

PRALL-LAITTEISTON KEHITTÄMINEN



Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Hämeenlinna, Visamäki, kevät 2017

Elmer Bäckström

Koulutus Rakennustekniikan koulutusohjelma / Yhdyskuntatekniikka
Kampus Visamäki

Tekijä Elmer Bäckström **Vuosi** 2017

Työn nimi Prall -laitteiston kehittäminen

Ohjaajan nimi Jari Mustonen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö tehtiin Liikenneviraston ja Päällystealan neuvottelukunta PANK ry:n laboratoriotuimikunnan toimeksiannosta. Opinnäytetyön keskeisenä tarkoituksena oli kehittää ja yhdenmukaistaa Prall -laitteistoa ja työmenetelmiä. Prall -menetelmällä testataan päällysteiden nastarengaskulumiskestävyyttä.

Opinnäytetyöhön on koostettu tärkeimmät viime vuosina tehdyt tutkimukset ja vertailukokeet Prall -laitteen kehityksestä. Lisäksi tehtiin vertailu Suomen viiden Prall -laitteen välillä, sekä laadittiin korjaus-, sekä yhdenmukaistamisedotukset uusittavuusarvon parantamiseksi, sekä testaustavan ja laitteiden yhdenmukaistamiseksi. Lähdemateriaalina tutkimustyölle oli ruotsalaisen VTI:n, yhteispuhjoismaisen NordFoU:n, sekä suomalaisten laboratorioden julkaisemia tutkimusraportteja.

Opinnäytetyön tuloksena, tehtyjen tutkimusten tulosten koostamisen lisäksi, annettiin ohjeet ja ehdotukset laboratorioille kannen pehmikekumin yhdenmukaistamisesta, teräskuulien vaihtotavasta, veden virtaaman tarkkailusta, laakereiden välysten tarkkailusta, sekä standardin SFS EN 12697-16:2016, menetelmä A:n sallimia toleransseja tiukemmista toleransseista. Muutosten toteuttaminen jäi kunkin laboratorion itse tehtäväksi ja tarkkailtavaksi. Tehtyjen korjaus ehdotusten tulokset näkyvät seuraavissa vertailukokeissa.

Prall-laitteiden välisiä eroavaisuuksia on tutkittu ja korjattu uuteen standardiin. Nyt tehtyjen korjaus- ja kehitysehdotusten lisäksi laitteistoa on vaikea enää kehittää yhdenmukaisemmaksi. Seuraava jatkotutkimus olisikin aiheellista keskittää näytteiden eron selvittämiseen, sekä laatimaan kuvankäsittelyyn perustuva ohjelmaa kivipinta-alan vaikutuksista tuloksiin.

Avainsanat päällyste, laitevertailu, yhdenmukaistaminen

Sivut 30 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering
Visamäki, Hämeenlinna

Author	Elmer Bäckström	Year 2017
Subject	Development of the Prall equipment	
Supervisor	Jari Mustonen	

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by the Finnish Transport Agency, Liikennevirasto and Päälystealan neuvottelukunta PANK ry. The main purpose was to develop and standardize the Prall equipment and work methods. The Prall method is used to test the wear properties of the pavement caused by the use of studded tires.

The most important studies and comparative tests conducted on Prall equipment in the past few years were compiled in the thesis. In addition, a comparison between five equipment setups were made and relating to that, standardizing and correcting suggestions were made to enhance the reproducibility and to standardize the test method and equipment. The publications by the Swedish VTI and by NordFoU and Finnish laboratories were used as a reference material.

As a result of the thesis, along with composing the results from earlier researches, instructions and proposals were given to the laboratories concerning the cushioning rubber mat, changing the steel balls, observing the water flow and play on bearings. Also, tighter tolerances were suggested than given in the standard SFS EN 12697-16:2016.

The differences between the equipment were studied and repaired in the new standard. The conformation of the equipment further is hard after the rectification and development proposals of this thesis. The next follow-up research should therefore focus on examining the differences of specimens and the development of an image processing program to study the impacts of surface area on stones.

Keywords pavement, device comparison, conformation

Pages 30 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PRALL–MENETELMÄ.....	2
2.1	Prall-menetelmän kuvaus	2
2.2	Tutkimuksen hyödyt.....	3
2.3	Menetelmäkuvaus.....	3
2.4	Vaatimukset asfaltille	5
2.5	Päällysteet	6
2.5.1	AB-massat eli asfalttibetoni.....	7
2.5.2	SMA-massat eli kivimastikiasfaltti	7
2.5.3	PAB -massat eli pehmeä asfalttibetoni	7
2.5.4	VA eli valuasfaltti	7
2.5.5	AA eli avoin asfaltti	8
3	PRALL-MENETELMÄSTÄ TEHDYT TUTKIMUKSET JA KEHITYS	8
3.1	Utveckling av Prallmetoden, VTI	9
3.1.1	Iskun ja veden lämpötilan vaikutus	9
3.1.2	Teräskuulien vaikutus	10
3.1.3	Eri tekijöiden yhteisvaikutus.....	11
3.1.4	Sementtituotteiden ja kivimateriaalien vertailu referenssikokeissa	11
3.1.5	VTI:n suositukset	12
3.2	NordFoU, Final Report 2015 -Development of the Prall-test method in a Nordic perspective	13
3.2.1	Testien ensimmäinen vaihe.....	13
3.2.2	Testien toinen vaihe	15
3.3	Prall -selvitys ja vertailukokeet 2016	15
3.4	Prall-selvitys 2016: Koekohdeselvitykset SMA 16, reseptit A ja B	18
3.5	Lemminkäisen tekemä vertailukoe	18
4	TUTKIMUSSUUNNITELMA	19
4.1	Tutkittavat asiat	19
4.2	Tutkimusmenetelmät	20
4.3	Tutkimuspaikat.....	20
5	TULOKSET	21
5.1	Lemminkäinen Infra Oy	22
5.2	Mitta Oy.....	22
5.3	Aalto yliopisto.....	23
5.4	NCC Industry Oy	23
5.5	OAMK	24
5.6	Tutustumiskäyntien yhteenveto	24
5.6.1	Laite- ja varustekohtaiset erot	25
5.6.2	Näytteen valmistelun erot.....	27
5.6.3	Erot käytänteissä ja tulosten käsittelyssä.....	27

6 POHDINTA.....	28
LÄHTEET.....	30

1 JOHDANTO

Asfalttipäällysteen suunnittelussa ja toteutuksessa on monta huomioitavaa seikkaa, jotka vaikuttavat päällysteen laatuun ja ominaisuuksiin. Näihin kuuluvat suunnittelu, valmistus, ylläpito ja korjaus. Tärkeimpänä seikkana pidetään vuosittaisia kustannuksia. Arvioinnissa pitää huomioida keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL), jotta pystytään rajaamaan asfalttilaatu. Tilaaja voi myös asettaa omia tavoitteita, jotka tulee suunnittelussa huomioida. Päällysteelle on olemassa raja-arvonsa, jotka valmiin päällysteen tulee täyttää. Asfalttinormit asettavat vähimmäisrajat, jotka päällysteen tulee vähintään täyttää, mutta tilaaja voi asettaa päällysteelle tiukemmatkin rajat. Päällystettä valittaessa huomioidaan ensimmäisenä päällystettävän alueen liikennemäärät. Lopullista valintaa tehtäessä eri päällysteiden välillä määrääväksi tekijäksi muodostuvat vuosittaiset kustannukset. Lisäksi valintaa määrittävät kiviaineksen saatavuus, laatu ja se, millainen päällyste päällystettävällä alueella on ollut aiemmin (Tielaitos 1997, 10).

Tämä opinnäytetyö käsittelee päällysteen nastarengaskulutuskestävyyttä mittaavan Prall-testauslaitteiston kehittämistä Suomessa. Prall-laite on Suomessa tärkeässä roolissa testattaessa päällysteen nastarengaskulutuskestävyyttä. Laitteen antamia tuloksia voidaan käyttää jo teiden päällystereseptejä suunniteltaessa sekä tarkasteltaessa valmista tienpintaa. Ongelmana kyseisellä laitteistolla on saman suureen mittaustulosten vaihtelu eri laboratorioiden välillä. Tätä uusittavuusarvoa on pyritty tämän opinnäytetyön puitteissa parantamaan.

Laitteita on Suomessa viisi kappaletta. Näihin jokaiseen tutustuttiin paikan päällä niitä toisiinsa verraten jotta eroavaisuudet saataisiin minimoitua ja uusittavuusarvoa parannettua. Esitietojen perusteella suurimman eroavaisuuden laitteiden välillä aiheuttavat laitteen perustamistapa ja kiinnitys alustaan. Tämän lisäksi iskunpituus, veden lämpötila, kuulien koko ja iskun taajuus ovat huomioitavia suureita erojen kartoittamisessa ja minimoimisessa. Huomioitava on myös, että yksikään näyte ei ole identtinen, koska näytteet eivät ole homogeenisiä. Työn perusteella suoritetaan sarja kokeita, joissa seurataan onko tehdyillä muutoksilla vaikutusta laboratorioiden välillä. Opinnäytetyössä standardilla viitataan standardiin SFS EN 12697-16:2016, menetelmä A, ellei muuta mainita.

Opinnäytetyöhön on myös koottu tärkeimmät julkaisut Prall -laitteiston kehityksen kannalta menneiltä vuosilta. Ruotsalainen VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) on ollut tutkimus- ja kehitystyössä menneinä vuosina merkittävässä roolissa. Myös yhteispohjoismaisia projekteja järjestetään ja on järjestetty, viimeisin suurempi projekti on vuodelta 2015. Tämän opinnäytetyön teon aikaan VTI järjesti yhteispohjoismaisen vertailukokeen, mutta sen tuloksia ei ehditty saamaan mukaan tähän päättötyöhön.

2 PRALL-MENETELMÄ

Seuraava kappale kertoo Prall-menetelmän pääpiirteet ja käyttötarkoituksen. Aiheen ja laitteiston esittelyä on selvennetty kuvin. Lisäksi kappaleessa on kerrottu yleisimmät asfalttilaadut ja yleisimmät käyttökohteet kullekin massatyypille. Huomioitavaa on, että Prall-laitteistolla testataan asfalteista SMA- ja AB-massoja.

2.1 Prall-menetelmän kuvaus

Jotta tien kulutuskerroksen kulumiskestävyyttä pystytään arvioimaan ja vertailemaan tieteellisesti pitää sitä pystyä testaamaan laboratorio-oloissa luotettavasti. Prall-menetelmä on yksi useista laboratoriotutkimusmenetelmistä, jolla voidaan tutkia asfalttipintojen kulumista. Menetelmä on peräisin Yhdysvalloista, jossa metodilla tutkittiin tarttuvuusominaisuuksia. Tuolloin käytössä oli teräskuulien sijaan kumiset kuulat. Metodi tuotiin Saksaan 1970-luvulla, ja sieltä edelleen Ruotsiin 1980-luvulla. Ruotsissa menetelmää kutsuttiin nimellä FAS Metod 471. Suomeen metodi tuli 1990-luvun alussa. Vertailukokeissa tien kulumisen kanssa todettiin, että Prall-menetelmä vastasi hyvin nastarenkaiden aiheuttamaa kulumista ja näin siitä tuli virallinen testausmenetelmä (Viman 2010, 9). Menetelmälle on olemassa oma standardinsa, SFS EN 12697-16:2016, osa A. Osa B on SRK-testauslaitteen standardi, jota ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Näytteiden valmistelu Prall-laitteeseen alkaa näytekappaleen sahaamisella tiestä tai näytteen tekemisellä laboratoriossa, jonka jälkeen näytteet halkaistaan sahalla, jotta saadaan kaksi $30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ näytettä. Näytteiden ottoon ja valmistamiseen on omat standardinsa, joita jokainen laboratorio noudattaa. Testauslaitteeseen (Kuva 1.) asetetaan noin 100 millimetriä halkaisijaltaan oleva, noin kolme senttimetriä paksu, lieriön muotoinen testattava näyte. Näyte voi olla joko laboratorio-oloissa valmistettu tai tieltä porattu näytekappale. Referenssi- ja kalibrointimateriaaleina voidaan myös esimerkiksi käyttää pinnoitettuja betonikappaleita. Kumibitumia sisältäviä näytteitä ei voida testata Prall-laitteistolla.

Näytteen päälle testauskammioon laitetaan 40 teräskuulaa jotka kuluttavat testin aikana näytettä. Kulutustestin aikana näytekappaleesta irtoaa hienoaainesta ja pieniä kiviä, jotka huuhdellaan jatkuvan vesikierron avulla testauskammioista pois. Laite käy nopeudella 950 kierrosta minuutissa pystysuuntaisella liikkeellä, joka saa teräskuulat kuluttamaan näytekappaletta. Prall-kulutusarvo saadaan jakamalla ennen ja jälkeen testin otettujen massojen erotus kappaleen tiheydellä. Yksikkönä käytetään millilitroja.



Kuva 1. Prall-laite, takana vakiointi- ja huuhteluvesiallas. (Elmer Bäckström, 2016)

2.2 Tutkimuksen hyödyt

Nastarengaskulutuskestävyys, deformaatiokestävyys, säänkestävyys, kustannustehokkuus ja näiden kautta oikeanlainen päällysteresepti ovat tavoitteina, kun pyritään löytämään paras mahdollinen päällyste tiettyyn paikkaan. Moottorien kulumisen esimerkiksi aiheutuu nastojen nopeista iskuista, kun taas kaupungissa teiden kulumisen johtuu ennemminkin hitaamman ajonopeuden, mutkissa ja risteyksissä kääntymisen sekä auton pysäköimisen aiheuttamasta hiertävästä liikkeestä.

Toiminnallinen suhteitus määrittää vaativat päällystyskohteet. Muutoin voidaan käyttää kokemukseen perustuvaa suhteitusta, jolloin reseptit tehdään aiempiin kokemuksiin perustuen. Eri paikkoihin soveltuvat reseptit syntyvät kokemuksella ja tietämyksellä, minkälainen päällysteseos ja kiviaines mihinkin soveltuu. Asfaltin ja päällysteiden täytyy täyttää tietyt vaatimustasot. Asfaltinormit 2011 -julkaisun mukaiset vaatimukset asetetaan ominaisuuksittain joko materiaaleille tai massalle tai päällysteelle. Vaatimustasot asetetaan hankekohtaisesti. Raaka-aineiden, asfalttimassojen ja päällysteiden testaukseen tulee käyttää hyväksyttyä testausorganisaatiota (InfraRYL, päivitys 2015, 1.)

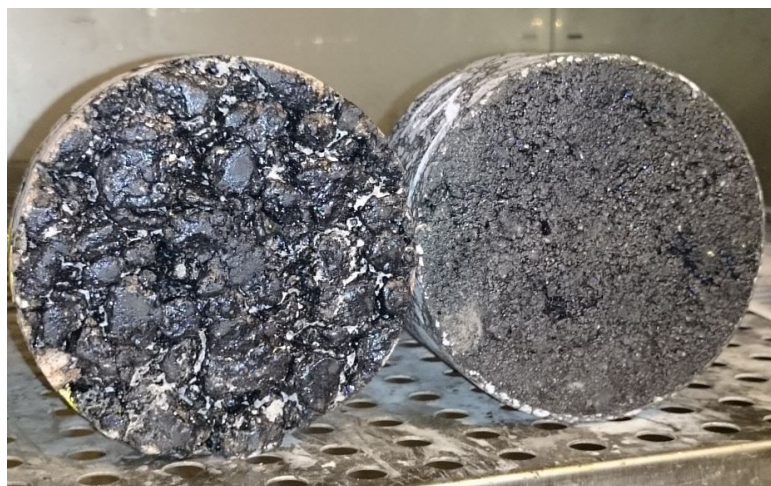
2.3 Menetelmäkuvaus

Pyrkimyksenä on kuluttaa testikappaletta (Kuva 2.) niin, että ero kulumattomaan voidaan mitata ja täten antaa kulumisen Prall -arvo. Testikappale on lieriönmuotoinen, halkaisijaltaan 100 ± 2 millimetrin ja korkeudeltaan 30 ± 2 mil-

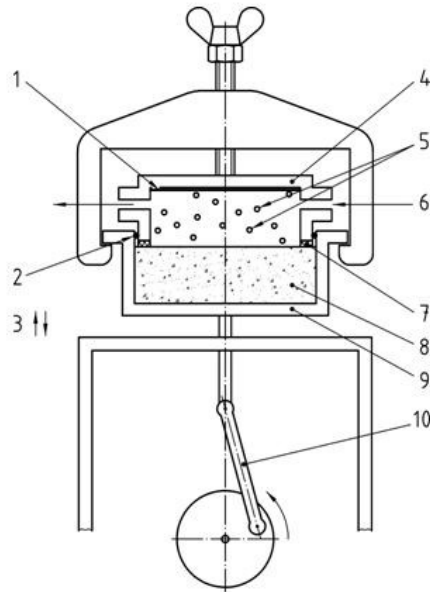
limetrin kokoinen kappale. Näytteen tiheys määritetään standardin EN 12697 - 6 mukaisesti, minkä jälkeen testikappaleita pidetään vähintään 5 tuntia, mutta enintään 72 tuntia vedessä, jonka lämpötila on 5 ± 1 °C. Tämän jälkeen kappale nostetaan vedestä, siitä pyyhitään vesipisarot pois ja määritetään kappaleen massa ennen koetta.

Testikappale nostetaan laitteen testuskammioon (Kuva 3.), kappaleen päälle asetetaan kumirengas ja kumirenkaan sisälle 40 teräspalloa. Testuskammion kannen sisäpintaan liimataan tiiviisti polykloropeeniä tai vastaavaa oleva kumi-levy, kansi suljetaan ja kiristetään edellä mainitun kumirenkaan päälle, ja näin saadaan kappale pysymään tiukasti aloillaan testin aikana. Kun kansi on kiristetty paikoilleen, asetetaan veden virtaus kammioon. Kammion läpi pitäisi virrata vesi $2,0 \pm 0,2$ litraa minuutissa. Veden kierrätyksessä pitää huolehtia, että hienoaines suodatetaan pois. Testilaitteen annetaan käydä 15 minuuttia ± 10 sekuntia nopeudella 950 ± 10 kierrosta minuutissa. Mikäli veden kierto syystä tai toisesta estyy, on testi mitätön. Tällöin on otettava uusi näyte ja suoritettava testi uudelleen.

Kun testi on suoritettu loppuun, avataan testuslaitteen kansi, poistetaan kuulat, kumirengas ja testikappale laitteesta. Mikäli näytteestä irtoaa reunoilta kappaleita testuskammioista poiston yhteydessä, ne huomioidaan punnituksessa. Muutoin irtokiviä massassa ei huomioida. Testikappaleesta huuhdellaan kylmällä vedellä irtoaines ja kuivataan vesipisarot pois. Välittömästi kuivaamisen jälkeen suoritetaan punnitus, jossa määritetään testikappaleen kokeen jälkeinen paino. Kulumisarvo saadaan jakamalla massojen erotus näytteen tiheydellä, joka on määritetty ennen testiä oman standardinsa mukaisesti.



Kuva 2. Testikappaleita odottamassa vakiointia. (Elmer Bäckström, 2016)



Selite

1 Kumilevy	6 Jäähdytysveden sisään- ja ulostulo
2 O-rengas	7 Sileä kumirengas
3 Männän liike	8 Näyte
4 Kansi	9 Näytekaulus
5 Teräspallot	10 Kiertokanki

Kuva 3. Periaatekuva kulutuslaitteistosta (SFS EN 12697-16:2016, 8).

2.4 Vaatimukset asfaltille

Kuten alusrakenteillekin, on tien kuluspinnalle asetettu laatuvaatimukset, jotka määrittävät massan, kiven laadun ja muodon sekä massan tiivistyksen ja levityksen. Näistä tekijöistä muodostuu valmis tienpinta eli kulutuskerros. Tieluokka määrittää, millainen kulutuskerroksen pitäisi olla ominaisuuksiltaan. Tietluokitellaan:

- valtateihin
- kantateihin
- seututeihin ja
- yhdysteihin.

Pitkämatkan maakuntien välistä liikennettä kuten myös valtakunnallista liikennettä palvelevat valtatie. Valtateitä täydentävät kantatiet, jotka täydentävät valtatieverkostoa, ja palvelevat maakuntien liikennettä. Seutukuntien liikennettä palvelevat seututiet, jotka myös liittyvät seutukuntien liikenteen valta- ja kantateihin. Näihin kuulumattomat tiet ovat yhdysteitä. (RT -kortti LVM-21698 2016, 1.)

Päällystettä valittaessa huomioidaan ensimmäisenä päällystettävän alueen liikennemäärät. Lopullista valintaa tehtäessä eri päällysteiden välillä määrääväksi

tekijäksi muodostuvat vuosittaiset kustannukset. Lisäksi valintaa määrittäviä tekijöitä ovat kiviaineksen saatavuus ja laatu sekä päällystettävän alueen aiempi päällyste. (Päällysteiden suunnittelu 1997, 10.)

Asfalttipäällysteen suunnittelussa ja toteutuksessa on monta huomioitavaa seikkaa, jotka vaikuttavat päällysteen laatuun ja ominaisuuksiin. Näihin kuuluvat suunnittelu, valmistus, ylläpito, sekä korjaus. Tärkeimpänä seikkana pidetään vuosittaisia kustannuksia. Arvioinnissa pitää huomioida keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL), jotta pystytään rajaamaan asfalttilaatu. Tilaaja voi myös asettaa omia tavoitteitaan, jotka tulee suunnittelussa huomioida. Päällysteelle on olemassa raja-arvonsa, jotka valmiin päällysteen tulee täyttää. Asfaltinormit asettavat vähimmäisrajat, joihin päällysteen tulee vähintään päästä, mutta tilaaja voi asettaa päällysteelle tiukemmatkin rajat. (Päällysteiden suunnittelu 1997, 10.)

Liikennemäärät ovat kustannustehokkuuden näkökulmasta ratkaisevassa roolissa päällystettä valittaessa (Taulukko 1.). Raskaasti liikennöidylle moottoritielle käytetään eri massaa erilaisella maksimiraekoolla kuin kaupungin taajamaan, jossa nopeudet ovat varsin pieniä ja kulutus erilaista. (Päällysteiden suunnittelu 1997, 11.)

Taulukko 1. Karkea valintataulukko liikennemäärien mukaan. (Päällysteiden suunnittelu 1997, 11.)

Liikennemäärä, KVL	Päällystetyyppi
0 ... 300	SOP (soratiepinta)
200 ... 1500	PAB-V
500 ... 2500	PAB-B
1000 ... 6000	AB
3000 ...	SMA

2.5 Päällysteet

Asfalttityypin perässä oleva lukusarja kuvastaa tarkemmin asfaltin laadun. SMA 16 esimerkiksi kertoo, että kyseisen kivimastikiasfaltin maksimiraekoko on 16 millimetriä. Mikäli tämän jälkeen on kauttaviivan jälkeen lukusarja, esimerkiksi SMA 16/100, jälkimmäinen luku kuvastaa nimellispaksuutta. Nimellispaksuuden yksikkö on kilogrammaa neliometriä kohti (kg/m^2). (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 2–3.)

Suomessa tieliikenteen käytössä on käytännössä kolme asfalttityyppiä:

- AB, eli asfalttibetoni
- SMA, eli kivimastikiasfaltti
- PAB, eli pehmeä asfalttibetoni.

Näiden lisäksi käytössä on erikoiskohteissa, kuten siltojen kansien pinnoitteina VA eli valuasfaltti, sekä AA, joka on avoin asfaltti, jonka ilmahuokokset muodostavat vettä läpäisevän rakenteen. (Päällysteiden suunnittelu n.d. 10.)

2.5.1 AB-massat eli asfalttibetoni

Asfalttibetonien etu on niiden monikäyttöisyys. Käyttökohteita ovat ajoradat, jalkakäytävät, kevyen liikenteen väylät, pihat, kentät sekä lattianpäällysteet. AB-massoja voidaan käyttää kantavasta kerroksesta kulutuskerrokseen sekä vanhojen päällysteiden pintauksiin. Sideaineena käytetään tyyppillisesti suhteellisen kovia bitumilaatuja. AB-massan sideaine voidaan lisätä myös emulgoituna, jolloin asfalttibetonityypin lyhenteeseen lisätään E (esimerkiksi EAB). Pienemmän raekoon AB-massat soveltuvat tienpintauksiin parhaiten keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) ollessa 500–2500, karkeammalla raekoolla KVL < 5000. Kokemukseen perustuva suhteitus yleensä riittää, kun KVL on alle 2500, muutoin suositus toiminnalliseen suhteitukseen. (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 2–3.)

2.5.2 SMA-massat eli kivimastikiasfaltti

Kivimastikiasfaltti on monikäyttöistä, mutta hintavaa. Tämän vuoksi pääkäyttökohte on vaativien ajoratojen kulutuskerroksessa. Laatikkojyrksinnässä SMA -massaa käytetään pintauksiin. Yleensä kovempi bitumi toimii sideaineena, mutta myös kumibitumia käytetään. Kiviaineksesta 85 % on kalliomurskettä. Pienellä maksimiraekoolla olevaa SMA -massaa pystytään käyttämään matalien nopeusrajoitusten katujen ja teiden kulutuskerroksessa. Sen etu on hiljaisuus ja kerroksen ohuus. (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 4.)

2.5.3 PAB -massat eli pehmeä asfalttibetoni

PAB-massojen oleellisin ero AB-massoihin verrattuna on niiden pehmeämpi sideaine. Pehmeät asfalttibetonit ovat korvanneet öljysoran, sekä bitumiliuosoran, jota kutsuttiin kevytasfalttibetoniksi. PAB-massat luokitellaan muista asfalttimassoista poiketen sideaineensa perusteella. Näitä ovat PAB-B, PAB -V, sekä PABK. PAB-B - ja PABK -massoissa käytetään bitumeja tai niistä tehtyjä emulsioita. PAB-V -massoissa käytetään edellisiä pehmeämpää bitumia tai niistä tehtyjä emulsioita. Pehmeiden asfalttibetonien kiviaineksena käytetään murskettä. Murskeen rakeisuuskäyrä on samankaltainen AB-massojen rakeisuuskäyrän kanssa sillä erotuksella, että hienoainespitoisuus on yleensä alhaisempi. (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 5.)

2.5.4 VA eli valuasfaltti

Valuasfalttia voidaan levittää käsin tai levittimellä eikä sitä tiivistetä. Se soveltuu jalkakäytäviin, suurta vesitiiveyttä vaativiin kohteisiin, sekä vaativiin kohteisiin.

siin, kuten siltojen ajoratapäälysteeksi. Muihin asfaltteihin verrattuna poikkeuksellisen hyvän vesitiivyyden johdosta valuasfalttia käytetään myös ympäristörakentamisessa. Käsien levitettävien valuasfalttien maksimiraekoko on 5,6–16 millimetriä, massat yleensä VA5–VA11. Levittimellä levitettävien massojen maksimiraekoko on 8–22,4 millimetriä, yleisimmin kuitenkin levittimellä levitettävä massa on VA16. Kiviaines on mursketta ja hiekkaa, ja täyteaines kalkkikivijauhetta. Ajoratapäälysteissä yli kahden millimetrin kiviaineksen on oltava kalliomursketta, jotta stabiilius voidaan varmistaa. Massan laatua arvioidaan sideainepitoisuuden ja rakeisuuskäyrän kautta, sekä testaamalla massasta tehtyjä koekappaleita. (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 7.)

2.5.5 AA eli avoin asfaltti

Avointa asfalttia käytetään pysäköintialueilla, kevyesti liikennöidyillä kentillä ja pihoilla. Rakenteensa huokoisuuden ansiosta se läpäisee hyvin vettä ja toimiikin parhaiten alueilla, joissa vedenohjaus toimii huonosti, mutta joissa pintarakenteen alapuolella vesi liikkuu hyvin. Hienorakeisena materiaalina avoin asfaltti vaimentaa hyvin ääntä, mutta sen kulutuskestävyys on heikko. Asfalttinormien mukainen jako on AA5, AA8, AA11, sekä AA16. 11- ja 16-massojen yli 5,6 millimetrin kivirakeista vähintään 75 % on oltava kokonaan tai osittain murskattua. Avoimen asfaltin sideaineet, joiden pitoisuus on välillä 4,7–6,0 %, ovat yleensä kovia bitumeita sekä kumibitumeita. (Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset n.d. 8.)

3 PRALL-MENETelmäSTÄ TEHDYT TUTKIMUKSET JA KEHITYS

Prall-menetelmän heikkous on sen huono uusittavuus ja toistettavuus. Uusittavuus tarkoittaa samassa laboratoriossa toistettavissa olosuhteissa mitattua suuretta ja toistettavuus saman mittaussuureen yhtäpitävyyttä eri laboratorioiden välillä. Uusittavuusarvo on lähtökohtaisesti ollut vertailtaessa parempi kuin toistettavuusarvo. Tähän voi olla useita syitä, mutta yksi merkittävä tekijä on se, että käytetään samaa laitetta.

Mikäli vertailukappaleena käytettäisiin täysin homogeenistä materiaalia, pitäisi myös kivien pinta-alan ja muotoarvon aiheuttamat eroavaisuudet saada poistettua. Tämä auttaisi säädettäessä laitteet eri laboratorioiden välillä. Ongelma on löytää juuri sopivasti kuluva materiaali josta pystyttäisiin näkemään ero selvästi. Betoni kuluu liikaa ja kivi liian vähän, jotta eroja pystyttäisiin selkeästi vertailemaan.

Vuosien varrella menetelmää on pyritty kehittämään ja parantamaan vaihtelevin tuloksin niin Pohjoismaisella yhteistyöllä, kuin maakohtaisilla tutkimuksilla. Aiemmissa tutkimuksissa ilmenneet suurimmat eroja aiheuttavat tekijät ovat olleet iskunpituus, veden lämpötila, teräskuulien paino ja koko, sekä iskutaajuus. Seuraavaksi esitellään tärkeimmät tehdyt tutkimukset viime vuosilta.

3.1 Utveckling av Prallmetoden, VTI

Utveckling av Prallmetoden -raportissa annetaan metodin parantamiseksi kehitysehdotuksia, joista tärkeimpiä ovat:

- Testi aina leikatulta pinnalta
- Testin aikana irtoavien kappaleiden samanlainen käsittely
- Teräspallojen minimipaino
- Pienempi toleranssi taajuudelle ja ajalle. (Viman 2010, 5.)

Nämä onkin huomioitu standardissa SFS EN 12697-16 A seuraavasti:

- Laboratoriossa valmistettujen näytteiden ja poranäytteiden käsittelyyn on annettu erilliset ohjeet omissa standardeissaan. Poranäytteet testataan sahaamattomalta, laboratorionäytteet sahatulta pinnalta.
- Jos kiviaines irtoaa näytteen reunoilta, kun näyte poistetaan testauskammiosta, irronnut kiviaines on huomioitava massassa. Testauskammiosta testin jälkeen löytyneitä irtokiviä ei huomioida massassa, mutta niiden paino kirjataan ylös.
- Teräspallojen halkaisija pitää olla 11,50–12,01 millimetriä, kovuus HRC -yksiköillä ilmaistuna 58 –65, sekä 40 pallon yhteispaino 265–285 grammaa.
- Laitteen annetaan toimia 15 minuuttia \pm 10 sekuntia, nopeuden ollessa 950 ± 10 kierrosta minuutissa. (SFS EN 12697-16/2016, 9-11.)

Näillä täsmennyksillä on standardiin saatu toleranssit, eli sallitut poikkeamat, joiden sisällä laitteiden ja varusteiden on oltava. Vertailtaessa laitteita erot olivat standardin sallimien toleranssien sisällä, vaikka jotkin laitteet olivatkin toleranssien ääripäissä.

3.1.1 Iskun ja veden lämpötilan vaikutus

VTI testasi muuttujista erikseen iskunpituuden, iskutaajuuden, veden lämpötilan ja kuulien parametrien vaikutuksia Prall-arvoon. (Viman 2010, 12.) VTI:n testeissä haluttiin selvittää standardin toleranssien sisällä, mikä on toleranssien aiheuttama ero tuloksiin. Standardissa esimerkiksi veden lämpötilalle annetaan arvo $+5 \pm 1$ °C. Tämä tarkoittaa, että testi on vertailukelpoinen veden lämpötilan ollessa välillä $+4$ – $+6$ °C.

Iskunpituudelle on annettu standardissa arvo 43 ± 1 millimetriä. Tämä sallittu toleranssi tekee VTI:n tekemän tutkimuksen mukaan eroksi Prall-arvoon 2 cm^3 , joka on varsin merkittävä ero. Iskunpituuden pitämiseksi mahdollisimman lähellä standardin mukaista 43 millimetrin arvoa, pitää laakerin välystä tarkkailla huolellisesti. (Viman 2010, 12.)

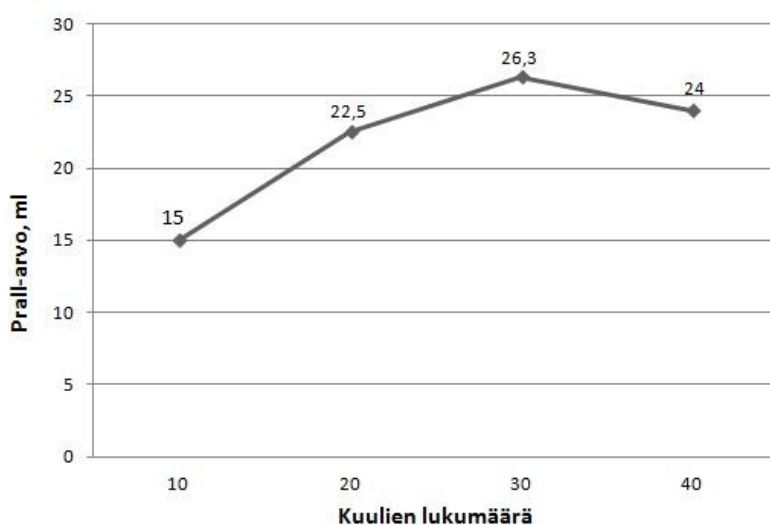
Veden lämpötilan on standardin mukaan oltava $+5 \pm 1$ °C. Vertailukokeissa oli testattu lämpötiloja +5 °C ja +7 °C. Vaikka +7 °C ei olekaan standardin mukainen arvo, on lämpötilojen välinen ero kuitenkin standardin toleranssi. Eroksi tutkimuksessa saatiin 3–5 yksikköä (cm^3) Prall -arvossa. Tutkimuksessa kävi tässä yhteydessä ilmi, että veden lämpötilan vaikutus on sitä suurempi, mitä pienempi maksimiraekoko on näytteessä. (Viman 2010, 13.)

Iskutaajuutta testattiin arvolla 950 kierrosta minuutissa, joka lyhennetään r/min, sekä arvoilla 800 r/min, 700 r/min ja 600 r/min. Standardin mukainen kierrostaajuus on 950 ± 10 r/min. Näistä tuloksista laskettiin standardin toleranssin vaikutus tulokseen. Eroksi raportissa mainitaan noin kaksi yksikköä Prall-arvossa. Huomioitavaa on, että standardin mukainen ± 10 r/min tekee noin 300 iskua eroa toleranssien ääripäihin testattaessa standardin mukaisella noin 950 r/min taajuudella. Raportissa suositellaan tarkempaa ajan tarkkailua ja kierrosnopeuden säätämistä mahdollisimman lähelle suositeltua kierrostaajuutta. (Viman 2010, 14.)

3.1.2 Teräskuulien vaikutus

Teräskuulia testattaessa oli raportin mukaan kuluminen sitä suurempaa, mitä kevyempiä kuulat olivat. Testattavana oli 279,0 grammaa ja 255,8 grammaa painavat kuulasarjat. Eroksi testeissä saatiin 0,5 yksikköä. Koon vaikutus tulokseen arvioitiin erikseen ja sille annettiin myös 0,5 yksikköä tulokseen. Kuulien lukumäärän vaihtelua testattiin myös kuulien määrän vaihdellessa 10–40 kuulaan (Taulukko 2). Testien mukaan optimaalinen eli ihanteellinen kuulamäärä kulumisarvolla mitattuna on noin 30 kuulaa. (Viman 2010, 14.)

Taulukko 2. Prall-arvon suhde kuulien lukumäärään (Viman 2010, 15.)



3.1.3 Eri tekijöiden yhteisvaikutus

Eri tekijöiden yhteisvaikutus raportin mukaan voi olla enimmillään jopa kahdeksan yksikköä (cm^3) Prall-arvossa, toiseen laboratorioon verrattuna. Standardin toleranssien eri ääripäissä olevat laboratoriot voivat siis olla standardin vaatimassa kunnossa, eron ollessa tuo edellä mainittu kahdeksan yksikköä. Tämän takia raportissa suositellaan laboratorioita vertailtaessa käyttämään neljän yksikön toleranssia tuloksissa, joka on puolet havaitun eron määrästä. (Viman 2010, 18.)

Lisäksi raportissa oli arvioitu laitteen kiinnitystapaa alustaansa. Arvioinnissa oli perehdytty siihen, pitääkö laite olla pultattuna lattiaan vai riittääkö, että laite on kiinnitetty riittävän raskaaseen alustaan. Kiihtyvyyksmittarin avulla oli todettu, että ellei laite suoranaisesti heilu, ole äärimmäisen pehmeän kumimaton päällä tai pompi käydessään, aiheuttaen voimien hajaantumista, se ei aiheuta niin suurta eroa tulokseen kuin aiemmin oli ajateltu. Tutkimuksissa kävi ilmi, että suurin epätasapaino VTI :n laitteella tuli kierrosalueella 750-800 r/min. Lisäksi raportissa todettiin, että silmämääräisesti voidaan arvioida laitteen riittävä vakavuus ja ettei sivusuuntaista liikettä tule liikaa. (Viman 2010, 12, 19.)

Referenssimateriaalin löytämiseksi tehtiin kokeita asfaltilla, sementillä ja kivi-laatoista poratuilla näytekappaleilla. Tarkoituksena oli löytää mahdollisimman homogeeninen eli aineksiltaan tasakoosteinen materiaali. Näin eri laitteiden väliset erot olisivat tunnistettavissa ilman epäilystä näytteiden materiaalivaihtelusta. (Viman 2010, 20.)

Asfalttinäytekappaleet tehtiin tiiviillä ja paljon kiviä sisältävillä resepteillä, jotta saatiin mahdollisimman homogeeninen materiaali. Raekoot testikappaleissa olivat neljä millimetriä ja kahdeksan millimetriä. Massoina testiin oli valikoitunut ABT ja ABS. (Viman 2010, 20.) ABT tarkoittaa hyvin tiivistä asfalttibetonia, jonka tyhjätila on pienempi kuin 3 %, tehden tästä lähes vesitiiviin (Lemminkäinen n.d.). ABS tarkoittaa sitovan kerroksen asfalttibetonia ja sitä käytetään kulumakerroksen ja kantavan kerroksen välisenä materiaalina. (NCC 2017.)

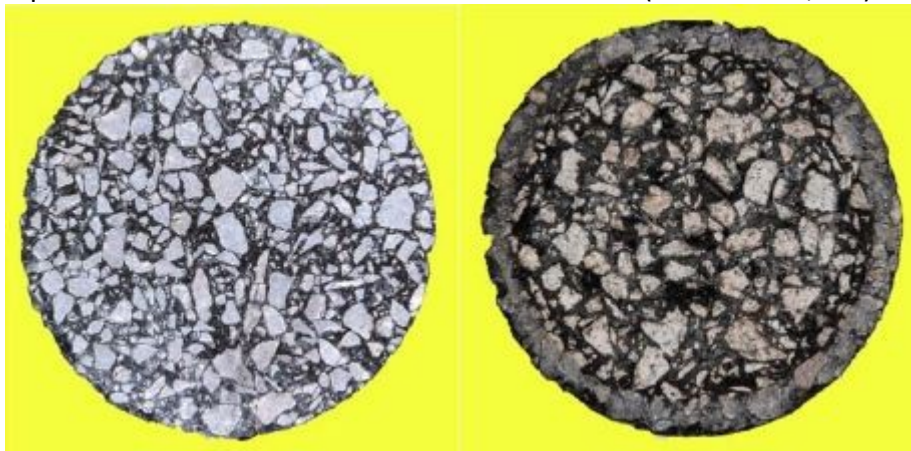
3.1.4 Sementtituotteiden ja kivimateriaalien vertailu referenssikokeissa

Erilaisille sementtituotteille tehtiin myös referenssikokeita. Testattavana oli erilaisia tasoitteita ja muita vastaavanlaisia tuotteita. Kaikkien testattujen tuotteiden ongelmana oli liian suuri kuluma-arvo, jotta niitä olisi voitu käyttää referenssimateriaalina. (Viman 2010, 20.)

Kivinäytteitä tehtiin jo olemassa olevista kivituuotteista, joita oli verrattain helppo työstää ja käsitellä. Tällaisia tuotteita olivat esimerkiksi keittiön tasot ja seinäkivilevyt. Myös muutamaa kalliolajia testattiin, hyvin pienellä hajonnalla kulumisarvossa. Kapea-alainen vertailukoe suoritettiin viiden laboratorion kesken, vertaillen tiettyä kivilajia. Näissä testeissä ilmeni, että kivi referenssimateriaalina ei kerro vähäisen kulumisen takia tarpeeksi selkeästi mahdollista laboratorioden välistä eroa. (Viman 2010, 20.)

Sementtituotteiden liian suuren kulumisen ja kivimateriaalien liian vähäisen kulumisen takia referenssimateriaaliksi valikoitui asfalttimassa, joka oli valmistettu Marshall-menetelmällä. Marshall-menetelmässä tiivistetään massa tiivistysvasaralla muotissa. Suomessa menetelmä on poistettu käytöstä. (PANK RY / Laboratoriotoimikunta 1997.) Jotta laitteita voitiin vertailla niin että tuloksissa oli riittävän suuri kuluma, ehdotettiin asfalttireferenssiksi ABS 16 -massaa, jossa kiviaineksen laatu vastasi noin 30 millilitran Prall-arvoa. Lisäksi referenssiksi hyväksyttiin yli kahdeksan millimetrin kivikoot. (Viman 2010, 21.)

Kiviainesta arvioitiin myös kuva-analyysin (Kuva 3). Tällä pyrittiin lisäämään tietämystä kiviraekoon vaikutuksesta Prall-arvoon. Kuvia tarkasteltiin ennen ja jälkeen Prall-testin. Vaikka lupaavia tuloksia saatiinkin vaatisi kunnollisten johdopäätösten tekeminen lisätutkimuksia aiheesta. (Viman 2010, 23.)



Kuva 4. Testinäytteet kuva-analyysistä ennen ja jälkeen Prall -testin, näyte ABS8. (Viman 2010, 24.)

Tarkkuuden ja uusittavuusarvon parantamiseksi testiä pyrittiin yhdenmukaistamaan. Tässä yhteydessä kiinnitettiin huomiota myös tiivistekumiin ja testikammion sisämittoihin. Kävi ilmi, että Ruotsissa tiivistekumissa ja sisämitassa oli eroavaisuuksia, jotka eivät täyttäneet metodin vaatimuksia. (Viman 2010, 25.) Suomessa tiivistekumi ja kammion sisämitta on jo yhdenmukaistettu kaikissa laboratorioissa standardinmukaiseksi.

3.1.5 VTI:n suositukset

Raportin keskeiset suositukset:

- Teknisten piirustusten korjaaminen, jotta niistä käy ilmi oleelliset mitat teräskuulien pystysuoraan liikkeeseen
- Kumitiivisteiden mittojen muuttaminen FAS-metodin mukaisiksi.
- Testi aina sahatulta pinnalta, niin laboratorio-, kuin tieltä otetuista näytteistä.
- Irtokivien käsittely. Suositus, että irtokiviä, joita löytyy testauskammion testin jälkeen, ei lasketa mukaan painoon. Irtokivien erillinen käsittely, jotta saadaan käsitys näytteen ominaisuudesta kivien ir-

toamiseen. Jos näytettä poistettaessa kiviä irtoaa, ne otetaan huomioon kokonaismassassa.

- Referenssimateriaaliehto laboratorioden omaan laitetarkkailuun ja kalibrointiin ABS 16 70/100, jonka kivilaatu vastaa Prall -arvossa noin 30 ml kulumista. Yli 8 mm kivilajikkeiden määrittäminen.
- Teräskuulien HRC -kovuusluokan määrittäminen.
- Iskutaajuuden toleranssin kaventaminen 950 ± 2 r/min nykyisen standardin sijaan, joka on 950 ± 10 r/min
- Testausajan toleranssin muuttaminen 15 min ± 2 s nykyisen ± 10 s sijaan (Viman 2010, 28.)

Tutkimuksessa ei otettu kantaa veden virtauksen, kannen pehmikekumin tai kivien muotoarvon vaikutuksiin tulokseen.

3.2 NordFoU, Final Report 2015 -Development of the Prall-test method in a Nordic perspective

NordFoU on Pohjoismaisten tiehallintojen yhteistyöorganisaatio. Organisaation tehtävänä on pohjustaa, rahoittaa ja suorittaa erilaisia teihin ja katuihin liittyviä projekteja. NordFoU-organisaatioon kuuluvat tiehallinnot Suomesta, Ruotsista, Norjasta, Tanskasta, Islannista ja Färsearilta. (NordFoU 2016.)

Kehitysprojektin tarkoituksena oli parantaa Prall-metodin tarkkuutta ja vertailla korrelaatiota eli vastaavuutta laboratorioissa valmistetun ja tieltä poratun näytteen välillä. Projektin toteutus oli pelkästään pohjoismainen projekti, koska Prall -menetelmä on käytössä vain nastarenkaita käyttävissä maissa. Projektissa järjestettiin kaksi vertailukoetta, joihin osallistui laboratorioita Suomesta, Ruotsista, Islannista ja Norjasta. (NordFoU 2015, 6.)

3.2.1 Testien ensimmäinen vaihe

Ensimmäisen vaiheen testeihin valittiin tyypillinen asfalttinäyte jokaisen osallistuvan maan reseptillä. Suomen tyypillinen ja testiin valittu asfalttimassa oli SMA 16 50/70. Ruotsin massaksi valikoitui SMA 16 100/150, Norjan massaksi AC 11 160/220, sekä Islannilta massa AC 11 160/220. Tässä yhteydessä käsite AC on sama kuin AB Suomessa. Näytteet valmistettiin Marshall-menetelmällä eli näytteet tiivistettiin oman standardinsa, EN 12697-30 mukaisesti $2 * 50$ iskulla. Jokainen näyte sahattiin kahtia, jolloin saatiin kaksi Prall-näytekappaletta. Testaus suoritettiin standardin mukaisesti sahatulta pinnalta. Muuttujina testissä oli kierrostaajuus sekä testausaika. Kierrostaajuuksina käytettiin 800 r/min ja standardin mukaista 950 kierrosta minuutissa, testausajan ollen joko 30 tai 15 minuuttia. (NordFoU 2015, 10.)

Tuloksissa uusittavuusarvo eli saman suureen mittaaminen eri laboratorioissa oli noin 26 % ja toistettavuusarvo eli saman suureen tutkiminen samalla laitteella noin 19 %. Tämä kuvastaa vaihtelua testitulosten välillä. Tulosten tark-

kuudessa ei ollut paranemista testattaessa pidennettyä testausaikaa ja alennettua taajuutta. Prall-arvot kasvoivat hieman tällä alennetulla kierrosnopeudella ja pidennetyllä testausajalla testattaessa. (NordFoU 2015, 6.)

Ensimmäisen vaiheen testeissä esille tuli tärkeitä seikkoja joilla oli suora vaikutus menetelmän tarkkuuteen. Tässä vaiheessa Prall-menetelmässä oli vielä seikkoja joita ei oltu määritelty standardiin. Näistä esille tulleista seikoista oli laadittu ehdotuksia menetelmän tarkkuuden parantamiseen:

- Iskunpituuden kontrolloiminen ja mittaus. Ensimmäisen vaiheen kokeusten perusteella laadittiin ohjeet iskunpituuden mittaamiseen.
- Teräspallojen laatu ja paino. Silloisen standardin mukaisia teräskuulia oli vaikea hankkia, mikä johti vääränlaisten kuulien käyttöön. Jotta teräskuulat saatiin standardiin yhdenmukaiseksi ja helposti saataviksi, suoritettiin kapea-alainen testi SMA 16 70/100 -massalla, käyttäen kahta eri helposti saatavissa olevaa kuulatyyppeä. Toinen oli ruostumatonta terästä, kovuusluku HRC 52-55 ja toinen kromattua terästä, kovuusluvun (HRC) ollessa 62-67. HRC viittaa timanttikartiolla tehtyyn kovuuskokeeseen. Kokeen perusteella todettiin, että kromikuulat antoivat noin yksikön verran suurempia tuloksia.
- Teräskuulien painoa ei oltu määritetty. Projektissa päätettiin asettaa painoraja uusille ja käytetyille kuulasarjoille.
- Tiivistekumirengas oli yhdellä laboratoriolalla ollut vääränlainen. Vaikutukset arvioitiin kulutuspinta-alaan ja kuulien liikkumisalaan suurentavasti, eikä kyseisen laboratorion tuloksia huomioitu vertailussa. (NordFoU 2015, 20.)

Tehtyjen havaintojen pohjalta päätettiin uusia ensimmäisen vaiheen testit korjatuilla kriteereillä. Jokainen osallistuva laboratorio sai uudet, ruostumattomasta teräksestä olevat kuulat (kovuusluokka HRC 52–55) ja uuden kumitiivisterengaan, jotta laitteiden eroavaisuudet saatiin minimoitua. Ennen kokeita tähdennettiin, että laitteen tärkeitä osia tarkkailtaisiin ja dokumentoitaisiin. Tällaisia tarkastelun alla olevia tekijöitä olivat iskunpituus, kierrosnopeus ja veden lämpötila. Testiin osallistui kahdeksan laboratoriota, joista yksi oli Suomesta. (NordFoU 2015, 21.)

Testiin valittiin kaksi asfalttiseosta, SMA 11 100/150 sekä AC (AB Suomessa) 11 160/220. Massat valmisti NCC. Marshall-näytteet tiivistettiin, valmisteltiin ja lajiteltiin tiheyden perusteella ja lähetettiin osallistujille VTI:n toimesta. Testi suoritettiin standardin mukaisesti. Vaihteluksi saatiin toistettavuudessa noin 15 % ero ja uusittavuuden arvoksi 27,5 % ero. Tilastollisesti Prall-arvon ollessa 25, olisi vaihtelu laboratorioden välillä 4–7 yksikköä. Tuloksista pystyttiin päättelemään, että toistettavuusarvo parani yhdenmukaistamisen myötä mutta uusittavuusarvo pysyi ennallaan. Laboratorioita pyydettiin myös punnitsemaan näytteet kuivana, jotta pystyttiin arvioimaan antaako se tasaisemman tuloksen. Tuloksissa ei ollut eroa vertailtaessa näytteitä kuivana ja märkänä ennen ja jälkeen Prall -testin. (NordFoU 2015, 21.)

3.2.2 Testien toinen vaihe

Testien toisessa vaiheessa vertailtiin tieltä otettuja näytteitä laboratoriossa valmistettuihin näytteisiin. Vaikka molemmat massat valmistettiin laboratoriossa tieolosuhteita jäljiteltiin tiivistämällä massat jyrällä. Massoina käytettiin samoja massoja kuin korjatussa ensimmäisen vaiheen testissä. AB-massalla testeissä syntyi merkittävä ero, keskimäärin 6,2 yksikköä Prall-arvossa, kun taas SMA-massalla ei eroa syntynyt. Syyksi arvioitiin että AB-massoissa on enemmän mastiksia pinnassa kuin SMA-massoissa, mikä vaikutti testeihin sahaamattomalta pinnalta kasvattaen eroa. Massojen tiheys oli molemmilla valmistustavoilla hyvin yhdenmukainen. (NordFoU 2015, 25.)

Toisessa vaiheessa tarkasteltiin myös lämpötilojen vaikutuksia tuloksiin. Kolme eri lämpötilaa testattiin: +5°C, +8°C ja +11°C. SMA-massa ei osoittanut lämpötilan vaikuttavan tuloksiin, mutta AB-massalla +5°C antoi suuremman kulumisarvon kuin +8°C ja +11°C, jotka antoivat keskenään suunnilleen saman arvon. Syyinä pidettiin samoja seikkoja kuin vertailtaessa laboratoriossa valmistettuja ja tieltä otettuja näytteitä. (NordFoU 2015, 27.)

Tehtyjen testien ja havaintojen pohjalta tehtiin standardiin tarkennuksia ja korjauksia tiedetyistä virheistä niin kuviin kuin tekstiin. Tulosten perusteella standardi päivitettiin. (NordFoU 2015, 27.) Päivitetty standardi on nykyisin käytössä oleva standardi, SFS EN 12697-16:2016, menetelmä A.

Projektin johtopäätökset olivat:

- Pidetään kierrosnopeus ja testausaika ennallaan 950 r/min ja 15 min., koska parannusta alennetulla kierrosnopeudella ja pidennetyllä testausajalla ei ollut.
- Markkinoilta löytyi testien jälkeen ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kuulia, kovuusluokan HRC ollessa 58–65. Projektiryhmä esitti, että standardiin esitetään käytettäväksi kyseisiä kuulia, koska ne olivat myös helposti saatavilla. Niiden tiheys on sama kuin HRC 52–55 -kuulilla, mutta niissä on parempi laatu ja ne ovat paremmin linjassa edeltävässä standardissa mainittuihin kuuliin.
- Lopuksi suositeltiin suoritettavaksi uusi vertailukoe uuden standardin tultua voimaan. Laitteiston kunnossapidosta kehoitettiin pitämään huolta, koska testilaitte, joka mittaa kulutusta, kuluttaa myös itseään. (NordFoU 2015, 30, 31.)

3.3 Prall -selvitys ja vertailukokeet 2016

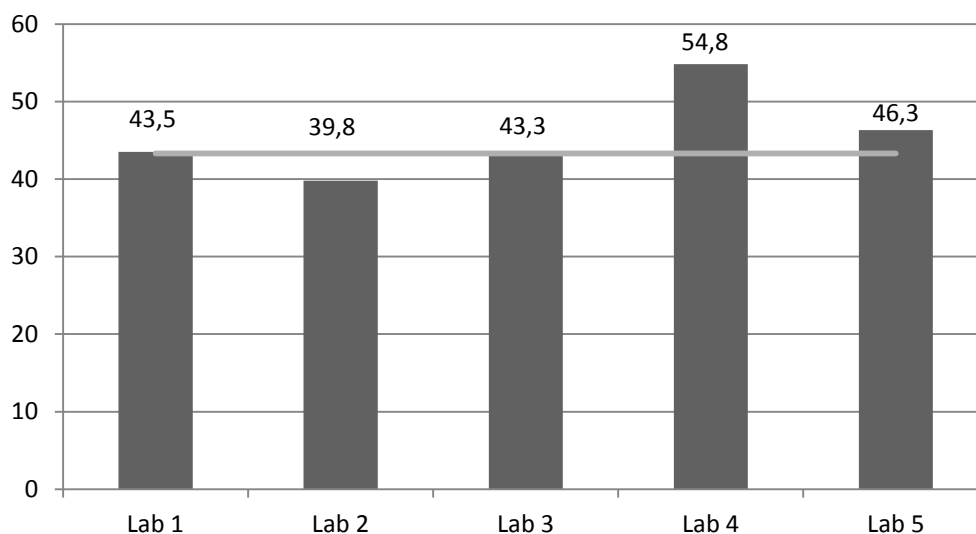
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tasoero Suomen Prall-laitteistojen välillä sekä selvittää erilaisten pintojen vaikutus tuloksiin ja hajontaan. Lisäksi tarkoituksena oli pohjustaa laboratoriossa valmistettujen ja tieltä porattujen näytteiden välistä eroa tulostasoon. Tutkimus oli Liikenneviraston tilaama ja tekijänä oli Mitta Oy, Maantiekylän laboratorio. (Similä 2016, 2.)

Jotta tasoeroja pystyttiin vertailemaan, referenssiksi pyrittiin saamaan mahdollisimman tasalaatuinen materiaali riittävän suurella kulumisarvolla. Referenssimateriaaliksi laboratorioiden väliseen vertailuun valittiin kovalla, 6 millimetrin kiviaineksella pinnoitettu betonilaatta. Näytekappaleiden pienirakeisuuteen päädyttiin, koska odotettavissa oli 11 millimetrin ja 16 millimetrin kivijakeella suuri hajonta testeissä. Jokaiselle laboratoriolle toimitettiin kuusi näytettä tasoerovertailuun. (Similä 2016, 2.)

Vertailua tehtiin myös asfalttinäytteillä kahden laboratorion, Mitta Oy:n Maantiekylän laboratorion ja Lemminkäinen Infra Oy:n laboratorion, välillä. Referenssinäytteet valittiin tyypillisistä Suomessa käytössä olevista massareseptiteistä. Massoiksi valittiin AB 16 III -lujuusluokan kivellä ja SMA 16 I -lujuusluokan kivellä. (Similä 2016, 2.)

Tulosten keskiarvo oli 45 millilitraa, joskin yksi laboratorio poikkesi suuresti, yli 26 % ylöspäin, keskiarvosta. Kyseisessä laboratoriossa yksi näyte myös halkesi testin aikana ja näyte hylättiin laskennasta. Neljän muun laboratorion keskiarvo oli 43,3 millilitraa, joka on esitetty taulukossa viivalla (Taulukko 3.). (Similä 2016, 3.)

Taulukko 3. Vertailukokeen tulos Suomen laboratorioden välillä. (Similä 2016, 3.)



Asfalttinäytevertailua varten AB 16 -päällyste tehtiin rakeisuusohjealueen keskialueelle ja läpäisyarvo 16 millimetrin kiviainekselle asetettiin 95 %:iin. Sahaamattomalta pinnalta tehtyjen kokeiden välinen tulosero oli erittäin suuri, toisen laboratorion keskiarvon ollessa 50,4 millilitraa ja toisen 34,7 millilitraa. Sahatuilta pinnalta keskiarvot olivat 46 millilitraa ja 33,5 millilitraa. (Similä 2016, 4.)

SMA-näytteillä tulokset olivat samansuuntaiset. Sahaamattomalta pinnalta tulosten keskiarvot olivat 22,1 millilitraa ja 17,8 millilitraa. Sahatuilta pinnoilta vastaavat tulokset olivat 19,6 millilitraa ja 17 millilitraa. Tuloksista voidaan todeta että SMA-näytteiden antamat tulokset vastaavat hyvin referenssimateriaaleilla saatuja tasoeroja. (Similä 2016, 4.)

Tyhjätilan vaikutusta kulumisarvoon arvioitiin myös, mutta vahvaa korrelaatiota eli tilastollista vastaavuutta ei tuloksista selvinnyt. Pintatekstuureilla eli kivirakenteiden pinta-alan osuudella koko pinta-alasta sitä vastoin oli todennäköisesti merkittävä vaikutus tuloksiin. Vertailukokeen näytteet valokuvattiin mahdollista jatkoselvitystä varten. Jatkossa kuvista saatetaan saada jokin kerroin tai tunnusluku digitaalisella kuvankäsittelyllä, jolloin kivipinta-alan vaikutus tuloksiin pystytään huomioimaan paremmin. (Similä 2016, 4–5.)

Tutkimuksen johtopäätöksiä laitteiden tasoerosta:

- Tasoero laitteilla on huomattava; tämä ei välttämättä tule esiin standardin mukaisia kalibrointeja tekemällä.
- Perustamistavalla voi olla merkitystä erojen syntymiseen.
- Kiertokangen laakerin kulumisesta, tai kiinnityksen löystymisestä johtuva kiihtyvyyden muutos (ei ilmene standardissa), saattaa aiheuttaa eroja tuloksiin.
- Muuttumaton kalibrointimateriaali, jolla pystytään määrävälein tarkastamaan laitteen tulostasoa, on luotettavan tutkimuksen kannalta tärkeää.
- Betonilaatta, jota käytettiin vertailukokeessa, oli pinnoitettu. Pinnoitteen paksuus ylsi noin 50 millilitran kulumistasoon, jota eivät ylittäneet muut kuin laboratorio 4. Esiselvityksessä tuohon 50 millilitran rajaan ei yksikään näyte kuitenkaan kulunut, joten se hyväksyttiin referenssiksi.

Laboratorio 4 ei ollut suoraan vertailukelpoinen muihin arvojen oltua huomattavasti suurempia. Syy tähän eroon ei selvinnyt tässä kokeessa. (Similä 2016, 6.)

Päälystenäytteiden vertailun johtopäätökset:

- Tarkempi selvitys on tarpeen selvitettäessä sahaamattoman poronäytteen eroa sahatulle pinnalle saatavaan tulokseen.
- Oletettavissa on AB-päälysteen suurempi hajonta kuin SMA-päälysteellä. Tämä on huomioitava riittävän suurella näytesarjalla.
- AB-päälysteen luokittelu ja arvostelu kulumiskestävyyden mukaan on haastavaa tehdä tarkasti; tämä vaatii lisäselvitystä.
- Tasoero vastasi hyvin referenssikokeen tasoa SMA-päälysteellä ja AB-päälysteellä syvyysuunnassa keskeltä sahatulla AB-näytesarjalla.
- Laatan pinnasta otetuissa AB-näytteissä tasoero betoniseen referenssiin verrattuna oli noin kolminkertainen. Syy tähän ei vertailussa selvinnyt. Yksi mahdollisuus on laitteiden eroavaisuuden ja näytteiden sattumanvaraisuuden kumuloituminen eli kertyminen.
- Tyhjätilan vaikutus kulumistulokseen oli vertailussa epäselvä. Tektuurin eli pintarakenteen vaikutus, onko kiviä paljon heti pinnassa, on todennäköinen tasoeroja aiheuttava tekijä. Jatkotutkimuksessa voidaan hyödyntää tässä kokeessa otettuja valokuvia. (Similä 2016, 6.)

3.4 Prall-selvitys 2016: Koekohdeselvitykset SMA 16, reseptit A ja B

Tavoitteena oli laboratoriossa valmistetun ja tieltä otetun näytteen kulumistulosten vertailu. Lisäksi suoritettiin vertailu kiviainesten kuulamylyarvon välillä. Mukana selvityksessä oli kaksi erilaisilla kiviaineksilla valmistettua SMA 16 - päällystenäytettä. (Similä 2016, 2.)

Resepti A oli valmistettu tummanpunaisesta graniitista, jossa karkea kiviaines oli kalliomursketta 8/16, ja resepti B harmaasta keskirakeisesta graniitista, jossa karkea kiviaines oli kalliomursketta 11/16. Kummankin kiviaineksen CE-merkinnän mukainen nastarengaskulutuskestävyysluokka oli A_N7 ja litteysluku-luokka Fl_{10} . Nastarengaskulutuskestävyysluokka ja litteyslukuluokka vaaditaan esitettäväksi rakennustuotteissa. (Similä 2016, 2,3; Rocklab. n.d.)

Kumpikin resepti oli testattu Prall-kokein ennakkosuhteituksessa. Tilavuussuhteet olivat näytteissä lähellä toisiaan. Molemmissa resepteissä oli käytetty samaa kalkkifilleritäytejauhetta, sideainetta ja kuitua. Eroksi näytteissä jäi kiviaines ja rakeisuus. (Similä 2016, 2.)

Molempia massoja oli levitetty koekohteeseen tiepäällysteeksi syksyllä 2016. Tältä koekohteelta porattiin näytteitä Prall-kokeisiin 10 metrin välein. Näytteitä otettiin 10 kappaletta, eli 90 metrin mittainen levitysmatka päällystelaatasta oli edustettuna kokeissa. Prall-testit suoritettiin sekä sahaamattomilta, että sahatuilta pinnoilta. (Similä 2016, 2.)

Kokeissa ilmeni että resepti A antoi saman keskiarvotuloksen kaikilla tavoilla tehdyille näytteille. Resepti B sen sijaan antoi huomattavasti suurempia arvoja tieltä otetuissa näytteissä kuin laboratoriossa valmistetut näytteet. Syy tähän ei testeissä selvinnyt. (Similä 2016, 4.)

Testeissä ilmeni myös että näytteistä irtoaa kiviä. Laboratoriossa valmistetuista näytteistä irtosi vähäisiä määriä kiviä, mutta tieltä otetuissa sahaamattomissa näytteissä huomattavia määriä. Sahatuilta pinnoilta testattujen näytteiden kiven irtoaminen oli vähäisempää kuin luonnonpintaiselta. Hajonta tuloksissa oli varsin suurta. (Similä 2016, 4.)

3.5 Lemminkäisen tekemä vertailukoe

Lemminkäinen Infra Oy tutki suhteituksen ja tieltä porattujen näytteiden eroja niin sahatuilta kuin sahaamattomiltakin pinnoilta. Tie oli valtatie 25 välillä Lappohja - Karjaa. Suhteituksessa suoritetuissa Prall-kokeissa keskiarvo oli 22 millilitraa, yksittäisten tulosten vaihdella suurimmillaan kaksi yksikköä toisistaan. Tieltä poratut sahatulta pinnalta testatut näytteet antoivat myös keskiarvon 22 millilitraa, vaihteluvälin pysyessä kahdessa yksikössä. Sahaamattomalla pinnalla tulostasoa keskiarvon osalta kasvoi 25 millilitraan ja yksittäisten tulosten välinen isoin ero kasvoi seitsemään millilitraan. Korrelaatiota tyhjätilan kanssa Prall-

arvojen kasvuun tarkasteltiin tässä yhteydessä myös mutta viitteitä tällaisesta ei saatu. (Väisänen, 2016.)

4 TUTKIMUSSUUNNITELMA

Tutkittavia ja vertailtavia seikkoja Prall-laitteistoon liittyen oli paljon. Laitteisiin tutustuttiin vieraillemalla yrityksessä tai oppilaitoksessa, jossa laite oli. Vertailtaessa laitteita toisiinsa etuna voidaan pitää vierailuajankohtien läheisyyttä toisiinsa, jolloin erot olivat paremmin vertailtavissa.

4.1 Tutkittavat asiat

Opinnäytetyön tarkoituksena oli pienentää laitteiden välistä eroa testattaessa samanlaisia näytteitä eri laboratoriossa, toisin sanoen parantaa uusittavuusarvoa. Jotta vertailua pystyttiin suorittamaan, jokaiseen laitteeseen tutustuttiin paikan päällä sekä kirjattiin käynneillä työmenetelmät ja laitteiden ominaispiirteet ylös. Koska laitteet ovat hieman eri ikäisiä ja hieman erilaisia mutta toimintatavoiltaan samanlaisia, opinnäytetyössä keskityttiin asioihin, joihin voidaan vaikuttaa. Seurattavia muuttujia, joihin voitiin vaikuttaa vertailtaessa eri laitteita, olivat esimerkiksi:

- laitteiden kiinnitys alustaansa
- kierrosnopeus
- laakereiden välykset
- pehmikekumit
- teräspallojen koko ja massa
- veden virtaus
- työtavat
- käytänteet eri työvaiheissa
- laitteen osat
- testikappaleiden käsittely
- kuulat
- tiivistyskumit sekä
- veden lämpötila.

Asioita, joihin ei voitu vaikuttaa, nimenomaan testattaessa, olivat esimerkiksi kivien muotoarvo ja kivimateriaalin pinta-ala näytteessä.

Muuttujien määrän ollessa suuri oli oletettava, että aiemmilla vertailukokeilla ja standardien tarkennuksilla oli saatu minimoitua suurimmat ja ilmeisimmät erojen aiheuttajat, kuten iskutaajuus ja iskunpituus, jotka oli määritelty uusimpaan standardiin toleransseineen. Tutustumiskäynneillä pystyttiin vertailemaan eroja, joita syntyy testattaessa näytteitä. Tutkittavia asioita olivat:

- näytteen standardinmukaisuus
- vakiointi
- näytteiden käsittely ennen ja jälkeen kulutuskokeen
- kuulien tarkastus ja vaihto

- pehmikekumin tarkastus ja vaihto
- veden lämpötilan seuranta
- veden virtaaman tarkastus ja seuranta
- laitteen käyntitaajuus ja -aika.

Lisäksi katsottiin, ilmeneekö muita sellaisia seikkoja esille, jotka saattaisivat aiheuttaa eroja.

4.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus tehtiin osin haastatteluilla ja osin seuraamalla, miten testi suoritettiin. Käyntejä varten laadittiin lomake, jota haastatteluiden ja testien aikana täytettiin. Lisäksi apuna tutkimustyössä oli uusi standardi sekä muistilista tärkeimmistä muistettavista asioista. Vertailtavia asioita eri testin suorittajien välillä vertailtiin muistiinpanojen ja nähdyn perusteella. Laitteita verrattiin testiajan, veden virtaaman, kiinnityksen ja koneen taajuuden kautta. Haastattelujen lopuksi kysyttiin jokaiselta testin suorittajalta mielipide, jotta saatiin selville mikä heidän mielestään aiheuttaa eroja. Tutustumiskäynnit tehtiin 24., 26., 27., ja 28.10., sekä 11.11.2017. Käynnit sovittiin tarkoituksella ajallisesti lähekkäin, jotta vertailtaessa laitteita, muut laitteet olivat hyvin muistissa.

4.3 Tutkimuspaikat

Prall-laitteita on Suomessa viisi. Laitteista kolme on yritysomistuksessa ja kaksi oppilaitosten hallussa. Yrityksistä kaksi tekee Prall-laitteella säännöllisesti paljon kokeita, kolmas hieman vähemmän. Oppilaitosomistuksessa olevat laitteet ovat huomattavasti vähemmällä käytöllä kuin yritysomistuksessa olevat. Suurin vaikutus käyttömäärillä on laakereiden kestävyys.

Tahot, joilla on Prall-laitteisto Suomessa:

- Lemminkäinen Infra Oy:n keskuslaboratorio Tuusulassa. Se on ensimmäinen ja toistaiseksi ainoa asfalttialan laboratorio, joka on virallisesti FINAS-akkredointipalvelun akkreditoima laboratorio Suomessa. (Lemminkäinen n.d.) Akkreditoinnilla tarkoitetaan pätevyyden toteutamisesta. Sen avulla voidaan luotettavasti varmistaa toimijan pätevyys. Niin asiakkaat ja alan toimijat kuin myös viranomaiset voivat luottaa sellaisen palvelun tuottajan tai toimijan laatuun ja tämän tuottamien tulosten luotettavuuteen, joka on akkreditoitu. Akkreditointi perustuu kansainvälisiin kriteereihin. (FINAS - akkredointipalvelu 2016.) Lemminkäisellä näytteitä tehdään ja testataan paljon ja testausmäärät ovat verrattain suuria.
- Mitta Oy:n toimipisteessä Tuusulassa. Mitta Oy toimii Suomessa 25:llä eri paikkakunnalla ympäri Suomen ja sen päätoimialoja ovat geotekniikka, mittaus ja pohjatutkimus. (Mitta Oy 2016.) Mitta Oy tekee ja testaa paljon asfalttinäytteitä, näytemäärät ovat erittäin suuria.

- NCC Industry Oy: llä Raisiossa. Rakennusmateriaalien kierrättäminen, kiviaines, asfaltti ja perustustyöt ovat ne teollisuustuotannon osa-alueet, joihin NCC Industry Oy: n toiminta keskittyy. (NCC n.d.) NCC suorittaa vertailukokeiden lisäksi omaan tuotantoon liittyen testejä Prall-laitteistolla jonkin verran.
- Aalto yliopiston rakennustekniikan laitoksessa Espoon Otaniemessä. Aalto yliopiston rakennustekniikan laitoksen toimintaan liittyy vahvasti opetuksen lisäksi myös tutkimukset. Aalto yliopisto tekee yhteistyötä muiden insinööriopintoja tarjoavien korkeakoulujen kanssa ja näin mahdollistetaan tietoyhdennetty talotekniikka, rakentaminen, laskennallinen tekniikka ja materiaalitutkimus. (Aalto yliopisto n.d.) Aalto yliopiston testimäärät ovat melko vähäisiä, joitakin kymmeniä vuodessa.
- Oulun ammattikorkeakoululla Oulussa. Oulun ammattikorkeakoulu painottaa tutkimustaan terveyttä ja hyvinvointia edistävään teknologiaan ja palveluihin, energiatehokkaaseen rakentamiseen, joka kestää pohjoiset olosuhteet, sekä monialaisiin liiketoiminta- ja yrittäjävalmiuksiin (OAMK:n kotisivut, n.d.) OAMK käytti laitteistoaan suunnitellen yhtä paljon kuin Aalto yliopisto.

5 TULOKSET

Tutustumiskäyntejä varten sain opinnäytetyön tilaajalta yhteystiedot jokaisen tahon yhteyshenkilöön. Lähetin sähköpostia jokaiselle yhteyshenkilölle ja saimme tutustumiskäynnit sovitettua ajankohdallisesti kaikille sopivaksi. Tutustumiskäynnit ajoittuivat loppusyksyyn; 24.10. Lemminkäinen Infra Oy Tuusulassa, 26.10. Mitta Oy Tuusulassa, 27.10 Aalto yliopisto Espoon Otaniemessä ja 28.10 NCC Industry Oy Raisiossa. Viimeinen käynti oli 11.11. OAMK Oulussa. Tutustumiskäyntien ajallinen lähekkäisyys oli etu, koska näin jokainen kohde oli tuoreessa muistissa ja vertailu toisiin laboratorioihin helpompaa.

Haastattelulla selvitettiin asioita, joita ei näytteen testaamista seurattaessa selvinnyt. Esille tuli huoli laitteen väkivaltaisen toimintatavan aiheuttama voimien siirtyminen alustasta rakennuksen rakenteisiin. Laboratorioissa, joilla laite oli omalla tärypedillään, ei tätä ongelmaa ollut.

Haastattelujen perusteella, koneen osien käyttöiän pidentämiseksi ja huoltovälien pidentämiseksi osa laboratorioista olisi valmis alentamaan kierrosnopeutta ja pidentämään testausaikaa. Tehtyjen tutkimusten perusteella kierrosalueet 750–800 r/min aiheuttavat eniten epätasapainoa ja värinöitä. (Viman 2010, 12, 19.) Tämä taajuus vaikuttaisi olevan laitteiston resonanssitaajuus, eli se taajuus, jolla värähtelijä luonnollisesti pyrkii värähtelemään. Kyseessä on siis taajuus, jolla värähtelijä, tässä tapauksessa Prall -laitteisto, ottaa vastaan energiaa parhaiten. Ympäristöstä tai toisesta värähtelijästä siirtyvää energiaa värähtelijään

kutsutaan resonanssiksi. Resonanssitaajuudeksi kutsutaan ominaisvärähtelytaajuutta. Resonanssi voi aikaansaada voimakasta värähtelyä, joka aiheuttaa mekaanista rasitusta. Resonanssi voi vahingoittaa koneita. (Letonsaari 2015.) Tämän valossa resonanssitaajuuksia pitäisi välttää, jottei laitteita rasiteta liikaa. Resonanssi on jokaisella laitteella todennäköisesti hieman erilainen, kiinnityksestä johtuen. Tehtyjen tutkimusten perusteella alhaisempi kierrosnopeus ja pidennetty testausaika ei vaikuttanut tulostasoon laboratorioden välillä. (NordFoU 2015, 30, 31.) Edellä mainitun toteaman voi myös kääntää niin, ettei alennetulla kierrosnopeudella ja pidennetyllä testausajalla ole haitallista vaikutusta tuloksiin. Kun tämä toteama yhdistetään resonanssitaajuuden välttämiseen, voidaan ajatella tehtävän vertailukokeita esimerkiksi 850 r/min ja 20 minuuttia, tai 650 r/min ja 30 minuuttia yhteisellä sopimuksella Suomen laboratorioden kesken. Yhteispohjoismaiset testit ja vertailukokeet tehtäisiin kuitenkin edelleen standardin asettamien rajojen puitteissa.

Jokaisessa kohteessa koneen käyttäjillä oli hyvin selvillä standardin vaatimukset sekä edeltävissä vertailuissa ja kokeissa todetut eroja aiheuttavat seikat. Laitteet olivat standardin edellyttämässä kunnossa. Iskutaajuus ja -pituus olivat standardin mukaisia, tosin joillakin laboratorioilla laakereissa oli välystä. Näytteet olivat myös joko otettu tiestä tai valmistettu laboratorioissa standardien mukaisesti. Testattavat näytteet eivät olleet vertailukokeista koneiden välillä. Työskentelyyn tutustuttiin kesken normaalin työpäivän.

5.1 Lemminkäinen Infra Oy

Laboratoriossa oli hyvät tilat. Prall-laite oli siisti ja turvallisessa paikassa niin, ettei kukaan vahingossa joutunut koneen lähelle. Laite oli kiinnitetty suoraan lattiaan valetun betonisen jalan päälle. Koneenkäyttäjällä oli 11 vuoden kokemus laitteen käytöstä sekä standardin vaatimukset olivat hyvin tiedossa.

Kuulat mitattiin työntömitalla ja punnittiin. Alimittaiset kuulat vaihdettiin. Haastattelussa ilmeni, että kannen pehmikekumi kovettuu testejä tehdessä. Pehmikekumimatosta, jonka paksuus on noin kaksi millimetriä, leikattiin laitteeseen sopiva pala. Veden virtaus laitteen näytekammion läpi mitattiin ämpärillä. Vedenkierrolle tehdään ajoittain tarkastus ja puhdistus, jottei hienoaines tuki letkuja ja näin hidasta veden virtausta. Testien aikana veden lämpötila nousi mutta pysyi standardin rajoissa. Testiaika oli 15 minuuttia ja 10 sekuntia, joka on standardin toleranssissa. Testituloksille oli selkeät kaavakkeet, johon tulokset kirjattiin. Koneen huoltoon on Lemminkäinen Infra Oy:llä panostettu, jotta tulostaso pysyy kunnossa. Laitteen testimäärät ovat suuria, jonka takia laitteen huolto ja kunnossapito on erityisen tärkeää huomioida.

5.2 Mitta Oy

Laboratorio sijaitsee asfalttiaseman välittömässä yhteydessä Tuusulassa. Sijainnin etu on se, että jo reseptejä laadittaessa ne voidaan testata ja siirtää hyväk-

sytyt reseptit tuotantoon ilman viiveitä. Prall-laite oli kiinnitetty 500 kilogramman laattaan, joka lepäsi murskepedillä, suoraan maata vasten. Prall-laite oli eräänlaisen peltikaapin sisällä, joka vaimensi ääntä sekä suojasi työntekijöitä liikkuvilta osilta. Haastatteluissa ilmeni että laboratorio käytti omaa referenssinäytettä, jolla laitteen tulostaso tarkastettiin säännöllisesti. Teräskuulien vaihto tapahtui viiden kuulun sarjoissa, tarpeen vaatiessa useammankin. Pehmikekumimatosta leikattiin sopiva pala. Mitta Oy:n käyttämä pehmikekumi oli paitsi edullista, myös kuulemma melko kestävä. Veden virtaama tarkastettiin ämpärillä, jotta vesikierto oli standardin mukainen. Testimäärät Mitta Oy:ssä ovat erittäin suuria, minkä vuoksi laitetta huolletaan säännöllisesti ja kuluma-arvoa tarkkaillaan jatkuvaluonteisesti.

5.3 Aalto yliopisto

Prall-laite oli sijoitettu kellariin, eristävien ovien taakse, jotta laitteen aiheuttama melu häiritsisi mahdollisimman vähän. Asiattomien kulku tilaan oli estetty, joten vaara loukkaantumisesta oli pieni. Kone oli siisti ja hyvässä kunnossa. Laite oli sijoitettu muottivanerin päälle asennetun betonilaatan päälle. Tämä betonilaatta oli kooltaan 73 senttimetriä leveä, 33 senttimetriä korkea ja 94 senttimetriä syvä. Kertomalla yhteen leveys, korkeus ja syvyys, saadaan tulokseksi tilavuus. Tulos on 0,226 kuutiometriä, m^3 . Kertomalla tämä tulos betonin ominaispainolla, joka on noin $2500 \text{ kg} / m^3$, saadaan betonilaatan painoksi noin 570 kilogrammaa. Tämä riittäisi tehtyjen tutkimusten, sekä standardin ohjeiden perusteella pitämään laitteen aloillaan (Viman 2010, 12; SFS EN 12697-16, 8), mutta laite oli päätetty varmuudeksi pultata lattiaan kiinni. Koneen käyttäjällä oli noin 20 vuoden kokemus laitteesta. Haastattelussa ilmeni että teräskuulia vaihdetaan kuulien yhteispainon lähestyessä standardin alarajaa, joka on 265 grammaa. Kahdesta kuuteen kuulaa vaihdetaan kerrallaan. Pehmikekumi oli noin kolme millimetriä paksua, joten se ei täyttänyt standardin vaatimusta. Vedenkierto ja vesiallas olivat samanlaisia kuin muillakin laboratorioilla. Testimäärät Aalto yliopistolla ovat melko pieniä. Edellinen huolto laitteistolle oli tehty noin neljä vuotta sitten, vuonna 2012.

5.4 NCC Industry Oy

NCC: llä laboratoriotilat olivat erillisessä rakennuksessa, ja Prall-laite sijaitsi omissa tilaissaan, ovien takana, melun rajoittamiseksi. Laite oli erittäin siisti. Laite oli kiinnitetty betonilaattaan, jonka mitat olivat: leveys 70 senttimetriä, syvyys 117 senttimetriä ja korkeus 34 senttimetriä. Tilavuus tällä laattalla oli $0,278 m^3$ ja paino noin 700 kilogrammaa. Betonilaatan ja lattian välissä oli eristävä matto, joka vaimensi tärinää. Koneen käyttäjä oli tehnyt Prall-laitteella töitä noin kuuden vuoden ajan. Pehmikekumi oli standardin mukaista, ja se oli leikattu valmiiksi kappaleiksi liimattavaksi testauskammion kanteen. Haastattelussa ilmeni että veden virtausta tarkkaillaan ja vedenkiertojärjestelmää puhdistetaan säännöllisesti. Kuulia vaihdetaan kymmenen kappaletta kerrallaan, kun kuulien yhteispaino lähestyy standardin alarajaa. Laitteelle oli tehty suurempi

huolto viimeksi vuonna 2011. Näytettä testattaessa laite pysähtyi ajassa 14 minuuttia ja 50 sekuntia, mikä on standardin alarajalla. (SFS EN 12697-16:2016, 10.) NCC Industryn testimäärät rajoittuvat pääasiassa oman tuotannon testaamiseen, lisäksi tehdään tarvittaessa vertailukokeita.

5.5 OAMK

Oulun ammattikorkeakoulun Prall-laite oli sijoitettu omaan tilaansa, johon oli pääsy vain henkilökunnan kanssa. Itse laite oli maanvaraisena tärypedillä, betonilaatan päällä, joka oli elastisen massan avulla saatu yhtenäisen näköiseksi ympäröivän lattiapinnan kanssa. Tällaisen kiinnitystavan tarkoitus on eristää tärisävä laite erilleen lattiasta, kuitenkin niin, että lattia näyttää yhtenäiseltä. Tila oli siisti ja laitteelle tarkoitettu. Ympäriällä olevat seinät olivat äänieristetyt. Koneen käyttäjällä oli noin 14 vuoden kokemus laitteen käytöstä. Haastattelussa ilmeni että teräskuulat vaihdetaan tarpeen mukaan silloin kun joko paino tai koko ovat standardin alarajalla. Koon mittaamiseen oli tehty kahdesta kierretangosta ja kahdesta levystä helppokäyttöinen mitta, johon kuulat asettamalla nähtiin suoraan, mikä kuula oli kokonsa puolesta liian pieni sen pudotessa mittalaitteesta läpi. Veden virtaama mitattiin ämpärillä ja laitteen vedenkiertojärjestelmää puhdistetaan säännöllisesti. Pehmikekumi oli noin kolme millimetriä paksu, joten se ei ollut standardin mukainen.

5.6 Tutustumiskäyntien yhteenveto

Kaikissa laboratorioissa oli samanlainen vesiallas näytteen vakiointia ja kulutus-kammion vesikiertoa varten. Vesiallas pysyy haastatteluiden perusteella useampiakin näytteitä testattaessa varsin hyvin standardin asettamissa rajoissa. Vesialtaassa oli jokaisessa laboratorioissa elektroninen lämpömittari, josta lämpötilaa pystyi seuraamaan testin aikana. Vedenkierrolle annettu arvo $2,0 \pm 0,2$ litraa minuutissa tarkastettiin jokaisessa laboratorioissa avaamalla hana ja laskeamalla vettä laitteen läpi mitta-asteikolla varustettuun astiaan niin kauan, että virtaaman oikeellisuus pystyttiin toteamaan. Yhdessäkään laboratorioissa ei käytetty vakioinnin maksimiaikaa, joka on standardin mukaan 72 tuntia.

Teräskuulat olivat jokaisessa laboratorioissa standardin edellyttämässä arvoissa. Näitä ovat kovuusluokitus HRC 58–65, halkaisija 11,50–12,01 millimetriä ja paino 265–285 grammaa. Kuulien vaihto tapahtui jokaisessa laboratorioissa eri lailla. Vaihtotapa oli jokaisella käyttäjällä erilainen – kymmenen sarjoista yksittäisten kuulien vaihtoon.

Pehmikekumin vaihtotapa vaihteli myös laboratorioittain – osin siitä syystä, että kaikilla laboratorioilla oli erilainen ja ominaisuuksiensa johdosta eri tavalla käyttäytyvä kumi käytössä. Käynneillä pyydettiin jokaisesta laboratoriosta näytettä kanteen liimattavasta pehmikekumista vertailua varten. Standardissa SFS EN 12697-16, kohdassa 4.2.7 kyseisestä pehmikekumista sanotaan näin:

"Kumilevy (polykloropeeniä tai vastaavaa), jonka halkaisija on $(90,0 \pm 1,0)$ mm ja paksuus $(2,0 \pm 0,2)$ mm. Kumilevy on liimattava kannen alapuolelle tiiviisti ilman kuplia. Kumilevy on vaihdettava uuteen, jos se vaurioituu tai haurastuu."

Kahden laboratorion pehmikekumi oli paksuudeltaan noin kolme millimetriä, joten ne ylittivät noin 0,8 millimetrillä maksimipaksuuden. Tutustumiskäynneillä todettiin, että käytössä pehmikekumit käyttäytyivät keskenään eri lailla, muun muassa ne venyivät ja kovettuivat eri tavalla. Vertailtaessa aistinvaraisesti käyttämättömiä pehmikekumeja, voitiin todeta, että kaikki olivat erilaisia. Jokainen myös tuntui joustavan eri lailla. Ero näiden kumien välillä ei ollut suuri, eikä vaikutuksesta voi olla varma tekemättä vertailukokeita.

5.6.1 Laite- ja varustekohtaiset erot

Liukulaakerit, jotka tukevat vartta jonka päässä näytekammio sijaitsee, olivat kuluneet joissain laboratorioissa niin, että varressa oli selkeä vapaaliike. Näytekammion sivuttaisliike ääriasennossaan ylhäällä saattoi tämän kulumisen takia olla useita senttimetrejä, mikä aiheutti testin aikana värinöitä ja kiihtyvyyksiä suuntiin joita ei ole tarkoitettu testissä ilmenevän. Vaikutuksia tuloksiin ei pystytty arvioimaan, vaan ne tulee selvittää erillisessä vertailukokeessa. Viitteitä lievistä tulostason noususta kuitenkin ilmeni haastattelujen perusteella.

Eräässä laboratoriossa oli päädytty muokkaamaan kiertokangen laakeria ja kiinnitystä, jotta laakerien käyttöikä kasvaisi. Käyttöikään vaikuttavat materiaallivalintojen lisäksi käyttömäärät. Mikäli testauslaitetta käytetään satoja, ellei tuhansia kertoja vuodessa, kuluttaa se laitteen osia enemmän kuin vain joitakin näytteitä vuodessa läpikäyvä kone. Tällaisen muokkauksen lisäksi rakenteellisia laitteiden välisiä eroja ei ollut. Testin ollessa varsin väkivaltainen niin laitteelle, näytteelle kuin alustalleenkin, suositeltavaa olisi tarkistaa esimerkiksi kymmenen testikerran välein laakereiden välykset. Laitteiden valmistusajankohdat ovat muutaman vuoden sisällä toisistaan ja jokainen laite on jo melko vanha. Kuluvat osat, kuten laakerit, ovat kuitenkin jokaisessa laitteessa vaihdettavissa, joten sinänsä laitteiden ikä ei korreloi tulosten kanssa.

Perustamistapa ja kiinnitys alustaan oli jokaisella laboratoriollla erilainen. Perustamistavasta mainittakoon, että kiinnitystavan vaikutus tuloksiin saattaa olla merkittävä vertailtaessa laboratorioita toisiinsa. Tosin VT1:n raportissa (Viman 2010, 12, 19) todettiin, että jollei laite suoranaisesti heilunut, ero tuloksissa oli varsin pientä. Tämä pitäisi selvittää erillisessä vertailukokeessa mahdollisimman homogeenisellä kontrollimateriaalilla ja tarvittaessa muuttaa suosituksia kiinnitystavasta, jos siihen ilmenee aiheita.

Pehmikekumiin ei oltu aiemmissa kokeissa juurikaan puututtu, eikä sen merkitystä tulostasoon ole tarkasteltu vertailukokein. Kuitenkin ero oli aistinvaraisesti huomattava. Kahdella laboratoriollla oli liian paksu pehmikekumi käytössä. Vertailtaessa laboratoriollla käytössä olleita standardin mukaisia pehmikekumeja, jokaisessa tuntui olevan erilainen joustavuus. Vaikutus tulokseen on arvioiden varassa, ja tässä työssä arviointiasteikkona käytettiin ei mitään vaikutus-

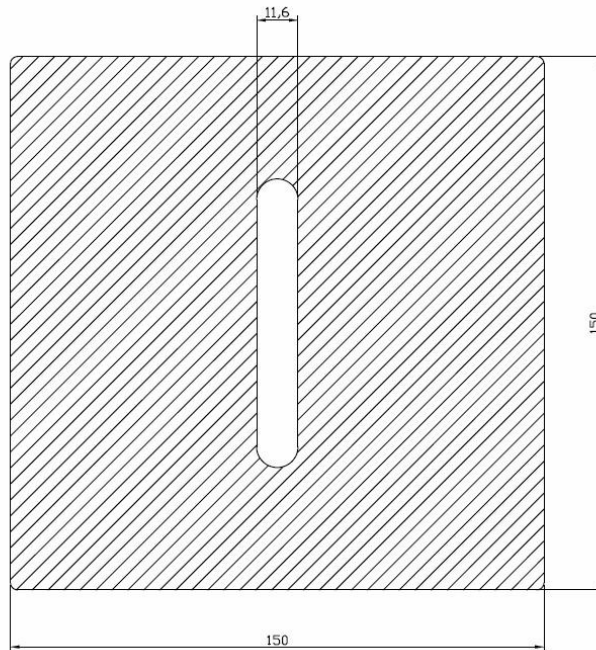
ta–merkittävä vaikutus tulokseen. Kyseessä on kuitenkin eroavaisuus, joka pystytään helposti yhdenmukaistamaan, ja tämän työn tuloksena laboratorioita suositeltiin yhdenmukaistamaan pehmikekumi kaikille samanlaiseksi.

Veden virtaama ja sen tarkkailu olivat myös erityisen tarkkailun alaisena tutkimiskäynneillä. Virtaama tarkastettiin jokaisessa laboratoriossa laskemalla vettä astiaan, kunnes pystyttiin toteamaan standardinmukaisuus. Letkut ja liitännät saattavat tukkeutua näytteiden kivistä, tai veden virtaama vähentyä niin, että eroa on vaikea havaita. Standardi asettaa veden virtaamalle arvon $2,0 \pm 0,2$ litraa minuutissa. Ero standardin salliman $1,8$ l/min virtaaman vertailu standardin toleranssin alittavan $1,7$ l/min virtaaman välillä on silmämääräisesti testin aikana lähes mahdoton huomata. Virtausmittarin käyttöönottoa suositeltiin helpottamaan virtaaman varmistusta ennen koetta sekä helpottamaan kokeen aikaista virtaaman tarkkailua. Virtausmittareita on monenlaisia useassa hintaryhmässä, joten käyttöönottamiselle ei pitäisi olla esteitä.

Teräskuulat olivat kaikilla standardin edellyttämiä mutta vaihtotapa oli jokaisella erilainen, johtuen siitä, ettei standardi edellytä mitään erityistä vaihtotapaa, kunhan teräskuulat ovat standardin sallimien toleranssien sisällä. Standardin asettama vaatimus kuulille on:

- koko $11,50$ – $12,01$ millimetriä
- kovuus, (yksikössä HRC) on oltava 58 – 65
- 40 teräskuulan yhteispaino välillä 265 – 285 grammaa.

Kysyttäessä käyttäjien mielipidettä, voisiko painon toleranssia tarkentaa, usea käyttäjä totesi viidentoista gramman toleranssin riittävän. Suositukseksi laboratorioille annettiin haastattelujen perusteella standardia suppeampi toleranssi, 270 – 285 grammaa. Painon lisäksi kuulan koko pienenee mitä enemmän näytteitä testataan. Teräskuulien koon testaamisen helpottamiseksi suositellaan esimerkiksi teräslevyä, jossa olisi esimerkiksi $11,6$ millimetrin ura (Kuva 5). Kun kuula tippuu levyn läpi, pystytään helposti toteamaan että kuula on standardin alarajoilla ja se tulee vaihtaa.



Kuva 5. Esimerkkikuva teräslevystä, jolla teräskuulien koko voidaan tarkastaa.

5.6.2 Näytteen valmistelun erot

Eroja näytteen valmisteluissa ei ilmennyt. Eroja voisivat olla esimerkiksi standardista poikkeavat vakiointiajat ja tapa, jolla näyte sahattiin. Prall-testiä edeltävät näytteitä koskevat työvaiheet ovat myös standardoituja, joita jokainen laboratorio noudatti.

Näytteiden vakiointiajat ja -lämpötila olivat kaikilla tiedossa, eikä mitään näytettä pidetty täyttä vakiointiaikaa, 72 tuntia. Näytteet kuivattiin pintakuiviksi ja punnittiin ennen Prall-koetta, kuten standardissa ohjeistetaan. Tiheyden määrittämiseen on myös oma standardinsa, joka kaikissa laboratorioissa oli selvillä ja jota jokainen laboratorio noudatti.

5.6.3 Erot käytänteissä ja tulosten käsittelyssä

Eroja Prall-laitteen kanssa työskentelyssä oli yllättävän vähän, mikä mielestäni kertoo siitä että standardin asettamat vaatimukset olivat koneen käyttäjille tuttuja ja niitä seurattiin tarkasti. Suurimmat erot käytänteissä olivatkin asioissa, joita ei ollut tarkemmin määritelty standardiin, kuten teräspallojen vaihto. Tässä käytänteitä oli yhtä monta kuin tekijöitäkin. Yhdessä laboratorioissa vaihto tehtiin punnituksen ja koon mittaamisen jälkeen vaihtamalla pienimmät pois määrittelemättä kappalemäärää, toisessa vaihto tapahtui viiden kuulun sarjoissa kuulien yhteispainon pudotessa tiettyyn arvoon. Kannen pehmikekumin vaihtotapa oli erilainen joka laboratoriolla, johtuen osin siitä, että kaikilla oli käytössään toisistaan poikkeavat pehmikekumit, jotka käyttäytyivät, kuluivat ja

kovettuivat jokainen eri lailla kulutuskokeiden aikana. Dokumentointi, tiedon käsittely ja kirjaaminen tehtiin joka laboratorioissa laboratorion omiin kaavakkeisiin, joissa ilmeni selkeästi ja yhdenmukaisesti tarvittavat asiat.

6 POHDINTA

Prall-laitteistossa on useita muuttujia, joihin ei voida vaikuttaa, sekä muuttujia, joiden vaikutus ei ole täysin selvillä. Jotta laitteilla voidaan luotettavasti vertailla asfaltti- tai jotain muuta ainetta olevia näytteitä, pitäisi uusittavuus-, sekä toistettavuusarvo saada mahdollisimman tarkoiksi sekä yhdenmukaisiksi. Tämä tarkoittaa helpoimpien muuttujien harmonisointia ja vaihtotapojen yhdenmukaistamista.

Pehmikekumimaton rajoitteet olivat standardin mainitsema kumimaton laatu, polykloropeeniä tai vastaavaa, sekä paksuus $2,0 \pm 0,2$ mm. Laboratorioita ohjeistettiin tämän opinnäytetyön perusteella pehmikekumien yhdenmukaistamisessa erään jälleenmyyjän 2,0 millimetrin paksun pehmikekumin ostoon. Kyseinen kumimatto on ominaisuuksiltaan standardin mukaista ja hinta varsin alhainen, joten mitään estettä yhdenmukaistamiselle ei ole.

Teräskuulia oli saatavana Prall-laitteiston valmistajalta, sekä standardia vastaavia rautakaupan teräskuulia. Jokainen laboratorio on jo selvittänyt, mistä kuulia saa, eikä tarvetta yhden toimittajan tuotteeseen siirtymiseen ole. Kunhan standardin mukainen kovuusluokka HRC on välillä 58–65, teräskuulien laatu, koko ja paino ovat standardin mukaisia, jolloin ei ole syytä vaihtaa toimittajaa.

Veden virtaaman seuranta oli tutustumiskäynneillä hankalaa. Vettä laskettiin astiaan samanaikaisesti kellottamalla sekuntikellolla, kuinka kauan vesi on juosut. Tästä saatiin arvo virtaamalle. Pikkukivet voivat tukkia osittain tai kokonaan vedenkierron mitätöiden täten käynnissä olevan testin. Virtaaman standardinmukaisuuden seuranta kokeen aikana on hankalaa. Toleranssin ollessa vain $\pm 0,2$ l./min., saattaa virtaaman heikentyminen jäädä huomaamatta, jolloin näyttekammioon saattaa alkaa kerääntyä näytteestä irtoavaa hienoainesta, vähentäen kuluma-arvoa ja näin pilaten testin. Laboratorioille on annettu tämän opinnäytetyön johdosta suositus virtausmittarin hankkimiseen ja käyttämiseen, jotta voidaan varmistua standardinmukaisuudesta. Mittareita on olemassa monenlaisia, mekaanisista mittareista ultraääniä hyödyntäviin mittareihin. Jokaisen laboratorion omaan harkintaan jää virtausmittarin tarpeellisuus ja hintaryhmä.

Tiedossa on että näytteen kivipinta-ala sekä kiviaineksen muotoarvo vaikuttavat tuloksiin. Sen vuoksi asfalttinäytteitä testattaessa pitäisi alkaa kehittää kuvankäsittelyohjelmia, jotta tulevaisuudessa saataisiin luotua jonkinlainen kerroin kivien muotoarvolle ja pinta-alalle näytteessä. Tällaisella kertoimella voitaisiin korjata tulosten epätasaisuutta näytteissä, joita syntyy juuri kivipinta-ala- ja -muodon takia.

Standardin muuttaminen on pitkä prosessi, varsinkin kun kyseessä on yhteis-pohjoismainen normisto ja käytäntö. Mikään ei kuitenkaan rajoita tekemästä Suomea koskevia tarkennettuja ohjeita, kunhan standardin asettamat vähimmäisarvot täyttyvät. Tällaisia voisivat olla kuulien painon ja koon toleranssin ka-ventaminen, pehmikekumin yhtenäistäminen, testausajan kaventaminen, pun-nitus kuivana, jolloin tyhjätilaan kokeen aikana päätyvä vesi ei olisi vaikuttavana tekijänä, sekä männänvarren laakerin suurin sallittu vapaaliike sivusuunnassa.

Haastatteluissa keskusteltiin laitteen väkivaltaisesta luonteesta alustaansa, osi-ansa, sekä testattavaa kappaletta kohtaan. Myös toive kierrosnopeuden alen-tamisesta esitettiin, jotta laitteet kestäisivät paremmin ja pidempään testejä. VTI:n tekemien tutkimusten mukaan 750–800 r/min kierrosalue ei sovellu Prall-laitteelle (Viman 2010, 12, 19.) Muut kierrosnopeudet pitäisi testata ja yhteises-ti sopia käytettäväksi esimerkiksi Suomen laboratorioissa tehtävissä vertailuko-keissa.

Mitään muutoksia laitteisiin ei kannata tehdä laakereiden laadun parantamista ja yhdenmukaistamista lukuun ottamatta, ilman että suoritetaan vertailukoe, jossa todetaan tehdyn muutoksen vaikuttavan halutulla tavalla. Pehmikekumi-en ja kuulien yhdenmukaistaminen voidaan tehdä ilman huolta epätoivotuista muutoksista, koska tällaiset toimenpiteet muuttavat koetapahtumaa ja laitteis-toa yhdenmukaisemmiksi verrattuna aiempaan tilanteeseen. Vaikutus tulos-tasossa näillä ehdotetuilla muutoksilla voidaan todeta vertailukokein. Odotet-tavissa on kuitenkin tulostason parantuminen vertailtaessa eri laboratorioita toisiinsa. Laitteen kiinnitystavan vaikutus tuloksiin on lähinnä aiempien tutki-musten varassa, joskin tutkimustulokset ovat rohkaisevia sen suhteen, ettei tu-lostaso kärsi laitteiden erilaisista kiinnityksistä niin paljoa, kuin aiemmin on aja-teltu. Tämän vuoksi suositusta kiinnitystavan yhdenmukaistamiseen ei tarvita.

LÄHTEET

Aalto yliopisto (n.d.). Rakennustekniikan laitos. Haettu 15.12.2016 osoitteesta <http://buildtech.aalto.fi/fi/>

FINAS -akkreditointipalvelu (2016). Mitä on akkreditointi? Haettu 15.12.2016 osoitteesta <https://www.finas.fi/Sivut/default.aspx>

InfraRYL (n.d.). Asfaltit ja niiden laatuvaatimukset, pdf-tiedosto. Haettu 28.1.2017 osoitteesta www.rts.fi/infraryl/infraryl...251115/21411%20Asfalttipaallysteet%20JULK.pdf

InfraRYL, päivitys. (2015). 21411 Asfalttipäallysteet, pdf -tiedosto. Haettu 29.1.2017 osoitteesta https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiN8tfk1ufRAhUEJJoKHXW6AP4QFggxMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.rts.fi%2Finfraryl%2Finfraryl_paivitystiedostot_251115%2F21411%2520Asfalttipaallysteet%2520JULK.pdf&usg=AFQjCNGJpDK2vJDxBz3MdrJL7-QDv5Rng&bvm=bv.145822982,d.bG

Lemminkäinen (n.d.). Lemdense. Eriste- ja kulutuskerroksena käytettävä tiivis asfalttibetoni. Haettu 17.2.2017 osoitteesta <http://www.lemminkainen.fi/globalassets/documents/infra/fi/paving/lemdense.pdf>

Lemminkäinen (n.d.). Päällystyksen laborioripalvelut. Haettu 15.12.2016 osoitteesta <http://www.lemminkainen.fi/Infrarakentaminen/laborioripalvelut/>

Letonsaari, M. (2015). Resonanssi eli myötävärähtely. Haettu 20.12.2016 osoitteesta http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/1_varahtely/105?C:D=2079114&m:selres=2079114

Mitta Oy 2016. Haettu 15.12.2016 osoitteesta <http://www.mitta.fi/>

NCC (n.d.). NCC Industry. Haettu 8.1.2017 osoitteesta <https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-industry/>

NCC (2017). Tarjontamme. Perusasfaltit. Haettu 17.2.2017 osoitteesta <https://www.ncc.fi/tarjontamme/asfaltti-ja-kiviaines/asfaltin-palvelut-ja-tuotteet/perusasfaltit/>

NordFoU (2016). About NordFoU. Haettu 12.1.2017 osoitteesta <http://www.nordfou.org/about/Sider/default.aspx>

NordFoU. Final Report. 2015. Development of the Prall -test method in a Nordic perspective. Ei saatavissa julkisena lähteenä.

Oulun ammattikorkeakoulu OAMK (n.d.). Elinvoimaa ja hyvinvointia pohjoiseen. Haettu 8.1.2017 osoitteesta <http://www.oamk.fi/fi/tietoa-oamkista/>

PANK RY / Laboratoriotuimikunta (1997). Asfalttimassat ja -päällysteet, perusmenetelmät. Päällystenäytteen valmistus. Haettu 18.2.2017 osoitteesta https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiOiY-4vLrSAhULC8AKHYcSDZYQFggfMAE&url=http%3A%2F%2Fpank.fi%2Ffile%2F582%2Fpank-4004-p-llysten-ytteen-valmistus.pdf&usg=AFQjCNFH_Am5YXmv2Wie1vi5ZIAU4ybOxg&cad=rja

Rocklab (n.d.). Myytävien kiviainesten CE -merkinnät tulivat pakollisiksi 1.7.2013 voimaan tulleen rakennustuoteasetuksen myötä. Haettu 13.1.2017 osoitteesta <http://www.rocklab.fi/myytaevien-kiviainesten-ce-merkinnat-tulivat-pakollisiksi-1-7-2013-voimaan-tulleen-rakennustuoteasetuksen-myoetae>

RT -kortti LVM-21698 Maantielaki (2016). Rakennustieto Oy. Haettu 8.1.2017. Saatavissa Ebrary-tietokannassa.

SFS EN 12697-16 (2016). Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 16: Nastarengaskuluminen. SFS Online. Haettu 6.9.2016 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

Similä, S. (2016). Prall -selvitys 2016: Koekohdeselvitykset SMA 16, reseptit A ja B. Mitta Oy:n tekemä selvitys. Espoo. Ei saatavissa julkisena lähteenä.

Similä, S. (2016). Prall -selvitys ja vertailukokeet. Mitta Oy:n tekemä selvitys Liikennevirastolle. Espoo. Ei saatavissa julkisena lähteenä.

Tielaitos (1997). Päällysteiden suunnittelu, pdf -tiedosto. Haettu 28.1.2017 osoitteesta http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/paallysteiden_suunnittelu.pdf

Viman, L. (2011). Utveckling av Prallmetoden. VTI. Haettu 20.11.2016 osoitteesta https://www.vti.se/sv/Publikationer/Publikation/utveckling-av-prallmetoden_670452

Väisänen, H. (2016). Prall-tulokset vt 25. Sähköpostiviesti tekijälle 8.12.2016

