

Dokumenttia tai sen osia ei saa kopioida, jakaa, välittää, muunnella eikä ladata tekoälysovelluksiin. Dokumentti on tarkoitettu lausunnon antamista varten.

Tehdyt muutokset:

- Liitteen nimeksi muutettu Kerrosrakenteiden **Sitomattomien kerrosten** tiivistystyön ja tiivistäntarkkailun menetelmät, jolloin sitä voi soveltaa muihinkin rakenteisiin.
- Liitteen sisäinen otsikointi on muokattu, lisätty otsikkonumerot ja sisällysluettelo.
- Sisältö järjestetty loogisempaan järjestykseen ja tehty ajantasaisuuden tarkastelu.
- Kokonaan uudet sisällöt: 1.3 Tiivistystyön tekeminen talvikaudella. Menetelmäkuvaukset 2.3.2 Levykuormituskoe, 2.3.3 Raskas pudotuspainolaitemittaus ja 2.8 Kevyt pudotuspainolaite
- Dokumentissa on havainnollistettu muutoksia seuraavasti:
 - o Muokatut/päivitetyt sisällöt on merkitty keltaisella yliviivauksella.
 - o Uudet sisällöt on merkitty vihreällä yliviivauksella.
 - o Yliviivaamattomat ovat muuttumattomia sisältöjä.

Liite 2 Sitomattomien kerrosten tiivistystyön ja tiiviydentarkkailun menetelmät

1. Sisällysluettelo

1. Tiivistystyö	2
1.1 Tiivistystyö ja -kalusto sekä kerralla tiivistettävän kerrospaksuuden valinta	2
1.2 Veden käyttö tiivistystyössä	1
1.3 Tiivistystyön tekeminen talvikaudella	1
2. Tiiviydentarkkailun menetelmät	2
2.1 Yleistä	2
2.2 Menetelmä 1: SÄTEILYLAIITEMITTAUS	3
2.3 Menetelmä 2: LEVYKUORMITUSKOE TAI RASKAS PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUS	5
2.3.1 Yleistä	5
2.3.2 Levykuormituskoe, menetelmäkuvaus	5
2.3.3 Raskas pudotuspainolaitemittaus, menetelmäkuvaus	6
2.4 Menetelmä 3: MITTAAVA JYRÄ JA PISTEMÄISET VARMISTUSMITTAUKSET	7
2.5 Menetelmä 4: VAAITUS TAI TAKYMETRIMITTAUS	7
2.6 Menetelmä 5: JYRÄYSKERTAMÄÄRIEN SEURANTA	8
2.7 Menetelmä 6: VOLYMETRIMITTAUS	8
2.8 Menetelmä 7: KEVYT PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUS	9
2.9 Tiiviydentarkkailun vertailuarvon määrittäminen ennen tiivistystyötä	9
2.9.1 Yleistä	9
2.9.2 Proctor-menetelmä (SFS-EN 13286-2)	10
2.9.3 Kiertotiivistin-menetelmä	10
2.9.4 Tärypöytä-menetelmä (SFS-EN 13286-5)	11
2.9.5 Koetiivistys	11

1. Tiivistystyö

1.1 Tiivistystyö ja -kalusto sekä kerralla tiivistettävän kerrospaksuuden valinta

Tiivistyskalusto ja kerralla tiivistettävän kerroksen kerrospaksuus valitaan materiaalin mukaan siten, että kohteen tiiviyden ja kantavuusvaatimukset saavutetaan. Sopiva kerrospaksuus, tiivistyskalusto, -kertamäärä ja -tapa voidaan selvittää koetiivistyksellä (ks. kohta 2.9.5). Ohjeelliset tiivistyskertamäärät eri kerrospaksuuksilla ja tiivistyskalustoilla on esitetty taulukossa [Liite 2:T1](#).

Tiivistystyössä huomioitavia asioita:

- Jokainen tiivistettävä kerros tiivistetään koko leveydeltään käyttäen kerrospaksuuden mukaan kuhunkin tarkoitukseen soveltuvaa tiivistyskalustoa ja tiivistyskertamäärää.

- Tiivistämisessä voidaan käyttää eri koneiden yhdistelmiä. Soran ja hiekan tiivistämiseen soveltuvat yleensä parhaiten dynaamiset tiivistyskoneet ja kumipyöräjäyrät, runsaasti hienoaineksia sisältävien kerrosten tiivistämiseen kumipyörä- ja sileävalssijyrät. Ahtaiden alueiden ja kaivantojen täytöissä voidaan tiivistämisessä käyttää eri kokoisia tärjylevyjä.
- Jyrän nopeuden tulee olla tasainen. Tärjyjyrälle tyypillisesti sopiva nopeus on 3 km/h.
- Tiivistyskaistojen limittäisyyden tulee olla vähintään 10 % kerralla tiivistettävän kaistan leveydestä.
- Kunkin kerroksen tiivistämistyön yhteydessä on kerroksen pinta muotoiltava ja tasoitettava niin, ettei pinnalle jää vettä kerääviä painanteita.
- Tiivistäminen ei saa kasvattaa tiivistettävän kerroksen hienoainepitoisuutta haitallisesti. Mahdollista materiaalin hienonemista seurataan työn aikana ja tarvittaessa tiivistystyö keskeytetään ja selvitetään tarvittavat toimenpiteet vaatimusten täyttämiseksi.
- Tiivistetyn materiaalin löyhdyttämistä liian useilla tiivistämiskerroilla tulee välttää.
- Mikäli tiivistäminen ei onnistu maaperän heikosta kantavuudesta tai häiriintymisestä johtuen, voidaan kasvattaa kerralla tiivistettävää kerrospaksuutta tai tehdä tiivistäminen ilman täryttämistä tai käyttää kevyempää tiivistyskalustoa. Mikäli pohjasuhteet poikkeavat oleellisesti suunnitelmista, otetaan yhteys suunnittelijaan.
- Suunnitelmissa voidaan esittää tiivistysmenetelmälle erityisvaatimuksia esimerkiksi varottavien rakenteiden kohdalla.
- Kuljetuskaluston reitit jaetaan koko kerrosrakenteen leveydelle hyvän esitiivistyksen saavuttamiseksi.
- Tiivistämisessä on huomioitava työmaan turvallisuus ja tiivistettävän kerroksen läheisyydessä olevat muut rakenteet. Tiivistäminen voi aiheuttaa lisäkuormituksia (maaspaine tai värinä) viereisille rakenteille. Työjärjestys ja kalusto valitaan siten, että haitalliset lisäkuormitukset minimoidaan eikä niistä aiheudu esimerkiksi kaivannon tai penkereen sortumavaaraa.
- Tiivistyksessä on suositeltavaa käyttää tiivistäjäkoneilla, GPS-paikannuksella ja tiivistysmittausten dokumentaatiolla varustettua jyrää.

Liite 2 Sitomattomien kerrosten tiivistystyön ja tiiviydentarkkailun menetelmät, InfraRYL ja MaaRYL

Taulukko Liite 2:T1. Tiivistyskoneiden ohjeellinen tiivistyskertamäärä eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen kosteuden ollessa lähellä optimivesipitoisuutta.

Tiivistyskone	Massat (t)	Tiivistyskertamäärän ohjearvo															
		Suodatin-/ eristyskerros		Jakava kerros/ välikerros		Kantava kerros		Tien tai kadun alusrakenne $H^1) \leq 30$			Tien tai kadun alusrakenne $H^1) > 30$			Louhe		Radan pengertäyttö	
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	0,4	0,8
Täryjyrät ²⁾																	
1 täryvalssi	> 5	4	7	5 ¹²⁾	8 ¹²⁾	6 ¹²⁾	9 ¹²⁾	3	6	11	3	6	11	5 ¹³⁾	7 ¹³⁾	5	5
2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8	—	—	—	—
Kumipyöräjyrät ³⁾	< 20 ⁴⁾	6	—	8	—	10	—	6	—	—	6	—	—	—	—	—	—
	> 20 ⁵⁾	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	—	—	10	—
Staatitiset valssijyrät ⁶⁾	> 10	—	—	—	—	10	—	7	—	—	7	—	—	—	—	—	—
Pyöräkuormaajat ⁷⁾	> 40	—	—	—	—	—	—	4	8	14	3	7	13	—	—	—	—
Puskutraktorit ⁸⁾	> 10	—	—	—	—	—	—	4	—	—	6	—	—	—	—	—	—
Sorkkajyrät ⁹⁾	7...10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10)	10)	—	—	—	—	—
Tärylevyt ¹¹⁾	≤ 0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	> 0,2	4	—	5	—	5	—	3	—	—	4	—	—	—	—	—	—
	> 0,4	3	—	4	—	4	—	3	—	—	3	—	—	—	—	—	—

¹⁾ H = hienoainespitoisuus (0,063 mm:n seulan läpäisy-%).

²⁾ Täryjyrät eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen. Amplitudi aluksi noin 1,5 mm ja viimeiset ylityskerrat < 1 mm, kerrosrakenteen ja suodattimen jyräysnopeus 1...3 km/h, jakavan ja kantavan 3...6 km/h. Viivakuorma > 1,5 t/m.

³⁾ Kumipyöräjyrät eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen, rengaspaine soraisilla maalajeilla 500 kPa ja hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, jyräysnopeus yli 5 km/h.

⁴⁾ Kumipyöräjyrän pyöräpaino > 2 t.

⁵⁾ Kumipyöräjyrän pyöräpaino > 3 t.

⁶⁾ Staatitiset valssijyrät eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. Viivakuorma > 5 t/m.

⁷⁾ Pyöräkuormaajat eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen.

⁸⁾ Puskutraktorit soveltuvat ohuiden kerrosten ja märkien silttien tiivistämiseen.

⁹⁾ Sorkkajyrät soveltuvat silttien ja savien tiivistämiseen.

¹⁰⁾ Urakoitsijan on esitettävä käyttämänsä sorkkajyrän tekniset tiedot (myös sorkan pituus, sorkan pään pinta-ala) ja työntekijöille annettavat jyräysohjeet.

¹¹⁾ Tärylevyjä käytetään yleensä 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. Tärylevyjä ≤ 0,2 t voidaan käyttää esimerkiksi jalustojen alustäyttöjen tiivistämiseen.

¹²⁾ Jyrän massa 10...13 t.

¹³⁾ Jyrän massa yli 13 t.

1.2 Veden käyttö tiivistystyössä

Tiivistystyö tulee tehdä lähellä materiaalin optimivesipitoisuutta ([Liite 2:T4](#)).

Vesi toimii voiteluaineena vähentäen rakeiden välistä kitkaa ja parantaen tiivistyvyyttä. Vesi lisätään niin, että se jakautuu tasaisesti tiivistettävälle alueelle. Kastelua ei saa suorittaa liian suurella paineella. Kasteluveden annetaan imeytyä niin, että se kostuttaa tiivistettävän materiaalin myös pintaa syvemmillä. Jos kasteluvesi huuhtelee karkeassa materiaalissa olevan hienorakeisemman aineksen kerroksen pohjalle, voidaan parempaan tulokseen päästä tiivistämällä kerroksen pinta staattisella valssijyrällä ennen kastelua tai säätää kastelulaitteen veden painetta, kastelulaitteen kulkunopeutta ja kastelukertoja sekä säätämällä kastelulaitteen suutinta. Tiivistys on suositeltavaa tehdä pian kastelun jälkeen.

Mikäli erillistä kastelua ei tarvita, materiaalin levitys ja tiivistys tehdään välittömästi kuorman tyhjentämisen jälkeen, koska materiaalin kosteus on yleensä tällöin tiivistämisen kannalta sopivin.

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

Jos pengertä tai rakennekerrosta rakennettaessa vesipitoisuuden ja optimivesipitoisuuden ero on yli 4 %-yksikköä, ei 95 %:n tiiviysastevaatimusta yleensä luonnonkiviäineksillä saavuteta. Jos tiiviysastevaatimus on 90 %, tiivistettävän materiaalin vesipitoisuuden ja optimivesipitoisuuden ero ei yleensä saa olla yli 6 %-yksikköä.

Työkohteessa vesipitoisuus voidaan mitata säteilymittalaitteella, jonka mittaustulos voidaan varmistaa kuivaamalla samasta kohdasta otettu materiaalinäyte menetelmän *SFS-EN 1097-5* mukaisesti. On huomioitava, että säteilymittalaitteella vesipitoisuuden mittaustulokseen vaikuttaa eniten aivan pintakerros sekä materiaalissa mahdollisesti olevat mittausta haittaavat alkuaineet tai yhdisteet. Jos on aihetta epäillä, että pinnan kosteus poikkeaa merkittävästi koko kerroksen kosteudesta, asia voidaan varmistaa poistamalla kerroksen pintaosa ja tutkimalla sen alla olevan kerroksen kosteus.

1.3 Tiivistystyön tekeminen talvikaudella

Materiaali

Tiivistettäviin materiaaleihin ei saa olla sekoittuneena lunta, jäätä tai jäätynyttä materiaalia. Rakentamiseen käytettävät materiaalit eivät saa päästä jäätymään ennen kuin ne on tiivistetty vaatimusten mukaiseen tiiviuteen. Jäätynyttä materiaalia ei voi tiivistää.

Materiaalin alhainen vesipitoisuus on eduksi jäätymisen aiheuttamien haittojen pienentämisessä, mutta on huomioitava, että suuri poikkeama optimivesipitoisuudesta ei yleensä mahdollista vaaditun tiiviiden saavuttamista.

Alusta

Tiivistettävän kerroksen alusta tai pohjamaa ei saa olla routaantunut tai päästä jäätymään työn aikana. Rakennusosakohtaisten lukujen alustakohdissa (esim. *kohta 21210.2 Jakavan kerroksen alusta*) on esitetty joitain poikkeuksia tästä vaatimuksesta ja myös kuvattu vaatimukset rakenteen sulamisen tai sulattamisen jälkeen. Vaatimuksina on esimerkiksi rakenteen uudelleen muotoilu ja tiivistäminen sekä laadunvalvontamittausten tekeminen sulasta rakenteesta.

Tiivistettävän kerroksen alustan tai pohjamaan suojaaminen jäätymistä vastaan tulee ensisijaisesti järjestää lämmöneristeitä käyttämällä kuten hyödyntämällä routimattomia maalajeja, eristemattoja, kevytsoraa, vaahtolasia tai muita vastaavia materiaaleja. Mikäli tämä ei ole mahdollista, maan jäätyminen voidaan estää lämmitysmenetelmillä kuten lämmityskaapelimatoilla.

Höyrytystä ei tule käyttää maan sulana pitämiseen. Höyrytyksessä maamateriaaliin päätyy vettä, joka nostaa materiaalin vesipitoisuutta. Höyrytystä voidaan käyttää kertaluonteisesti lumen ja jään sulatukseen, jolloin sulamisveden päätyminen alusrakenteeseen tulee estää esimerkiksi imuautolla.

Työnaikaista routasuojauksia on kuvattu tarkemmin ohjeessa RIL 261-2013.

Jos jäänyt alusta tai pohjamaa poistamisen sijasta sulaa tai sulatetaan, sula rakenne on tiivistettävä huolellisesti ennen materiaalin levittämistä sen päälle. Sulatusmenetelmiä on esimerkiksi lämmityskaapelimatot, lämminilmapuhaltimet ja ns. passiivinen sulatus, jolloin rakenne peitetään ja eristetään ja hyödynnetään keväällä maan omaa sulamislämpöä ja auringonpaistetta. Jäänyt rakenne voidaan myös poistaa ja korvata sulalla materiaalilla.

Tekeminen

Talvikaudella materiaali tiivistetään heti levityksen jälkeen, jolloin se ei ole vielä jäänyt. Uusi kerros levitetään mahdollisimman nopeasti tiivistetyn kerroksen päälle. Talvirakentamisessa on suositeltavampaa pienentää kerralla tiivistettävän kerroksen paksuutta kuin lisätä ylityskertoja. Rakennettaessa huolehditaan lisäksi, että mahdollisimman pieni alue rakenteilla olevasta maarakenteesta ja sen alustasta on kerrallaan alttiina pakkasen vaikutukselle.

2. Tiiviydentarkkailun menetelmät

2.1 Yleistä

Tiivistämisen aikana materiaalin tiivistymistä seurataan tiiviydentarkkailun menetelmillä, joiden peruseriaatteet ovat kuvattu kohdissa 2.2...2.8. Mittauksissa noudatetaan aina laitevalmistajien tarkempia ohjeita ja mittausdokumenteista tulee löytyä mittauslaitteiston kalibrointipäivä.

Tiiviydentarkkailun menetelmillä varmistetaan, että käytetyllä työmenetelmällä ja tiivistyskalustolla saavutetaan asetetut tiiviys- ja kantavuusvaatimukset.

Ennen työmaalla tehtävää tiiviydentarkkailua tulee olla selvillä vertailuarvo eli vaatimus, johon työmaan mittaustulosta verrataan. Vertailuarvon määrittäminen riippuu käytettävästä tiiviydentarkkailun menetelmästä (ks. kohta 2.9).

Rakennusosakohtaiset tiiviys- ja/tai kantavuusvaatimukset on esitetty valmista rakennusosaa koskeissa vaatimuksissa (esimerkiksi 21210.4 Valmis jakava kerros). Edellytetyt tiiviydentarkkailun menetelmät on esitetty kelpoisuuden osoittamista koskeissa vaatimuksissa (esimerkiksi 21210.5 Jakavan kerroksen kelpoisuuden osoittaminen).

Karkearakeisimpien materiaalien tiiviydentarkkailu on pääsääntöisesti suositeltavaa toteuttaa

- tiiviyssuhteeseen perustuvilla menetelmillä eli levykuormituskokeella tai raskaalla pudotuspainolaitemittauksella (menetelmä 2),
- tiiviydentarkkailulaitteella varustetulla täryjyrällä yhdistettynä pistemäisiin tiiviyssuhteen tarkastusmittauksiin (menetelmä 3) tai

- työtapatarkkailumenetelmällä (menetelmä 5), jossa tavoitellun tiivistuloksen tuottava tiivistystapa määritetään koetiivistykseen perustuen.

Taulukossa Liite 2:T2 on esitetty menetelmien tyypilliset käyttökohteet ja niiden käytön rajoituksia. InfraRYLin luvuissa on esitetty tarkemmat vaatimukset kullekin rakenteelle soveltuvalle menetelmälle.

Taulukko Liite 2:T2. Tiiviydentarkkailun menetelmien tyypilliset käyttökohteet ja niiden käytön rajoitukset.

Tiiviydentarkkailun menetelmä	Tyypilliset käyttökohteet	Menetelmän rajoitukset
1. Säteilylaitemittaus (ks. kohta 2.2)	Maapenkereet, rautatien ratarakenteiden eristys- ja välikerrokset, suodatinkerrokset, kaivantojen täytöt	- Materiaalin enimmäisraekoko ≤ 63 mm - Ei sovellu karkearakeisille ja kosteille (> 40 % vesipitoisuus) materiaaleille - Menetelmä on vähäisessä käytössä, koska se vaatii mm. säteilymittarin käyttäjältä erityiskoulutusta ja laitteelle lukittavan säilytystilan
2. Levykuormituskoe tai raskas pudotuspainolaitemittaus (ks. kohta 2.3)	Maa- ja louhepenkereet, rakennekerrokset	- Materiaalin enimmäisraekoko ≤ 125 mm - Vaatii kiilauskerroksen, jos raekoko > 125 mm
3. Mittaava jyrä ja pistemäiset varmistusmittaukset (ks. kohta 2.4)	Maa- ja louhepenkereet, rakennekerrokset	- Jyrässä oltava tiiviydentarkkailulaite - Varmistusmittaukset menetelmillä 1, 2 tai 6
4. Vaaitus tai takymetrimittaus (ks. kohta 2.5)	Karkeat materiaalit, joissa muut menetelmät eivät toimi	Menetelmä sallitaan, kun murskeen tai louheen enimmäisraekoko on ≥ 125 mm
5. Jyräskertamäärien seuranta (ks. kohta 2.6)	Lyhyet ja pienet kohteet (< 500 m), joissa pohjaolosuhteet vakiot	Menetelmän käyttö esitettävä suunnitelma-asiakirjoissa ja hyväksyttävä tilaajalla
6. Volymetrimittaus (ks. kohta 2.7)	Kaatopaikkarakenteet, pohjavedensuojusrakenteet, kaivantojen täytöt	- Materiaalin enimmäisraekoko vesivolymetrikokeessa ≤ 16 mm ja hiekkavolymetrikokeessa ≤ 38 mm - Ei sovellu karkearakeisiin, terävasärmäisiin tai kokoonpuristuviin materiaaleihin
7. Kevyt pudotuspainolaite (ks. kohta 2.8)	Putkilinjoiden asennusalueet, alku- ja lopputäytöt, vaikeasti saavutettavat kohteet	- Menetelmän vaikutussyvyys on vain 20–50 cm - Pohjalevyllä $\varnothing 132$ mm materiaalin enimmäisraekoko ≤ 32 mm - Ei sovellu rakennekerroksiin

2.2 Menetelmä 1: SÄTEILYLAITEMITTAUS

Menetelmä soveltuu rakenteisiin, joissa materiaalin enimmäisraekoko on pienempi kuin 63 mm.

Menetelmä soveltuu heikosti karkearakeisille murskeille ja kosteille (> 40 % vesipitoisuus) materiaaleille, kuten savelle. Mikäli materiaalissa on mittausta haittaavia ainesosia, kuten tiettyjä metalleja, tulee vesipitoisuus varmistaa näytteistä uunikuivauksella.

Mittaus perustuu radioaktiiviseen säteilylähteeseen. Laite mittaa väliaineen irtotiheyttä Cesium-137-säteilylähteen takaisinheijastuman perusteella ja vesipitoisuutta pinnasta vetyionin virittymisen perusteella. Säteilylähte heikkenee ajan kuluessa, joten laite pitää kalibroida säännöllisesti. **Säteilylaki 859/2018** edellyttää säteilymittarin käyttäjältä erityiskoulutusta ja laitteelle lukittavaa säilytystä. Mittauksen aikana suojaetäisyys on vähintään 2 metriä.

Mittaus aloitetaan ottamalla standardilukema muovisen referenssilohkon päällä. Säteilymittauksessa laitteen mittaustanko työnnetään tiivistettyyn kerrokseen tehtyyn reikään ja tanko laitetaan kiinni seinämään. Mittauskohdan pinnan tulee olla tasainen. Tasoittamisessa voi käyttää apuna laitteen mukana tulevaa levyä. Reikä voidaan tehdä lyömällä laitteen mukana olevaa tankoa apulevyn avulla maahan tai poraamalla.

Mitä pidempää mittausaikaa käytetään, sitä luotettavampi tulos on. Mittaus kannattaakin aloittaa pidemmällä esim. 4 min mittausajalla ja lyhentää 1 minuuttiin, jos tuloksissa ei ole suurta hajontaa. Mittauksia voi tehdä 300, 250, 200, 150, 100 ja 50 mm syvyydeltä sekä pinnasta. Eri syvyyksiltä tehdyt mittaukset kertovat tiivistystyön syvyyssulottuvuudesta, joten tuloksista kannattaa piirtää kuvaaja syvyyden funktiona.

Laitteen muistiin voidaan syöttää vertailutiheys, jolloin saadaan suoraan tiiviyssaste prosentteina, mutta luotettavampaa on kirjata vähintään muistiin laitteen ilmoittama märkäirtotiheyslukema WD, kosteuslukema M ja sen laskema kuivairtotiheyslukema DD sekä vesipitoisuus W%; $WD = DD + M$. Näiden lukujen perusteella pystytään mittauspisteistä otetuista näytteistä laboratoriossa tehtyjen vesipitoisuusmääritysten perusteella laskemaan korjattu kuivairtotiheys. HUOM! Jos työmaalla kirjataan muistiin vain laitteen ilmoittamia PR%-arvoja, pitää aina tarkistaa ja kirjata muistiin myös laitteeseen syötetty vertailuarvo.

Tiivistarkkailussa yksittäisen mittauspisteen tulokseksi voidaan määrittää keskiarvo 100 mm ja 250 mm syvyydeltä tehdyistä mittauksista. Kuivairtotiheyksiä verrataan rakenteelle asetettuun vertailutiheyteen. Koska mittaus on nopeaa, voidaan tehdä rinnakkaisia mittauksia. Tyypillinen mittaustiheys on esimerkiksi $1/250 \text{ m}^2$ tai linjalla 50 m välein. Mittaustarkkuus riippuu materiaalin tasalaatuisuudesta.

Kerroksen pinnalta ilman kerrokseen työnnettävää mittaustankoa tehtävä pintamittaus eli heijastusmittaus ei anna sironnan takia luotettavaa tulosta kerroksen tiheydestä. Säteilymittauksella saatu vesipitoisuustulos kuvaa vain pinnan vesipitoisuutta, ja tulokseen voivat vaikuttaa myös muut materiaalin kemialliset ominaisuudet.

Vertailuarvo: Kuivairtotiheyden vertailuarvo ja optimivesipitoisuus määritetään laboratoriossa modifioidulla Proctor-menetelmällä (ks. kohta 2.9.2), kiertotiivistimellä (ks. kohta 2.9.3) tai tärypöytämenetelmällä (ks. kohta 2.9.4). Vertailutiheys määritetään aina uudelleen materiaalin vaihtuessa. Säteilymittauksessa sovellettava vaatimuarvo voidaan määrittää myös koetiivistyksellä (ks. kohta 2.9.5), jossa samaa materiaalia tiivistetään samanlaisissa pohjaolosuhteissa. Kerroksen tiiviyssaste lasketaan tiivistetystä kerroksesta säteilymittauslaitteella mitatun kuivairtotiheyden ja kerroksen materiaalille laboratoriossa määritetyn enimmäiskuivairtotiheyden eli vertailutiheyden prosenttiarvona ilmaistuna suhdelukuna.

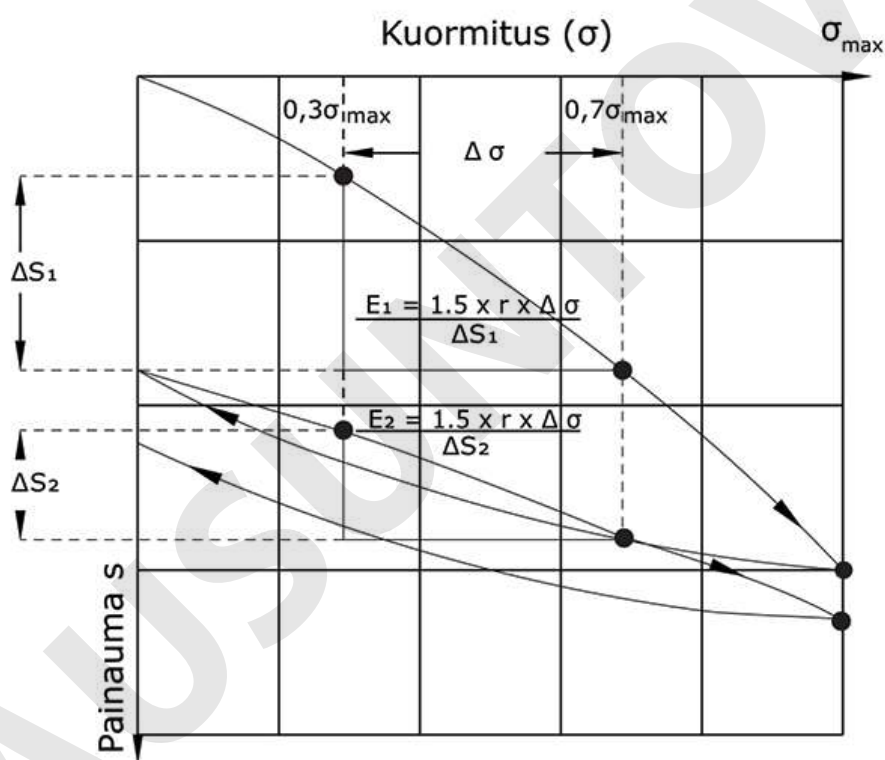
2.3 Menetelmä 2: LEVYKUORMITUSKOE TAI RASKAS PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUS

2.3.1 Yleistä

Menetelmä soveltuu kohteisiin, joissa materiaalin enimmäisraekoko on enintään 125 mm. Mikäli tiivistettävän materiaalin enimmäisraekoko on >125 mm (esim. louherakenne), voidaan kerroksen tiiviyttä mitata levykuormituslaitteella kiilauskerroksen päältä. Kiilauskerroksen paksuuden tulee olla *luvussa 181121* esitetyn mukainen. Menetelmä soveltuu hyvin sorasta tai murskeesta tai vastaavasta uusiomateriaalista tehdyn kerroksen mittaukseen.

Mittauksella selvitetään rakenteen muodonmuutosmoduuli (kantavuusarvo) E_n , jota verrataan kantavuusarvolle asetettuun vaatimukseen. Ensimmäisestä mittauksesta saatava arvo on E_1 , toisesta E_2 jne. Lisäksi selvitetään tiiviyssuhde E_2/E_1 , jota verrataan vastaavasti tiiviyssuhteelle asetettuun vaatimukseen.

Muodonmuutosmoduulit E_1 ja E_2 määritetään *kuvan Liite 2:K1* mukaan. Kantavuus määritetään kuormitusväliltä 30...70 %. Tämä ohjeistus johtuu siitä, että kuormituskokeen alkuvaiheessa mittaustapahtuma voi olla altis erilaisille häiriöille ja loppuvaiheessa saattaa rakenteen kimmoisuus ylittyä.



Kuva Liite 2:K1. Muodonmuutosmoduulin määrittäminen.

Vertailuarvo: Kantavuuden ja tiiviyssuhteen vertailuarvot eli laatuvaatimukset on tyypillisesti kerrottu kohteen suunnitelma-asiakirjoissa ja *InfraRYL*in rakennusosakohtaisissa vaatimuksissa.

2.3.2 Levykuormituskoe, menetelmäkuvaus

Levykuormituskokeen tekemisessä noudatetaan ensisijaisesti mittauslaitteen valmistajan ohjeistusta.

Esimerkki mittauksen ohjeesta:

Levykuormituskoe suoritetaan asettamalla teräslevy mitattavan rakenteen päälle, jonka jälkeen levyä kuormitetaan hydraulisella tunkilla. Mittauspaikan on oltava tasainen eikä materiaali saa olla lajittunutta. Irtonainen kiviaines on poistettu mittauskohdasta ja tarvittaessa pinta tasattu hiekalla (0...2 mm). Pintaa hierretään levyllä lopullisen tasaisuuden varmistamiseksi.

Tunkki asetetaan vastapainon ja levyn välille. 1. kellon mittasauva asetetaan niin, että mittakello tulee levyn keskellä olevan tasakantaisen pultin kannan päälle. Mittasauvan tukijalkojen etäisyyden on oltava vähintään 0,5 metriä levyn keskeltä. Asennustyön jälkeen rakennetta esikuormitetaan 3,5 kN voimalla tasauserroksen tiivistämiseksi. Esikuormitusvoima vapautetaan, jonka jälkeen mittakello nollataan ja aloitetaan varsinainen kuormittaminen 10 kN portaattain 10 kN:sta 60 kN:iin.

Mittakellon lukema kirjataan ylös, kun levyn painuma on alle 0,1 mm minuutissa. Mittakellon lukema kirjataan ylös lisäksi saavutettaessa maksimikuormitus 60 kN. Kirjausten jälkeen kuormitus vapautetaan ja aloitetaan seuraava kuormituskerta.

Kuormitusten aikana on tarkkailtava kellon lukemaa mahdollisen rakenteen murtumisen havaitsemiseksi. Murtuma ilmenee painumanopeuden hitaasta vähenemisestä tai siitä ettei se hidastu lainkaan. Murtumistapauksessa koe on keskeytettävä ja tehtävä uudelle vähintään metrin päästä edellisestä mittauspisteestä.

Levykuormituslaitteisto on tarkastettava vuosittain tai aina, jos epäilee laitteiston toimivuutta ja mittauspöytäkirjaan merkitään laitteen tarkastuspäivämäärä. Tarkastusraportti/kalibrointitodistus on toimitettava tilaajalle pyydettyä. Mittakellon toimintaa epäiltäessä on mittakello tarkastettava vertaamalla lukemaa toiseen luotettavaan mittakelloon.

2.3.3 Raskas pudotuspainolaitemittaus, menetelmäkuvaus

Raskaassa pudotuspainolaitemittauksessa noudatetaan ensisijaisesti mittauslaitteen valmistajan ohjeistusta.

Pudotuspainolaite (PPL) simuloi liikennekuormitusta pudottamalla painoa kuormituslevylle. Laitteella mitataan tiehen/rakenteeseen kohdistuvaa voimaa ja sen aiheuttamaa pinnan taipumaa kuormituslevyn alla sekä useilla etäisyyksillä kuormituslevystä (anturien tyypilliset etäisyydet 0,2–1,5 m). Tuloksena saadaan taipumasuppilo, joka kuvaa rakenteen kuormituskestävyyttä (kantavuutta).

Menettely

1. Laske kuormituslevy mittauskohtaan.
2. Suorita pudotukset; laite mittaa voiman ja taipuman levyn alla (D0) ja muilla etäisyyksillä.
3. Tarkasta tulosten oikeellisuus (taipumasuppilon muoto); uusi pudotus tarvittaessa tuloksen varmistamiseksi.
4. Jatka seuraavaan mittauspisteeseen suunnitellun pistevälin mukaan.

Tulokset, arviointi ja dokumentointi.

- Tallennetaan taipumat D0 (µm), taipumasuppilo (D0, D20, D30, 45, 60, 90, 120), kuormitus sekä lasketut kantavuusarvot (E-moduulit, E1 ja E2).
- Tiivistysuhde esitetään muodossa E2/E1.

- Tuloksia verrataan kohteen suunnitelma-asiakirjoissa ja InfraRYLin rakennusosakohtaisissa vaatimuksissa esitettyihin vertailuarvoihin.
- Mittaustiedosto sisältää sijainnin, mitatut taipumat (μm) ja kuormitukset, lämpötilan ($^{\circ}\text{C}$) sekä mittauksen kannalta olennaiset päällyste-, kohde- ja olosuhdetiedot.

Kalibrointi ja laitteiston kunto

- Vuosihuolto ja kalibrointi suoritetaan kerran vuodessa ennen mittauskautta.
- Seismometrit tarkistetaan päivittäin (esim. Time History -testi); virhetilanteissa laitetta ei käytetä.
- Matkamittari kalibroidaan vähintään kuukausittain.
- Seismometrit, voima-anturit ja kuormituslevy huolletaan/kalibroidaan valmistajan ohjeiden mukaisesti vuosittain.
- Laatumittausraportista tulee ilmetä laitteiston yksilöivä koodi sekä kalibrointipäivä.

2.4 Menetelmä 3: MITTAAVA JYRÄ JA PISTEMÄISET VARMISTUSMITTAUKSET

Menetelmä soveltuu kohteisiin, joissa kerrospaksuus ja tiivistyskalusto ovat taulukon [Liite 2:T1](#) mukaisia ja jyrässä on tiiviydentarkkailulaite, jossa on tulosten raportointimahdollisuus. Lisäksi suositellaan GPS-paikannuslaitetta, jonka tulokset voidaan yhdistää tiiviysraportointiin.

Vaatuksena on, että tiivistystä jatketaan niin kauan, että jyrämittarin osoittamat tiiviysarvot eivät enää parane ja että kultakin rakenneosakohtaisesti määriteltävältä linjapituudelta kahdesta huonoimmat jyrämittariarvot antaneesta kohdasta menetelmän 1, 2 tai 6 antamat tulokset täyttävät niille asetetut vaatimukset.

CEN TC 396 on julkaissut teknisen spesifikaation CEN/TS 17006, jossa on kuvattu mittaavien jyrrien pääkäyttötavat:

- 1) Kalibrointimenetelmä, jossa määritetään jyrämittariarvojen ja tiivistysasteen/tiivistyssuhteen/kantavuuden välinen korrelaatio. Kalibrointi on tehtävä jokaiselle käytetylle materiaalityypille.
- 2) Heikon alueen analyysi, jossa tarkistetaan, täytyvätkö lopputuotteen vaatimukset kohdissa, joissa on mitattu pienimmät jyrämittarin arvot.
- 3) Maksimitiivistys, jossa jyrätään niin kauan kuin peräkkäisten jyrämittausten arvot eivät enää kasva ennalta määriteltä prosenttiarvoa enempää.
- 4) Osoitetaan jyrämittarin, jyräysparametrien ja sijaintitietojen avulla tehty tiivistystyömäärä.

Vertailuarvo: Valitun varmistusmittausmenetelmän mukainen, joita ovat menetelmät 1, 2 tai 6.

2.5 Menetelmä 4: VAAITUS TAI TAKYMETRIMITTAUS

Menetelmä soveltuu kohteisiin, joissa tiiviyyttä ei voida muilla menetelmillä mitata. Menetelmä sallitaan, kun murskeen tai louheen enimmäisraekoko on suurempi kuin 125 mm.

Vertailuarvo: Menetelmässä mitataan tiivistettävän kerroksen pinnan korkeustason alentumista esimerkiksi vaaitsamalla tai takymetrimittauksella. Tällöin valitaan vähintään kaksi poikkileikkausta, joihin merkitään esimerkiksi maalimerkki vähintään kymmeneen kohtaan. Pisteiden korkeustasot mitataan 0, 2, 4, 6, 8 jne. jyrän ylityskerran jälkeen. Kun kahden viimeisen ylityskerran aiheuttamat painumat ovat alle 10 mm kussakin mitatussa poikkileikkauksessa, tiivistystaso on riittävä.

2.6 Menetelmä 5: JYRÄYSKERTAMÄÄRIEN SEURANTA

Menetelmän käyttö on esitettävä suunnitelma-asiakirjoissa. Menetelmä soveltuu lähinnä lyhyisiin kohteisiin (< 500 m), missä pohjaolosuhteet ovat samat koko osuudella. Muun tyyppisissä kohteissa menetelmää voidaan käyttää tilaajan hyväksynnällä.

Tarvittava jyräyskertamäärä valitaan ja hyväksytään ennen työn aloittamista joko suunnitelman mukaan tai koetiivistyksen perusteella. Valinnassa voidaan käyttää apuna taulukon Liite 2:T1 ohjearvoja. Kustakin kohdasta kirjataan ylitysmäärä. Suositeltavinta on varustaa jyrä GPS-paikantimella ja tuottaa graafinen kuvaus ylitysmääristä kartalle.

Vertailuarvo: Vertailuarvo voidaan määrittää koetiivistyksellä (ks. kohta 2.9.5) tai käyttämällä taulukon Liite2:T1 ohjearvoja.

2.7 Menetelmä 6: VOLYMETRIMITTAUS

Vesivolymetrimenetelmä (ASTM D2167-15) soveltuu rakenteisiin, joissa materiaalin enimmäisraekoko on 16 mm. Jos enimmäisraekoko on suurempi, pitää volymetrikuopan ja levyssä olevan reiän olla suurempi. Menetelmä soveltuu huonosti, jos materiaali on karkearakeista, jolloin rakeiden väliin jää tyhjiä huokosia, tai terävasärmäistä, jolloin laitteen kumi voi rikkoutua, tai helposti kokoonpuristuvaa, jolloin mittauksessa käytettävä paine tiivistää materiaalia, Materiaalin vesipitoisuuden tulee olla riittävän pieni, jottei volymetrikuoppaan kerry vettä.

Hiekkavolymetrikokeessa (ASTM D1556/D1556M-24) ei käytetä kumia eikä painetta ja se soveltuu karkeammallekin kiviainekselle (<38 mm), kunhan rakeiden väliset raot ovat pienempiä kuin mittauksessa käytettävän hiekan raekoko. Rakenteeseen kaivetun kuopan tilavuuden määrittämisessä voidaan käyttää vettä tai hiekkaa.

Mittauspaikan pinnan tulee olla tasainen. Volymetrikoe aloitetaan kiinnittämällä volymetrin levy luotettavasti alustaan esimerkiksi pitkällä nauloilla ja ottamalla alkulukema. Loppulukema otetaan, kun volymetrikuopan avulla on kaivettu materiaaliin sileäseinämäinen kuoppa, jonka tilavuus on noin litra ja jonka materiaali on otettu tarkasti talteen muovipussiin. Kaikki löyhynyt aines poistetaan volymetrikuopasta.

Vesivolymetrissä lukema otetaan painamalla laitteen kumikalvoa 0,2 bar paineella ja lukemalla lukema asteikolta. Hiekkavolymetrissä tilavuus mitataan käyttämällä kuivaa tasarakeista hiekkaa, jonka irtotiheys tunnetaan ja joka asettuu sullomattomana aina samaan tilavuuteen. Hiekkasäiliö punnitaan ennen mittausta. Hiekkaa valutetaan tasaisesti, jotta se ei tiivisty. Hiekan menekki mitataan punnitsemalla tai tilavuusmittoina esim. mittalasilla. Hiekan menekissä on mukana myös laitteen kartion tilavuus. Puhtaan hiekan voi kaivaa talteen ja käyttää uudelleen kuivattuna.

Kuopasta kaivettu näyte punnitaan kosteana ja sen vesipitoisuus määritetään kuivairtitiheyden määrittämiseksi. Vesipitoisuusmäärityksen voi tehdä osanäytteestä.

Vertailuarvo: Kuivairtitiheyden vertailuarvo ja optimivesipitoisuus määritetään laboratoriossa modifioidulla Proctor-menetelmällä (ks. kohta 2.9.2) tai kiertotiivistimellä (ks. kohta 2.9.3). Vertailutiheys määritetään aina uudelleen materiaalin vaihtuessa. Volymetrimittauksessa sovellettava vaatimusarvo voidaan määrittää myös koetiivistyksellä (ks. kohta 2.9.5), jossa samaa materiaalia tiivistetään samanlaisissa pohjaolosuhteissa. Kerroksen tiiviysaste lasketaan tiivistetystä kerroksesta volymetrillä mitatun kuivairtitiheyden ja kerroksen materiaalille laboratoriossa määritetyn enimmäiskuivairtitiheyden eli vertailutiheyden prosenttiarvona ilmaistuna suhdelukuna.

2.8 Menetelmä 7: KEVYT PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUS

Kevyttä pudotuspainolaitetta käytetään yleensä tiiviydentarkkailuun kohteissa, joissa levykuormitus- tai pudotuspainolaitteiston käyttäminen on tilaustauden takia mahdotonta tai hyvin hankalasti järjestettävissä (esim. tuettu kapea-alainen kaivanto).

*InfraRYL*in luvuissa on esitetty kullekin rakennusosalle soveltuvat tiiviydentarkkailumenetelmät. Tyypillisiä kevyellä pudotuspainolaitteella mitattavia kohteita ovat putkilinjojen asennusalustat sekä alku- ja lopputäytöt. Kevyttä pudotuspainolaitetta ei yleensä saa käyttää rakennekerrosten tiiviyden kelpoisuuden osoittamiseen, vaan niissä käytetään levykuormituskoetta tai raskasta pudotuspainolaitetta.

Ohjeen *PANK 9001 Kantavuuden mittaus, Loadman* mukaisesti:

- Menetelmällä voidaan määrittää mitattavan rakenteen kantavuus E-moduulina ja tiivistettävän kerroksen tiiviyssuhde.
- Menetelmä soveltuu sekä sitomattomien että ohuiden sidottujen rakenteiden ja rakennekerrosten kantavuusmittaukseen.
- Tiiviyssuhde voidaan määrittää sitomattomilla rakennekerroksilla.
- Mittauksen vaikutussyvyys on n. 20...50 cm. Siihen vaikuttaa kuormituslevyn halkaisija: Mitä suurempi mittauslevyn halkaisija on, sitä suurempi laitteen ”tehollinen” mittaussyvyys (Boussinesqin teoria).

Kevyellä pudotuspainolaitteella tiiviyssuhde määritetään enimmäismoduulitason ja ensimmäisen moduuliarvon suhteena $E_{\max}/E_1$. Enimmäismoduulitaso saavutetaan yleensä 3...6 mittauksen jälkeen. *Mittaussarjan* (3...6 mittausta) kaikki *mittaushavainnot* tehdään aina samalta kohdalta. Mittaussarjasta kirjataan: $E_{\max}$ ja suhde $E_{\max}/E_1$. *Mittaustulos* on mittaussarjojen keskiarvo. Suurinta ja pienintä mittaussarjan tulosta ei huomioida keskiarvon laskennassa. Mittaussarjat tulee tehdä siten, että mittauspisteet sijoittuvat kattavasti mitattavan rakenteen alueelle.

*InfraRYL*issä annetut kevyen pudotuspainolaitteen tiiviyssuhdevaatimukset perustuvat siihen, että mittauksessa käytetään halkaisijaltaan 132 mm olevaa pohjalevyä. Tällöin materiaalin maksimiraekoko on 32 mm. Jos on tarvetta mitata karkeammista materiaaleista tehtyjä rakenteita ja käytetään esim. 300 mm levyä, kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus ei saa olla liian suuri.

2.9 Tiiviydentarkkailun vertailuarvon määrittäminen ennen tiivistystyötä

2.9.1 Yleistä

Tiiviydentarkkailun menetelmien vertailuarvojen määrittäminen on esitetty taulukossa [Liite 2:T3](#).

Vertailuarvo määritetään:

- laboratoriossa tehtävien kokeiden perusteella tai
- työmaalla tehtävillä mittauksilla tai koetiivistyksellä tai
- kohteen suunnitelma-asiakirjoissa tai
- käytetään *InfraRYL*in rakennusosakohtaisesti määritettyjä arvoja.

Taulukko Liite 2:T3. Tiiviydentarkkailumenetelmien vertailuarvojen määrittävät.

Tiiviydentarkkailun menetelmä	Vertailuarvon tai -perusteen määrittäminen
1. Säteilämittaus	Proctor-menetelmä (kohta 2.9.2), kiertotiivistin (kohta 2.9.3), tärypöytä-menetelmä (kohta 2.9.4) tai koetiivistys (kohta 2.9.5)
2. Levykuormituskoe tai raskas pudotuspainolaitemittaus	Verrataan muodonmuutosmoduulille (kantavuudelle) ja tiiviyssuhteelle asetettuihin vaatimuksiin. Vaatimukset on tyypillisesti kerrottu kohteen suunnitelma-asiakirjoissa ja InfraRYLin rakennusosakohtaisissa vaatimuksissa ¹⁾
3. Mittaava jyrä ja pistemäiset varmistusmittaukset	Valitun varmistusmittausmenetelmän mukaan, joita ovat tiiviydentarkkailun menetelmät 1, 2 tai 6
4. Vaaitus tai takymetrimittaus	Korkeusaseman mittaus työmaalla
5. Jyräskertamäärien seuranta	Koetiivistys (kohta 2.9.5) tai taulukon liite 2:T1 ohjearvo
6. Volymetrimittaus	Proctor-menetelmä (kohta 2.9.2), kiertotiivistin (kohta 2.9.3) tai koetiivistys (kohta 2.9.5)
7. Kevyt pudotuspainolaitemittaus	Verrataan muodonmuutosmoduulille (kantavuudelle) ja tiiviyssuhteelle asetettuihin vaatimuksiin. Vaatimukset on tyypillisesti kerrottu kohteen suunnitelma-asiakirjoissa ja InfraRYLin rakennusosakohtaisissa vaatimuksissa ¹⁾
¹⁾ Rakennusosakohtainen vaatimus on esitetty valmista rakennusosaa koskevissa vaatimuksissa (esimerkiksi 21210.4 Valmis jakava kerros).	

Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, tiivistyskokeiden suunnittelussa voidaan käyttää apuna taulukossa Liite 2:T4 eri maalajeille esitettyjä tyypillisiä optimivesipitoisuuksia ja enimmäiskuivairtotehtäviä.

Taulukko Liite 2:T4. Tyypilliset optimivesipitoisuudet.

Maalaji	Optimivesipitoisuus, %	Maksimikuivairtotehtävyys, Mg/m ³
Sora, soramoreeni	5...10	2,0...2,2
Hiekka	5...15	1,7...2,2
Siltti	15...25	1,6...1,8
Savi	20...30	1,5...1,7
Hiekkamoreeni ja silttimoreeni	5...10	2,0...2,3

2.9.2 Proctor-menetelmä (SFS-EN 13286-2)

Standardin SFS-EN 13286-2 mukainen modifioitu Proctor-menetelmä tarkoittaa sitä, että tiivistämiseen käytetty energia on 2,56...2,80 MJ/m³. Testi toteutetaan sullomalla materiaalia kerroksittain 4,5 kg juntalla materiaalin enimmäisraekoon mukaisesti valittuun muottiin. Muotin halkaisijan (100, 150 tai 250 mm) pitää olla vähintään neljä kertaa materiaalin enimmäisraekoko. Testi tehdään yleensä 4...6 eri vesipitoisuudella. Menetelmä soveltuu materiaalille, jonka enimmäisraekoko on 63 mm. Ylisuuret rakeet voidaan poistaa ennen testin tekemistä, ja tehdä niin kutsuttu kivisyyskorjaus SFS-EN 13286-2 liitteen C mukaisesti.

2.9.3 Kiertotiivistin-menetelmä

Kiertotiivistin-menetelmässä materiaalia tiivistetään hiertävällä ja staattisesti puristavalla kiertoliikkeellä. Menetelmästä on julkaistu asfalttimassojen tiivistämiseen tarkoitettu standardi (SFS-EN 12697-10), jonka mukaista menetelmää käytetään, kunnes sitomattomille materiaaleille on kehitetty oma menetelmä.

Esimerkiksi Tiivi-projektissa on selvitetty menetelmän käyttöä sitomattomien materiaalien tiivistyksessä (Julkaisu *Sitomattomien materiaalien jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu*).

2.9.4 Tärypöytä-menetelmä (SFS-EN 13286-5)

Standardin SFS-EN 13286-5 mukainen tärypöytä-menetelmä soveltuu materiaalille, jonka enimmäisraekoko on 80 mm ja hienoainespitoisuus on enintään 12 %. Tärypöytämenetelmässä noin 45 kg näytettä tiivistetään lieriömuotissa 18 minuuttia täryttämällä 50 Hz taajuudella enintään 0,4 mm amplitudilla.

2.9.5 Koetiivistys

Koetiivistyksessä kerrospaksuus ja tiivistyskalusto ovat taulukon [Liite 2:T1](#) mukaisia. Tiivistyskalusto valitaan taulukon [Liite 2:T1](#) valikoiman raskaimmasta päästä.

Koetiivistyksessä seurataan tehostetusti tiiviiden ja kantavuuden kehittymistä jyräskertamäärien suhteen. Koetiivistyksessä materiaalin vesipitoisuuden tulee olla hyvin lähellä optimivesipitoisuutta.

Tiivyyttä ja kantavuutta mitataan niiden kelpoisuuden osoittamiseen soveltuvilla menetelmillä joka toisen jyräskerran jälkeen riittävän monesta eri mittauspisteestä ja tarvittaessa eri syvyyksiltä. Erityisesti yli 500 mm kerrospaksuuksilla on tarpeen tutkia tiivistysvaikutuksen ulottuvuutta myös kerroksen pohjalta.

Koetiivistys voidaan toteuttaa erikseen eri kerrospaksuuksilla sekä erilaisilla tiivistyskalustoilla ja -tekniikoilla. Koetiivistys on tehtävä uudestaan aina kun materiaali tai tiivistyskalusto vaihtuu tai alustan kantavuus muuttuu tai kerrospaksuus kasvaa koetiivistysalueeseen verrattuna.

Koetiivistyksen tuloksena voidaan todeta vaadittuun tiiviyteen ja kantavuuteen pääsemiseksi edellytetty tiivistyskäytäntö, jonka toteutumista rakennuskohteessa seurataan työtapatarkkailuna yhdessä materiaalin ja sen kosteustilan kanssa.

Viitteet

Säteilylaki 859/2018

ASTM D2167-15 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method

ASTM D1556/D1556M-24 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method

SFS-EN 1097-5 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa

SFS-EN 13286-2 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content. Proctor compaction (Sitomattomat ja hydraulisesti sidotut seokset. Osa 2: Vertailutiiviiden ja vesipitoisuuden määrittäminen menetelmä. Proctor- tiivistys)

SFS-EN 13286-5 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 5: Test methods for laboratory reference density and water content. Vibrating table (Sitomattomat ja hydraulisesti sidotut seokset. Osa 5: Vertailutiiviiden ja vesipitoisuuden määrittäminen menetelmä. Tärypöytä)

CEN/TS 17006 Earthworks. Continuous Compaction Control (CCC)

181121 Maalle pengerretty louhepenkereet, InfraRYL

PANK 9001 Kantavuuden mittaus, Loadman

Radiometrinen mittalaite Troxler 3411-B. Käyttöohje

Sitomattomien materiaalien jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä (www.doria.fi).