



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

JÄÄPITOMITTAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO JA MENETELMÄN KEHITYS

Topias Heinisuo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Energia- ja ympäristötekniikka
Laboriotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka
Laboratoriotekniikka

HEINISUO TOPIAS:

Jääpito­mittauksen käyttöön­otto ja menetelmän kehitys

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Toukokuu 2018

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin Nokian Renkaat Oyj:n materiaalikehityksen laboratoriossa fysikaalisella puolella, jossa suoritetaan materiaalinkehityksen lomassa laadunvalvontaa ja kumin ominaisuuksiin liittyviä analyysejä. Nokian Renkaat Oyj luetaan maailman johtavimpien rengasvalmistajien joukkoon, ja on erityisesti johtava pohjoisen olosuhteiden renkaiden valmistuksessa ja kehityksessä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada jääpito­mittauksista ja niiden tuloksista vertailukelpoisia ja toistettavia. Toisena tavoitteena oli edistää Nokian Renkaat Oyj:n materiaalinkehityksessä suoritettavien kumityyppien ominaisuuksien testaamista. Tarkoituksena oli ottaa käyttöön Nokian Renkaat Oyj:lle Laboratory Abrasion and Skid Tester eli LAT100 –laite, ja luoda sen jääpito­mittaus -ominaisuudelle optimoitu jää ja mittausmenetelmä.

LAT100 –laitteella voidaan luoda kumianalyyseille mahdollisimman luonnonmukaiset olosuhteet. Laitteella pystytään mittaamaan esimerkiksi kulumista ja pito-ominaisuuksia erilaisilla alustoilla ja parametreilla. Opinnäytetyössä keskityttiin jääpito­mittauksiin, joista haluttiin selvittää kitkavoima, -kerroin ja näiden vaihtelevuus eri olosuhteissa.

Opinnäytetyössä suoritettiin menetelmään sopivan jään optimointi, jossa keskityttiin jäädyttämisen ajalliseen ja laadulliseen parannukseen. Kun saatiin stabiili jää jokaiseen mittaukseen, voitiin keskittyä menetelmän kehittämiseen ja tätä myötä kumityyppien käyttäytymiseen jäällä. Työssä suoritettiin toistettavuusmittauksia, niiden luotettavuuden ja toistettavuuden edistämistä sekä mittauksia erilaisilla kumityypeillä.

Tavoitteena ollut toistettavien mittauksien sekä vertailukelpoisuuden luominen onnistui. Tuloksena saatiin LAT100 –laitteen toimiva kokonaisuus jääpito­mittauksissa sekä tälle kehitetty menetelmä, joka otettiin käyttöön heti sen valmistuttua. Onnistuneesta veden jäädyttämiseksi luodusta menetelmästä tuli vakio jäädytysohjelma. Tällä menetelmällä vesi voidaan jäädyttää samanlaiseksi jokaisella kerralla mahdollisimman nopeasti jään laadun pysyessä vakiona.

Asiasanat: jääpito, LAT100, menetelmän kehitys, käyttöön­otto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Laboratory Engineering

HEINISUO TOPIAS:

Introduction to Ice Traction Measurement and Method Development

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 8 pages
May 2018

This thesis was done to Nokian Tyres PLC located in Nokia, Finland. The experimental part of this thesis was executed in their material development laboratory where operations such as quality control analysis and research and development of rubber properties take place. Nokian Tyres PLC is rated as one of the top corporations in tyre industry and it maintains the reputation of the best manufacturer of winter tyres in the world.

The purpose of this thesis was to make an introduction to Laboratory Abrasion and Skid Tester LAT100 and to create an ice type that is optimal for testing and a method for ice traction measurements. The objective was to obtain measurements and results that were both comparable and repeatable with the developed method. Furthermore, the goal was to improve the speed of testing different properties of tyre on ice, consequently benefiting Nokian Tyres PLC.

Ambient Nordic-like conditions can be created with LAT100 for tyre testing inside laboratory. LAT100 can measure ice traction or normal tyre abrasion. This thesis is focused on testing tyre treads on ice and processing the results gained from friction coefficient analyses. First the optimization of freezing the ice was done. After stable ice was made, the focus could be set on development of the method and measurements. Two different types of measurement were made: tests of repeatability and comparability. To know if the method works, the repeatability has to be good. The standard deviation and mean of friction coefficient were closely analysed to be certain of this.

The objective to carry out repeatable and comparable measurements with the method created here was successful. As a result, a functioning set of tools for measuring ice traction with LAT100 was created. The developed method and the optimized ice freezing programme for the ice were put into practice immediately.

Key words: ice friction, LAT100, method development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEOREETTINEN TAUSTA	7
2.1	Renkaiden valmistusprosessi	7
2.2	Kumin ominaisuudet.....	8
2.3	Jääpitotestit radalla	10
2.4	Testeissä käytetyt kumikiekot.....	11
2.5	Kitka.....	11
2.6	Jäätyminen	12
2.7	Jään ominaisuudet.....	13
3	MITTAUS- JA MÄÄRITYSMENETELMÄT	15
3.1	Laboratory Abrasion and Skid Tester LAT100	15
3.1.1	Käyttöjärjestelmä	18
3.1.2	Jääpito-ominaisuus.....	19
3.1.3	Lauda.....	20
3.1.4	Polydimetyylisiloksaani	21
3.2	Jäädettäminen	22
3.2.1	Laitevalmistajan ohjeet	23
3.2.2	Jään laadun ja siihen kuluneen ajan optimointi.....	24
3.3	Toistettavuus	26
3.4	Testit eri sekoituksilla	27
3.5	Jään pinnan tasoittaminen.....	27
3.6	Työn ongelmakohdat	29
4	TULOKSET	32
4.1	Jään laatu ja jäädettämisen kesto	32
4.2	Veden erilainen jäätyminen eri menetelmillä	33
4.3	Toistettavuusmittaukset	35
4.4	Mittauksien luotettavuuden edistäminen	38
4.5	Testit eri sekoituksilla.....	40
	POHDINTA	43
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	50
	Liite 1. Mittauksien käyttöohje ja -suunnitelma.....	50
	Liite 2. Kahdeksan eri kumityypin testien raakatulokset.	53

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Nokian Renkaat Oyj:lle. Pohjoisimpana rengasvalmistajana Nokian Renkaat Oyj pyrkii edistämään ja parantamaan turvallisuutta pohjoisissa olosuhteissa. Nokian Renkaat on ainoa rengasvalmistaja, joka keskittyy pohjoisten vaativiin ajo-olosuhteisiin ja asiakastarpeisiin vuodenajasta riippumatta. Renkaita ja ratkaisuja ei kehitetä pelkästään henkilöajoneuvoihin, vaan myös raskaisiin ajoneuvoihin ja työkoneisiin. Tuotekehityksen keskiössä on ympäristöystävällisyys ja turvallisuus. Tavoitteena on, että näiden ominaisuuksien kesto jatkuisi tuotteen koko elinkaaren ajan. Vuonna 2017 yhtiön liikevaihto oli 1,6 miljardia euroa ja yhtiössä työskenteli 4600 työntekijää. (Nokian Renkaat Oyj, 2018.)

Renkaiden jääpitoa on mitattu jo pidemmän aikaa käytännössä radoilla, mitaten jarrutusmatkaa, liirtomäärää sekä hallittavuutta äkkinäisissä tilanteissa. Nämä mittaukset kulmineituvat kitkaan ja kitkavoimaan. Radalla mittausmenetelmät jatkuvat edelleen, mutta nyt pyritään tuomaan samankaltaisia mittauksia laboratorioon. Tällaiset mittaukset onnistuvat luomalla keinotekoisien jään laboratorio-olosuhteissa. Jäällä voidaan siihen optimoiduilla laitteilla sekä menetelmillä testata jääpitoa hyvin nopeasti ja monipuolisesti erilaisilla kumisekoituksilla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada jääpitomittauksista ja niiden tuloksista vertailukelpoisia ja toistettavia. Pyrittiin saavuttamaan luotettava kokonaisuus laitteen ja menetelmän käyttöön liittyvistä ominaisuuksista sekä niiden soveltamisesta tulevaisuuden mittauksiin. Samalla tavoitteena oli tuottaa Nokian Renkaat Oyj:n liiketoimintaa tukevaa tietopohjaa ja edesauttaa laitteen käyttöönottoa ja menetelmän kehitystä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli ottaa käyttöön Laboratory Abrasion and Skid Tester, LAT100 –laite ja luoda sen jääpitomittaus –ominaisuudelle optimoitu jää sekä mittausmenetelmä. Jäästä pyrittiin tekemään mahdollisimman vakaa lyhyimmässä mahdollisessa ajassa.

LAT100 –laitteita jääpitomenetelmällä on käytössä maailmassa vain muutama, joten sen merkitys kilpailuetuna korostuu. Laitteen hyödyntäminen voi luoda uusia näkökulmia ja nopeuttaa rengassarjojen, kumisekoituksien ja ominaisuuksien testaamista. Testien kehittyessä testitulosten merkitys painottuu vertaillen laboratorio-olosuhteissa tehtyjä testejä ja radalla tehtyjä jääpitotestejä. Koska Nokian Renkaat ovat pohjoisiin oloihin

keskittyvä rengasvalmistaja, on LAT100 –laitteen jääpitomittauksella entistä suurempi osuus mittauksissa.

Testit tehtiin Nokian Renkaat Oyj:n materiaalikehityksen laboratorion fysikaalisella osastolla Nokialla. Tällä osastolla suoritetaan muun muassa raaka-aineiden kuten tekstiilikoordin ja raakakumin laadunvalvontaa sekä fysikaalisten ominaisuuksien mittauksia ja uusien sekoitusten testausta.

Opinnäytetyössä käydään läpi teoreettista taustaa laitteen toiminnasta sekä jään että renkaiden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Ennen varsinaisia testejä tuli testata ja kehittää jään jäädytystä, jotta saataisiin vakaa ja jokaiseen testipäivään mahdollisimman samanlainen jää. Varsinaiset kokeet jaettiin kahteen osaan: toistettavuuskokeet ja erilaisilla sekoituksilla tehdyt kokeet. Toistettavuuskokeissa testattiin samaa sekoitusta useamman viikon, jotta saatiin luotettavia ja toistettavuudeltaan hyviä tuloksia, sekä tulostenkäsittelyn kautta tieto parhaimmasta mittausmenetelmästä. Erilaisilla sekoituksilla tehdyt kokeet taas antoivat osviittaa tulevaisuudessa tehtäviin mittauksiin, jotta tiedetään miten jää, kitka ja parametrit käyttäytyvät erilaisten sekoitusten kanssa.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

Rengasteollisuudessa toimivien yritysten yksi tärkeimmistä vaatimuksista on tietää polymeerien, noen ja muiden täyteaineiden oikea suhde parhaisiin ominaisuuksiin kuten kulutuksenkestävyyteen sekä renkaan pito-ominaisuuksiin. Tämä voidaan selvittää nopealla ja tarkalla testillä laboratoriossa. LAT100 –laitteella voidaan testata useilla parametreilla ja muuttujilla rengaskumin ominaisuuksia.

2.1 Renkaiden valmistusprosessi

Renkaiden tuotanto alkaa reseptin luomisella (taulukko 1), joka määrittää kumin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sen eri aineiden suhteella toisiinsa (Laurila 2007, 40). Kumi valmistetaan aina siihen tarkoitukseen sopivaksi, mihin tuotetta käytetään ja mitä siltä halutaan. Esimerkiksi talvirenkaissa halutaan kumin olevan pehmeämpää kuin kesärenkaissa, koska pehmeämpi kumi antaa paremman pidon liukkaalle alustalle sen hystereesikitkan ansiosta. (Persson, Lorenz & Scaraggi, n.d.)

Renkaan kumisekoituksesta noin kolmasosa on täyteaineita. Näihin aineisiin kuuluu noki, jonka vuoksi renkaiden väri on musta, ja öljy, joka pehmentää sekoitusta. Raaka-aineet sekoitetaan korkeassa lämpötilassa, jonka jälkeen rengasta varten valmistetaan sitä tukevia komponentteja esimerkiksi kaapeli- ja tekstiilikumituksia, jotka vahvistavat renkaan rakennetta. Osien ollessa paikallaan sekoituksesta tullessa raakarenkaassa se puristetaan aihion sisällä, jossa on renkaalle tarkoitettu pintakuvio ja samalla se vulkanoidaan. (Nokian renkaat Oyj, n.d.)

Vulkanointi on lämpökäsittelyä tarkoittava kemiallinen prosessi, jossa raakakumi ja muut elastomeerit muutetaan risteytetyiksi polymeereiksi. Yleisesti vulkanisointi tapahtuu lisäämällä rikkiä ja muita kiihdyttäjiä ja altistamalla aineet korkealle lämpötilalle, jolloin muodostuu verkkomainen rakenne rikkisilloista, hiili-hiilidoksista tai metalli-ionien välittämiä sidoksia polymeerien välille ja kumin fysikaaliset ominaisuudet paranevat merkittävästi. (Polymer Properties Database 2015; Laurila 2007, 42.) Laurilan (2007) mukaan kumia pidetään määrätty aika puristuksissa ja korkeassa lämpötilassa, sillä paistamisen mennessä ylijälle tapahtuu reversio, jolloin kumia on ylivulkanoitu ja ominaisuudet eivät ole enää niin hyvät. Tärkeimpinä vulkanoidun kumin ominaisuuksina

pidetään kovuutta, jäännöspuristumaa, kulumiskestävyyttä ja repimislujutta. Suurimpina eroina vulkanoimattomalla kumilla on vulkanoituun kumiin nähden sen raakatarttuvuus, viskositeetti ja pehmeys. (Laurila 2007, 32-33.)

Tuotannon jälkeen rengas tarkastetaan virheiden ja eroavaisuuksien vuoksi, jonka jälkeen se testataan. Tämän jälkeen se on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. (Nokian Renkaat Oyj 2018.)

TAULUKKO 1. Esimerkki reseptistä. (Evans & Evans 2006. Muokattu)

Ainesosa	Prosentuaalinen osuus %
Kumi/elastomeerit	47 %
Noki	21,5 %
Metallit (esim. Teräsvahvikkeet)	16,5 %
Tekstiiliä	5,5 %
Sinkkioksidi	1 %
Rikki	1 %
Lisäaineet	7,5 %
Hiilipohjaset materiaalit, yhteensä	74 %

2.2 Kumin ominaisuudet

Kumi on viskoelastinen materiaali, joka tarkoittaa sillä olevan niin viskositeettiset kuin elastiset ominaisuudet. Kumia on helppo muokata, mutta se on lähes kokoon puristumatonta. Sylinteriin laitettaessa männän puristettavaksi kokoonpuristumista ei tapahdu, jos paisuminen sivuilta estetään (Wennström 2007; Laurila 2007, 31). Luonnonkumi on esimerkki polymeeristä, jolla on sekä teoreettisesti että käytännöllisesti suuri rooli erilaisissa sovelluksissa. (James & Guth 1944.)

Elastisuus

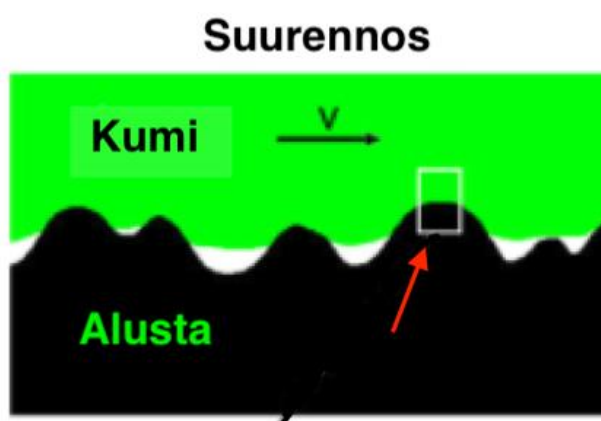
Kimmoisuus on yksi kumin tärkeimmistä ja käytännöllisimmistä ominaisuuksista. Kumia voidaan venyttää jopa 1000 % sen silti palautuen omaan muotoonsa. Se tekee siitä ainoan materiaalin, jolla on tämä ominaisuus. Molekyylirakenteen erikoisuus, epäsymmetrisyys ja sen sidoksien vapaus kiertyä ovat elastisuuden perimmäisenä syynä. Polymeerin

molekyylien liikkuminen on riippuvainen lämpötilasta, joten mitä kylmempi on, sitä pienempi elastisuus on. (Laurila 2007, 24.)

Kumin elastisuus johtuu polymeeriketjujen muodollisista vaihteluista, ja näiden vaihteluiden vaihtelevuusaste määrää kumin mekaaniset ominaisuudet (Roland 2013, 145). Laurila (2007) toteaa molekyylin epäsymmetrisyyden takaavan sen, etteivät molekyylit kiteydy keskenään. Jos polymeeri olisi symmetrinen, sen haarakkeet menisivät lomittain itsensä kanssa, jolloin fysikaaliset piirteet heikkenisivät. Hyvät elastiset ominaisuudet vaikuttavat esimerkiksi siihen, ettei rengas muuta muotoaan kovassa rasituksessa. (Laurila 2007, 24-25.)

Kumin kitka

Kumin kitkalla on tärkeä merkitys ajoneuvojen renkaissa ja niiden valmistuksessa. Siihen vaikuttavat nopeus, pintapaine, lämpötila, kumin kovuus sekä kosketuspintojen laatu. Kokonaiskitka koostuu adheesiokitkasta, joka johtuu molekyylien välisistä vetovoimista, ja hystereesikitkasta. Se syntyy kumin liukuessa alustalla, jonka pinnan mikroepätasaisuudet aiheuttavat kumiin muodonmuutosvoimia. Ne johtuvat alustan epätasaisuuksien epäsymmetrisestä suuntautumisesta kumin kulkusuuntaan nähden (kuva 1). Kumin ollessa hyvin pehmeää se on helposti muotoutuvaa ja kiinnittyy herkemmin alustan epätasaisuuksiin. (Laurila 2007, 35.; Persson, Lorenz, & Scaraggi n.d.)



KUVA 1. Hystereesikitka muodostuu alustan pinnan mikroepätasaisuuksien (nuolella merkattu) aiheuttaessa kumiin muodonmuutosvoimia. (Persson, Lorenz, & Scaraggi. Muokattu)

Kestävyys

Kumin kykyä kestää kemikaaleja mitataan painon, kovuuden sekä tilavuuden muutoksella. Kestoon vaikuttavat vulkanoinnin tiheys, sekoituksen rakenne ja elastomeerin ominaisuudet. Esimerkiksi öljyt ja muut liuottimet voivat tunkeutua kumin rakenteiden väliin poistaen pehmittimien vaikutuksen ja kovettaa kumin tai päinvastoin. Kemiallisen keston parametreina toimivat lämpötila, vaikuttavan aineen väkevyys ja vaikutusaika. (Laurila 2007, 35-36.)

Nopea lämpötilan nousu ei romahduta kumin rakennetta kuten se tekee esimerkiksi muoveilla. Pitkäaikaisempi altistuminen kuumuudelle johtaa tosin tuotteen kovettumiseen ja heikentymiseen. Samoin happi, otsoni ja UV-säteily vanhentavat kumista tehtyjä tuotteita. Tästä syystä esimerkiksi talvirenkaita ei kannata kesällä säilyttää ulkona auringonpaisteessa. Heikentyminen näkyy useimmiten kumin halkeiluna. Halkeilu kohdistuu venytettyihin kohtiin sekä osiin, joissa elastomeeri omaa kaksoissidoksia. (Laurila 2007, 36.)

Kestävyyttä ja kulutusta voi vain teorian perusteella mitata, sillä autonrenkas ja sen kuluminen ovat riippuvaisia monesta muusta asiasta, joita ei voi laboratorioissa testata kuten renkaan rakenteesta, auton jousituksesta, ajonopeudesta, tien pinnasta, ajotavasta ja kelistä (Grosch 1997). LAT100:lla voidaan ottaa askel tällaisten mittauksien suuntaan.

2.3 Jääpitotestit radalla

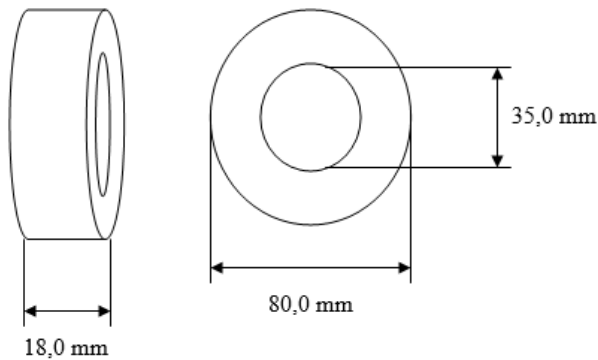
Nokian Renkaat Oyj suorittaa jääpitotestit Suomen Ivalon testikeskuksessa. Siellä testataan muun muassa jarrutustehokuutta, liirtomäärää sekä auton käsittelyä yllättävissä tilanteissa (Nokian Renkaat Oyj n.d.). Pitotestauksissa testit suoritetaan joko kaksipyöräjarrutuksena tai nelipyöräjarrutuksena. Renkaiden säilytys on mittaolosuhteissa ennen testiä ja sen aikana (Ojala 2018).

Kiihdytystesteissä mitataan aikaa, jossa auto on saavuttanut halutun nopeuden ja jarrutustesteissä mitataan jarrutusmatkaa tietyllä nopeusvälillä. Toistot tehdään niin monta kertaa, kunnes tulokset ovat johdonmukaisia. Testien ensimmäiset renkaat toimivat referenssinä, jotka testataan sarjan loppuksi uudelleen. Referenssirengas omaa

indeksiin 100, joista lasketaan muiden testirenkaiden poikkeukset. Niistä nähdään, onko indeksit huonompia eli alle 100 vai parempia eli yli 100. (Ojala 2018.)

2.4 Testeissä käytetyt kumikiekot

Kumikiekot, joita testeissä käytettiin, valmistettiin standardin ISO 2393:2014, ‘Rubber test mixes – Preparation, mixing and vulcanization – Equipment and procedures’ (ISO 2014) mukaisesti. Kumilaatu valmistettiin siihen suunnitellun reseptin mukaisesti (salainen). Kiekon fyysiset mitat olivat 80 mm (halkaisija), leveys 18 mm ja 35 mm sisempi halkaisija (kuva 2), josta kiekko kiinnitettiin laitteeseen.



KUVA 2. Kumikiekon mitat. (Ojala 2018.)

2.5 Kitka

Kappaleen liikkeessa jäällä ympäristö, tässä tapauksessa jää, mikäli ilmanvastusta ei oteta huomioon, aiheuttaa kappaleeseen vastustavan voiman eli kitkan. Kappaleen ja jään välinen liikekitka aiheuttaa kulumista sekä hankausta ja samalla mekaaninen energia muuttuu lämpöenergiaksi. Puhuttaessa kitkavoimasta tarkoitetaan voimaa, joka vastustaa jään ja kappaleen suhteellista liikettä. Kitkavoima on suhteellisesti verrannollinen kahden kappaleen toisiinsa kohdistuneista voimista. Kasvatettaessa kappaleiden välistä pinta-alaa kitkavoima ei tosin suurene, sillä pinta-alan kasvaessa paino jakautuu tasaisemmin kosketuspintojen välille eli voima pienenee ja harvemmat kosketuspisteet tarttuvat toisiinsa kappaleiden välillä. (Inkinen & Tuohi 2012, 106-107.) Kitkakerroin saadaan

kaavan 1 mukaisesti johdettua liikekitkan yhtälöstä. Kitkakerroin on kitkavoiman suhde siihen kohdistettuun voimaan.

$$F_{\mu k} = \mu_k F_N$$

$$\mu_k = \frac{F_{\mu k}}{F_N}$$
(.)

Missä $F_{\mu k}$ on liikekitkan kitkavoima, μ_k kitkakerroin ja F_N on mittaukselle asetettu kuorma. (Tammertekniikka 2014, 102)

2.6 Jäätyminen

Jään lämpötilan alentuessa se kutistuu. Kutistuminen johtuu jään tiheyden muutoksena, sillä 0°C:sen jään tiheys on 0,9162 kg/dm³ ja -15°C:sen jäällä tiheys on 0,9194 kg/dm³. (Engineering ToolBox 2004.) Tämä johtuu molekyylien väliin jääneestä tyhjästä tiloista, jotka muodostuvat jäätyessä. Jään ollessa kiinnitettynä esimerkiksi rantaan aiheuttaa kutistuminen jännitteen jään pintaan. Kutistuman aiheuttamat halkeamat johtuvat tästä jännitteestä ja sen laukeamisesta. Hitaasti jäätyessä, muodostunut kuura täyttää jään pienet halkeamat, ja jää kestää. Nopeassa jäätymisessä taas kutistuminen on liian nopeaa, jolloin tapahtuu jännitteen laukeaminen. (Lake Ice n.d.) Jään tilavuuden laskeminen tapahtui verrannolla, joka on esitetty kaavassa 2.

$$V_1 \rho_1 = V_2 \rho_2$$
(.)

Kaava 2. Missä V_1 on aineen tilavuus alussa, ρ_1 aineen tiheys alussa, V_2 aineen tilavuus lopussa ja ρ_2 on aineen tiheys lopussa (Tammertekniikka 2014, 106-107).

Jään erikoinen käyttäytyminen johtuu vesimolekyylin rakenteesta. Vetyatomien vahva suuntautuminen muodostaa vetysidoksia, joissa jokainen vetyatomi on kahden

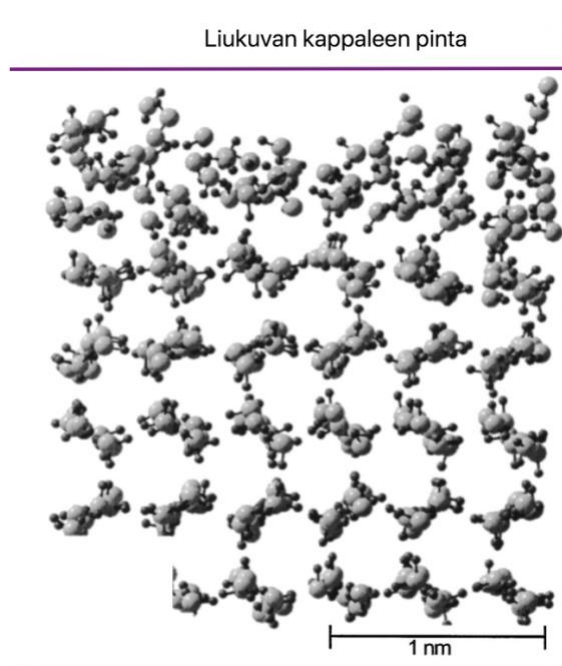
happiatomin välissä. Tämä taipumus sidosten muodostumiselle kasvaa suuremmaksi, kun mennään alempiin lämpötiloihin. Tämä johtuu lämpöliikkeen vähenemisestä, sillä vetysidokset eivät pääse liikkumaan pois vetysidoksista. (IAPWS 2013.)

2.7 Jään ominaisuudet

Jäästä puhuttaessa tarkoitetaan jään I_h muotoa, joka on ainoa Maassa luonnollisesti esiintyvä jään muoto. H-kirjaimella viitataan jään heksagonaaliseen kiderakenteeseen, eli jäähän, joka muodostaa kuusikulmaisen muodon. (Truffer 2013, 23.)

Jään ominaisuuksista eniten keskustelua herättää sen välinen kitka muiden pintojen kanssa. On esitetty ainakin neljä eri teoriaa ja syytä siitä, mikä aiheuttaa sen, että alhaisemmissa lämpötiloissa jään ja pinnan välinen kitka kasvaa olosuhteiden kuten voiman ja nopeuden pysyessä vakioina. Ensimmäisen teorian (J. Joly 1886) lähtökohtana on, että pintojen, kuten kumikiekon ja jään, välissä on ohut kerros sulaa vettä, joka sulaa jäästä kumikiekon paineen vuoksi ja siten aiheuttaa alhaisemman kitkakertoimen. Tämä väite laskettiin osittain vääräksi (Bowden & Tabor 1950), koska kumikiekon paine ei pystyisi sulattamaan jäätä yksinään, ellei lämpötila olisi vain milliasteita jään sulamispisteestä pakkasen puolella. Kuitenkin Le Chatelierin periaatteen mukaan paineen nostaminen aiheuttaa jään sulamisen ja tilavuuden pienenemisen. (Rosenberg 2005, J. Joly 1886, Bowden & Tabor 1950 mukaan.)

Bowden ja Tabor tulivat lopputulokseen, että kitkan aiheuttama lämpö tuottaa jään pinnalle ohuen kerroksen vettä. Tämä teoria sai hyväksyntää, mutta vastalauseita on edelleen olemassa; McConican (1950) teoria tuo ilmi jään pinnalla olevan jäästä lähtevä usva tai huuru, joka toimii liukkauteen vaikuttavana aineena. Neljäs teoria (Niven C. D. 1959) tuo esille molekyyli-tason perustelut, missä ehdotetaan vesimolekyylien rotaatiota jään pintaosissa liukuvan kumikiekon välissä, minkä mahdollistaisi vetysidosten puuttuminen. Vetysidokset eivät lukitsisi molekyyliä, vaan antaisi niiden pyöriä paikallaan (Mills 2008, McConica 1950 mukaan; Rosenberg 2005, Niven C. D. 1959 mukaan.) On mahdollista, että todellisuudessa jään kitkavoima on näiden teorioiden yhdistelmä. Tällöin paineen aiheuttama sulamispisteen aleneminen sekä liukuvan kappaleen nopeuden korrelointi kitkavoimaan ja sitä kautta kitkan aiheuttamaan lämpöön, aiheuttaisivat vesikerroksen jään ja kappaleen väliin (kuva 3).



KUVA 3. Jään molekyylien järjestyminen. Liukuvan kappaleen ja kiinteän jään väliin muodostuu vesikerros, jossa vesimolekyylit ovat vapaampia ja pakkautuneet tiheämmin. (Ikede-Fukazawa, Kawamura 2004. Muokattu)

Erittäin kylmissä lämpötiloissa ohutta nestemäisen veden kerrosta ei ole, tai sitä ei muodostu paineen ja kitkan aiheuttamana, eli jää on kuivaa. Näissä olosuhteissa jää käyttäytyy kuin mikä tahansa kuiva pinta ja omaa korkean kitkakertoimen kahden samanlaisen jään välillä (0,4 – 0,8). (Makkonen, Tikanmäki 2014.)

Vedessä olevat epäpuhtaudet vaikuttavat jään kitkakertoimeen muuttamalla jään sulamispistettä, jolloin jään päälle saattaa joissain lämpötiloissa tulla herkemmin vesikerros. Kun mitataan puhtaalla ionisoidulla vedellä kitkakerrointa, on se suurempi kuin, että mitattaisiin hanavedellä samat mittaukset. (Kishore Bhoopalam 2015, 11-13.)

3 MITTAUS- JA MÄÄRITYSMENETELMÄT

Mittaukset suunniteltiin toteuttavan siten, että jään laatu oli prioriteetti. Sen aikaansaamisen jälkeen haluttiin tehdä toistettavuusmittauksia, jotta pystyttiin arvioimaan laitteen ja järjestelmän toistettavuuden luotettavuutta. Tämän jälkeen suoritettiin mittaukset eri kumisekoituksilla. Kaikissa mittauksissa käytettiin kumisekoituksia, jotka olivat suunniteltu raskaiden renkaiden ulkopinnalle.

Mittaukset aloitettiin käynnistämällä LAT100 –laite sekä Lauda päävirtakatkaisijasta. Jäälevyn piti olla tasapainotettu, jotta jää olisi tasainen suhteutettuna jäädytyslevyyn. Kaikissa mittauksissa käytettiin kolmea eri voimaa: 25N, 60N ja 100N. Lämpötiloina käytettiin ajoissa -5°C , -8°C ja -15°C . Kiekon ajamaksi matkaksi määritettiin 5 metriä.

3.1 Laboratory Abrasion and Skid Tester LAT100

Laboratory Abrasion and Skid Tester LAT100 (kuva 4) on yhtiön VMI Group valmistama testilaite, jolla voidaan tehdä rutiinimittauksia tai tutkia ja kehittää tieteellisestä näkökulmasta kumin kitkaan tai kulumiseen liittyviä ominaisuuksia. Laitteella voidaan luoda monenlaisia olosuhteita mittauksille (Grosch, VMI Group n.d.), jotka lisäävät luotettavuutta ja tuovat todellisia ajo-olosuhteita lähemmäksi laboratoriotia. Jääpitoimituksesta tulokset saatiin kitkakertoimina μ .



KUVA 4. Laboratory Abrasion and Skid Tester eli LAT100 -laite.

Laitteen säädeltäviä ominaisuuksia ovat:

Lämpötila

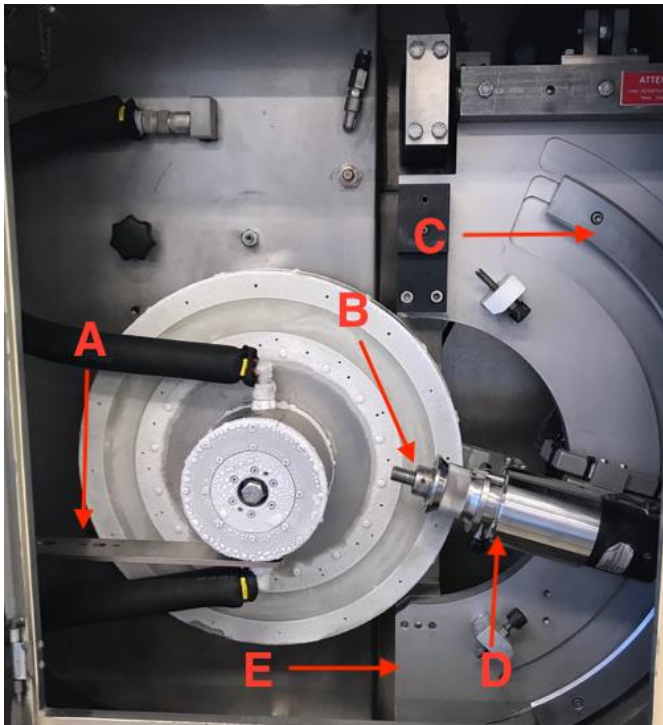
LAT100:lla voidaan säätää pinnan lämpötilaa, mitä vasten kumikiekkoa kulutetaan, jopa +80°C ja erikseen asennetulla termostaatilla (Lauda) lämpötilaksi on mahdollista asettaa +150°C – –35°C (Grosch, VMI Group n.d., 1).

Kuormitus

Kuormitus määrää millä voimalla kumikiekkoa painetaan jäädytyskiekkoa vasten. Näin voidaan jäljitellä eri painoisia kuormia. Kuormitus mitataan Newtonissa. Arvoalue on 10 – 140N, ja se tuotetaan paineilmalla painesynterissä, joka liikuttaa vipuvoimalla metallilevyä (kuva 5, osa E), johon kumikiekonpidike on kiinnitetty. Paineilmaa säädellään elektronisesti tietokoneen kanssa toimivalla paineventtiilillä. Kuorma ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella. (Grosch, VMI Group n.d., 1, 3-4.)

Sortokulma

Sortokulmalla voidaan määrittää kumikiekon kulman suhde jäädytyskiekkoon. Sivuvoima, joka johtuu sortokulman suuruudesta, rekisteröityy automaattisesti järjestelmään potentiometrisensorin avulla. Pienten sortokulmien yhteydessä sivuvoima kuvastaa yhdisteen dynaamista jäykkyyttä, kun taas suurten kulmien kanssa kitkavoima on vallitseva voima. Sortokulma asetetaan manuaalisesti käsin laittamalla kumikiekonpidike (kuva 6) siihen asentoon, kun halutaan. 0° on kun kumikiekonpidike on vaakatasossa. Laite mittaa sortokulman automaattisesti kertoen sen reaaliajassa ohjelman 'slip angle' kohdassa. (Grosch, VMI Group n.d., 1, 3.)



KUVA 5. Jäädystyskiekko mittausvalmiudessa. Kuvassa A on jäädystyskiekonpidike, B on kumikiekonpidikkeen osa, johon kumi asetetaan ja lukitaan, C on kaari, jolla voidaan säätää sortokulmaa, D on kumikiekonpidike, joka sisältää mittausensorit ja E kuorman tuottava metallilevy, jota säädellään paineilman avulla.

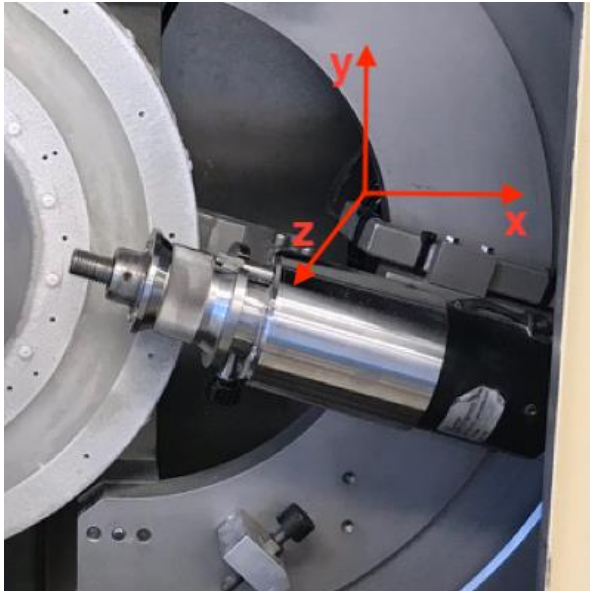
Nopeus

Nopeutta säätelee servomoottori. Se pyörittää jäädystyskiekkoa, joten kolmiulotteisilla sensoreilla varustettu kumikiekonpidike pysyy aina paikoillaan. Moottoriin on yhdistetty vaihteisto elektromagneettisella kytkimellä, jonka ansiosta voidaan saavuttaa erittäin hitaita nopeuksia esimerkiksi erinäisille kitkamittauksille. Nopeudet saatiin vaihtelemaan välillä 0,002 – 2 km/h, jolloin käytössä oli alhaisen nopeuden vaihteisto, ja 2 – 100 km/h, jolloin käytettiin korkeamman nopeuden vaihteistoa (Grosch, VMI Group n.d., 1, 3). Nopeus asetetaan tietokoneelta Dr. Groschin suunnittelemalla ohjelmalla. Pulssianturi määrittää tarkan nopeuden ja kiekon kulkeman matkan testin aikana.

Kumikiekonpidike

Kumikiekonpidike (kuva 6) on kiinnitetty kaarevaan levyyn (kuva 5, osa C), jolla voidaan säätää sortokulma. Pidike sisältää kolme komponenttisen voimamittarin, joten sillä voidaan mitata kitkavoima (y-akseli), kuormitus (z-akseli) ja liirtomittauksissa sivuvoima (x-akseli). Pidike on sijoitettu siten, että näyte (kumikiekko) osuu jäädystyskiekkoon

159,55 mm sen keskipisteestä, jolloin yhden kierroksen kulutukselle käytetty matka on yksi metri. Kumikiekonpidikkeeseen on mahdollista kiinnittää ruuvi, jotta kumikiekko ei pyöri vaan pysyy paikallaan. Kun halutaan mitata kulutusta, annetaan kumikiekon pyöriä vapaasti keskipisteensä ympäri, mutta jääpitomittauksissa kumikiekko lukitaan paikoilleen, jotta saadaan mitattua kumin ja jään välistä kitkavoimaa.

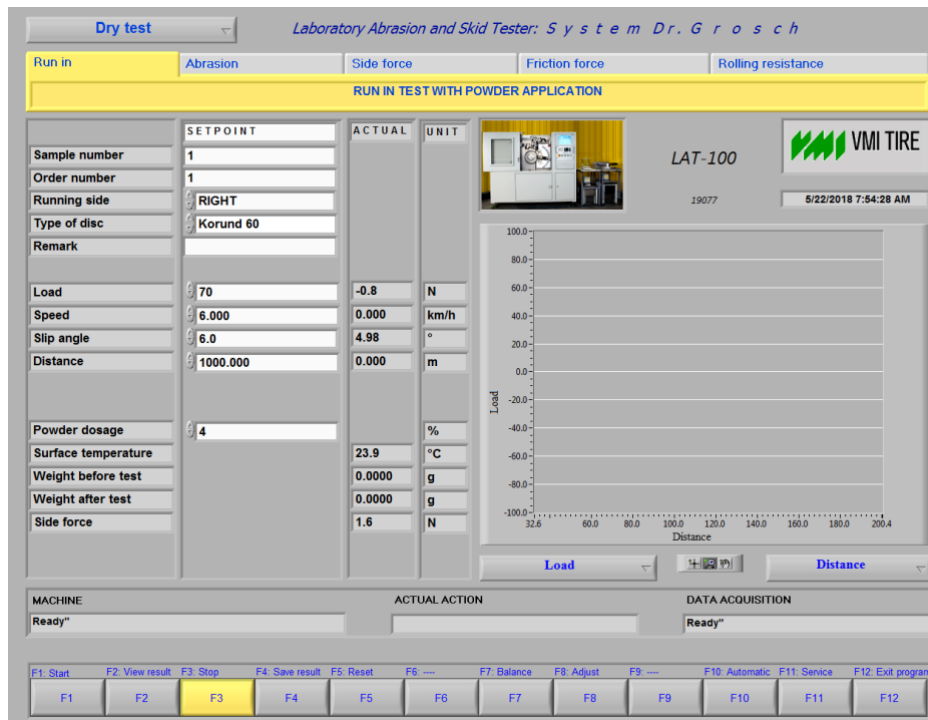


KUVA 6. Kumikiekonpidike. Kolmiulotteinen koordinaatisto näyttää sensoreiden mittaussuunnan, y-akselin ollessa kitkavoimalle, z-akselin kuormitukselle ja x-akseli liirtomittauksista johtuvalle sivuvoimalle.

Laitteen pohjaan on asetettu tärinänestoon tarkoitetut jalakset, ja itse laite ja moottori on sijoitettu metalliseinien sisään, mikä parantaa ääneneristystä. Oveen on asennettu läpikuultava muovilevy, joka voidaan aukaista kesken testien ja seurata testin kulkua. Tämä estää myös kulutustesteissä käytettävän veden ja pulverin roiskumisen ulkopuolelle. (Grosch, VMI Group n.d., 2)

3.1.1 Käyttöjärjestelmä

Laitteen käyttöjärjestelmä (kuva 7) on Windows -pohjainen. Pääikkunan ylänurkasta valitaan mittausmenetelmä eli onko kyseessä kulutustesti, märkäpitomittaus vai jääpitomittaus. Järjestelmään pystyy syöttämään näytteen tiedot ja mittauksien parametrit kohtaan ”setpoint”. Mittauksen tulokset näkyvät käyränä reaaliajassa kitkavoima/matka -kuvaajassa sekä numeerisina kohdassa ”actual”.

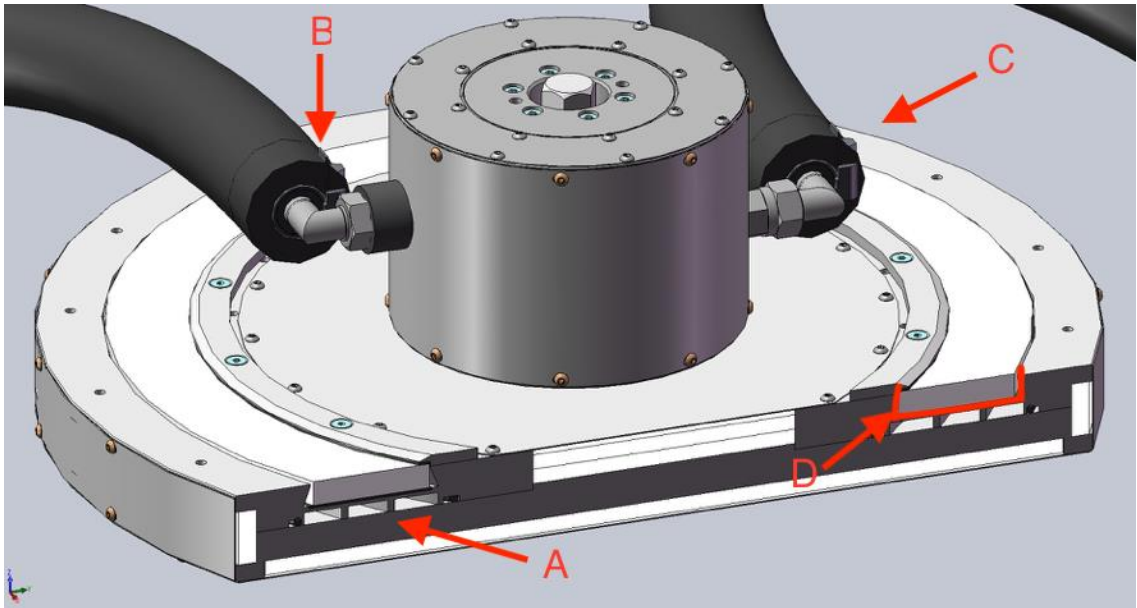


KUVA 7. Käyttöjärjestelmän päänäkymä.

3.1.2 Jääpito-ominaisuus

Jääpito-ominaisuus antaa mahdollisuuden tuoda jääpilotestien kitkamittaukset laboratorioihin. Menetelmä on mahdollinen suorittaa LAT100 -laitteella, kun siihen lisää erillisen jäädytyskiekon (kuva 8). Kiekko itsessään ei sisällä minkäänlaista elektroniikkaa vaan vain veden jäädytykseen suunnitellun ontton kiekon. Sen sisällä on järjestelmällinen polydimetyylisiloksaanille tarkoitettu kiertosysteemi, joka vastaa kiekon tasaisesta jäätymisestä.

Kiekkoon on yhdistetty kaksi lämpöeristävää putkea; toista pitkin polydimetyylisiloksaani (PDMS) virtasi sisään, toista ulos. Jäädytyskiekossa sijaitsevaan uraan asetettu vesi jäätyy, kun sen alla kulkeva PDMS virtaa kolmea eri uraa pitkin.



KUVA 8. Jäädätyskiekon poikkileikkaus. A on jäädätysaineen kiertoon valmistettu ontto ura, B on jäädätysaineen sisääntuloletku, C on ulostuloletku ja D on ura, johon vesi kaadetaan. (Teunissen 2018. Muokattu)

3.1.3 Lauda

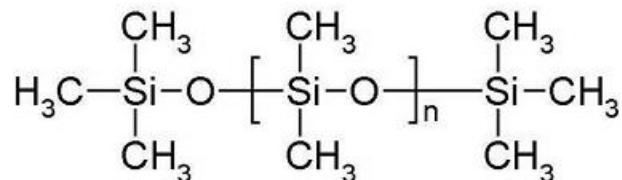
Jäädätyskiekon lämpötilan säätäminen tapahtui Lauda -jäähdytysjärjestelmällä. Käytössä oli Lauda RC 25 CS tyyppinen laite, jossa käytettiin polydimetyylisiloksaania lämpötilan kontrolloimiseen. Kuvasta 9 näkee myös kylvyn keskellä olevan lämpötilan säätämistä varten olevan putkimaisen rakenteen, jonka takana sijaitsi pumppu. Laite käyttää sentrifugaalista paine-/imupumppua, jolla se pyörittää jäähtynyttä nestettä jäädätyskiekossa. Käytössä olevalla mallilla pystyy lämpötilaa säätämään $+150^{\circ}\text{C}$ – -35°C välillä, joka riitti tarvittaviin mittauksiin. (Wobser 1998.)



KUVA 9. Jäähdytysjärjestelmän pumppu ja jäähdytysysteemi sisältä kuvattuna. Kylpy täytettiin polydimetyylisiloksaanilla.

3.1.4 Polydimetyylisiloksaani

Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä Lauda käyttää virtaavaa polydimetyylisiloksaania (PDMS) lämpötilan säätämiseen. PDMS:a käytetään lämpötilan säätämiseen, sillä sen lämmönkestävyysominaisuudet ovat hyviä (-80°C – $+200^{\circ}\text{C}$) ja sillä on alhainen pintajännitys (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals 2011). PDMS kuuluu ryhmään, jota kutsutaan yleiskielessä silikoneiksi. Normaalisissa lämpötilassa ja paineessa PDMS on kirkas, väritön, hajuton ja viskositeettinen neste. Se omaa huomattavan stabiiliuden kemikaalista ja hapettavaa hajoamista kohtaan (inerti) ja on veteen liukenematonta. PDMS on polymeerinen organosilikoninen yhdiste (kuva 10). (Ruijiang Group n.d.)



KUVA 10. Polydimetyylisiloksaanin rakennekaava (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals 2011).

Aineen yleinen kaava on MD_nM , jossa D_n kuvaa dimetyylisiloksin määrää ja M kuvaa päiden trimetyylisilyli -ryhmiä. Yhdisteen viskositeetti riippuu D -yksikön lukumäärästä. (Ruijiang Group n.d.)

3.2 Jäädettäminen

Jäädettämisessä piti huomioida jään ominaisuudet. Jään samankaltaisuus luonnonjähän verrattuna on hieman erilaista, sillä luonnonjää jäätyy hyvin hitaasti ja siinä voi olla muita tekijöitä huomioitavana. Liian nopea lämpötilan putoaminen saa jäässä aikaan halkeamia, ja puolestaan liian hidasta jäädettäminen muodostaa jään pinnalle kuuraa (kuva 11), ja mikä kriittisempää, hidastaa mittauksia ja vähentää niiden lukumäärää. Oli tärkeää saada jokainen jää mahdollisimman samanlaiseksi, jotta tuloksia voitaisiin vertailla luotettavasti keskenään.



KUVA 11. Päivän mittauksien (-5°C , -8°C ja -15°C) jälkeen jäädetytskiekon pinta oli kuurassa. Jään pinnalla näkyvän uran muodostaa kumiekot mittauksien aikana.

3.2.1 Laitevalmistajan ohjeet

Laitevalmistajalla oli omat ohjeensa jään jäädyttämiseksi. Niissä neuvottiin jäädyttämään jää seuraavan laisesti:

1. Mitataan 375 ml vettä, ja kaadetaan se hitaasti tasapainotetulle jäädytyslevylle, joka oli oletettavasti huoneenlämpötilassa (21°C).
2. Muutettiin lämpötila -5°C:seen ja annettiin olla siinä, kunnes jäässä on muodostunut kristallisoitumista (kuva 19).
3. Kristallisoitumisen alettua muutettiin lämpötila -8°C.
4. Kun jää oli melkein jäätynyt umpeen (keskellä ollessa n. 0,5 cm sula), muutettiin lämpötila -15°C:seen 15 minuutiksi.

-5°C:n jäädytys on esijäädytys, jotta vesi viilenisi tasaisen hitaasti. Kun vesi alkaa jäätyä, -8°C:seen vaihtaminen on tarkoitus nopeuttaa jäädyttämistä. 15 minuuttia -15°C:n lämpötilassa pitäminen olisi kuulunut jäykistää jää sekä tehdä siitä kiinteä testejä varten. Valmistajan ohjetta noudatettaessa kuitenkin huomattiin, että veden liian nopea jäätyminen johtaa jään halkeilemiseen (kuva 12). Tämä huomattiin erityisesti asteiden laskiessa -8°C:sta -15°C:seen.



KUVA 12. Jäässä näkyvät (ympyröity) halkeamat, jotka johtuvat liian nopeasta jäädytyksestä.

Jäädymisen jälkeen kiekko oli määrä siirtää ja kiinnittää LAT100-laitteeseen mahdollisimman nopeasti. Jään pinta oli valmistajan ohjeiden mukaan tarkoitus tasoittaa metallisella terällä. Ennen ensimmäisen testin aloittamista sekä aina lämpötilaa vaihdettaessa uuteen testiin piti suorittaa run-in, joka tarkoitti jään sisäänajoa standardin ISO 2393:2014 mukaisesti valmistetulla kumikiekolla. Parametreina toimi:

- Kuormitus: 75N
- Nopeus: 0,6 km/h
- Sortokulma: 0°
- Matka: 250 metriä.

Lämpötilana oli kyseisessä mittauksessa käytetty lämpötila.

3.2.2 Jään laadun ja siihen kuluneen ajan optimointi

Laittevalmistajan ohjeiden mukaan jään luominen epäonnistui. Tästä syystä piti luoda suunnitteleamalla ja testaamalla uusi menetelmä. Valmistajan ohjeista 15 minuutin pitäminen -15°C :ssa oli ainoa askel, joka toteutettiin myöhemmissä mittauksissa.

Aloitettiin jäädytyskiekon tasapainottamisesta, jotta saataisiin tasaisia mittauksia. Kiekko piti olla tasapainossa jäädytysalustalla, jotta vesi jäätyisi tasaisesti suhteutettuna kiekkoon. Jäädytysalusta oli vatupassilla tarkistettu taso, jonka tasapainoisuus oli säädettävissä erikseen. Jäädytysalustan ollessa epätasainen antaisi mittaukset aaltomaisia tuloksia kumien kitkavoimasta. Tasaisuudella varmistettaisiin myös sen tasaisempi ja yhdenaikaisempi jäätyminen, joka vaikuttaa jäätyksen nopeuteen, sillä suuremman veden tilavuuden omaava puolisko joutuisi jäädyttämään suuremman tilavuuden vettä, johon kuluisi enemmän aikaa. Jäätä yritettiin jäädyttää yön yli ensin -5°C :ssa ja -8°C :ssa, mutta jään pinnalle muodostuneen kuuran vuoksi näistä yön yli jäädytysmenetelmistä luovuttiin.

Aiemmin teoriassa käsitelty syy siihen, miksi jäätä ei voi jäädyttää suoraan -15°C :seen (Lake Ice n.d.) antoi haasteen sen mahdollisimman nopealle jäädytykselle. Jään piti olla stabiloituneena tiettyyn lämpötilaan ennen kuin se voitaisiin asettaa alhaisempaan lämpötilaan. Valmistajan ohjeenmukainen 7°C lämpötilanmuutos -8°C :sta -15°C :seen oli liian suuri, joten kokeiltiin lämpötilaohjelmaa:

1. Asetetaan aamulla jäädytyskiekon kierto 0°C:seen, jossa sen annetaan olla 15 minuuttia.
2. Kaadetaan vesi uralle tasaisesti, ja asetetaan lämpötilaksi -8°C:tta, jossa annetaan olla niin kauan, kunnes jää on lähes kokonaan kiinteä.
3. Asetetaan -11°C lämpötilaksi, jossa annetaan olla 15 minuuttia.
4. Siirretään lämpötila -15°C:seen, jossa annetaan olla valmistajan ohjeiden mukaan 15 minuuttia.

Edellä mainitussa lämpötilaohjelmassa oli tarkoituksena pienentää lämpötilamuutoksen suuruutta alhaisemmissa lämpötiloissa. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, sillä usean testin jälkeen jää halkesi 5–10 minuuttia lämpötilan vaihtamisen jälkeen. Tästä pääteltiin, että muutoksen täytyy olla vieläkin pienempi, joten ohjelmaa muutettiin:

1. Asetetaan aamulla jäädytyskiekon kierto 0°C:seen, jossa sen annetaan olla 15 minuuttia.
2. Kaadetaan vesi uralle tasaisesti, ja asetetaan lämpötilaksi -8°C:tta, jossa annetaan olla niin kauan, kunnes jää on lähes kokonaan kiinteä. Jään kristallisoituminen alkoi noin 15–20 minuuttia veden lisäämisestä.
3. Lämpötilaksi vaihdettiin -10°C:tta, jossa pidettiin 10 minuuttia lopun jään muodostumisen vuoksi.
4. -13°C lämpötila asetettiin, kun jää oli jähmettynyt kokonaan. Tässä lämpötilassa pidettiin 15 minuuttia.
5. Siirrettiin lämpötila -14°C:seen, jossa annettiin olla 10 minuuttia
6. Lopuksi pidettiin -15°C:ssa 15 minuuttia.

Tässä ohjelmassa haluttiin pitää -13°C:ssa 15 minuuttia, jotta jää ehtii stabiloitua kokonaisvaltaisesti sisältä ja ulkoa ennen alhaisempiin lämpötiloihin mentäessä. Testeissä kokeiltiin myös tätä ohjelmaa ilman -14°C:n askelta, mutta tällöin jää halkesi. Jos jäätä ei pidetty -15°C:ssa 15 minuuttia, ja se laitettiin suoraan laitteeseen 75N kuorman alle (Run-in), jää saattoi usein haljeta.

Mittaamista edellisen päivän jäällä testattiin myös. Laitettiin edellisenä päivänä vesi jäätymään ja annettiin sen olla yön yli kolmena kertana: ensimmäisinä yönä -5°C:ssa ja kahtena muuna yönä -8°C:ssa. Yksi -8°C:n jäädytys epäonnistui laitteen lopettaessa jäädytyksen ja alkaessa lämmittämään jäädytyskiekkoa huoneenlämpötilaan. Tämä johtui siitä, ettei käyttöjärjestelmää tunnettu tarpeeksi hyvin, koska informaatiota tästä ei ollut.

Ei tiedetty, että jos lämpötila-asetuksen kohdasta lukitsee lämpötilan niin, ettei sitä pysty muokkaamaan, se lopettaa jäädyttämisen 30 minuutin jälkeen ja alkaa lämmittämään jäädytyskiekkoa huoneenlämpöön. Mittaaminen edellisenä päivänä valmistetulla jäällä poissuljettiin kuuran määrän vuoksi.

Jäädytyksen ollessa valmis voitiin alkaa tekemään testejä. Jäädytyskiekon siirtäminen alkoi Laudan sammuttamisesta, jotta PDMS lakkasi virtaamasta eikä venttiileistä roiskunut ainetta. Letkut irrotettiin pöydästä, jossa jäädytys tapahtui, ja jäädytyskiekko siirrettiin LAT100 -laitteen sisälle sen keskipisteessä sijaitsevaan reikään menevän akselin varaan. Jäädytyskiekko kiinnitettiin mutterilla sekä jäädytyskiekonpidikkeellä (kuva 5, osa A), jolla varmistettiin kiekon liikkumattomuus. Jäädytyskiekon letkut kiinnitettiin laitteen omiin 'in' ja 'out' -venttiileihin, jotta saatiin jäädytys stabiloitumaan mahdollisimman nopeasti. Lämpötilan tasaannuttua mittaukset oltiin valmiit aloittamaan.

3.3 Toistettavuus

Toistettavuusmittauksilla haluttiin ottaa kolme (3) kumikiekkoa, jotka ovat samaa raskaan sarjan renkaiden ulkopinnan sekoituslaatua ja mitata niillä eri parametrit useaan otteeseen. Haluttiin käyttää ennestään tuttua sekoitusta, jotta voitiin pitää tämän tuloksia tietynlaisena vertailuarvona. Näin voitiin vertailla antaako laite toistettavuudeltaan samankaltaisia mittauksia ja tuloksia, ja pysyvätkö esimerkiksi tuloksien keskihajonnat ja keskiarvot samanlaisina. Samalla nähtiin jään käyttäytyminen ja sen laatu mittauksissa sekä niiden jälkeen.

Mittaukset suoritettiin samalla tavalla joka kerta. Haluttiin varmistaa, että kumikiekko ei ollut epätasainen tai karhea vain toiseen suuntaan mitattaessa, joten jokainen kiekko mitattiin neljään kertaan samalla voimalla ja lämpötilalla kääntäen kiekon puolta kumikiekonpidikkeeseen nähden 180°. Valmistaja oli määrittänyt järjestyksen olevan vuoronperäinen, eli ensin kiekon oikea puoli sitten vasen ja nämä toistetaan. Kiekoista määritettiin mittauksien alussa tietty puoli, joka pidetään tulevaisuuden mittauksissakin samana puolena. Kiekoilla ajettiin seuraavat parametrit:

- 5 metriä
- 25N, 60N, 100N
- -5°C , -8°C , -15°C
- 2x molemmat puolet (vasen, oikea, vasen, oikea)

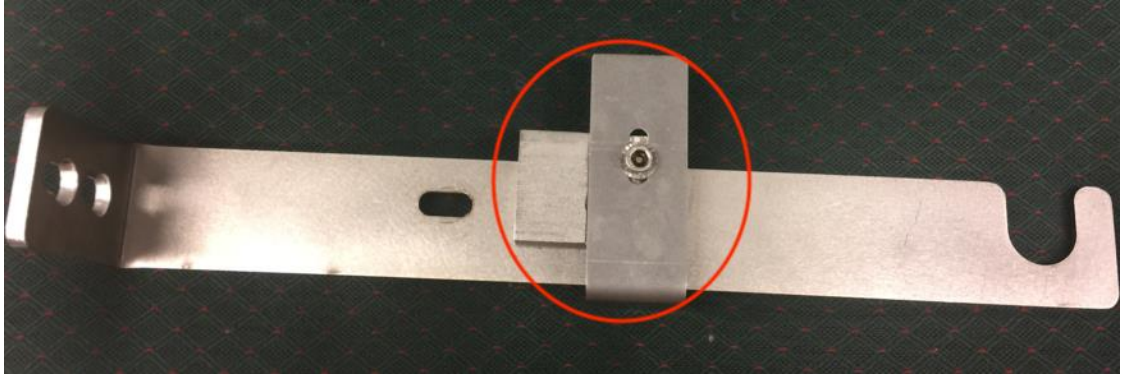
Koska kiekkoilla ajettiin jokaisella mittauskerralla noin 180 metriä (5 metriä/ajo, 2x molemmat puolet, 3 kuormavoimaa ja 3 lämpötilaa), tuli kiekkojen kosketuspintaa hieman aina muuttua jäähän nähden, jottei samasta kiekon kohdasta otettaisi aina tuloksia. Tämä vaihtelu arvioitiin silmämääräisesti jokaisen mittauskerran jälkeen. Yhdessä mittauksessa ajettava matka oli 5 metriä, mutta itse kuvaaja antoi tulokset vasta ensimmäisestä metristä eteenpäin eli kuvaajassa käyrää on vain neljältä metriltä.

3.4 Testit eri sekoituksilla

Eri sekoitusten mittauksiin käytettiin kahdeksan (8) eri ennestään tuntematonta kumityyppiä. Mittauksia aloittaessa tiedossa oli vain, että kahdeksan kiekon seassa on monenlaista eri sekoitusta ja eri sääolosuhteisiin suunniteltua kumia. Tietämättömyys kunkin kiekon ominaisuuksista sekä käyttötarkoituksista (talvi/kesä) antoi puolueettoman ja ennakkoluulottoman mittauksen. Kumityypit on esitelty tuloksissa taulukossa 4. Testit eri sekoituksilla suoritettiin jäällä, joka oli tehty samalla tavalla jokaisen päivän alussa menetelmällä, joka on esitelty liitteessä 1. Mittaukset tehtiin kaikissa kolmessa eri lämpötilassa -5°C , -8°C ja -15°C :ssa. Tavoitteena oli nähdä kumiekkojen erilainen käyttäytyminen jäällä, ja että omaisiko jokin kumityypeistä selvästi toista suuremman kitkakertoimen, sillä niin voitaisiin tunnistaa tulevaisuudessa toisten kumityyppien laatu verraten niitä edellisiin tunnettuihin mittauksiin.

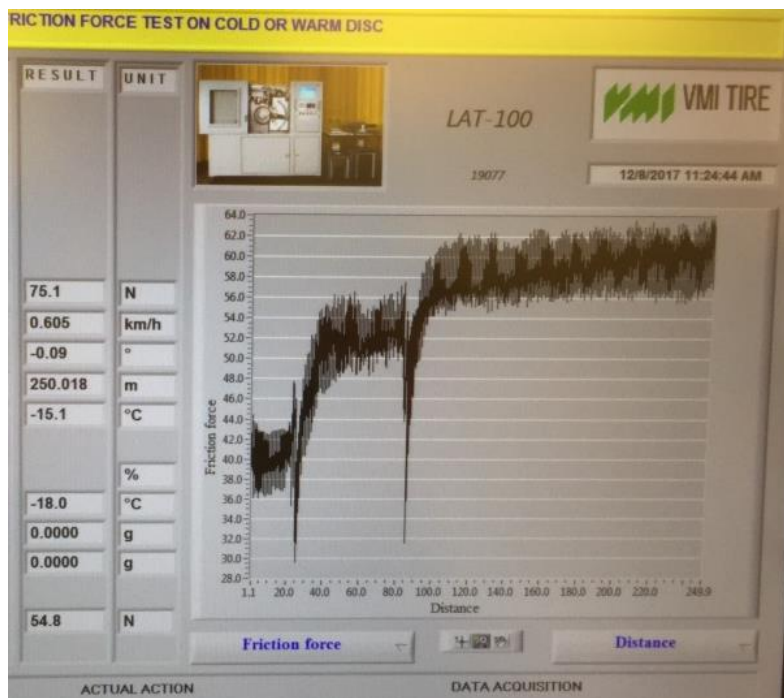
3.5 Jään pinnan tasoittaminen

Valmistajan ohjeissa neuvottiin käyttämään terää tasoittamaan jään pintaa ennen mittauksien aloittamista. VMI Group ei ole erikseen valmistanut jääraappaa (kuva 13), mutta se tehtiin VMI Group:n huoltajan toimesta. Jääraappa tehtiin jäädytyskiekonpidikkeen yhteyteen. Se oli manuaalisesti asetettava siihen syvyyteen z-akselin suuntaisesti (kuva 6), josta haluttiin jäätä hioa pois.



KUVA 13. Jääraappa. Jäädytyskiekon pidikkeeseen tehty raappa (ympyröity), joka hioo jäätä alhaalta ylöspäin. Manuaalisesti asetettava syvyys, joka lukitaan kiristämällä ruuvi halutulle kohdalle.

Jään hiomista jääraapalla testattiin muutamia kertoja, jolloin tulokset pelkälle run-in:lle olivat outoja ja epäluotettavia (kuva 14). Testien jälkeen päädyttiin olla käyttämättä jääraappaa, sillä run-in kiekolla tasaa jäätä tarpeeksi, ja kuten kuvasta 11 voidaan tulkita, niin jää ei tasaantunut edes 250 metrin matkalla. Jääraapan käyttö olisi ollut epätarkka testausmenetelmä todellisuuteen nähden, sillä luonnossa jää tasaantuu autojen renkaiden alla aivan kuten run-in kiekon jälkeen.



KUVA 14. Jääraapan aiheuttama epätasaisuus mittauksissa. Kuvaajassa y-akseli on kitkavoima ja x-akseli on kuljettu matka. Jääraappaa kiristettiin kahdessa kohtaa: 25 metrin ja 90 metrin kohdalla.

Jääraappa tekee jäästä erilaisen raapien sille uuden kerroksen jokaisella kierroksella, kunnes jäästä tulee tasainen raappaan nähden. Kuvasta (14) näkee, kun raappaa on kiristetty ja siirretty syvyysuunnassa 25 metrin ja 90 metrin kohdalla. Jokaisen kiristyksen jälkeen kitkavoima nousi dramaattisesti, sillä silloin jään pinnalla tuoretta kerrosta sulaa vettä, jolloin kitkavoima olisi pienempi. (Makkonen, Tikanmäki 2014)

3.6 Työn ongelmakohdat

Mittauksien ja testausten alkuvaiheessa laitteen ruuvit, jotka olivat yhdistetty sensoreihin (kuva 15), antoivat virhekoodia sen suhteesta metallilevyyn. Nämä sensorit määrittivät metallilevyn (johon kumikiekonpidike on kiinnitetty) minimi- ja maksimietäisyydet jäädytyslevystä (Teunissen 2018). Tämä tuotti hankaluuksia, sillä vikaan ei löydetty rationaalista korjausratkaisua. Seuraavana päivänä ruuvia kiristettäessä se alkoi toimimaan, joka jatkui opinnäytetyön kokeellisen osan loppuun asti.



KUVA 15. Metallilevyn etäisyyden jäädytyskiekosta määrittävät sensorit sekä niiden ruuvit (ympyröity).

Jäädyttäminen tuotti ongelmia opinnäytetyön loppuvaiheessa, sillä laitevalmistaja VMI Group:n huoltajan käytyä tuli selville, että jäädytysjärjestelmä Lauda oli ollut väärässä jäädytysvoimakkuusasetuksessa. Jäädytysvoimakkuuden olisi pitänyt olla lukemassa 7, kun kuluneissa jäädytyksissä se oli ollut lukemassa 0. Voima vaihdettiin seitsemään,

jolloin jäädyttäminen onnistui suoraan huoneenlämpötilasta -15°C :seen 3–4 kertaa peräkkäin, mutta jokaisella kerralla jään pinnalle uran keskiosaan muodostui terävä huippu (kuva 18). Lisäksi jää oli väriltään hyvin vaalea (kuva 16), ja poikkesi täysin vertaillen normaalilla jäädytysmenetelmällä valmistettuun jäähän (kuva 17). Suoraan jäädyttämällä jää ei onnistunut enää seuraavana päivänä, mille ei löydetty syytä, joten jatkettiin normaalilla jäädytysmenetelmällä.



KUVA 16. Jäädytysvoima-asetuksen muututtua vesi voitiin jäädyttää muutaman kerran suoraan huoneenlämmöstä -15°C :seen. Tällöin jää oli hyvin vaaleaa, ja poikkesi normaalilla jäädytysmenetelmällä valmistetusta jäädästä.

Suurimpana ongelmana menetelmän teossa oli jäätymisen ajallinen vaihtelu tietämättömästä syystä. Jäädytykset tehtiin samoilla parametreilla, samalla määrällä vettä ja samalla jäädytysvoimakkuusasetuksella, mutta silti jäädyttämisen kristallisoitumisvaihe ja sitä myötä jähmettymisvaihe heitteli ajallisesti todella paljon. Toisena ääripäänä oli veden kristalloituminen jopa viidessä minuutissa veden kaatamisesta jäädytyskiekolle, kun taas toinen ajallinen ääripää kristalloi veden vasta 40 minuutin kuluttua veden kaatamisesta.

Yhtenä ongelmakohtana toimi jäädytyskiekon vuotaminen. Tämä tarkoitti sen sisältä tulleen PDMS:n valumista jäädytysuriin jään sulattamisen ja jäädytyskiekon siirtämisen jälkeen. Kiekko putsattiin huolellisesti, mutta ainetta on voinut jäädä uran pinnalle. Tämä on voinut vaikuttaa jäätymisen nopeuteen, sillä PDMS:lla on alhainen jäätymispiste.

Jääkiekon jäädytyksen valmistuttua se siirrettiin laitteeseen kiinni. LAT100 itsessään sisälsi lämpömittarin, josta huomasi lämpötilan nousun jääkiekon siirron jälkeen. Tämä

tarkoitti, että ennen kiekon siirtoa Lauda -jäähdytysjärjestelmässä lämpötila oli -15°C :tta, mutta heti LAT100 -laitteeseen siirtämisen jälkeen, kun asetettiin lämpötilaa -15°C :seen, oli jään lämpötila noussut noin -7°C :seen. Tämä lämpeneminen aiheutti jään laadun muutokset (huomattavissa silmämääräisesti) ja ajallista hukkaa, sillä jää piti jäähdyttää takaisin -15°C :seen.

Jokaisen mittauksen alussa kumikiekonpidike painoi jään pintaan niin kauan, kunnes kuorma oli tasaantunut haluttuun Newton -arvoon. Tämä tuotti ongelmia mitä korkeammalla lämpötilalla mitattiin. Koska jää oli lähempänä sulamispistettään -5°C :ssa kuin -15°C :ssa, aiheutti kumikiekon painuminen selvän sulaneen kohdan jäähän (kuva 17) korkeammissa lämpötiloissa. Tämä näkyi kuvaajassa käyrän nousuna. Ongelmalle ei löytynyt kokeellisen osuuden aikana ratkaisua. Koska käyrän nousu ei ollut kriittinen, annettiin sen olla kuvaajassa eikä koettu tarpeelliseksi rajata kohtia pois. Nousukohtia kuvaajaan tuli noin 4 mittauksen tehdessä viisi kokonaista kierrosta, yhden kierroksen ollessa metrin, mutta mittaus alkoi vasta ensimmäisen metrin jälkeen.



KUVA 17. Jäähän muodostunut epätasaisuus kumikiekosta. Normaalilla jäädytysmenetelmällä valmistettu jää.

4 TULOKSET

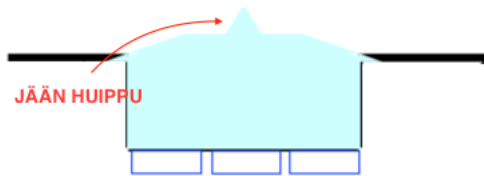
4.1 Jään laatu ja jäädyttämisen kesto

Jään laatu piti saada mahdollisimman tasaiseksi ja toistettavuudeltaan samanlaiseksi. Valmistajan ohjeen mukaan tehty jäädytys ei toiminut, koska -8°C :sta -15°C :seen siirtyminen suoraan ilman, että jäätä pidettiin näiden pakkasasteiden välissä aiheutti jään halkeilemisen. Täten jäädyttäminen -15°C :seen piti suorittaa väliaskelin. Askeleittain jäädyttäminen vei enemmän aikaa, mikä oli mittausten lukumäärän osalta huono asia.

Parhaimpaan jäädytysasuoritukseen päädyttiin, kun jäädytyskiekko laitettiin heti aamusta 0°C :seen ja pidettiin siinä 15 minuuttia, jotta lämpötila oli tasaantunut. Näin saatiin jäätyminen alkamaan nopeammin kuin että lisättäisiin vesi heti jäädyttäminen alkaessa. Lämpötilan tasaannuttua lisättiin 335–340 millilitraa kylmintä mahdollista vesihanasta saatavaa vettä nopeuden maksimoimiseksi, ja muutettiin käyttöjärjestelmästä lämpötilaksi -8°C :tta valmistajan -5°C :een sijaan. Keskimäärin lämpötilaa pidettiin -8°C :ssa 45 minuuttia, kunnes vesi oli jäätynyt umpeen.

Jään kristallisoituminen alkoi noin 15–20 minuutin jälkeen. 45 minuuttia veden lisäämisen jälkeen jää oli jäätynyt melkein kokonaan umpeen, jonka jälkeen muutettiin lämpötila -10°C :seen, ja pidettiin siinä 10 minuuttia, jotta jää umpeutuisi täysin, mutta ei kuitenkaan särkyisi liiallisen lämpötilanmuutoksen vuoksi. -10°C :n jälkeen siirryttiin -13°C :seen, jossa pidettiin 15 minuuttia ja -14°C :ssa 10 minuuttia, että jään lämpötila ehti kokonaisuudessaan tasaantumaan ennen siirtymistä lopulliseen lämpötilaan. Viimeisenä pidettiin -15°C :ssa 15 minuuttia valmistajan ohjeiden mukaisesti ennen jäädytyskiekon siirtämistä mittauslaitteeseen.

Kokonaisuudessaan jäädytys kesti keskimäärin 1h 50 minuuttia alusta loppuun eli jäädytyskiekon 0°C :seen asettamisesta kiekon siirtämiseen laitteeseen. Jään laatu oli tällöin paras, sillä se oli tasainen ja halkeamaton verrattuna jäähän, joka jäädytettiin suoraan -15°C :seen. Huoneenlämmöstä jäädyttäessä ilman välivaiheita -15°C :seen vesi jäättyi niin nopeasti, että jään pinnalle muodostui terävä huippu (kuva 18) tai halkeamia, jotka olisivat vaikuttaneet mittauksien tuloksiin vääristävästi.

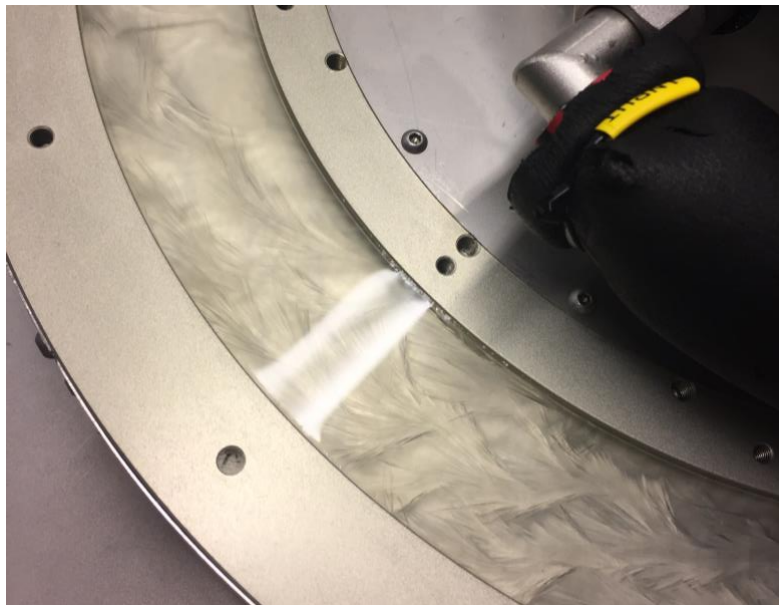


KUVA 18. Suoraan huoneenlämmöstä -15°C :seen jäädytettäessä jään pinnalle muodostui terävä huippu, joka olisi vaikuttanut jääpitomittauksien tuloksiin epäluotettavasti. (Teunissen 2018. Muokattu)

4.2 Veden erilainen jäätyminen eri menetelmillä

Veden kristallisoitumiseen ja jäätymiseen vaikutti kuinka nopeasti tai kuinka hitaasti lämpötilaa muutetaan tai kuinka kauan sen annetaan olla tietyssä lämpötilassa. Jäädyttämisen ollessa tuntematon muuttuja koitettiin erilaisia jäädytystapoja ja -menetelmiä, joilla saataisiin nopeutta ja/tai laatua muutettua ja parannettua.

Kuvassa (19) nähdään jään kristallisoituminen normaaleissa ja päivittäisissä jäädytysolosuhteissa, kun jäädytyskiekko asetettiin ensin huoneenlämmöstä 0°C :seen 15 minuutiksi ja siitä -8°C :seen. Kristallisoitumisessa kesti noin 15–20 minuuttia.



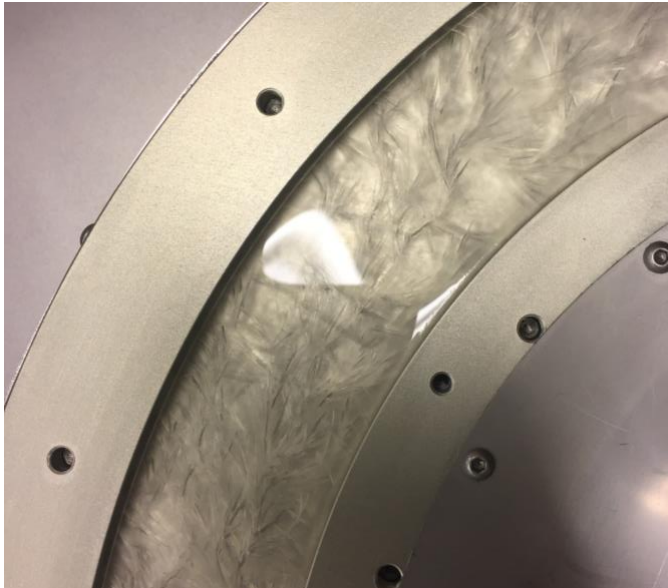
KUVA 19. Normaalilla jäädytysmenetelmällä muodostuneet kristallit.

Seuraavaksi testattiin lämpötilan asettamista suoraan huoneenlämpötilasta -8°C :seen. Tällöin jätettiin 15 minuutin 0°C :ssa pitäminen, mikä muodosti kuvasta 20 havaittavia kristallisoituneita laattoja. Vaikka tämä jäädytysmenetelmä suoritettiin loppuun asti onnistuneella ja vakiintuneella jäädytysmenetelmällä (liite 1), muodostui jäädytyksen lopuksi jäähän silti halkeamia.



KUVA 20. Jäädyttäminen suoraan -8°C :seen ilman 0°C :ssa pitämistä. Kiteet tulivat, kun jäädytettiin huoneenlämmöstä suoraan -8°C :seen eli ei 0°C :n kautta. Kristallit ovat laatoittain.

Jäädytysvariaationa kokeiltiin myös jäädyttämistä heti epäonnistuneen jään jälkeen eli edelliseen jäähän oli tullut halkeama, jolloin se sulatettiin, kuivattiin ja täytettiin uudelleen 335 ml vettä. Tästä siirryttiin 0°C :n kautta -8°C :seen. Kristallisoituminen ja jäädyttäminen oli nopeampaa Laudan ollessa responsiivisempi edellisen mittauksen jäljiltä. Kristallit (kuva 21) olivat tiheämpiä ja haarautuneempia kuin kuvassa 19. Näin jäädytys kesti loppuun asti vähemmän aikaa, mutta kokonaisuudessaan, kun laski edellisen jään sulatuksen, kiekon kuivaamisen ja uuden veden jäädytyksen oli se ajallisesti pidempi. Tultiin johtopäätökseen, ettei ollut ajallisesti eikä työn määrältä kannattavaa tehdä näin. Jos jäädyttäminen olisi ollut huomattavasti nopeampaa, niin jää olisi kannattanut jättää aina iltapäivällä mittauksien jälkeen -15°C :n lämpötilaan, ja seuraavana päivänä sulattaa ja jäädyttää vesi uudestaan.



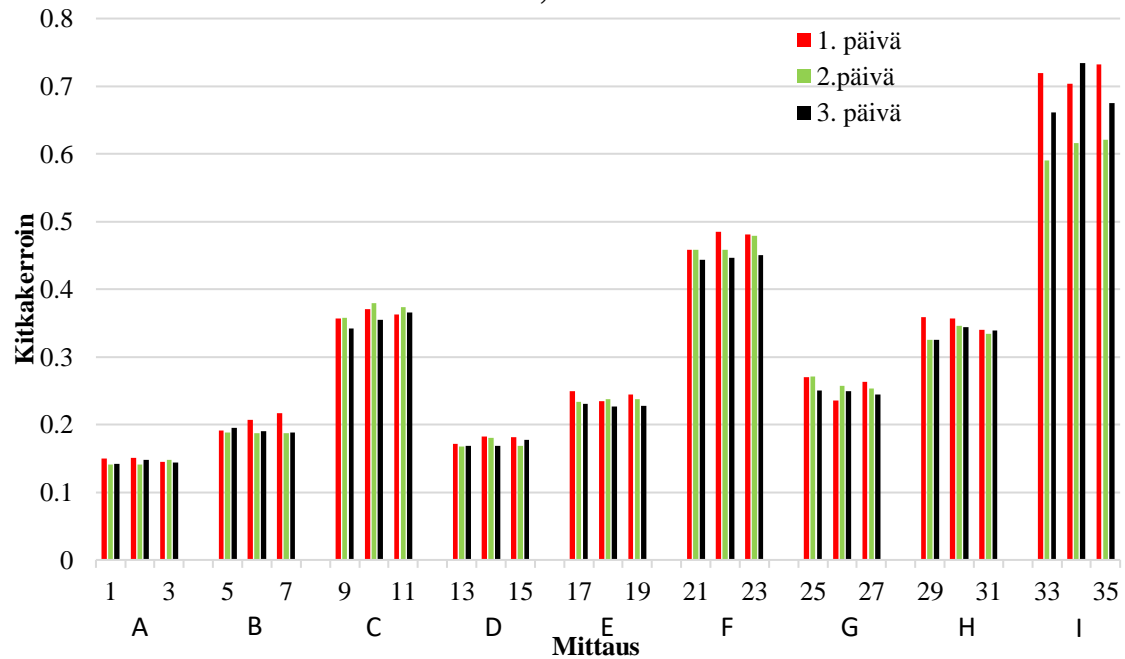
KUVA 21. Jään kristallit uudelleenjäädäyksessä. Kristallit tulivat nopeasti, mutta ne olivat erilaiset verrattuna aamuisin jäädäytettäessä.

4.3 Toistettavuusmittaukset

Toistettavuusmittaukset suoritettiin ennestään tutulla kumilaadulla. Haluttiin nähdä, onko luodulla menetelmällä jäädäytetty jää kuinka laadultaan vaihtelevaa. Kuviossa (1) on esitelty toistuvuusmittauksien kitkakerrointen keskiarvot, joista nähtiin ovatko eri päivinä tehdyillä jäillä suurta eroa.

Kuviossa (1) on erotettu väreillä tulosten päivämäärä: punainen (1. päivä), vihreä (2. päivä) ja musta (3. päivä). Samat mittaukset on suoritettu kolmena eri päivänä. Jokaisena päivänä jää on valmistettu samalla menetelmällä, jotta tulokset korreloisivat toisiaan mahdollisimman tarkasti. Mittaukset tehtiin kolmella kumikiekolla neljä kertaa ja näistä neljästä mittauksesta otettiin keskiarvo aina yhdelle kumikiekolle.

Koonti keskiarvoista, toistettavuusmittaukset



KUVIO 1. Toistettavuusmittauksien tulokset.

Mittaukset on lajiteltu kuvioon parametreittain, jotka on esitetty taulukossa 2. Jokaiseen mittauskokonaisuuteen (A–I) kuuluu kolme eri mittausta, jotka kuvaavat kolmea samanlaista kumikiekkoa.

TAULUKKO 2. Toistettavuusmittauksien parametrit.

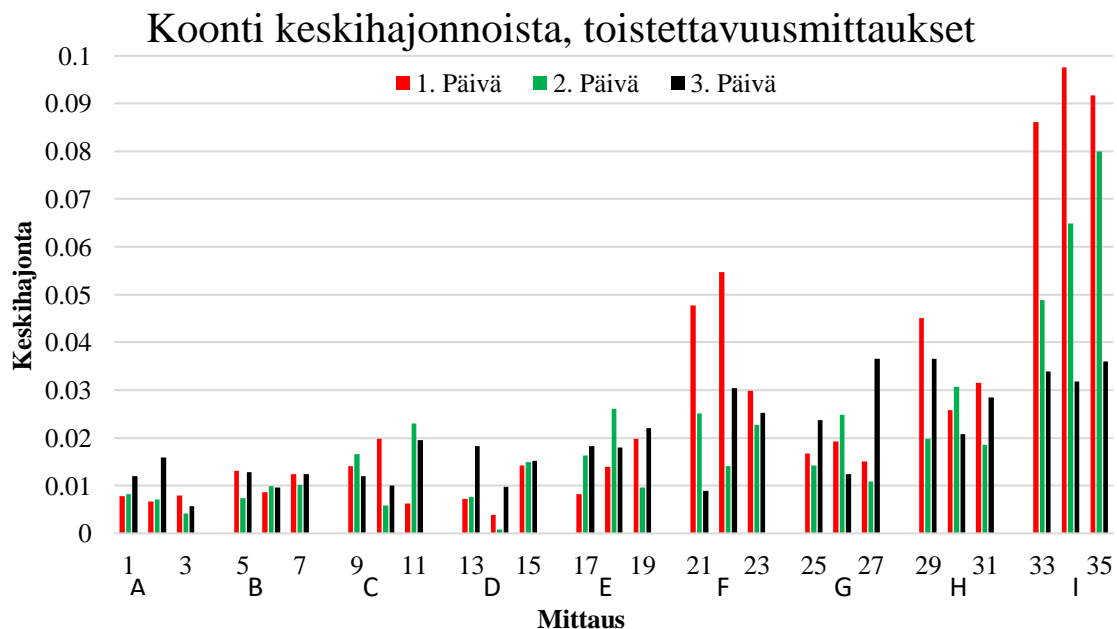
Ryhmä	Kuorma (N)	Lämpötila
A	100	−5°C
B	100	−8°C
C	100	−15°C
D	60	−5°C
E	60	−8°C
F	60	−15°C
G	25	−5°C
H	25	−8°C
I	25	−15°C

Tuloksista (kuvio 1) huomataan niiden tasaisuus samana päivänä. Niistä saadaan myös kuva, että lähtökohtaisesti tulokset ovat samoja eri päivinäkin. Toisena päivänä tehdyt

mittaukset (vihreä) ovat keskiarvoisesti alempana 25N -15°C :ssa, mikä kertoo jään laadun olleen hieman erilaista.

Tulokset itsessään ovat järkeviä, sillä kitkavoiman suhde suurempaan Newton -arvoon (kuorma) on pienempi mitä suurempiin kuormiin mennään, koska kaavassa (Kaava 1) kuorman (jakaja) kasvaessa tulos pienenee (Tammertekniikka 2014). Samoin mitä alhaisimpiin lämpötiloihin mennään, sitä suurempi kitkakerroin on. Teoriassa esitettiin kitkan verrannollisuus jään lämpötilaan nähden eli kun lämpötila alenee, niin kitkakerroin vastaavasti nousee. (Makkonen, Tikanmäki 2014.)

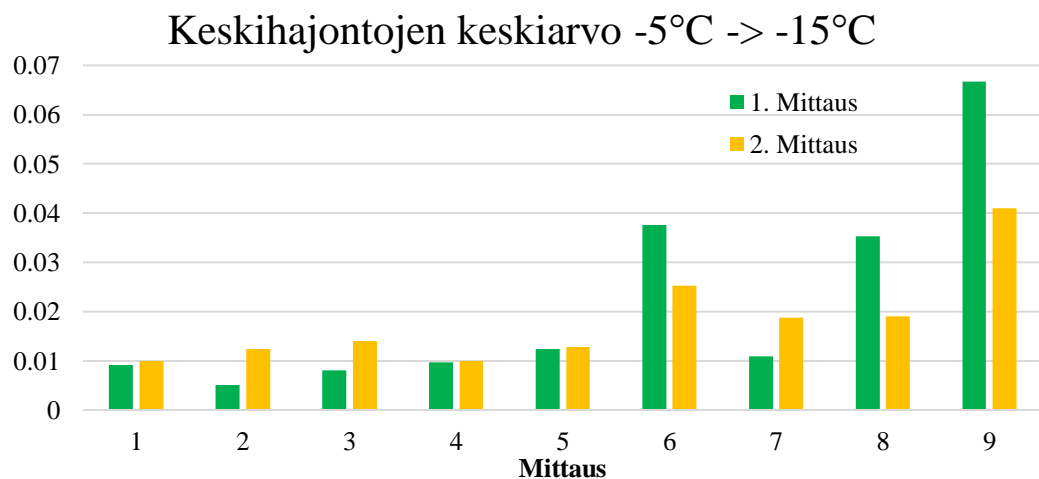
Toistettavuusmittauksissa vertailtiin myös kitkakerrointen keskihajontoja. Keskihajonnat on esitelty kuviossa 2. Siitä huomataan keskihajontojen ja keskiarvon korrelointi toisiinsa, sillä kitkakertoimen kasvaessa myös keskihajonta kasvaa. Jakajana ollessa 25N on keskiarvojen tulos korkeampi, joten silloin todennäköisemmin on myös keskihajonnat suuret. Tämä tulee ilmi esimerkiksi kuvion (2) ”I” -kohdan mittauksista, joissa parametreina toimi 25 N ja -15°C :tta. Mittauksissa pyrittiin tekemään kaikki samoilla olosuhteilla ja esimerkiksi kumikiekon kohtaa, joka liukui jäällä, yritettiin vaihtaa tasaisesti jokaisen mittauksen alussa.



KUVIO 2. Kolmen päivän toistettavuusmittauksien keskihajonnat, samalla menetelmällä tehdyllä jäällä.

4.4 Mittauksien luotettavuuden edistäminen

Mittauksista haluttiin mahdollisimman toistettavia. Tämä tarkoittaa osittain sitä, että mittaustuloksien keskihajonta pyrittiin pitämään alhaisena. Ajatuksena oli vertailla, onko tuloksien kannalta väliä, missä järjestyksessä lämpötilaan nähden mittaukset tehdään. Niin mitattiin ensin kaikki toistettavuusmittauksissa käytetyt kumikiekot kaikkine kuormineen (25N, 60N ja 100N) -5°C :n lämpötilassa. Siitä siirryttiin tekemään samoilla kuormilla mittaukset -8°C :seen ja -15°C :seen. Näistä tuloksista laskettiin keskihajonta, joista otettiin keskiarvot vertailua varten, jotka ovat esitelty kuviossa 3 (mittaukset 1 ja 2). HUOM. mittauksia ei suoritettu kuvioissa esiintyvän järjestyksen mukaan, vaan tulokset koottiin kuorman suuruuden perusteella.



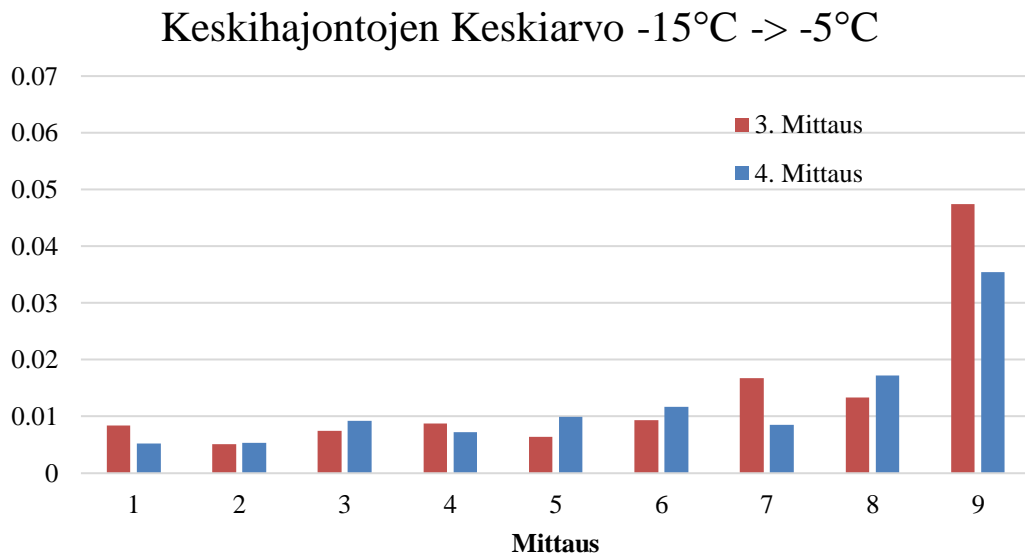
KUVIO 3. Kitkakerrointen keskihajontojen keskiarvo, mitattaessa korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan.

Kuviossa 3 ovat mittaukset alkaen korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan. X-akselin mittaukset 1–9 ovat selitetty taulukossa 3. Mittaukset eri lämpötilaohjelmilla tehtiin kahteen kertaan peräkkäisinä päivinä ja jäällä, joka oli valmistettu aina mittauspäivänä, jotta olosuhteet olisivat mahdollisimman samat mittausten välillä.

TAULUKKO 3. Kuvioiden 3 ja 4 tuloksien parametrit selitettynä.

Ryhmä	Kuorma (N)	Lämpötila
1	100	-5°C
2	100	-8°C
3	100	-15°C
4	60	-5°C
5	60	-8°C
6	60	-15°C
7	25	-5°C
8	25	-8°C
9	25	-15°C

Vertailussa toisena osapuolena käytettiin kuviossa 4 esiteltyjä arvoja, joiden mittaukset (3 ja 4) suoritettiin lähtien alhaisemmasta lämpötilasta (-15°C) korkeampaan lämpötilaan (-8°C → -5°C). Lähtökohtana oli, että saataisiin aloittaa mittaukset suoraan kylmemmästä lämpötilasta, jotta jään pinnalle ei muodostuisi kuvan (17) kaltaista epätasaisuutta kuin vasta lopussa. Näin se ei häiritsisi muiden lämpötilojen kuin -5°C:n tuloksia. Tehdessä näin saatiin myös se hyöty, että voitiin jäädytyskiekon siirron jälkeen jatkaa suoraan jäädyttämistä -15°C:seen, eikä tarvitsisi ”lämmittää” jäätä -5°C:seen, josta siirtyä taas mittauksien jälkeen jäädyttämään sitä -8°C ja -15°C:seen (lämpötilan aleneminen kesti kauemmin LAT100 -laitteen sisällä kuin lämpötilan nouseminen).



KUVIO 4. Kitkakerrointen keskihajontojen keskiarvo, kun mitattiin alhaisemmasta lämpötilasta korkeampaan. Mittauksien 1–9 parametrit on selitetty taulukossa 3.

kuvioita 3 ja 4 vertaillessa huomaa keskihajontojen olevan pienempiä, kun mitataan ensin -15°C :ssa, sitten -8°C :ssa ja lopuksi -5°C :ssa. Esimerkiksi mittauksen 1 kohta 6, jossa keskihajonta on 0,038, kun taas mittauksen 4 samoilla parametreilla ajettu kohtaa 6 on vain 0,012 ollen reilu kolme kertaa pienempi. Tällä menetelmällä saatiin mittaukset toistettavuudeltaan paremmiksi, joten kaikki tämän jälkeen tehdyt mittaukset suoritettiin edellä mainitulla tavalla.

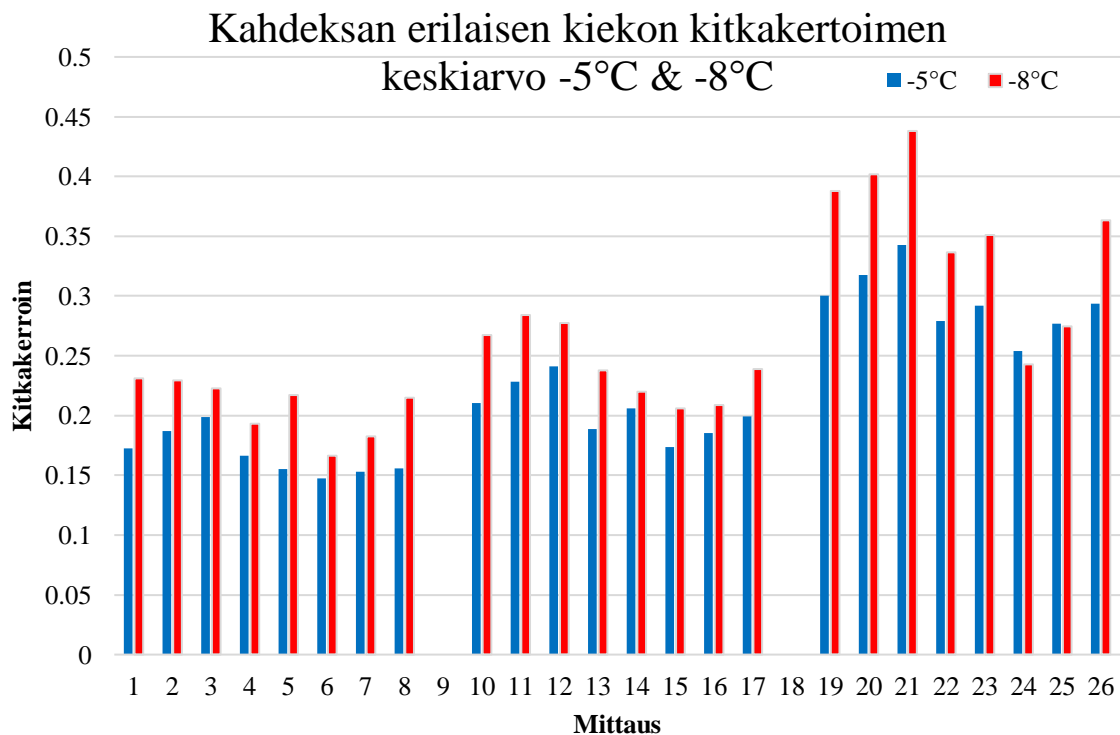
4.5 Testit eri sekoituksilla

Haluttiin testata jäätä sekä menetelmää useammalla kiekolla, jotka koostuivat testaajalle ennestään tuntemattomista kumityypeistä. Näin poistettiin alustava tieto ja suhtautuminen mittauksien kulkuun ja niiden tuloksiin. Kumien laadun pystyi kiekonvaihdon aikana tuntemaan, mutta sen lajia pystyi vain arvailemaan. Mittauksien päätyttyä verrattiin saatuja tuloksia kumityyppien ominaisuuksiin, kumisekoituksiin ja -resepteihin. Reseptien ollessa salaisia niiden esilletuominen on kiellettyä, mutta taulukossa 4 on kärjistetty niiden suuntautuminen sekä lajityypin kuvaus.

TAULUKKO 4. Eri kumisekoituksista saatavat tiedot.

Ryhmä	Rengastyyppe	Kuvaus
1–3	Talvirengas	Suunniteltu pohjoisen talven vaativiin oloihin
4	All-season	Suunniteltu ajettavaksi vuoden jokaiseen keliin
5	Talvirengas	Suunniteltu Keski-Euroopan talviolosuhteisiin
6	Kesärengas	Suunniteltu kesäisiin olosuhteisiin ympäri maailmaa
7	All-season	Suunniteltu ajettavaksi vuoden jokaiseen keliin
8	Talvirengas	Suunniteltu Keski-Euroopan talviolosuhteisiin

Mittaukset suoritettiin samoilla parametreilla kuin muissakin mittauksissa. Kuviossa 5 on esitetty kahdeksan erilaisen kumikiekon kitkakertoimen keskiarvot mitattaessa -5°C :ssa ja -8°C :ssa. Kaikki kahdeksalla kiekolla tehdyt testit ovat esitelty liitteessä 2.



KUVIO 5. -5°C :ssa ja -8°C :ssa kahdeksalla eri kumisekoituksella tehtyjen testien kitkakerrointen keskiarvot.

Kumityypit 1–8 ovat samassa järjestyksessä kuvion 5 mittauksissa 10–17 ja 19–26. Mittaukset 1–8 suoritettiin 100N voimalla, mittaukset 10–17 60N voimalla ja mittaukset 19–26 suoritettiin 25N voimalla. Kaikkien kahdeksalla kumityypillä tehtyjen mittauksien tulokset löytyvät liitteestä 2.

Kuviosta 5 nähdään tuloksien tietynasteinen korrelointi toistensa kanssa riippumatta lämpötilasta. Koska mittauksien 1–3, 10–12 ja 19–21 kumityypit olivat talvirenkaita, kuten taulukosta 4 selviää, olivat niiden kitkakertoimet mittauksien suurimmat. Esimerkiksi mittauksen 21 kumikiekko (talvirengas -laatu) omaa 80 %:a suuremman kitkakertoimen kuin mittauksen 24 kumikiekko (kesärenngas -laatu) mitattaessa -8°C lämpötilassa. Tämä on laskettu kaavassa 3.

$$\begin{aligned} \frac{\text{Kiekko 21}}{\text{Kiekko 24}} &= \frac{0,438}{0,243} * 100 \% \\ &= 180,25 - 100 && (.) \\ &= 80,25 \\ &\approx 80 \% \end{aligned}$$

80 %:n kitkakertoimen nousu todistaa sekä menetelmän ja mittauksien toimivuuden että kumityyppien tärkeyden liikenneturvallisuudessa ja jääpidossa yleisesti. Mittauksissa keskiarvoisesti pärjänneistä all-season -renkaista, joita käytetään ympäri vuoden sääolosuhteista riippumatta, huomataan, kuinka jokaiseen sääolosuhteeseen panostaminen karsii tässä tapauksessa talviominaisuuksia pois. Kesärenngas -laatua ollut kumikiekko (mittaukset 6, 15 ja 24) omasi paljon kovemman ja liukuvamman kumilaadun. Tätä ominaisuutta tarvitaan kesärenkaissa, sillä niiden vähäinen vierintävastus ja kuluminen asfalttia vasten ovat ominaisuuksia, jotka johtuvat osittain kumin kovuudesta. Talvirengas -laatuiset kumikiekkot olivat paljon pehmeämpiä ja tarraavampia.

POHDINTA

Opinnäytetyön kokeelliseen osaan käytössä ollut kuusi viikkoa oli liian lyhyt aika suorituksiin sekä toistettavuuteen, joka vaikutti tuloksien sekä toistojen määrään ja tätä myötä menetelmän luotettavuuteen. Alustavan menetelmän kehitys onnistui hyvin ja saatiin toimiva jäädytysmenetelmä ja kokonaisuus, jolla pystyttiin luomaan stabiili jää jokaisella kerralla, jolloin saatiin toistettavuus hyväksi. Luotu menetelmä vei enemmän aikaa kuin VMI Group:n alkuperäinen ohje, mutta se ei testatusti toiminutkaan. Kvantitatiivisen näkökulman kannalta työpäivän aikana saatiin testattua noin 230 testiä eli yhteensä noin 1150 metriä.

Testeissä selvästi eniten aikaa vei veden jäädyttäminen. Se kesti veden vaihteluineen 1,5–2 tuntia, joka on $\frac{1}{4}$ osa työpäivän pituudesta. Jäätymisajan vaihdeltaessa pyrittiin pitämään muuttujat vähäisinä, jotta voitiin selvittää mikä veden hitaan jäädyttämisen aiheuttaa. Ainoana vaihtoehtona oli veden laadun vaihtelut, ellei sähkövirran mahdollisia vaihteluita otettu huomioon. Tämä tarkoitti vedessä olevien epäpuhtauksien ja mineraalien konsentraatioiden vaihtelua. Tutkimus olisi voitu tehdä myös laboratorion otetulla tislattulla vedellä, mutta tällöin jää olisi vastannut vielä vähemmän luonnonjäästä esimerkiksi tämän epäpuhtauksien määrällä. Kiekon jäädytystekniikan ja PDMS:n virtauksen kiekon sisällä muuttaminen toisi lisää jäädyttämistehoa sekä tasaisuutta. Jäädytyskiekko jäättyi epätasaisesti toiselta puolelta kiekkoa, jolloin toisella puolella oli vielä jää sulaa, kun toisella puolella oli täysin kiinteää. Parantaakseen tätä VMI:n pitäisi lisätä jäädytyskiekon uran reunoille silikonin virtausmahdollisuuden, jotta tasainen ja tätä myötä nopeampi jäätyminen olisi mahdollista.

Jääpito- ja jäädytysmittauksen, sen menetelmän ja siihen liittyvien laitteiden ollessa uusia niistä tekninen ja käytännöllinen tietäminen on vähäistä. Samoin laitteen harvinaisuus toi haasteita tiedon keräämiseen, joten paras tapa oli testata laitetta käytännössä ja tehdä havaintoja samalla. Tämä näkyi juuri esimerkiksi, ettei jäädytysjärjestelmän voima-asetuksen oikeasta voimakkuudesta tiedetty. Laitteeseen tehdyt muutokset huoltajan toimesta toivat muuttujia menetelmän kehittämiseen sekä mittausten kulkuun. Jääraapian valmistaminen sekä sen testaaminen veivät Laudan voima-asetuksen kanssa kokeellisen osan vähäistä aikaa, mikä hankaloitti kokonaisuuden luomista. Lopulta voima-asetuksen

vaihtaminen korkeampaan ei aiheuttanut merkittävää nopeuden tai jään tasaisuuden kehittymistä.

Toistettavuusmittauksista saatiin tärkeää tietoa jäädytysohjelman tasaisuudesta, mikä näkyi tasaisina tuloksien keskiarvoina. Mittauksien luetettavuuden edistäminen onnistui hyvin, sillä keskihajontojen tulokset laskivat merkittävästi, kun siirryttiin mittaamaan alemmasta lämpötilasta korkeampaan päin mittauksissa. Tuloksista saatiin hyviä ja ne korreloivat kiitettävästi kunkin kumilaadun ominaisuuksiin nähden. Tunnistettavissa oli talvirenkaan ja kesärenkaan selvä ero ja all-season -renkaan keskinkertaisuus jääpito mittauksissa. Talvirenkaissa käytettävät kumilaadut (Persson, Lorenz & Scaraggi, n.d.) olivat selvästi pehmeämpiä kuin kesärenkaan kumilaadut, koska materiaalin tahmeus on yhteydessä kumin kitkaan. Mitä tahmeampi kumi, sitä suurempi pito ja kitka sillä on. Testeissä saatiin satoja toistoja mittauksista, ja näin saatiin hiottua luotua mittausmenetelmää sekä jäädytysohjelmaa kohti vakiintuvaa testiohjelmaa.

Mittaamisessa haluttiin käyttää samanlaista ja samalla menetelmällä tehtyä jäätä, jotta mittaukset olisivat vertailukelpoisia jokaisella mittauskerralla. Tästä syystä pyrittiin pitämään parametrit kuten veden määrä samana jokaisena kertana. Mittaamista edellisen päivän jäällä testattiin, sillä jos oltaisiin saatu hyviä tuloksia, niin jään olisi voinut jättää jäätymään ja aloittaa testaukset suoraan seuraavana päivänä ilman jäädytykseen vievää aikaa. Kuuran liian muodostumisen vuoksi tämä menetelmä katsottiin kelvottomaksi. Kuuraa muodostui minimaalisesti jään pinnalle myös normaalin jäädytyksen ja päivän mittauksien aikana, mutta jokaisen lämpötilanvaihtelun välissä tehty run-in -ajo (250 metriä) otti kuuran pois uralta, joten sitä ei pidetty ongelmana.

Jatkokehitysideoina Nokian Renkaat Oyj:lle olisi veden laadun tutkiminen, sillä se korostui mittauksien edetessä. Vesi, joka kristalloitui myöhemmin (40 minuuttia) olisi mielenkiintoista tutkia verraten veteen, joka kristalloitui viidessä minuutissa ja analysoida sen mineraalit ja epäpuhtaudet. Samoin mittauksien testaaminen tislattulla vedellä tehdyllä jäällä, ja niiden tuloksien vertaaminen hanavedellä tehtyihin mittauksiin. Jos tulokset eivät vaihtelisi, voisi ajatukset epäpuhtauksien ja mineraalien eri konsentraatioiden aiheuttamista muuttujista poistaa. Jäädyttämisessä lämpötilan nousu jäädytyskiekon siirtämisessä oli yksi ongelmista, jolle keksittiin kehitysidea. LAT100 -laitteessa kulkeva PDMS seisoi paikallaan sillä aikaa, kun jäädytyskiekko oli jäätyvässä vaakatasolla ennen mittauksia. Tällöin PDMS oli huoneenlämpöistä laitteesta, joka nosti jäädytyskiekon

lämpötilaa kiinnitettäessä se laitteeseen. Tämä voitaisiin estää kiinnittämällä letku LAT100 -laitteen ”in” ja ”out” -venttiilien väliin, jolloin laitteessa kiertäisi saman lämpötilan omaava PDMS kuin jäädytyskiekossa sitä jäädyttäessä.

Jääraappaa ja Laudan voima-asetusta voitaisiin uudelleen testata ja kehittää esimerkiksi jäädyttää jää edellisen yön aikana, hioa jääraapalla pintaa aamulla ja asettaa reilusti pidempi run-in kuin normaalisti (250 metriä). Tämä voisi tasoittaa jään pintaa tarpeeksi ja näin voitaisiin saada ajallista hyötyä menetelmään. Veden tilavuuden lisäämistä ja vähentämistä voisi verrata tuloksien vaihtelevuuteen ja myöskin jäädyttämisen keston. Jos vähempi vesimäärä antaisi tarpeeksi luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia ja sen jäädyttäminen sujuisi ongelmitta, nopeuttaisi se prosessia, koska vähempi vesimäärä jäätyy nopeammin.

Laboratoriossa tehdyt mittaukset ovat pintaraapaisu radalla tehdyistä mittauksista, eivätkä ne voi koskaan korvata jääpitoitestejä radalla. ”Mikään kone tai laite ei korvaa ihmisiä ja kuljettajien näkemystä. Hyväksi tuntumakuskiksi kehittyminen vie vuosia ja heiltä saadaan paras mahdollinen tieto” (Peltoniemi n.d., Nokian Renkaat Oyj). Radoilla mitataan hallittavuutta äkkinäisissä tilanteissa. Tällaisissa mittauksissa osavastuu on myös testaajalla, joten niiden tuominen laboratorioon on käytännössä mahdotonta ja turhaa. Luonnossa muuttujia on yleisestikin enemmän niin veden jäätymiseen nähden, kuten suolaus ja hiekoitus, kuin liikkuvaan kappaleeseen nähden, kuten autoilija ja auton ominaisuudet. Tämä tekee niiden mallintamisesta haasteellista muualla kuin testiradoilla. Testirenkaan ja testikumin erona on myös renkaan ulkoiset ominaisuudet kuten kuviointi ja nastat. Jääpitoitmittauksia laboratoriossa olisi hyvä verrata jääradalla tehtyihin mittauksiin ja tuloksista katsoa niiden korrelointi toisiinsa nähden. Yhteisenä ja isoimpana tekijänä on mittauksissa kuitenkin kitkakerroin, joka määrittää renkaan ja jään välisen pidon. Tätä pitoa voidaan tulevaisuudessa luotettavasti mallintaa ja testata LAT100 -laitteella hiomalla siihen luotua menetelmää.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada jääpitoitmittauksista ja niiden tuloksista vertailukelpoisia ja toistettavia sekä saavuttaa luotettava kokonaisuus laitteen ja menetelmän käyttöön liittyvistä ominaisuuksista sekä niiden soveltamisesta tulevaisuuden mittauksiin. Kehitysideoiden kautta voidaan ajallista optimointia yrittää parantaa, mutta opinnäytetyön kokeellisen osan ollessa vain kuusi viikkoa, kaikkia parannuksia ei ehditty tekemään. Opinnäytetyön osatavoitteena oli kehittää Nokian

Renkaat Oyj:n materiaalikehitysosaston kumilaatujen testausnopeutta ja sitä kautta nopeuttamaan parhaimman jääpito-ominaisuuden omaavan kumin tuotantoon päätymistä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli ottaa käyttöön Laboratory Abrasion and Skid Tester, LAT100 –laite ja luoda sen jääpitomittaus –ominaisuudelle optimoitu jää ja mittausmenetelmä. Jäästä pyrittiin tekemään mahdollisimman vakaa lyhyimmässä mahdollisessa ajassa.

Tavoitteet saavutettiin onnistuneesti, sillä tuloksista saatiin toistettavia, vertailukelpoisia ja tunnistettavia, ja Nokian Renkaat Oyj:n kumitestejä vietiin eteenpäin kohti nopeampia kumilaatujen ominaisuuksien mittaus- ja määrittystekniikkoja. Tarkoitus ottaa LAT100 -laite käyttöön onnistui, sillä luotiin toimiva kokonaisuus jääpitomittaukselle ja jäädytysmenetelmälle.

LÄHTEET

Engineering ToolBox. 2004. Ice – Thermal Properties. Luettu 1.3.2018.
https://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d_576.html

European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. 2011. Linear Polydimethylsiloxanes CAS No. 63148-62-9 (Second Edition). Luettu 3.2.2018.
<http://www.ecetoc.org/wp-content/uploads/2014/08/JACC-055-Linear-Polydimethylsiloxanes-CAS-No.-63148-62-9-Second-Edition.pdf>

Evans, R. & Evans, A. 2006. The Composition of Tyre: Typical Components. Julkaistu 05/2006. Julkaisija: The Waste & Resources Action Programme. Luettu 13.5.2018.
<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/2%20-%20Composition%20of%20a%20Tyre%20-%20May%202006.pdf>

Grosch, K.A. 1997. A New Way to Evaluate Traction- and Wear Properties of Tire Tread Compounds. Consultant to VMI/Lang Germany, VMI Holland BV. Luettu 28.11.2017.

Grosch, K.A., VMI Group. n.d. Laboratory Abrasion and Skid Tester. General Concept. Luettu 27.11.2017.

Grosch, K.A. VMI Group. n.d. General Description. Description – Laboratory Abrasion and Skid Tester LAT100. Technical Specifications. VMI EPE Holland B.V. Luettu 28.11.2017.

IAPWS. 12/2013. Why does water expand when it freezes? Why does liquid water have a density maximum?. IAPWS, The International Association for the Properties of Water and Steam. Luettu 2.2.2018. <http://iapws.org/faq1/freeze.html>

Ikede-Fukazawa, T., Kawamura, K. 2004. Molecular-dynamics studies of surface of ice Ih. Journal Of Chemical Physics, Volume 120, Number 3. Luettu 15.4.2018.
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1634250>

Inkinen, P., Tuohi, J., Kustannusosakeyhtiö Otava. 2012. Momentti 1, Insinöörifysiikka. 4.-9. painos. ISBN 978-951-1-16598-9. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2012.

ISO. 2014. ISO 2393:2014 -Rubber test mixes -- Preparation, mixing and vulcanization - - Equipment and procedures. International Organization for Standardization. Luettu 22.4.2018. <https://www.iso.org/standard/61314.html>

James, H.M. Guth, E. 1944. Theory of the Elasticity of Rubber. Purdue University, West Lafayette, Indiana. University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana. Luettu 29.05.2018. <http://sci-hub.hk/https://doi.org/10.1063/1.1707432>

Kishore Bhoopalam, A. 2015. Pneumatic Tire Performance on Ice. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Luettu 20.3.2018.
https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/75052/Kishore_Bhoopalam_A_D_2015.pdf?sequence=1

- Lake Ice. n.d. Contraction cracks. Luettu 3.4.2018.
<http://lakeice.squarespace.com/contraction-cracks/>
- Laurila, T. 2007. Kumiteknikka. Lyhyt johdatus kumitekniiikan perusteisiin. Opetushallitus. Helsinki.
- Makkonen, L. Tikanmäki, M. 2014. Modeling the friction of ice. VTT Technical Research Centre of Finland. Luettu 15.4.2018.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X14000561> DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.03.002>
- Mills, A. 2008. The coefficient of friction, particularly of ice. Department of Physics and Astronomy, University of Leicester. Luettu 3.2.2018.
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/43/4/006>
- Nokian Renkaat Oyj. n.d. Ivalon testikeskus ”White Hell”. Luettu 22.5.2018.
<https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/testaus/ivalon-testikeskus/>
- Nokian Renkaat Oyj. 2018. Perustietoa. Luettu 26.12.2017.
<https://www.nokianrenkaat.fi/yritys/perustietoa/>
- Nokian Renkaat Oyj. n.d. Renkaan tuotantoprosessi. Luettu 22.5.2018.
<https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/renkaan-tuotantoprosessi/>
- Ojala, A. Material Manager at Nokian Tyres plc. Sähköpostiviesti.
Anne.ojala@nokiantyres.com. Luettu 7.5.2018
- Peltoniemi, P. n.d. Testauspäällikkö at Nokian Renkaat Oyj. Ivalon testikeskus ”White Hell”. Luettu 22.5.2018. <https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/testaus/ivalon-testikeskus/>
- Persson, B., Lorenz, B. & Scaraggi, M. Rubber Friction. Multiscale Consulting. n.d. Luettu 29.4.2018. <http://www.multiscaleconsulting.com/index.php/our-research/rubber-friction>
- Polymer Properties Database. 2015. Sulfur Vulcanization of Rubbers (Polydiens). Luettu 10.5.2018.
<http://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Vulcanization.html>
- Roland, C.M. 2013. Structure Characterization in the Science and Technology of Elastomers. The Science and Technology of Rubber. 4. Painos. ISBN: 978-0-12-394584-6. Luettu 29.05.2018.
- Rosenberg, R. 2005. Why Is Ice Slippery?. Physics Today. 12/2005 American Institute of Physics, S-0031-9228-0512-030-4. Luettu 15.4.2018. <http://www.physics.ohio-state.edu/~jay/846/skating.pdf>
- Ruijiang Group. n.d. Products. Polydimethylsiloxane. Luettu 3.2.2018.
[http://www.ruisilicone.com/Silicone Fluids/Dimethyl Silicone Fluid Food Grade.htm?gclid=Cj0KCQjwzcbWBRDmARIsAM6uChXg_897OB2aMCc5q7uPi7WEUgPIAQH2L_frlMWIyYGWf8HayaZV0BoaAgfHEALw_wcB](http://www.ruisilicone.com/Silicone%20Fluids/Dimethyl%20Silicone%20Fluid%20Food%20Grade.htm?gclid=Cj0KCQjwzcbWBRDmARIsAM6uChXg_897OB2aMCc5q7uPi7WEUgPIAQH2L_frlMWIyYGWf8HayaZV0BoaAgfHEALw_wcB)

Tammertekniikka. 2014. Tekniikan Kaavasto. 12. painos. ISBN 978-952-5491-48-7. Bookwell Oy, Porvoo 2014.

Teunissen, T. Manager R&D Apexing & Compound Testing at VMI Group. "LAT100-questions". Sähköpostiviesti. Luettu 17.4.2018. tteunissen@vmi-group.com

Truffer, M. 2013. Ice Physics. University of Alaska Fairbanks. Luettu 3.4.2018. <https://glaciers.gi.alaska.edu/sites/default/files/icephysics.pdf>

Wennström, J. 2007. Tire friction on ice. Development of testrig and roughness measurement method. Master's thesis, Luleå University of Technology. Luettu 1.3.2018. <http://diva-portal.org/smash/get/diva2:1032599/FULLTEXT01.pdf>

Wobser, R. 1998. Operating instructions. LAUDA Compact Low-temperature thermostats RC 6 CS, RC 20 CS, RC 25 CS, RL 6 CS RK 8 CS, RK 8 KS, RK 20 KS. Luettu 21.2.2018. http://www.lauda-brinkmann.com/downloads/manuals/RC_CS%20+%20RL_CS%20+%20RK_CS%20+%20RK_KS.pdf

LIITTEET

Liite 1. Mittauksien käyttöohje ja -suunnitelma.

LAT100 –laitteen jääpitomittaukseen huomioitavat asiat (Käyttöohje)

1. Jään jäädyttäminen

- a. Aamulla laite päälle päävirtakatkaisijasta. Varmista, että Lamda on myös päällä. (HUOMIO 1)
- b. Laita F11 (Service) Lauda heti 0 °C ja pidä sitä siinä noin 15 minuuttia, jolloin levyn lämpötila pitäisi olla lämpömittarilla mitattuna noin +1,5°C.
- c. Mittaa hanasta kylmintä mahdollista tulevaa vettä 335 millilitraa mittalasiin, ja kaada se roiskuttamatta levyille.
- d. Vaihda Servicestä lämpötila -8°C ja pidä se siinä, kunnes jää on umpeutunut lähes täysin (HUOMIO 2.)
- e. Muuta lämpötila -10°C ja pidä siinä 10 minuuttia.
- f. Muuta lämpötila -13°C ja pidä siinä 15 minuuttia.
- g. Muuta lämpötila -14°C ja pidä siinä 10 minuuttia.
- h. Muuta lämpötila -15°C ja pidä siinä 15 minuuttia.

2. Jääkiekon siirtäminen

- a. Sammuta Lamda virtakatkaisijasta, ettei öljyt roisku.
- b. Irrota letkut pyyhkimällä niiden päät kuivaksi.
- c. Siirrä levy kärryjen kautta laitteeseen koskematta jäähän missään kohtaa.
- d. Kiinnitä levy. (HUOMIO 3.)

3. Ajaminen (HUOMIO 4.)

- a. Aseta ”disk temperature” halutuksi (jos suoraan -15°C niin HUOMIO 5.) ja laita Tempering (F6) päälle
- b. Odota, että ”actual disk temperature” on tasaantunut haluttuun lämpötilaan (varmista lämpömittarilla).
- c. Aseta RUN-IN kiekko paikalleen (oikea puoli) ja aloita RUN-IN asetuksilla. RUN-IN tehdään aina kun ajetaan eri lämpötilalla.
- d. RUN-INin jälkeen tarkista, että jää on ehjä → Aloita ajot
- e. Start (F1) → Kuvaajan seuranta, onko tasainen vai heitteleekö paljon → Kun loppuu niin Save Result (F4) → Tempering (F6) (HUOMIO 6) → seuraava näyte sisään → Reset (F5) → oikeat parametrit → Start (F1)
- f. Ajojärjestys: Kaikista näytteistä ensin oikeat puolet, sitten vasemmat, oikeat, vasemmat. → Kun kaikki voimat on tehty, niin sitten vaihdetaan eri lämpötila.

Sample number	-
Order number	RUNIN
Running side	Right
Type of disk	Ice
Load	75N
Speed	0,6 km/h
Slip angle	0°
Distance	250 m

Ajon kesto 25 minuuttia.

HUOMIOT:

1. Tarkista vatupassilla levyn tasaisuus useammasta eri kohdasta.
2. Kestää 40 min - 1h20min, jos jää kristalloituu alle 10 min niin sitten jäätyy n. 40-50 min.
3. Älä kiinnitä vielä kumikiekonpidikettä, ettei tempering yritä laittaa kiekkoa jään pintaan. Tällöin kumikiekonpidike voi rikkoa jään, eikä ole hyväksi voimasensorille.
4. Jos teet enemmän kuin yhden lämpötilan päivässä, niin aloita matalimmasta lämpötilasta, jotta korkein (esim. -5°C) jää viimeisimmäksi, koska kumiekko sulattaa -5°C jäähän sulan kohdan, joka jäätyy epätasaisuudeksi ja näkyy kuvaajassa.
5. Laske asteittain: Ensin -8°C → -10°C, 10 min → -13°C, 15 min → -14°C, 10 min → -15°C, ja kun on saavuttanut, niin voi alkaa suorittaa RUN-IN.
6. Näytteiden välillä Tempering päälle, jotta kiekon lämpötila ei lähden nousemaan tai laskemaan Lamdan kylvyn lämpötilaan. Voi särkeä jään.

Ajan tehokkuuden maksimoimiseksi RUN-INit kannattaa ajoittaa taukojen (esim. Ruokailu, kahvitauko) ajaksi.

Mittauksien kestot

1. 8 kiekkoa, 3 voimaa, 1 lämpötila – n. 2h 20 min +RUN-IN
2. 4 kiekkoa, 3 voimaa, 3 lämpötilaa – n. 4h 45 min (huom. kaksi RUN-INiä välissä) +ensimmäinen RUN-IN.
3. 3 kiekkoa, 3 voimaa, 3 lämpötilaa – n. 4h 15-30 min
4. Yksi ajo vaihtoinen kestää 1 minuutti 20 sekuntia

Ideoita

3 (3)

1. Letku koneeseen in-out väliin, jotta silikoni kulkisi koneen läpi, ettei tulisi lämpötilan nousua jääkiekon vaihtamisen aikana.
2. Levyn alle kolmijalkatasaus tms., jotta ei tarvitsisi joka kerta tasata pöydänjalkoja.
3. Mahdollisesti kokeilla foliota jäädytyksen päällä, jottei tulisi lämmönhukkaa ja jäädyttäminen olisi nopeampaa.
4. Voisi kokeilla veden tasoittain lisäämistä (kuten hollantilainen huoltaja sanoi), että lisää vetää aina kun alempi kerros jäätynyt. Jos jäädyttäisi ensin noin 300 ml, minkä päälle laittaisi loput noin 40 ml, jotta kokeiltaisiin tulisiko pinta ihan tasaiseksi. Tästä voi tosin johtua jään kerroksittainen jäätyminen, mikä voi antaa eri tuloksia.
5. Mittaukset samalla jäällä monta päivää, jos käytetään jääskrabaa.
6. Jos mittauksista tulee tärkeitä ja vedenlaatu korostuu, niin olisi hienoa, jos sitä voisi tutkia analyttisellä puolella esimerkiksi kerran viikossa.

Liite 2. Kahdeksan eri kumityypin testien raakatulokset.

Luvut ovat kitkakertoimia. Parametrien muutokset ovat tummennettu.

1 (5)

test condition 1
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **100**
 disk temperature (°C) **-5**
 friction coefficient μ

compound	measurement				keskiarvo	rating	Keskihajonta
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen			
1	0,1919	0,1853	0,1968	0,1752	0,1873	100	0,00934202
2	0,2263	0,1729	0,2064	0,1943	0,2	106,8	0,022357307
3	0,2007	0,1954	0,2089	0,199	0,201	107,3	0,005711392
4	0,1593	0,1523	0,1812	0,1604	0,1633	87,2	0,012460872
5	0,1573	0,1594	0,1541	0,1671	0,1595	85,2	0,005530747
6	0,1457	0,1559	0,148	0,1513	0,1502	80,2	0,004426718
7	0,1398	0,162	0,1551	0,1432	0,15	80,1	0,010332594
8	0,1614	0,1778	0,1767	0,1689	0,1712	91,4	0,007640681

test condition 2
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **60**
 disk temperature (°C) **-5**
 friction coefficient μ

compound	measurement				Keskiarvo	rating	Keskihajonta
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen			
1	0,2296	0,2631	0,2451	0,2522	0,2475	100	0,014043029
2	0,2443	0,2325	0,2563	0,227	0,24	97	0,013031085
3	0,2427	0,2263	0,2469	0,2374	0,2383	96,3	0,008909312
4	0,1596	0,1898	0,2062	0,1681	0,1809	73,1	0,021109457
5	0,2079	0,2097	0,2009	0,178	0,1991	80,5	0,014585924
6	0,1595	0,1782	0,1696	0,1655	0,1682	68	0,007851539
7	0,1697	0,1568	0,1726	0,178	0,1693	68,4	0,008999769
8	0,2023	0,2002	0,2232	0,2251	0,2127	85,9	0,013271775

2 (5)

test condition 3
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **25**
 disk temperature (°C) **-5**
 friction coefficient μ

measurement								
compound	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Keskiarvo	rating	Keskiahjonta	
1	0,3594	0,3168	0,3299	0,3234	0,3324	100	0,018793682	
2	0,3834	0,3483	0,3649	0,3468	0,3608	108,6	0,017125128	
3	0,3586	0,3759	0,3619	0,358	0,3636	109,4	0,00837735	
4	0,2849	0,2306	0,2576	0,2845	0,2644	79,6	0,025903282	
5	0,2711	0,2406	0,2555	0,2483	0,2539	76,4	0,01299548	
6	0,2302	0,269	0,2392	0,2349	0,2433	73,2	0,017506832	
7	0,2431	0,2363	0,2279	0,2309	0,2346	70,6	0,006676077	
8	0,2806	0,2829	0,2659	0,2675	0,2742	82,5	0,008764084	

test condition 1
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **100**
 disk temperature (°C) **-8**
 friction coefficient μ

measurement								
compound	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	mean	rating	Keskiahjonta	
1	0,2195	0,2197	0,2332	0,2244	0,2242	100	0,006413008	
2	0,2714	0,2163	0,2171	0,2524	0,2393	106,8	0,02722658	
3	0,2181	0,2226	0,2259	0,2271	0,2234	99,7	0,004027716	
4	0,201	0,1985	0,1918	0,1932	0,1961	87,5	0,004346167	
5	0,2081	0,1959	0,2111	0,1835	0,1996	89	0,012614674	
6	0,1874	0,1923	0,1977	0,1809	0,1896	84,6	0,007151398	
7	0,1912	0,1728	0,1697	0,1786	0,1781	79,4	0,009495745	
8	0,2078	0,2434	0,1743	0,2046	0,2075	92,6	0,028281605	

3 (5)

test condition 2
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **60**
 disk temperature (°C) **-8**
 friction coefficient μ

compound	measurement				mean	rating	Keskihajonta
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen			
1	0,2444	0,2817	0,2587	0,3045	0,2723	100	0,026385397
2	0,2757	0,2614	0,2657	0,2716	0,2686	98,6	0,006315589
3	0,2698	0,2567	0,2948	0,2403	0,2654	97,5	0,02301753
4	0,2216	0,2179	0,1955	0,2482	0,2208	81,1	0,021601697
5	0,21	0,227	0,2183	0,2415	0,2242	82,3	0,013460807
6	0,2095	0,1982	0,2121	0,2499	0,2174	79,8	0,022475079
7	0,2035	0,194	0,2121	0,1953	0,2012	73,9	0,008381478
8	0,2356	0,2492	0,204	0,2348	0,2309	84,8	0,019111951

test condition 3
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **25**
 disk temperature (°C) **-8**
 friction coefficient μ

compound	measurement				mean	rating	Keskihajonta
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen			
1	0,2722	0,2709	0,3066	0,3549	0,3012	100	0,039462767
2	0,303	0,2862	0,382	0,4023	0,3434	114	0,057338665
3	0,3331	0,3249	0,3853	0,4099	0,3633	120,6	0,040996585
4	0,2411	0,2872	0,276	0,3249	0,2823	93,7	0,03452487
5	0,2354	0,2716	0,3193	0,3111	0,2843	94,4	0,038711454
6	0,249	0,2755	0,2762	0,3194	0,28	93	0,029143596
7	0,2328	0,2415	0,2429	0,2908	0,252	83,7	0,026249698
8	0,2942	0,3003	0,3564	0,3033	0,3135	104,1	0,028816488

4 (5)

test condition 1
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **100**
 disk temperature (°C) **-15**
 friction coefficient μ

measurement								
compound	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	mean	rating	Keskihajonta	
1	0,3871	0,3746	0,4043	0,3771	0,3858	100	0,013479212	
2	0,392	0,3825	0,3873	0,3434	0,3763	97,5	0,022273602	
3	0,3963	0,4151	0,4029	0,4041	0,4046	104,9	0,00779487	
4	0,297	0,3046	0,3083	0,2861	0,299	77,5	0,009802381	
5	0,2456	0,29	0,2793	0,2564	0,2678	69,4	0,020395159	
6	0,213	0,2281	0,2261	0,1876	0,2137	55,4	0,018644213	
7	0,2501	0,2737	0,2687	0,2333	0,2564	66,5	0,018474036	
8	0,2624	0,2768	0,2672	0,2566	0,2657	68,9	0,008546929	

test condition 2
 speed (km/h) 0,6
 load (N) **60**
 disk temperature (°C) **-15**
 friction coefficient μ

measurement								
compound	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	mean	rating	Keskihajonta	
1	0,4488	0,471	0,453	0,4784	0,4628	100	0,014173214	
2	0,439	0,4587	0,4742	0,4675	0,4598	99,4	0,015280598	
3	0,4902	0,512	0,5091	0,5016	0,5032	108,7	0,009726382	
4	0,3275	0,3666	0,3441	0,3344	0,3432	74,1	0,017051784	
5	0,3354	0,3326	0,3276	0,3154	0,3277	70,8	0,008842888	
6	0,2717	0,24	0,2821	0,2687	0,2656	57,4	0,018022463	
7	0,2808	0,2879	0,3273	0,3058	0,3004	64,9	0,020761904	
8	0,3215	0,3163	0,3216	0,3397	0,3248	70,2	0,010253252	

test condition 3
 speed (km/h) 0,6
 load (N) 25
 disk temperature (°C) -15
 friction coefficient μ

compound	measurement				mean	rating	Keskihajonta
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen			
1	0,5054	0,6326	0,7055	0,6935	0,6342	100	0,091637
2	0,4803	0,6353	0,6188	0,6802	0,6036	95,2	0,086229
3	0,6109	0,7588	0,8037	0,7149	0,7221	113,8	0,082508
4	0,4838	0,5381	0,4962	0,486	0,501	79	0,0253
5	0,4911	0,54	0,467	0,4954	0,4984	78,6	0,030435
6	0,3843	0,3424	0,4059	0,3415	0,3685	58,1	0,03193
7	0,4464	0,4044	0,4708	0,4101	0,4329	68,3	0,031362
8	0,5751	0,485	0,5244	0,4543	0,5097	80,4	0,052194