakeisuuden perusteella maaleikkauksen tarkastuksen yhteydessä tai ottopaikoilla keskimäärin

- penkereissä 4000 m<sup>3</sup>rtr välein
- aina kun silmämääräisesti havaitaan, että materiaali poikkeaa aikaisemmasta
- aina ottopaikan vaihtuessa.

## 18110.1.2 Ratamaapenkereen materiaalit

### Vaatimukset

Ratapenkereissä käytettävät materiaalit esitetään *kuivissa Liite:K4, Liite:K5 ja Liite:K6*.  
Penger materiaalina voidaan käyttää myös mursketta, jonka rakeisuus on 0/150. Lämpäisyarvoja 60 % ja 10 % vastaavien raekokojen perusteella laskettava raekokosuhte toteuttaa ehdon  $d_{60}/d_{10} > 5$ .  
Rakeisuusalueella PL 1a hienoainepitoisuus  $< 35$  %.

#### Viitteet

- *Liite K4 Radan pengermateriaalit, InfraRYL*
- *Liite K5 Radan pengermateriaalit, InfraRYL*
- *Liite K6 Radan pengermateriaalit, InfraRYL*

#### Ohje

Maalajien käytettävyyteen vaikuttaa olennaisesti paikalliset olosuhteet, mm. vesipitoisuus, häiriintymisherkkyys, pohjaveden pinnan sijainti sekä vuodenaika. Suunnitelma-asiakirjoissa tarkennetaan massojen käyttökelpoisuus ja työtavat paikallisten olosuhteiden mukaan.

## 18110.2 Maapenkereen alusta

### 18110.2.1 Maapenkereen alusta, yleistä

#### Vaatimukset

Maapohjan ominaisuudet ja suunnitelma-asiakirjojen mukaisuus tarkistetaan ennen täyttötöitä vertaamalla havaintoja asiakirjojen tietoihin ja pohjatutkimustuloksiin. Lisäksi pengerrystöiden aikana tarkkaillaan, että pohjasuhteet on suunnitelma-asiakirjoissa arvioitu oikein.

#### Ohje

Jos pohjasuhteet eivät vastaa suunnitelma-asiakirjoja tai tällaista on syytä epäillä, sovitaan jatkotoimista tapausittain. Työn aikana tehdään pohjatutkimuksia, kun on tarpeen täsmentää rakennuskohteen pohjasuhdetietoja.

Pohjamaan/alusrakenteen luokittelu katurakenteissa esitetään *taulukossa 18110:T1*.

Epätasaisten painumien ja tiivistymien välttämiseksi pengeralustat käsitellään ja vahvistetaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Penkereen alapuoliset suodatinkerrokset ja pengeralustan vahvistukset osoitetaan suunnitelma-asiakirjoissa. Näiden lisäksi rakennetaan työn aikana tarpeelliseksi havaitut suodattimet ja vahvistukset..

Pintamaata ei poisteta pehmeiköillä muualta kuin suunnitelma-asiakirjoissa osoitetuilta alueilta. Pensaat, metsänkaatojätteet ja muu puuaines poistetaan koko pengerrättävältä alueelta. Pengerrettävän alueen raivaus tehdään *lukujen 11100 ja 11410* ja leikkaus ja muotoilu *luvun 16110* mukaan.

#### Viitteet

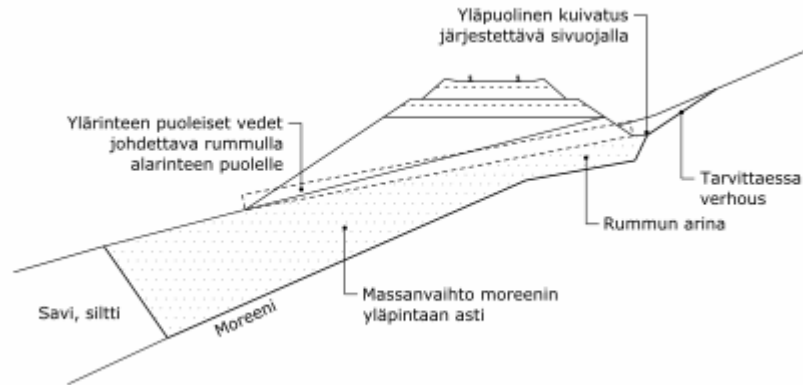
- *11100 Poistettava, siirrettävä ja suojattava kasvillisuus, InfraRYL*
- *11410 Poistettavat pintamaat, InfraRYL*
- *16110 Maaleikkaukset, erittelemätön, InfraRYL*

Ennen materiaalin levittämistä lumi ja jää poistetaan huolellisesti maapenkereen alle jääväältä pinnalta. Alusta on muotoiltu siten, että vedet poistuvat.

#### Ohje

Sivukaltevilla maastoilla penkereen liukumisriskin estämiseksi tarvittavat toimenpiteet esitetään työkohtaisissa suunnitelma-asiakirjoissa.

Kalliopohjalla liukumisriski on tarkastettava pintamaan poiston jälkeen, kun kallio on näkyvässä. *Kuvassa 18110:K1* esitetään yksi ratkaisu penkereen liukumisriskin vähentämiseksi.



**Kuva 18110:K1.** Esimerkki penkereen liukumariskin estämiseksi.

### 18110.2.1.2 Maapenkereen alusta tierakenteissa

#### Ohje

Tierakenteissa penkereen ja pohjamaan sekoittumisen estämiseksi rakennetaan enintään  $S_k + 0,2$  m korkeiden maapenkereiden alle suodatinkerros tai asennetaan suodatinkangas, jos pengeralusta kuuluu alusrakenneluokkaan uG tai uI. Maapenkereen korkeus, materiaalin laatu ja kosteustila vaikuttavat päällysrakenteen mitoitukseen. Penkereen yläosan (materiaalikorjatusta siirtymäkiilasyvyydestä  $S_k$ ) materiaalien laadun pitää kaikissa olosuhteissa säilyä vähintään suunnitelma-asiakirjojen mukaisena.

Korkeilla penkereillä pengerpohja voidaan jättää raivaamatta, jos suunnitelma-asiakirjoissa niin esitetään.

### 18110.2.1.3 Maapenkereen alusta katurakenteissa

#### Vaatimukset

Maapenkereen alusta katurakenteissa on *taulukon 18110:T1* mukainen.

**Taulukko 18110:T1.** Alusrakenteen kantavuusluokitus katurakenteissa.

Maalaji	Tarkennus	Lyhennys	Luokka
Kallio	kallio louhe <sup>1)</sup> murske <sup>1)</sup>	Ka Lo M	A
Kivet <sup>1)</sup>		Ki	A
Sora		Sr	B
Soramoreeni	routimaton routiva <sup>2)</sup>	rton SrMr SrMr	C E (F) <sup>4)</sup>
Hiekka	routimaton karkea routimaton keskikarkea routimaton hieno routiva keskikarkea routiva hieno	rton kaHk rton keHk rton hHk keHk hHk	C D D (E) <sup>4)</sup> E E (F) <sup>4)</sup>
Hiekkamoreeni	routimaton routiva <sup>2)</sup>	rton HkMr HkMr	D (E) <sup>4)</sup> E (F) <sup>4)</sup>
Siltti Silttimoreeni		Si SiMr	F (G <sup>4)</sup> , E <sup>5)</sup> )
Savi	kuivakuori ( $h \geq 1\text{m}$ ) sitkeä ( $S_u \geq 25 \text{ kN/m}^2$ ) pehmeä ( $S_u < 25 \text{ kN/m}^2$ )	kuivak. Sa Sa Sa	E F (E) <sup>5)</sup> G
Lieju		Lj	G

Turve		Tv	
Kantavuus	A = 300 MN/m <sup>2</sup>		
	B = 200 MN/m <sup>2</sup>		(150...280)
	C = 100 MN/m <sup>2</sup>		(70...150)
	D = 50 MN/m <sup>2</sup>		(35...70)
	E = 20 MN/m <sup>2</sup>		(15...35)
	F = 10 MN/m <sup>2</sup>		(5...15)
	G = 5 MN/m <sup>2</sup>		

Alusrakenteen kantavuus arvioidaan normaalisti pohjamaan maalajin perusteella. Jos pengertäytteen paksuus on vähintään 1 m, käytetään pengertäytteen kantavuusluokkaa. Jos pengertäytteen paksuus on alle 1 m, alusrakenteen kantavuus voidaan laskea, kun E-moduuliksi valitaan pengertäytteen kantavuusluokkaa vastaava kantavuus. Myös muut alusrakenteen pinnassa olevat varsinaista pohjamaata paremmin kantavat maakerrokset rinnastetaan tässä suhteessa pengertäytteeseen.

Huomautukset

- 1) Routiva murske routiva maata sisältävä louhe ja kivet rinnastetaan vastaavaan routivaan maalajiin.
- 2) Kantavuudeksi voidaan valita 35 MN/m<sup>2</sup>, jos kysymyksessä on kuiva penger tai jos hienoainespitoisuus on enintään 20 % ja paikka ei ole märkä, ks. huomautus 4.
- 3) Siipikairauksella todettu suljettu leikkauslujuus.
- 4) Suluissa olevaa kantavuusluokkaa käytetään, kun maa-aines on märkää lopullisessa alusrakenteessa eli pohjaveden etäisyys alusrakenteen pinnasta on alle 1 m tai paikkaan kerääntyy pintavesiä.
- 5) Penkereessä kuivana.

#### 18110.2.1.4 Maapenkereen alusta ratarakenteissa

##### Vaatimukset

Ratapengertä ei saa rakentaa routaantuneen maan varaan.

##### Ohje

Raivauksesta esitetään kelpoisuusasiakirjassa vähintään tutkimustulokset ja katselmusten tulokset.

### 18110.3 Maapenkereen tekeminen

#### 18110.3.1 Maapenkereen tekeminen, yleistä

##### Vaatimukset

Pengerryksessä noudatetaan työjärjestystä ja aikataulua, jossa otetaan huomioon seuraavat ohjeet ja kohteen olosuhteet.

##### Ohje

Työt ajoitetaan ja järjestetään siten, että leikkauksista saatavaa rakenteisiin kelpoista maata ei sää- tai pohjavesiolosuhteiden takia jouduta tarpeettomasti läjittämään. Pehmeikköalueilla ei saa tehdä suunnitelma-asiakirjoissa osoittamattomia läjityksiä, väliavarastointeja, kaivantoja tai lopullista jyrkempiä luiskia ilman geosuunnittelijan hyväksyntää.

Pehmeiköillä sijaitseville penkereille varataan riittävän pitkä painuma-aika. Vaiheittain pehmeikölle rakennettavaa tiepengertä ei saa korottaa ennen kuin painumalle, painuma-ajalle, huokosvedenpaineelle tai leikkauslujuudelle suunnitelma-asiakirjoissa asetetut vaatimukset täyttyvät. Suunnitelma-asiakirjoissa esitetyt painuma-ajat ovat arvioituja aikoja. Lopulliset painuma-ajat määrätään työnaikaisten mittausten perusteella. Työaikatauluissa varaudutaan myös siihen, että painumat tapahtuvat odotettua hitaammin.

Rakenneerrokset tehdään vasta, kun routa on sulanut penkereestä.

Talviaikaan rakennettaessa huolehditaan, että mahdollisimman pieni alue rakenteilla olevasta maarakenteesta on kerrallaan alttiina pakkasen vaikutukselle.

Penger rakennetaan tasalaatuina kerroksina. Maapenkereellä alusrakenteen pinta tasataan penkereen yläosaan käytetyllä materiaalilla ja muotoillaan suunnitelma-asiakirjojen mukaiseksi.

### Ohje

Jos luiskissa käytetään heikommin vettä läpäisevää materiaalia kuin varsinaisessa penkereessä, tehdään luiskiin noin 50 m:n välein vettä läpäiseviä veden purkautumiskohtia hiekasta tai sorasta. Ne tehdään luiskan alareunaan vähintään 1 m:n pituisina ja 0,3 m:n korkuisina.

Jos tierakenteissa päällysrakenteen luiskatäyttönä käytetään vedenpitävää kelpoisuusluokkien H4 ja S4 maata tai savea, silttiä ja silttimoreenia sisältävää materiaalia, on luiskatäyttö katkaistava järjestämällä vedelle poistumisaukkoja luiskatäytön läpi ojaan. Luiskatäyttö korvataan 2 m:n matkalla soralla tai sepelillä. Hiekka-, sora ja louhepenkereiden kohdalla aukko ulotetaan penkereen alapintaan. Luiskan aukkojen välimatka on notkokohdissa ja pohjavettä tiheissä pituuskaltevissa leikkauksissa 0...20 m, vedenjakajakohdissa ja korkeilla penkereillä 0...100 m ja muualla 20...50 m. Aukkoja ei tarvita ulkokaarten puolella, jos alusrakenne on kallistettu sisäkaarteeseen päin, eikä salaojin kuivatetussa rakenteessa. Vaihtoehtoisesti rakenne kuivatetaan salaojilla, joista on purkuaukkoja riittävän tiheästi. Salaoja on ainoa vaihtoehto, kun rakennekerrokset ulottuvat avo-ojan pohjan alapuolelle.

Kerrospengerryksen sijasta voidaan käyttää kiilapengerrystä. Se on suositeltava penkereen rakentamistapa talvella.

Katso soveltuvilta osin *luku 21510*.

### Viitteet

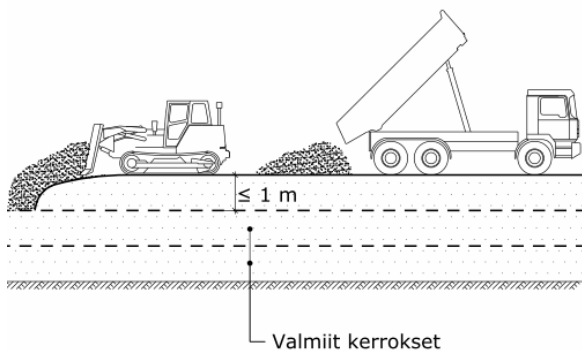
- 21510 Siirtymäkiilat, *InfraRYL*.

## 18110.3.1.1 Kerrospengerryksen tekeminen

### Vaatimukset

Kerrospengerryksessä tehdään likimain tasapaksuina, vaakasuorina, täyslevyisinä kerroksina *kuvan 18110:K2* mukaisesti. Penger tehdään työvaiheessa niin leveäksi, että rakenne on tiivistettynä vaadittujen mittojen mukainen.

Kerrosrakenteessa ja routivilla penkereillä kunkin kerroksen yläpinta tasoitetaan ja muotoillaan sivukaltevaksi (1:20) lammikoitumisen ja vettymisen estämiseksi.



**Kuva 18110:K2.** Kerrospengerryksen tekeminen.

### Ohje

Kerrospengerrys tehdään yleensä päällysrakenteen pinnan suuntaisina kerroksina siten, että heikoimmin kantavat ja routivat maalajit tulevat penkereen alaosaan. Kukin kerros tiivistetään täysilevyisenä suunnitelma-asiakirjojen mukaiseen tiiviyteen ennen seuraavan kerroksen rakentamista.

Pengerrystöissä levitettävän kerroksen paksuus määritetään taulukon *18110:T3* mukaan. Jos taulukon arvoista halutaan poiketa, tiivistystyön kelpoisuus osoitetaan koejyräyksellä.

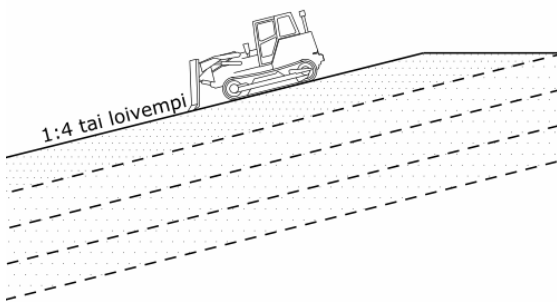
Pengerrystöissä kerralla levitettävän ja tiivistettävän kerroksen paksuuden tulee olla sellainen, että kerros saadaan käytettävällä tiivistyskalustolla riittävän tiiviiksi. Kerrospaksuus ei saa olla yli 0,7 m.

Jos täyttö tehdään sellaiselle pohjamaalle, joka saattaa normaalia tiivistystapaa käyttäen häiriintyä, on ensimmäisen täyttökerroksen paksuuden oltava suhteessa tiivistyskoneen tehoon ja kerros voidaan rakentaa normaalia paksumpana tai tiivistää ilman täryttämistä.

### 18110.3.1.2 Kiilapengerryksen tekeminen

#### Vaatimukset

Kiilapengerryksessä penkereen pää rakennetaan pituussuuntaan nähden 1:4 tai loivempina kerroksina, *kuva 18110:K3*. Kerrospaksuuksissa ja tiiviysvaatimuksissa noudatetaan kerrospengerryksen vaatimuksia.



*Kuva 18110:K3. Kiilapengerryksen tekeminen.*

### 18110.3.1.3 Päätypengerryksen tekeminen

#### Vaatimukset

Päätypengerryksessä nostetaan kerralla täytteen pinta sovittuun tasoon. Kuormat puretaan valmiin penkereen päälle etureunasta mitaten 5...10 m:n etäisyydelle, josta ne puskemalla siirretään päädyistä alas. Päätypengerrystä ei saa käyttää ratarakenteissa.

### Ohje

Päätypengerrystä ei saa käyttää sivukaltevassa maastossa, jos penkereestä tulee näin rakentaen, laadultaan poikkisuunnassa vaihteleva. Penkereen tiivistymisen vuoksi varaudutaan penkereen pinnan tasaus- ja tiivistystöihin ennen päällysrakenteen tekoa.

### 18110.3.1.4 Penkereen tiivistäminen

#### Vaatimukset

Maalajin optimivesipitoisuus ja enimmäistiheys määritetään ennen tiivistämistä.

Tarvittaessa kerrokseen lisätään vettä optimikosteuden saavuttamiseksi. Vesi lisätään niin, että se jakautuu tasaisesti tiivistettävälle alueelle.

### Ohje

Kasteluveden annetaan imeytyä niin, että se kustuttaa tiivistettävän materiaalin myös pintaa syvemmältä. Jos kasteluvesi huuhtelee karkeassa materiaalissa olevan hienoaineksen kerroksen pohjalle, voidaan parempaan tulokseen päästä tiivistämällä kerroksen pinta kevyesti ennen kastelua.

Riittävä tiiviys saavutetaan tiivistettävän maa-aineksen kosteuden ollessa lähellä optimivesipitoisuutta.

Maalajin optimivesipitoisuus ja kuivairtitiheyden enimmäisarvo määritetään parannetulla Proctor-kokeella. Vesipitoisuus ja tiiviys voidaan likimääräisesti mitata työkohteessa säteilymittareilla. Karkeina ohjearvoina voidaan käyttää eri maalajeilla *taulukossa 18110:T2* esitettyjä vesipitoisuuksia ja irtotiheyksiä.

Levitys ja tiivistys tehdään välittömästi kuorman tyhjentämisen jälkeen, koska materiaalin kosteus on yleensä tällöin tiivistämisen kannalta sopivin.

Jos tiivistettävä kerros on liian kostea, voidaan vesipitoisuutta pienentää tiivistämällä täytön väliin erillinen lisäkerros kuivasta, hyvin vettä johtavasta pengermateriaalista.

Jos penkereen pinta on niin märkä, että tiivistäminen ei onnistu, pinta pyritään saamaan tiivistämiskelpoiseksi muokkauksella tai lisäämällä karkeaa ja kuivaa maa-ainesta tai kalkkia. Veden haihtumista voidaan nopeuttaa myös mekaanisin keinoin esimerkiksi karhitsemalla.

Jos pengertä rakennettaessa maan vesipitoisuuden ja optimivesipitoisuuden ero on yli 4 %-yksikköä, ei 95 %:n tiivistysastevaatimusta yleensä saavuteta. Jos tiiviyksastevaatimus on 90 %, ei maan vesipitoisuuden ja optimivesipitoisuuden ero saa yleensä olla yli 6 %-yksikköä.

Ratapenkereessä tiivistettävän materiaalin vesipitoisuus saa tiivistämisen aikana poiketa optimiarvostaan enintään 2 %-yksikköä.

**Taulukko 18110:T2.** Ohjeelliset optimivesipitoisuudet ja yleiset suurimmat kuivairtotilavuuspainot.

Maalaji	Optimivesipitoisuus, %	Suurin kuivairtotilavuuspaino, t/m <sup>3</sup>
Sora, soramoreeni	7	2,1
Hiekka	10	2,0
Siltti	20	1,7
Savi	25	1,6
Hiekkamoreeni ja silttimoreeni	7	2,2

Kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus riippuu tiivistettävän materiaalin laadusta ja käytettävästä tiivistyskalustosta. Jokainen kerros ja pengertäytteen yläpinta tiivistetään koko leveydeltään käyttäen kerrospaksuuden mukaan kuhunkin tarkoitukseen soveltuvaa tiivistyskalustoa ja tiivistyskertamäärää.

### Ohje

Ohjeelliset tiivistyskertamäärät esitetään *taulukossa 18110:T3*.

**Taulukko 18110:T3.** Tiivistyskoneiden ohjeellinen jyräskertamäärä eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen ollessa lähellä optimivesipitoisuutta.

Jyrätyyppi	Paino, t	Ylityskertojen ohjearvo													
		Suodatineristyskerros		Jakava/välikerros		Kantava kerros		Tien tai kadun alusrakenne H <sup>(1)</sup> ≤ 30			Tien tai kadun alusrakenne H <sup>(1)</sup> > 30			Louhe	
Kerrospaksuus enintään, m		0,25	0,5	0,25	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5	0,8	0,25	0,5	0,8	0,8	1,0
Täryjyrät <sup>2)</sup>															
- vedettävät	> 5	4	7	5	8	5	9	3	6	11	3	7	13	6 <sup>(12)</sup>	7 <sup>(12)</sup>
- 2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8	-	-
- 1 täryvalssi	> 5	4	7	5	8	6	9	3	6	11	3	6	11	5 <sup>(13)</sup>	7 <sup>(13)</sup>

Kumipyöräjy- rät <sup>3)</sup>	< 20 <sup>4)</sup>	6	-	8	-	10	-	6	-	-	6	-	-	-	-
	> 20 <sup>5)</sup>	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	-	-
Staattiset valsijyrät <sup>6)</sup>	> 10	-	-	-	-	10	-	7	-	-	7	-	-	-	-
Pyöräkuor- maajat <sup>7)</sup>	> 40	-	-	-	-	-	-	4	8	14	3	7	13	-	-
Puskutraktorit <sup>8)</sup>	> 10	-	-	-	-	-	-	4	-	-	6	-	-	-	-
Sorkkajyrät <sup>9)</sup>	7...10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10)	10)	-	-	-
Tärylevyt <sup>11)</sup>	>0,05	6	-	7	-	6	-	5	-	-	6	-	-	-	-
	>0,1	5	-	6	-	6	-	4	-	-	5	-	-	-	-
	>0,2	4	-	5	-	5	-	3	-	-	4	-	-	-	-
	>0,4	3	-	4	-	4	-	3	-	-	3	-	-	-	-

- 1)** H = hienoainespitoisuus (0,063 mm läpäisy-%). **2)** Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen. Amplitudi aluksi n. 1,5 mm ja viimeiset ylityskerrat < 1mm, penkereen ja suodattimen jyräysnopeus 1...3 km/h, jakavan ja kantavan 3...6 km/h. Viivakuorma > 1,5 t/m. **3)** Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen, rengaspaine soraisilla maalajeilla 500 kPa ja hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, jyräysnopeus yli 5 km/h. **4)** Pyöräpaino > 2t. **5)** Pyöräpaino > 3t. **6)** Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. Viivakuorma > 5 t/m. **7)** Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. **8)** Soveltuvat ohuiden kerrosten ja märkien silttien tiivistämiseen. **9)** Soveltuvat silttien ja savien tiivistämiseen. **10)** Urakoitsijan on esitettävä käyttämänsä sorkkajyrän tekniset tiedot (ml. sorkan pituus, sorkan pään pinta-ala) ja työntekijöille annettavat jyräsohjeet. **11)** Käytetään pääasiassa ahtaiden alueiden ja kaivantojen täytössä kitkamaalajien tiivistämiseen. Teho riittää yleensä vain ohuen kerroksen (100 - 250 mm) tiivistämiseen. Parempaan tiivistystehoon päästään tärylevyillä, joiden pohja on muotoiltu siten, että alkutiivistyksen jälkeen levy tiivistää pienemmällä pinta-alalla ja siten suuremmalla pintapaineella. **12)** Paino vähintään 8 t. **13)** Paino vähintään 13 t.

**Lisätään sarake edelliseen taulukkoon oikealle:**

Jyrätyyppi		Ylityskertojen ohjearvo	
	Paino , t	Ratapeng er	
Kerros- paksuus enintään, m		0,4	0,8
Täryjyrät <sup>2)</sup>			
- vedettävät	> 5	5	5 <sup>12)</sup>
- 2 täryvalssia	> 5	-	
- 1 täryvalssi	> 5	5	5 <sup>13)</sup>
Kumipyöräjy- rät <sup>3)</sup>	< 20 <sup>4)</sup>	-	-
	> 20 <sup>5)</sup>	10	-

**Ohje**

Sopiva kerros-  
paksuus ja tiivistystapa voidaan selvittää koetiivistyksellä. Työssä noudatetaan koetiivistyksellä määritettyä tai taulukon 18110:T3 mukaista kerros-  
paksuutta ja tiivistyskertamäärää.

Riittävän tiiviyden saavuttamiseksi käytetään kuhunkin tarkoitukseen sopivia staattisia tiivistyskoneita kuten sileävalssi- ja kumipyöräjyriä, tai täryjyriä ja muita dynaamisia tiivistyskoneita. Myös koneiden yhdistelmiä voidaan käyttää. Soran ja hiekan tiivistämiseen soveltuvat yleensä parhaiten dynaamiset tiivistyskoneet ja kumipyöräjyrät, runsaasti hienoaineksia sisältävien kerrosten tiivistämiseen kumipyörä- ja sileävalssijyrät. Tiivistys tehdään

mahdollisimman raskaalla jyrällä. Suositeltavaa on käyttää suurissa täyttökohteissa puskulevyllistä raskasta kumipyöräjyriä, joka levittää ja tiivistää materiaalin samanaikaisesti.

Tiivistetyn materiaalin löyhtymistä liioilla tiivistämiskerroilla tulee välttää. Mahdollista löyhtymistä seurataan työn aikana..

Kunkin kerroksen tiivistämistyön yhteydessä on kerroksen pinta muotoiltava ja tasoitettava niin, että pinnalle ei jää vettä kerääviä painanteita.

#### **Ohje**

Kuljetuskaluston reitit jaetaan pengerrerettävällä alueella koko penkereen leveydelle hyvän esitiivistyksen saavuttamiseksi.

Jos maalaji on hienorakeista, heikosti kantavaa ja kuljetukset pehmentävät pinnan, pinta lujitetaan kuitukankaalla ja / tai olosuhteisiin sopivalla kerroksella. Tarvittaessa rakennetaan työnaikainen kuljetustie. Pohjarakenteiden suunnittelija tarkistaa, ettei väliaikainen tie aiheuta vahinkoja pehmeikköalueilla.

### **18110.3.1.5 Penkereen rakentaminen talvikaudella**

#### **Vaatimukset**

Rakentamiseen käytettävät materiaalit eivät saa päästä jäätymään ennen kuin ne on tiivistetty vaatimusten mukaiseen tiiviuteen. Talvella pengermateriaali tiivistetään heti levityksen jälkeen, jolloin se ei vielä ole jäänyt, ja uusi kerros levitetään mahdollisimman nopeasti tiivistetyn kerroksen päälle. Pengermateriaalin jäädyttyä pengertä ei voi tiivistää.

#### **Ohje**

Penkereen talvityössä noudatetaan koetiivistyksellä määritettyä tai *taulukon 18110:T3* mukaista kerrospaksuutta ja tiivistyskertamäärää.

Jyrät valitaan niin, että niillä ehditään tiivistää maa ennen sen jäätymistä.

Pengerrettävän maan vesipitoisuuden tulee olla riittävän alhainen, lämpötilasta riippuen 5...15 %.

Päätypengerryksen voi yleensä tehdä talvityönä. Jos penger tehdään kiilapenkereenä, voidaan penkereen jäätyminen yleensä välttää ja penger rakentaa talvityönä kerralla täyteen korkeuteen. Kerrokset levitetään ja tiivistetään samanaikaisesti. Tiivistys voidaan tehdä edestakaisena liikkeenä esimerkiksi 30...50 m:n osuuksissa. Tiivistystyössä suositellaan käytettäväksi omalla voimallaan kulkevia jyriä. Kun pengerryks keskeytetään niin että etuluiska jäätyy, penkereen pää tiivistetään ja jätetään 1:4 luiskaan myös päätypengerryksessä. Jatkettaessa työtä on etuluiskan jäänyt osa poistettava.

Jäätynyttä maata voidaan sijoittaa sulamaan penkereen luiskatäytteisiin.

Jos penger on tehty jäätyneen pohjamaan päälle tai pengermateriaali on routaantunut penkereen tekemisen jälkeen, penkereen pinta tiivistetään ja muotoillaan uudestaan, kun penger ja pohjamaa ovat sulaneet. Tiiviys tutkitaan alusrakenteen ja päällysrakenteen sulamisen jälkeen.

Jos tiepenger on rakennettu siten, että se ei ole päässyt pengerrerrettäessä jäätymään, voidaan sen päälle jo talvella rakentaa osia sitomattomista kerroksista lukuun ottamatta kantavaa kerrosta. Kantava kerros ja päällyste rakennetaan vasta roudan sulamisen jälkeen. Tällöinkin varaudutaan tasaustyöhön ja tehokkaaseen jälkitiivistykseen. Jos talvella tehdyn penkereen päälle rakennetaan samana talvikautena päällysrakennekerroksia, penkereen pinta muotoillaan oikeaan kaltevuuteen ja korkeuteen. Arvioitu, suunnittelijan hyväksymä, penkereen painumisvara ja routanousu otetaan huomioon.

Yleisen liikenteen järjestämisen vuoksi koko päällysrakenne voidaan rakentaa talvella suunnitelma-asiakirjoissa tai työn aikana osoitetuilla tieosuuksilla.

### 18110.3.2 Maapenkereen tekeminen tie- ja katurakenteissa

#### 18110.3.2.1 Maapenkereen tekeminen tie- ja katurakenteissa, yleistä

##### Vaatimukset

Tien ja kadun pengerrystapa valitaan *taulukon 18110:T4* perusteella.

**Taulukko 18110:T4.** Pengerrystavan valinta tie- ja katurakenteissa.

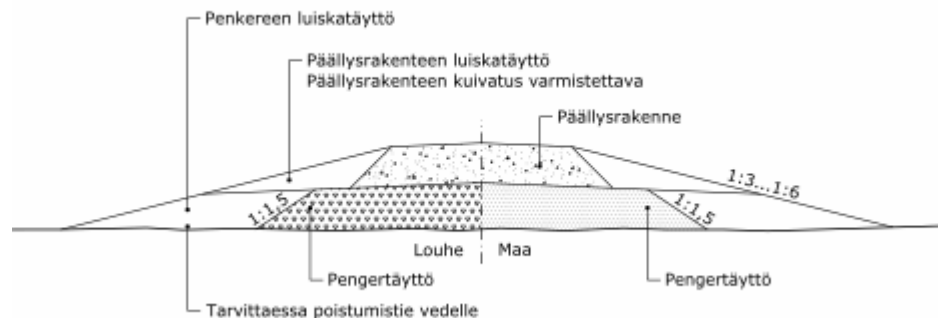
Kuormitusluokka/ (katuluokka)	Kerrospengerrys pengerkorkeus tien pinnasta	Päätypengerrys pengerkorkeus tien pinnasta
0,8 ... 25 (1...4)	< 5 m	> 5 m <sup>1)</sup>
0,1 ... 0,4 (5...6)	< 3 m	> 3 m

<sup>1)</sup> Pengerkorkeutena voidaan käyttää > 3 m, kun päällysrakenne tehdään aikaisintaan 1 vuoden kuluttua pengertämisestä.

Päätypengerrystä voi sorapintaisilla teillä ja kaduilla käyttää syvemmällä kuin tien pinta -1 m.

##### Ohje

Tiepenkereen osat määritellään *kuvassa 18110:K4*.



**Kuva 18110:K4.** Tiepenkereen osat.

Routimattoman ja routivan pengertäytteen rajapinta tehdään siten, että pinnan pituuskaltevuus taseusviivan suhteen siirtymäkiilasyvyyden yläpuolella noudattaa sille annettuja ohjearvoja. Siirtymäkiilasyvyyttä syvemmällä rajapinnan kaltevuus on 1:4 tai loivempi.

#### 18110.3.2.2 Kerrospengerryksen tekeminen tie- ja katurakenteissa

##### Vaatimukset

Jos penkereen täyteenä käytetään märkää silttiä, penkereeseen tehdään vähintään 0,30 m paksu kuivatuskerros jokaista noin 0,70...1,40 m:n paksuista silttikerrosta kohti. Huonoissa olosuhteissa rakennetaan enintään 0,70 m paksu silttikerros kuivatuskerrosten väliin.

### 18110.3.3 Maapenkereen tekeminen ratarakenteissa

#### 18110.3.3.1 Maapenkereen tekeminen ratarakenteissa, yleistä

##### Vaatimukset

Ratapenkereet tehdään yleensä kerrospengerryksenä. Talvirakentamisessa voidaan käyttää kiilapengerrystä.

### 18110.3.3.2 Kerrospengerryksen tekeminen ratarakenteissa

#### Vaatimukset

Ratarakentamisessa rakeisuusalueen PL 1a materiaalin, jossa hienoainespitoisuus on 7...35 %, käyttö ratapenkereessä edellyttää, että penkereeseen tehdään korkeussuunnassa noin 1...2 m:n välein vähintään 300 mm:n paksuinen vaakasuora vettä johtava kerros karkeammasta materiaalista, esimerkiksi sorasta.

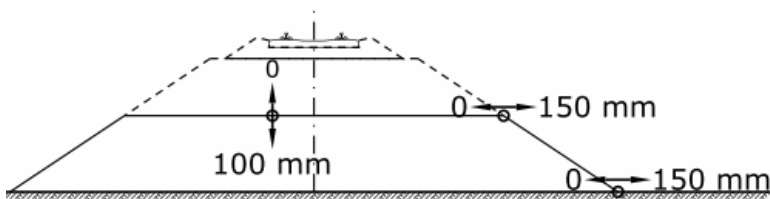
## 18110.4 Valmis maapenger

### 18110.4.1 Valmis maapenger, yleistä

#### Vaatimukset

Penkereen tiivistetty yläpinta on muodoltaan ja korkeusasemaltaan suunnitelma-asiakirjojen mukainen. Penkereen pinta ei saa olla suunnitelma-asiakirjojen mukaisen korkeuden yläpuolella. Pintaan ei saa jäädä vettä kerääviä painanteita.

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, kuva 18110:K5.



**Kuva 18110:K5.** Maapenkereen tarkkuusvaatimukset.

#### Ohje

Verhoukset otetaan huomioon.

Penkereiden painumat ja tiivistymät otetaan tarvittaessa huomioon suunnittelijan kanssa työn aikana sovittavalla tavalla. Huom. tasausviivanmuutostarpeet yms.

Parannetun Proctor-kokeen ja kevyen pudotuspainolaitteen kokeen arvojen ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan esitetään taulukossa 18110:T5.

**Taulukko 18110:T5.** Parannetun Proctor-kokeen ja kevyen pudotuspainolaitteen kokeen arvojen ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan. Taulukon arvot koskevat Loadman-laitetta. Lähde: AL-Engineering Oy 2005.

Parannetun Proctor-kokeen arvo	Kevyen pudotuspainolaitteen kokeen arvo, kun pohjalevyn halkaisija on		
	300 mm	200 mm	132 mm
95	1,7	2,1	2,5
92	1,9	2,3	2,8
90	2,0	2,4	2,9
87	2,1	2,5	3,0
	Kerrospakkuus: <sup>1)</sup>		
	350...400 mm	300...350 mm	200...300 mm

<sup>1)</sup> Vaikutussyvyys noin 1,5 x D, mutta kuormitus pienempi kuin esimerkiksi LKK:ssa.

Mittaustapa määritetään seuraavasti: Tiiviyssuhde on mittauksissa saavutetun enimmäismoduulitason (E-moduuli, Mpa) ja ensimmäisen E-moduulin suhde. Enimmäistaso saavutetaan yleensä 3...6 mittauksen jälkeen.

On suositeltavaa tehdä hankekohtainen vertailu menetelmän kelpoisuudesta tiiviyden määrittämiseksi.

## 18110.4.2 Valmis maapenger tierakenteissa

### Vaatimukset

Tien pengertäytteen tiiviyden on *taulukon 18110:T6* vaatimusten mukainen.

**Taulukko 18110:T6.** Tiiviyssuhteiden keskiarvovaatimukset (%) tien pengertäyhteille. Yksittäinen tiiviyssuhde saa alittaa vaatimusrajan enintään 5 %- yksikköä.

Kuormitusluokka (KKL <sub>20vuotta</sub> , milj. stand. akselia)	Syvyys tien tasausviivasta, m	Alusrakenneluokka <sup>1)</sup>		
		A, B, C,D tai uE	uF, uH, uI	uG
0,8...25	<2	95	92	-
	2...5	90	87	-
	> 5	-	-	-
0,1...0,4	< 3	90	87	-
	≥ 3	-	-	-

<sup>1)</sup> Alusrakenneluokat esitetään liitteen *taulukossa Liite:T17* ja *Liite:T18*. Ryhmittely on tehty kelpoisuusluokan ja olosuhteiden mukaan.

#### Viitteet

- *Liite T17 Tien pohjamaa ja alusrakenne, InfraRYL*
- *Liite T18 Tien alusrakenne, InfraRYL.*

## 18110.4.3 Valmis maapenger katu- ja ratarakenteissa

### Vaatimukset

Kadun ja radan pengertäytteen tiiviyden on *taulukon 18110:T7* vaatimusten mukainen.

**Taulukko 18110:T7.** Kadun ja radan penkereen tiiviyssuhteiden ja levykuormitusmoduulien vaatimukset.

Etäisyys radan kv:sta tai kadun tsv:stä	Vaadittu tiiviyssuhde		<sup>1, 2)</sup> E <sub>2</sub> (MPa)	
	keskimäärin	vähintään	keskimäärin	vähintään
< 3,0 m	92 %	90 %	120	100
> 3,0 m	90 %	87 %	100	90

<sup>1)</sup> Pengertäyte mursketta tai soraa.

<sup>2)</sup> Määritetään liitteen *kuva: K7* mukaan.

#### Viitteet

- *Liite K7, InfraRYL osa 1.*

## 18110.5 Maapengerin vaatimustenmukaisuuden osoittaminen

### 18110.5.1 Maapengerin vaatimustenmukaisuuden osoittaminen, yleistä

Penkereen mitat tarkastetaan maastossa 20 m:n välein mittaamalla poikkileikkauksen taitepisteet sekä taitepisteiden välit 1 m:n välein.

Penkereen tiiviyttä tarkkaillaan sekä kokeellisesti että työmenetelmätarkkailuna.

Työmenetelmätarkkailuun sisältyy kerrospaksuuksien, jyräskertojen ja pengermateriaalin laadunvalvonta.

## Ohje

Työn alussa tehdään tiivistyskokeita oikeiden työmenetelmien varmistamiseksi ja selvitetään käytössä oleville tiivistyskoneille työmaan olosuhteissa sopivat kerrospaksuudet ja yliajokerrat siten, että vaaditut tiiviyydet saavutetaan.

Työtapamenettelyn käytöstä on tehtävä merkintä työmaapäiväkirjaan.

Tiivistystyön onnistuminen on selvitettävä mahdollisimman nopeasti pengerrustyön aikana.

Tiivistämistyön onnistumisen mahdollisimman nopeaan selvittämiseen soveltuvat parhaiten itse mittaavat jyrät.

Jos penkereen tiiviyttä tarkkaillaan muilla menetelmillä, tulee osoittaa niillä saatavien tulosten riippuvuussuhde levykuormituskokeen tuloksiin tai parannettua Proctor-koetta käyttäen määritettyyn tiiviyssasteeseen.

Mursketta käytettäessä pengertäytteen tiiviyys määritetään levykuormituskokeella.

Penkereeseen sijoitetaan painumatarkistimia suunnitelma-asiakirjoissa esitettyihin poikkileikkauksiin. Yksiajorataisella tiellä ne sijoitetaan penkereen kumpaankin reunaan, kaksiajorataisella tiellä lisäksi penkereen keskiviivalle. Penkereen painumista voidaan seurata poikkileikkausvaaituksin, tankopainumamittarein ja/tai letkupainumamittarein. Huokospaineen kehittymistä seurataan huokospainemittarein ja maapohjan leikkauslujuuden kasvua siipikairauksin. Mittauspisteen korkeudesta on tehtävä havaintoja aina välittömästi mittarin asennuksen jälkeen. Kun maanpintaa pisteen ympäristössä korotetaan ja kuormitus muuttuu, on pisteen korkeudesta tehtävä havaintoja ennen ja jälkeen kuormituksen muutoksen.

Penkereen seurannassa käytettävät mittaustavat esitetään suunnitelmassa. Mikäli suunnitelmassa ei ole esitetty mittausaikataulua, tehdään painumamittauksia asentamisen jälkeen kuukauden ajan kerran viikossa ja tämän jälkeen kerran kuukaudessa.

Jos suunnitelma-asiakirjoissa on edellytetty siipikairauksia, penkereeseen on syytä asentaa riittävän iso suojaputki, jonka läpi siipikairaukset voidaan tehdä.

Penkereen painuma-ajoissa on otettava huomioon jäätyneen pohjamaan laattavaikutus siten, että painuma-aikaa jatketaan riittävästi sulan maan aikaan.

Painumahavainnoista pidetään pöytäkirjaa. Pöytäkirjaan merkitään havaintopisteestä ainakin

- pisteen numero
- pisteen tyyppi
- mittausajankohta
- maanpinnan korkeus (penkereen yläpinnan taso pisteen kohdalla)
- painumamittauspisteen korkeustaso
- kuormituksen muutokset.

## Ohje

Katurakenteissa työssä noudatetaan koetiivistyksellä määritettyä tai *taulukon 18111:T3* mukaista kerrospaksuutta ja tiivistyskertamäärää.

Katselmuspöytäkirjat, laadunvalvontaraportit ja suorituspöytäkirjat kootaan työmaalla aina ajan tasalla pidettävään kelpoisuusasiakirjaan.

## 18110.5.2 Maapenkereen vaatimustenmukaisuuden osoittaminen tierakenteissa

### Vaatimukset

Tiepenkereissä tiiviyys varmistetaan, jos materiaalin kivisyysprosentti ts. 19 mm:n seulalle jäävän kiviaineksen osuus on alle 30 %, tiiviyssasteen avulla vertaamalla kerroksesta volymetrillä mitattua kuivatiheyttä parannetulla Proctor-kokeella määritettyyn enimmäiskuivatiheyteen. Tiiviyssaste mitataan jokaisella kerroksella satunnaisesti keskimäärin 150 m:n välein kullakin ajokaistalla ja yli 1,5 m leveällä pientareella. Tiivistettävän kerroksen vesipitoisuus varmistetaan säteilymittalaitteella

pintamittauksin ennen tiivistämistä jokaisella kerroksella keskimäärin 150 m:n välein kullakin ajokaistalla ja yli 1,5 m leveällä pientareella.

Tien pengerrystyössä käytettävien jyrien kelpoisuus todetaan ja materiaalin optimikosteus määritetään sekä tiivistettävien kerrosten paksuus ja ylityskertojen lukumäärä määritellään suunnitelma-asiakirjoissa esitetyllä koejyräyksellä. Tiiviys varmistetaan ylityskertojen lukumäärää seuraamalla, kerroksen kosteutta mittaamalla ja levitettävien kerrosten paksuutta tarkkailemalla. Lisäksi tehdään satunnaisia tiiviuden mittauksia, esimerkiksi pintamittauksia säteilylaitteella.

#### **Ohje**

Jos tiepenkereen kivisyys on yli 30 %, varmistetaan tiiviys suunnitelma-asiakirjoissa ositetulla tai työn aikana sovittavalla tavalla.

### **18110.5.3 Maapenkereen vaatimustenmukaisuuden osoittaminen ratarakenteissa**

#### **Vaatimukset**

Ratapenkereen tiivyyttä tarkkaillaan kunkin kerroksen päältä vesivolymetrikokein tai levykuormituskokein tai näitä vastaavilla menetelmillä seuraavasti:

- raiteen keskellä kunkin raiteen kohdalla 150 m:n välein
- penkereen reunoilla 300 m:n välein vuorotellen molemmin puolin 1 m:n etäisyydellä penkereen reunasta
- itsemittaavia jyriä käytettäessä kokeellinen tarkkailu tehdään jokaisesta kerroksesta raiteen keskeltä 400 m:n välein ja reunoilta 800 m:n välein.

#### **Ohje**

Työmenetelmiä seurataan jatkuvasti ja tiivistystyössä noudatetaan *kohdan 18110.3* ohjeita.

#### **Viitteet**

- *18110.3 Maapenkereen tekeminen, InfraRYL.*

### **18110.6 Maapenkereen tekemisen ympäristövaikutukset**

#### **Vaatimukset**

Jos pengerrys saattaa aiheuttaa maaperän siirtymiä, pidetään riskialueella sijaitsevien rakenteiden ja rakennelmien kuntokatselmus.

#### **Ohje**

Katselmuksen tarpeellisuuden toteamisvelvollisuus osoitetaan suunnitelma-asiakirjoissa.

Katselmuksesta pidetään pöytäkirjaa, joka lähetetään tiedoksi ja hyväksyttäväksi asianosaisille.

Täryjyrien tai muiden maan värähtelyjä aiheuttavien koneiden vaikutus otetaan huomioon työ- ja laaduntarkkailusuunnitelmissa.