

Jani Frantzi

KANTAVUUS- JA TIIVYSSUHDEMIT- TAUKSET KEVYELLÄ PUDOTUSPAI- NOLAITTEELLA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Rakennustekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jani Frantzi
Työn nimi	Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaukset kevyellä pudotuspainolaitteella
Toimeksiantaja	Recset Oy
Vuosi	2024
Sivut	65 sivua, liitteitä 24 sivua
Työn ohjaaja(t)	Juha Karvonen Valtteri Perälähti

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin maarakennuskerrosten laadunvalvonnan suorittamista kevyellä pudotuspainolaitteella kantavuus- ja tiiviyssuhdemittauksiin perustuen. Työn tilaajana on Recset Oy, joka haluaa selvittää, kuinka laajasti kevyellä pudotuspainolaitteella mitatut kantavuus- ja tiiviyssuhdemittauksien tulokset ovat käytettävissä luotettavana laadunvarmennuskeinona rakennuskohteissa.

Työn teoreettisessa osuudessa perehdytään maanrakennuskohteessa tehtäviin rakennekerroksiin sekä rakennekerroksien materiaalien laatuvaatimuksiin ja laadunvarmistuksen toteuttamiseen tiiviyssuhdemittauksin. Työssä käsitellään kevyen pudotuspainolaitteen toiminta pääpiirteittäin läpi ja tarkemmin perehdytään mittaustuloksiin ja mittaustuloksien tulkintaan.

Tutkimuksessa suoritettiin mittaukset kahdella eri kuormituslevyllä kaikista rakennekerroksista jokaisessa mittauspisteessä, jolloin saatiin tietoa kuormituslevyn koon vaikutuksesta mittaamiseen ja mittaustuloksiin. Mittaustuloksien pohjalta tehtiin suositus käyttää suurempaa 300 mm:n kuormituslevyä, kun mitataan RIL 1 tai RIL 1a mukaisia salaojitus- tai kapillaarikatkokerroksien materiaaleja tai kun mitattava materiaali on löyhää kuten hiekkaa. Näillä materiaaleilla pienemmällä kuormituslevyllä mittaushavaintojen painumat olivat liian suuria ja luotettavaa mittaustulosta ei saavutettu. Muilla kuin edellä mainittujen rakennekerroksien tiiviyssuhdemittauksiin suositellaan käytettäväksi 132 mm:n kuormituslevyä, koska suuremman kuormituslevyn käyttö aiheutti epävarmuutta sekä mittaamiseen suorittamiseen että mittaustuloksiin.

Opinnäytetyön tuloksissa tarkasteltiin myös olemassa olevia ohjeita ja vaatimuksia mittauksen suorittamiseen ja tuloksien tulkintaan. Yleisten laatuvaatimusten ohjeiden havaittiin olevan osittain puutteellisia ja niillä voi olla laadunvarmistusta heikentävä vaikutus, mikäli mittauksia suorittava henkilö ei ole riittävän hyvin perehtynyt kevyellä pudotuspainolaitteella tehtäviin kantavuus- ja tiiviyssuhdemittauksiin sekä mittaustuloksien tulkintaan.

Asiasanat: kantavuus, kevyt pudotuspainolaite, tiiviyssuhde

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Jani Frantzi
Thesis title	Load capacity and compactness ratio measurements with light-weight deflectometer
Commissioned by	Recset Oy
Time	2024
Pages	65 pages, 24 pages of appendices
Supervisor(s)	Juha Karvonen Valtteri Perälähti

ABSTRACT

The thesis examined the use of a lightweight deflectometer as quality control tool for measuring the load capacity and density ratio of earthwork layers. This thesis commissioned by Recset Oy, who wants to find out to what extent the results of the load capacity and density ratio measurements taken with a light-weight deflectometer are useful as a reliable quality control method on construction sites.

The theoretical part of the work introduces the structural layers at the construction site, as well as the quality requirements for the materials in these layers and the implementation of quality assurance based on compaction ratio measurements. The work covers the operation of the lightweight deflectometer in general and focuses more closely on the measurement results and their interpretation.

The study performed measurements on two different load plates for all structural layers at each measurement point, providing information on the effect of load plate size on the measurements and results. Based on the measurement results, a recommendation was made to use a larger 300 mm load plate when measuring the materials of the drainage or capillary break layers according to RIL 1 or RIL 1a, or when the material to be measured is loose, such as sand. With these materials on a smaller load plate the measured settlements of material were too large, and a reliable measurement result was not achieved. A 132 mm load plate is recommended for the density ratio measurements of other than the above-mentioned structural layers, as the use of a larger load plate caused uncertainty in both the performance of the measurement and the results.

The results of the thesis also examined the existing guidelines and requirements for performing the measurement and interpreting the results. It was found that the general quality requirements were partially inadequate and could have a detrimental effect on quality assurance if the person performing the measurements is not sufficiently familiar with the load capacity and compactness ratio measurements made with a lightweight deflectometer device and the interpretation of the results of the measurements.

Keywords: load capacity, lightweight deflectometer, compactness ratio

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KEVYT KANNETTAVA PUDOTUSPAINOLAITE	7
3	LAATUVAATIMUKSET	10
4	RAKENNEKERROKSET	12
4.1	Päällysrakenne	12
4.1.1	Suodatinkerros	12
4.1.2	Jakava kerros	14
4.1.3	Kantava kerros	18
4.2	Kaivannot ja kaivantojen täytöt	20
4.2.1	Asennusalusta	21
4.2.2	Alkutäyttö	22
4.2.3	Lopputäyttö	23
4.3	Rakenteiden alus- ja ympärystäytöt	24
4.3.1	Perustuksen alustäyttö	24
4.3.2	Alapohjan alapuolinen salaojitus- ja kapillaarikatkokerros	26
4.3.3	Rakennuksen alapuolinen yleistäyttö	28
4.3.4	Rakennuksen perustuksien vierustäyttö ulkoseinälinjojen sisäpuolella	30
4.3.5	Rakennuksen perustuksien vierus- ja ulkopuolinen täyttö	31
5	RAKENNUSKOHTEESSA SUORITETTU LAADUNVARMISTUS KANTAVUUS- JA TIIVIYSSUHDEMITTAUKSIN	32
5.1	Asennusalusta	33
5.2	Alkutäyttö	35
5.3	Lopputäyttö	36
5.4	Perustusten alustäyttö	36
5.5	Maanvaraisen alapohjan alapuolinen yleistäyttö	37
5.6	Maanvaraisen alapohjan alapuolinen kapillaarikatkokerros	38
5.7	Rakennuksen perustuksien ulkoseinälinjojen sisäpuolinen vierustäyttö	38

5.8	Rakennuksen perustuksien ulkopuolinen vierustäyttö	38
6	TIIVIYSSUHDEMITTAUKSIEN TULOKSET	39
6.1	Asennusalusta	39
6.2	Alkutäyttö	41
6.3	Lopputäyttö	43
6.4	Perustuksen alustäyttö	45
6.5	Maanvaraisen alapohjan alapuolinen yleistäyttö.....	47
6.6	Maanvaraisen alapohjan alapuolinen kapillaarikatkokerros	49
6.7	Rakennuksen perustuksien ulkoseinälinjojen sisäpuolinen vierustäyttö	51
6.8	Rakennuksen perustuksien ulkopuolinen vierustäyttö	52
7	POHDINTA	56
	LÄHTEET	60
	KUVALUETTELO	62
	TAULUKKOLUETTELO	65
	LIITTEET	

Liite 1. Mittaustulokset

1 JOHDANTO

Työmaalla suoritettaviin maanrakennustöiden laadunvalvontatehtäviin kuuluu olennaisena osana rakennekerroksien vaadittujen kantavuusarvojen ja tiiviyssuhteiden todentaminen mittauksin. Talonrakennustyömaalla voi mitattavia rakennekerroksia olla useita kymmeniä ja tilat, joissa mittauksia suoritetaan, ovat usein ahtaita, jolloin käytännöllisimmäksi mittaustavaksi muodostuu kannettava kevyt pudotuspainolaite. Ongelma on se, että kevyen pudotuspainolaitteen käyttö pohjautuu osittain vanhentuneisiin ohjeistuksiin ja työtapoihin, jolloin mittaustuloksien tulkinta ja kirjaaminen heikentää laadunvalvonnan tuloksia.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Recset Oy, joka on perustettu vuonna 2002. Yrityksen maa- ja infrarakentamisen osaamisalueeseen kuuluu muun muassa kunnallistekniikka, pohja-, väylä-, katu-, maa- ja urheilurakentaminen. Yrityksen toimipisteet sijaitsevat Tuusulassa, Kouvolassa ja Tampereella.

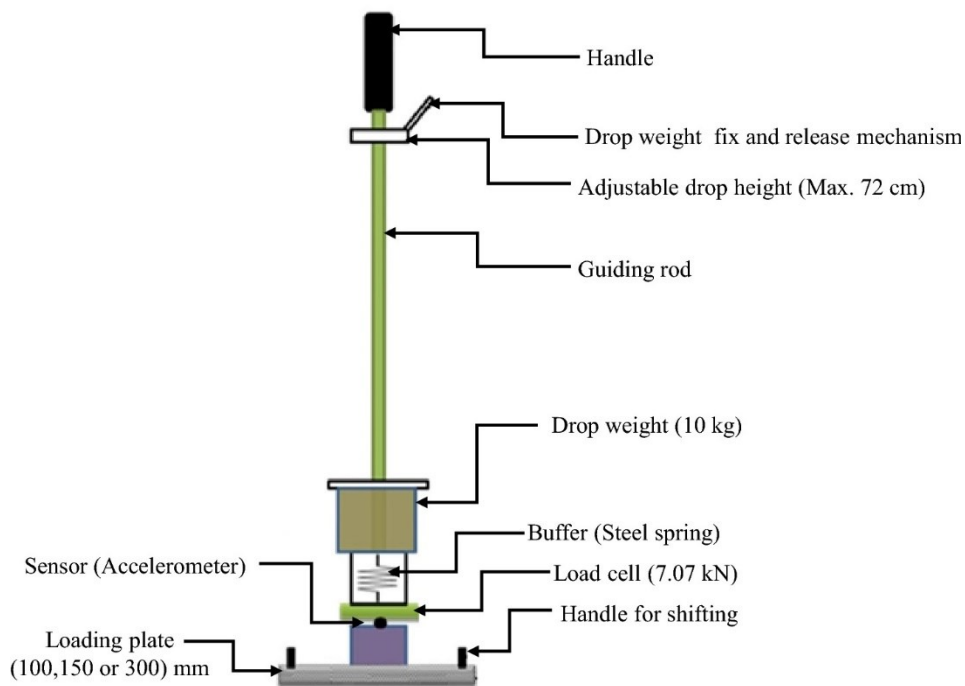
Opinnäytetyön tavoitteena on selkeyttää rakennuskohteessa toimivalle työnohtajalle maarakennuskerroksien laadunvarmennuksen toteuttaminen kantavuus- ja tiiviyssuhdemittauksin kevyellä pudotuspainolaitteella. Yleisimmät maarakennuksen rakennekerrokset käydään työssä läpi erillisinä osioina, koska jokaisessa rakennekerroksessa on hieman eri kantavuus ja/tai tiiviyssuhdevaatimukset.

Opinnäytetyössä suoritetaan lisäksi vertailevia mittauksia kevyen pudotuspainolaitteen kahdella eri kuormituslevyllä ja tutkitaan kuormituslevyn koon vaikutusta mittaustuloksiin ja mittausvarmuuteen. Vertailevien mittauksien tuloksista on tavoitteena saada selkeä ohjeistus eri materiaaleilla käytettävän kuormituslevyn koon valintaan, jotta mittaustulokset ovat paikkaansa pitäviä ja niitä voidaan käyttää laadunvalvontaan.

Opinnäytetyöhön sisältyi työmaalla suoritettavia tiiviyssuhdemittauksia Loadman II kannettavalla pudotuspainolaitteella. Mittaukset suoritettiin 2024 elo–marraskuun aikana, jolloin maa oli sula.

2 KEVYT KANNETTAVA PUDOTUSPAINOLAITE

Kuvassa 1 on esitetty Saksassa kehitetyn kevyen pudotuspainolaitteen LWD:n (light weight deflectometer) rakenne. Laitteella mitataan maan kantavuusarvoja ja mittaus perustuu kevyen pudotuspainon aiheuttaman poikkeaman eli muodonmuutosmoduulin mittaamiseen. Kevyt pudotuspainolaite on saanut hyväksynnän useissa maissa työmaalla käytettävänä maantiivistystyön laadunvalvonta menetelmänä. Maailmalla on käytössä useiden eri valmistajien kevyitä pudotuspainolaitteita, joiden toimintaperiaate ovat erittäin samankaltainen, vaikka itse laitteissa ja mittauksen suorittamisessa on eroavaisuuksia. Laitteet eroavat toisistaan muun muassa kuormituslevyn koon, pudotuskorkeuden, pudotuspainon massan ja käyttöliittymältään toisistaan. Laitteissa on pääsääntöisesti erillinen käyttöliittymä, joka kytketään kaapelilla mittalaitteeseen, jolloin laite pidetään mittausta suorittaessa paikallaan mittauskohdassa. (Elhakim ym. 2019)



Kuva 1. Saksassa kehitetyn ja ulkomailla yleisesti käytössä olevan kevyen pudotuspainolaitteen rakenne

Elhakim ym. (2019) ohjeistavat, että on tärkeää tasata mittauspisteessä 1,5 kertaa kuormituslevyä suurempi alue sekä alueelta tulee poistaa irtonainen kiviaines, jotta kuormituslevy asettuu mahdollisimman tiiviisti mitattavaa maakerrosta vasten ja mittauks tuloksesta saadaan luotettava.

Kevyellä kannettavalla pudotuspainolaitteella Loadman II, joka esitetään kuvassa 2, mitataan maan painumaa, siten että se käyttää laitteen sisällä olevaa 10 kilogramman teräspainoa. Teräspainon alapäässä on kumivaimennin, jotta pudotuksen tapahtuessa laitteen pohjalevyn kiinnitys ei vaurioituisi.



Kuva 2. Loadman II kevyt pudotuspainolaite

Laitteen tärkeimmät tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1, jossa kuormituslevy halkaisijaltaan 132 mm on laitteen rungon pohjassa kiinteästi kiinni oleva laitteen oma pohjalevy.

Taulukko 1. Loadman II tekniset tiedot

Laitteen kokonaispaino	n. 16 kg
Korkeus	119 cm
Halkaisija	n. 132 mm
Kuormituspinnan halkaisija	132 mm (lisälevyllä 300 mm)
Pudotuspaino	10 kg
Pudotuskorkeus	80 cm
Dynaaminen kuormitus F	n. 20 kN
Pintapaine (kun s=0 mm)	
- pohjalevy 132 mm	n. 1,4 Mpa
- pohjalevy 300 mm	n. 0,3 Mpa
Virtalähde	6 V NiMH akku
Mittausalue	n. 0,1...5 mm
Toimintalämpötila	n. -5...+50°C
Näyttö	Taustavalaistu LCD-näyttö

Laitteen yläpäässä sijaitsee kiihtyvyyssanturi, mittauselektroniikka ja laitteen näyttö sekä painikkeet hallintaa varten. Painikkeet muodostavat käyttöliittymän, joka on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Loadman II käyttöliittymä. Valittu kuormituslevy on 132 mm. Laite on valmis ensimmäiseen mittaushavaintoon (pudotukseen).

Mittauselektroniikan alla sijaitsee laitteen akku, jonka alla on alumiininen väli-vaippa, jossa on kumivaimennin, johon on kiinnitetty magneetti. Teräspaino kiinnittyy magneettiin, kun laitetta kallistetaan ja täten laite on valmis seuraavaan mittaukseen. Teräspaino tulee kiinnittää magneettiin laitetta kallistamalla jokaisen pudotuksen jälkeen. (AL-Engineering 2020, 1–2.)

Loadman II laitteen sisällä olevalla kiihtyvyyssanturilla mitataan pudotuspainon aikaansaama kuormitus. Kiihtyvyydestä integroimalla lasketaan painuma. Mittaustulos muodostuu maksimitaipumasta, lasketusta kantavuusarvosta eli kantavuusmoduulista (E) ja tiivyyssuhteesta, joka on laskettu mitatun E moduulin maksimiarvon suhteesta ensimmäiseen mittaustulokseen (AL-Engineering Oy 2020, 1–2).

3 LAATUVAATIMUKSET

RYL eli rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset on kirjallinen kuvaus, joka sisältää laadunmäärittäykseen käytettävät työtavat ja mittauksien numeraaliset arvot. Rakennustiedon MaaRYL-palvelussa esitetään talonrakennushankkeiden laatuvaatimukset pohja- ja pihatöiden osalta. MaaRYL-palvelussa on kootusti ohjeet rakennusosien ja työvaiheiden laadun määrittämiseen ja todentamiseen. Rakennustiedon InfraRYL-palvelussa kuvataan infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Molemmista palveluista julkaistaan kaksi kertaa vuodessa päivitys versio, jolloin on saatavilla uusien päivitetty ajantasainen tieto. Sekä Maa- että InfraRYL ovat tarkoituksenmukaisilta osilta yhteneväiset, jotta ei synny ristiriitoja samojen rakennekerroksien ohjeistuksiin. Rakentamista ohjaavan lainsäädännön lisäksi rakentamista ohjaa hyvä rakennustapa, johon viitataan velvoittavasti myös YSE 1998 yleisissä sopimusehdoissa sekä maankäyttö- ja rakennuslaissa. Onkin tärkeää huomioida, että kohteen suunnitelma-asiakirjat on myös tarkastettava huolella, koska tilaajan asettamat laatuvaatimukset voivat olla korkeammat kuin mitä on määritetty yleisissä laatuvaatimuksissa. (Rakennustieto 2024.)

Maankäyttö- ja rakennuslain yhtenä yleisenä tavoitteena on turvata suunnittelun laatu ja vuorovaikutteisuus sekä taata kelpoisuusvaatimuksilla, että rakennuskohteessa työskentelevillä työnjohtajilla ja erityisalan työnjohtajilla on rakennushankkeen vaativuuden mukainen riittävä osaaminen ja kokemus rakennusalalla, jotta laadullisiin tavoitteisiin päästään ja hyvää rakennustapaa noudatetaan. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132, 1. §, 117.§, 122. c §.)

Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 2 § kuvaa hankkeeseen ryhtyvän velvollisuuksia seuraavasti: *Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että pohjarakenteet suunnitellaan ja toteutetaan siten, että niillä säilyy riittävä lujuus ja vakaus murtumista vastaan koko suunnitellun käyttöiän ajan.* (Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 465/2014 2. §.)

Pohja- ja maarakenteet on toteutettava siten, että rakenteiden muodonmuutokset, siirtymät ja painumat jäävät niin pieniksi, että niistä ei aiheudu haittaa rakennukselle tai sen käytölle. Rakenteet eivät saa haitallisesti halkeilla eikä niihin saa tulla haitallisia pysyviä muodonmuutoksia. Maapohjan varmuus

murtumista vastaan on oltava riittävän suuri rakennusaikana ja rakenteen käyttöaikana. Hankkeeseen ryhtyvää vastaa, että rakenteet toteutetaan rakennuspaikan pohjaolosuhteet huomioon ottaen. (Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 465/2014 2. §.)

Laadunvalvonnalliset asiakirjat liitetään työmaalla poikkeuksetta ajan tasalla pidettävään tietokantaan. Laadunvalvonnallisia asiakirjoja ovat muun muassa materiaalitodistukset, rakeisuuskäyrät, mittauspöytäkirjat, tiiviys- ja kantavuuskokeiden tulokset. Maa-ainesten laadunvalvontaa tulee tehdä toimitusasiakirjojen tarkastelun lisäksi myös silmämääräisellä havainnoinnilla, jonka pääasiallinen tarkoitus on todeta maa-ainesten rakeisuus. Tiiviyksmittauksien lisäksi täyttöjen tiiviyttä tarkkaillaan työmenetelmätarkkailuna, joka sisältää kerros-paksuuksien, jyräyskertojen ja täyttömateriaalien laadunvalvonnan. (Rakennustieto 2024.)

RYL on yleinen viiteasiakirja, joka ei suoranaisesti anna lupaa käyttää tiettyjä materiaaleja rakennekerroksissa, vaan esittää materiaaleilta vaadittavat ominaisuudet, asennustavat ja laadunvalvonnan, joilla päästään hyvän rakennustavan mukaiseen ja yleiset vaatimukset täyttävään lopputulokseen. (Rakennustieto 2024.)

Kiviainesmateriaaleilla tulee olla CE-merkintä, mikäli kiviaines tuodaan työkohteeseen ulkopuolisen toimittajan toimesta tai kiviainesta myydään työmaalta ulkopuolisille toimijoille. CE-merkintä vaatii hyväksytyssä laboratoriossa suoritettut tutkimukset kiviainekselle ja tuotannonaikaiset suoritustapailmoitukset. CE-merkintä on tullut pakolliseksi 1.7.2013 alkaen ja vaatimus koskee kaikkia materiaaleja, jotka tulevat kiinteäksi osaksi rakennuskohdetta. (Niemi 2017, 8–9.)

4 RAKENNEKERROKSET

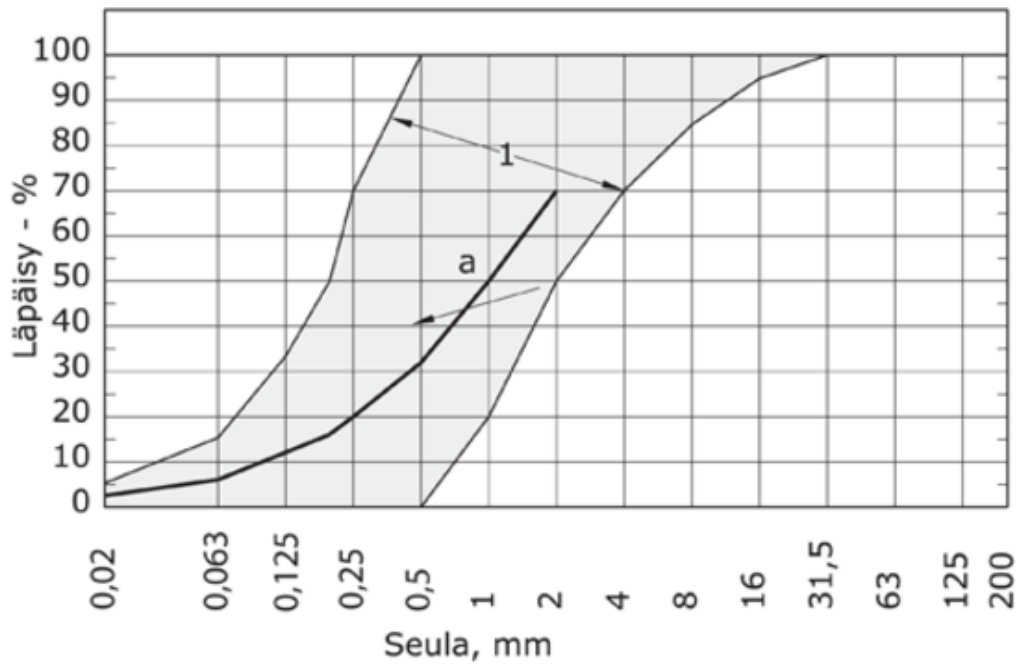
Maarakennuskohteessa käytettyjen rakennekerroksien laatuvaatimukset on kuvattu MaaRYL-julkaisussa. Julkaisussa esitetään vaatimuksia ja ohjeita, joiden tarkemmat kuvaukset ja määrittelyt ovat saatavilla julkaisussa viitatuista asiakirjoista ja standardeista. Rakennekerrokset jaotellaan päällysrakenteisiin ja erilaisiin täyttöihin. (Rakennustieto 2024.)

4.1 Päällysrakenne

Päällysrakenne sisältää kaikki rakennekerrokset, jotka on tehty pohjamaan tai pengertäytteen päälle. Päällysrakenne ottaa vastaan liikenteen aiheuttamat kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle tasaisesti. Päällysrakenne sisältää pääsääntöisesti suodatin-, jakavan- kantavan-, side- sekä kulutuskerroksen. Päällysrakenne voi myös sisältää routaeristekerroksen. Katurakenteessa suodatin- ja jakavakerros yhdistetään usein yhdeksi tukikerrokseksi. (Suomen kuntatekniikan yhdistys 2020.)

4.1.1 Suodatinkerros

Suodatinkerrokseen käytetään luonnonkiviainesta tai uusiomateriaalia tilaajan hyväksymän suunnitelman mukaisesti. Suodatinkerroksessa ei saa olla savea tai muita haitallisia epäpuhtauksia, kuten humusta. Suodatin kerroksen pakkuuden ollessa $< 0,5$ metriä on materiaalin suurin sallittu raekoko 31,5 mm. Kerrospaksuuden ollessa $> 0,5$ metriä voidaan käyttää 31,5–200 mm rakeita enintään 5 painoprosentin verran. Suodatinkerroksen rakeisuusohjealue on esitetty kuvassa 4. Suodatinkerroksena voisi olla myös suodatinkangas, jolloin koko tukikerros tehdään jakavan kerroksen materiaalista kokonaispaksuutta pienentämättä. (Rakennustieto 2024.)



Kuva 4. Suodatinkerroksen materiaalin rakeisuuskäyrä ja rakeisuuden ohjealue

Suodatinkerroksen tehtävä on estää rakennettujen kerroksien ja pohjamaan sekoittuminen sekä rajoittaa veden nousua pohjamaasta. Suodatinkerroksen merkitys korostuu etenkin hienorakeisilla pohjamailla, joissa karkearakeinen jakavan kerroksen materiaali pääsee helposti sekoittumaan hienorakeisen pohjamaan kanssa. Hiekasta valmistetun suodatinkerroksen paksuus riippuu tien käyttöasteesta ja pohjaolosuhteista. Suodatinkerroksen ja jakavakerroksen tilalle on paljon liikennöidyillä teillä viime vuosikymmeninä usein tehty louhekerros, jonka paksuus on 1,5 metriä. (Väylävirasto 2020.)

Tienrakennuskohteessa suodatinkerroksesta tulee ottaa tarkemittaukset 20 metrin välein, kun käytetään koneautomaatiota, ja tiiviysastetarkkailu kullakin ajoradalla keskimäärin 200 metrin välein. Valmiin suodatinkerroksen sallitut mittapoikkeamat esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Suodatinkerroksen sallitut mittapoikkeamat

Sallittu poikkeama	
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	– 0 / + 150 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 40 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	50 mm / 20 m
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 20 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,5 %-yksikköä

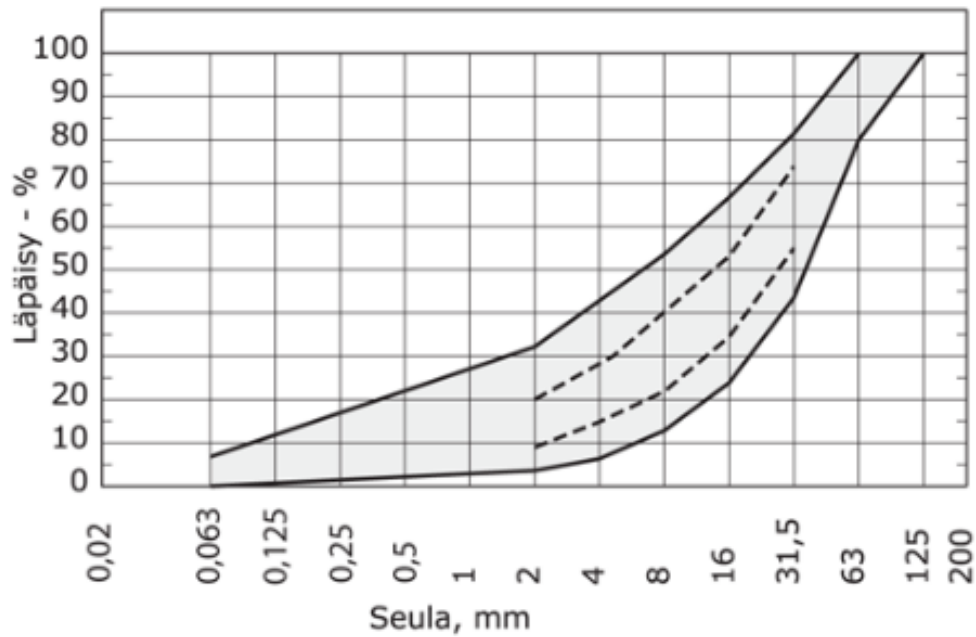
Suodatinkerroksen laadunvalvonta toteutetaan työtapatarkkailuna ja tiiviysmittauksin. Tiiviysasteen tulee olla keskimäärin 92 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos 90 %. (Rakennustieto 2024.)

4.1.2 Jakava kerros

Jakava kerros lisää koko rakenteen kantavuutta ja se tehdään karkearakeisesta kiviaineksesta, jolloin se rajoittaa myös veden kapillaarista nousua pohjamaasta (Väylävirasto 2020).

Jakavan kerroksen materiaalien kelpoisuus osoitetaan SFS-EN 13242 standardin mukaisella CE-merkinnällä, suoritustasoilmoituksella ja rakeisuuden tutkimustuloksilla. Materiaalin rakeisuusvaatimukset perustuvat SFS-EN 13285:en ja kiviainesvaatimukset SFS-EN 13242 standardiin. (Rakennustieto 2024.)

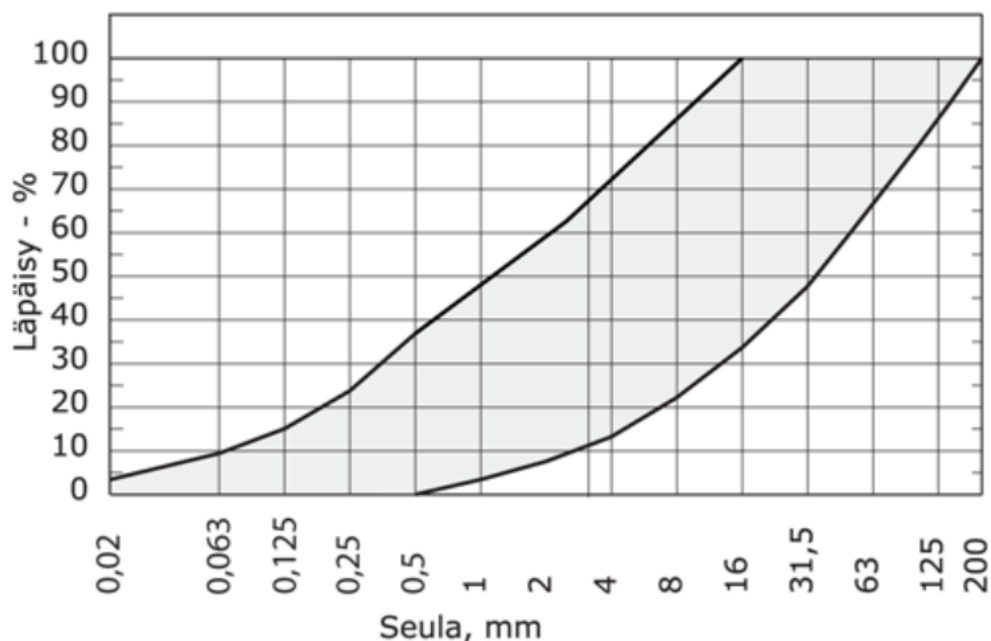
Katujen jakavana rakennekerroksena käytetään yleensä mursketta, jonka maksimiraekoko on 63 mm tai 90 mm. Kuvassa 5 on esitetty kalliomurskeen 0/63 rakeisuusjakauma. Suurempia rakeisuuksia 0/125, 0/180 ja 0/250 voidaan käyttää, jos siitä ei ole työnaikaiselle liikenteelle haittaa ja valmiin jakavan kerroksen laatuvaatimukset saavutetaan. (Suomen kuntatekniikka yhdistys 2020.)



Kuva 5. Esimerkki jakavan kerroksen kalliomurskeesta 0/63 rakeisuusjakaumasta

Murskeesta valmistettu jakava kerros voi olla sora- tai kalliomursketta tai uusiomateriaalia. SFS-EN 13285 standardi määrittää rakeisuusluokat, joita on kaksi kappaletta: G_p ja G_c . Hankekohtaisesti päätetään, kumpaa luokkaa käytetään. (Väylävirasto 2022, 7.)

Mikäli jakavaan kerrokseen käytetään luonnonsoraa, jonka rakeisuusvaatimukset on esitetty kuvassa 6, tulee sen täyttää standardissa SFS-EN 933-1 määritelty pesuseulonnalla tutkittu rakeisuusvaatimus. Pesuseulonnalla ja tarvittaessa hydrometrikokeella suoritetulla tutkimuksella määritetään materiaalin hienoaineksen määrä ja molemmissa kokeissa 0,02 mm:n läpäisyvaatimus on $\leq 3,0$ %. (Rakennustieto 2024.)



Kuva 6. Luonnonsoran rakeisuusvaatimukset jakavassa kerroksessa

Valmiin jakavan kerroksen kelpoisuus osoitetaan tarkistamalla pinnan tasot, korkeusasema ja leveys. Tienrakennuskohteessa kantavuudet mitataan levykuormituslaitteella tai pudotuspainolaitteella 100 metrin välein ja jos ajoratoja on useampi, niin tulee jokaisesta suorittaa erilliset mittaukset. Jakavan kerroksen tulee täyttää InfraRYL-taulukon 21210 T6 vaatimukset, jotka on esitetty taulukossa 3. (Rakennustieto 2024.)

Taulukko 3. Jakavan kerroksen sallitut poikkeamat

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0 / + 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan ¹⁾	± 30 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	30 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 15 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,0 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	20 mm
¹⁾ Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

Tiiviyssasteen laskentaa varten tarvitaan Proctor-sullonnan tulokset, josta saadaan materiaalin kuivatilavuuspainon maksimiarvo. Kuivatilavuuspainon maksimin määrittämisessä Proctor-sullonnassa kiviainesmateriaalia tiivistetään eri vesipitoisuuksilla ja selvitetään, millä vesipitoisuudella tiivistystä tehtäessä saavutetaan kuivatilavuuspainon maksimiarvo. Proctor-kokeesta on kaksi eri versioita: parannettu ja standardi proctor-koe (SFS-EN 13286-2, 5–6).

Valmiin jakavan kerroksen tiiviyssastevaatimus on keskimäärin 95 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos on 92 %. Levykuormituslaitteella mitattaessa vaatimukset yksittäisille mittaustuloksille E_2 ja E_2/E_1 on esitetty taulukossa 4 ja pudotuspainolaitetta käytettäessä taulukossa 5. Molemmilla laitteilla mittaus tulee suorittaa jakavan kerroksen pinnalta. (Rakennustieto 2024.)

Taulukko 4. Levykuormituslaitteella mitatun jakavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden (E_2) suhteen

Kantavuus (E_2), MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 125	$\leq 2,2$
125...134	$\leq 2,3$
135...144	$\leq 2,4$
145...154	$\leq 2,5$
155...164	$\leq 2,6$
165...174	$\leq 2,7$
175...184	$\leq 2,8$
≥ 185	$\leq 2,9$

Taulukko 5. Pudotuspainolaitteella mitatun jakavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden (E_2) suhteen

Kantavuus (E_2), MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 125	$\leq 1,9$
125...134	$\leq 2,0$
135...144	$\leq 2,1$
145...154	$\leq 2,2$
155...164	$\leq 2,3$
165...174	$\leq 2,4$
175...184	$\leq 2,5$
≥ 185	$\leq 2,6$

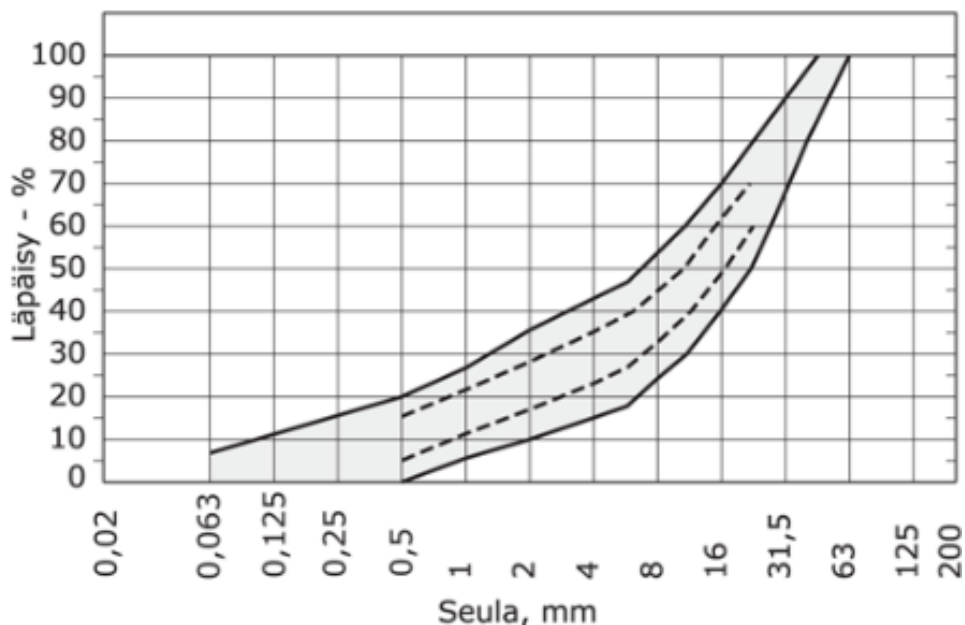
Tiiviyssuhde on siis toisella kuormituskerralla mitatun kantavuusarvon (E_2) suhde ensimmäisenä mitattuun kantavuusarvoon (E_1). Tiiviyssuhde kertoo, kuinka paljon ensimmäinen kuormitus tiivisti mitattua kohtaa ja tästä pystytään päättämään täyttääkö tiivistystyön määrä vaatimukset. (Kiiskinen 2013, 21.)

4.1.3 Kantava kerros

Sitomaton kantava kerros tehdään kallio- tai soramurskeesta tai uusiomateriaalista. Kiviaineksen tulee olla jäädytys- ja sulatusrasituksen kestävä ja kiviaines ei saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää. Tilaajan tulee hyväksyä uusiomateriaalien käyttö suunnitelmissaan ja uusiomateriaalien tulee olla maarakennuskelpoisia sekä teknisiltä ominaisuuksiltaan kohteeseen sopivia. (Rakennustieto 2024.)

Kantavan kerroksen materiaalin kelpoisuus osoitetaan kuten jakavan kerroksen materiaali (ks. tämä työ luku 4.1.2).

Kantavan kerroksen maksimirakekoko on 1/3 kerralla tehtävän kerroksen paksuudesta ja käytettävät rakeisuudet ovat SFS-EN 13285:n mukaiset 0/32, 0/40, 0/45, 0/56 ja 0/63. Rakeisuusluokkia on kaksi, ja hankekohtaisesti päätetään, käytetäänkö G_0 - vai G_A -rakeisuusluokkaa. Rakeisuusluokan G_0 0/45 kantavan kerroksen rakeisuusjakauma esitetään kuvassa 7. (Väylävirasto 2022, 5–8.)



Kuva 7. Esimerkki rakeisuusjakauma kantavan kerroksen murskeesta G_0 0/45

Sitomaton kantava kerros tulee tehdä yhtenä kerroksena, ja mikäli valmis sitomaton kantava kerros ei täytä taulukon 6 vaatimuksia pinnan tasaisuudeltaan tai korkeusasemaltaan ja kiviainesta joudutaan lisäämään, tulee jo tiivistetty kerros sekoittaa lisättävään kiviainekseen vähintään siten, että lisätyn kiviaineksen kanssa uudelleen tiivistettävän kerroksen paksuun on vähintään kaksi kertaa kiviaineksen maksimiraekoon verran. Edellä kuvattu työtapu toteutetaan myös silloin, jos kerrokseen käytetty materiaali ei täytä rakeisuusvaatimuksia. Tiivistystyötä varten materiaali tulee kastella lähelle materiaalin optimivesipitoisuutta. (Rakennustieto 2024.)

Taulukko 6. Sallitut poikkeamat kantava kerros

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	– 0 / + 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan ¹⁾	± 20 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	20 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 10 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 0,5 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm
¹⁾ Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

Levykuormituskokeen tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden suhteen on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Levykuormituslaitteella mitatun sitomattoman kantavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden (E_2) suhteen. Mittaus suoritetaan kantavan kerroksen pinnalta.

Kantavuus (E_2), MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 145	$\leq 2,0$
145...159	$\leq 2,1$
160...174	$\leq 2,2$
175...189	$\leq 2,3$
190...204	$\leq 2,4$
205...219	$\leq 2,5$
220...234	$\leq 2,6$
≥ 235	$\leq 2,7$

Pudotuspainolaitteella mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden suhteen on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Pudotuspainolaitteella mitatun sitomattoman kantavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden (E_2) suhteen. Mittaus suoritetaan kantavan kerroksen pinnalta.

Kantavuus (E_2), MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 145	$\leq 1,7$
145...159	$\leq 1,8$
160...174	$\leq 1,9$
175...189	$\leq 2,0$
190...204	$\leq 2,1$
205...219	$\leq 2,2$
220...234	$\leq 2,3$
≥ 235	$\leq 2,4$

Valmiin kantavan kerroksen keskimääräinen tiiviyssaste tulee olla vähintään 95 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos on 92 %. Näitä arvoja noudatetaan, mikäli suunnitelma-asiakirjoissa ei ole muuta esitetty. (Rakennustieto 2024.)

4.2 Kaivannot ja kaivantojen täytöt

Kaivutyön turvallisuuden varmistamiseksi putki- ja johtokaivannot tulee toteuttaa valtioneuvoston asetuksen (205/2009) § 33 ja 34:n mukaisesti. Asetuksessa vaaditaan selvittämään maan ja kallioperän geotekniset ominaisuudet

sekä muut vaaratekijät, kuten maaperässä jo olemassa olevat kaapelit ja johdot. Maamassojen kantavuus ja vakavuus tulee arvioida luotettavasti sortuma-vaaran takia. Suunnitelma kaivannon tuennasta ja suojaustoimenpiteistä tulee laatia ennen kaivutyön aloitusta ja suunnitelman laatijalla tulee olla riittävä pätevyys kaivannon suunnittelusta. Kaivutyön suunnitelmassa otetaan huomioon muun muassa kaivannon syvyys, maa-aineksen vaatima luiskakaltevyys, kaivannon reunan liikenne eli kuormitus, roudan vaikutus sekä vedestä aiheutuvat vaaratekijät. Vähimmäisvaatimuksena on luiskattu tai porrastettu kaivanto ja luiskauksen jyrkkyyteen vaikuttaa kaivettavan maan geotekniset ominaisuudet. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205, 33. §, 34. §.)

4.2.1 Asennusalusta

Putki- ja johtoasennuksia varten tehdään kaivantojen pohjalle asennusalusta hiekasta, sorasta tai murskeesta, jonka tulee olla hyvin tiivistettävää. Asennusalustan tulee täyttää sen päälle asennettavien putkien vaatimukset ja se ei saa sisältää lunta eikä jäätynyttä maa- tai kiviainesta. Muovi- ja teräsputkien asennusalustana käytettäessä hiekkaa tai soraa tulee materiaalin enimmäisraekoon olla maksimissaan 10 % putken nimellimitasta, mutta kuitenkin nimellimitan ollessa alle 200 mm voidaan käyttää maksimissaan raekoon 20 mm materiaalia ja nimellimitan ollessa yli 600 mm on maksimiraekoko 63 mm. Muoviputkien nimellishalkaisijan ollessa suurempi kuin 100 mm asennusalustassa voidaan käyttää murskettä, jonka maksimiraekoko on 16 mm. Putkien alla asennusalustan paksuuden tulee olla vähintään 150 mm ja putkea asennettaessa muhvien alle tehdään kuopat siten, että putki lepää kokonaisuudessaan asennusalustan päällä. Muhvien alle tehtäviä kuoppia ei oteta huomioon asennusalustan 150 mm:n vähimmäiskerros- ja paksuusvaatimuksessa. (Rakennustieto 2024.)

Asennusalustan tiivistäminen tarkkailumenetelmänä käytettäessä tiiviyssuhdemittauksista tulee tiiviyssuhteen olla keskimäärin alle 2,9 ja pienin sallittu yksittäinen tiiviyssuhteen mittaustulos on 3,0. Kevyen pudotuspainolaitteen kuormituslevyn halkaisijan tulee olla 132 mm. Tiivistäminen tarkkailun perustuessa tiiviyssuhdemittauksiin tulee mittaukset tehdä 20 metrin välein. Tiiviyssuhteen mittauksessa pienin sallittu mittaustulos on 88 %. Työtapatarkkailua tulee myös käyttää

koko putken asennuksen matkalla ja asennusalustan tasosta, tasaisuudesta ja suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta vietosta tulee varmistua asennustyön aikana. (Rakennustieto 2024.)

4.2.2 Alkutäyttö

Alkutäyttömateriaali ja siinä oleva kiviaines ei saa vahingoittaa asennettuja putkia tai kaapeleita. Materiaalissa ei saa olla lunta tai jäätynyttä maa- tai kiviainesta. Alkutäyttö pyritään tekemään käyttäen hyödyksi tiivistämiskelpoisia kaivumaita. Muoviputkien osalta alkutäyttömateriaalin raekokovaatimukset vastaavat täysin asennusalustan raekokovaatimuksia, joten alkutäyttöön viemäriputkien ympärillä voidaan käyttää kalliomursketta KaM # 0/16 ja loppuosa alkutäytöstä tehdä tiivistämiskelpoisia kaivumaita hyödyntäen. (Rakennustieto 2024.)

Alkutäytöt tulee tehdä ja tiivistää siten, että putkille, johdoille, kaapeleille ja rummuille ei aiheudu haitallista mekaanista rasitusta. Alkutäyttömateriaalia ei saa kipata kaivantoon kuorma-autosta, vaan materiaali tulee laskea varovasti ja tasaisesti putkien molemmille puolille esimerkiksi kaivinkoneella ja samalla tulee varmistua, että asennettu putki, johto tai kaapeli ei pääse liikkumaan. Alkutäyttöä tehdessä tulee varmistua, että putken alapuoliselle osuudelle tulee myös täyttömateriaalia koko putken vaipan alueelle. (Rakennustieto 2024.)

Alkutäyttö tulee tiivistää kerroksittain ja kerralla tiivistettävän kerroksen paksuuteen vaikuttaa putken koko, materiaali ja käytettävä tiivistyskone. Alkutäytön ensimmäisen tiivistettävän kerroksen paksuun on enintään puolet putken halkaisijasta, kun putken nimellismitta on enintään 600 mm ja putken nimellismittan ollessa yli 600 mm on tiivistettävän kerroksen maksimipaksuus 300 mm. Ensimmäisen tiivistyskerroksen jälkeiset kerrokset tiivistetään maksimissaan 300 mm paksuisina kerroksina ja täyttö- ja tiivistystyön tulee edetä vaakasuorina kerroksina putken molemmin puolin. Alkutäyttöä jatketaan, kunnes alkutäyttö ulottuu 300 mm putken laen yläpuolelle. (Rakennustieto 2024.)

Käytettäessä kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm kuormituslevyllä alkutäytön laadunvarmistukseen tiiviyssuhteen tulee olla keskimäärin alle 2,5 ja pienin yksittäinen sallittu tulos on 2,8. Tiiviystarkkailun perustuessa tiiviyssuhteen

mittauksiin tulee mittaukset tehdä 20 metrin välein. Tiiviyssasteen mittauksissa tiiviyssaste on keskimäärin vähintään 95 % Proctor-kokeella määritetystä maksimikuivairtoihydestä ja pienin sallittu yksittäinen mittaustulos on 92 %. (Rakennustieto 2024.)

4.2.3 Lopputäyttö

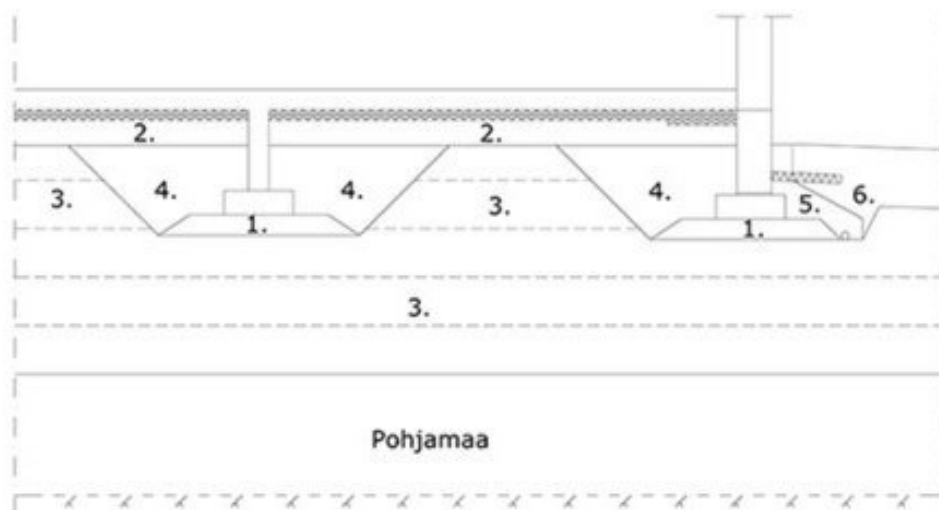
Lopputäyttöön voidaan käyttää tiivistämiskelpoisia kaivumaita ja ennen lopputäytön aloittamista tulee varmistua, että materiaali ei sisällä lunta eikä jäätyntä maa- tai kiviainesta. Lopputäyttöön voidaan käyttää myös tilaajan hyväksymiä uusiomateriaaleja. Uusiomateriaaleja käytettäessä betonimurskeet, joiden jäteluonne on päättynyt asetuksen 466/2022 mukaisesti sekä tiettyjen sivutuotteiksi määriteltyjen terästeollisuuskuonien käyttö lopputäytössä ei edellytä ympäristölupaa tai VNa 843/2017:n mukaista rekisteröinti-ilmoitusmenettelyä. Uusiomateriaaleja käytettäessä tulee kuitenkin huomioida muun muassa terästeollisuuden kuonien korroosion vaikutus täytössä oleville rakenteille. Uusiokäyttömateriaaleista tulee ottaa sijaintitiedot koordinaatistossa (x, y, z) ja mittaukset kirjataan työmaan laadunvarmistusdokumentaatioon. Lopputäyttö voidaan tehdä myös muualta tuodusta maa-aineksesta, jos hienoainespitoisuus eli 0,063 mm seulan läpäisevä osuus on 0,8–1,2-kertainen kaivannosta kaivetun maa-aineksen hienoainespitoisuudesta. (Rakennustieto 2024.)

Lopputäytön tiiviyssuhteen tulee olla alle 2,9, kun mittauksessa käytetään kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm kuormituslevyllä. Liikennöidyn alueen ulkopuolella lopputäytön tiiviyden määrittelee päälle tulevat rakenteet tai ne määritellään erikseen suunnitelma-asiakirjoissa. (Rakennustieto 2024.)

Liikennöityjen alueiden lopputäyttöjen vaatimukset määritellään tarkemmin MaaRYL:n kohdassa 18111 maapenkereet, ja tiiviyssasteen pienin sallittu yksittäinen arvo on ≥ 90 %. Maapenkereiden tiiviyden tutkimiseen kevyt kannettava pudotuspainolaite on riittämätön sen pienen syvyysvaikutuksen vuoksi. Liikennöityjen alueiden ulkopuolella lopputäytön tiiviystarkastelun perustuessa tiiviyssuhdemittauksiin tulee mittauksia tehdä 20 metrin välein. (Rakennustieto 2024.)

4.3 Rakenteiden alus- ja ympärystäytöt

Rakennuksen alle, sisälle ja ympärille tehtävien täyttöjen laatuvaatimukset esitetään MaaRYL 18340 rakenteiden alus- ja ympärystäytöt -osiossa. Täytöt on jaettu kuvan 8 mukaisesti kuuteen osaan ja jokaisella täytöllä on erilaiset materiaali-, kantavuus- ja tiiviysvaatimukset. (Rakennustieto 2024.)

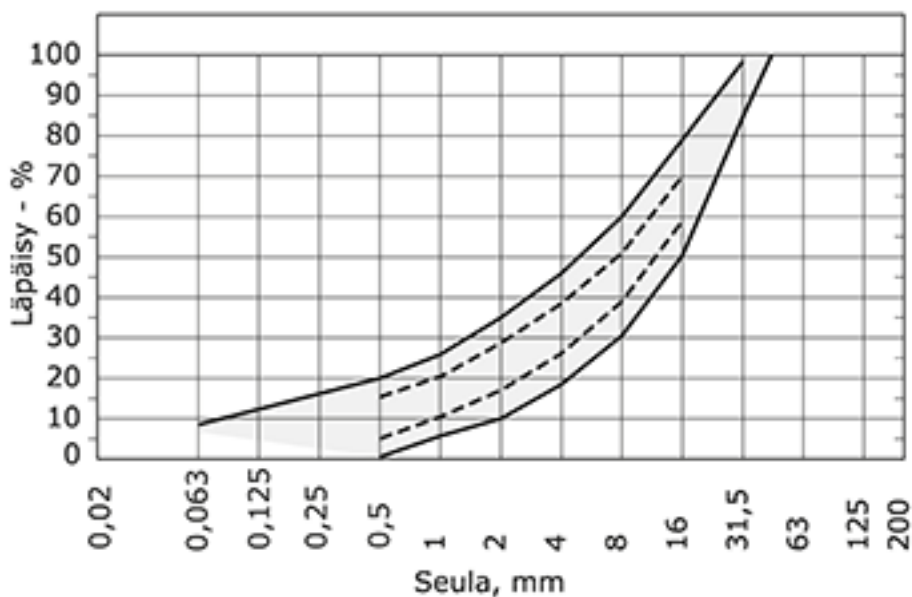


1. Perustuksen alustäyttö
2. Alapohjan alapuolinen kapillaarikatkokerros
3. Rakennuksen alapuolinen yleistäyttö, tiivistetty kerroksittain
4. Perustuksen vierustäyttö (ulkoseinälinjojen sisäpuoli)
5. Perustuksen vierustäyttö kapillaarikatkomateriaalista tai salaojakiviaineksesta (ulkoseinälinjojen ulkopuoli)
6. Rakennuksen ulkopuolinen täyttö

Kuva 8. Havainnollistava kuva maanvastaisen alapohjan erilaisista täytöistä

4.3.1 Perustuksen alustäyttö

Maanvaraisen perustuksen alustäytön materiaalin tulee olla sekarakeista kalliota tai soramurskettä, joka täyttää kantavan kerroksen vaatimukset. Kiviaineksen tulee olla myös rapautumatonta ja hyvin rapautumista kestävä. Kuvan 9 mukaisen rakeisuusohjealueen materiaali 0/32 mm kalliota tai soramurske on sopiva materiaali perustusten alustäyttöön. (Rakennustieto 2024.)



Kuva 9. Maanvaraisen perustuksen alustäyttöihin sopivan kalliomurskeen ja soramurskeen rakeisuusohjealue. Raekoko 0/32 mm, rakeisuusluokka G0.

Taulukossa 9 laatuluokassa 1 määritellään Loadman-kokeelle perustuksen alustäytölle seuraavat arvot. Mittaustuloksen E_1 on oltava vähintään 60 MN/m^2 ja tiiviyssuhteen (E_{\max}/E_1) $\leq 2,2$. (Rakennustieto 2024.)

Taulukko 9. Perustuksen alustäytön tiivys- ja kantavuusvaatimukset

		Laatuluokka		
		1 (teollisuusrak., kerrostalo)	2 ¹⁾ (pien-talo)	3 (paaluperustuksen täyttö)
Pienin sallittu yksittäinen tiivysaste	%	≥ 97	≥ 95	≥ 95
Pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo (pudotuspaino- tai levykuormituslaite)	MN/m^2	$E_1 \geq 60$	$E_1 \geq 50$	$E_1 \geq 50$
Tiiviyssuhde kannettava pudotuspainolaite (kun pohjalevyn halkaisija on 132 mm ja kerrospaksuus 200...300 mm ²⁾³⁾)	E_{\max}/E_1	$\leq 2,2$	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$
¹⁾ Normaaliluokka ²⁾ Taulukon arvot koskevat Loadman-laitetta. Lähde: AL-Engineering Oy 2009. ³⁾ Vaikutussyvyys noin $1,5 \times D$, mutta kuormitus pienempi kuin esimerkiksi LKK:ssa.				

Perustuksen alustäytön yläpinnan tulee ulottua vähintään 50 senttimetriä anturan reunaan ulommas ja tämän jälkeen luiskataan 1:1 kaltevuudella tai suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti, mikäli niissä luiskaus on määritelty tehtäväksi

loivemmalla kaltevuudella. Perustuksen alustäytön alle levitetään suodatin-kangas suunnitelma-asiakirjojen tai pohjaolosuhteiden niin vaatiessa. Suodatin-kangasta käytettäessä kankaan limitys on vähintään 50 senttimetriä. (Rakennustieto 2024.)

Loadman tiiviyssuhdemittauksissa käytettyjen kuormituslevyjen tiiviyssuhteiden ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan esitetään taulukossa 10.

Taulukko 10. Tiiviyssasteen ja kannettavan kevyen pudotuspainolaitteen (Loadman) E_{max}/E_1 arvojen ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan (MaaRYL 18341 T2)

Tiiviyssaste, %	Kannettavan pudotuspainolaitteen E_{max}/E_1 arvo, kun pohjalevyn halkaisija on		
	300 mm	200 mm	132 mm
97	1,5	1,9	2,2
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
		Kerrospaksuus ¹⁾	
	350...400 mm	300..350 mm	200...300 mm

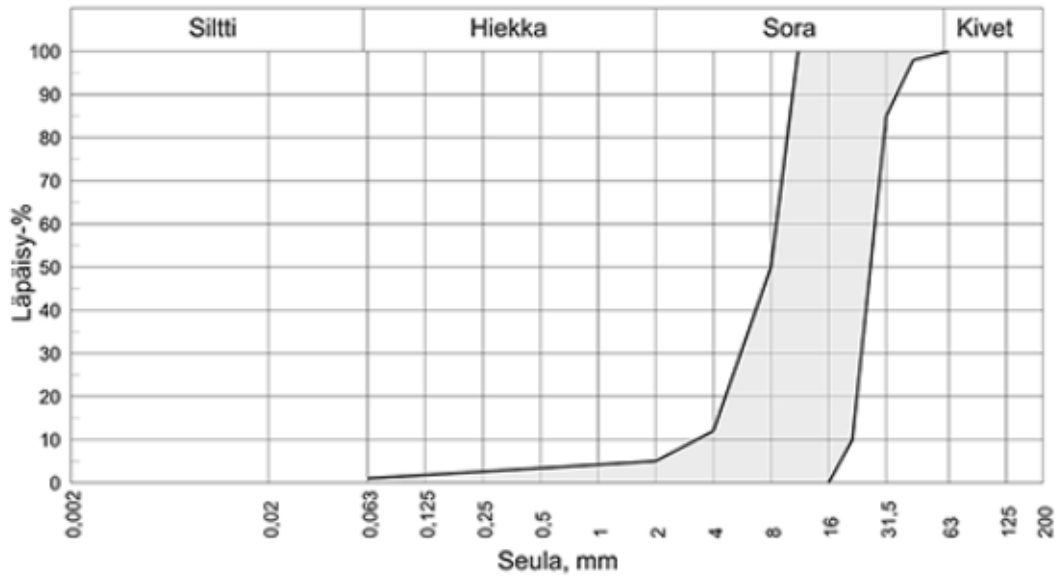
¹⁾ Vaikutussyvyys noin $1,5 \times D$, mutta kuormitus pienempi kuin esimerkiksi LKK:ssa.

Perustuksien alustäyttöjen tiiviyden tarkkailuun voidaan käyttää kannettavaa kevyttä pudotuspainolaitetta, mikäli muita mittaustapoja on hankala käyttää, jolloin tulee huomioida mittaustavan pieni syvyysulottuvuus ja kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus on maksimissaan 200–300 millimetriä. (Rakennustieto 2024.)

4.3.2 Alapohjan alapuolinen salaojitus- ja kapillaarikatkokerros

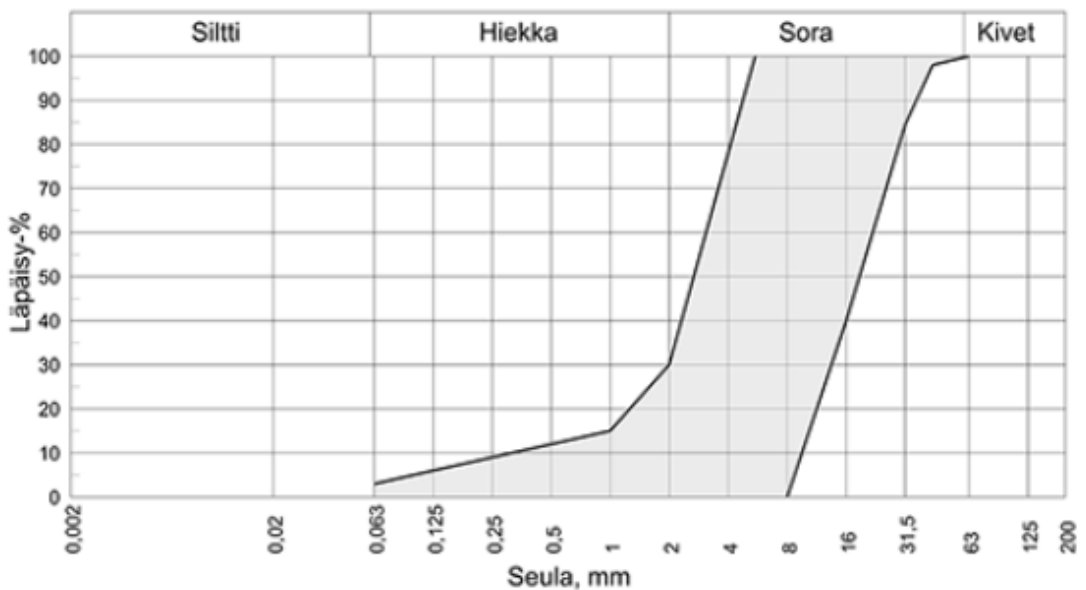
Salaojitus- kapillaarikatkokerroksessa käytetään kuivatuskohteen vaatimuksen mukaisesti tasarakeista, seulottua sepeliä, soramurskettä, luonnonsoraa tai

kalliomursketta. Rakennuksen alle tehtävässä kapillaarikatkossa käytetään rakeisuudeltaan kuvan 10 mukaista RIL 1a-materiaalia. RIL 1a-materiaalia käytetään myös perusmuurin vierustalla, kun vajo- tai pohjavesiä virtaa rakennuksen vierustalle.



Kuva 10. RIL 1 a salaojakerroksen kiviaineksen rakeisuuden ohjekäyrä. Käytetään kun vajo- tai pohjavettä virtaa voimakkaasti rakennuksen vierustalle.

Kuvan 11 mukaista RIL 1-materiaalia käytetään normaalissa kuivatustilanteessa perusmuurin vastaisiin ja rakennuksen alapohjan salaojituskerroksiin. (Rakennustieto 2024.)



Kuva 11. RIL 1 salaojakerroksen kiviaineksen rakeisuuden ohjekäyrä. Käytetään normaalissa kuivatustilanteissa.

Taulukossa 11 esitetään salaojitus- ja kapillaarikatkokerroksen Loadman-kokeen tiiviyssuhdevaatimukset.

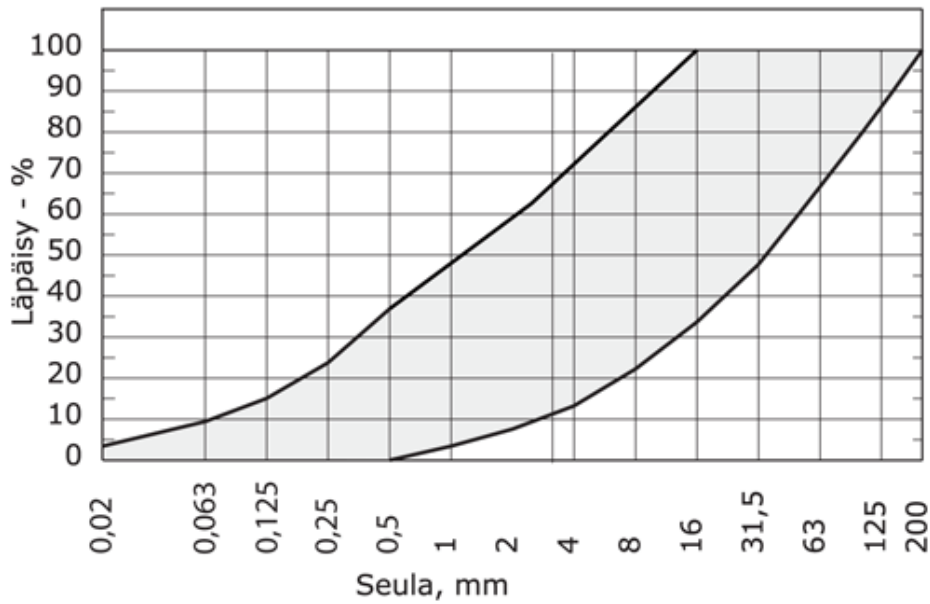
Taulukko 11. Alapohjan alapuolisen salaojitus- ja kapillaarikatkokerroksen tiiviyssuhde- ja kantavuusvaatimukset (MaaRYL 18341 T3)

		Laatuluokka	
		1 (teollisuusrak., kerrostalo)	2 ¹⁾ (pientalo)
Pienin sallittu yksittäinen tiiviyssaste	%	≥ 92	≥ 90
Pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo (pudotuspaino- tai levykuormituslaite)	MN/m ²	E ¹ ≥ 50	E ¹ ≥ 40
Tiiviyssuhde kannettava pudotuspainolaite (kun pohjalevyn halkaisija on 132 mm ja kerrospaksuus 200...300 mm ²⁾³⁾)	E _{max} /E ₁	≤ 2,8	≤ 2,9
¹⁾ Normaaliluokka ²⁾ Taulukon arvot koskevat Loadman-laitetta. Lähde: AL-engineering Oy 2009 ³⁾ Vaikutussyvyys noin 1,5 x D, mutta kuormitus pienempi kuin esimerkiksi LKK:ssa.			

Salaojitus- ja kapillaarikatkokerroksen tiiviyden tarkkailuun voidaan käyttää kannettavaa kevytpudotuspainolaitetta, mikäli muita mittaus tapoja on hankala käyttää. Käytettäessä kevyttä pudotuspainolaitetta tulee huomioida mittaustavan pieni syvyysulottuvuus. (Rakennustieto 2024.)

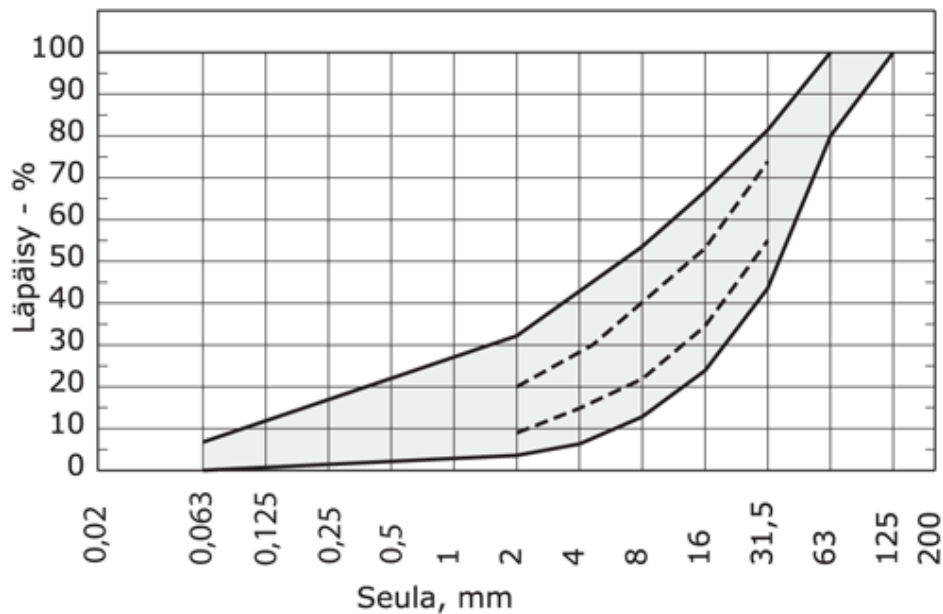
4.3.3 Rakennuksen alapuolinen yleistäyttö

Maanvaraisten perustuksien alla tulee käyttää InfraRYL:n kohdan 21210.1 vaatimukset täyttävää soraa, sora- tai kalliomurskettä tai kalliolouhetta. Täyttöihin käytettävän luonnonsoran tulee täyttää kuvan 12 mukainen rakeisuusohjealuevaatimus. Perustuksien alapuoliset täytöt tulee levittää ja tiivistää koko alueen laajuisina kerroksina. Kiviaineksen tulee olla rapautumatonta ja se ei saa sisältää epäpuhtauksia kuten jäätä, maa-ainesta tai raivausjätettä. Täyttömateriaalin tulee olla sekarakeista, jotta täyttöä tehdessä ja tiivistettäessä materiaalin rakeiden väleihin jäävät tyhjätilat olisivat mahdollisimman pienet. Täyttömateriaalin tulee täyttää myös jakavan kerroksen vaatimukset. (Rakennustieto 2024.)



Kuva 12. Luonnonsoran rakeisuusohjealue rakennuksen alapuolisiin yleistäyttöihin

Täyttöihin käytettävän kallio- tai soramurskeen tulee täyttää kuvan 13 mukainen rakeisuusohjealuevaatimus.



Kuva 13. Kallio- ja soramurskeen rakeisuusohjealue rakennuksen alapuolisiin yleistäyttöihin

Mikäli yleistäytössä käytetään louhetta, niin suurin sallittu lohkokoko määräytyy täytön paksuuden mukaan. Lohkareen etäisyyden ollessa maksimissaan yhden metrin täytön yläpinnasta, niin suurin sallittu raekoko on puolet kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta, mutta kuitenkin maksimissaan 250 mm. Mikäli lohkareen etäisyys on yli yhden metrin päässä täytön yläpinnasta, niin tällöin suurin sallittu raekoko on kaksi kolmasosaa kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta, mutta kuitenkin maksimissaan 600 mm. Mikäli

käytetään louhetäyttöön enintään 300 mm lohkokoon louhetta, niin täytön yläpinta tulee kiilata murskeella, jonka rakeisuus on 0/56 tai 0/63 mm. Lohkokoon ollessa 300–600 mm käytetään kiilauskerrokseen rakeisuudeltaan 0/90 tai 0/125 mursketta. Mikäli perustuksen alle tehdään muu kuin louhetäyttö, tulee käytettävän kiviaineksen kuivatilavuuspainon olla vähintään 95 % parannetulla proctor-kokeella määritetystä maksimikuivatilavuuspainosta. (Rakennustieto 2024.)

Rakennuksen alapuolisen yleistäytön tiiviiden tarkkailuun voidaan käyttää kannettavaa pudotuspainolaitetta, mikäli muita mittaustapoja on hankala käyttää. Käytettäessä kevyttä pudotuspainolaitetta tulee huomioida mittaustavan pieni syvyyssulottuvuus ja kerralla tiivistettävän ja mitattavan kerroksen paksuus saa olla maksimissaan 200–300 millimetriä. (Rakennustieto 2024.)

InfraRYL määrittää, että sillan maa- ja pohjarakenteiden perustuksien alle tehtävästä täytöstä tulee ottaa kevyellä pudotuspainolaitteella vähintään neljä mittaussarjaa, kun alustäytön pinta-ala on alle 25 neliometriä ja kuusi mittaussarjaa, kun pinta-ala on yli 25 neliometriä (Rakennustieto 2024).

Edellä olevaa tarkennusta ei ole MaaRYL:n ohjeistuksessa, mutta InfraRYL:n ohjeistuksen mukaista mittaussarjojen määrää tullaan soveltamaan rakennuksen alapuolisten kerroksien mittauksissa.

4.3.4 Rakennuksen perustuksien vierustäyttö ulkoseinälinjojen sisäpuolella

Ulkoseinälinjan perusmuurin sisäpuoliseen täyttöön tehdään kapillaarikatkomateriaalista kerros. Mikäli rakennuskohteessa on ulkoseiniin rajoittumattomia perusmuureja ja täyttö tehdään louheesta, tulee näitä perusmuureja vasten asentaa vähintään 0,5 metrin paksuinen kerros rakeisuudeltaan < 63 mm:n sora-, kalliomurske- tai luonnonsorakerros, joka toimii betonipintoja suojaavana kerroksena. Erillistä suojakerrosta ei tarvita, mikäli käytetään rakeisuudeltaan alle 63 mm materiaalia. (Rakennustieto 2024.)

4.3.5 Rakennuksen perustuksien vierus- ja ulkopuolinen täyttö

Rakennuksen ulkopuoliseen täyttöön käytetään mursketta, luonnonhiekkaa tai tiivistettävissä olevia kivennäismaalajeja. Materiaali ei saa sisältää haitallisia määriä humusta tai epäpuhtauksia eikä materiaalissa saa olla yli 300 mm loh-kareita. Mikäli ulkopuoliseen täyttöön käytetään kaivumaita, tulee maa-ainek-sien kelpoisuus arvioida silmämääräisesti ja tarpeen vaatiessa rakeisuustutki-muksin. Perusmuuria vasten tehdään salaojitusmateriaalista salaojituskerros suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Täyttötö ja täyttömateriaali ei saa vahin-goittaa perusmuuria, patolevyä tai kosteudeneristyksiä. Ulkopuoliseen täyt-töön tulevat routaeristeet asennetaan siten, että täyttömateriaali ja tiivistystyö ei vaurioita routaeristelevyjä. (Rakennustieto 2024.)

Rakennuksen ulkopuolisen täytön tiiviiden tarkkailuun voidaan käyttää kan-nettavaa kevytpudotuspainolaitetta, mikäli muita mittaustapoja on hankala käyttää. Loadman-kokeen tiiviyssuhdemittauksien vaatimukset on määritelty taulukossa 12 laatuluokittain. Mittauksia tehtäessä tulee huomioiden mittaus-tavan pieni syvyysulottuvuus. (Rakennustieto 2024.)

Taulukko 12. Rakennuksen ulkopuolisen täytön tiiviy- ja kantavuusvaatimukset (MaaRYL 18341 T4)

		Laatuluokka		
		1 (raskas liikenne ja hallien sisäänajot)	2 ¹⁾ (talorak.)	3 (mm. istutusalue)
Pienin sallittu yksittäi-nen tiiviyssaste	%	≥ 95	≥ 92	≥ 90
Tiiviyssuhde kannet-tava pudotuspaino-laite (kun pohjalevyn halkaisija on 132 mm ja kerrospaksuus 200...300 mm ²⁾³⁾)	E_{max}/E_1	≤ 2,5	≤ 2,8	≤ 2,9
¹⁾ normaaliluokka ²⁾ Taulukon arvot koskevat Loadman-laitetta. Lähde: AL-engineering Oy 2009. ³⁾ Vaikutussyvyys noin 1,5 x D, mutta kuormitus pienempi kuin esimerkiksi LKK:ssa.				

5 RAKENNUSKOHTEESSA SUORITETTU LAADUNVARMISTUS KANTAVUUS- JA TIIVYSSUHDEMITTAUKSIN

Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaukset suoritettiin tilaajan maanrakennuskohdeessa 17.9.2024–21.11.2024. Mittauksissa käytettiin AL-Engineering Oy:n kannettavaa kevyttä pudotuspainolaitetta malliltaan Loadman II. Mittaukset suoritettiin jokaisessa mittapisteessä käyttäen 132 mm:n ja 300 mm:n kuormituslevyä, jotta kahden erikokoisen kuormituslevyn vaikutuksia mittaamisen suorittamiseen ja mittaustuloksiin pystyttiin vertailemaan. Mittapisteissä suoritettujen kahden erillisen mittaussarjan etäisyys toisistaan oli noin 0,4 metriä kuormituslevyjen 132 mm ja 300 mm välillä, jotta ensimmäisen mittaussarjan aiheuttaman maan tiivistymisen vaikutus olisi mahdollisimman pieni tai olematon. Mittapisteissä suoritettiin mittaussarja ensin 132 mm:n kuormituslevyllä ja tämän jälkeen 300 mm:n kuormituslevyllä ja tällä pyrittiin entisestään minimoimaan ensimmäisen mittaussarjan vaikutus toisen mittaussarjan tuloksiin, koska 132 mm:n kuormituslevyn syvyysvaikutus on pienempi.

InfraRYL ohjeistaa Loadman-kokeesta seuraavalla tavalla. Mittaushavainto on yksittäisen pudotuksen tulos ($E_{n, n=1...6}$). Mittaussarja koostuu kuudesta pudotuksesta ja mittaussarjan jokainen pudotus on erillinen mittaushavainto, jotka ilmoitetaan merkinnällä $E_1...E_6$. Mittaussarjan kaikki mittaushavainnot tulee tehdä aina samasta kohdasta. Mittaussarjan $E_1...E_6$ suurin mittaushavainto kirjataan merkinnällä E_{max} . Kun mittapisteeseen kaikki 6 mittaushavaintoa on suoritettu, kirjataan E_{max}/E_1 suhde, joka on tiiviyssuhde. (Rakennustieto 2024.)

Mittaustulos on mittasarjojen keskiarvo ja keskiarvon laskennassa ei huomioida pienintä eikä suurinta mittaussarjan tulosta. Mittaussarjojen määrä, josta keskiarvo lasketaan, määritellään InfraRYL- ja MaaRYL-ohjeistuksissa tapauskohtaisesti. Esimerkiksi putkien alku- ja lopputäytöissä mittaussarjoja otetaan vain yksi joka 20 metrin välein ja näistä ei lasketa keskiarvoa, vaan jokaisen mittauspisteen mittaussarjan pitää täyttää vaatimukset. (Rakennustieto 2024.)

Edellä olevia tarkennuksia Loadman-kokeesta ja mittaustuloksen laskemisesta ei löydy MaaRYL ohjeistuksista, joten mittauksissa käytetään tarvittaessa InfraRYL kohdan 42013.5 täyttöjen vaatimuksemukaisuuden osoittaminen ohjeistusta.

5.1 Asennusalusta

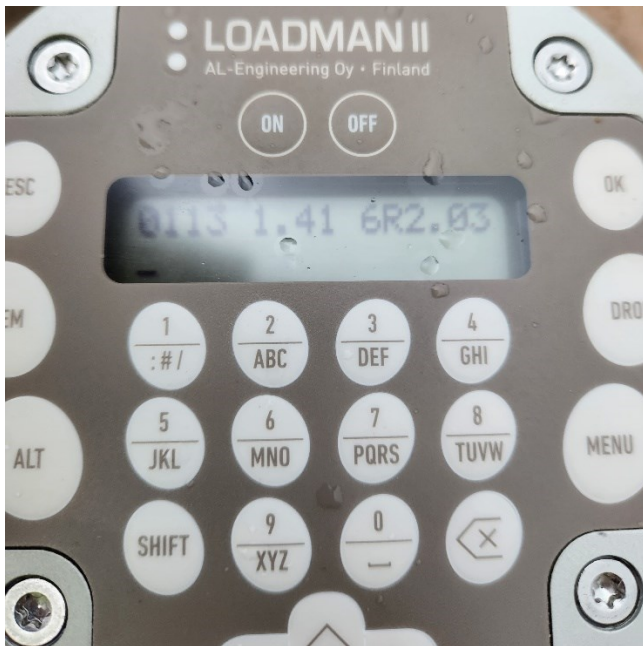
Käytettäessä kuvissa 14, 15 ja 16 esitettyä Loadman II -laitetta asennusalustojen tiiviyssuhdemittauksiin, mittapisteiden väliselle etäisyydelle ei ollut suunnitelma-asiakirjoissa määritetty etäisyyttä, joten tämän osalta noudatetaan RYLin määritystä ja mittaukset suoritetaan 20 metrin välein.



Kuva 14. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II -laitteella 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen.



Kuva 15. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II -laitteella 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen. Mittaushavainto 1 = E_1



Kuva 16. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II -laitteella 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen. Mittaushavainto 6 = E_6 , joka oli myös mittaussarjan suurin arvo = E_{\max} arvo.

Asennusalustat toteutettiin kohteessa suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti kalliomurskeella # 0/16 ja paksuus ≥ 150 mm. Suunnitelma-asiakirjoissa määritetty pienin sallittu yksittäinen tiiviyssuhde on $\leq 2,9$ käytettäessä kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm:n kuormituslevyllä. Vaatimus on korkeampi kuin RYL:n vaatimus, jossa tiiviyssuhde tulee olla keskimäärin alle 2,9 ja pienin sallittu mittaustulos $\leq 3,0$, joten suunnitelma-asiakirjojen vaatimus on määräävä.

5.2 Alkutäyttö

Kohteen suunnitelma-asiakirjat määrittivät putken alkutäyttömateriaaliksi kalliomurskeen # 0/16 ja kerralla koneellisesti tiivistettävän kerroksen enimmäispaksuus on 300 millimetriä. Ensimmäinen alkutäytön tiivistyskerros on havainnollistettu kuvassa 17, jossa laite kuvattu ennen alkutäytön ensimmäisen tiivistetyn kerroksen tiiviyssuhdemittausta. Kalliomurske tuli ulottaa 300 millimetriä putken ylimmän laen yläpuolelle ja 400 millimetriä molemmille sivuille. Alkutäytön pienin yksittäinen sallittu tiiviyssuhde $\leq 2,8$ kevyellä pudotuspainolaitteella ja kuormituslevyn koon on oltava 132 mm. Pienin sallittu yksittäinen tulos vastaa RYL:n ohjeistusta, mutta RYL-ohjeistuksissa alkutäyttöjen osalta on vielä tarkennus, että tiiviyssuhteen tulee olla keskimäärin $< 2,5$.



Kuva 17. Alkutäyttö tiivistettiin kahdessa enintään 300 millimetrin kerroksessa

Käytettäessä tiiviyden tarkkailuun tiiviyssuhdemittausta mittapisteiden väli on 20 metriä luvun 5.1 mukaisesti.

5.3 Lopputäyttö

Suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti lopputäyttöihin pyritään käyttämään ensisijaisesti kaivannosta saatua materiaali, mikäli se on hyvin tiivistyvää. Liikennealueiden lopputäyttöjen mitatun tiiviyssuhteen tulee olla $< 2,9$ käytettäessä kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm:n kuormituslevyllä. Lopputäyttöjen osalta Suunnitelma-asiakirjat ja RYL vastaava toisiaan. Lopputäyttöjen tiiviyssuhdemittaukset tehdään 20 metrin välein.

MaaRYL sekä InfraRYL molemmat ohjeistavat käyttämään 132 mm:n kuormituslevyä, mikäli lopputäyttöjen tiiviyden todentaminen perustuu tiiviyssuhdemittaukseen kevyellä pudotuspainolaitteella. MaaRYL:ssä mainitaan kuitenkin, että liikennöidyillä alueilla lopputäyttöjen tiiviyden tarkkailuun tulisi käyttää muita menetelmiä. (Rakennustieto 2024)

5.4 Perustusten alustäyttö

Suunnitelma-asiakirjoissa määriteltiin perustusten alustäyttö materiaaliksi jatkavan kerroksen murske, jonka maksimirakekoko 100 mm ja 300 mm paksu kapillaarikatkokerros sepelistä # 8/16 tai 16/32. Vaihtoehtoisena toteutustapana määriteltiin koko rakennekerros tehtäväksi # 0/55 kalliomurskeesta ja lisäksi sepelistä yhteet k/k 1500–3000 mm anturan ali (kuva 18), jotta sisäpuoliset täytöt ovat yhteydessä salaojiin.



Kuva 18. Anturan alapuolinen rakennekerros # 0/55 ja salaojitusjohteet anturalinjan alitukseen # 8/16 sepelillä.

Kannettavalla pudotuspainolaitteella tiiviyssuhteen tulee olla $\leq 2,2$ käytettäessä 132 mm:n kuormituslevyä, joka vastaa RYL:n tiiviyssuhdevaatimusta perustusten alustäyttö RYL taulukko 18341 T1 laatuluokka 1.

Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään, että ensimmäisen mittaushavainnon E_1 tulee olla ≥ 60 MPa ja tämä vaatimus vastaa MaaRYL:n asettamia vaatimuksia.

5.5 Maanvaraisen alapohjan alapuolinen yleistäyttö

Suunnitelma-asiakirjoissa määriteltiin alapohjan alustäyttömateriaaliksi jakaavan kerroksen murske, jonka maksimiraekoko 100 mm. Kannettavalla pudotuspainolaitteella tiiviyssuhteen tulee olla $\leq 2,2$ käytettäessä 132 mm:n kuormituslevyä. Kuvassa 19 on mittauksien aloituksesta 132 mm:n kuormituslevyllä otettu valokuva.



Kuva 19. Maanvaraisen lattian yleistäyttö. Kuvan 8 mukainen rakennekerros nro 3

Kohteessa on ulkoseinien perusmuurien lisäksi väliseinien perusmuureja ja perustamissyvyys on sen verran suuri, että maanvaraisen lattian alle tehtiin yleistäyttö kalliomurskeesta # 0/55, koska tätä suurempaa rakeisuutta käytettäessä väliseinien perusmuureja vasten täytyisi tehdä suojaava kerros enimmillään # 0/55 materiaalista.

5.6 Maanvaraisen alapohjan alapuolinen kapillaarikatkokerros

Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään maanvaraisen alapohjan alapuolisessa kapillaarikatkokerroksessa käytettäväksi rakeisuusohje RIL1 a:n mukaista materiaalia ja rakennekerroksen paksuuden on oltava vähintään 300 mm. Tiiviyssuhdevaatimuksien tai kantavuuden osalta ei ole mainintaa suunnitelma-asiakirjoissa, joten MaaRYL Taulukossa 18341 T3 määritellyn laatuluokan 1 tiiviyssuhde $\leq 2,8$ on vähimmäisvaatimus.

5.7 Rakennuksen perustuksien ulkoseinälinjojen sisäpuolinen vierustäyttö

Ulkoseinälinjojen sisäpuolelle tehtiin kapillaarikatkomateriaalista perusmuuria vasten ≥ 300 mm pystysuora rakennekerros. Salaojituskerroksen pienin sallittu yksittäinen tiiviyssuhde kevyellä pudotuspainolaitteella 132 mm:n kuormituslevyllä $\leq 2,8$.

5.8 Rakennuksen perustuksien ulkopuolinen vierustäyttö

Kohteessa ulkopuoliset täytöt rajautuivat useampaan erilaiseen alueeseen, kuten pysäköintialue, pihakäytävä ja kasvualusta. Asfaltoidun pysäköintialueen kantavuusvaatimukset suunnitelma-asiakirjoissa levykuormituskokein ovat jakavakerros $E_2 \geq 120$ Mpa ja $E_2/E_1 \leq 2,2$ ja kantava kerros $E_2 \geq 150$ MPa ja $E_2/E_1 \leq 2,1$. Päällystettävien piha-alueiden täytölle oli myös annettu tiiviyssuhdevaatimus $\leq 2,9$ kevyellä pudotuspainolaitteella 132 mm:n kuormituslevyllä mitattuna. Kohteen asfaltoinnit tehdään kesällä 2025 ja niiden laadunvalvonnassa tullaan käyttämään levykuormituskoeita. Välittömästi rakennuksen ulkoseinälinjojen ulkopuolinen asfaltoitava alue mitattiin tiiviyssuhdemittauksin, jotta täytöt ja routaeristeet saatiin asennettua ennen talvea. Perustuksien ulko-

puolisen täytön alueella, jossa mittaukset suoritettiin käyttäen Loadman II -laitetta ei ole raskasta liikennettä, jolloin tiiviyssuhdemittausta voidaan pitää tarpeeksi luotettavana laadunvarmistuksena.

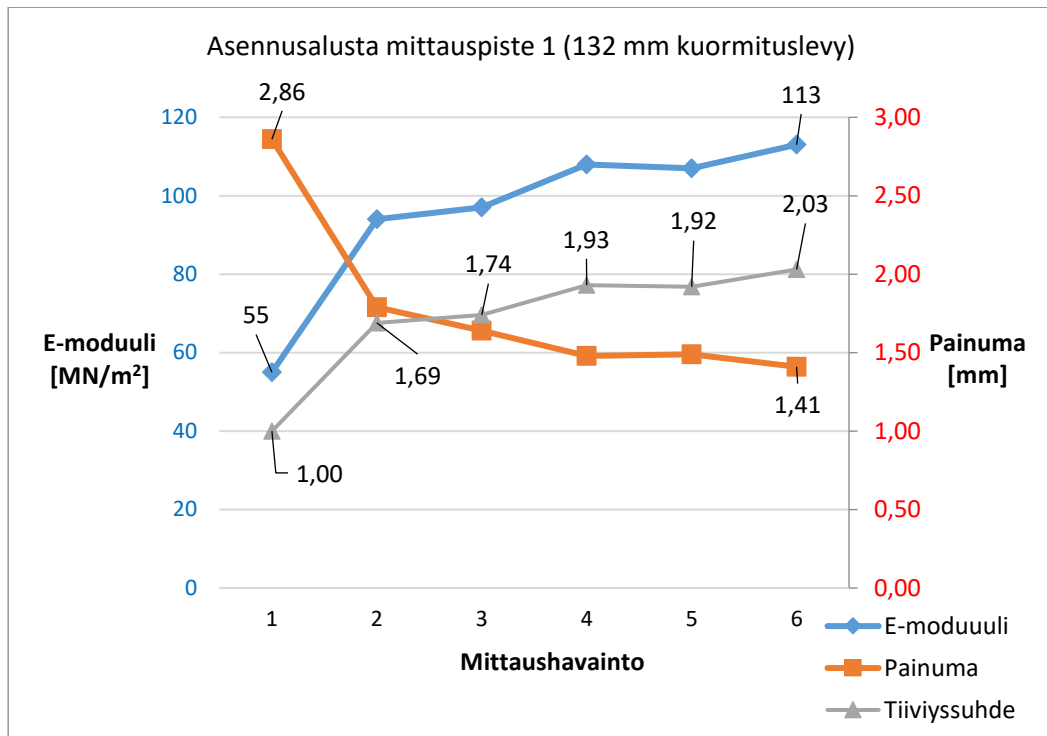
Pihakäytävillä ja kasvualustoilla (viheralue) ei ollut varsinaisia tiiviyssuhdevaatimuksia, joten käytetään MaaRYL:n Taulukon 18341 T4 rakennuksen ulkopuolisen täytön tiiviyssuhde- ja kantavuusvaatimuksia. Taulukon mukaisesti 132 mm:n kuormituslevyä käytettäessä tiiviyssuhde viheralueilla $\leq 2,9$ ja pihakäytäviin valittiin normaaliluokan vaatimus $\leq 2,8$, koska sama vaatimus koskee perusmuuria vasten tulevaa salaojituserrosta.

6 TIIVYSSUHDEMITTAUKSIEN TULOKSET

Opinnäytetyössä on poimittu kaavioiden muodossa eri rakennekerroksien mittauspisteiden mittaushavaintojen lukemia ja mittaustulokset. Tarkemmat tulokset mittauksista löytyvät liitteistä. Jokaisesta rakennekerroksesta on esitetty vähintään yhdestä mittauspisteestä vertailevat kaaviot 132 mm:n ja 300 mm:n kuormituslevyjen välillä ja kaaviot sisältävät kuuden pudotuksen mittaussarjat.

6.1 Asennusalusta

Halkaisijaltaan 132 mm:n kuormituslevyllä mitattujen asennusalustojen tiiviyssuhteiden arvot täyttävät suunnitelma-asiakirjojen asettamat tiiviyssuhteen vaatimukset ($\leq 2,9$) jokaisessa mittapisteessä. Pienin mitattu tiiviyssuhteen arvo oli ensimmäisessä mittapisteessä (kuva 20) 2,03.

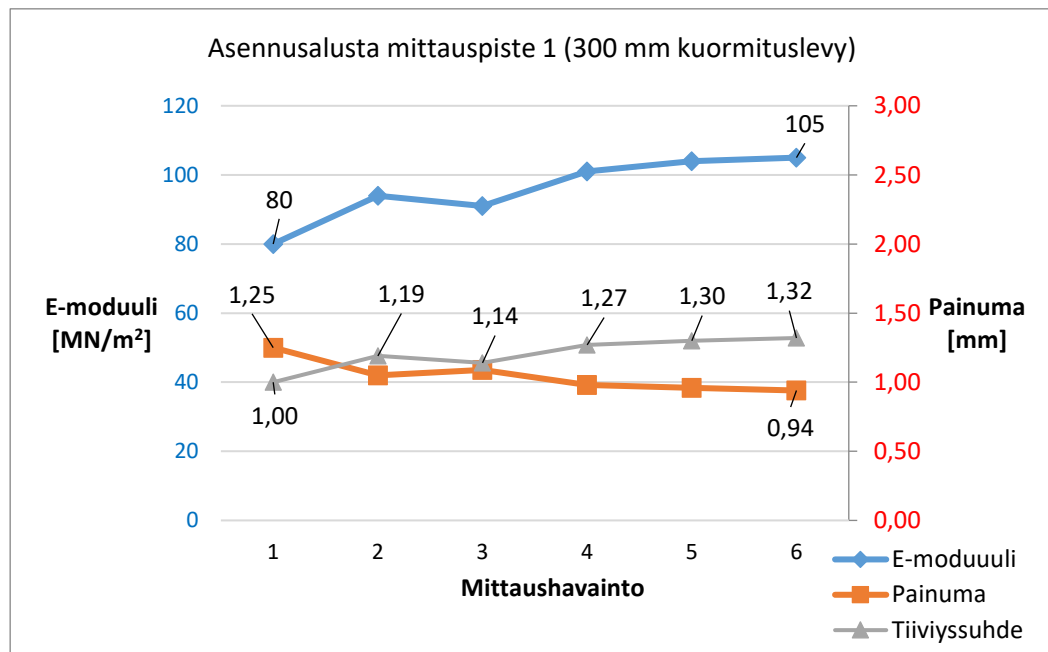


Kuva 20. Asennusalusta mittauspisteen 1 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 132 mm ensimmäisen mittaushavainnon E-moduuli 55 MN/m² ja kuudennen mittaushavainnon 113 MN/m² (E_{\max}), josta tiiviyssuhde saadaan laskemalla E_{\max}/E_1 , jolloin $113 \text{ MN/m}^2 / 55 \text{ MN/m}^2 = 2,05$. Arvo poikkeaa mittauspisteen arvosta 2,03, koska laitteen näytön koko on rajallinen, jonka seurauksena E-moduulin arvot ovat näkyvissä vain pyöristettyinä kokonaislukuina, joten laitteen antama tiiviyssuhdeluku on tarkempi. Mittaustuloksien kaavioista ilmenee hyvin E-moduulin arvon kehittymisen ja painuman pienenemisen välinen suhde.

Tarkasteltaessa mittauksia 300 mm:n pohjalevyllä tiiviyssuhteen ohjeellinen vertailuarvo taulukon 10 mukaisesti on 2,0. Mittaustulokset täyttäisivät tiiviyssuhdevaatimuksen $\leq 2,0$ vaatimuksen yhtä mittauspistettä lukuun ottamatta kaikissa mittapisteissä. Vaatimukset ylittävässä mittapisteessä kuusi ensimmäisen mittaushavainnon painuma on ollut muita pisteitä korkeampi ja täten myös E_1 kantavuusarvo on ollut mittaussarjassa pienempi, joka suurentaa mittaussarjan tiiviyssuhdetta. Poikkeavan mittaussarjan E_2 – E_6 kantavuusarvot kasvavat lineaarisesti ja ovat vertailukelpoisia muiden asennusalustojen mittaustuloksien kanssa lukuun ottamatta mittaussarjan poikkeavaa mittaushavainnon E_1 arvoa ja tästä voidaan päätellä, että kuormituslevyn alla on ollut tyhjättilaa ensimmäisen kuormituksen aikana.

Asennusalustan mittaustulokset 300 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteessä yksi (kuva21).

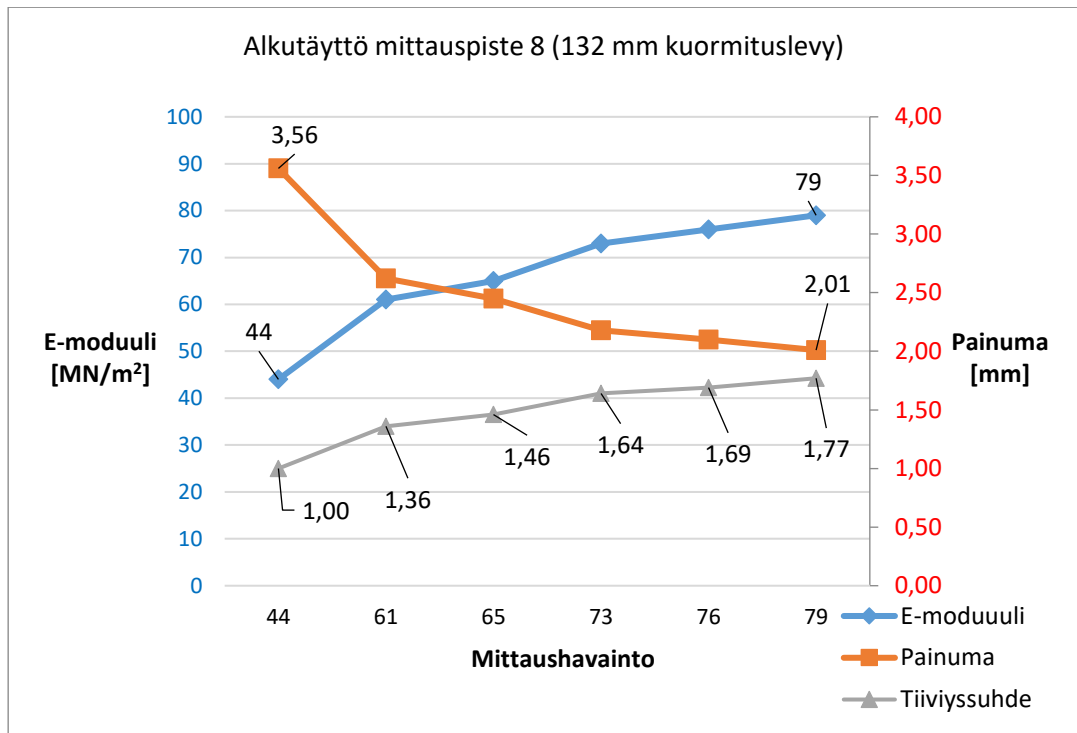


Kuva 21. Asennusalusta mittauspisteeseen 1 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Mittauspisteessä yksi 132 mm:n kuormituslevyllä mitattu tiiviyssuhteen 2,03 arvo oli 70 % sallitusta maksimiarvosta 2,9 ja 300:n kuormituslevyllä mitattu tiiviyssuhteen 1,32 arvo oli 66 % sallitusta maksimiarvosta (ohjeellinen vertailuarvo) 2,0.

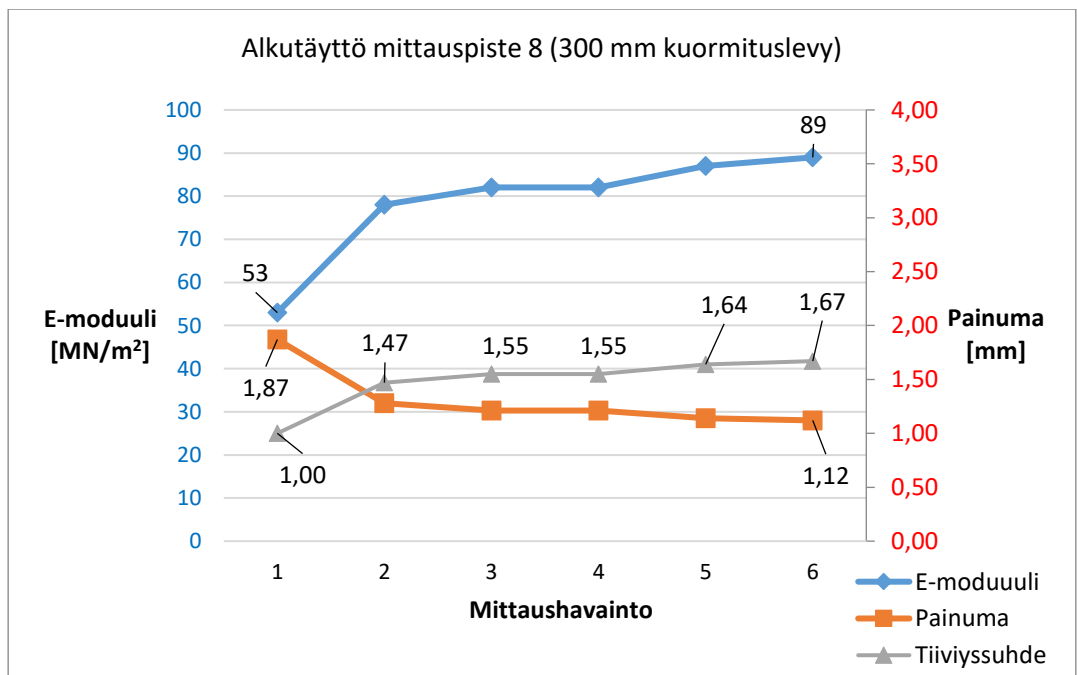
6.2 Alkutäyttö

Kuormituslevyllä 132 mm mitattujen tiiviyssuhteiden arvot täyttävät suunnitelma-asiakirjojen ja RYL:n asettamat tiiviyssuhteen vaatimukset. Alkutäyttöjen tiiviyssuhdemittauksissa kaikkien mittapisteiden pienin tiiviyssuhteen arvo oli 1,77 mittauspisteessä kahdeksan (kuva 22). Mittaustulosten tiiviyssuhteen keskimääräinen arvo oli 1,49, joka täyttää RYL:n asettaman lisävaatimuksen, jossa mittaustulosten keskiarvon pitää olla alle 2,5. Tiiviyssuhteen keskiarvon laskennassa huomioitiin kaikkien mittauspisteiden tiiviyssuhteen pienin arvo.



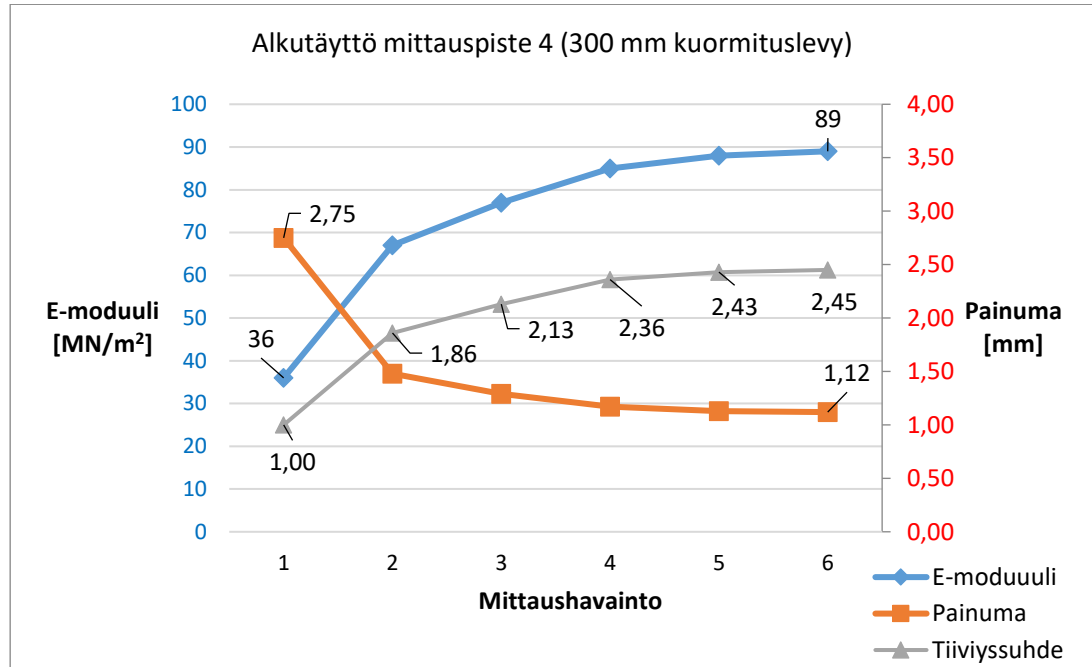
Kuva 22. Alkutäyttö mittauspisteen 8 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Tiiviyssuhteen keskimääräisen arvon vaatimus on luvun 5.2 mukaisesti 2,5, kun käytetään 300 mm:n kuormituslevyä. Vaatimus täyttyisi tiiviyssuhteen keskiarvon ollessa 1,65 kaikki mittauspisteet huomioon ottaen. Mittauspisteessä kahdeksan 300 mm:n kuormituslevyllä suoritettua vertailevan mittauksen tulokset kuvassa 23.



Kuva 23. Alkutäyttö mittauspisteen 8 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Tarkasteltaessa mittauksia 300 mm pohjalevyllä tiiviyssuhteen ohjeellinen vertailuarvo taulukon 10 mukaisesti on 1,9. Mittaustulokset täyttäisivät tiiviyssuhtevaativuuden $\leq 1,9$ kaikissa muissa paitsi mittauspisteessä neljä, jonka tulokset kuvassa 24.



Kuva 24. Alkutäyttö mittauspiste 4 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä, jonka ensimmäisessä mittaushavainnossa suurempi painuma.

Mittauspisteessä neljä ensimmäisen mittaushavainnon painuman on 2,75 mm.

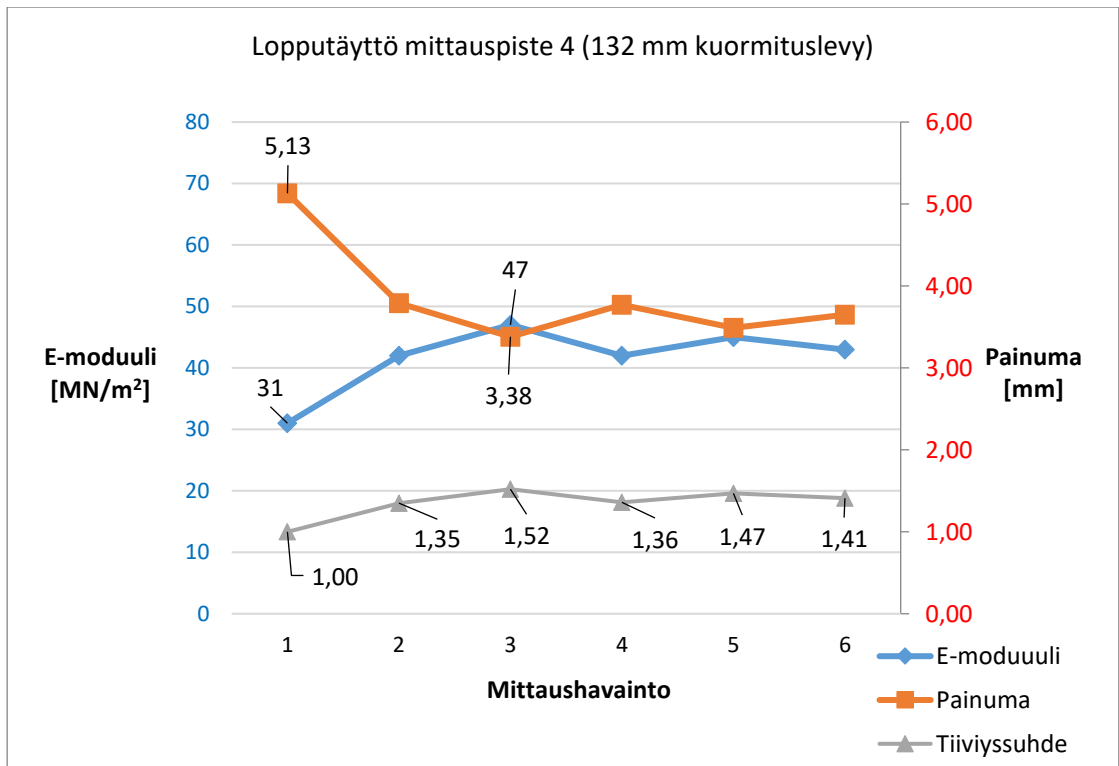
6.3 Lopputäyttö

Kuormituslevyllä 132 mm mitattujen tiiviyssuhteiden arvot täyttävät luvussa 5.3 esitetyn vaatimuksen ($< 2,9$) pienimmän yksittäisen tiiviyssuhteen ollessa 1,52 kaikki mittauspisteet huomioiden. Mittaushavaintojen painumat olivat keskimäärin 3,5 mm. Lopputäytön tiiviyssuhdemittauksen suorittamisen aloitusta edeltävä tilanne kuvassa 25.



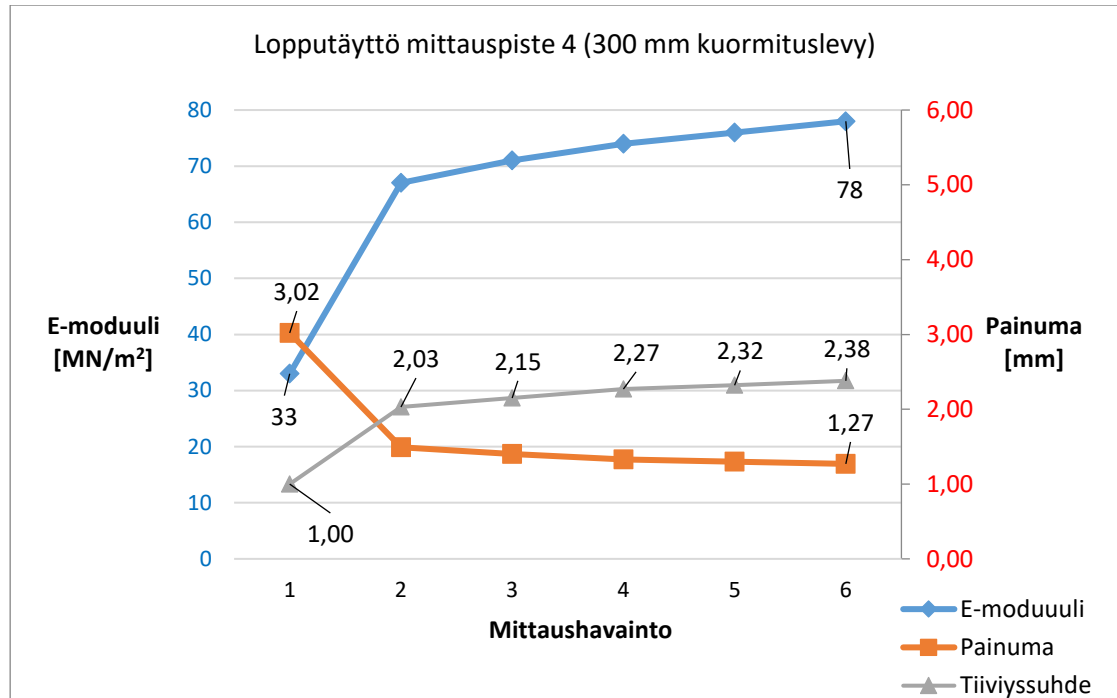
Kuva 22. Lopputäytön tiiviyssuhdemittaus Loadman II -laitteella

Kuvassa 26 on esitetty lopputäytöjen heikoimman mittauspisteen mittaussarjan tulokset 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen.



Kuva 23. Lopputäyttö mittauspisteen 4 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä.

Mittauspisteen neljä lopputäytön tiiviyssuhdemittauksen tulokset esitetään kuvassa 27. Mittauspisteen ensimmäisessä mitaushavainnossa painuma ylittää 3 millimetriä.

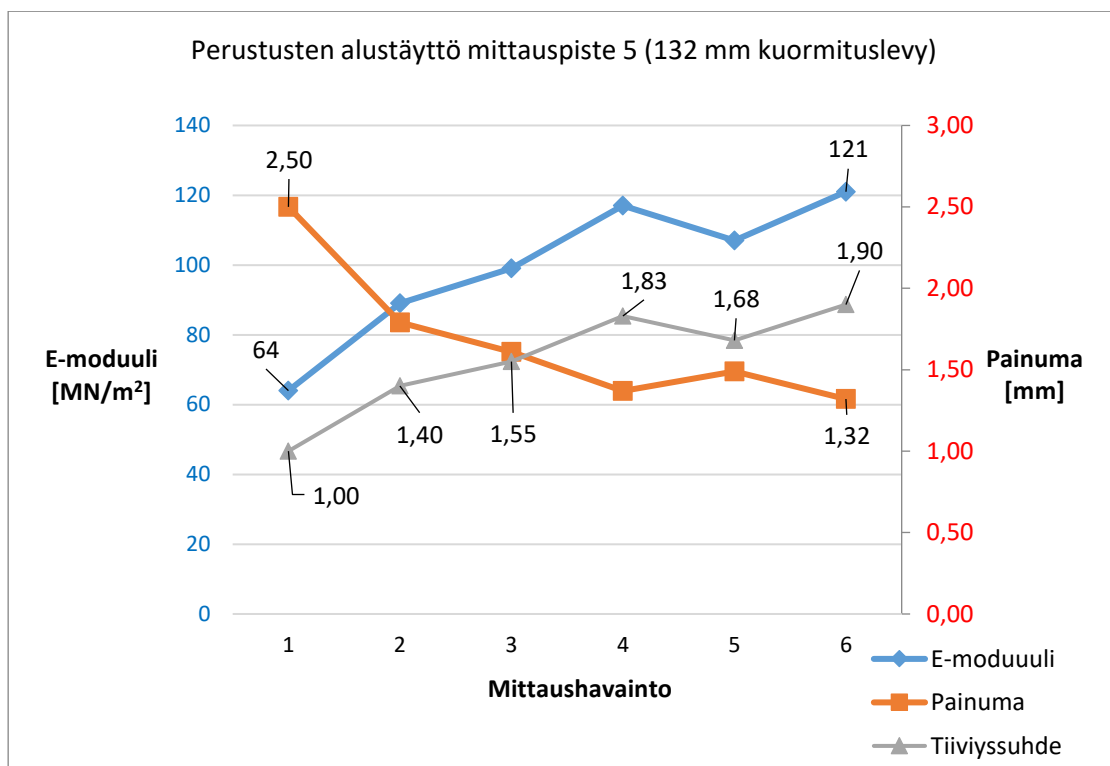


Kuva 24. Lopputäyttö mittauspisteen 4 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Mittausvertailussa 300 mm:n pohjalevyllä tiiviyssuhteen ohjeellinen vertailuarvo taulukon 10 mukaisesti on 2,0. Mitatut tiiviyssuhteet eivät täyttäisi vaatimuksia mitaustuloksien ollessa useammassa mittauspisteessä yli 2,0. Pääsääntöisesti kaikissa mittapisteissä mitaussarjojen ensimmäisessä mitaushavainnossa oli suurempi painuma.

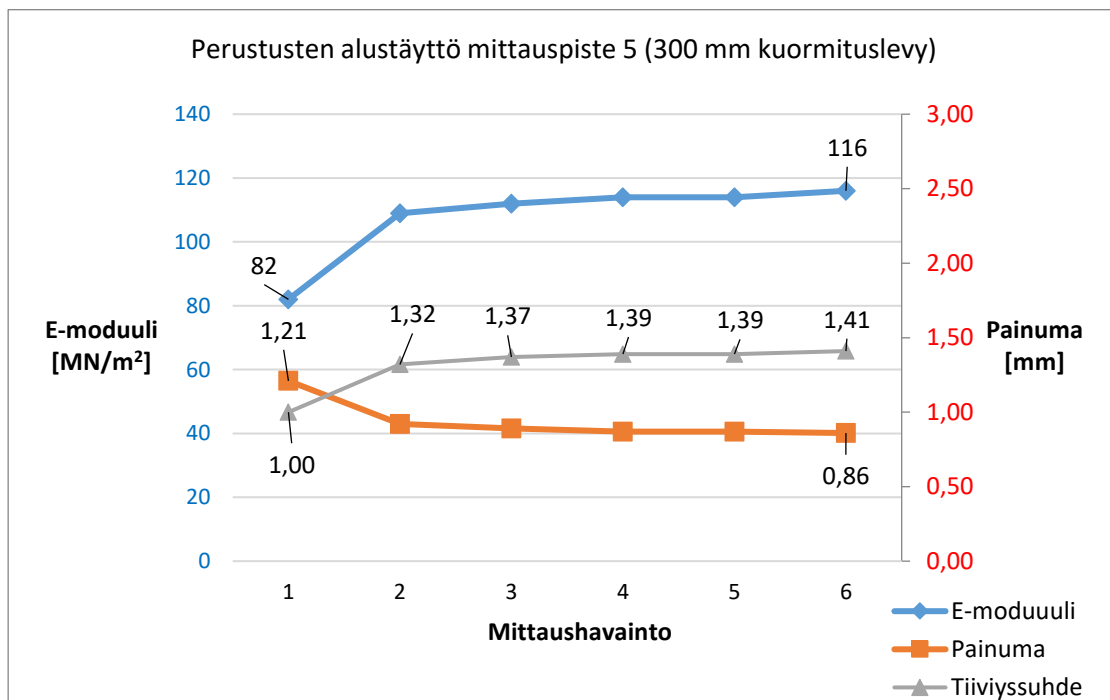
6.4 Perustuksen alustäyttö

Kuormituslevyllä 132 mm Loadman-kokeen tiiviyssuhdemittauksen mitaussarjan pienin E_{\max} arvo oli 111 MN/m². Tiiviyssuhteen pienimmäksi arvoksi mitauspisteen viisi (kuva 28) mitaussarjassa tuli 1,90, jolloin suunnitelma-asia-
kirjojen vaatimus tiiviyssuhteen arvo $\leq 2,2$ täyttyy.



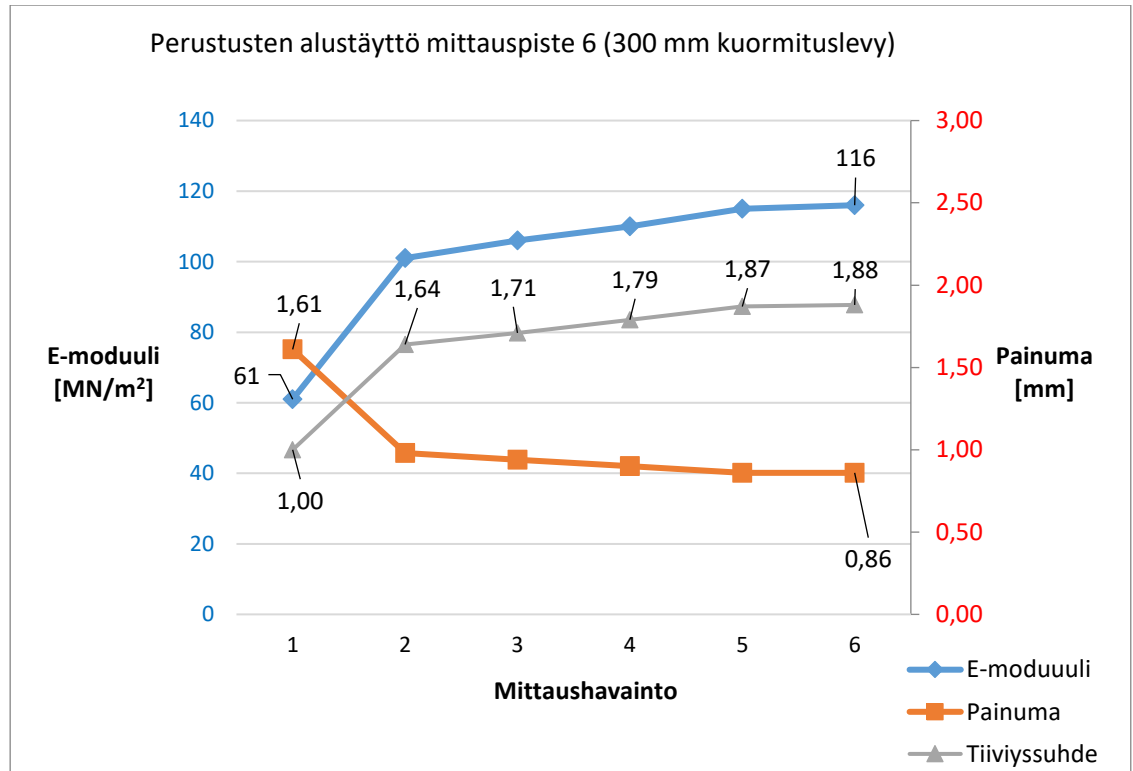
Kuva 28. Perustusten alustäyttö mittauspiste 5 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 300 mm suoritettuna vertailevan mittauksen tiiviyssuhteen ohjeellinen vastaavuus taulukon 10 mukaisesti E_{max}/E_1 arvolle on 1,5. Mittauspisteessä viisi (kuva 29) vaatimus täyttyy.



Kuva 29. Perustusten alustäyttö mittauspiste 5 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Tiiviyssuhteen pienimmäksi arvoksi mittaussarjassa tuli 1,88 mittauspisteessä kuusi, jonka tulokset kuvassa 30. Mittaussarjan mittaustulos ei täytä ohjeellisen vertailuarvon vaatimusta tiiviyssuhde $\leq 1,5$.

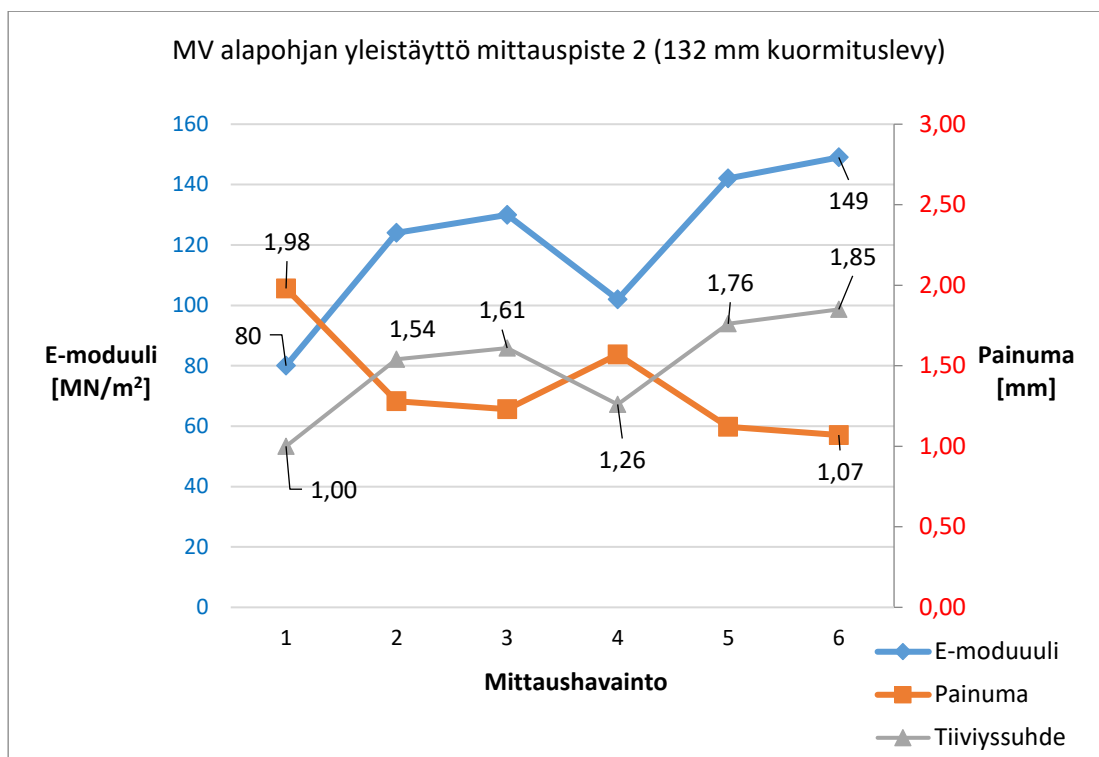


Kuva 30. Perustusten alustäyttö mittauspisteen 6 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä, jossa ohjeellisen vertailuarvon tiiviyssuhde ei täyty.

Kuormituslevyllä 300 mm mitattujen mittaussarjojen pienin E_{\max} arvo oli 115 MN/m².

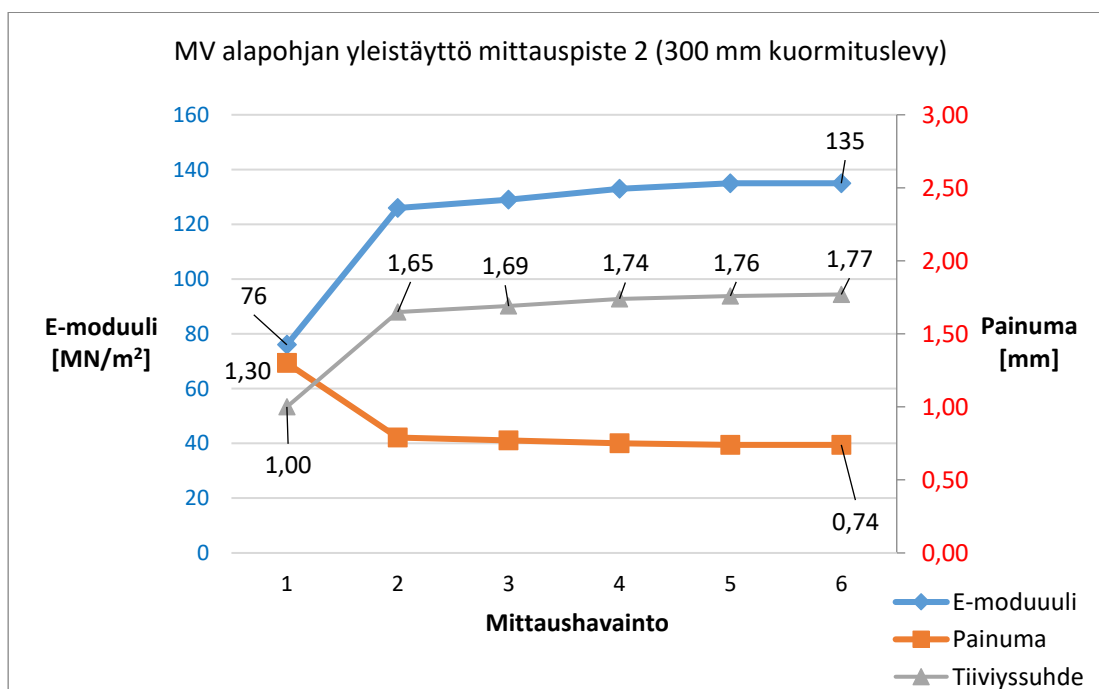
6.5 Maanvaraisen alapohjan alapuolinen yleistäyttö

Kuvassa 31 esitetään mittaustulokset 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen mittauspisteestä kaksi, jossa oli mittaussarjojen pienin tiiviyssuhde 1,85, jolloin suunnitelma-asiakirjojen vaatimus tiiviyssuhteelle $\leq 2,2$ täyttyy.



Kuva 25. Maanvaraisen alapohjan yleistäyttö mittauspisteen 2 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Tiiviyssuhteet 300 mm:n kuormituslevyllä olivat useissa mittauspisteissä sallittuja arvoja suuremmat. Mittauspisteen kaksi tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä kuvassa 32.



Kuva 26. Maanvaraisen alapohjan yleistäyttö mittauspisteen 2 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 300 mm suoritetujen mittauksien tiiviyssuhteen ohjeellinen vertailuarvo taulukon 10 mukaisesti on 1,5. Tiiviyssuhdemittauksien pienin tiiviyssuhde oli 1,90, jolloin vertailutaulukosta saadun ohjeellisen tiiviyssuhteen vaatimus ei täyty.

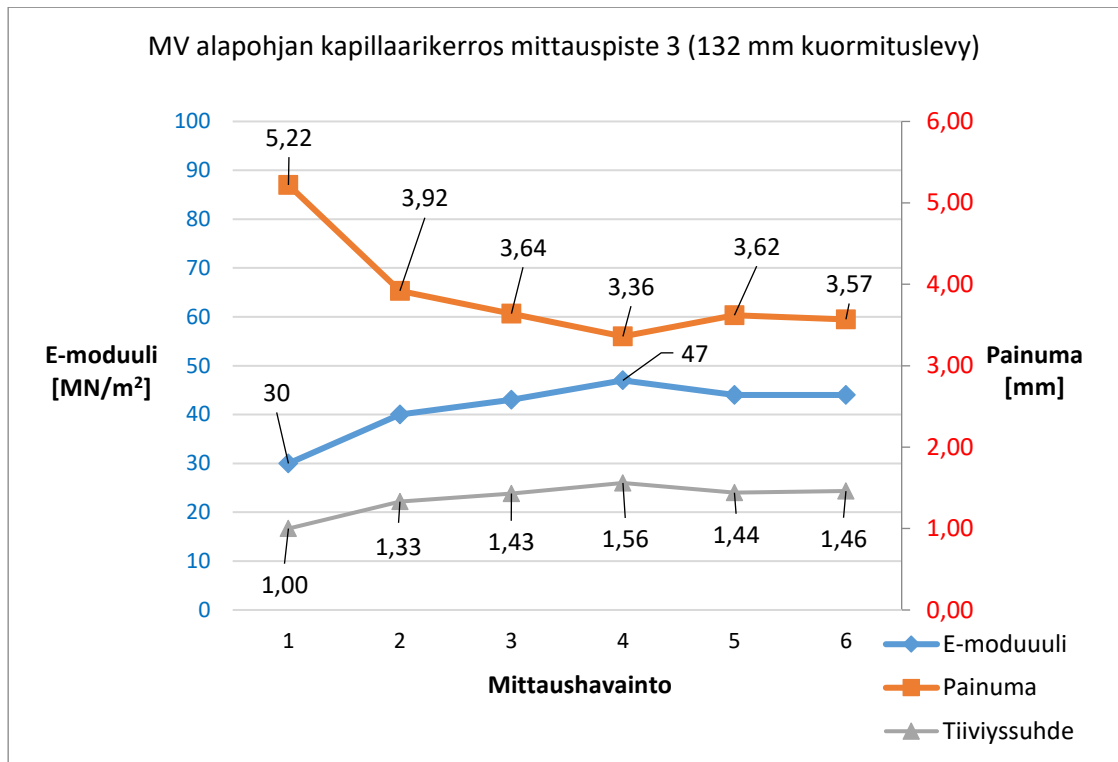
6.6 Maanvaraisen alapohjan alapuolinen kapillaarikatkokerros

MaaRYL sallii poikkeustapauksissa käyttää kapillaarikatkokerroksen tiiviyden tarkkailuun kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm kuormituslevyllä, jolloin tiiviyssuhteen tulee olla $\leq 2,8$. Mittaushavaintojen painumat mittauspisteessä kolme olivat 3,36–5,22 mm. Kuormituslevyllä 132 mm suoritetun mittauksen aiheuttama painuma on esitetty kuvassa 33, jossa näkyy selkeästi mittauslaitteen uppoaminen mitattavaan materiaaliin mittaussarjan aikana.



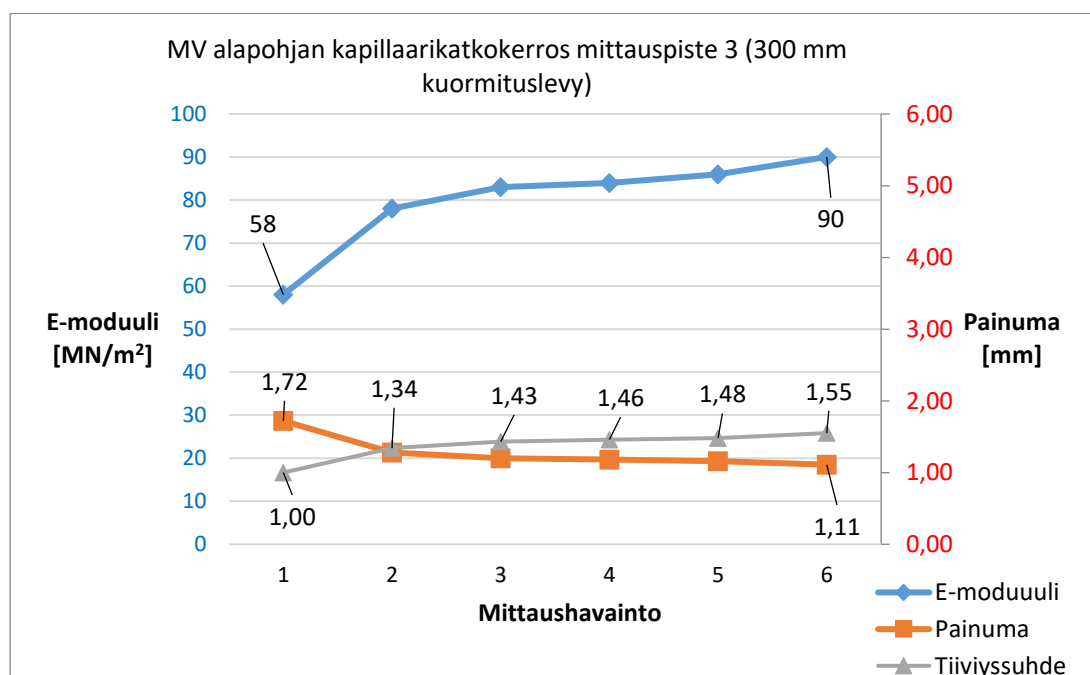
Kuva 33. Mittauspiste 3 132 mm:n kuormituslevyllä suoritetun kapillaarikatkokerroksen tiiviyssuhdemittauksen mittaussarjan jälkeinen painauma.

Maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkokerroksen tiiviyssuhdemittauksen mittauspiste 3 kolme tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä kuvassa 34.



Kuva 34. Maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkerros mittauspiste 3 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kun tiiviyssuhteen ohjeellista vertailuarvoa kuormituslevyjen välillä sovelletaan taulukon 10 mukaisesti käytettäessä 300 mm:n kuormituslevyä tiiviyssuhteen tulee olla $\leq 1,9$ ja 300 mm:n kuormituslevyllä mitatut tiiviyssuhteet täyttivät tämän vaatimuksen kaikissa mittapisteissä. Vertailevan mittauksen tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteessä kolme kuvassa 35.

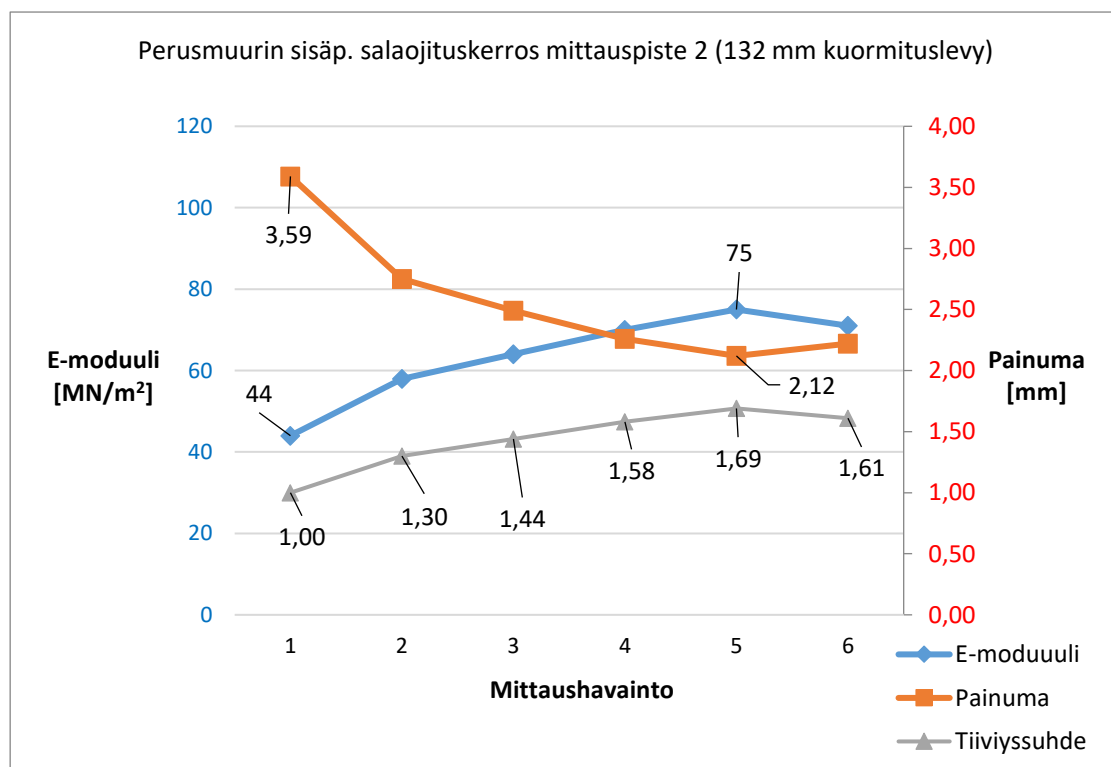


Kuva 35. Maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkerros mittauspiste 3 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 300 mm:n suoritettut tiiviyssuhdemittaukset antoivat levyn suuremman pinta-alan takia luotettavamman tuloksen, koska 300 mm:n kuormituslevyllä ei ollut havaittavissa materiaalin siirtymistä mittauspisteen sivuille ja mittaushavaintojen painumat olivat myös huomattavasti pienemmät kuin 132 mm:n kuormituslevyä käytettäessä.

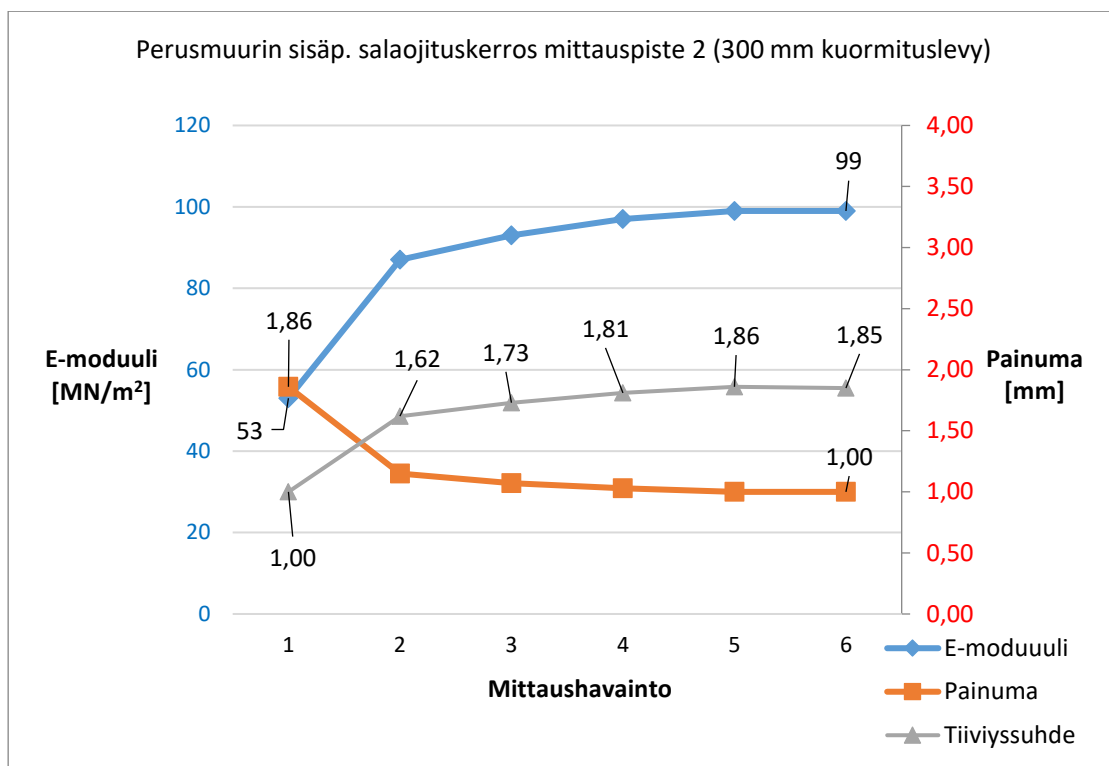
6.7 Rakennuksen perustuksien ulkoseinälinjojen sisäpuolinen vierustäyttö

Kuvassa 36 on esitetty tiiviyssuhdemittauksen tulos mittauspisteessä 2 käyttäen 132 mm:n kuormituslevyä. Vaatimuksen mukainen tiiviyssuhde $\leq 2,8$ täyttyi kaikissa mittapisteissä. Mittaushavaintojen painumat olivat toistuvasti suuria.



Kuva 27. Perusmuurin sisäpuolen vastainen salaojituseros mittauspisteen 2 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 300 mm ohjeellinen vertailuarvo tiiviyssuhteelle taulukon 10 mukaisesti on $\leq 1,9$ ja tämä vaatimus täyttyi kaikissa mittapisteissä. Kuvassa 37 on esitetty mittauspisteen 2 300 mm:n kuormituslevyllä suoritettut tiiviyssuhdemittaukset.

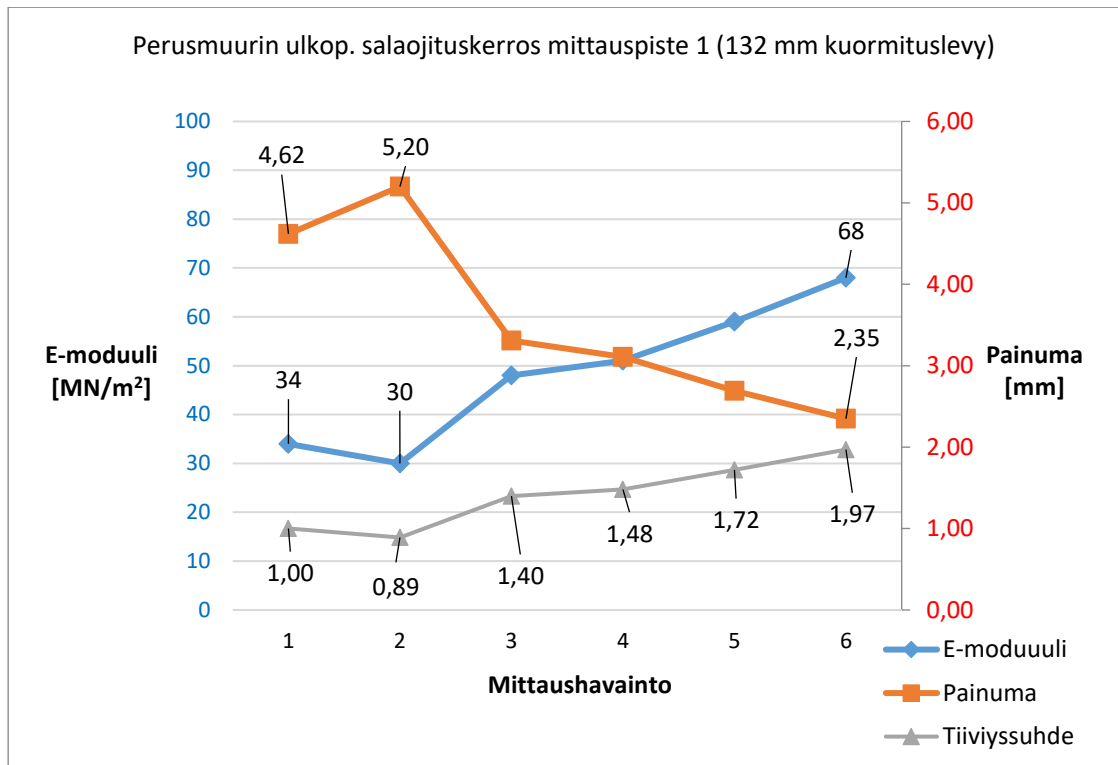


Kuva 28. Perusmuurin sisäpuolen vastainen salaojituskerros mittauspisteen 2 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuormituslevyllä 300 mm:n suoritettujen tiiviyssuhdemittaukset antoivat levyn suuremman pinta-alan takia luotettavamman tuloksen 132 mm:n kuormituslevyn verrattuna.

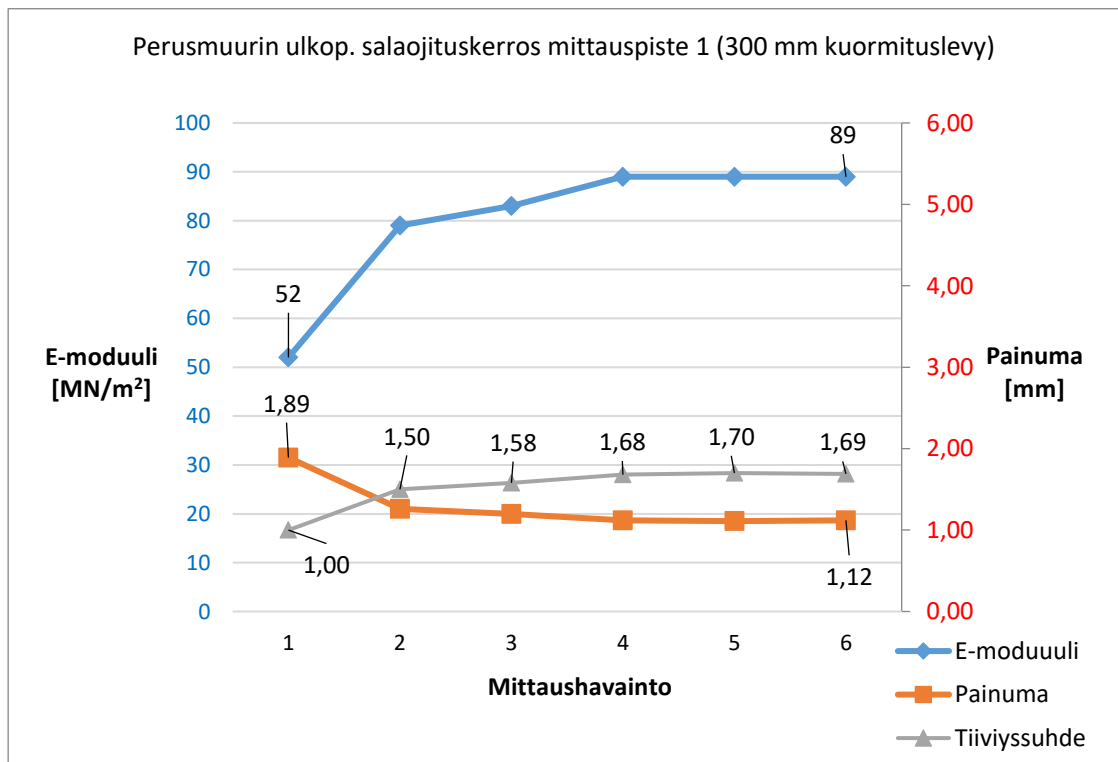
6.8 Rakennuksen perustuksien ulkopuolinen vierustäyttö

Perustuksien ulkopuolisten täyttöjen tiiviyssuhdevaatimukset ovat $\leq 2,8$ (132 mm:n kuormituslevy) ja taulukon 10 mukaisesti $\leq 1,9$ (300 mm:n kuormituslevy), ja nämä vaatimukset täyttyivät kaikissa mittapisteissä. Liitteen 1/22 mittauspisteen 4 tulosta ei huomioida edellä mainittuun, koska mitattavan kerroksen alapuolella oleva betonirakenne väärästi mittaustuloksen. Mitattaessa 132 mm:n kuormituslevyllä mittaushavaintojen painumat olivat toistuvasti suuria. Perusmuurin ulkopuolisen salaojituskerroksen mittaustulokset 132 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteessä yksi esitetään kuvassa 38.



Kuva 3829. Perusmuurin ulkopuolen salaojituskerros mittauspisteen 1 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuvassa 39 on mittaustulokset perusmuurin ulkopuolisen salaojituskerroksen tiiviyssuhdemittauksesta 300 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteessä yksi.



Kuva 39. Perusmuurin ulkopuolen salaojituskerros mittauspisteen 1 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

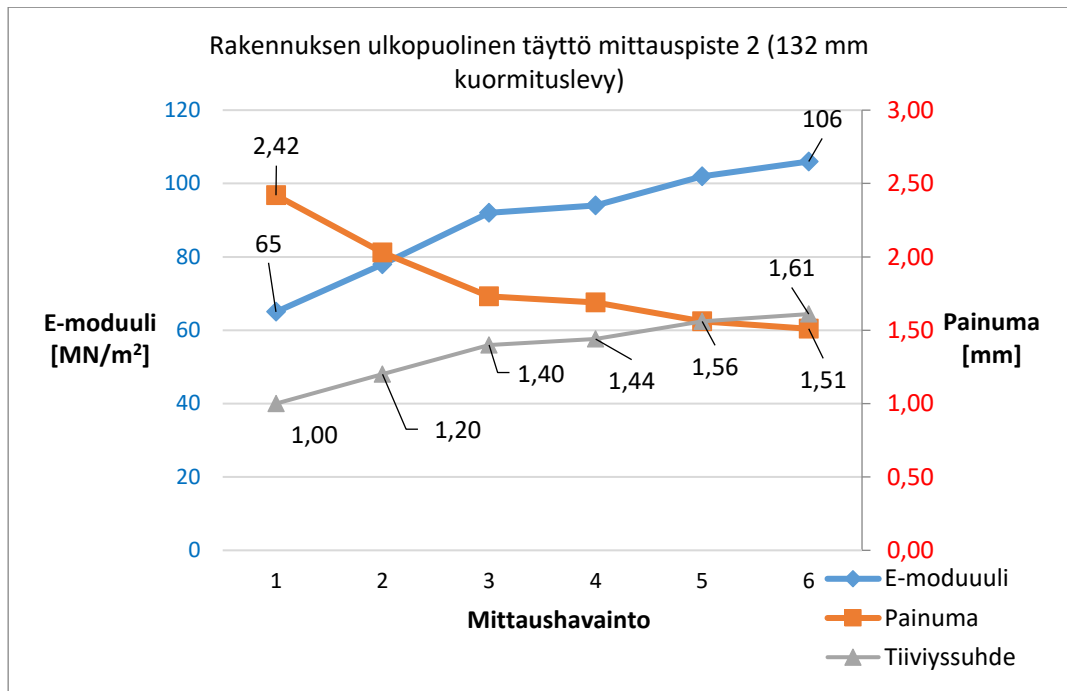
Ulkopuolisten täyttöjen osalta suunnitelma-asiakirjoissa päällystettävien piha-alueiden täytölle annettu tiiviyssuhdevaatus $\leq 2,9$ kevyellä pudotuspainolaitteella mitattuna 132 mm:n kuormituslevyä käyttäen täyttyi kaikissa mittauspisteissä. Kuormituslevyllä 300 mm tiiviyssuhteen vertailuarvo taulukon 10 mukaisesti $\leq 2,0$ täyttyi myös kaikissa mittauspisteissä.

Alla olevassa kuvassa 40 on yleiskuva perusmuurin ulkopuolelta, jossa on näkyvissä perusmuurin vastainen salaojituskerros ja ulkopuolen täyttöä. Ulkopuolinen täyttömateriaali vaihteli alueittain tilaajan suunnitelmien mukaisesti.



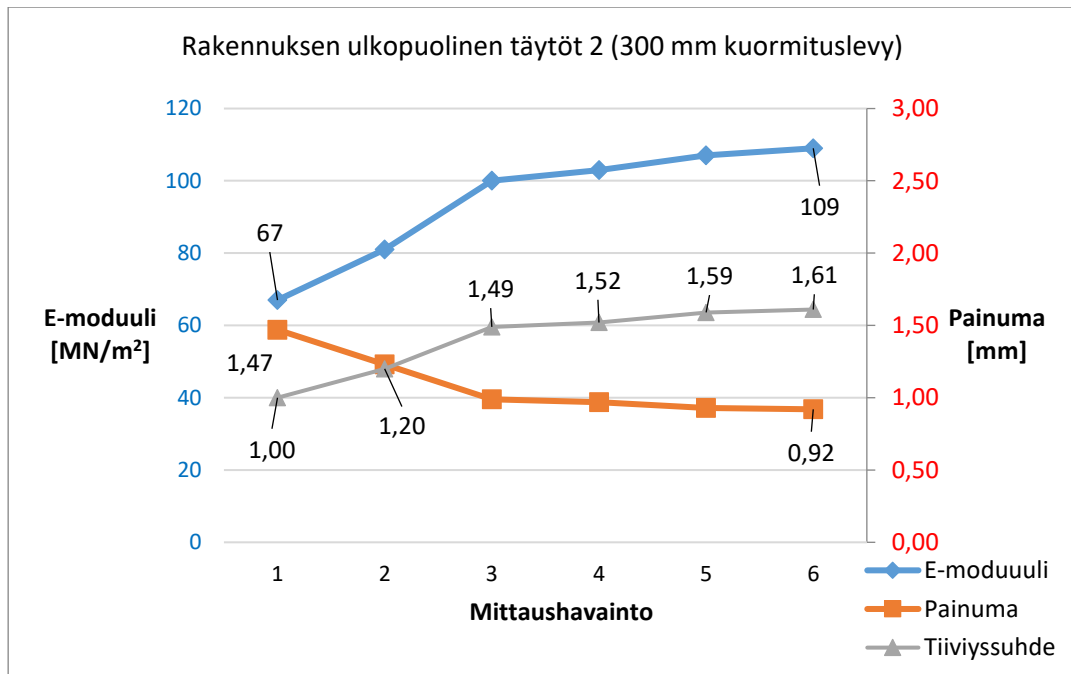
Kuva 300. Perusmuurin ulkopuolinen salaojituskerros ja ulkopuolen täyttöä

Ulkopuolisten täyttöjen tiiviyssuhdemittauksen tulokset 132 mm: kuormituslevyllä mittauspisteessä kaksi kuvassa 41.



Kuva 31. Rakennuksen ulkopuolinen täyttö mittauspiste 2 tulokset 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuvassa 42 on mittaustulokset ulkopuolisten täyttöjen tiiviyssuhdemittauksista 300 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteessä kaksi.



Kuva 32. Rakennuksen ulkopuolinen täyttö mittauspiste 2 tulokset 300 mm:n kuormituslevyllä

Mittauspisteessä kaksi mittaustulokset kantavuusarvojen osalta kuormituslevyjen välillä ovat erittäin lähellä toisiaan.

7 POHDINTA

Opinnäytetyö rajattiin tarkoituksella kattamaan vain kevyellä pudotuspainolaitteella suoritettavat kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaukset, jotta laitteen käytöstä ja mittaustuloksien vaihtelusta kahden eri kuormituslevyn välillä sekä mitattavan materiaalin vaikutuksesta mittaamiseen ja mittaustuloksiin saataisiin mahdollisimman kattava kokonaiskuva. Aiheeseen liittyviä tutkimuksia ei ollut juuri lainkaan saatavilla suomen kielellä ja pääsääntöisesti kevyellä pudotuspainolaitteella suoritettavat tiiviyssuhdemittaukset olivat saatavissa olevissa tutkimuksissa mainittu hyvin lyhyesti.

Kun tiiviyden tarkkailuun käytetään kevyttä pudotuspainolaitetta, tulee mittauksia suorittavalla henkilöllä olla riittävä osaaminen laitteen käytöstä ja mittaustuloksien tulkinnasta, jotta mittaustulos on luotettava ja sitä voidaan käyttää laadunvalvontaan. Infra- ja MaaRYL molemmat ohjeistavat käyttämään Loadman-pudotuspainolaitteella 132 mm:n kuormituslevyä ja tiiviyssuhde vaatimusten arvot annetaan 132 mm:n kuormituslevyllä suoritettaviin mittauksiin. Tiiviyssuhdemittauksissa 132 mm:n kuormituslevyllä on oltava erityisen tarkkana, että mittaussarjan kaikki kuusi pudotusta tehdään täysin samasta kohdasta, jotta mittaustulos ei vääristy. Mittaussarjan aikana laite joudutaan nostamaan jokaisen mittaushavainnon välissä irti mitattavasta pinnasta, koska pudotuspaino pitää laitetta kallistamalla siirtää laitteen yläpään uutta pudotusta varten, jolloin mitattavaan kohtaa voi myös päästä valumaan irtonaista kiviainesta, joka myös vääristää mittaushavaintoa kuormituslevyn alle jäävän tyhjätilan takia.

Opinnäytetyössä suoritettavat mittaukset 132 ja 300 mm:n kuormituslevyillä tuottivat mittauksissa jokseenkin yllättävää tietoa, johon ei edes Infra- tai MaaRYL sisällä ohjeistusta. Mitattaessa hienorakeisia maa-aineksia, kuten hiekkaa tai RIL 1 a mukaista salaojituserroksen materiaalia # 8/16 oli havaittavissa, että 132 mm:n kuormituslevyllä suoritettavat mittaukset täyttivät tiiviyssuhteelle asetetut vaatimukset, mutta mittaushavaintojen painumat mittaussarjoissa olivat niin suuret, että kantavuusarvo ei päässyt kehittymään mittaussarjan aikana, josta seurasi todellisuutta parempi tiiviyssuhteen arvo. Kevyen pudotuspainolaitteen käyttöohjeissa on suositeltu käyttämään 300 mm:n kuormituslevyä, kun painuma ylittää 3–4 mm, tai kun mitattava materiaali on löyhää kuten hiekkaa.

Vaikkakin MaaRYL sallii poikkeustapauksissa käyttää kapillaarikatkerroksen tiiviyn tarkkailuun kevyttä pudotuspainolaitetta 132 mm kuormituslevyllä, niin mitattaessa kapillaarikerroksen materiaalia kalliosepeli # 8/16 pienemmällä kuormituslevyllä painumat olivat mittaussarjan aikana toistuvasti suuria. Otetaan esimerkiksi kapillaarikatkon mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä mittauspisteestä 3, jossa vaatimuksen mukainen tiiviyssuhde $\leq 2,8$ kyllä täyttyi, mutta kaikki mittaussarjan mittaushavaintojen painumat olivat välillä 3,36–5,22 mm, jolloin kantavuusarvo ei pääse kehittymään ja tulosta ei voida pitää luotettavana. Pienemmällä 132 mm:n kuormituslevyllä mitattaessa oli myös havaittavissa materiaalin pakenemista mittauspisteen sivulle, joka osaltaan aiheuttaa mittaushavaintojen toistuvan suuren painuman. Lisäksi mittausta suorittaessa # 8/16 materiaalin rakeet valuivat mittaushavaintojen aiheuttaman painuman reunoilta mittauspisteeseen, kun laitetta jouduttiin nostamaan mittauspisteestä irti mittaushavaintojen välillä laitteen pudotuspainon siirtämiseksi laitteen yläosaan. Näin ollen kuormituslevyn alle pääsi muodostumaan tyhjätila, joka omalta osaltaan lisäsi painuman suuruutta. Mittauksen varmuutta pyrittiin parantamaan poistamalla mittauspisteeseen valunut kiviaines, mutta mitaustulokset eivät painumien osalta kuitenkaan parantuneet.

Perustuksen viereisiä kalliosepelillä # 8/16 rakennettuja salaojituserroksia mitattaessa 132 mm:n kuormituslevyllä oli havaittavissa samankaltaista materiaalin sivuille pakenemista mittauksen aikana kuin kapillaarikatkerroksen mittauksissa. Vaadittu tiiviyssuhde täyttyi kaikissa mittapisteissä molemmilla kuormituslevyillä, mutta mittauksen luotettavuus ja tarkkuus pienemmällä kuormituslevyllä ei ollut riittävä painuma-arvojen ollessa suuria. Suuremmalla 300 mm:n kuormituslevyllä mittauksen suorittaminen kiviaineksella kalliosepeli # 8/16 oli helpommin toistettavaa ja mitaustulokset luotettavampia.

Etenkin salaojituserroksen materiaalista # 8/16 otetut mittaukset osoittavat, että materiaalilla kalliosepeli # 8/16 tulisi käyttää suurempaa 300 mm:n kokoista kuormituslevyä mittauksien suorittamiseen, jotta mittaushavaintojen painumat ovat pienemmät ja tulos luotettavampi.

Murskeita sisältävien kerroksien mittauksiin tulisi mitaustuloksien perusteella käyttää Infra- ja MaaRYL:n ohjeistuksen mukaisesti 132 mm:n kuormituslevyä.

Murskeita sisältävien kerroksien tiiviyssuhdemittauksissa havaittiin kuormituslevyjen välillä kantavuusarvojen osalta hyvin vähäisiä eroja mittaustuloksissa, mutta suuremmalla kuormituslevyllä mittaussarjojen ensimmäisessä mittaus-havainnossa oli pääsääntöisesti suurempi painuma kuormituslevyn alle jäävän tyhjätilan takia. Esimerkiksi asennusalustan tiiviyssuhdemittauksissa mittauspisteiden E_{max} arvojen väliset eroavaisuudet kuormituslevyjen välillä olivat keskimäärin noin 10 MPa kaikki mittauspisteet huomioon ottaen. Suuremman kuormituslevyn käyttö karkeammilla alustoilla vaatisi paikoitellen mittauspisteiden tasaamista ohuella hiekkakerroksella, jotta kuormituslevy asettuisi tiiviisti mitattavaa pintaa vasten, mutta tälle toimintatavalle ei ole ohjeistusta laitteen valmistajan eikä Infra- tai MaaRYL:n ohjeissa. Laitteen valmistajalla on kuitenkin ohjeistus mittauspisteiden tasaamiseen hiekalla sidottujen rakenteiden kuten asfaltin mittaukseen liittyen, mutta tämä ei kuitenkaan koske sitomattomien kerroksien mittausta. Suuremman kuormituslevyn käytöstä olisi hyötyä murskeilla rakennettujen kerroksien mittauksissa sen suuremman syvyysvaikutuksen takia, jolloin voitaisiin toteuttaa hieman paksumpia kerralla tiivistettäviä kerroksia, kuin 132 mm:n kuormituslevyä käytettäessä. Mitattavan pinnan tasaamiselle hiekalla ja mahdolliselle esikuormitukselle tulisi saada yleinen ohjeistus, joka perustuisi tutkimukseen tasaushiekan ja esikuormituksen vaikutuksesta mittaustulokseen.

Lopputäyttöjen mittauksissa havaittiin 132 mm:n kuormituslevyllä liian suuret painumat mittaushavainnoissa, joten tuloksia ei voida luotettavana ja 300 mm:n kuormituslevyllä ensimmäisien mittaushavaintojen painumat olivat pääsääntöisesti liian suuret, jolloin muunnostaulukon mukainen kuormituslevyjen välinen tiiviyssuhde vaatimus ei täyty. Käytettäessä 300 mm:n kuormituslevyä hiekkaisilla maa-aineksilla tulisi kuormituslevy painaa hyvin mitattavaa pintaa vasten ja mahdollisesti esikuormittaa, mutta tälle toimintatavalle ei ole olemassa ohjeistusta Maa- eikä InfraRYL:ssä. Esimerkiksi levykuormituskoetta tehdessä pinta tasataan hiekalla ja levyä kuormitetaan 3 kN esikuormalla ennen mittausta. Lopputäyttöjen tiiviyttä tarkkaillaankin pääsääntöisesti työtapa-tarkkailuna ja mittauksia otetaan suunnitelma-asiakirjojen vaatimassa laajuudessa. Tiiviyssuhdemittaukset tulee suorittaa 20 metrin välein, mutta kuitenkin vähintään yksi mittaus kaivantoa tai työkohdetta kohden.

Tutkimus osoittaa, että rakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa kevyellä pudotuspainolaitteella suorittavien tiiviyssuhdemittauksien ohjeistuksessa on puutteita niiltä osin, kun mittaushavaintojen painumat ylittävät mittaussarjassa toistuvasti 3–4 millimetriä. Näissä tapauksissa tiiviyssuhteen arvolle tulee todellisuutta huomattavasti parempi tulos. Mittaushavaintojen painumille tulisikin asettaa raja-arvot, jotta tiiviyssuhdemittauksiin perustuva tiiviyden tarkkailu toteutuu laatuvaatimukset täyttävästi.

LÄHTEET

AL-Engineering Oy. 2020. Käyttöohje, Loadman II, Kannettava pudotuspainolaite USB-muistiliitännällä, Bluetooth-yhteydellä ja Bluetooth-GPS:llä.

AL-Engineering Oy. Loadman, Kannettava pudotuspainolaite. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html> [viitattu 14.10.2024].

Duddu, S & Chennarapu, H. 2022. Quality control of compaction with light-weight deflectometer (LWD) device: a state-of-art. Schematic view of light-weight Deflectometer (LWD). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40703-021-00171-2.pdf> [viitattu 14.11.2024].

Elhakim, A., Elbaz, K. & Amer, M. The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.hbrj.2013.12.003#abstract> [viitattu 11.11.2024].

Kiiskinen, T. 2013. Tierakentamisen laadunvalvontamittaukset. Karelia-ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305138002> [viitattu 25.10.2024].

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132.

Niemi, A. 2017. Maarakennusyrityksen työ- ja laatusuunnitelmat. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017120519876> [viitattu 13.11.2024].

Rakennustieto. 2024. InfraRYL 2024/1. Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_1/ [viitattu 23.9.2024].

Rakennustieto. 2024. MaaRYL 2024/3. Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/maaryl/2024_3/ [viitattu 23.9.2024].

SFS-EN 13286-2. 2011. Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content. Proctor compaction. Suomen standardisoimisliitto. [viitattu 18.11.2024].

Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY. Kadun rakennekerrokset ja materiaalit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/> [viitattu 23.10.2024].

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 26.3.2009/205.

Väylävirasto. 2020. Tiesitkö? Teissä on monia kerroksia ja niillä kaikilla on oma tarkoituksensa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vayla.fi/-/tiesitko-teissa-on-monia-kerroksia-ja-niilla-kaikilla-on-oma-tarkoituksensa> [viitattu 25.10.2024].

Väylävirasto. 2022. Tien kiviainesten laadun tarkastaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/opas_2022-4_tien_kiviainesten_laadun_tarkastaminen_web.pdf [viitattu 27.10.2024].

WSP. 2021. Transport Scotland. LWD Correlation trial 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.transport.gov.scot/media/51349/light-weight-deflectometer-lwd-correlation-trial-report.pdf> [viitattu 29.10.2024].

Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. 465/2014.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Duddu & Chennarapu. 2022. Quality control of compaction with light-weight deflectometer (LWD) device: a state-of-art. Schematic view of light-weight Deflectometer (LWD). Saatavissa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40703-021-00171-2.pdf> [viitattu 14.11.2024].

Kuva 2. Frantzi. 2024. Loadman II kevyt pudotuspainolaite.

Kuva 3. Frantzi. 2024. Loadman II käyttöliittymä.

Kuva 4. Rakennustieto. 2024. InfraRYL kuva 21110 K1 Suodatinkerroksen rakeisuuden tulee normaalisti olla alueella 1. Rakeisuuskäyrä ei saa ylittää pak-sua viivaa nuolen suunnassa.

Kuva 5. Rakennustieto. 2024. InfraRYL kuva 21210 K4 Esimerkki jakavan kerroksen kalliomurskeen 0/63 Gp rakeisuusjakaumasta.

Kuva 6. Rakennustieto. 2024. InfraRYL kuva 21210 K3 Jakavaan rakennekerrokseen käytettävän luonnonsoran rakeisuusvaatimukset.

Kuva 7. Rakennustieto. 2024. InfraRYL kuva 21310 K3 Esimerkki kantavaan kerrokseen käytettävän murskeen G₀ 0/45 raekokajakautumasta.

Kuva 8. Rakennustieto. 2024. MaaRYL kuva 18341 K1 Havainnollistava kuva rakennuksen erilaisista täytöistä, kun rakennuksessa maanvastainen alapohja.

Kuva 9. Rakennustieto. 2024. MaaRYL 18341 K2. Maanvaraisen perustuksen alustäyttöihin sopivan kalliomurskeen ja soramurskeen rakeisuusohjealue. Raekoko 0/32 mm, rakeisuusluokka G0.

Kuva 10. Rakennustieto. 2024. MaaRYL kuva 12110 K1. RIL 1 a rakeisuuden ohjekäyrä.

Kuva 11. Rakennustieto. 2024. MaaRYL kuva 12110 K2 RIL 1 rakeisuuden ohjekäyrä.

Kuva 12. Rakennustieto. 2024. MaaRYL 18341 K3 Rakennuksen alapuolisiin yleistäyttöihin sopivan luonnonsoran rakeisuusohjealue

Kuva 13. Rakennustieto. 2024. MaaRYL 18341 K4 Rakennuksen alapuolisiin yleistäyttöihin sopivan kalliomurskeen ja soramurskeen rakeisuusohjealue.

Kuva 14. Frantzi. 2024. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II laitteella 132 mm kuormituslevyä käyttäen.

Kuva 15. Frantzi. 2024. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II laitteella 132 mm kuormituslevyä käyttäen. Mittaushavainto 1 = E₁

Kuva 16. Frantzi. 2024. Asennusalusta KaM # 0/16. Kantavuus- ja tiiviyssuhdemittaus Loadman II laitteella 132 mm kuormituslevyä käyttäen. Mittaushavainto 6 = E_6 , joka oli myös mittaussarjan suurin arvo = E_{max} arvo

Kuva 17. Frantzi. 2024. Alkutäyttö tiivistettiin kahdessa enintään 300 mm kerroksessa

Kuva 18. Frantzi. 2024 Anturan alapuolinen rakennekerros # 0/55 ja salaojitus johteet anturalinjan alitukseen # 8/16 sepelillä

Kuva 19. Frantzi. 2024. Maanvaraisen lattian yleistäyttö. Kuvan 8 mukainen rakennekerros nro 3

Kuva 20. Frantzi. Asennusalusta 1. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 21. Frantzi. Asennusalusta 1. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 22. Frantzi. Alkutäyttö 8. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 23. Frantzi. Alkutäyttö 8. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 24. Frantzi. Alkutäyttö 4. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä, jonka ensimmäisessä mittaushavainnossa suurempi painuma

Kuva 25. Frantzi. 2024. Lopputäytön tiiviyssuhdemittaus Loadman II laitteella

Kuva 26. Frantzi. Lopputäyttö 4. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä.

Kuva 27. Frantzi. Lopputäyttö 4. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 28. Frantzi. Perustusten alustäyttö 5. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 29. Frantzi. Perustusten alustäyttö 5. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 30. Frantzi. Perustusten alustäyttö 6. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä, jossa ohjeellisen vertailuarvon tiiviyssuhde ei täyty

Kuva 31. Frantzi. Maanvaraisen alapohjan yleistäyttö 2. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 32. Frantzi. Maanvaraisen alapohjan yleistäyttö 2. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 33. Frantzi. 2024. Mittauspisteen 3 132 mm:n kuormituslevyllä suoritettun kapillaarikatkokerroksen tiiviyssuhdemittauksen mittaussarjan jälkeinen painauma.

Kuva 34. Frantzi. Maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkokerros 3. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 35. Frantzi. Maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkokerros 3. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 36. Frantzi. Perusmuurin sisäpuolen vastainen salaojituskerros 2. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 37. Frantzi. Perusmuurin sisäpuolen vastainen salaojituskerros 2. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 38. Frantzi. Perusmuurin ulkopuolen salaojituskerros 1. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 39. Frantzi. Perusmuurin ulkopuolen salaojituskerros 1. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 40. Frantzi. 2024. Yleiskuva perusmuurin ulkopuolen salaojituskerroksesta ja ulkopuolen täytöstä

Kuva 41. Frantzi. Rakennuksen ulkopuolinen täyttö 2. mittauspisteen mittaussarja 132 mm:n kuormituslevyllä

Kuva 42. Frantzi. Rakennuksen ulkopuolinen täyttö 2. mittauspisteen mittaussarja 300 mm:n kuormituslevyllä

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. AL-Engineering Oy. 2020. Käyttöohje. Loadman II

Taulukko 2. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21110 T1. Suodatinkerroksen sallitut mittapoikkeamat.

Taulukko 3. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21210 T6. Jakavan kerroksen sallitut poikkeamat.

Taulukko 4. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21210 T7. Levykuormituslaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaukselle kantavuuden (E_2) suhteen.

Taulukko 5. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21210 T8. Pudotuspainolaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiivissuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaustulokselle kantavuuden (E_2) suhteen.

Taulukko 6. InfraRYL taulukko 21310 T3. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat.

Taulukko 7. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21310 T4. Levykuormituslaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaukselle kantavuuden (E_2) suhteen.

Taulukko 8. Rakennustieto. 2024. InfraRYL taulukko 21310 T5. Pudotuspainolaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset yksittäiselle mittaukselle kantavuuden (E_2) suhteen.

Taulukko 9. Rakennustieto. 2024. MaaRYL Taulukko 18341 T1. Perustuksen alustäytön tiiviys- ja kantavuusvaatimukset.

Taulukko 10. Rakennustieto. 2024. MaaRYL taulukko 18341 T2. Tiiviysasteen ja kannettavan pudotuspainolaitteen Emax/E1 arvojen ohjeellinen vastaavuus pohjalevyn halkaisijan mukaan. (Taulukon arvot koskevat Loadman-laitetta. Lähde: AL-Engineering Oy 2009 ja 2020.)

Taulukko 11. Rakennustieto. 2024. MaaRYL Taulukko 18341 T3. Alapohjan alapuolisen salaojitus- ja kapillaarikatkerroksen tiiviys- ja kantavuusvaatimukset.

Taulukko 12. Rakennustieto. 2024. MaaRYL Taulukko 18341 T4. Rakennuksen ulkopuolisen täytön tiiviys- ja kantavuusvaatimukset.



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 17.9.2024 -14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 132 mm

Piste 1 17.9.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	55	2,86	1,00
2	94	1,79	1,69
3	97	1,64	1,74
4	108	1,48	1,93
5	107	1,49	1,92
6	113	1,41	2,03

Piste 2 10.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	55	2,86	1,00
	78	2,05	1,39
	82	1,94	1,48
	91	1,75	1,64
	82	1,95	1,46
	93	1,72	1,66

Piste 3 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	73	2,19	1,00
2	82	1,94	1,13
3	83	1,91	1,15
4	85	1,88	1,16
5	88	1,81	1,21
6	92	1,73	1,26

Piste 4 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	47	3,34	1,00
	63	2,53	1,31
	69	2,31	1,44
	72	2,21	1,51
	68	2,34	1,42
	64	2,49	1,34

Piste 5 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	61	2,60	1,00
2	88	1,81	1,44
3	90	1,76	1,48
4	96	1,65	1,57
5	94	1,69	1,54
6	99	1,61	1,61

Piste 6 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	48	3,32	1,00
	53	2,99	1,11
	60	2,64	1,26
	60	2,63	1,26
	62	2,54	1,31
	56	2,81	1,18

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 2,03

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Asennusalusta KaM 0/16

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 200 mm (vaatimus ≥ 150 mm)Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,9$



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 132 mm

Piste 7 21.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	58	2,74	1,00
2	93	1,72	1,59
3	102	1,56	1,76
4	103	1,55	1,76
5	109	1,46	1,87
6	112	1,42	1,92

Piste 8 22.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	54	2,92	1,00
2	73	2,17	1,34
3	73	2,19	1,33
4	71	2,25	1,30
5	71	2,22	1,31
6	72	2,21	1,32

Piste 9 14.11.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	71	2,25	1,00
2	95	1,68	1,34
3	111	1,44	1,57
4	118	1,35	1,66
5	121	1,31	1,71
6	125	1,28	1,76

Piste 10

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 11

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 12

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 1,92

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Asennusalusta KaM 0/16

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 200 mm (vaatimus ≥ 150 mm)Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,9$



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 300 mm

Piste 1 17.9.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	80	1,25	1,00
2	94	1,05	1,19
3	91	1,09	1,14
4	101	0,98	1,27
5	104	0,96	1,30
6	105	0,94	1,32

Piste 2 10.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	54	1,85	1,00
2	74	1,34	1,38
3	77	1,29	1,43
4	82	1,21	1,53
5	83	1,20	1,53
6	85	1,17	1,58

Piste 3 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	65	1,52	1,00
2	83	1,20	1,27
3	86	1,16	1,32
4	88	1,13	1,35
5	89	1,12	1,37
6	90	1,10	1,38

Piste 4 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	56	1,76	1,00
2	78	1,27	1,39
3	80	1,24	1,43
4	81	1,23	1,44
5	81	1,22	1,44
6	79	1,26	1,40

Piste 5 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	49	2,02	1,00
2	72	1,38	1,47
3	77	1,28	1,58
4	76	1,30	1,56
5	85	1,17	1,73
6	86	1,16	1,75

Piste 6 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	36	2,74	1,00
2	64	1,54	1,78
3	69	1,43	1,92
4	73	1,37	2,01
5	77	1,28	2,14
6	78	1,28	2,15

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 2,15

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Asennusalusta KaM 0/16

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 200 mm (vaatimus \geq 150 mm)

Vertailevat mittaukset 132 mm kuormituslevylle

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 2,0 (MaaRYL taulukko 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 300 mm

Piste 7 21.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	69	1,43	1,00
2	93	1,07	1,33
3	98	1,01	1,41
4	96	1,03	1,39
5	98	1,02	1,41
6	103	0,97	1,48

Piste 8 22.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	49	2,00	1,00
2	71	1,40	1,42
3	78	1,28	1,57
4	81	1,23	1,63
5	81	1,23	1,62
6	78	1,27	1,58

Piste 9 14.11.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	65	1,52	1,00
2	104	0,96	1,58
3	103	0,97	1,57
4	110	0,90	1,68
5	112	0,89	1,71
6	114	0,88	1,73

Piste 10

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 11

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 12

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 1,73

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Asennusalusta KaM 0/16

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 200 mm (vaatimus ≥ 150 mm)

Vertailevat mittaukset 132 mm kuormituslevylle

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 2,0 (MaARYL taulukko 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 132 mm

Piste 1 17.9.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	64	2,49	1,00
2	81	1,96	1,27
3	92	1,73	1,44
4	94	1,69	1,47
5	95	1,67	1,49
6	92	1,73	1,44

2 16.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	55	2,88	1,00
2	64	2,48	1,16
3	64	2,50	1,15
4	64	2,48	1,16
5	66	2,41	1,20
6	63	2,53	1,14

Piste 3 24.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	48	3,27	1,00
2	65	2,43	1,35
3	63	2,52	1,30
4	74	2,14	1,53
5	73	2,18	1,50
6	76	2,09	1,57

4 16.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	33	4,83	1,00
2	42	3,77	1,28
3	43	3,66	1,32
4	48	2,32	1,46
5	50	3,14	1,54
6	40	3,91	1,24

Piste 5 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	39	4,03	1,00
2	58	2,71	1,49
3	64	2,48	1,62
4	62	2,55	1,58
5	67	2,36	1,70
6	68	2,34	1,72

6 24.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	35	4,54	1,00
2	50	3,15	1,44
3	53	3,00	1,51
4	54	2,93	1,55
5	55	2,87	1,58
6	57	2,81	1,62

Mittaustulos

Tiiviyssuhde KA 1,52

Tiiviyssuhde 1,72

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Alkutäyttö KaM 0/16 ja kaivumaat

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$

Alkutäyttömateriaali KaM 0/16 ja tiivistämiskelpoiset kaivumaat

RYL lisävaatimus tiiviyssuhde keskimäärin $< 2,5$



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 132 mm

Piste 7 23.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	57	2,77	1,00
2	65	2,43	1,14
3	67	2,38	1,16
4	66	2,41	1,15
5	70	2,26	1,22
6	73	2,19	1,26

8 22.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	44	3,56	1,00
2	61	2,62	1,36
3	65	2,45	1,46
4	73	2,18	1,64
5	76	2,10	1,69
6	79	2,01	1,77

Piste 9 14.11.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	51	3,11	1,00
2	55	2,86	1,09
3	59	2,69	1,16
4	59	2,68	1,16
5	55	2,87	1,08
6	66	2,41	1,29

10

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 11 14.11.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

12

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Mittaustulos

Tiiviyssuhde KA 1,44

Tiiviyssuhde 1,77

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Alkutäyttö KaM 0/16 ja kaivumaat

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$

Alkutäyttömateriaali KaM 0/16 ja tiivistämiskelpoiset kaivumaat

RYL lisävaatimus tiiviyssuhde keskimäärin $< 2,5$



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 300 mm

Piste 1 17.9.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	72	1,37	1,00
2	86	1,15	1,19
3	90	1,11	1,24
4	95	1,05	1,31
5	97	1,03	1,33
6	100	1,00	1,38

Piste 2 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	52	1,92	1,00
2	66	1,49	1,28
3	67	1,48	1,29
4	69	1,45	1,32
5	68	1,45	1,32
6	69	1,45	1,33

Piste 3 24.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	71	1,40	1,00
2	79	1,25	1,12
3	81	1,22	1,14
4	83	1,19	1,18
5	86	1,16	1,21
6	86	1,15	1,22

Piste 4 16.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	36	2,75	1,00
2	67	1,48	1,86
3	77	1,29	2,13
4	85	1,17	2,36
5	88	1,13	2,43
6	89	1,12	2,45

Piste 5 18.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	46	2,16	1,00
2	78	1,27	1,70
3	82	1,21	1,79
4	84	1,18	1,84
5	80	1,25	1,74
6	85	1,17	1,85

Piste 6 24.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	45	2,19	1,00
2	60	1,65	1,33
3	61	1,62	1,35
4	63	1,58	1,38
5	63	1,57	1,40
6	63	1,57	1,40

Mittaustulos

Tiiviyssuhteen KA 1,61

Tiiviyssuhde 2,45

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Alkutäyttö KaM 0/16 ja kaivumaat

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevylle

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,9 (MaaRYL taulukko 18341:T2)

RYL lisävaatimus tiiviyssuhde keskimäärin < 1,7 (MaaRYL 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306

Pvm: 17.9.2024 - 14.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 300 mm

Piste 7 23.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	45	2,19	1,00
2	68	1,46	1,50
3	71	1,40	1,56
4	73	1,37	1,60
5	71	1,40	1,56
6	74	1,35	1,63

8 22.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	53	1,87	1,00
2	78	1,28	1,47
3	82	1,21	1,55
4	82	1,21	1,55
5	87	1,14	1,64
6	89	1,12	1,67

Piste 9 14.11.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	41	2,42	1,00
2	63	1,58	1,53
3	69	1,43	1,69
4	74	1,34	1,80
5	77	1,30	1,86
6	78	1,27	1,90

10

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Piste 11

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

12

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Mittaustulos

Tiiviyssuhteen KA 1,73

Tiiviyssuhde 1,90

Huomiot

Mittattu rakennekerros: Alkutäyttö KaM 0/16 ja kaivumaat

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevylle

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,9 (MaaRYL taulukko 18341:T2)

RYL lisävaatimus tiiviyssuhde keskimäärin < 1,7 (MaaRYL 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 19.9.2024 - 24.10.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 132 mm

Piste 1 17.9.2024

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1	48	3,27	1,00
2	53	3,00	1,09
3	55	2,90	1,13
4	56	2,85	1,15
5	57	2,80	1,17
6	57	2,79	1,17

4 18.10.2024

	E Mpa	Painuma	E/E1
	31	5,13	1,00
	42	3,79	1,35
	47	3,38	1,52
	42	3,77	1,36
	45	3,49	1,47
	43	3,65	1,41

Piste 5 23.10.2024

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1	37	4,27	1,00
2	43	3,69	1,16
3	47	3,38	1,26
4	44	3,64	1,17
5	48	3,32	1,28
6	42	3,77	1,13

8 24.10.2024

	E Mpa	Painuma	E/E1
	40	3,93	1,00
	45	3,51	1,12
	47	3,37	1,17
	47	3,36	1,17
	50	3,14	1,25
	50	3,20	1,23

Piste

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

	E Mpa	Painuma	E/E1

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 1,52

Huomiot

Mittattu rakennekerros: Lopputäyttö tiivistämiskelpoisista kaivumaista

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,9$

Pisteitä 2, 3, 6, 7 ja 9 ei mitata, koska ei lopputäyttöä yläpuolisien rakennekerroksien takia.



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 19.9.2024 - 24.10.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Pohjalevy 300 mm

Piste 1 19.9.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	59	1,68	1,00
2	73	1,37	1,23
3	78	1,28	1,31
4	79	1,25	1,34
5	82	1,21	1,39
6	83	1,20	1,41

4 18.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	33	3,02	1,00
2	67	1,49	2,03
3	71	1,40	2,15
4	74	1,33	2,27
5	76	1,30	2,32
6	78	1,27	2,38

Piste 5 23.10.2024

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	33	3,02	1,00
2	68	1,46	2,07
3	76	1,30	2,33
4	80	1,24	2,44
5	84	1,18	2,55
6	87	1,15	2,63

8 24.10.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	42	2,35	1,00
2	73	1,36	1,74
3	81	1,22	1,92
4	86	1,16	2,03
5	88	1,13	2,08
6	82	1,21	1,94

Piste

Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 2,63

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Lopputäyttö tiivistämiskelpoisista kaivumaista

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevyille

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 2,0 (MaaRYL taulukko 18341:T2)

Pisteitä 2, 3, 6, 7 ja 9 ei mitata, koska ei lopputäyttöä yläpuolisien rakennekerroksien takia.



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 18.9.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 1
Pohjalevy 132 mm

Piste 1
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	70	2,28	1,00
2	107	1,49	1,53
3	121	1,31	1,73
4	119	1,34	1,70
5	120	1,33	1,71
6	115	1,39	1,64

2

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	75	2,11	1,00
2	95	1,67	1,26
3	102	1,56	1,35
4	90	1,78	1,19
5	111	1,44	1,47
6	108	1,48	1,42

Piste 3
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	77	2,06	1,00
2	101	1,58	1,30
3	107	1,49	1,38
4	116	1,38	1,50
5	117	1,36	1,52
6	120	1,33	1,55

4

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	76	2,08	1,00
2	112	1,42	1,47
3	119	1,33	1,56
4	116	1,37	1,52
5	121	1,31	1,59
6	126	1,26	1,65

Piste 5
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	64	2,50	1,00
2	89	1,79	1,40
3	99	1,61	1,55
4	117	1,37	1,83
5	107	1,49	1,68
6	121	1,32	1,90

6

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	72	2,19	1,00
2	110	1,45	1,51
3	113	1,41	1,56
4	111	1,43	1,53
5	121	1,31	1,67
6	131	1,22	1,80

Mittaustulos

Tiiviyssuhde	1,90
E1 ≥ 60 MN/m ²	64,00

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Perustuksen alustäyttö KaM 0/55
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatus: ≤ 2,2
Tilaajan vaatimus E₁ ≥ 60 MN/m² täyttyy



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 18.9.2024
Mittaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 1
Pohjalevy 300 mm

Piste 1 2
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	77	1,28	1,00
2	100	1,00	1,29
3	106	0,94	1,37
4	111	0,89	1,44
5	113	0,88	1,46
6	118	0,85	1,52

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	70	1,42	1,00
2	108	0,92	1,55
3	111	0,90	1,59
4	114	0,87	1,63
5	119	0,84	1,70
6	120	0,83	1,71

Piste 3 4
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	78	1,27	1,00
2	105	0,95	1,34
3	112	0,89	1,43
4	115	0,87	1,47
5	113	0,88	1,44
6	115	0,86	1,47

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	67	1,49	1,00
2	103	0,97	1,54
3	114	0,87	1,70
4	119	0,84	1,78
5	121	0,82	1,81
6	120	0,83	1,80

Piste 5 6
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	82	1,21	1,00
2	109	0,92	1,32
3	112	0,89	1,37
4	114	0,87	1,39
5	114	0,87	1,39
6	116	0,86	1,41

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	61	1,61	1,00
2	101	0,98	1,64
3	106	0,94	1,71
4	110	0,90	1,79
5	115	0,86	1,87
6	116	0,86	1,88

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,88
E1 ≥ 60 MN/m2 61,00

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Perustusten alustäyttö KaM 0/55
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevylle
Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,5



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 31.10.2024 - 13.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittausarja: 1
Pohjalevy 132 mm

Piste 1 31.10.2024 2 31.10.2024
Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	91	1,74	1,00	80	1,98	1,00
2	149	1,07	1,63	124	1,28	1,54
3	151	1,06	1,65	130	1,23	1,61
4	145	1,10	1,59	102	1,57	1,26
5	141	1,13	1,54	142	1,12	1,76
6	144	1,11	1,58	149	1,07	1,85

Piste 3 1.11.2024 4 1.11.2024
Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	66	2,41	1,00	76	2,09	1,00
2	100	1,59	1,52	109	1,47	1,42
3	101	1,57	1,53	121	1,31	1,59
4	109	1,46	1,65	126	1,27	1,65
5	111	1,44	1,68	120	1,33	1,57
6	114	1,40	1,73	126	1,26	1,65

Piste 5 1.11.2024 6 8.11.2024
Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	90	1,77	1,00	109	1,46	1,00
2	130	1,22	1,45	124	1,29	1,14
3	135	1,18	1,50	148	1,08	1,36
4	144	1,11	1,60	151	1,05	1,39
5	144	1,11	1,60	149	1,07	1,37
6	152	1,05	1,69	151	1,06	1,38

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,85
E1 ≥ 50 MN/m2 66,00

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Sisätäytöt KaM 0/55
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: ≤ 2,8
Tilaaajan vaatimus pienin sallittu yksittäinen E1 ≥ 50 MN/m2 täyttyy



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 31.10.2024 - 13.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 2
Pohjalevy 132 mm

Piste 7 8.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	89	1,79	1,00
2	126	1,26	1,41
3	120	1,33	1,34
4	154	1,04	1,72
5	158	1,01	1,77
6	156	1,03	1,74

8 8.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	111	1,43	1,00
2	137	1,16	1,24
3	154	1,03	1,39
4	140	1,14	1,26
5	149	1,07	1,34
6	158	1,01	1,42

Piste 9 8.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	135	1,18	1,00
2	148	1,08	1,10
3	160	1,00	1,19
4	160	1,00	1,19
5	162	0,99	1,20
6	160	1,00	1,19

10 13.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	94	1,70	1,00
2	112	1,42	1,19
3	124	1,28	1,32
4	115	1,38	1,23
5	113	1,40	1,21
6	135	1,18	1,44

Piste 11 13.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	92	1,73	1,00
2	112	1,42	1,22
3	117	1,36	1,28
4	109	1,46	1,19
5	121	1,32	1,31
6	124	1,29	1,35

12 13.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	80	1,99	1,00
2	118	1,35	1,47
3	124	1,28	1,55
4	126	1,27	1,57
5	131	1,21	1,64
6	127	1,26	1,58

Mittaustulos

Tiiviyssuhde	1,77
E1 ≥ 50 MN/m ²	80,00

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Sisätäytöt KaM 0/55
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: ≤ 2,8
Tilaaajan vaatimus pienin sallittu yksittäinen E1 ≥ 50 MN/m² täyttyy



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306
Pvm: 31.10.2024 - 13.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittausarja: 1
Pohjalevy: 300 mm

Piste 1 31.10.2024 2 31.10.2024
Paalu

Pudotus	1 31.10.2024			2 31.10.2024		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	81	1,23	1,00	76	1,30	1,00
2	128	0,78	1,59	126	0,79	1,65
3	134	0,74	1,66	129	0,77	1,69
4	136	0,73	1,69	133	0,75	1,74
5	138	0,72	1,71	135	0,74	1,76
6	141	0,71	1,74	135	0,74	1,77

Piste 3 1.11.2024 4 1.11.2024
Paalu

Pudotus	3 1.11.2024			4 1.11.2024		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	62	1,59	1,00	84	1,19	1,00
2	103	0,96	1,65	109	0,92	1,30
3	107	0,93	1,72	115	0,86	1,37
4	114	0,87	1,83	115	0,87	1,37
5	118	0,84	1,89	118	0,84	1,41
6	118	0,84	1,90	117	0,85	1,39

Piste 5 1.11.2024 6 8.11.2024
Paalu

Pudotus	5 1.11.2024			6 8.11.2024		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	79	1,27	1,00	81	1,09	1,00
2	122	0,81	1,55	124	0,81	1,36
3	131	0,76	1,67	126	0,79	1,38
4	118	0,84	1,50	131	0,76	1,44
5	131	0,76	1,66	136	0,73	1,49
6	134	0,74	1,71	133	0,75	1,46

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,90
E1 ≥ 50 MN/m² 62,00

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Sisätäytöt KaM 0/55
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevyille
Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,9



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306

Pvm: 31.10.2024 - 13.11.2024

Mittaaja: Jani Frantzi

Mittaussarja: 2

Pohjalevy 300 mm

Piste 7 8.11.2024

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1	74	1,33	1,00
2	115	0,87	1,54
3	125	0,80	1,67
4	128	0,78	1,72
5	133	0,75	1,78
6	132	0,75	1,78

8 8.11.2024

	E Mpa	Painuma	E/E1
	86	1,16	1,00
	110	0,90	1,29
	114	0,88	1,32
	105	0,95	1,22
	114	0,88	1,32
	116	0,86	1,35

Piste 9 8.11.2024

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1	92	1,08	1,00
2	122	0,82	1,32
3	127	0,78	1,39
4	134	0,74	1,46
5	135	0,74	1,47
6	140	0,71	1,52

10 13.11.2024

	E Mpa	Painuma	E/E1
	90	1,11	1,00
	116	0,86	1,30
	120	0,83	1,34
	123	0,81	1,37
	123	0,81	1,37
	125	0,80	1,39

Piste 11 13.11.2024

Paalu

Pudotus

	E Mpa	Painuma	E/E1
1	88	1,12	1,00
2	121	0,82	1,37
3	125	0,80	1,41
4	127	0,78	1,43
5	130	0,77	1,47
6	131	0,76	1,48

12 13.11.2024

	E Mpa	Painuma	E/E1
	77	1,30	1,00
	114	0,88	1,48
	124	0,81	1,61
	122	0,82	1,59
	129	0,77	1,67
	128	0,78	1,66

Mittaustulos

Tiiviyssuhde	1,78
E1 ≥ 50 MN/m ²	74

Huomiot

Mittattu rakennekerros: Sisätäytöt KaM 0/55

Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm

Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevylle

Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,9



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 13.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 1
Pohjalevy 132 mm

Piste 1 13.11.2024 2 13.11.2024
Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	30	5,21	1,00	34	4,60	1,00
2	40	3,95	1,32	47	3,34	1,38
3	46	3,46	1,50	58	2,82	1,63
4	43	3,67	1,42	58	2,75	1,67
5	53	3,02	1,73	60	2,66	1,73
6	51	3,11	1,68	52	3,04	1,51

Piste 3 14.11.2024 4 19.11.2024
Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	30	5,22	1,00	36	4,36	1,00
2	40	3,92	1,33	46	2,43	1,27
3	43	3,64	1,43	57	2,80	1,56
4	47	3,36	1,56	53	2,99	1,46
5	44	3,62	1,44	57	2,80	1,56
6	44	3,57	1,46	44	3,60	1,21

Piste 5 19.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	38	4,18	1,00	30	5,20	1,00
2	64	2,49	1,68	41	3,87	1,34
3	70	2,26	1,85	38	4,21	1,24
4	71	2,25	1,86	49	3,23	1,61
5	71	2,23	1,88	50	3,15	1,65
6	70	2,27	1,84	44	3,62	1,43

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,88

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Kapillaarikatkokerros KaS 8/16
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$
Painumat ovat liian suuria, joten mittaustulos ei ole luotettava.
Mittaukset tulee suorittaa käyttäen 300 mm kuormituslevyä



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 13.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittausarja: 1
Pohjalevy: 300 mm

Piste 1 13.11.2024
Paalu 2 13.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	57	1,75	1,00
2	67	1,48	1,18
3	73	1,37	1,28
4	77	1,29	1,35
5	70	1,25	1,40
6	82	1,22	1,43

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	52	1,89	1,00
	74	1,34	1,41
	81	1,22	1,55
	85	1,17	1,62
	88	1,13	1,68
	91	1,10	1,72

Piste 3 14.11.2024
Paalu 4 19.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	58	1,72	1,00
2	78	1,28	1,34
3	83	1,20	1,43
4	84	1,18	1,46
5	86	1,16	1,48
6	90	1,11	1,55

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	65	1,53	1,00
	84	1,18	1,30
	84	1,18	1,30
	90	1,11	1,38
	92	1,08	1,42
	95	1,04	1,47

Piste 5 19.11.2024
Paalu 6 21.11.2024

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	53	1,87	1,00
2	88	1,12	1,66
3	93	1,07	1,74
4	97	1,02	1,83
5	100	0,99	1,89
6	98	1,01	1,85

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
	58	1,72	1,00
	73	1,35	1,27
	77	1,29	1,33
	79	1,26	1,36
	82	1,22	1,41
	83	1,20	1,44

Mittaustulos

Tiiviyssuhde 1,89

Huomiot

Mitattu rakennekerros: Kapillaarikatkokerrokset KaS 8/16
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: $\leq 1,9$ (MaaRYL taulukko 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 13.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 1
Pohjalevy: 132 mm

Piste 1 13.11.2024 2 13.11.2024
Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	43	3,72	1,00	44	3,59	1,00
2	57	2,80	1,33	58	2,75	1,30
3	64	2,46	1,51	64	2,49	1,44
4	78	2,05	1,81	70	2,26	1,58
5	80	2,00	1,86	75	2,12	1,69
6	82	1,94	1,92	71	2,22	1,61

Piste 3 13.11.2024 4 14.11.2024
Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	41	3,90	1,00	35	4,50	1,00
2	54	2,94	1,33	47	3,39	1,33
3	57	2,77	1,41	59	2,68	1,68
4	64	2,48	1,57	61	2,59	1,74
5	68	2,32	1,68	68	2,34	1,92
6	62	2,54	1,53	63	2,54	1,77

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	33	4,85	1,00	31	5,12	1,00
2	41	3,87	1,25	47	3,34	1,53
3	38	4,13	1,17	56	2,81	1,82
4	39	4,04	1,20	48	3,27	1,57
5	38	4,11	1,18	52	3,07	1,67
6	39	4,10	1,18	40	3,94	1,30

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,92

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Perusmuurin sisäp. salaojituseros KaS 8/16
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$
Painumat ovat liian suuria, joten mittaustulos ei ole luotettava.
Mittaukset tulee suorittaa käyttäen 300 mm kuormituslevyä



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 13.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittausarja: 1
Pohjalevy: 300 mm

Piste 1 13.11.2024 2 13.11.2024
Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	59	1,67	1,00	53	1,86	1,00
2	81	1,23	1,36	87	1,15	1,62
3	86	1,15	1,45	93	1,07	1,73
4	88	1,14	1,47	97	1,03	1,81
5	92	1,08	1,54	99	1,00	1,86
6	94	1,06	1,58	99	1,00	1,85

Piste 3 13.11.2024 4 14.11.2024
Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	52	1,90	1,00	64	1,54	1,00
2	74	1,34	1,42	82	1,21	1,28
3	81	1,23	1,54	89	1,12	1,38
4	84	1,19	1,61	90	1,10	1,40
5	86	1,15	1,65	94	1,06	1,46
6	88	1,13	1,69	96	1,04	1,49

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	51	1,94	1,00	51	1,96	1,00
2	69	1,43	1,36	75	1,33	1,48
3	76	1,31	1,47	82	1,22	1,61
4	79	1,25	1,55	87	1,15	1,71
5	84	1,18	1,64	90	1,10	1,77
6	87	1,14	1,69	93	1,07	1,83

Mittaustulos
Tiiviyssuhde

Huomiot
Mittattu rakennekerros: Perusmuurin sisäp. salaojituskerros KaS 8/16
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: $\leq 1,9$ (MaaRYL taulukko 18341:T2)



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306
Pvm: 14.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaus sarja: 1
Pohjalevy: 132 mm

Piste 1 14.11.2024 2 14.11.2024
Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	34	4,62	1,00	34	4,61	1,00
2	30	5,20	0,89	36	4,33	1,07
3	48	3,31	1,40	38	4,20	1,10
4	51	3,11	1,48	43	3,70	1,25
5	59	2,69	1,72	37	4,27	1,08
6	68	2,35	1,97	43	3,69	1,25

Piste 3 21.11.2024 4 21.11.2024
Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	42	3,80	1,00	53	3,01	1,00
2	52	3,06	1,24	71	2,25	1,34
3	60	2,66	1,43	62	2,55	1,18
4	58	2,75	1,38	79	2,01	1,50
5	58	2,74	1,39	87	1,83	1,64
6	60	2,66	1,43	61	2,60	1,16

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	37	4,31	1,00	40	3,91	1,00
2	49	3,24	1,33	39	4,03	0,97
3	58	2,71	1,59	55	2,89	1,35
4	55	2,87	1,50	64	2,49	1,57
5	59	2,70	1,60	67	2,38	1,64
6	53	3,01	1,44	64	2,47	1,58

Mittaustulos
Tiiviyssuhde

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Perusmuurin ulkop. salaojituskerros KaS 8/16
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$
Painumat ovat liian suuria, joten mittaustulos ei ole luotettava.
Mittaukset tulee suorittaa käyttäen 300 mm kuormituslevyä



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
 Pvm: 14.11.2024 - 21.11.2024
 Mittaaja: Jani Frantzi
 Mittaussarja: 1
 Pohjalevy 300 mm

Piste 1 14.11.2024 2 14.11.2024
 Paalu

Pudotus	1			2		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	52	1,89	1,00	49	2,04	1,00
2	79	1,26	1,50	68	1,45	1,40
3	83	1,20	1,58	73	1,36	1,50
4	89	1,12	1,68	75	1,32	1,54
5	89	1,11	1,70	78	1,27	1,60
6	89	1,12	1,69	81	1,23	1,65

Piste 3 21.11.2024 4 21.11.2024
 Paalu

Pudotus	3			4		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	63	1,57	1,00	67	1,49	1,00
2	81	1,22	1,28	132	0,75	1,98
3	83	1,19	1,31	163	0,61	2,43
4	83	1,19	1,31	178	0,56	2,66
5	84	1,18	1,32	180	0,55	2,69
6	89	1,12	1,40	188	0,53	2,82

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
 Paalu

Pudotus	5			6		
	E Mpa	Painuma	E/E1	E Mpa	Painuma	E/E1
1	66	1,50	1,00	50	1,99	1,00
2	73	1,35	1,11	70	1,43	1,39
3	77	1,29	1,17	71	1,40	1,42
4	80	1,24	1,21	74	1,34	1,48
5	83	1,19	1,26	77	1,29	1,54
6	83	1,18	1,26	79	1,25	1,59

Mittaustulos
 Tiivisyysuhde 1,70

Huomiot
 Mitattu rakennekerros: Perusmuurin ulkop. salaojituserros KaS 8/16
 Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
 Tiivisyysuhdevaatimuksen vertailuarvo: $\leq 1,9$ (MaRYL taulukko 18341:T2)
 HUOM! Mittauspisteen 4 salaojituserroksen alla pilarin antura noin
 200 mm syvyydessä, joten mittauspisteen 4 tulosta ei huomioida



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohte: 306
Pvm: 8.11.2024 -21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittaussarja: 1
Pohjalevy 132 mm

Piste 1 8.11.2024 2 14.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	84	1,90	1,00
2	94	1,69	1,12
3	109	1,46	1,31
4	114	1,40	1,36
5	98	1,62	1,18
6	116	1,37	1,39

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	65	2,42	1,00
2	78	2,03	1,20
3	92	1,73	1,40
4	94	1,69	1,44
5	102	1,56	1,56
6	106	1,51	1,61

Piste 3 14.11.2024 4 14.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	84	1,90	1,00
2	112	1,43	1,33
3	155	1,39	1,37
4	95	1,68	1,13
5	122	1,30	1,45
6	121	1,32	1,44

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	113	1,41	1,00
2	148	1,08	1,31
3	150	1,06	1,33
4	138	1,16	1,22
5	137	1,17	1,21
6	150	1,06	1,33

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	70	2,28	1,00
2	98	1,62	1,41
3	103	1,54	1,48
4	111	1,44	1,59
5	101	1,57	1,45
6	114	1,39	1,64

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	42	3,75	1,00
2	47	3,35	1,12
3	52	3,06	1,22
4	52	3,02	1,24
5	47	3,38	1,11
6	52	3,03	1,23

Mittaustulos
Tiiviyssuhde 1,64

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Perusmuurin ulkopuolinen täyttö
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Tiiviyssuhdevaatimus: $\leq 2,8$



Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset

Työkohde: 306
Pvm: 8.11.2024 - 21.11.2024
Mittaaja: Jani Frantzi
Mittausarja: 1
Pohjalevy 300 mm

Piste 1 8.11.2024 2 14.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	65	1,52	1,00
2	105	0,95	1,61
3	111	0,90	1,70
4	111	0,89	1,71
5	113	0,88	1,72
6	114	0,87	1,75

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	67	1,47	1,00
2	81	1,23	1,20
3	100	0,99	1,49
4	103	0,97	1,52
5	107	0,93	1,59
6	109	0,92	1,61

Piste 3 14.11.2024 4 14.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	78	1,27	1,00
2	100	0,99	1,29
3	107	0,93	1,37
4	110	0,91	1,40
5	113	0,88	1,44
6	108	0,92	1,38

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	82	1,21	1,00
2	118	0,84	1,43
3	121	0,82	1,47
4	131	0,76	1,58
5	129	0,77	1,56
6	133	0,75	1,61

Piste 5 21.11.2024 6 21.11.2024
Paalu

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	80	1,24	1,00
2	108	0,92	1,34
3	112	0,89	1,39
4	116	0,86	1,44
5	117	0,85	1,45
6	121	0,83	1,50

Pudotus	E Mpa	Painuma	E/E1
1	44	2,25	1,00
2	55	1,81	1,24
3	61	1,64	1,38
4	62	1,60	1,41
5	64	1,55	1,45
6	62	1,59	1,42

Mittaustulos
Tiiviyssuhde

Huomiot
Mitattu rakennekerros: Perusmuurin ulkopuolinen täyttö
Mitatun rakennekerroksen paksuus: 300 mm
Vertailevat mittaukset 132 mm pohjalevyille
Tiiviyssuhdevaatimuksen vertailuarvo: 1,9 (MaaRYL taulukko 18341:T2)