

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Teemu Kiiskinen

TIERAKENTAMISEN LAADUNVALVONTAMITTAUKSET

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU

Tekijä
Teemu Kiiskinen

Nimeke
Tierakentamisen laadunvalvontamittaukset

Toimeksiantaja
Kesälahden Maansiirto Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koota yhteen yleisimmät tierakentamisen laadunvalvontamittausten menetelmät, niihin liittyvät laatuvaatimukset sekä tutustua laadunvalvonnan kulkuun tierakentamisessa.

Tierakentamisessa urakoitsijalla on päävastuu laadunvarmistuksen tekemisestä. Urakoitsijan on esitettävä tilaajalle käyttämiensä materiaalien soveltuvuus ja osoitettava rakenteen vastaavan suunniteltua. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Kesälahden Maansiirto Oy:lle. Opinnäytetyön lopussa on esitelty Joensuun Kehätiellä tehtyjen kantavuus- ja tiivysmittausten tulokset sekä pohdittu mittauksiin ja materiaaleihin liittyviä yleisiä ongelmia

Opinnäytetyö auttaa tierakentamista toteuttavia tahoja ymmärtämään laadunvalvontaa ja sen merkitystä. Kehätien mittaukset ovat esimerkkinä siitä kuinka tiiviys- ja kantavuusmittaukset voidaan toteuttaa. Tulosten perusteella Kehätien tiiviydet ja kantavuudet olivat hyvällä tasolla.

Kieli
suomi

Sivuja	50
Liitteet	8
Liitesivumäärä	23

Asiasanat
tiet, ajoradat, laadunvarmistus, laadunvalvonta,



THESIS
May 2013
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND

Author
Teemu Kiiskinen

Title
Quality Control Measurements in Road Building

Commissioned by
Kesälahden Maansiirto Oy

Abstract

The aim of this thesis was to gather together the most common quality control methods and requirements used in road building. In road building the contractor has a major responsibility of quality control. The contractor has to present material suitability and show that the structure corresponds as designed.

This thesis was assigned by Kesälahden Maansiirto Oy. The thesis also includes carrying capacity- and compactness measurements of the ringroad in Joensuu. Moreover, at the end of the thesis common measurement problems are reflected.

The goal of this study was to help contractors understand the meaning of quality control. The ringroad measurements were set as an example to show precisely how capacity- and compactness measurements can be executed. The results met the quality requirements quite easily.

Language
Finnish

Pages	50
Appendices	8
Pages of Appendices	23

Keywords
roads, roadway, quality control

Sisältö

Lyhenteet ja käsitteet	6
1 Johdanto	8
2 Tierakenteet ja kerrokset	9
2.1 Alusrakenne.....	10
2.2 Sitomattomat kerrokset.....	10
2.2.1 Suodatinkerros.....	10
2.2.2 Jakava kerros	10
2.2.3 Kantava kerros.....	11
2.3 Sidotut kerrokset.....	11
3 Laadunvalvonta ja raportointi.....	12
3.1 Esiraportointi.....	13
3.2 Pikaraportointi.....	14
3.3 Osaraportit.....	14
3.4 Loppuraportti	15
3.5 Laatukansio	15
4 Laboratoriotutkimukset.....	15
4.1 Maalajin rakeisuuden määrittäminen	16
4.1.1 Kuivaseulonta	17
4.1.2 Pesuseulonta	17
4.2 Proctor-koe	18
5 Kenttätutkimukset	19
5.1 Kantavuus käsitteenä	19
5.2 Levykuormituskoe.....	20
5.3 Loadman-pudotuspainolaitteet	23
5.4 KUAB-pudotuspainolaitteet.....	24
5.5 Tiiviys käsitteenä	25
5.6 Troxler-säteilymittaus.....	26
5.7 Volymetrit.....	28
6 Tierakentamisen yleiset laatuvaatimukset	29
6.1 Leikkauspohja.....	30
6.1.1 Leikkauspohjan tasalaatuisuus	30
6.1.2 Leikkauspohjan tarkkuusvaatimukset	32
6.1.3 Leikkauspohjan tiiviys ja kantavuus	32
6.2 Suodatinkerros	33
6.2.1 Suodatinkerroksen materiaali	33
6.2.2 Suodatinkerroksen tarkkuusvaatimukset	35
6.2.3 Suodatinkerroksen tiiveys	35
6.3 Jakava kerros	35
6.3.1 Jakavan kerroksen materiaali	36
6.3.2 Jakavan kerroksen tarkkuusvaatimukset	37
6.3.3 Jakavan kerroksen kantavuus ja tiiviys	38
6.4 Sitomaton kantava kerros	39
6.4.1 Kantavan kerroksen materiaali	40
6.4.2 Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset	41
6.4.3 Kantavan kerroksen kantavuus ja tiiviys	41
7 Kantavuus ja tiivysmittaukset Joensuun Kehätiellä	42
7.1 Joensuun Kehätie-hanke	42
7.2 Tierakenne päiväyllillä Vt6 & Vt17	43

7.3	Tierakenne rampeilla	44
7.4	Pääväylän suodatinkerroksen tiiviysmittaukset.....	45
7.5	Pääväylän jakavan ja kantavan kerroksen levykuormituskokeet	45
7.6	Ramppien kantavuusmittaukset.....	47
8	Arviointi	47
8.1	Tulosten arviointi	47
8.2	Mittausten arviointi.....	48
8.3	Materiaalien vaatimukset	49
9	Pohdinta.....	49
	Lähteet.....	50

Liitteet

Liite 1	Vt6:n jakavan kerroksen levykuormituskokeiden tulokset
Liite 2	Vt6:n kantavan kerroksen levykuormituskokeiden tulokset
Liite 3	Vt6:n Suodatinkerroksen tiiviysmittausten tulokset
Liite 4	E2:n Ramppien levykuormituskokeiden tulokset
Liite 5	E3:n Ramppien levykuormituskokeiden tulokset
Liite 6	E4:n Ramppien levykuormituskokeiden tulokset
Liite 7	E5:n Ramppien levykuormituskokeiden tulokset
Liite 8	E6:n Ramppien levykuormituskokeiden tulokset

Lyhenteet ja käsitteet

Asfalttibetoni (AB)

Asfaltti, jonka rakeisuuskäyrä on jatkuva ja jonka sideaineen tunkeuma 25 °C:ssa on alle 250 [0,1 mm].

Hienoaines

Maa-aines, jonka raekoko on alle 0,06 mm.

Hiekka (Hk)

Luonnossa esiintyvä kivennäismaalaji, jonka raekoko on geoteknillisen maalajiluokituksen mukaan 0,06...2,0 mm.

Kivimastikiasfaltti (SMA)

Asfaltti, jonka pääosan muodostaa karkea, lähes tasarakeinen murskattu kiviaines. Karkean aineksen muodostaman kiviainesrungon tyhjätilan täyttää stabiloitu mastiksi.

Kuormituskertaluku (KKL)

Kuormituskertaluvulla kuvataan liikenteen aiheuttamaa rasiusta tietyssä kohdassa tapahtuvien standardiakselien ylityskertojen lukumäärällä. Standardiakseli on 100 kN painava yksittäinen paripyöräakseli.

Kuormitusluku (KL)

Kuormitusluokka asettaa tierakenteelle tavoitekantavuuden ja päällysrakenteen vähimmäispaksuuden. Kuormitusluokka saadaan tien kaistakohtaisen kuormituskertaluvun perusteella. Kuormitusluokkia on seitsemän erilaista KL 0,1; 0,4; 0,8; 2,0; 6,0; 8,0; 10,0 ja 25,0.

Muodonmuutosmoduuli (E)

E-moduuli kuvaa kuormituksen perusteella tapahtuvaa rakenteen taipumaa, joka määritellään rakenteen pinnalta yleisimmin levykuormituskokeella tai pudotuspainolaitteella.

Sora (Sr)

Luonnossa esiintyvä kivennäismaalaji, jonka raekoko on geoteknillisen maalajiluokituksen mukaan 2,0...60,0 mm.

Soramurske (SrM)

Sorasta, kivistä tai lohkareista murskattua kiviainesta, jossa on sekä kokonaan että osittain murtopintaisia rakeita ja jossa voi olla täysin luonnonpintaisia rakeita.

Tiivysaste

Rakenteesta mitatun kuivatilavuuspainon suhde laboratoriossa määritettyyn kuivatilavuuspainon maksimiin.

Tiiviyssuhde

Levykuormituskokeella tai pudotuspainolaitteella määritetyn toisen kantavuusarvon (E_2) suhde ensimmäiseen kantavuusarvoon (E_1).

1 Johdanto

Suomessa tieverkko muodostuu valtion omistamista maanteistä, kuntien omistamista kaduista sekä yksityisten ylläpitämistä yksityisteistä. Maantieverkon ylläpitämisestä vastaa Liikennevirasto yhdessä paikallisten Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten kanssa.

Laadunvarmistuksella on suuri merkitys tierakentamisessa, sillä mahdollisia työnaikaisia virheitä on vaikeaa ja kallista jälkikäteen korjata, kun tie on auki liikenteelle. Tierakentamisen suunnitteluun ja toteuttamiseen on julkaistu paljon ohjeita ja oppaita, joissa on paljon viittauksia eri standardeihin ja muihin julkaisuihin. Näiden ohjeiden tulkitseminen on aikaa vievää, kun joudutaan keräämään tietoa useasta eri julkaisuista samaan aikaan.

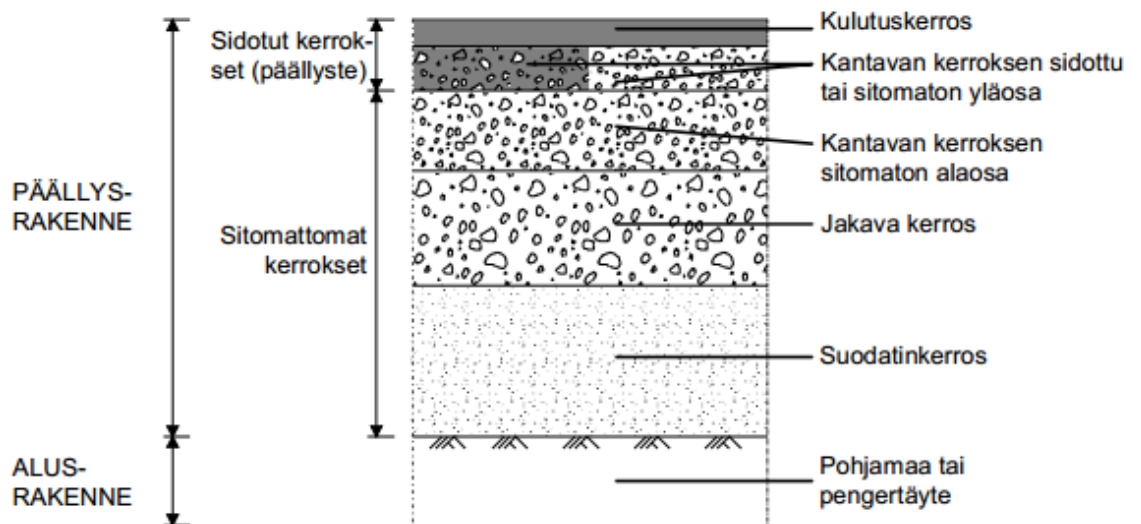
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota yhteen tierakentamisen laadunvalvonnan kulku ja siinä käytettävät menetelmät ja tutkimukset. Tässä työssä on keskitytty ainoastaan ns. joustavaan päällysrakenteeseen liittyviin yleisiin laatutekijöihin. Sidottuihin kerroksiin, kuten asfaltteihin liittyvät laatutekijät on haluttu rajata pois tästä opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyön lopussa on esitelty Joensuun Kehätiellä suoritettuja tärkeimpiä laadunvalvontamittauksia sekä kantavuus- ja tiiviysmittauksiin liittyviä ongelmia. Tämä opinnäytetyö auttaa tierakentamista toteuttavia tahoja ymmärtämään laadunvalvontaa ja sen merkitystä.

2 Tierakenteet ja kerrokset

Tierakenne koostuu pohjalla olevasta alusrakenteesta, sekä rakennekerroksista muodostuvasta päällysrakenteesta. Alusrakenteen tehtävä on muodostaa alusta päällysrakenteelle, mikä rakennetaan alusrakenteen päälle ja sen tehtävänä on ottaa vastaan liikenteen ja ympäristön aiheuttamat rasitukset sekä jakaa ne alusrakenteelle. [1, s. 11.]

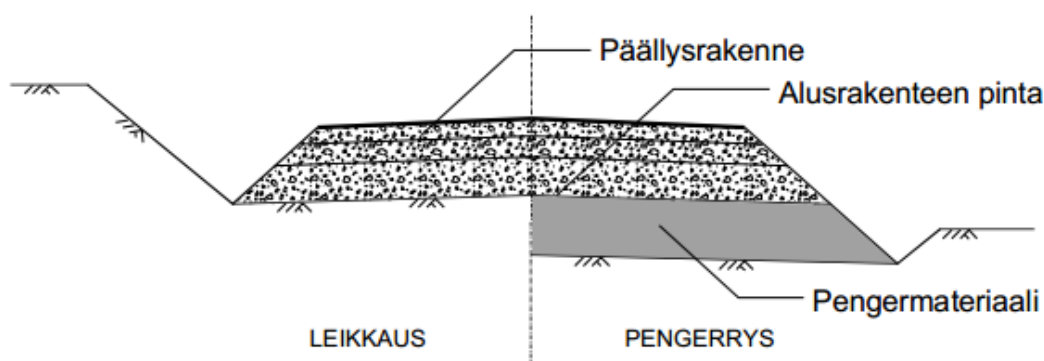
Suomessa yleisimmin käytetty päällysrakennetyyppi on ns. joustava päällysrakenne (kuva 1). Se koostuu suodatinkerroksesta, jakavasta kerroksesta, kantavasta kerroksesta sekä kulutuskerroksesta. Päällysrakenne voidaan jakaa myös sidottuihin ja sitomattomiin kerroksiin. Bitumilla sidotuista kerroksista puhuttaessa tarkoitetaan asfaltteja. [1, s. 11–12.]



Kuva 1. Tien rakennekerrokset [2, s. 4]

2.1 Alusrakenne

Päällysrakenne voidaan rakentaa joko pohjamaan varaan tai pengertäytyteeseen (kuva 2). Tien tasauksen ollessa pohjamaata ylempänä käytetään pengerrakennetta. Tasauksen ollessa leikkauksessa rakennetaan tie pohjamaan varaan. Alusrakenteen pinnalla tarkoitetaan siis penkereen yläpintaa tai leikatun pohjamaan pintaa. [2, s. 3.]



Kuva 2. Tierakenne [2, s. 3]

2.2 Sitomattomat kerrokset

2.2.1 Suodatinkerros

Suodatinkerros rakennetaan yleensä hiekasta. Sen tehtävänä on estää päällysrakenteen ja alusrakenteen materiaalien sekoittuminen keskenään. Lisäksi sen tulee katkaista veden kapillaarinen nousu pohjamaasta ylempiin rakennekerroksiin ja vähentää roudan tunkeutumista alusrakenteeseen. [1, s. 12.]

2.2.2 Jakava kerros

Jakavan kerroksen tehtävä on välittää liikennekuormitukset alemmille kerroksille. Jakava kerros lisää rakenteen kantavuutta ja hidastaa roudan tunkeutumista maapohjaan. Lisäksi jakava kerros läpäisee ylemmistä kerroksista rakenteeseen pääsyyttä vettä ja tarvittaessa johdattaa vedet pois rakenteesta. Eten-

kin jos suodatinkerrosta ei ole, tulee jakavan kerroksen katkaista veden kapillaarinen nousu kantavaan kerrokseen. Yleensä jakava kerros rakennetaan luonnonsorasta. [3, 11130.]

2.2.3 Kantava kerros

Kantava kerros ottaa vastaan liikenteen aiheuttamia kuormituksia ja muodonmuutoksia sekä jakaa ne alemmille kerroksille. Kantavan kerroksen tulee läpäistä ylhäältä tulevaa vettä, ilman että kerroksen lujuus heikkenisi. Kantava kerros toimii alustana päällysteelle. Sitomaton kantava kerros rakennetaan yleensä sora- tai kalliomurskeesta. [3, 11120.]

2.3 Sidotut kerrokset

Sidotuilla kerroksella tarkoitetaan materiaaleja, jossa kiviaines on sidottu sideaineella, kuten bitumilla. Bitumilla sidottuja kerroksia eli asfaltteja on erilaisia ja niiden käyttötarkoitus riippuu kerroksen sijainnista tierakenteessa sekä liikenteen aiheuttamasta rasituksesta. Sidottu kerros voidaan tehdä myös hydraulisesti sitomalla, jolloin sideaineena käytetään yleensä sementtiä, masuunihiekkaa tai näiden yhdistelmää. Taulukossa 1 on esitetty yleisimmin käytettyjä asfalttityyppejä, sekä niiden käyttökohteita. [1 s. 12–13.]

Taulukko 1. Asfaltit ja niiden käyttökohteet [1 s. 13]

Asfalttityyppi	Lyhenne	Käyttökohte
Asfalttibetoni	AB	
- Kulutuskerroksen asfalttibetoni	AB	Liikennemäärältään eriluokkaiset tiet lukuunottamatta kaikkien suurimpia liikennemääriä
- Sidekerroksen asfalttibetoni	ABS	Tiet, missä on erittäin paljon raskasta liikennettä
- Kantavan kerroksen asfalttibetoni	ABK	Asfalttipäällysteiset tiet lukuunottamatta vähäliikenteisiä teitä
Kivimastiksiasfaltti	SMA	Kulutuskerros teillä, missä liikennemäärät ovat suuria
Pehmeä asfalttibetoni	PAB	Kulutuskerros alemman luokan teillä Kaksi alatyyppeä: PAB-B (entinen kevyt asfalttibetoni eli KAB) ja PAB-V (öljysoran kaltainen)
Bitumistabilointikerros	BST	Kantava kerros

3 Laadunvalvonta ja raportointi

Urakoitsijalla on päävastuu laadunvarmistuksen tekemisestä. Urakoitsijan on esitettävä käyttämiensä materiaalien soveltuvuus ja osoitettava rakenteen vastaavan suunniteltua.

Liikennevirasto on laatinut ohjeen Urakoitsijan laaturaportointi, jotta urakoitsija tietäisi milloin ja missä muodossa raportoinnin tulee tapahtua. Ohjetta käytetään laadun raportoinnin vaatimuksena Liikenneviraston urakoissa. Taulukossa 2 on esitetty rakentamisen aikaiset raportointitavat, raportoitavat asiat sekä milloin raportoinnin tulee tapahtua.

Raportoinnin painopistettä on pyritty siirtämään urakan loppuvaiheista aikaisempiin vaiheisiin, jolloin rakennusosat valmistuvat. Työmäärä ja kiire vähenevät urakan lopussa sekä mahdolliset laatuvaatimusten tulkintavirheet paljastuvat riittävän ajoissa. [4 s.21.]

Taulukko 2. Raportointitavat rakentamisen aikana [4 s.14]

Raportointitapa	Mitä koskee ja tavoite	Raportoittavat asiat	Raportointiaika
Esiraportointi	Työ- ja laatusuunnitelman sekä rakennussuunnitelman ne kohdat, jotka ovat laadun varmistuksen kannalta tärkeimpiä ja herkimpiä.	Työsuunnitelma, laatusuunnitelma, rakennussuunnitelma, eräät materiaalihankinnat, ym.	2 pv - 2 vko ennen työn/työvaiheen aloittamista. Määritetty rakennusosittain
Pikaraportointi	Maahan peitetyt rakennusosat	Lopputuotteen kannalta herkimät ominaisuudet.	1 – 3 vrk työvaiheen tekemisestä
Osaraportit	Tärkeimmät rakennusosat, raportointi <u>VALMIISTA</u> rakennusosista valitulla paaluvälillä	Lopputuotteen ja kustannusten kannalta herkäät ominaisuudet	Urakan raportointitai maksu-aikataulun mukaan
Loppuraportti	Kootaan pika- ja osaraportit sekä muiden rakennusosien laatumittausten tiivistelmät. Osoitetaan, että ne kattavat koko hankkeen.	Kaikki rakennusosat	Koko työn ajan. Valmis normaalisti 2 vko ennen urakan luovuttamista
Takuuajan raportointi	Osoitetaan lopputuotteen takuuaikainen laatu.	Lopputuotteen ja kustannusten kannalta herkäät ominaisuudet	Liitetään myöhemmin urakan loppuraporttiin

3.1 Esiraportointi

Ennen työvaiheen aloittamista urakoitsijalla tulee olla riittävät lähtötiedot ja suunnitelmat, joilla osoitetaan tilaajalle ne toimintatavat ja keinot, joilla urakka voidaan toteuttaa vaatimusten mukaisesti. Esiraportointiin sisältyy laatusuunnitelmat, työsuunnitelmat, rakennussuunnitelmat, eräät materiaalihankinnat yms. Esiraportoinnilla pyritään välttämään virheet, jotka myöhemmin saattavat edellyttää jopa rakenteen purkamista. [4 s. 18]

Työvaihekohtaisessa työsuunnitelmassa urakoitsija määrittelee ja kuvaa tilaajalle mm. työssä käytettävät resurssit, kapasiteetit ja kaluston, työtavat ja työvaiheet yksityiskohtaisesti kuvattuna, työaikataulun, sekä työ- ja liikenneturvallisuuden liittyvät asiat. [4 s. 18]

Työvaihekohtaisessa laatusuunnitelmassa kuvataan laadunvarmistuksen toimenpiteet, laatuvaatimukset, sekä laadunvarmistuksen ja toiminnan dokumentointi. Työvaihekohtaisiin laatusuunnitelmiin on sisällytettävä mm. seuraavat asiat: yleiskuvaus työvaiheen suorituksesta (ellei erillistä teknistä työsuunnitelmaa ole laadittu), työnaikainen laadunvarmistus, kelpoisuuden osoittaminen, joka perustuu suunnitelmassa esitettyihin lopputuotteen laatua koskeviin vaatimuksiin, sekä turvallisuussuunnitelmien laatiminen ja dokumentointi.

Työvaihekohtainen työsuunnitelma ja laatusuunnitelma voidaan yhdistää yhdeksi asiakirjaksi. Lisäksi vaativista työvaiheista, kuten esim. kaivantojen tukemistöistä, vaativista pohjanvahvistustöistä, poraus- ja louhintatöistä laaditaan laajempi tekninen työsuunnitelma. [4 s. 18]

3.2 Pikaraportointi

Pikaraportointia käytetään, kun jokin rakenneosaa peitetään heti laadunvarmistamisen jälkeen. Pikaraporttiin kirjataan lyhyitä toteamuksia ja valokuvia, esim. ”Paaluvälin 3100...3250 leikkauspohjan laatu, leveys ja taso oli vaatimukset täyttävä” ja sen perässä valokuva leikkauspohjasta. Pikaraportissa tulee olla raportin nimi, raportointipäivämäärä ja merkintä, mitä kohtaa tieto koskee. Valokuvissa pitää olla sijainti mittalinjalla tai koordinaatteina sekä päivämäärä. [4 s.19]

3.3 Osaraportit

Kun urakoitsija toteaa jonkin rakennusosan tietyllä osuudella valmiiksi ja tarvittavat mittaukset on tehty, voi urakoitsija antaa osaraportin rakennusosasta. Osaraportit kootaan yhteenvetotaulukoiksi, joista käy ilmi rakenteen ominaisuudet osuuksittain ja laadunvalvontamittausten tulokset. Myös johtopäätökset ja laatu poikkeamat kirjataan osaraportteihin. Urakan maksuaikataulu voidaan sitoa osaraportteihin. [4 s. 20]

3.4 Loppuraportti

Loppuraportti laaditaan yleensä koko urakasta. ”Urakoitsija koostaa osaraportit sekä mittaustiedot niistä rakennusosista, jotka eivät ole osaraportoinnin piirissä, loppuraportiksi” [4 s.21]. Loppuraportin avulla urakoitsija osoittaa tilaajalle mihin vaiheeseen rakenteet jäivät töiden valmistumishetkellä. Loppuraportti laaditaan rakennusosittain ja siinä esitetään yhteenvedona rakenteen kelpoisuus, mittaus-ten kattavuus ja poikkeamat. [4 s.21]

3.5 Laatukansio

Yleensä maarakennustöistä urakoitsija tekee laatukansion, joka annetaan tilaajalle urakan päätyttyä. Laatukansiolla urakoitsija todentaa töiden laadun ja samalla se toimii laadun arkistointivälineenä. Laatukansio sisältää mm. työ- ja laatusuunnitelmat, rakennussuunnitelmat, pikaraportit, poikkeamaraportit ja korjaussuunnitelmat, käytettyjen materiaalien tiedot, katselmuspöytäkirjat, mittausraportit ja tarkemittaukset. [4 s.17]

Laatukansion sisältö jaetaan rakenneosittain järjestyksessä pohjanvahvistuksesta päällystystöihin. Laatukansion sisällysluettelona voi käyttää esim. Infra-RYL:n nimikkeistöä. [4 s.17]

4 Laboratoriotutkimukset

Rakennuttaja voi edellyttää, että testaukset suorittaa PANK-hyväksytty testausorganisaatio. PANK-hyväksyntä on asfaltti-, bitumi- ja kiviaineslaboratorioiden hyväksyntämenettely, jolla myönnetään pätevyys tehdä SFS-EN-standardien ja PANK-menetelmien mukaisia testauksia ja mittauksia.

Tierakentamisessa laboratorioissa tehtävät tutkimukset liittyvät pääasiassa kiviainestutkimuksiin ja asfalttimassojen testauksiin. Taulukossa 3 on esitetty yleisimmät tierakentamisessa tarvittavat kiviainesten testausmenetelmät.

Taulukko 3. Kiviainesten EN-standardien mukaiset testausmenetelmät

Testausmenetelmä	Standardi
Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä	SFS-EN 933-1
Raemuodon määrittäminen. Litteysluku	SFS-EN 933-3 +A1
Murtopintaisten rakeiden osuus karkeassa kiviaineksessa	SFS-EN 933-5
Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät (LA-luku)	SFS-EN 1097-2
Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa	SFS- EN 1097-5
Kiintotiheyden ja vedenimeytymisen määrittäminen	EN 1097-6
Nastarengaskulutuskestävyyden määrittäminen	EN 1097-9

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tarkemmin maalajin rakeisuuden määrittämiseen käytettävät seulontamenetelmät, sekä kuivatilavuuspainon maksimin määrittämiseen käytettävä proctor-kokeen suoritus.

4.1 Maalajin rakeisuuden määrittäminen

Rakeisuuden määrittäminen on tärkeää sillä siitä voidaan päätellä paljon maan aineen ominaisuuksista ja sen avulla tehdään myös kivennäismaalajien nimeäminen. Raekoostumus määritetään karkearakeisten maalajien (hiekkä ja sora) osalta seulomalla. Kuivaseulonta yleensä riittää, mutta mikäli maalaji sisältää paljon hienoainesta käytetään pesuseulontaa. Hienoimman seulan aukkokoko on 0,063 mm. Tätä hienompien aineiden raekoko selvitetään esimerkiksi areometrimenetelmällä. [11,s.7.]

4.1.1 Kuivaseulonta

Seulontaa varten on otettava näyte, joka toimitetaan laboratorioon tukittavaksi. Näyte punnitaan luonnonkosteana, minkä jälkeen se kuivataan uunissa noin 105 asteen lämpötilassa. Kuivatuksen jälkeen näyte punnitaan uudestaan, jonka perusteella voidaan laskea myös maalajin kosteusprosentti. [10,s.16]

Nykyisin seulonta tehdään standardin SFS-EN 933-2 mukaisella perusseulasarjalla, jonka aukkojen nimelliskoot (# mm) ovat 125; 63; 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 ja 0,063. Lisäksi perusseulasarjaa voidaan täydentää lisäsarjoilla. [11,s.7.]

Kuivattu näyte asetetaan seulasarjan päälle ja seulasarja kansineen kiinnitetään tärytinlaitteeseen. Tärytysajaksi asetetaan vähintään 10 minuuttia, jotta pienimmätkin rakeet ehtivät mennä omiin väleihinsä. Tärytyksen jälkeen jokaisen seulanpohjalle jäänyt ainemäärä punnitaan ja muutetaan prosenteiksi koko näytteestä. Rakeisuuskäyrää varten lasketaan vielä kunkin seulan läpäisyprosentti. [10,s.17.]

4.1.2 Pesuseulonta

Kun maalaji sisältää karkeiden rakeiden lisäksi paljon hienoainesta, ei kuivaseulonta ole enää luotettava. Hienoaineksella tarkoitetaan ainesta, jonka raekoko on alle 0,06 mm. Pienet rakeet tarttuvat niin tiukasti toisiinsa ja isompiin rakeisiin kiinni, etteivät ne irtoa tärytyksessä. Maalajin routivuutta arvioitaessa on tärkeää saada tarkat tuloksen hienoimpien seulojen läpäisyprosentteista. [10, s.29.]

Pesuseulonnassa kuivattu näyte punnitaan ja asetetaan esimerkiksi pesuvahtiin, johon sekoitetaan vettä runsaasti. Sen jälkeen likaantunut vesi kaadetaan 0,063 mm seulan läpi pois. Menettelyä toistetaan niin kauan kunnes vesi on kirkasta. Tämän jälkeen seulalla ja pesuvadissa oleva aines yhdistetään, kuivataan ja punnitaan. Pesutappiona on siis poistunut raekooltaan < 0,063 mm

aines. Läpäisyprosentteja laskettaessa pesutappio lisätään 0,063 mm seulan läpäisseeseen aineeseen. [10, s.29]

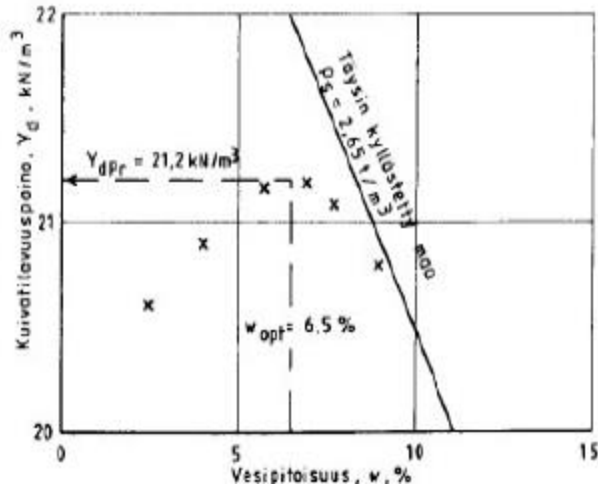
4.2 Proctor-koe

Kuivatilavuuspainon maksimin määrittämiseen käytetään perinteisesti ns. parannettua proctor-koetta, jota nykyään usein nimitetään pelkästään proctor-kokeeksi. Kokeen on kehitellyt 1930-luvulla Proctor-niminen insinööri, jonka tavoitteena oli määrittää laboratoriokokeella, mikä kuivatilavuuspaino oli työmaalla saavutettavissa ja millä kosteusprosentilla se onnistuisi. [10,s.54]

Nykyisin proctor-koe suoritetaan automaattisella proctor-sulloimella, jossa kasteltu näyte tiivistetään koesylinterissä 5 kerroksessa. Kutakin kerrosta juntataan pudotusvasaralla 25 iskulla. Näin ollen iskujen kokonaismäärä on 125. Vasaran annetaan pudota halkaisijaltaan 50 mm:n aluskappaleeseen, jota pidetään näytteen pintaa vasten. Aluskappaleen paikkaa vaihdetaan näytteen päällä jokaisen iskun jälkeen. Viimeisen kerroksen tiivistyksen jälkeen teräsviivaimella poistetaan liika-aine koesylinterin pinnalta. [10,s.54–55.]

Näyte punnitaan tilavuuspainon laskemista varten ja lisäksi osa näytteestä otetaan kuivatukseen tarkan vesipitoisuuden määrittämiseksi. Koe toistetaan kokeillen eri vesipitoisuuksia, jotta löydettäisiin ns. optimivesipitoisuus jolla tiivistyö saa aikaan kuivatilavuuspainon maksimin. [10,s.55.]

Tulokset kuvataan pisteinä koordinaatistossa, jossa kuivatilavuuspaino on pystyakselilla ja vesipitoisuus vaaka-akselilla. Tämän jälkeen pisteet yhdistetään käyräksi (kuva 3), jolloin havaitaan maa-aineksen optimivesipitoisuus, jolla kokeessa saavutetaan suurin kuivatilavuuspaino. [10,s.55.]



Kuva 3. Esimerkki proctor-kokeen tuloksista [10,s.55]

5 Kenttätutkimukset

Päällysrakenteisiin liittyviä kenttätutkimuksia ovat mm. kantavuus ja tiiveysmittaukset, näytteenotot, sekä tarkemittaukset. Kantavuus ja tiiviyys käsitteenä ovat hieman moniulotteisempia asioita, ainakin kahteen viimeisimpään verrattuna. Siksi niistä on kerrottu seuraavissa kappaleissa tarkemmin.

5.1 Kantavuus käsitteenä

Tierakentamisessa kantavuudella tarkoitetaan rakenteen kykyä vastustaa muodonmuutosta rakennetta kuormittaessa. Kantavuuden ilmaisemiseen käytetään näennäistä kimmokerrointa eli E-moduulia. E-moduuli kuvaa kuormituksen perusteella tapahtuvaa rakenteen taipumaa, joka määritellään rakenteen pinnalta yleisimmin levykuormituskokeella tai pudotuspainolaitteella. [4 s. 12]

5.2 Levykuormituskoe

Levykuormituskoe on luultavasti ensimmäinen teiden kantavuuksien mittaamiseen kehitetty mittaustapa. Suomessa sen käyttö on aloitettu 1950-luvulla. Levykuormituskoe on luonteeltaan staattinen mittausten menetelmä. [4 s. 16]

Levykuormituslaitteistoon kuuluu hydraulinen tunkki, kuormituslevy, 1-3 kpl mittausantureita, sekä mittausanturin tukikehikko. Levykuormituslaitteita on kahdenlaisia, vanhemmissa laitteissa mittaus tapahtuu kolmella kellolla, jotka on sijoitettu kuormituslevyn kehälle 120 ° välein. Nykyaikaisemmassa laitteistossa (kuva 4) on vain yksi mittakello, joka sijoitetaan kuormituslevyn keskelle.



Kuva 4. Yhdellä mitta-anturilla varustettu levykuormituslaitteisto

Levykuormituskokeessa mitataan tierakenteen painumaa kuormituslevyn alta. Levyn halkaisija on tavallisesti 300 mm ja painumaa tarkkaillaan mittakellon avulla. Tarvittava kuormitus saadaan aikaiseksi hydraulisella tunkilla, jonka vastapainona toimii kauhakuormaaja, kuorma-auto tai vastaava. Kuormitusta nostetaan 10 kN kerrallaan, yleensä 60 kN:iin asti ja syntyneet painumat kirjataan ylös, kun painumisnopeus on hidastunut alle 0,01 mm/min:ssa. Vaihtoehtoisesti kuormitus nostetaan suoraan 60 kN:iin ilman väliportaita, mutta tällöin eri syvyyksissä tapahtuvien painumien vertailu ei ole mahdollista. [4 s. 16.]

Levykuormituskoe suoritetaan kahteen kertaan samalle tutkimuskohdalle, joista ensimmäisellä kuormituskerralla saatua kantavuusarvoa merkitään alaindeksillä 1 (E_1) ja toisella kuormituskerralla saatua alaindeksillä 2 (E_2). Lopputuloksena saadaan kantavuusarvoksi suurimmalla kuormituksella käytetty E_2 -arvo. [4 s. 16.]

Lisäksi levykuormituskokeella voidaan tarkastella sitomattomien kerrosten tiiviyssuhdetta (E_2/E_1). Tiiviyssuhde kertoo kuinka paljon ensimmäinen kuormitus tiivistä tukittua kohtaa ja tästä voidaan päätellä onko tiivistystyö ollut riittävää. [4 s. 18]

Kantavuusarvon (E_2) laskeminen perustuu Boussineq'n teorian mukaiseen laskenta malliin [4, s. 17–18].

$$s = r - (1 - \nu^2) \frac{p \cdot a}{E} \quad (1)$$

missä s = painuma [mm]

r = kerroin, jonka arvo on $\pi/2$, jos levyn oletetaan olevan jäykkä

ν = Poisson-luku

p = kosketuspaine [kPa]

a = kuormituslevyn säde, m

E = kimmomoduuli, [Mpa]

Ratkaistaessa yhtälö kimmomoduulin suhteen saadaan levykuormituskokeen kantavuusarvon laskentakaava.

$$E = r(r - \nu) \cdot \frac{p \cdot a}{s}$$

$$E = k \cdot \frac{p \cdot a}{s}$$

$r(r-v)$ voidaan merkitä kertoimella k , joka on riippuvainen Poissonin luvun arvosta, sekä levyn jäykkyydestä. Yleisesti k :n arvona käytetään 1,5:tä, jolloin yhtälö tulee muotoon:

$$E = 1,5 \cdot \frac{p \cdot a}{s}$$

Levykuormituskokeen etuna on sen laaja kokemusperäinen tieto mittaustulosten ja rakenteiden käyttäytymisen välillä. Yksi kuormitus kestää arviolta noin 2 minuuttia, riippuen rakenteen painumisnopeudesta [4 s.18].

Levykuormituskoetta tehtäessä tulee varmistua kuormitettavan alustan tasaisuudesta. Pienikin kohouma aiheuttaa suuren mittausvirheen. Jos tavoitekantavuudeksi on annettu esimerkiksi $E_2 \geq 160$ Mpa. Tarkoittaa se, että 300 mm kuormituslevy saa painua 60 kN maksimikuormalla 1,2 mm. Tasaushiekan käyttö levyn alla on siis lähes aina suotavaa. Tasauksen jälkeen, ennen varsinaista kuormitusta levyä kuormitetaan noin 3 kN esikuormalla.

Levykuormituskokeen kuormitus vaikuttaa rakennekerroksista riippuen vajaan metrin syvyyteen saakka. Myös syvemmällä olevat kerrokset kokoonpuristuvat hieman, mutta niiden osuus rakenteen pinnan painumasta on vähäinen. [6 s. 28]

Mittaustuloksista on hyvä kirjoittaa muistiin ainakin seuraavat tiedot:

- päivämäärä
- kohteen tiedot ja paaluluku, etäisyys reunasta / ajorata tms.
- mitattava kerros ja kerroksen materiaali
- käytetty kuorma (40 kN vai 60 kN)
- painumat 10 kN välein tai suurin painuma, joista lasketaan E_1 , E_2 , sekä tiiviyssuhde E_2/E_1
- muut huomiot esim. alustan tasaisuus ja kosteustila

5.3 Loadman-pudotuspainolaitteet

Suomalaisen AL-Engineering Oy:n kehittämät Loadman-pudotuspainolaitteet ovat luonteeltaan dynaamisia kantavuuden mittausmenetelmiä, joilla pyritään simuloimaan liikenteen aiheuttamaa kuormitusta [6 s. 29].

Loadman FWD eli Heavy Loadman on perävaunuun tai pakettiauton sisätiloihin asennettava pudotuspainolaite. Laitteen mittausperiaatteena on, että vapaasti putoavan painon aiheuttama painuma mitataan pohjalevyn keskellä sijaitsevan kiihtyvyyssanturin avulla. Kuormituslevynä käytetään halkaisijaltaan 300 mm teräslevyä. Pudotuspainon pudotuskorkeutena on 700 mm. Kuormitusvoima on 50 kg pudotuspainolla noin 50 kN ja mittausimpulssin kesto noin 25–30 ms. Kiihtyvyyssanturin mittaustulos integroidaan taipumaksi, jonka avulla lasketaan kimmomoduulin arvo E. [5 s. 19–20; 6 s.27–30.]

Kannettava Loadman-pudotuspainolaite on kehitetty sellaisiin kohteisiin, joihin muilla yleisesti käytetyillä mittauslaitteilla ei päästä. Laite soveltuu ohuiden kerrosten ja rakenteiden kantavuus- ja tiivismittauksiin. Laitteen mittaussyvyys on keveytensä takia noin 300–500 mm, riippuen pohjalevyn halkaisijasta. Mitä suurempi mittauslevyn halkaisija on sitä suurempi laitteen tehollinen mittaussyvyys (Boussineq'n teoria). [6 s. 29–30.]

Kannettavan Loadmanin mittausperiaate on sama kuin Heavy Loadmanissa. Laitteessa oleva 10 kg:n pudotuspaino pudotetaan 800mm korkeudesta, kuormituslevyn halkaisijan ollessa 132, 200 tai 300 mm. Mittausimpulssin kesto on noin 25–30 ms. Lisäksi painon pohjaan on sijoitettu kumivaimennin, jonka avulla voidaan säätää kuormituksen suuruutta. [6 s. 29–30.]

Loadman-laitteen yläosaan on sijoitettu mittauselektroniikka, joka laskee automaattisesti E-moduulin ja ilmoittaa kuormituksen aiheuttaman painuman. Laitteen alaosaan on asennettu voima-anturi, jolla voidaan tarkkailla kuormituksen suuruutta. [6 s. 30.]

Mittauksessa laite asetetaan pystysuoraan mitattavalle pinnalle, painetaan käsin, siten että laitteen pohjalevy asettuu tasaisesti alustalle. Tarvittaessa käyte-

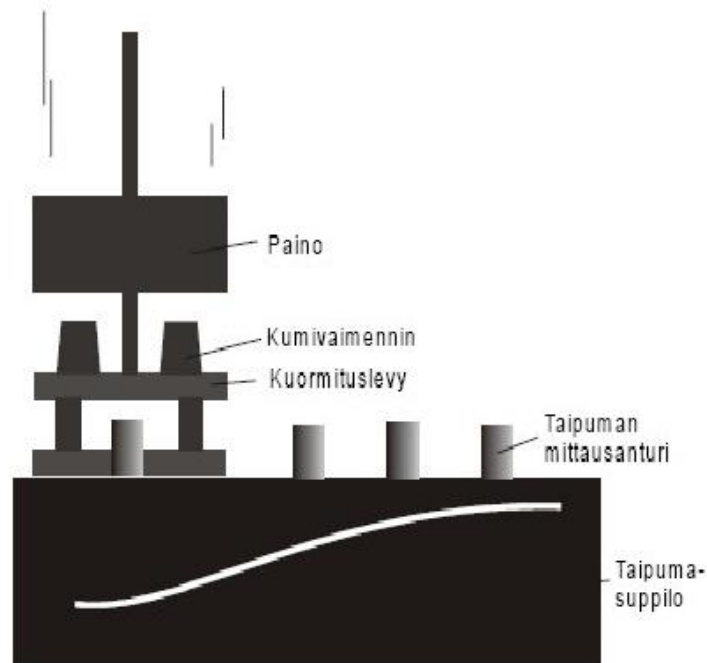
tään tasaushiekkää tai hierotaan alusta tasaiseksi. Painon pudotus tapahtuu nappia painamalla ja tulos ilmestyy välittömästi näytölle. Tulos kirjataan ylös tai tallennetaan laitteen muistiin. Mittaus toistetaan samasta kohdasta niin kauan kunnes saadaan suurin kantavuus (E_{max}). Kokemusten perusteella tarvittavien pudotusten lukumäärä on noin 3-6 kpl. [7, s.1-4.]

Mittaustuloksista kirjoitetaan muistiin seuraavat tiedot:

- päivämäärä
- kohteen tiedot ja paaluluku, etäisyys reunasta / ajorata tms.
- mitattava kerros
- alustan laatu
- kaikki mittaustulokset yhdeltä pisteeltä, joista lisäksi ilmoitetaan E_1 , E_{max} , sekä tiiviyssuhde E_{max}/E_1
- muut huomiot esim. alustan tasaisuus, kosteustila [7, s.4.]

5.4 KUAB-pudotuspainolaitteet

KUAB-pudotuspainolaitteissa pudotuspainon aiheuttama taipuma mitataan kuormitus levyn alta, sekä myös useista pisteistä kuormituslevyn sivulta. Näiden mittausten avulla saadaan määritettyä ns. taipumasuppilo (kuva 5). Taipumasuppilon perusteella voidaan takaisin laskea eri kerrosten muodonmuutosmoduulit. [6 s.29].



Kuva 5. Pudotuspainolaitteen toimintaperiaate [8]

KUAB-pudotuspainolaiteissa mittaus tapahtuu seitsemän geofonin avulla, jotka sijaitsevat 300, 450, 600, 900 ja 1200 mm etäisyydellä kuormituslevyn keskipisteestä. Kuormitusominaisuudet ja pohjalevyn koko ovat samanlaiset kuin Heavy Loadmanissa. [6 s.29]

5.5 Tiiviys käsitteenä

Maamateriaalissa on kiviaineksen lisäksi vettä ja ilmaa. Materiaalin tiiviys määräytyy näiden osakomponenttien suhteesta. Mitä enemmän rakenne sisältää kokonaistilavuudesta kiviainesta, sitä tiiviimpää se on. [6 s. 13] Useimmiten rakenteen tiivistilaa tarkastellaan vertaamalla rakennekerroksessa saavutettua tiheyttä laboratorioissa saavutettavaan maksimi kuivairtotiheyteen. Tästä käytetään nimitystä tiiviysaste. [6 s.14]

$$Tiiviysaste = \frac{\rho_d}{\rho_{max}} \quad (2.)$$

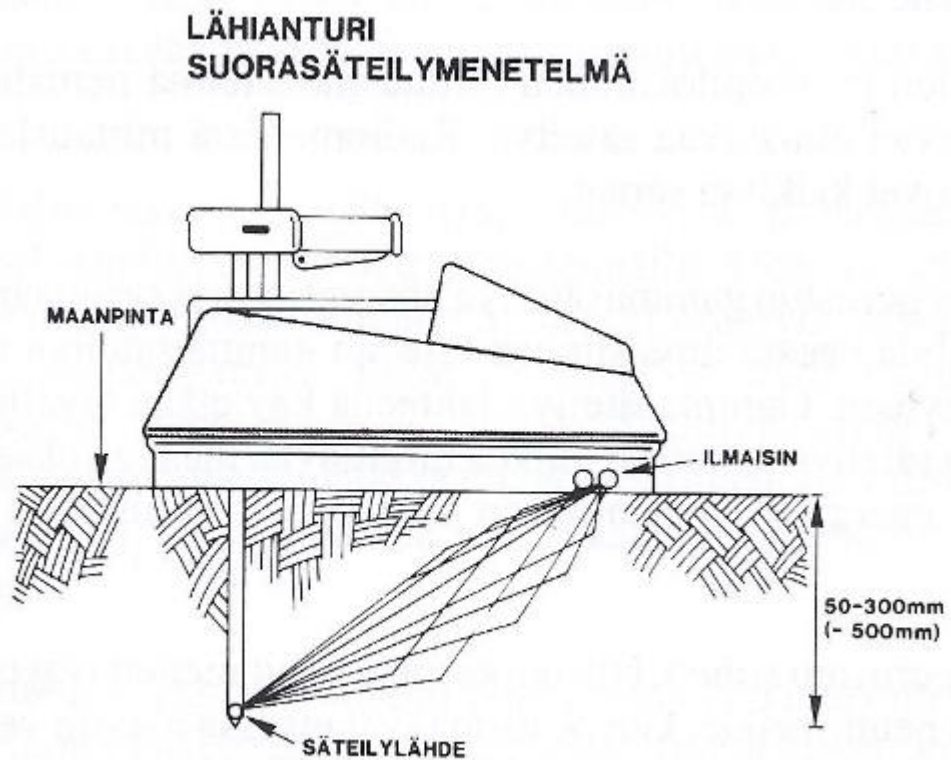
,missä ρ_d = mitattu kuivairtotiheys
 ρ_{max} = maksimi kuivairtoheys

Maksimi kuivairtoteiheys määritetään yleensä laboratoriossa tehtävällä Proctor-kokeella. Proctor-kokeessa maanäyte sullotaan sylinterin muotoiseen muottiin. Koe toistetaan useita kertoja käyttäen eri vesipitoisuuksia. Näin saadaan selville maksimitilavuuspaino ja optimivesipitoisuus eli se vesipitoisuus, jolla materiaali parhaiten tiivistyy. Suomessa on käytössä ns. parannettu Proctor-sullonta (SFS-EN 13286-2).

5.6 Troxler-säteilymittaus

Troxler-säteilymittaus perustuu radioaktiivisen säteilyn kulkeutumiseen mitattavan kerroksen läpi laitteessa olevaan vastaanottimeen. Lisäksi laiteella voidaan määrittää materiaalin vesipitoisuus. Mittaukset voidaan tehdä suoraan rakenteen pinnalta heijastusmittauksin tai syvemmältä rakenteelta suoramittauksin.

Ennen mittausta laite asetetaan referenssialustan päälle ja käynnistetään. Laite suorittaa 5 minuuttia kestävän testin, jonka jälkeen se on mittausvalmiina. Mittaus aloitetaan tekemällä maahan reikä, laitteen mukana tulleella poraustangolla. Pinta tasoitetaan hiertolevyllä, jonka jälkeen laite voidaan asettaa paikalleen. Mittausanturi työnnetään haluttuun syvyyteen, jonka jälkeen laite suorittaa mittauksen. Mittauksen kesto voidaan haluttaessa muuttaa. 60 sekunnin mittauksella päästään yleensä riittävään tarkkuuteen. Kuvassa 6. on periaatekuva troxlermittauksen toiminnasta.



Kuva 6. Säteilymittauksen toimintaperiaate [11]

Laiteella saadaan selville maa-aineksen vesipitoisuus, sekä mitatun kohdan märkätilavuuspaino, joiden perusteella laite laskee mitatun kohdan kuivatilavuuspainon. Saatua kuivatilavuuspainoa verrataan proctor-kokeella saatuun maksimi kuivatilavuuspainoon, josta saadaan määritettyä rakenteen tiivysaste.

Troxler-mittaus soveltuu tierakentamisessa parhaiten pieni- ja tasarakeisten maa-ainesten tiivysmittauksiin. Karkeilla materiaaleilla, joissa rakeiden koko vaihtelee, on mittaus epäluotettavaa, koska mittausanturin ja vastaanottimen väliin voi jäädä yksittäinen suuri kivi, joka voi vääristää mittaustuloksen. Lisäksi suuri rakeisille materiaaleille ei voida määrittää proctor-arvoa, jolloin mittaustuloksia voi verrata vain keskenään.

Mittaustuloksista kirjoitetaan muistiin seuraavat tiedot:

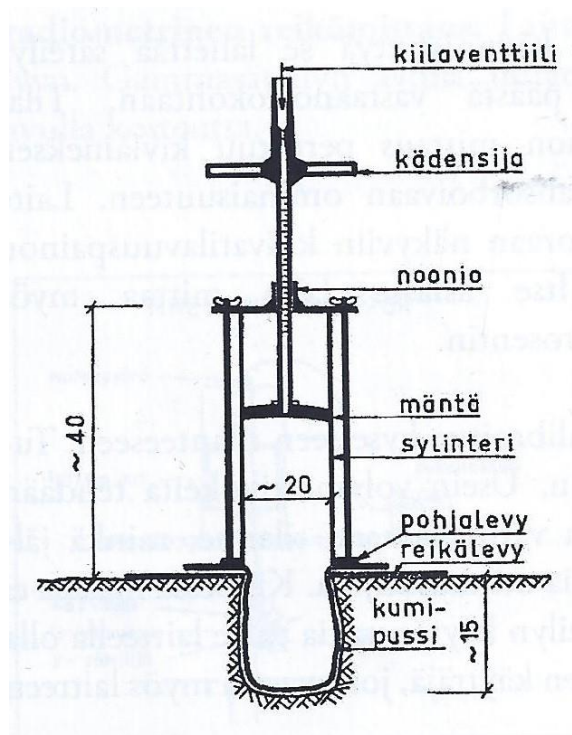
- päivämäärä
- kohteen tiedot ja paaluluku, etäisyys reunasta / ajorata tms.
- mitattava kerros

- mitattu kuivatiheys ja vesipitoisuus, joista lasketaan tiiviysaste [%], lisäksi ilmoitetaan materiaalin vertailuarvo (proctor)
- muut huomiot esim. alustan tasaisuus, materiaalin tasalaatuisuus

5.7 Volymetrit

Volymetrikokeissa tilavuuspaino määritetään niin että kaivetaan kuoppa, josta otetaan talteen kaikki rakeet ja mitataan lopuksi kuopan tilavuus. Vesivolymetrikokeessa kuopan tilavuus mitataan vedellä ja hiekkavolymetrikokeessa hiekalla. [6, s.14]

Vesivolymetrikokeessa kaivettuun kuoppaan laitetaan ohutseinämäinen kumi-pussi, joka täytetään vedellä. Koe aloitetaan tasaamalla maanpinta tutkittavalta kohdalta, jonka jälkeen sen päälle asetetaan pohjalevy, jossa on keskelle mittauslaitteelle sopiva reikä. Vesivolymetri (kuva 7) asetetaan levyn päälle, niin että laitteen mäntä on yläasennossa. Kädensijoista painetaan niin että painemittarin alkulukema on 0,2 bar ja männän varresta luetaan alkukorkeuslukema. Mitään ei tässä vaiheessa ole vielä kaivettu. [6, s.14-15]



Kuva 7. Vesivolymetri [10]

Vesivolymetri nostetaan pois mäntä yläasennossa kaivun ajaksi. Kuoppa kaivetaan n. 20cm syväksi ja pyritään saamaan kaikki liikahtanut aine talteen. Seuraavaksi volymetri nostetaan takaisin paikalleen, jolloin kumipussi laskeutuu kuoppaan. Mäntää painetaan niin että muodostuu sama 0,2 bar paine, jolloin saadaan loppulukema. Kuopan tilavuus lasketaan korkeuslukemien erotuksen avulla. [6, s.15]

Kaivettu aine kuivataan ja punnitaan. Kuivatilavuus saadaan jakamalla aineen paino kuopan tilavuudella. Lopuksi tätä tulosta verrataan laboratoriossa tehtyyn proctor-arvoon ja määritetään tiiviysaste. [6, s.15]

6 Tierakentamisen yleiset laatuvaatimukset

Tien rakentamiseen liittyvät laatuvaatimukset ja mittaukset on esitetty hankekohtaisissa asiakirjoissa. Lisäksi laatuvaatimuksia on esitetty Tiehallinnon ohjeissa InfraRYL:n osissa 1, 2 ja 3, sekä Tiehallinnon ohjeessa InfraRYL2006 soveltaminen Tiehallinnon töissä. Päälysteiden osalta laatuvaatimukset on esitetty Asfalttinormit 2008 julkaisussa. [4 s.5]

Tähän opinnäytetyöhön on koottu InfraRYL 2010:stä päällysrakenteisiin liittyvät tekniset laatuvaatimukset. Myös maaleikkauksiin liittyvät vaatimukset on esitetty, koska ne liittyvät olennaisesti suodatinkerroksen rakentamiseen. Jokaisesta rakenneosasta on laadittu yhteenveto taulukko, josta käy ilmi rakenneosaan vaikuttavat laatutekijät, niiden vaatimukset, suoritettavien mittausten ja tarkastusten tiheys sekä tarvittava dokumentti.

6.1 Leikkauspohja

Leikkauspohjan yleiset laatuvaatimuksen on esitetty InfraRYL:n kohdassa 16110 maaleikkaukset. Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto leikkauspohjan laatu-tekijöistä sekä tehtävistä tutkimuksista.

Taulukko 4. Leikkauspohjan vaadittavat mittaukset ja tutkimukset

Laatutekijä	Vaatus	Tiheys	Dokumentti
Leikkauspohjan korkeus ja sijainti	Kts. taulukko 4	20m välein	Tarkemittausraportti, (toteumapiirustukset)
Leikkauspohjan tasalaatuisuus ja alusrakenneluokka	Esitetty suunnitelma-asiakirjoissa	Näytteenotot ja ennakkokairaukset 20...100m välein, silmämääräisesti jatkuva	Rakeisuuskäyrät, pohjatutkimusraportti
Leikkauspohjan tila juuri ennen rakennekerroksen tekoa	Ei vesiongelmia, ei löytyneitä maapohjia	Silmämääräisesti jatkuva	Pikaraportti
Suodatinkankaan kelpoisuus	CE-merkintä	Jatkuva	Materiaalitiedot

6.1.1 Leikkauspohjan tasalaatuisuus

Päällysrakennetta mitoittaessa otetaan huomioon alusrakenteen luokka ja tasalaatuisuus. Alusrakenteen luokka määräytyy kelpoisuusluokasta, jossa otetaan huomioon maalajin rakeisuus, routimisominaisuudet ja kantavuus (E-moduuli). Alusrakenteen materiaalin tulee olla samanlaista tai parempaa kuin mille tierakenne on mitoitettu. [9, s. 12; 3, 16110.]

Alusrakenteen materiaalin kelpoisuus ja riittävä tasalaatuisuus voidaan varmistaa kolmella eri tavalla [3, 16110.3.2].

- 1.) Tasalaatuisuus ja alusrakenneluokka on selvitetty ja tierakenne on mitoitettu jo suunnitteluvaiheessa riittäviin tutkimuksiin perustuen. Ennakkokairaukset ja näytteenotot 20..50 m välein

- 2.) Tasalaatuisuutta ei tutkita tai varmenneta vaan tierakenteet mitoitetaan ja tehdään epätasalaatuisten pohjaolosuhteiden vaatimusten mukaisesti. Ennakko kairaukset ja näytteenotot 40...100 m välein
- 3.) Tasa- tai sekalaatuisuus todetaan rakentamisen aikana, jolloin rakenteet mitoitetaan ja rakennetaan havaittujen pohjaolosuhteiden vaatimusten mukaisesti. Jos alusrakenne tasalaatuistetaan, voidaan tierakenne mitoitaa ja tehdä tasalaatuisten pohjaolosuhteiden mukaisesti. [3, 16110.3.2].

Mikäli leikkauspohjan laatu on selvitetty kohdan 1 mukaan, tulee leikkaustyön aikana varmistaa silmämääräisesti että pohjamaa ei ole rakeisuudeltaan selvästi routivampaa kuin suunnitteluvaiheessa on todettu ja ettei leikkauksen pohjassa ole maalajien muutoskohtia tai lohkaraita. Lisäksi todetaan, ettei pohjamaasta virtaa pohjavettä leikkaukseen. [9 s. 14; 3, 16110.3.2].

Mikäli leikkauspohjan laatu on selvitetty kohdan 2 mukaan, varmistetaan leikkaustyön aikana, että ”tasalaatuisten saven sijasta kysymyksessä ei ole kerrallinen savi, jossa savi ja siltti vuorottelevat” [9 s. 14]. Lisäksi varmistetaan, ettei lievästi routivan moreenin tai hiekan sijaan kysymyksessä ei ole hienoainespitoisempi moreeni tai siltti, joiden routanousu voi olla merkittävästi suurempi. Nämä tulee myös huomioida kohdassa 1 [9 s. 14; 3, 16110.3.2].

Mikäli leikkauspohjan laatua ei ole selvitetty ennakkoon (kohta 3), ja halutaan tehdä optimaalinen rakenne, niin tasalaatuisuus tutkitaan työaikana mitoitusroutasyvyyteen asti. Lisäksi työn aikana tutkitaan onko pohjamaassa halkaisijaltaan yli 0,5 m lohkaraita, onko pohjamaassa vettä johtavia maakerroksia tai selviä maalajin vaihtumiskohtia, jotka voisivat aiheuttaa routanousueroja, tutkitaan virtaako tien sivulta vettä tierakenteen alle ja tutkitaan nouseeko kallion pinta mitoitusroutasyvyyden yläpuolelle. [9 s. 14–15]

Lisäksi leikatut maamassat tutkitaan kaikissa kohdissa (1-3) niin, että ne voidaan osoittaa tarkoituksen mukaiseen loppukäyttöön. Leikkauspohjan rakeisuus tutkitaan vähintään keskimäärin 200 m välein tai aina kun maalaji muuttuu. [9 s. 14–15]

6.1.2 Leikkauspohjan tarkkuusvaatimukset

Luisan kaltevuudet ja leikkauksen syvyys tarkistetaan takymetri tai GPS mittauksilla 20 m välein [9 s.11]. Koneautomaatiota käytettäessä voi mittausten tarve olla vähäisempi, sillä kuljettaja voi GPS:n avulla tarkkailla kaivannon syvyyttä ja leveyttä jatkuvasti. Tämä on kuitenkin syytä varmistaa tilaajalta ennen työn aloittamista. Leikkauspohjan tarkemittauksista laaditaan tarkemittausraportti, jossa on esitetty taulukon 4 vaatimukset.

Taulukko 5. Leikkaustöiden tarkkuus ja tasaisuusvaatimukset [3, 16110]

Tarkasteltava rakenne	Tarkkuusvaatimus, mm
Leikkausluiskien taitepisteiden sijainti vaakasuunnassa	0...+ 200
Leikkauspohjan korkeustaso rakennekerrosten alla, yksittäinen poikkeama 1)	0... – 100
Ojan pohjan sijainti vaakasuunnassa	± 150
Ojan pohjan korkeustaso 2)	0... – 100
1) Louhepatjan alla 0 – 200 mm	
2) Ojan pohjalle ei saa syntyä yli 50 mm syviä lammikoita.	

Leikkauksen pohja ei saa millään kohtaa olla suunnitellun korkeuden yläpuolella, eikä siinä saa olla vettä kerääviä painanteita. Lisäksi leikkauspinnan muu tasaisuus todetaan silmämääräisesti ja tarvittaessa myös 3 m:n oikolautaa käyttäen. [3, 16110.5]

6.1.3 Leikkauspohjan tiiviys ja kantavuus

Leikkauspohjan pintakantavuus tulee olla vähintään vastaavan alusrakenneluokan materiaalimoduulin (E-moduulin) suuruinen. Leikkauspohjan tiiveyttä ja pintakantavuutta ei kuitenkaan tarvitse erikseen mitata, vaan silmämääräinen tarkastus riittää. Erityisesti huomiota tulee kiinnittää muokkauksen tai kuljetuksen löyhdyttämiin maapohjiin. Tavoitteena on varmistaa, ettei leikkauspohjalle jää vesiongelmia ja selvittää onko leikkauspohjalla liikennöity. [9 s. 15]

6.2 Suodatinkerros

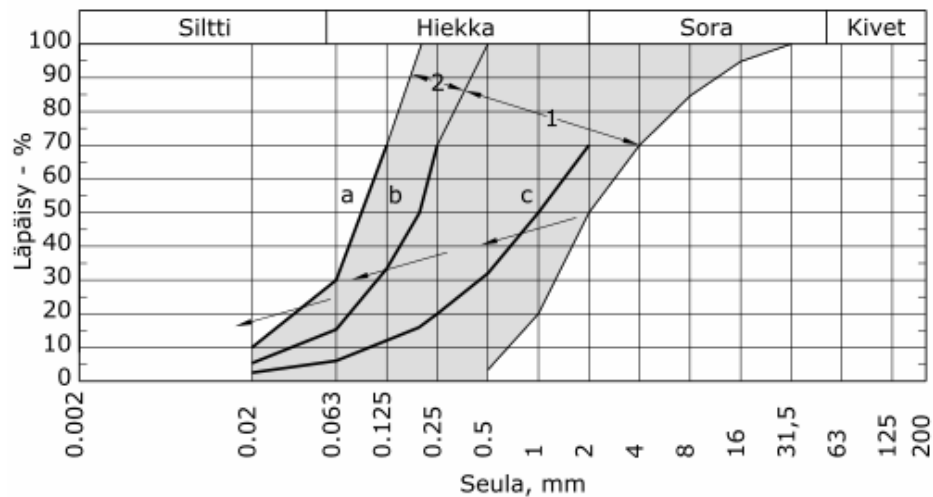
Suodatinkerrosten laatuvaatimuksen on esitetty InfraRYL:n kohdassa 21110 suodatinkerrokset. Taulukossa 6 on esitetty yhteenveto suodatinkerrosten laatu-tekijöistä sekä tehtävistä tutkimuksista.

Taulukko 6. Suodatinkerroksen vaadittavat mittaukset ja tutkimukset

Laatutekijä	Vaatus	Tiheys	Dokumentti
Suodatinkerroksen korkeus ja sijainti	Kts. taulukko 6	20 m:n välein	Tarkemittausraportti, (toteumapiirustukset)
Kiviaineksen rakeisuus	Ohjerakeisuus-alue	5000 t:n välein	Rakeisuuskäyrä
Kiviaineksen hienoa-ainespitoisuus	0,02 mm läpäisy-%, Alue 1: ≤ 5 % Alue 2: 5..10 %	5000 t:n välein	Pesuseulonta / Hydrometrikoe raportti
Tiivysaste	Ka. ≥ 92 %, yksittäinen tulos vähintään 90 %	100 m:n välein kultakin ajoradalta	Troxler-mittausraportti

6.2.1 Suodatinkerroksen materiaali

Suodatinkerroksen materiaalin kelpoisuus osoitetaan joko CE-merkillä, ao. ministeriön tuotehyväksynnällä tai rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla. Suodatinkerrokset rakennetaan hiekasta, jonka rakeisuuskäyrä on kuvan 8 mukainen. Hiekka ei saa sisältää savea tai haitallisia epäpuhtauksia, kuten humusmaata. [3, 21110.1.1]



Kuva 8. Suodatinkerroksen rakeisuus [3,21110]

”Suodatinkerroksen rakeisuuden tulee normaalisti olla alueella 1. Alueen 2 käyttö on sallittu suunnitelma-asiakirjoissa osoitetuissa hyvin kuivatetuissa paikoissa” [3 21110.1.1]. Lisäksi rakeisuuskäyrän muodon tulee noudattaa ohjealueen rajakäyrien muotoa, eikä rakeisuuskäyrä saa ylittää paksuja viivoja nuolen osoittamassa suunnassa. [3 21110.1.1]

Suodatinkerroksen rakeisuuden tulee olla sellainen, ettei synny sekoittumisvaaraa alusrakenteen tai jakavan kerroksen materiaalin kanssa. Se varmistetaan kaavojen 3 ja 4 mukaan. [3 21110.1.1]

$$\frac{d_{20\text{suodatin}}}{d_{20\text{pohjamaa}}} \leq 40 \quad (3.)$$

$$\frac{d_{20\text{jakava}}}{d_{20\text{suodatin}}} \leq 40 \quad (4.)$$

missä d_{20} = läpäisyprosenttia 20 vastaava raekoko

Rakennettavan suodatinkerroksen paksuus vaikuttaa suurimpaan sallittuun raekokoon seuraavasti: ”Jos suodatinkerroksen paksuus on alle 0,5m, suurin sallittu raekoko on 31,5 mm. Paksuuden ollessa yli 0,5 m, sallitaan 31,5...200 mm:n rakeita enintään 5 paino- % ”[3, 21110.1.1].

6.2.2 Suodatinkerroksen tarkkuusvaatimukset

Suodatinkerroksen poikkileikkauksen toteamiseksi tehdään tarkemittaukset vähintään 20 m:n välein. Suodatinkerroksen tarkkuusvaatimukset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Suodatinkerroksen tarkkuusvaatimukset ja sallitut poikkeamat

Tarkastettava kohta	Sallittu poikkeama
Tasosijainnin poikkeama vaakasuunnassa	- 0 / + 150 mm
Taso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 40 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos	50 mm / 20 m
Tason keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 20 mm
Kaltevuus	± 1,5 %-yksikköä

6.2.3 Suodatinkerroksen tiiveys

Tiiviyys mitataan satunnaisesti keskimäärin 100 m:n välein kullakin ajoradalla, ellei suunnitelma-asiakirjoissa toisin esitetä. Suodatinkerroksen tiiviyysvaatimus on keskimäärin 92 % parannetusta proctor-kokeen tuloksesta. Pienin sallittu yksittäinen koetulos on 90 %.[3, 21110.1.3]

6.3 Jakava kerros

Jakavan kerroksen laatuvaatimuksen on esitetty InfraRYL:n kohdassa 21210 jakavat kerrokset. Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto jakavan kerroksen laatu-tekijöistä sekä tehtävistä tutkimuksista.

Taulukko 4. Jakavan kerroksen vaadittavat mittaukset ja tutkimukset

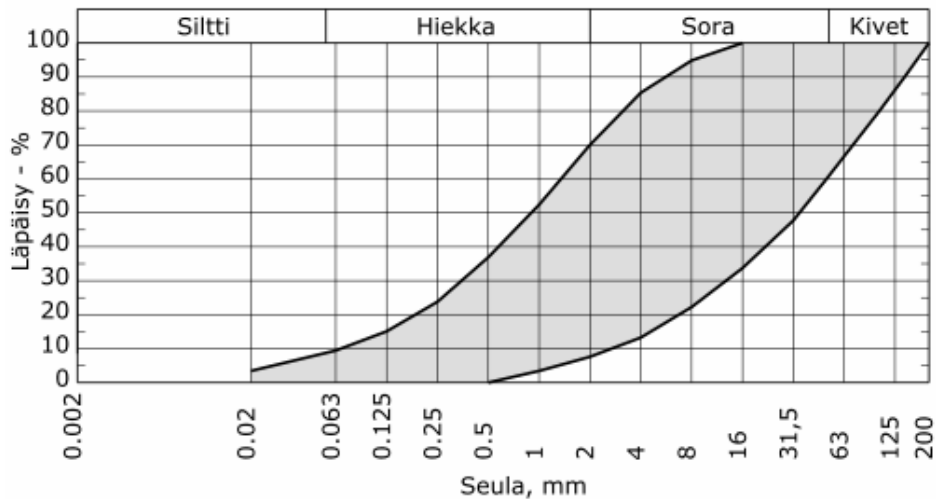
Laatutekijä	Vaatus	Tiheys	Dokumentti
Jakavan kerroksen korkeus ja sijainti	Kts. taulukko 8	20 m:n välein	Tarkemittausraportti, (toteumapiirustukset)
Kiviaineksen rakeisuus	Ohjerakeisuusalue	5000 t:n välein	Rakeisuuskäyrä
Kiviaineksen hienoainespitoisuus	Sr ja SrM ≤ 9 %, KaM ≤ 7 %	5000 t:n välein	Rakeisuuskäyrä ja läpäisyprosentit
Jäädytys-sulatuskestävyys (murskeilla)	Vedenimeytymisen ≤ 1 %	Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan mukaan	Vedenimeytymisen tutkimusraportti
Tiiviys ja kantavuus	$E_2 \geq 100 \text{ MN/m}^2$ $E_2/E_1 \leq 2,2$	100 m:n välein kultakin ajoradalta	Levykuormituskokeen tai pudotuspainolaitteen mittausraportti

*Tarkastettava suunnitelma asiakirjoista. Esitetyt arvot ovat vain suosituksia yksittäiselle mittaustulokselle.

6.3.1 Jakavan kerroksen materiaali

Tavanomaisesti jakava kerros rakennetaan sorasta tai murskeesta. Kiviaineksia korvaavina materiaaleina voidaan käyttää myös uusiomateriaaleja. Uusiomateriaalien käyttö edellyttää kuitenkin ympäristölupaa. Uusiomateriaaleja ovat mm. betonimurskeet, masuunihiekka ja lentotuhka. [3, 21210.1.1]

Kun jakava kerros tehdään luonnonsorasta, tulee sen rakeisuuskäyrän olla kuvan 9 osoittamalla alueella. Lisäksi käyrän muodon tulee noudattaa ohjealueen käyrien muotoa. Murskatuille materiaaleille on rakeisuusvaatimukset esitetty InfraRYL:n taulukossa 21210:T3. [3, 21210.1.2]



Kuva 9. Jakavan kerroksen soran rakeisuuskäyrän ohjealue [3,21210]

6.3.2 Jakavan kerroksen tarkkuusvaatimukset

Jakavan kerroksen poikkileikkauksen toteamiseksi tehdään tarkemittaukset vähintään 20 m:n välein. Jakavan kerroksen tarkkuusvaatimukset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9 Jakavan kerroksen tarkkuusvaatimukset ja sallitut poikkeamat

Tarkastettava kohta	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	- 0 / + 150 mm 100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 30 mm 30 mm ± 15 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,0 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	20 mm

6.3.3 Jakavan kerroksen kantavuus ja tiiviys

Kerroksen päältä mitattava kantavuusarvo on yleensä ilmoitettu suunnitelma-asiakirjoissa. Kantavuus mitataan levykuormituskokeella tai pudotuspainolaitteella kultakin ajoradalta keskimäärin 100 m välein. Lisäksi InfraRYL:ssä on esitetty yksittäiselle jakavan kerroksen kantavuustuloksen suositusarvoksi $E_2 > 100 \text{ MN/m}^2$. Jos mitattu kantavuusarvo on pienempi, on syytä selvittää mistä se johtuu. [3, 21210.4]

Yleisin tapa mitata jakavan kerroksen tiivistystyön laatua on levykuormituskoe tai pudotuspainolaite, koska samalla vaivalla saadaan mitattua rakenteen kantavuus, sekä tiiviyssuhde E_2/E_1 . Tiiviys voidaan mitata myös troxler tai volymetri menetelmillä, tällöin tulokseksi saadaan tutkitun kohdan tiiviyssaste.

Levykuormitus- ja pudotuspainolaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Jakavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset [3, 21210]

Kantavuus	Tiiviyssuhde LKL:lla	Tiiviyssuhde PPL:lla
<125	≤ 2,2	≤ 1,9
125...134	≤ 2,3	≤ 2,0
135...144	≤ 2,4	≤ 2,1
145...154	≤ 2,5	≤ 2,2
155...164	≤ 2,6	≤ 2,3
165...174	≤ 2,7	≤ 2,4
175...184	≤ 2,8	≤ 2,5
≥ 185	≤ 2,9	≤ 2,6

Jos jakavan murskeen tai luonnonsoran enimmäisraekoko on $\geq 80 \text{ mm}$ ja kerrospaksuus yli 300 mm, tiiviyssuhdetta ei voida mitata kevyellä painonpudotuslaitteella (Loadmanilla), johtuen laitteen keveydestä ja sen vaikutuksesta mittausvyöntein. [3, 21210.4]

6.4 Sitomaton kantava kerros

Kantavan kerroksen laatuvaatimuksen on esitetty InfraRYL:n kohdassa 21310 kantavat kerrokset. Taulukossa 11 on esitetty yhteenveto kantavan kerroksen laatutekijöistä sekä tehtävistä tutkimuksista.

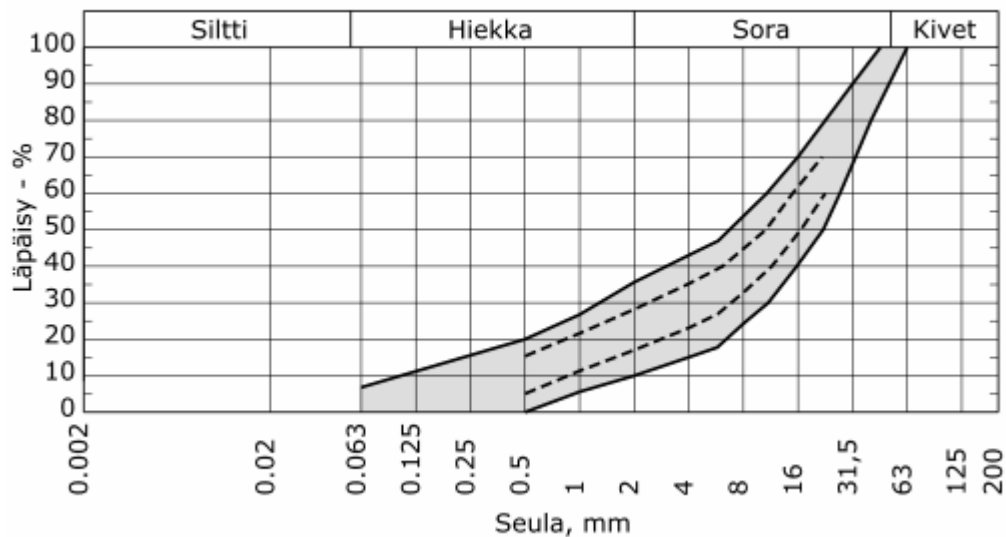
Taulukko 5. Kantavan kerroksen vaadittavat mittaukset ja tutkimukset

Laatutekijä	Vaatus	Tiheys	Dokumentti
Kantavan kerroksen korkeus ja sijainti	Kts. taulukko 11	20 m:n välein	Tarkemittausraportti, (toteumapiirustukset)
Kiviaineksen rakeisuus	Ohjerakeisuusalue	Kerran viikossa	Rakeisuuskäyrä
Kiviaineksen hienoainespitoisuus	SrM: $\leq 7\%$, KaM: $\leq 9\%$	Valmiista rakenteesta 4 näytettä / 1000m	Rakeisuuskäyrä ja läpäisyprosentit
*Kiviaineksen iskunkestävyys	LA-luku ≤ 30	Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan mukaan	LA-luvun tutkimusraportti
*Kiviaineksen raemuoto / Litteysluku	FI-luokka ≤ 50	Tehtaan laadunvalvonnan mukaan	Litteysluvun tutkimusraportti
*Murtopintaisten rakeiden osuus	$\geq 50\%$, kokonaan pyörityneitä $\leq 30\%$	Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan mukaan	Murtopintaisuuden tutkimusraportti
*Jäädytys-sulatuskestävyys	Vedenimeytyminen $\leq 1\%$	Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan mukaan	Vedenimeytymisen tutkimusraportti
Tiiviys ja kantavuus	Määritelty suunnitelma-asiakirjoissa	100 m:n välein kultakin ajoradalta	LKL:n tai PPL:n mittausraportti
**Sitomattoman kantavan kerroksen materiaalien kiviainesominaisuudet, mm. iskunkestävyys, rakeiden murtopintaisuus sekä jäädytys-sulatuskestävyys, osoitetaan CE-merkinnällä tai vastaavalla tavalla” [3, 21310.1].			

6.4.1 Kantavan kerroksen materiaali

Sitomaton kantava kerros rakennetaan kalliomurskeesta tai soramurskeesta. Kiviaines ei saa sisältää epäpuhtauksia eikä se saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää. Myös uusiomateriaalien käyttö kantavassa kerroksessa on mahdollista. [3, 21310.1.]

Kantavassa kerroksessa käytetään yleensä 0/32, 0/40, 0/45, 0/56 ja 0/63 kallio ja soramurskeita. Kuvassa 10 on esimerkki 0/63 murskeen ohjerakeisuus alueesta. [3, 21310.1.]



Kuva 10. Kantavan kerroksen 0/63 murskeen ohjerakeisuusalue [3,21310]

Valmiista kantavasta kerroksesta ennen päällysteen tekemistä otetaan ylimmästä 100mm:n kerroksesta 4 näytettä hienoainespitoisuuden tutkimista varten, jokaiselta 1000m:n matkalta. Jos näytetulokset ovat selvästi sallituissa rajoissa, voidaan näytteenottoa pidentää, siten että 4 näytettä otetaan 2000m:n matkalta. Näytteiden ottopaikoille on määritetty satunnaiskertoimet viikonpäivien mukaan, jotta saataisiin riittävän kattava kuva osuuksien hienoainespitoisuuksista. [3, 21310.1.]

6.4.2 Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset

Kantavan kerroksen poikkileikkauksen toteamiseksi tehdään tarkemittaukset vähintään 20 m:n välein. Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset ja sallitut poikkeamat

Tarkastettava kohta	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	– 0 / + 150 mm 100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 20 mm 20 mm ± 10 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 0,5 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm

6.4.3 Kantavan kerroksen kantavuus ja tiiviys

Kantavan kerroksen päältä mitattava tavoitekantavuus on ilmoitettu suunnitelma-asiakirjoissa. Kantavuus ja tiiviys mitataan samoilla menetelmillä ja yhtä tiheästi kuin jakavasta kerroksesta. Levykuormitus- ja pudotuspainolaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 6. Kantavan kerroksen tiiviyssuhteen vaatimukset

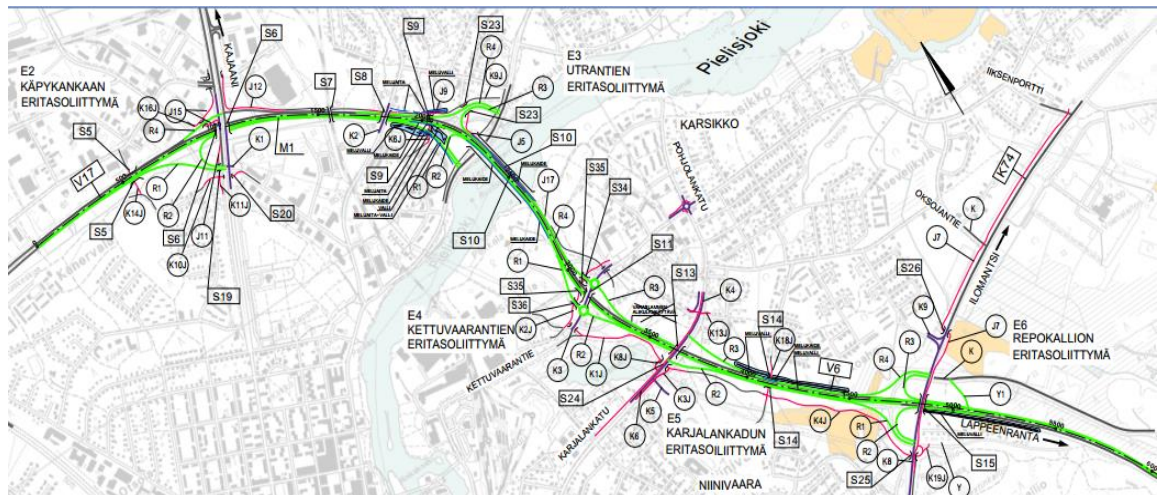
Kantavuus	Tiiviyssuhde LKL:lla	Tiiviyssuhde PPL:lla
<145	≤ 2,0	≤ 1,7
145...159	≤ 2,1	≤ 1,8
160...174	≤ 2,2	≤ 1,9
175...189	≤ 2,3	≤ 2,0
190...204	≤ 2,4	≤ 2,1
205...219	≤ 2,5	≤ 2,2
220...234	≤ 2,6	≤ 2,3
≥ 235	≤ 2,7	≤ 2,4

7 Kantavuus ja tiiviyssuhteet Joensuun Kehätiellä

7.1 Joensuun Kehätie-hanke

Valtatie 6 Joensuun Kehätien parantaminen on ST-urakka, jonka pääurakoitsijana on Kesälahden Maansiirto Oy:n ja Destia Oy:n muodostama työyhteisö TYL Joensuun kehätie. Rakentamistyöt alkoivat maaliskuussa 2010 ja hanke valmistui lähes kokonaisuudessaan vuonna 2012. Keväällä 2013 tehdään vielä pieniä viimeistelytyöitä mm. ajoratamaalauksia, nurmetuksia ja luiskatöitä.

Hankekokonaisuuden toteuttamiseen oli budjetoitu valtion rahoitusta 35 M€ ja Joensuun kaupungin rahoitusta noin 4,5 M€. Urakka oli työllistänyt vuoteen 2012 mennessä yhteensä 200 henkilötyövuotta ja välillisesti noin 2 kertaa enemmän.



Kuva 11. Yleiskuva hankkeesta

Hanke (kuva 11) sisälsi toisen ajoradan rakentamisen välille Siilainen-Repokallio (yhteensä 6,1 km), sillan rakentamisen Pielisjoen yli toista ajorataa varten ja uuden eritasoliittymän rakentamisen Karjalankadulle. Lisäksi yhteensä neljää eritasoliittymää parannettiin ja kevyen liikenteen verkkoa täydennettiin. Hankkeen yhteydessä rakennettiin kaikkiaan 23 uutta siltaa, korjattiin 7 ja purettiin 6 vanhaa siltaa.

7.2 Tierakenne pääväylillä Vt6 & Vt17

Uusien väylien mitoitus on tehty julkaisun ”Tierakenteen suunnittelu” mukaisesti. Mitoitus on tehty sekä kantavuuden että routivuuden mukaan. Valtatien uuden ajoradan rakenne on mitoitettu kuormitusluokan 25 mukaan. Tavoitekantavuutena on käytetty sitomattoman kantavan kerroksen päältä 160 MN/m² ja päällysteiden päältä 420 MN/m² sekä routanousun maksimiarvona 30 mm.

Päällysrakenne päätiellä (taulukko 14) on lähes samanlainen koko matkalla, pois lukien Varaslammen kohdalla pl.3400–3650, joka on rakennettu massanvaihdolla 1,4m:n louherakenteen päälle ja pl.820–2780, jossa suodatinkerroksen hiekka on korvattu jakavan kerroksen soralla.

Taulukko 7. Tierakenne pääväylällä

Nimitys	Materiaali	Paksuus [mm]
2. Päällystekerros	SMA16	50
1. Päällystekerros	AB22	50
Sid. kantava kerros	ABK32	70
Kantava kerros	SrM 0-56	200
Jakavakerros	Sr 0-150	350
Suodatinkerros	Hk	1000-1280
Päällysrakenteen kokonaispaksuus 1720-2000mm		

7.3 Tierakenne rampeilla

Ramppien rakenne (taulukko 15) on mitoitettu kuormitusluokan 2 tai 6 mukaan, riippuen liikennemäärästä. Tavoitekantavuutena on käytetty sitomattoman kantavan kerroksen päältä 160 MN/m² ja päällysteiden päältä 340 MN/m² (KL2) 265 MN/m² (KL6) sekä routanousun maksimiarvona 70 mm.

Taulukko 8. Tierakenne rampeilla

Nimitys	Materiaali	Paksuus [mm]
2. Päällystekerros	SMA 16/100	40
1. Päällystekerros	AB 22/150	60
Kantava kerros	SrM 0-56	200-250
Jakavakerros	Sr 0-150	300-350
Suodatinkerros	Hk	250-950
Päällysrakenteen kokonaispaksuus 900-1550mm		

7.4 Pääväylän suodatinkerroksen tiiviysmittaukset

Suodatinkerroksen tiivyyden tarkkailuun käytettiin Troxler 3440 säteilymittauslaitetta. Tiiviyttä mitattiin keskimäärin 100 m:n välein kultakin ajoradalta. Mittauksia tehtiin samasta kohdasta yleensä useasta eri syvyydestä. Tuloksia verrattiin laboratoriossa samasta materiaalista tehtyihin proctor-kokeiden tuloksiin. Vertailuarvoina käytettiin 1800, 1846 ja 1930 kg/m³. Vertailuarvot hieman muuttuvat eri paaluväleillä, johtuen hiekan ottopaikan muutoksista. Joistakin mittauksista saatiin yli 100 % tiiviyssasteita, mikä selittyy materiaalin rakeisuuden vaihtelusta tai yksittäisestä suuremmasta rakeesta, joka sattuu mitta-anturin ja laitteen väliin.

Vaatumuksena suodatinkerroksen tiiviyssasteelle oli keskimäärin ≥ 92 %. Pienin sallittu yksittäinen koetulokset sai olla 90 %. Tiivistystyötä jatkettiin niin kauan kunnes tiiviyssasteen mittaustulokset täyttyivät. Hiekan kosteuspitoisuutta tarkkailtiin mittausten yhteydessä ja verrattiin optimivesipitoisuuteen. Tarvittaessa kastelua lisättiin ja mittaukset suoritettiin uudelleen. Tulokset suodatinkerroksen tiiviyssasteesta on esitetty liitteessä 3. Taulukossa 16 on esitetty miten troxlermittausten tulokset voidaan esittää. Lyhenne DD (dry density) tarkoittaa kuivatiheyden maksimiarvoa.

Taulukko 9. Esimerkki troxler-mittausten tuloksista

Mittauskohta (paalu/nro)	Kuivatiheys kg/m ³	Märkätiheys kg/m ³	Kosteus %	Tiiviyssaste %	Huomatuksia
PL 221	1663	1778	6,9	92,4	DD=1800
PL 270	1718	1819	5,9	95,4	DD=1800
PL350	1644	1682	2,3	91,3	DD=1800

Pääväylältä mitattiin kuuden kilometrin matkalta yhteensä 57 troxler-mittausta. Tiiviyssasteen keskiarvo oli 95,5 %, kun yli vertailuarvojen menneet tulokset jätetään huomioimatta.

7.5 Pääväylän jakavan ja kantavan kerroksen levykuormituskokeet

Yritys osti levykuormituslaitteet itselleen keväällä 2011 Joensuun Kehätie hanketta varten. Varsinaista mittauskokemusta ei projektin henkilöstöltä löytynyt. Saimme ohjeistuksen mittauksiin laitteiden maahantuojalta. Myöskään mittausraportointiin soveltuvaa taulukkolaskentapohjaa ei ollut olemassa. Sain tehtäväksi tehdä yksinkertaisen mittausraporttipohjan johon olisi helppo siirtää painumien tulokset ja ohjelma laskisi näiden perusteella kantavuuden ja tiiviyssuhteen. Raporttipohja toteutettiin Excel-tilukkona.

Taulukossa 17 on esimerkki levykuormituskokeiden tuloksista. Mittauksista kirjataan ylös käytetty kuorma, ensimmäisen kuormituksen painuma-arvo (kohta 1), toisen kuormituksen painuma-arvo (kohta 3), sekä mittakellon lukema, kun sitä ei nollata ensimmäisen ja toisen kuormituksen välissä (kohta 2).

Taulukko 10. Esimerkki levykuormituskokeen tuloksista

Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos		
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1
PL120 vas	60	182	98	191	105,0	205,5	2,0
PL150 vas	60	190	100	196	100,6	199,1	2,0
PL200 oik	40	80	30	90	159,3	212,3	1,3

Levykuormituskokeet suoritettiin käyttäen vastapainona kauhakuormaajaa, kairavinkonetta tai riittävän painavaa valssijyrää. Kuormitus nostettiin kerralla 60 kN:iin tai 40 kNiin riippuen vastapainon riittävydestä. Testattaessa vierekkäisistä mittauspisteistä molemmilla kuormitustavoilla saatiin samansuuruisia kantavuusarvoja, sekä tiiviyssuhteita. Pienemmällä kuormalla tosin pinnan tasaisuuden vaikutus korostui, mutta huolellisella tasauksella eroja ei syntynyt.

Pääväylältä tehtiin yhteensä noin 200 levykuormituskoetta, joista 108 kantavasta- ja 87 jakavasta kerroksesta. Jakavan kerroksen pinnalta mitattujen kantavuuksien keskiarvo oli 127,7 Mpa, joka on noin 28 % yli yleisen vaatimuksen (100 Mpa). Kantavan kerroksen pinnalta mitattujen kantavuuksien keskiarvo oli 179,6 Mpa, joka on noin 12 % yli tavoitekantavuuden (160 Mpa). Tiiviyssuhteiden keskiarvo oli kantavassa noin 1,7 ja jakavassa kerroksessa noin 1,8.

Massanvaihdon kohdalla kantavan kerroksen päältä mitatut kantavuudet ovat noin 200–260 Mpa välillä. Sen sijaan pl.820–2780, jossa suodatinkerros on rakennettu sorasta, kantavuusarvot eivät poikkea muista päätien mittaustuloksista.

7.6 Ramppien kantavuusmittaukset

Rampeilta tehtiin yhteensä 90 levykuormituskoetta, joista 48 kantavasta kerroksesta ja 42 jakavasta kerroksesta. Jakavan kerroksen pinnalta mitattujen kantavuuksien keskiarvo oli 116,6 Mpa, joka on noin 16 % yli yleisen vaatimuksen (100 Mpa). Kantavan kerroksen pinnalta mitattujen kantavuuksien keskiarvo oli 172,6 Mpa, joka on noin 8 % yli tavoitekantavuuden (160 Mpa). Tiiviysuhteiden keskiarvo sekä kantavissa että jakavissa kerroksissa oli molemmissa noin 1,8.

8 Arviointi

8.1 Tulosten arviointi

Suodatinkerrosten tiiviysvaatimukseen päästiin mittaustulosten perusteilla helposti. Tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä proctor-arvot olivat tarkkaan tiedossa ja mittauksia yleensä suoritettiin samasta kohdasta useasta eri syvyydestä.

Kantavan kerroksen tavoitekantavuuteen pääseminen edellytti toisinaan tiivistyksen lisäämistä sekä odottelua että rakenne kerkesi kuivamaan. Hyvä laadunvarmistus alemmissa kerroksissa edesauttoi kantavan kerroksen laatuvaatimusten täyttymistä. Levykuormituskokeiden tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä rakenteiden muuttuessa (esim. Varaslammen massanvaihto) oli havaittavissa selkeitä eroja kantavuuksissa.

8.2 Mittausten arviointi

Levykuormituskoe on kokemusten mukaan osoittautunut luotettavimmaksi kantavuuden mittausmenetelmäksi. Siihen sekä pudotuspainolaitteisiin liittyy kuitenkin muutamia ongelmia joita voi esiintyä mittauksessa.

Ehkä yleisin ongelma mitattaessa on rakenteessa oleva kosteus. Kiviaines ei tunnetusti tiivisty kunnolla ilman että siihen lisätään vettä. Vesi toimii ikään kuin eräänlaisena voiteluaineena rakeiden välillä, jolloin myös levykuormituskokeessa käytetty kuormituslevy painuu enemmän. Suurempi painuma tarkoittaa huonompaa kantavuus-arvoa. Ongelma on yleisin syksyllä, kun lisätty kasteluvesi ja sadevesi ei pääse kuivumaan rakenteesta.

Toinen esiintynyt ongelma kantavuusmittauksia tehdessä on mitattavan pinnan avoimuus. Jos kiviaines on päässyt lajittumaan syvyysuunnassa, eli hienoraakeisempi materiaali puuttuu pinnasta, ei pinta ole tiivis. Pelkkä pinnan avoimuus johtaa huonompiin kantavuus- ja tiiviystuloksiin. Lajittumista voidaan kuitenkin välttää oikeilla työmenetelmillä.

Tiiviyssmittausten osalta troxler-mittaus on vakiinnuttanut asemansa tierakentämisessä. Se soveltuu hyvin suodatinkerrosten mittaukseen, kun materiaalin proctor-arvo tiedetään tarkasti. Laatuvaatimuksissa ei ole kuitenkaan esitetty kuinka usein proctor-koe tulisi suorittaa materiaalin muuttuessa.

Karkearakeisilla materiaaleilla tiiviyssasteen määrittäminen nykyisillä menetelmillä (troxler ja volymetri) on osittain epäluotettavaa, sillä ”proctor-kokeessa käytettävä maksimiraekoko on suurimmalla muotilla 31,5 mm” [6, s. 84]. Tästä syystä suuremmilla kuin 32 mm murskeilla tehtyä koetta ei voida pitää riittävän tarkkana. Karkearakeisten materiaalien osalta tulisi siirtyä vain tiiviyssuhteen arviointiin.

8.3 Materiaalien vaatimukset

Suuriin kantavuuksiin pääseminen etenkin soramurskeilla on toisinaan osoittautunut hankalaksi. Vaikka materiaali olisi ohjerakeisuusalueella ja työmenetelmät olisivat oikeat, ei tavoitekantavuuksiin ole aina päästy.

Yksi syy tähän voi olla se, että nykyinen ohjerakeisuusalue mahdollistaa jakavassa- ja kantavassa kerroksessa erittäin hiekkapitoisen soran sekä soramurskeen käytön, jonka tiivistäminen on vaikeaa. Soran ja soramurskeiden tulisi olla mahdollisimman karkearakeista ja suhteistunutta (rakeisuuskäyrä tasaisesti kaareva), jolloin pienet rakeet täyttäisivät isompien rakeiden väliset tilat ja kantavuudet olisivat edes kohtalaiset verrattuna mihin kalliomurskeilla päästään.

9 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä on koottu yhteen laadunvalvonnan kulku tierakentamisessa sekä siinä käytettävät menetelmät kuvauksineen. Laadunvalvonta tierakentamisessa on tarkkaan ohjeistettua ja tiukkaa.

Opinnäytetyöstä voi olla hyötyä tierakentamista ja sen laadunvalvontaa toteutaville tahoille. Opinnäytetyö auttaa laadunvarmistusmittausten tekijöitä suorittamaan mittaukset oikein sekä tilaajia ymmärtämään ja tulkitsemaan tuloksia. Lisäksi laatuvaatimusten yhteenveto taulukoista on nopeaa tarkastella rakennesien yleisiä vaatimuksia.

Opinnäytetyön myötä olen oppinut arvioimaan syvällisemmin laatumittausten tuloksia sekä niiden luotettavuutta. Koin työn mielenkiintoiseksi ja siitä oli varmasti hyötyä ammatillisen kehityksen kannalta.

Lähteet

- [1] Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinto. Helsinki: Edita Prima Oy. 2002. <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200747.pdf> 14.4.2013
- [2] Oulun yliopisto. Tierakenteen toiminta, vauriomekanismit ja rakenteen parantamisen perustat. Rakentamisteknologian koulutus- ja kehitysverkosto. 2009. <http://www.oamk.fi/~turunen/Vauriomekanismit.pdf> 14.4.2013
- [3] Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustieto Helsinki. 2010.
- [4] Urakoitsijan laaturaportointi. Tiehallinto. Helsinki: Edita Prima Oy. 2009. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200062-v-09-urakoitsijan_laaturaportointi.pdf 14.4.2013
- [5] Siika T. Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus. EVTEK-ammattikorkeakoulu. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Insinööriyö. 2006.
- [6] Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys ja kantavuustutkimus. Liikennevirasto. Helsinki: verkkojulkaisu. 2011. http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf 14.4.2013.
- [7] Kantavuuden mittaus, Loadman. Päällystealan neuvottelukunta. 2002. http://www.pank.fi/file/414/281_pank9001.pdf 14.4.2013
- [8] Ehrola, E. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki. Rakennustieto Oy. 1996.
- [9] Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet. Tiehallinto. Helsinki: verkkojulkaisu. 2005. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200042-v-05leikkaukset_kaivannot.pdf 14.4.2013
- [10] Jääskeläinen, R. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka. 2009.
- [11] Hartikainen O-P. Maarakennustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy. Yliopistokustannus. 2000.
- [12] Tierakenteen suunnittelu. Tiehallinto. Helsinki: Edita Prima Oy. 2004. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf> 21.4.2013
- [13] Asfalttinormit 2008. Päällystealan neuvottelukunta. Helsinki: Edita Oy. 2007.



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoe)

Projekti TYL Joensuun Kehätie		Laatija Teemu Kiiskinen						
Kohde Pääväylä		Pvm						
Tilaaaja Liikennevirasto		Materiaali Sora 0/150						
Kerros/Rakenne Jakava		Laatuvaatimukset E _{2min} = 100 E2/E1 < 2,2						
Testin tulos määritetään seuraavasti: $E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$								
		D= Levyn halkaisija [mm]			Kuorma 40kN => suhdeluku 12740			
		δ= Jännitys [Mpa]			Kuorma 60kN => suhdeluku 19110			
		Δs= Painuma [mm]						
Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
PL180	40	276	188	314	46,2	101,1	2,2	10.6.2011
PL223 oik	40	185	94	196	68,9	124,9	1,8	
PL280 vas	40	165	45	140	77,2	134,1	1,7	
PL365 oik	40	180	88	205	70,8	108,9	1,5	
PL425 vas	40	240	147	270	53,1	103,6	2,0	
PL480 oik	40	155	80	175	82,2	134,1	1,6	
PL530 oik	40	200	144	260	63,7	109,8	1,7	
PL580 vas	40	178	132	244	71,6	113,8	1,6	
PL660 vas	40	160	85	178	79,6	137,0	1,7	
PL700 oik	40	199	79	176	64,0	131,3	2,1	
PL800	40	201	102	208	63,4	120,2	1,9	
PL850	40	177	88	210	72,0	104,4	1,5	
PL900	40	225	125	234	56,6	116,9	2,1	
PL950	40	230	134	244	55,4	115,8	2,1	
PL1000 oik	40	205	125	224	62,1	128,7	2,1	
PL1050 vas	40	210	133	235	60,7	124,9	2,1	



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoee)

Projekti TYL Joensuun Kehätie	Laatija T. Kiiskinen & M. Lievonen
Kohde Pääväylä	Pvm
Tilaaja Liikennevirasto	Materiaali Sora 0/150
Kerros/Rakenne Jakava	Laatuvaatimukset E2 _{min} = 100 E2/E1 < 2,2
Testin tulos määritetään seuraavasti: $E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$	
D= Levyn halkaisija [mm]	Kuorma 40kN => suhdeluku 12740
δ= Jännitys [Mpa]	Δs= Painuma [mm]
	Kuorma 60kN => suhdeluku 19110

Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
PL1150	40	175	100	184	72,8	151,7	2,1	10.6.2011
PL1200	40	248	165	277	51,4	113,8	2,2	10.6.2011
PL1250	40	127	57	138	100,3	157,3	1,6	12.7.2011
PL1300	40	246	146	260	51,8	111,8	2,2	13.6.2011
PL1350	40	235	135	255	54,2	106,2	2,0	13.6.2011
PL1400	40	173	89	185	73,6	132,7	1,8	12.7.2011
PL1450	40	173	89	185	73,6	132,7	1,8	12.7.2011
PL1500	40	142	75	155	89,7	159,3	1,8	10.8.2011
PL1550	40	155	53	167	82,2	111,8	1,4	10.8.2011
PL1600	40	195	79	192	65,3	112,7	1,7	10.8.2011
PL1650	40	160	93	166	79,6	174,5	2,2	17.8.2011
PL1700	40	118	35	123	108,0	144,8	1,3	17.8.2011
PL1800	40	132	66	142	96,5	167,6	1,7	17.8.2011
PL1850	40	120	47	130	106,2	153,5	1,4	17.8.2011
PL1900	40	205	153	264	62,1	114,8	1,8	17.8.2011

PL1950	40	198	78	199	64,3	105,3	1,6	7.7.2011
PL2000	40	204	110	220	62,5	115,8	1,9	7.7.2011
PL2100	40	225	108	222	56,6	111,8	2,0	7.7.2011
PL2160	40	230	157	266	55,4	116,9	2,1	27.6.2011
PL2210	40	217	134	237	58,7	123,7	2,1	27.6.2011
PL2700	40	210	140	240	60,7	127,4	2,1	29.9.2011
PL2750	40	185	104	211	68,9	119,1	1,7	29.9.2011
PL2800	40	178	86	189	71,6	123,7	1,7	29.9.2011
PL2850	40	190	89	197	67,1	118,0	1,8	30.5.2011
PL2900	40	207	100	210	61,5	115,8	1,9	30.5.2011
PL2950	40	188	85	200	67,8	110,8	1,6	30.5.2011
PL3000	40	211	110	231	60,4	105,3	1,7	4.11.2011
PL3050	40	233	123	250	54,7	100,3	1,8	4.11.2011
PL3100	40	210	110	234	60,7	102,7	1,7	4.11.2011
PL3150	40	190	95	195	67,1	127,4	1,9	25.5.2011
PL3200	40	200	151	264	63,7	112,7	1,8	4.11.2011
PL3250	40	202	83	208	63,1	101,9	1,6	4.11.2011
PL3300	40	215	110	225	59,3	110,8	1,9	4.11.2011
PL3350	60	314	176	334	60,9	120,9	2,0	28.6.2012
PL3400	60	225	115	234	84,9	160,6	1,9	28.6.2012
PL3450	60	216	108	229	88,5	157,9	1,8	28.6.2012
PL3500	60	197	88	206	97,0	161,9	1,7	28.6.2012
PL3550	60	253	110	244	75,5	142,6	1,9	28.6.2012
PL3600	60	197	71	189	97,0	161,9	1,7	28.6.2012
PL3650	60	324	204	362	59,0	120,9	2,1	28.6.2012
PL3700	60	310	198	367	61,6	113,1	1,8	28.6.2012
PL3750	60	267	152	315	71,6	117,2	1,6	28.6.2012
PL3800	40	198	104	208	64,3	122,5	1,9	4.11.2011
PL3850	40	190	120	241	67,1	105,3	1,6	4.11.2011
PL3900	40	165	55	156	77,2	126,1	1,6	15.8.2011
PL3950	40	180	68	175	70,8	119,1	1,7	15.8.2011

PL4000	40	110	44	130	115,8	148,1	1,3	15.8.2011
PL4050	40	187	100	214	68,1	111,8	1,6	15.8.2011
PL4100	40	190	96	195	67,1	128,7	1,9	4.11.2011
PL4150	40	190	90	200	67,1	115,8	1,7	4.11.2011
PL4175	40	120	51	125	106,2	172,2	1,6	21.7.2011
PL4230	40	125	50	135	101,9	149,9	1,5	21.7.2011
PL4380	40	93	34	100	137,0	193,0	1,4	21.7.2011
PL4430	40	205	127	222	62,1	134,1	2,2	15.8.2011
PL4470	40	195	122	223	65,3	126,1	1,9	15.8.2011
PL4510	40	200	113	223	63,7	115,8	1,8	15.8.2011
PL4550	40	152	84	177	83,8	137,0	1,6	3.9.2012
PL4600	40	188	100	203	67,8	123,7	1,8	3.9.2012
PL4650	40	155	75	175	82,2	127,4	1,6	3.9.2012
PL4700	40	199	98	210	64,0	113,8	1,8	3.9.2012
PL4750	40	214	105	220	59,5	110,8	1,9	3.9.2012
PL4800	40	193	95	205	66,0	115,8	1,8	3.9.2012
PL4850	40	187	85	192	68,1	119,1	1,7	3.9.2012
PL4900	40	175	80	183	72,8	123,7	1,7	23.5.2012
PL4950	40	184	94	200	69,2	120,2	1,7	23.5.2012
PL5000	40	163	83	188	78,2	121,3	1,6	25.7.2012
PL5050	40	149	78	169	85,5	140,0	1,6	25.7.2012
PL5100	40	155	84	177	82,2	137,0	1,7	25.7.2012
PL5150	40	198	100	203	64,3	123,7	1,9	25.7.2012
PL5200	40	148	75	158	86,1	153,5	1,8	25.7.2012
PL5250	40	205	98	210	62,1	113,8	1,8	25.7.2012
PL5300	40	200	87	195	63,7	118,0	1,9	25.7.2012
PL5350	40	175	89	185	72,8	132,7	1,8	25.7.2012
PL5400	40	152	76	161	83,8	149,9	1,8	25.7.2012
PL5450	40	160	77	174	79,6	131,3	1,6	25.7.2012
PL5500	40	196	94	200	65,0	120,2	1,8	25.7.2012
PL5550	40	195	79	195	65,3	109,8	1,7	25.7.2012
PL5600	40	214	105	210	59,5	121,3	2,0	25.7.2012

PL5650	40	210	96	199	60,7	123,7	2,0	25.7.2012
PL5700	40	205	108	221	62,1	112,7	1,8	25.7.2012
PL5750	40	198	99	205	64,3	120,2	1,9	25.7.2012
PL5800	40	211	115	225	60,4	115,8	1,9	25.7.2012
PL5850	40	215	124	222	59,3	130,0	2,2	25.7.2012
PL5900	40	195	110	214	65,3	122,5	1,9	25.7.2012
PL5950	60	308	194	334	62,0	136,5	2,2	25.7.2012
PL6000	40	207	119	215	61,5	132,7	2,2	25.7.2012
PL6100								
PL6150								
PL6200								



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoe)

Projekti TYL Joensuun Kehätie	Laatija T. Kiiskinen & M. Lievonen
Kohde Pääväylä	Pvm
Tilaaja Liikennevirasto	Materiaali Soramurske 0-56
Kerros/Rakenne Kantava	Laatuvaatimukset $E_{2min} = 160$ $E2/E1 < 2,2$

Testin tulos määritetään seuraavasti:

$$E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$$

D= Levyn halkaisija [mm]

Kuorma 40kN => suhdeluku 12740

 δ = Jännitys [Mpa] Δs = Painuma [mm]

Kuorma 60kN => suhdeluku 19110

Mittaukset kohdan 2. arvo on mittakellon lukema, kun sitä ei nollata ensimmäisen tai toisen kuormituksen välissä.


Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
PL120 vas	60	182	98	191	105,0	205,5	2,0	1.6.2012
PL150 vas	60	190	100	196	100,6	199,1	2,0	1.6.2012
PL200 oik	40	80	30	90	159,3	212,3	1,3	25.8.2011
PL250 vas	40	132	76	142	96,5	193,0	2,0	25.8.2011
PL300 oik	40	140	72	147	91,0	169,9	1,9	25.8.2011
PL350 vas	40	180	112	190	70,8	163,3	2,3	25.8.2011
PL400 oik	40	130	57	133	98,0	167,6	1,7	31.5.2011
PL450 vas	40	98	44	111	130,0	190,1	1,5	31.5.2011
PL510 oik	40	125	62	140	101,9	163,3	1,6	31.5.2011
S5 PL530	40	122	60	136	104,4	167,6	1,6	31.5.2011
PL600 vas	40	114	45	121	111,8	167,6	1,5	25.8.2011
PL650 oik	40	135	55	134	94,4	161,3	1,7	25.8.2011
PL700 vas	40	124	55	124	102,7	184,6	1,8	25.8.2011
PL750 oik	40	155	78	155	82,2	165,5	2,0	25.8.2011
PL800vas	40	143	67	146	89,1	161,3	1,8	28.8.2012

PL900oik	40	151	72	149	84,4	165,5	2,0	28.8.2012
PL950 vas	40	146	67	140	87,3	174,5	2,0	1.6.2012
PL1000 oik	40	150	70	144	84,9	172,2	2,0	1.6.2012
PL1050 vas	40	173	89	167	73,6	163,3	2,2	1.6.2012
PL1100 oik	40	134	56	119	95,1	202,2	2,1	1.6.2012
PL1150 oik	60	220	128	236	86,9	176,9	2,0	1.9.2011
PL1200 vas	60	167	64	153	114,4	214,7	1,9	1.9.2011
PL1250 oik	60	170	57	172	112,4	166,2	1,5	1.9.2011
PL1300 vas	60	187	95	214	102,2	160,6	1,6	1.9.2011
PL1350 oik	60	198	100	214	96,5	167,6	1,7	1.9.2011
PL1400 vas	60	190	90	200	100,6	173,7	1,7	1.9.2011
PL1450 oik	60	185	88	202	103,3	167,6	1,6	1.9.2011
PL1500 vas	60	178	66	164	107,4	195,0	1,8	1.9.2011
PL1550 oik	60	192	76	187	99,5	172,2	1,7	1.9.2011
PL1600 vas	60	177	74	189	108,0	166,2	1,5	16.9.2011
PL1650 oik	60	165	88	187	115,8	193,0	1,7	16.9.2011
PL1700 vas	60	170	76	189	112,4	169,1	1,5	16.9.2011
PL1730 vas	60	198	111	220	96,5	175,3	1,8	16.9.2011
PL1800 oik	60	192	90	200	99,5	173,7	1,7	12.9.2011
PL1850 vas	60	166	89	207	115,1	161,9	1,4	12.9.2011
PL1900 oik	60	173	68	179	110,5	172,2	1,6	12.9.2011
PL1950 vas	40	128	66	137	99,5	179,4	1,8	19.8.2011
PL2000 oik	40	114	54	127	111,8	174,5	1,6	19.8.2011
PL2100 vas	40	156	78	155	81,7	165,5	2,0	19.8.2011
PL2150 vas	40	147	74	152	86,7	163,3	1,9	30.9.2011
PL2200 oik	40	133	59	133	95,8	172,2	1,8	30.9.2011
PL2680 vas	40	140	87	160	91,0	174,5	1,9	7.10.2011
PL2700 oik	40	137	70	145	93,0	169,9	1,8	7.10.2011
PL2750 vas	40	140	85	156	91,0	179,4	2,0	7.10.2011
PL2850 oik	40	130	72	147	98,0	169,9	1,7	7.10.2011

PL2870 oik	40	95	25	96	134,1	179,4	1,3	28.6.2011
PL2930 vas	40	132	57	135	96,5	163,3	1,7	28.6.2011
PL2950 VANHA	60	209	105	224	91,4	160,6	1,8	3.7.2012
PL3070 VANHA	60	115	50	124	166,2	258,2	1,6	3.7.2012
PL3150 VANHA	60	145	68	151	131,8	230,2	1,7	3.7.2012
PL3200 VANHA	60	185	79	190	103,3	172,2	1,7	3.7.2012
PL3250 VANHA	60	176	75	187	108,6	170,6	1,6	3.7.2012
PL3100 vas	60	226	120	235	84,6	166,2	2,0	8.11.2011
PL3150 oik	60	200	90	209	95,6	160,6	1,7	8.11.2011
PL3200 vas	60	186	87	190	102,7	185,5	1,8	8.11.2011
PL3250 oik	60	176	70	180	108,6	173,7	1,6	8.11.2011
PL3300 vas	60	178	82	195	107,4	169,1	1,6	8.11.2011
PL3400 oik	60	175	96	192	109,2	199,1	1,8	5.7.2012
PL3450 vas	60	162	78	172	118,0	203,3	1,7	5.7.2012
PL3500 oik	60	131	40	137	145,9	197,0	1,4	5.7.2012
PL3550 vas	60	117	52	126	163,3	258,2	1,6	5.7.2012
PL3600 oik	60	132	68	152	144,8	227,5	1,6	5.7.2012
PL3650 vas	60	162	80	171	118,0	210,0	1,8	5.7.2012
PL3700 oik	60	177	78	187	108,0	175,3	1,6	5.7.2012
PL3750 vas	60	169	63	172	113,1	175,3	1,6	5.7.2012
PL3800 oik	60	154	55	163	124,1	176,9	1,4	5.7.2012
PL3850 vas	40	130	80	138	98,0	219,7	2,2	7.11.2011
PL3900 oik	40	132	85	155	96,5	182,0	1,9	7.11.2011
PL3950 oik	40	135	70	145	94,4	169,9	1,8	7.11.2011
PL4000 vas	40	100	50	110	127,4	212,3	1,7	7.11.2011
PL4050	60	166	69	178	115,1	175,3	1,5	27.7.2012
PL4100	60	180	96	201	106,2	182,0	1,7	27.7.2012
PL4150	60	204	101	210	93,7	175,3	1,9	27.7.2012
PL4200	60	175	82	185	109,2	185,5	1,7	27.7.2012
PL4250	60	200	77	196	95,6	160,6	1,7	27.7.2012
PL4300	60	189	104	198	101,1	203,3	2,0	27.7.2012

PL4400	60	212	110	221	90,1	172,2	1,9	27.7.2012
PL4450	60	205	99	213	93,2	167,6	1,8	27.7.2012
PL4500	60	203	102	212	94,1	173,7	1,8	27.7.2012
PL4550	60	156	80	188	122,5	176,9	1,4	11.9.2012
PL4600	60	170	80	190	112,4	173,7	1,5	11.9.2012
PL4650	60	172	71	180	111,1	175,3	1,6	11.9.2012
PL4700	60	162	61	176	118,0	166,2	1,4	11.9.2012
PL4750	60	160	87	210	119,4	155,4	1,3	11.9.2012
PL4800	60	189	78	172	101,1	203,3	2,0	11.9.2012
PL4850	60	192	40	137	99,5	197,0	2,0	11.9.2012
PL4900	60	177	84	200	108,0	164,7	1,5	11.9.2012
PL4950	60	150	77	196	127,4	160,6	1,3	11.9.2012
PL5000	60	150	80	171	127,4	210,0	1,6	11.9.2012
PL5050	60	168	78	187	113,8	175,3	1,5	11.9.2012
PL5100	60	197	86	203	97,0	163,3	1,7	11.9.2012
PL5150	60	188	100	201	101,6	189,2	1,9	12.9.2012
PL5200	60	165	80	187	115,8	178,6	1,5	12.9.2012
PL5250	60	190	103	211	100,6	176,9	1,8	12.9.2012
PL5300	60	210	111	220	91,0	175,3	1,9	12.9.2012
PL5350	60	194	90	200	98,5	173,7	1,8	12.9.2012
PL5400	60	186	87	190	102,7	185,5	1,8	12.9.2012
PL5450	60	177	70	180	108,0	173,7	1,6	12.9.2012
PL5500	60	174	81	195	109,8	167,6	1,5	12.9.2012
PL5550	60	171	80	194	111,8	167,6	1,5	12.9.2012
PL5600	60	150	80	171	127,4	210,0	1,6	12.9.2012
PL5650	60	180	78	195	106,2	163,3	1,5	12.9.2012
PL5700	60	209	128	240	91,4	170,6	1,9	12.9.2012
PL5750	60	163	93	198	117,2	182,0	1,6	12.9.2012
PL5800	60	200	142	260	95,6	161,9	1,7	12.9.2012
PL5850	60	185	85	201	103,3	164,7	1,6	12.9.2012
PL5900	60	203	112	220	94,1	176,9	1,9	12.9.2012

PL5950	60	175	102	205	109,2	185,5	1,7	12.9.2012
PL6000	60	178	75	190	107,4	166,2	1,5	12.9.2012

				TIIVIYSMITTAUS (Troxler)		
Projekt TYL Joensuun Kehätie				Laatija Teemu Kiiskinen, Matti Lievonen		
Tilaja Liikennevirasto				Pvm		
Kohde/Kerros/Rakenne Vt6 Pääväylä				Materiaali Hiekka		
Vertailuarvo 1800, 1846, 1930 kg/m ³				Laatuvaatimukset Keskimäärin >92%, yksittäinen tulos vähintään 90%		
Mittauskohta (paalu/nro)	Kuivatiheys kg/m ³	Märkätiheys kg/m ³	Kosteus %	Tiiviyssaste %	Huomatuksia	Mittauspäivä
PL 221	1663	1778	6,9	92,4	DD=1800	28.6.2011
PL 270	1718	1819	5,9	95,4	DD=1800	28.6.2011
PL350	1644	1682	2,3	91,3	DD=1800	28.6.2011
PL 450	1688	1732	2,6	93,8	DD=1800	28.6.2011
PL 550	1704	1745	2,4	92,3	DD=1846	13.8.2010
PL 640	1816	1870	2,9	98,4	DD=1846	13.8.2010
PL 660	1881	1920	2,5	101,9	DD=1846	20.10.2010
PL 750	1720	1765	2,6	93,2	DD=1846	20.10.2010
PL 2800	1700	1772	4,2	94,4	DD=1800	15.9.2010
PL 2850	1675	1722	2,8	93,1	DD=1800	15.9.2010
PL 2900	1687	1736	2,9	93,7	DD=1800	15.9.2010
PL 2950	1744	1823	4,5	96,9	DD=1800	15.9.2010
PL 3012	1670	1732	3,7	92,8	DD=1800	15.9.2010
PL 3050	1711	1795	4,9	95,1	DD=1800	15.9.2010
PL 3100	1743	1809	3,8	96,8	DD=1800	15.9.2010
PL 3150	1705	1786	4,8	94,7	DD=1800	15.9.2010
PL3800	1829	1895	3,6	94,8	DD=1930	4.8.2011

PL3820	1785	1832	2,6	92,5	DD=1930	4.8.2011
PL 3840 vas	1787	1927	7,8	92,6	DD=1930	2.8.2011
PL 3880 oik	1879	2010	7,0	97,4	DD=1930	2.8.2011
PL 3920 vas	1903	2011	5,7	98,6	DD=1930	2.8.2011
PL3970 oik	1966	2095	6,6	101,9	DD=1930	2.8.2011
PL 4000 vas	1870	1943	3,9	96,9	DD=1930	21.7.2011
PL 4050 oik	1860	1937	4,1	96,4	DD=1930	21.7.2011
PL 4162 vas	1957	2032	3,8	101,4	DD=1930	29.6.2011
PL 4195 oik	1745	1801	3,2	90,4	DD=1930	29.6.2011
PL 4223 vas	1869	1920	2,7	96,8	DD=1930	29.6.2011
PL 4361 oik	1839	1951	6,1	95,3	DD=1930	28.6.2011
PL 4338 vas	1885	2014	6,8	97,7	DD=1930	28.6.2011
PL 4460 oik	1857	1902	2,4	96,2	DD=1930	21.7.2011
PL 4505 vas	1987	2035	2,4	103,0	DD=1930	21.7.2011
PL 4522 oik	1867	1904	2,0	96,7	DD=1930	21.7.2011
PL4750 vas	1825	1904	4,3	94,6	DD=1930	29.8.2012
PL4800	1839	1916	4,2	95,3	DD=1930	29.8.2012
PL4850	1836	1917	4,4	95,1	DD=1930	29.8.2012
PL4900	1899	1987	4,6	98,4	DD=1930	21.5.2012
PL 5050	1816	1876	3,3	94,1	DD=1930	2.9.2011
PL 5100	1822	1890	3,7	94,4	DD=1930	2.9.2011
PL 5150	1900	2001	5,3	98,4	DD=1930	2.9.2011
PL 5200	1840	1917	4,2	95,3	DD=1930	2.9.2011
PL 5250	1893	1962	3,6	98,1	DD=1930	2.9.2011
PL 5380	1877	1974	5,2	97,3	DD=1930	2.9.2011

PL 5400	1852	1918	3,6	96,0	DD=1930	2.9.2011
PL 5500	1914	2095	9,5	99,2	DD=1930	3.11.2011
PL 5550	1866	1943	4,1	96,7	DD=1930	3.11.2011
PL 5600	1845	1937	5,0	95,6	DD=1930	3.11.2011
PL 5650	1867	1976	5,8	96,7	DD=1930	3.11.2011
PL 5700	1800	1884	4,7	93,3	DD=1930	3.11.2011
PL 5750	1890	2003	6,0	97,9	DD=1930	3.11.2011
PL 5800	1860	1943	4,5	96,4	DD=1930	5.7.2012
PL 5850	1895	1997	5,4	98,2	DD=1930	5.7.2012
PL 5900	1855	1943	4,7	96,1	DD=1930	5.7.2012
PL 5950	1834	1937	5,6	95,0	DD=1930	5.7.2012
PL 6000	1900	2044	7,6	98,4	DD=1930	5.7.2012



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoee)

Projekti TYL Joensuun Kehätie	Laatija Teemu Kiiskinen
Kohde E4	Pvm 28.6.2011
Tilaaaja Liikennevirasto	Materiaali Soramurske 0/56
Kerros/Rakenne Kantava	Laatuvaatimukset E2 _{min} = 160 E2/E1 < 2,2

Testin tulos määritetään seuraavasti:

$$E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$$

D= Levyn halkaisija [mm]

Kuorma 40kN => suhdeluku 12740

 δ = Jännitys [Mpa]

 Δs = Painuma [mm]

Kuorma 60kN => suhdeluku 19110

Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
R1 PL60	40	130	86	160	98,0	172,2	1,8	28.6.2011
R1 PL150	40	138	71	150	92,3	161,3	1,7	28.6.2011
R2 PL70	40	93	25	100	137,0	169,9	1,2	22.6.2011
R2 PL10	40	98	44	113	130,0	184,6	1,4	28.6.2011
R3 PL300	40	126	75	152	101,1	165,5	1,6	29.6.2011
R3 PL400	40	163	86	165	78,2	161,3	2,1	29.6.2011
R4 PL10	40	126	78	155	101,1	165,5	1,6	28.6.2011
R4 PL100	40	113	65	143	112,7	163,3	1,4	28.6.2011
R4 PL170	40	117	44	115	108,9	179,4	1,6	28.6.2011



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoee)

Projekti	TYL Joensuun Kehätie			Laatija	Teemu Kiiskinen & Matti Lievonen			
Kohde	E5 Karjalankadun eritasoliittymä			Pvm				
Tilaaja	Liikennevirasto			Materiaali	Sora 0-150			
Kerros/Rakenne	Jakava			Laatuvaatimukset	E2 _{min} = 100 E2/E1 < 2,2			
Testin tulos määritetään seuraavasti:								
$E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$			D= Levyn halkaisija [mm]		Kuorma 40kN => suhdeluku 12740			
			δ = Jännitys [Mpa]		Δs = Painuma [mm]		Kuorma 60kN => suhdeluku 19110	
Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
R3PL260	40	137	63	156	93,0	137,0	1,5	15.8.2011
R3 PL360	40	145	66	153	87,9	146,4	1,7	15.8.2011
R3PL460	40	142	57	152	89,7	134,1	1,5	15.8.2011
R2PL50	40	177	44	155	72,0	114,8	1,6	3.11.2011
R2PL150	40	165	55	175	77,2	106,2	1,4	3.11.2011
R2PL250	40	190	60	181	67,1	105,3	1,6	31.8.2011
R2PL350	40	165	65	173	77,2	118,0	1,5	31.8.2011



KANTAVUUSMITTAUS (Levykuormituskoee)

Projekt TYL Joensuun Kehätie		Laatija Teemu Kiiskinen						
Kohde E6 Repokallion eritasoliittymä		Pvm						
Tilaja Liikennevirasto		Materiaali Sr 0-150						
Kerros/Rakenne Jakava		Laatuvaatimukset E2 _{min} = 160 E2/E1 < 2,2						
Testin tulos määritetään seuraavasti: $E = (0,75 \cdot D \cdot \delta) / \Delta s$ <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> D= Levyn halkaisija [mm] δ= Jännitys [Mpa] Δs= Painuma [mm] </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: x-small;"> Kuorma 40kN => suhdeluku 12740 Kuorma 60kN => suhdeluku 19110 </div>								
Mittauskohta (paalu/nro)	Kuorma (40kN/60kN)	Mittaukset			Tulos			Mittauspäivä
		1.	2.	3.	E1	E2	E2/E1	
R2 PL100	40	206	95	210	61,8	110,8	1,8	11.6.2012
R2 PL150	40	198	87	192	64,3	121,3	1,9	11.6.2012
R2 PL250	40	193	84	187	66,0	123,7	1,9	11.6.2012
R1 PL400	40	210	105	214	60,7	116,9	1,9	12.7.2012
R1 PL300	40	228	96	213	55,9	108,9	1,9	12.7.2012
R1 PL100	40	216	97	211	59,0	111,8	1,9	12.7.2012
R3 PL 450	40	225	125	243	56,6	108,0	1,9	17.9.2012
R3 PL 350	40	205	115	220	62,1	121,3	2,0	17.9.2012
R3 PL 250	40	189	127	235	67,4	118,0	1,8	17.9.2012
R3 PL 150	40	199	112	212	64,0	127,4	2,0	17.9.2012
R3 PL 50	40	222	127	243	57,4	109,8	1,9	17.9.2012
R4 PL 300	40	200	115	220	63,7	121,3	1,9	14.9.2012
R4 PL 400	40	203	130	240	62,8	115,8	1,8	14.9.2012

