



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisuja
46/2021

Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistus



Mikko Malmivuo

Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistus

Väyläviraston julkaisuja 46/2021

Kannen kuva: Jarkko Pirinen

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-885-4

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Mikko Malmivuo: Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistus. Väylävirasto. Helsinki 2021. Väyläviraston julkaisuja 46/2021. 45 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-885-4.

Avainsanat: kävelytiet, pyöräily, liukkaus, kitka, talvihoito

Tiivistelmä

Suomessa maanteiden kitkaa on mitattu autoilla jo 1980-luvulta lähtien, mutta jalankulku- ja pyöräilyväylillä vastaavanlainen kitkamittaus ei ole turvallista. Jalankulku- ja pyöräilyväylien talvihoidon tason seuranta on kuitenkin välttämätöntä, sillä liukastumistapaturmien kustannukset ovat Suomessa vuosittain vähintään useita satoja miljoonia. Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen haasteita sekä selvittää eri tapoja väylien kitkan mittaukseen.

Jalankulku- ja pyöräilyväylien mittauksen yksi suurimpia haasteita on, että kitka saattaa vaihdella poikittaissuunnassa merkittävästikin. Samalla oikean mittauskohdan määrittely on haastavaa. On myös mahdollista, että jalankulku- ja pyöräilyväylien pituussuuntainen kitkan vaihtelu on suurempaa kuin maanteillä. Tämä heikentää pistekohtaisten mittausnäytteiden edustavuutta.

Ruotsissa kehitettiin 2010-luvulla jalkaisin työnnettävä mekaaninen kitkamittari PFT. Mittari on testeissä osoittanut varsin luotettavaksi, mutta se on hankintahinnaltaan kallis (19 000 €). Mittarityypin heikkous on siinä, että mittari antaa irtoineksen (esim. irtolumi) kitkaksi usein yllättävän matalia kitka-arvoja. Lisäksi mittarin heikkoutena on matala mittausnopeus. Markkinoilta löytyy myös pienikokoisia vedettäviä mekaanisia kitkamittareita. Tällaisten vetäminen mönkijällä lienee periaatteessa mahdollista. Mönkijän käyttö kävely- ja pyörätiellä on kuitenkin lähikohtaisesti kielletty. Myös nämä mittarit ovat varsin kalliita.

Valvontakonsultti Juha-Matti Vainio on käyttänyt optista RCM411 kitkamittaria sähköavusteisessa polkupyörässä seurattessaan jalankulku- ja pyöräilyväylien talvihoidon tasoa Porissa ja Turussa talvikaudella 2020-21. Optisen kitkamittarin haasteena on, että laite tunnistaa melko huonosti hiekoitusmateriaalin. Kotimaisen RCM411 kehittäjän Taisto Haavasojan mukaan mittari olisi todennäköisesti mahdollista opettaa parempaan hiekoitusmateriaalin havaitsemiseen.

Suomessa Työterveyslaitos on kehittänyt hydraulisen kitkanmittauslaitteen, joka simuloi jalankulkijan kantaiskuvaiheen askelliukua. Laite on isokokoinen ja sen siirtely on vaikea. Laitetta voidaan käyttää referenssimittarina, mutta tuotantomittauksiin se ei sovellu.

Polkupyörän jarrutuskitkamittausta on tutkittu jonkin verran. Nykyisiä kiihtyvyyksianturilla varustettua jarrutuskitkamittareita on periaatteessa mahdollista käyttää myös polkupyörässä. Polkupyörän hallinta täysjarrutuksen aikana liukkaalla pinnalla on kuitenkin haastavaa. Tässä tutkimuksessa ei löydetty ainoatakaan lähdeettä, missä polkupyörän jarrutuskitkamittausta olisi testattu kolmi- tai nelipyöräisellä polkupyörällä. Periaatteessa voisi kuvitella, että jarrutustapahtuman hallinta olisi helpompaa ja mittaus turvallisempaa useampipyöräisellä polkupyörällä.

Jatkotutkimuksen kannalta yksi mielenkiintoisimpia vaihtoehtoja on jarrutuskitkamittaus useampipyöräisellä sähköavusteisella polkupyörällä. Maanteiden laadunvalvonta perustuu jo jarrutuskitkamittaukseen, joten olisi luontevaa käyttää jarrutuskitkamittausta myös jalankulku- ja pyöräilyväylillä. Mikäli mittaus suoritetaan jarrutuskitkamittauksella sellaisella useampipyöräisellä polkupyörällä, jossa on vierekkäin kaksi tai kolme jarruttavaa pyörää, mittaustulos on jo automaattisesti eräänlainen keskiarvo väylän kahdesta tai kolmesta kohdasta. Tällöin mittauskohdan valinta poikkileikkauksessa ei vaikuttaisi niin paljon tulokseen.

Todennäköisesti ruotsalaista mekaanista kitkamittaria PFT kannattaisi myös Suomessa testata. Tulevaisuudessa jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkamittari voi perustua niin mekaaniseen, elektroniseen kuin optiseen tekniikkaan, riippuen menetelmien edelleen kehittymisestä.

Mikko Malmivuo: Halkdetektering på gång- och cykelvägar. Trafikledsverket. Helsingfors 2021. Trafikledsverkets publikationer 46/2021. 45 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-885-4.

Sammanfattning

I Finland har vägfriktionen mätts med bilar ända sedan 1980-talet, men det är inte säkert att utföra motsvarande mätning av friktionen på gång- och cykelvägar. Att övervaka nivån hos vinterunderhållet på gång- och cykelvägar är dock nödvändigt, eftersom kostnaden för halkolyckor i Finland uppgår till minst flera hundra miljoner per år. Målet med denna studie är att bedöma utmaningarna med halkdetektering på gång- och cykelvägar samt att utreda olika sätt att mäta friktionen på vägarna.

En av de största utmaningarna med att mäta friktionen på gång- och cykelvägar är att friktionen i tvärriktning kan variera betydligt. Samtidigt är det en utmaning att fastställa rätt mätplats. Det är också möjligt att friktionsvariationen i längdriktningen på gång- och cykelvägar är större än på landsvägar. Detta minskar representativiteten hos punktspecifika mätprover.

På 2010-talet utvecklades i Sverige en mekanisk friktionsmätare, PFT, för påskjutning till fots. I tester har mätaren visat sig vara ganska tillförlitlig, men anskaffningspriset är högt (19 000 €). Svagheten hos mätartypen är att mätaren ofta ger förvånansvärt låga friktionsvärden för löst material (t.ex. lös snö). En annan svaghet hos mätaren är den låga mät hastigheten. På marknaden finns det också små mekaniska friktionsmätare som dras fram. I princip bör det vara möjligt att dra dessa med en fyrhjuling. Som utgångspunkt är det dock förbjudet att använda fyrhjuling på gång- och cykelväg. Även dessa mätare är ganska dyra.

Tillsynskonsult Juha-Matti Vainio har använt en optisk friktionsmätare, RCM411, på en elcykel vid övervakning av nivån på vinterunderhållet på gång- och cykelvägar i Björneborg och Åbo under vintersäsongen 2020–21. Utmaningen med den optiska friktionsmätaren är att apparaten detekterar sandningsmaterial ganska dåligt. Enligt den finländska RCM411-utvecklaren Taisto Haavasoja skulle det sannolikt vara möjligt att lära mätaren att detektera sandningsmaterial bättre.

I Finland har Arbetshälsoinstitutet utvecklat en hydraulisk friktionsmätningssystem som simulerar stegglidningen under en fotgängares hälslagsfas. Apparaten är stor och svår att flytta. Apparaten kan användas som referensmätare, men den är inte lämplig för produktionsmätningar.

Mätning av en cykels bromsfriktion har studerats i viss omfattning. Det är i princip möjligt att använda moderna bromsfriktionsmätare utrustade med accelerationsgivare även på cyklar. Det utgör dock en utmaning att kontrollera en cykel vid full inbromsning på en hal yta. I denna studie hittades inte en enda källa där en cykels bromsfriktionsmätning hade testats med en tre- eller fyrhjuling cykel. I princip kan man föreställa sig att det är lättare att kontrollera en inbromsningshändelse och att mätningen sker säkrare med en cykel med flera hjul.

Ett av de mest intressanta alternativen för fortsatt undersökning är bromsfriktionsmätning med flerhjuling elcykel. Kvalitetskontrollen på landsvägar baseras redan på bromsfriktionsmätning, och därför skulle vara naturligt att använda bromsfriktionsmätning även på gång- och cykelbanor. Om mätningen utförs i form av en

bromsfriktionsmätning med en cykel med flera bromsande hjul sida vid sida, blir mätresultatet automatiskt ett slags medelvärde för två eller tre punkter på vägen. Då skulle valet av mätplats i tvärsnittet inte påverka resultatet så mycket.

Sannolikt skulle det vara värdefullt att testa den svenska mekaniska friktionsmätaren PFT också i Finland. I framtiden kan en friktionsmätare för gång- och cykelvägar baseras på mekanisk, elektronisk och optisk teknik, beroende på hur metoderna vidareutvecklas.

Mikko Malmivuo: Detecting slipperiness on pedestrian and bicycle routes. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2021. Publications of the FTIA 46/2021. 45 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-885-4.

Abstract

The friction on Finland's roads has been measured by cars since the 1980s, but it is not safe to take similar friction measurements on pedestrian and bicycle routes. However, it is essential to monitor the standard of winter maintenance on pedestrian and cycle routes, as the annual costs of accidents involving slipping amount to several hundred million euros in Finland. The aims of this study are to assess the challenges associated with detecting slipperiness on pedestrian and bicycle routes and examine various methods of measuring friction on such routes.

One of the biggest challenges in measuring pedestrian and bicycle routes is that there can be significant variations in friction across the width of the route. At the same time, it is challenging to determine the correct measurement point. It is also possible that the longitudinal variation in friction on pedestrian and bicycle routes is greater than on roads. This makes point measurements less representative.

In the 2010s, a mechanical pavement friction tester (PFT) was developed in Sweden for use on foot. The PFT has proven quite reliable in tests, but it is expensive (EUR 19,000). The weakness of this type of meter is that it attributes surprisingly low friction values to loose materials (such as loose snow). A further weakness is the low measurement speed. Small mechanical friction meters that can be pulled along are also available on the market. In principle, it would be possible to pull such a device using a quad bike. However, it is prohibited to operate a quad bike on a pedestrian and bicycle route. These meters are also quite expensive.

Supervisory Consultant Juha-Matti Vainio used the RCM411 optical friction meter on an electric bicycle to monitor the standard of winter maintenance on pedestrian and cycle routes in Pori and Turku during the 2020–2021 winter season. One challenge with an optical friction meter is that the device is rather poor at identifying the gritting material. According to Taisto Haavasoja, the Finnish developer of the RCM411, the meter could probably be taught to detect the gritting material more effectively.

The Finnish Institute of Occupational Health has developed a hydraulic friction measurement device, which simulates the slipping that can occur when a pedestrian's heel strikes the ground. The device is large and difficult to move. The device can be used as a reference meter, but it is not suitable for measurements in production.

Some research has been conducted on the braking friction of bicycles. In principle, it is possible to use modern braking friction meters equipped with accelerometers on bicycles. However, bicycles are difficult to control while braking sharply on a slippery surface. This study did not identify any sources that tested braking friction measurements using tricycles or quadricycles. In principle, one could imagine that sharp braking would be easier to manage, and it would be safer to take measurements on a cycle with more wheels.

One of the most interesting options for further research is the use of braking friction meters on electric cycles with more than two wheels. Road quality is already monitored using braking friction measurements, so it would also be natural to use braking friction measurements on pedestrian and bicycle routes. If the measurements are taken using a braking friction meter on a cycle with more than two wheels where the brakes are applied to two or three adjacent wheels, the measurement result automatically represents a type of average of two or three points on the route. In such cases, the selection of the measurement point from the cross-section of the route would not have such a significant impact on the result.

The Swedish PFT friction meter should probably be tested in Finland. In the future, a friction meter for pedestrian and bicycle routes could be based on mechanical, electronic or optical technology, depending on the further development of the methods.

Esipuhe

Kävely- ja pyöräilyliikenteen lisääminen on kuulunut pitkään Suomen keskeisiin liikennetavoitteisiin. Kävelyn ja pyöräilyn lisääminen vähentää ilmastonmuutosta, parantaa kansanterveyttä ja vähentää ruuhka- ja paikoitusongelmia.

Kävelyn ja pyöräilyn lisääminen edellyttää, että kävely- ja pyöräillä liikkuminen on turvallista myös talviaikaan. Jalankulku- ja pyöräilyväylien talvihoidon tason seuraaminen edellyttää, että väylien liukkautta voidaan mitata. Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistus on kuitenkin haastavaa, sillä väylien liukkautta ei pystytä mittaamaan samalla tavalla kuin maanteiden liukkautta. Tässä raportissa on pohdittu kävely- ja pyöräilyväylillä tapahtuvien liukastumisten mekanismeista sekä esitetty vaihtoehtoisia menetelmiä väylien liukkauden tunnistamiseen.

Työstä vastaa dipl.ins. Mikko Malmivuo Innomikko Oy:stä. Työtä on ohjannut Jarkko Pirinen Väylävirastosta.

Helsingissä kesäkuussa 2021

Väylävirasto
Kunnossapito

Sisältö

1	JOHDANTO.....	11
1.1	Tausta.....	11
1.2	Tavoite.....	11
2	KÄVELY- JA PYÖRÄILYVÄYLIEN LIUKASTUMISONNETTOMUUDET	12
2.1	Kustannukset.....	12
2.2	Mekanismit	12
2.3	Keliolosuhteet	13
2.4	Jalankulku ja pyöräilyväylien päällyste	14
3	KÄVELY- JA PYÖRÄILYVÄYLIEN LIUKKAUDENTORJUNTA	15
3.1	Hiekoitus	15
3.2	Harjasuolaus.....	16
3.3	Karhentaminen	17
3.4	Puulastujen ja sahanpurun käyttö liukkaudentorjunnassa	18
3.5	Hoidon automaatio.....	19
4	KÄVELY- JA PYÖRÄILYVÄYLIEN LIUKKAUDENTUNNISTUKSEN HAASTEET	20
5	KÄVELY- JA PYÖRÄILYVÄYLIEN LIUKKAUDENTUNNISTUSMENETELMÄT .	24
5.1	Mekaaninen jatkuvatoiminen kitkanmittaus.....	24
	5.1.1 PFT	24
	5.1.2 T2GO	27
	5.1.3 GripTester ja TWO	28
5.2	Optinen kitkanmittaus	29
5.3	Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä.....	32
	5.3.1 Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä, laboratoriotutkimus	34
	5.3.2 Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä, Juha-Matti Vainion kokemus	35
	5.3.3 Jarrutuskitkanmittaus useampipyöräisellä polkupyörällä	35
	5.3.4 Jarrujärjestelmästä ja jarrutuksesta.....	36
5.4	Työterveyslaitoksen mittari	37
5.5	Ihminen kitkamittarina	38
5.6	Auton käyttö kävely- ja pyöräilyväylällä	40
5.7	Kiinteä mittaus.....	40
5.8	Muita ajatuksia	40
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	41
	LÄHDELUETTELO	44

1 Johdanto

1.1 Tausta

Maanteiden kitkaa on Suomessa mitattu jo 1980-luvulta lähtien. Maanteiden kitkamittausta on vuosien varrella kehitetty siten, että mittaukseen löytyy tällä hetkellä lukuisia erilaisia toimivia mittareita.

Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistukseen on panostettu huomattavasti vähemmän. Syytä kuitenkin olisi, sillä esimerkiksi THL:n tilastojen mukaan Suomessa tapahtuu vuosittain keskimäärin 4600 sairaalahoitoa vaatinutta talveen liittyvää liukastumistapaturmaa. Lisäksi 11 000 potilasta on vuosittain avohoidossa samasta syystä (THL 2019). Jalankulku- ja pyöräilyliikenteen lisääminen myös talviaikaan olisi tärkeää, sillä ympärivuotinen jalankulku- ja pyöräilyväylien liikenne vähentää tehokkaasti ilmastonmuutosta ja vähentää ruuhka- ja paikoitusongelmia.

Yksi kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen haasteista on se, että niillä pidon menetyksen mekanismi on jossain määrin erilainen kuin autoilla. Siksi maanteille suunnitellut kitkamittarit eivät välttämättä sovellu parhaimmalla mahdollisella tavalla kävely- ja pyöräilyväylille. Lisäksi auton käyttöä edellyttävät mittarit ovat huonoja, sillä auton käyttö kävely- ja pyöräiteillä ei ole turvallista. On myös oletettavaa, että pidon menetyksen mekanismi on erilainen polkupyörällä kuin kävellessä tai juostessa. On myös oletettavaa, että kävely- ja pyöräilyväylillä onnettomuuksiin johtavat keliyypit saattavat erota maanteiden vastaavista.

Talvihoidon laatuvaatimuksissa ei ole kävely- ja pyöräilyväylille tarkkoja kitkavaatimuksia. Vaatimusten mukaan kävely- ja pyöräilyväylillä on oltava ”riittävä kitka turvalliseen kävelyyn ja pyöräilyyn”. Laatuvaatimukset eivät kuitenkaan anna suoraan ohjeita siihen, miten mainittua kitkaa tulee mitata.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteina on:

- laatia yhteenveto kävely- ja pyöräilyväylien liukastumisonnettomuuksien syntymekanismeista, eri keliolosuhteet huomioiden
- arvioida kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen haasteita
- laatia yhteenveto pohjoismaisten kävely- ja pyöräilyteiden liukkaudentunnistusta käsittelevien tutkimusten keskeisistä tuloksista ja havainnoista
- haastatella henkilöitä, joilla on tietoa tai kokemusta kävely- ja pyöräilyteiden liukkaudentunnistuksesta
- esittää ehdotus niistä kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen menetelmistä, joiden jatkotutkimukseen Suomessa kannattaisi panostaa.

2.3 Keliolosuhteet

Vuonna 1998 tehdyssä tutkimuksessa (Penttinen et al 1998) todettiin, että jalankulkijoiden liukastumisonnettomuuksien kasaumapäivien tyypillisiä piirteitä ovat:

- a) keskilämpötila -2°C...0°C
- b) 0°C ylittyy tai alittuu tarkasteluvuorokauden aikana
- c) sade (vesi, lumi tai räntä)

Lisäksi tutkimuksessa todettiin HKR:n vastaavan työnjohtajan haastatteluun perustuen, että haasteellisia kelejä olivat:

- a) sään nopea lauhtuminen kylmän pakkassään jälkeen, jolloin väylän pinnalla oleva hiekoitushiekka tai -sepele painuu lumi- tai jääkerroksen sisään
- b) lumisade lämpötilan ollessa hyvin lähellä nollaa tai hieman pakkasen puolella. Tällöin auratessa syntyy jalankulku- ja pyöräilyväylille helposti lasimainen erittäin liukas pinta
- c) alijäähtynyt sade muodostaa lasimaisen liukkaan peilipinnan
- d) kevätssäät, jolloin väylien reunalla olevat lumivallit sulavat päivällä ja jäätyvät illalla ja yöllä

Samassa VTT:n selvityksessä todettiin, että jalankulkijoiden liukastumistapaturmien kasaumapäivien sää oli seuraavanlainen:

- a) kaikkina kasaumapäivinä satoi ainakin jonkin verran
- b) yhdeksänä kasaumapäivänä kymmenestä lämpötila oli alle nollan
- c) viitenä kasaumapäivänä kymmenestä tapahtui lämpötilan kylmeneminen pakkasen puolelle tai lauhtuminen suojasääksi
- d) kasaumapäivät olivat pilvisiä ja kosteita

Anttilan vuoden 2001 tutkimuksessa todettiin, että liikennevahinkojen kasaumapäivät ja jalankulkijoiden liukastumistapaturmien kasaumapäivät olivat tyypillisesti eri päiviä (Anttila 2001).

Jaloin-ohjelmassa todettiin, että tapaturmia sattuu jonkin verran tilanteissa, joissa sataa runsaasti lunta, mutta kelimallin tai liukkausmittausten mukaan keli ei olisi liukas. Tähän lienee osaksi selityksenä liukkaat jalkineet ja kompastumiset lumen peittäessä pinnan epätasaisuuksia. Osittain selityksenä lienee myös lumen tamppautuminen. Alueilla, joissa liikkuu paljon jalankulkijoita, tamppautumisen seurauksena lumipinta muuttuu melko nopeasti jäiseksi (Ruuhela et al 2005).

Pyöräliiton mukaan jopa viidennes pyöräilijöiden kaatumisista johtuu sepelistä, joka tietyissä olosuhteissa toimii kuulalaakeriin tavoin (Koistinen 2020).

Jalankulun ja pyöräilyn yhtenä haasteena on se, että kulku tapahtuu tyypillisesti erilaisilla päällysteillä, joiden talvikunnossapidosta vastaavat eri toimijat. Kitkan vaihtelu yksittäisen matkan aikana voi siten olla suurta.

2.4 Jalankulku ja pyöräilyväylien päällyste

Ruotsin VTI julkaisi vuonna 2019 kirjallisuustutkimuksen ”Pyöräilyväylien liukkauden syyt ja päällysteen vaikutus” (Hellman et al 2019). Tutkimuksessa todettiin, että pyöräilyväylien päällysteen mikro- ja makrokarkeudella on niin suuri vaikutus liukkauteen, että väylien päällysteen karkeutta tulisi seurata nykyaikaisella 3D-lasersertekniikalla. Mikrokarkeus vaikeuttaa liukkauteen alle 40 km/h nopeuksilla, eli juuri pyöräilyväylillä.

Tutkimuksessa myös todettiin, että asfaltti on paras pyöräilyväylän pintamateriaali. Se on selvästi parempi kuin betoni, katukivet tai sora. Erilaisten katukivien osalta voidaan havaita varsin suuria eroja karkeudessa ja liukkaudessa. Lisäksi puiset rakenteet, esim. sillat voivat olla todella liukkaista.

Pyöräilyväylien asfalttipäällyste on usein ohuempi kuin autotiellä ja siksi alttiimpi erilaisille vaurioille. Tutkimuksen mukaan asfaltin pitkäikäisyys edellyttää pienempää kivikokoa, mutta toisaalta pieni kivikoko ei ole paras valinta kitkan näkökulmasta. Tutkimuksessa ehdotetaan, että pyöräilyväylille parhaiten sopivaa asfalttipäällystettä tulisi selvittää tarkkaan.

Tutkimuksen mukaan kahdeksan kymmenestä vakavasti loukkaantuneesta pyöräilijästä vammautui yksittäisonnettomuudessa. Yksittäisonnettomuuksien merkittävimpiä syitä oli väylän liukkaus.

VTI:n vuoden 2018 tutkimuksessa tuotiin esille, että punaiseksi maalatut jalankulku- ja pyöräilyväylät olivat usein liukkaampia kuin maalamattomat asfalttipinnat (Niska et al. 2018).

3 Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentorjunta

3.1 Hiekoitus

Hiekoittaminen on kävely- ja pyöräilyväylien yleisin liukkaudentorjuntamenetelmä. Vuonna 2010 tehdyssä diplomityössä todettiin, että kostealla jäällä suurin kitka-arvo saavutetaan 150 g/m² hiekoitusmäärällä (Elers 2010). Tämä oli myös aiempi suositus. Tutkimuksessa myös todettiin, että hiekoittimien levitystarkkuudessa on suuria, moninkertaisia eroja. Tutkimuksen mukaan kovinkaan monessa hiekoittimessa ei ole tarkkaa määrän säätöä ja niissäkin, joissa sellainen oli, todelliset hiekoitusmäärät usein poikkesivat ilmoitetusta. Lisäksi tasalaatuista hiekoitusta oli vaikea saada aikaan. Joidenkin laitteiden levityskuvio oli varsin epätasainen. Lisäksi ajonopeus vaikuttaa voimakkaasti levitetyn hiekan määrään.

Tutkimuksessa myös pääteltiin, että hiekoitus auttaa jalankulkijaa vain tietyillä keleillä, mutta pyöräilijää ei juuri millään kelillä (taulukko 1). Päätelmät jalankulkijan kokemasta liukkaudesta tehtiin työterveyslaitoksen kenkämittarilla. Päätelmät pyöräilijän kokemasta liukkaudesta perustuvat jalkaisin työnnettävään mekaaniseen T2GO-mittariin. T2GO-mittari eroaa varsin merkittävästi polkupyörästä, joten oletukseen on suhtauduttava jossain määrin kriittisesti. Väylävirasto katsoo, että hiekoituksen pitäisi auttaa myös pyöräilijää tietyillä keleillä.

Pakkaskeleillä ns. kuumahiekoituksesta tai kuumavesihiekoituksesta voidaan saada etua. Kuuma hiekka kiinnittyy paremmin jäisen pintaan. Nollakeleissä hiekan lämmittämisestä ei saada enää hyötyä. Lämmitetystä hiekasta on eniten hyötyä pienellä pakkasella.

Taulukko 1. Hiekoituksesta saatava apu eri keliolosuhteissa (Elers 2010)

Keli	Riittävä hiekoitus g/m ²	Auttaako jalankulkijaa kyllä/ei	Auttaako pyöräilijää kyllä/ei	Mikäauttaisi?
Mustajää	150	kyllä	ei	
Vastasatanut irtolumi	eihiekoitusta	ei	ei	Auraustaiharjaus
Aurattupinta pakkaslumella	eihiekoitusta	ei	ei	Verkkoterälläsaadaan riittäväkitka-arvo aikaan
Painautunut/ Kiillottunut lumenipinta pakkaslumella	150	kyllä	ei	Hiekoitusmateriaali tulisisaada kiinnittymäänpintaan esim.lämmittämällä sepeli
Jäinenpinta	150	kyllä	ei	Hiekoitusmateriaalin lämmittämisellä saadaan pitkäkestoisempihyöty jäparempikitka-arvo
Sohjo	eihiekoitusta	ei	ei	Auraustaiharjaus
Pyöräkuormaimen kauhasta lumenpoistossa syntyväkiillottunut jälki	150	kyllä	ei	Hiekoitusmateriaali tulisisaada kiinnittymäänpintaan esim.lämmittämällä sepeli

3.2 Harjasuolaus

Viime vuosina harjasuolausta on pidetty yhtenä tehokkaimmista jalankulku- ja pyöräilyväylien liukkaudentorjuntamenetelmistä. Jalankulku- ja pyöräilyväylien harjasuolausta on kokeiltu viime vuosina niin Suomessa, Ruotsissa, Norjassa kuin Tanskassa. Helsingin kaupunki käynnisti talvella 2015-16 kokeilun, jonka tarkoituksena oli testata harjasuolausmenetelmää muutamalla keskeisellä pyöräilyväylällä. Tavoitteena oli lisätä reittien määrää vuosittain niin, että lopulta testissä olisi neljä reittiä, jotka kattaisivat 40 kilometriä pääväyliä. Kokeilussa liukkaudentorjuntaineina kokeiltiin Granluxia, kaliumformiaattia, kalsiumkloridiliuosta ja natriumkloridia. Kokeilun perusteella hyöty-kustannusvaikutuksiltaan tehokkaimmiksi liukkaudentorjunta-aineiksi todettiin suola, eli kalsium- tai natriumkloridi (Karhula et al 2018).

Kokeilussa harjasuolauksella saavutettiin hyvä jalankulku- ja pyöräilyväylien laatu-taso (kuva 2). Harjasuolauksen kustannus oli kuitenkin 1,6-kertainen perinteiseen talvihoitoon nähden. Kustannuksia lisää se, että harjaus on menetelmänä hitaampi kuin perinteinen auraus. Lisäksi suolaa joudutaan levittämään useammin kuin se-peliä perinteisessä talvihoidossa. Lisäksi kokeilun tehostetussa talvihoidossa lähtökynnys on alhaisempi ja laatuvaatimukset tiukemmat (Karhula et al 2018).

Jos lunta sataa paljon, on väylä aurattava ennen harjaamista. Harjaus säästää asfalttia auraukseen ja polanteen poistoon verrattuna. Toisaalta Norjassa on huomattu päällystevaurioita pyöräilyväylillä, joilla on käytetty harjasuolausmenetelmää. Selittävää tekijää ei ole kuitenkaan ollut mahdollista osoittaa selvästi, sillä osa vaurioista voi johtua joko rakenteellisista puutteista, suolasta tai näiden yhteisvaikutuksesta. Menetelmää ei suositella käytettäväksi väylillä, joissa on jo olemassa päällystevaurioita, joissa tiedetään olevan rakenteellisia vaurioita tai joiden kantavuus ei ole riittävä (Karhula et al 2018).

Menetelmä on jakanut jalankulku- ja pyöräilyväylien käyttäjien mielipiteitä. Osa pitää menetelmää hyvänä, osa pelkää pyöriensä ruostumista. Helsingin kokeilussa havaittiin pyöräilijämäärien hieman lisääntyneen harjasuolatuilla väylillä, mutta syynä saattoivat olla myös muut pyöräilyn edistämistä tukeneet hankkeet (Karhula et al 2018).



Kuva 2. Tilanne Itäiseltä Rantakadulta talvelta 2016–17 (vasemmanpuoleinen kuva) ja talvelta 2017–18 (oikeanpuoleinen kuva). Kuvapari tuo esille menetelmän selkeimmän vahvuuden eli polanteesta eroon pääsemisen (Karhula et al 2018).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa ”Pyöräteiden harjasuolaus, kokeilu Tukholmassa talvella 2013–14” (Niska ja Blomqvist 2015) tarkasteltiin Tukholman harjasuolauskokeilun tuloksia mm. VTI:n PFT-kitkamittaria (ks. luku 5.1.1) käyttäen. Tutkimuksessa tehtiin seuraavia johtopäätöksiä:

- Pörätien on oltava hyvässä kunnossa, jotta harjaus onnistuu hyvin. Muuten pinnan halkeamiin voi jäädä lunta, joka jäätyy suolauksen jälkeen.
- Risteysten suhteen on oltava huolellinen: jos suolattu pyöräilyväylä risteää suolaamattoman pyöräilyväylän tai autotien kanssa, kitkan muutos voi yllättää. Lisäksi metalliset kaivojen kannet tai vaihtelut pyörätien päällystämateriaalissa voivat aiheuttaa yllättäviä muutoksia kitkaan. Sen vuoksi pyöräilijöitä tulee informoida, että kitka voi vaihdella suolatulla pyörätiellä paljonkin.
- Suolamääriä voidaan vielä laskea merkittävästikin. Osin tähän päästään, kun suolauskalustoa ja suolanlevittämiä kehitetään vielä edelleen.

3.3 Karhentaminen

Karhentamisella voidaan parantaa polanteen kitkaa, jos väylän pinta on jäänyt epätasaiseksi esimerkiksi aurauksen jäljiltä tai tien pinta on jäänyt sileäksi. Karhentamisessa on tarkoitus saada polanteen pinta tasaiseksi, mutta hieman rikoiksi 0,5–2 cm:n syvyydeltä. Ohjeistusta syvemmät urat eivät paranna kitkaa. Karhennus nostaa myös polanteessa olevaa hiekkaa tien pintaan (Liikennevirasto 2017).

3.4 Puulastujen ja sahanpurun käyttö liukkaudentorjunnassa

Oulussa kokeiltiin talvikaudella 2014-15 puulastujen käyttöä jalankulku- ja pyöräilyväylien liukkaudentorjunnassa. Puulastujen etuna on se, ettei materiaali pölise hiekoitussepin tavoin. Lisäksi lastut eivät myöskään painu polanteen sisään samalla tavalla kuin hiekoitussepele. Lisäksi lastuja ei ole välttämätöntä aina kerätä talteen hiekoitushiekkan tavoin, vaan ne voidaan jättää maatumään ympäristöön (Salo 2015).

Oulun kokeilua varten tilattiin tätä tarkoitusta varten valmistettuja puulastuja Sveitsistä. Pääosin materiaalin kalleuden vuoksi menetelmän hinta oli kahdeksankertainen hiekoitukseen nähden. Ei kuitenkaan tiedetä, paljonko hintaan vaikuttaisi, jos materiaali valmistettaisiin Suomessa (Salo 2015).



Kuva 3. Sveitsiläinen Stop Gliss Bio puulastuihin perustuva liukkaudentorjuntamateriaali verrattuna perinteiseen sepeliin.

Tutkimuksessa todettiin, että lastut soveltuvat parhaiten käytettäväksi kohteissa, joissa ne eivät pääse kulkeutumaan helposti. Lastut voivat kulkeutua ohi ajavien autojen ilmavirran vaikutuksesta. Myös voimakas tuuli voi paikoitellen siirtää lastuja. Lastujen käytölle parhaita kohteita ovatkin tuulettomat, puiden tai muiden kasvustojen suojaamat kevyen liikenteen väylät. Tutkimuksen perusteella myös todettiin, että puulastut toimivat paremmin liukkauden torjunnassa kävelijöiden kuin pyöräilijöiden näkökulmasta. Pyöräilijät liikkuvat suuremmalla nopeudella ja kosketuspinta väylään on paljon pienempi kuin kävelijöiden, joten he vaativat myös liukkaudentorjunnalta parempaa kitkaa. Tienkäyttäjäkyselyjen vastauksista voitiin myös päätellä pyöräilijöiden suhtautuvan menetelmään negatiivisemmin. Tutkimuksen yhteenvedossa katsottiin kuitenkin menetelmän etujen olevan sen haittoja suuremmat (Salo 2015).

Kaavilla on testattu talvella 2020–21 kotimaisen sahanpurun käyttöä kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentorjunnassa. Aines on siis hienoisempaa kuin Oulun testauksessa käytetty puulastu. Ensimmäiset kokemukset ovat olleet lupaavia. Testiä koskeva tutkimus on vielä kesken (Karhunen 2021).

3.5 Hoidon automaatio

Norjassa on meneillään jalankulkua ja pyöräilyä koskeva tutkimusohjelma "Begevelse", joka jatkuu vuodet 2017-2021. Kaksi ohjelman raporttia käsittelee autonomista talvihoitoa. Erilaiset automaattiset siivous- ja lakaisukoneet ovat tuttuja suurten toimistojen ja virastotalojen käytäviltä ja pihoilta, mutta nyt automaatiota ollaan viemässä myös ulos jalankulku- ja pyöräilyväylille. Esimerkiksi automaattiset harjakoneet voisivat tulevaisuudessa laskea harjasuolauksen kustannuksia merkittävästikin (kuva 4). Myös lumenpoistoa on mahdollista tehdä autonomisesti (kuva 5).



Kuva 4. Autonomisen harjakoneen demonstraatio (Karlsson et al 2020).



Kuva 5. Autonomista lumenpoistoa. Vasemmalla GPS-ohjattu amerikkalainen Power Broom, oikealla virolainen Lumebot. (Karlsson et al 2020).

4 Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen haasteet

Kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen ongelmakenttä on hyvin erilainen kuin maanteiden. Ehkä keskeisin ongelma on se, että kävely- ja pyöräilyväylä on tarkoitettu ensisijaisesti jalankulkijoille ja polkupyörille, joten väylillä ei voida tehdä turvallisesti mittauksia autolla. Joillakin väylillä on sallittua ajaa mopolla, mutta esim. mönkijöitä ei väylillä voi lähtökohtaisesti käyttää.

Toinen merkittävä kävely- ja pyöräilyväylien mittauksen ongelma liittyy mittauskohtaan. Maantiellä on vuosikymmeniä pidetty itsestään selvänä, että kitkamittaus tapahtuu ajourista. Maantiellä suoritettavan jarrutuskitkanmittauksen aikana auton on oltava ajourien kohdalla ja optiset mittarit kohdistetaan ajouraan. Kävely- ja pyöräilyväyliltä ei löydy vastaavaa selkeää mittauspaikkaa. Lisäksi kävely- ja pyöräilyväylien kitkan poikittaissuuntainen vaihtelu voi olla suurta. Rauno Kuuselan mukaan lumipintainen hiekoitettu väylä voi kulua käytössä niin, että reunoilla pyöräilijät painavat hiekoitushiekan syvemmälle lumipeitteeseen, kun taas keskeltä löytyy pitävin kohta (kuva 6) (Kuusela et al 2021). Lisäksi hiekan levitys on voitu tehdä alun perin niin, ettei se kata koko väylän leveyttä (kuva 7). Jos kitkaa mitataan lumisateen jälkeen ennen auringon nousua, saattaa tallaantuneen pinnan kitka poiketa merkittävästikin koskemattomasta pinnasta (kuva 8). Tietyillä keleillä väylien epätasaisuus saattaa haitata tai jopa estää kitkan mittaamisen (kuva 9).



Kuva 6. Tilanne missä hiekoitusmateriaali on painunut väylän reunoilla polanteeseen todennäköisesti pyöräilijöiden vaikutuksesta. Rauno Kuuselan kuva.



Kuva 7. Tilanne missä hiekoitusta ei ole tehty koko väylän leveydeltä. Rauno Kuuselan kuva.



Kuva 8. Lumisateen jälkeen auraamattomalta pinnalta löytyy niin tallaantuneita kuin koskemattomia pintoja, joiden kitka voi olla erilainen. Rauno Kuuselan kuva.



Kuva 9. Epätasainen väylä, missä kitkan mittaaminen voi olla haasteellista. Rauno Kuuselan kuva.

Eräiden asiantuntija-arvioiden mukaan kävely- ja pyöräilyväylien pituussuuntainen kitkan vaihtelu on yleensä suurempaa kuin maanteillä (Kuusela et al 2021). Suolauksella saadaan usein todella homogeeninen maantien pinta, kun taas hiekan sirottaminen tasaisesti on haasteellisempaa. Lisäksi maanteiden varsien lumipenkat likaantuvat ja sulavat nopeammin, kun taas kävely- ja pyöräilyväylillä voidaan kärsiä keväisin pitkäänkin sulamisvesien jääytymisestä. Lisäksi erilaisiin jalankulku- ja pyöräilyväylien alikulkuihin kerääntyy helposti kosteutta, joka öisin jäätyy. Jalankulku- ja pyöräilyväylien geometria voi olla haastellisempaa ja mäkien kaltevuudet voivat olla suurempia kuin maanteillä. Kun jalankulku- ja pyöräilyväylillä pitäisi käyttää liikenteen mukaisia alhaisia mittauss nopeuksia, olisi luonnollista korvata linjamittaukset otostyyppisillä mittauksilla. Edustavien otosten löytäminen vaihtelevien olosuhteiden väyliltä on kuitenkin vaikeaa.

Oiva Huuskonen nosti haastattelussa esille, että Suomessa olevat jalankulku- ja pyöräilyväylät ovat hyvin erilaisia. Taajamien tiheäliikenteiset väylät hoidetaan usein harjasuolauksella ja niissä esim. optisen kitkamittarin käyttö voisi olla perusteltua. Sen sijaan maaseutujen hiekoitettujen jalankulku- ja pyöräilyväylien mittaukset voitaisiin hoitaa jopa autolla tehtävin jarrutuskitkamittauksin (Kuusela et al 2021).

Asiantuntijahaastattelussa tuotiin myös esille, että tietyt loskakelit ovat pyöräilijöille huomattavan haastavia (kuva 10). Kitkan ohella irtomateriaalin määrä jalankulku- ja pyöräilyväylillä on erittäin tärkeä tieto.



Kuva 10. Loskainen olosuhde, mikä todennäköisesti sisältää erilaista lumen ja loskan kovuutta, jolloin pyöräilijän rengas heittelee niin sivusuunnassa kuin korkeussuunnassa. Rauno Kuuselan kuva.

5 Kävely- ja pyöräilyväylien liukkauden-tunnistusmenetelmät

5.1 Mekaaninen jatkuvatoiminen kitkanmittaus

5.1.1 PFT

VTI julkaisi vuonna 2018 mielenkiintoisen raportin pyöräilyväylien kitkan mittauksesta (Niska et al 2018). Raportin johdannossa tuotiin esille, että Ruotsissa on pyöräilyväylille kitkavaatimuksia: paljaan väylän kitkan pitäisi olla vähintään 0,50 ja talviolosuhteissa 0,30 (Ruotsin kitkaskaala). Mitään menetelmäkuvausta pyöräilyväylien kitkanmittaukselle ei kuitenkaan ole. Raportissa tuodaan esille, että Ruotsissa jarrutuskitkamittauksen lähtönopeus on 70 km/h, (Suomessa 60 km/h), mitä on mahdoton ajatella pyöräilyväylillä. Edellisen johdosta pyöräilyväylillä Ruotsissa tehdään todella harvoin mitään valvontaan liittyviä kitkamittauksia.

Raportissa tuodaan esille, että Norjassa pyöräilyväylien kitkanmittaus on paljon yleisempää. Norjassa pyöräilyväylien kitkavaatimus talvella on 0,30 (Norjan kitkaskaala). Myös Norjassa mittausmenetelmät ovat sellaisia, jotka eivät erityisen hyvin sovi pyöräilyväylille ja myös siellä käydään keskustelua, miten pyöräilyväylien kitkaa tulisi mitata.

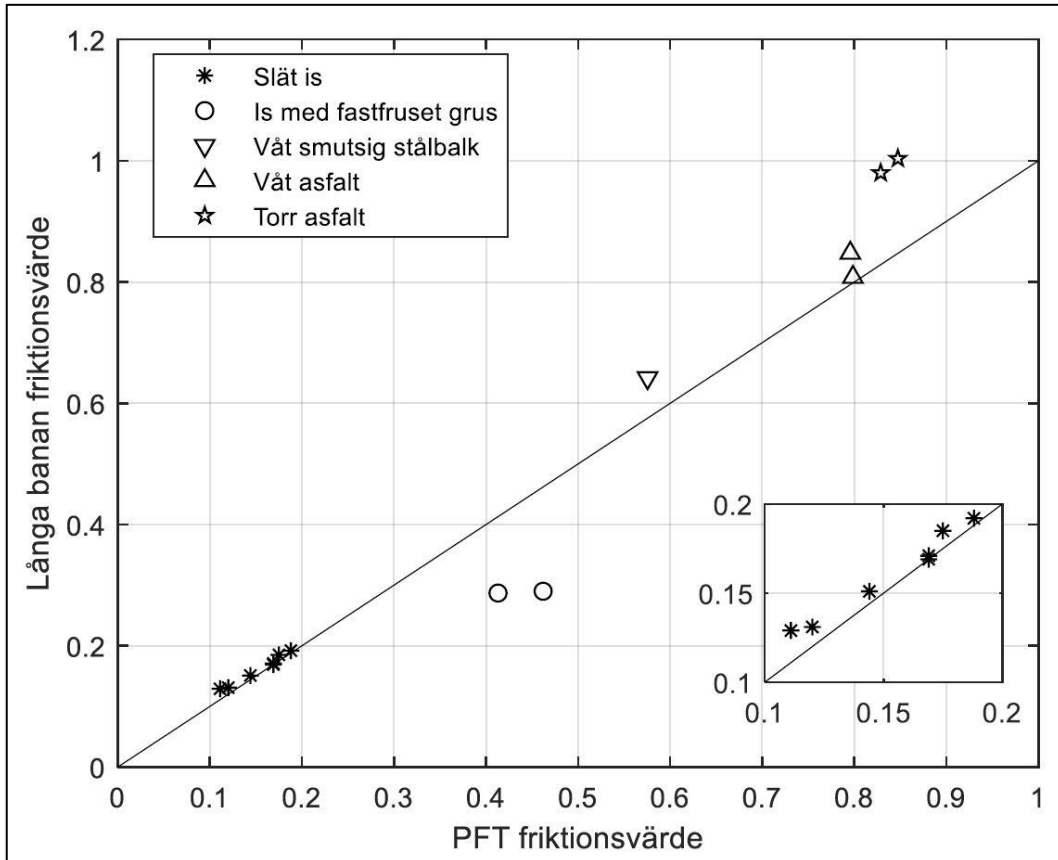
VTI:llä kehitetty PFT (Portable Friction Tester) on kolmipyöräinen jalkaisin työnnettävä kitkamittari (kuva 11). Edessä keskellä sijaitseva rengas on mittausrengas, jota jarrutetaan siten, että rengas luistaa noin 15% takarenkaisiin nähden. Mittauspyörään vaikuttavien voimien perusteella lasketaan kitkakerroin. Laitteessa voidaan valita, kuinka pitkän matkan kitkaa laitteen tuottama keskiarvokitka edustaa.



Kuva 11. VTI:n kehittämä Portable Friction Tester PFT.

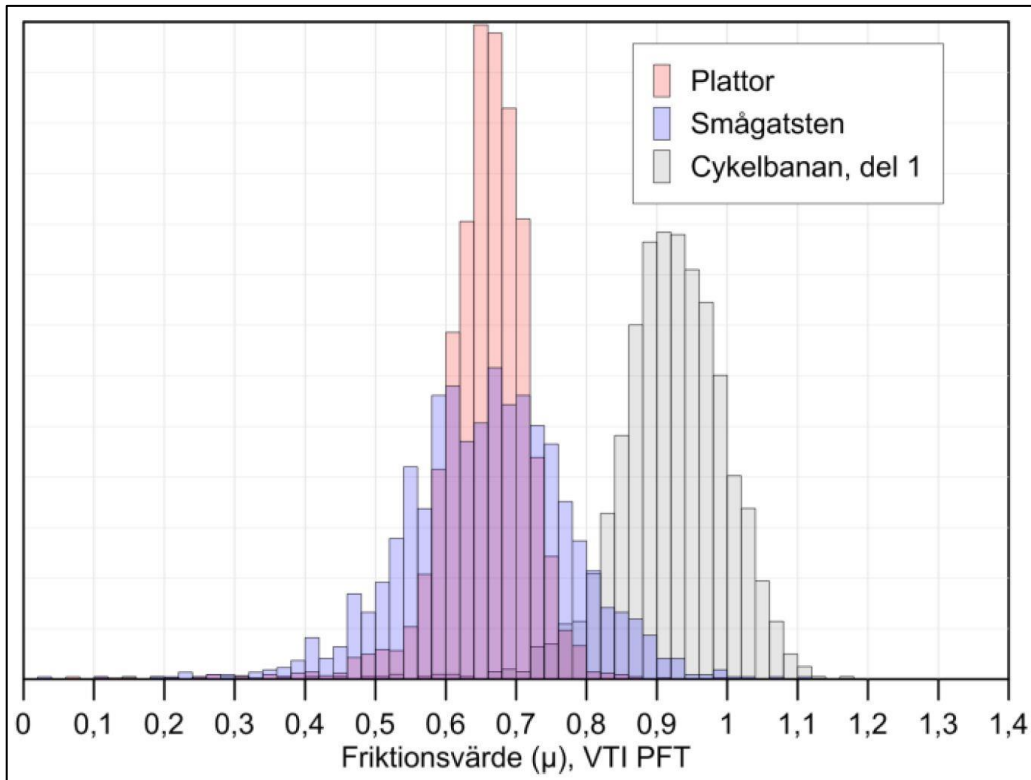
Vuoden 2018 tutkimuksessa tarkasteltiin, miten PFT:n mittaama kitka vastasi polkupyöränrenkaan havaitsemaa kitkaa. Vertailua tehtiin ensin VTI:n testiasemalla, jota nimitettiin "Långa banaksi" (=pitkä rata). Långa banan koostui 55 metriä pitkstä teräspalkista ("stålbalk"), jota liikutettiin ja jarrutettiin hydraulimoottorin avulla. Testiasema oli rakennettu alun perin henkilö- ja kuorma-autojen rengas-testausta varten, mutta sen katsottiin soveltuvan myös polkupyörän renkaan testaukseen. Teräspalkin päälle kiinnitettiin erilaisia alustoja ja asemassa voitiin siten tarkastella renkaan ja pinnan välistä kitkaa erilaisilla kiinteillä alustoilla. Irtoainesta

(lumi, sohjo yms.) ei Långa bananilla voida käyttää. Testiasemassa on mahdollista tarkastella kitkavoimia erilaisilla renkaan kulmilla, mutta tässä testissä tarkasteltiin vain pituussuuntaisia voimia. Polkupyörässä käytettiin rengasta "Schwalbe Citizen Active", mikä on nastaton kapeahko polkupyörän rengas. Polkupyörän renkaan kitkamittaus perustui ilmeisesti jarrutettuun renkaaseen vaikuttavien voimien mittauksen. Testiasemassa PFT:llä ja polkupyörän renkaalla saavutettiin hyvin samankaltaisia kitkatuloksia (kuva 12).



Kuva 12. PFT:n ja polkupyörän kitkanvertailua "Långa banalla". Testiradalla käytetyt pintamateriaalit olivat sileä jää (Slät is), jää, johon oli kiinnittynyt soraa (Is med fastfruset grus), märkä likainen teräspalkki (Våt smutsig stålball), märkä asfaltti (Våt asfalt) ja kuiva asfaltti (Torr asfalt).

PFT:llä tehdyissä katu- ja tieverkon mittauksissa havaittiin, että päällystemateriaalilla on suuri vaikutus mitattuun kitkatasoon. Katujen luonnonkivet ja betonikivet vaikuttivat selvästi liukkaammilta kuin asfalttipäällysteiset pyöräilyväylät (kuva 13).



Kuva 13. PFT:llä mitatun kitkan jakauma eri materiaaleilla päällystetyillä pyöräilyväylillä. Vertailun materiaaleja olivat betonilaatat (Plattor), pienet katukivet (luonnonkiveä, "Smågatsten") ja asfalttipäällysteinen pyöräilyväylä (Cykelbanan). Kuvan mittaukset tehti paljaalla märällä pinnalla tielämpötilan ollessa noin $+1^{\circ}\text{C}$ ja ilma lämpötilan $+2,5^{\circ}\text{C}$.

Alhaisia kitkoja havaittiin myös paljon bussipysäkkien reunan valkoisten betonilaattojen, kaivonkansien ja tiettyjen tiemerkintöjen kohdilla. Lisäksi punaiseksi maalatut pyöräväylät saattoivat olla ympäristöään liukkaampia.

PFT ongelmana nähtiin, että kitkanmittausrenkas rupesi helposti "surffaamaan" irtoaineksen (lumi ja sohjo) päällä ja tällaisissa olosuhteissa tulokset eivät välttämättä vastaa polkupyörän kokema kitkaa (havaittu myös vastaavien laitteiden Suomen testeissä, ks. kohta 5.1.2).

PFT:llä havaittiin myös, että suolaharjatuilla ("sopsaltade") pyöräilyväylillä kitka oli parempi kuin muilla pyöräilyväylillä. Mittausten mukaan suolaharjauksen nosti pyöräilyväylien kitkaa noin 30 minuuttia toimenpiteen jälkeen. Suolaharjauksen osalta myös todettiin, että mikäli pyöräilyväylän päällyste on hyvin epätasainen, eikä harjauksella sitä saada lumesta puhtaaksi, voi harjasuolaus heikentää kitkaolosuhteita.

PFT:llä myös nähtiin, miten pyöräilyväylillä olevat syksyn märät lehdet laskivat kitkaa huomattavasti.

Ruotsin liikenneviraston talvihoidon laatuvaatimuksissa on määritelty, että liukkaus on vaikea, kun kitka on 0,15 tai alle. Tavanomainen liukkaus osuu välille 0,15–0,25 ja riittävänä kitkana pidetään arvoa 0,25. Raportissa tultiin siihen tulokseen, että nämä määritelmät sopivat varsin hyvin myös pyöräilyyn, joskin riittävän kitkan osalta arvo 0,30 saattaisi olla sopivampi. Ruotsin liikenneviraston arvot pohjautuvat jarrutuskitkamittauksiin nastattomilla eurooppalaisilla talvirenkailla. Tutkimuksessa oltiin sitä mieltä, että asteikko on hyvin lähellä PFT:n tuloksia.

Raportissa pohdittiin mahdollisuutta, että PFT:stä tehtäisiin Ruotsissa virallinen pyöräilyväylien kitkamittari.

Tutkimus osoitti, että kitka yhdellä ja samalla pyöräilyväylällä voi vaihdella huomattavasti.

Vuonna 2019 VTI julkaisi käsin työnnettävän kitkamittarin menetelmäkuvauksen, minkä myötä PFT:stä tuli ilmeisesti virallinen jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkamittari (Sjögren 2019). Kyseisessä julkaisussa mainitaan, että PFT:n pystyisi jatkossa hankkimaan Coralba Oy:stä. Coralbahan on valmistanut aiemmin mm. ajoneuvojen jarrutuskitkamittareita (mm. C-trip). Otin yhteyttä Coralbaan, missä PFT:n hinnaksi vahvistettiin 19 000 € lisävarusteiden kanssa, ilman kuljetuskustannuksia (Lönqvist 2021).

Vuoden 2018 tutkimuksesta poiketen menetelmäkuvauksessa määriteltiin sopivan mittarenkaan luiston olevan 20–25 %. Menetelmäkuvauksen mukaan kalibrointi suoritetaan vertaamalla laitetta toiseen, vastakalibroituun PFT:hen. Asiakirja ei kuitenkaan kerro, miten ensimmäinen PFT on kalibroitu. Mittapyörän kuorma on 125–130 Newtonia (n. 13 kg). Mittari on suunniteltu melko lyhyiden matkojen mittaukseen. 115 metrin jälkeen muistissa oleva data on tallennettava ennen mittauksen jatkamista.

5.1.2 T2GO

Vuonna 2011 tehdyssä melko laajassa kotimaisessa kitkamittareiden vertailututkimuksessa oli mukana erilaisia jarrutuskitkamittareita, kaksi optista kitkamittaria sekä työnnettävä T2GO kitkamittari (Malmivuo 2011). T2GO on ruotsalais-amerikkalaisen SARSYS-ASFT-yhtiön kehittämä laite ja edelleen myynnissä. Sen toimintaperiaate on varsin samankaltainen PFT:n kanssa, mutta siinä on PFT:stä poiketen vain kaksi rengasta (kuva 14). Renkaiden välillä on kiinteä 20 % luisto. Laitteen hinta oli reilut 10 000 € vuonna 2011.



Kuva 14. T2GO vuoden 2011 kitkamittareiden vertailututkimuksessa

Vuoden 2011 testissä T2GO:ta testattiin ainoastaan koerataolosuhteissa. Näissä olosuhteissa laite antoi pääosin oikeasuuntaisia arvoja, joskin mittaustulosten hajonta oli ajoittain varsin suurta. Laitteen mittaustulokset vaikuttivat reagoivan herkästi mittausrenkaiden lämpötilaan ja tuntuivat vakiintuvan paremmin tietyllä tasolle vasta sen jälkeen, kun laite oli ensin ollut jonkin aikaa ulkoilman lämpötilassa. Laite reagoi myös varsin herkästi mitattavan pinnan kiinteyteen. Irtolumella laite antoi jarrutuskitkamittareihin ja jalankulkijan kengänpohjatuntumaan nähden huomattavan alhaisia kitkalukemia. Kiinteämmillä pinnoilla kuten jäällä ja kovalla lumipolanteella laite käyttäytyi luotettavammin.

Vuoden 2010 diplomityössä todettiin, että laitteen kitka-arvot eivät kasvaneet hiekoitusmateriaalia lisättäessä. Tämän katsottiin johtuvan pinnan kovuuden ja liukauden yhdistelmästä, joka sai hiekoitusmateriaalin pyörimään kuin kuulalaakeri mittauslaitteen pyörien alla (Elers 2010).

5.1.3 GripTester ja TWO

Jatkuvatoimisia mekaanisia kitkamittareita löytyy myös vedettävänä niin, että mittauslaitteen koko on selvästi auton peräkärriä pienempi. Kuvan 15 "GripTester" on suunniteltu etupäässä lentokenttämittauksiin. Siinä on kolme pyörää ja vakio 14 % luisto kitkapyörässä. Märän päällysteen mittausta varten kitkapyörän eteen voidaan johtaa vettä. Mittaria valmistaa ja myy skotlantilainen Findlay Irvine Ltd. Vedettävä rakenne mahdollistaa suuremman mittausnopeuden kuin jalkaisin työnnettävä. Kuvan laitetta on todennäköisesti mahdollista vetää esim. mönkijällä.

Myös norjalainen TWO:n kitkamittari on varsin pienikokoinen (kuva 16). TWO:n sivuilla kerrotaan, että mittari toimii nopeuksissa 2–110 km/h ja soveltuu siten hyvin myös kävely- ja pyöräteiden kitkamittauksiin (TWO).



Kuva 15. Pienikokoinen mekaaninen GripTester kitkamittari ajoneuvoon kytkettynä (Transtec Group)



Kuva 16. Norjalaisen TWO:n kitkamittari. (TWO)

5.2 Optinen kitkanmittaus

Roadmasters Oy:n Juha-Matti Vainio esitteli helmikuun 2020 talvitiepäiville sähköpolkupyörän, johon oli asentanut optisen RCM411 kitkamittarin (kuva 17). Mittarin käyttö edellyttää, että polkupyörään on kiinnitetty myös erillinen akku. Lisäksi mitaustulokset näkyvät tankoon kiinnitetystä puhelimesta. Puhelin ottaa myös kuvia väylästä säännöllisin väliajoin. Ajoneuvokäytössä puhelin ottaa kuvia vain yli 30 km/h nopeudesta, jotta esim. piholla ei tarpeettomasti kuvata ihmisiä. Polkupyöräkäytössä tätä nopeusrajaa on laskettu.

Tuotantomittaukset polkupyörällä alkoivat talvikaudella 2020-21. Vainio on ajanut Porissa 30 km lenkin talvikautena 7 kertaa ja Turussa 21 km lenkin 13 kertaa. Porissa tilaajana on ollut Porin kaupunki ja Varsinais-Suomen ELY-keskus, Turussa Turun kaupunki ja Varsinais-Suomen ELY-keskus. Kumpaankin kierrokseen on siten kuulunut sekä kunnan että valtion ylläpitämää jalankulku- ja pyöräilyväylää (Vainio 12.4.2021).



Kuva 17. Juha-Matti Vainion esittelemässä polkupyörään kiinnitettyä optista kitkamittausjärjestelmää (West Coast Road Masters 2020)

Eräs optisen mittauksen haasteista on se, että useimmat optiset kitkamittarit on kehitetty maanteiden, pääosin pääväylien kitkan mittaukseen. Pääväylillä käytetään harvemmin kitkan parantamiseen hiekkaa, kun taas jalankulku- ja pyöräilyväylillä se on keskeinen kitkan parantamiskeino. Norjassa tehdyissä laajoissa optisten kitkamittarien testeissä todettiin, että optiset kitkamittarit RCM411 ja Marwis havaitsivat huonosti jäällä olleen hiekan ja joissain tapauksissa vaikutti, että hiekka jopa laski mittarien ilmoittamaa kitkakerrointa (Giudidi 2019).

RCM411 kehittäjä Taisto Haavasoja vahvistaa, että laitetta ei ole varsinaisesti opetettu tunnistamaan hiekkaa. Mikäli hiekkaa on lumella ja jäällä hyvin runsaasti, laitteen pitäisi nostaa kitkatasoa ja tunnistaa keli "kuivaksi". Haavasoja kuitenkin toteaa, että hiekan heijastusominaisuudet poikkeavat asfaltin ominaisuuksista ja sen puolesta pitäisi olla mahdollista opettaa laite hiekan tunnistamiseen. Mikäli optinen mittaus jalankulku- ja pyöräilyväylillä yleistyisi, olisi periaatteessa mahdollista, että laitteeseen kehitettäisiin oma asetus näille väylille. Se kuitenkin edellyttäisi jonkin verran tuotekehitystä. "Oikeastaan yksi testipäivä antaisi jo hyvän suunnan sille, onko tällainen kehitys kuinka helppoa. Pitäisi vain ottaa joku jäinen osuus kohteeksi ja siihen lisättäisiin asteittain lisää hiekkaa. Jos huomaamme, että laite voidaan opettaa hiekan tunnistamiseen, niin edellytykset kevyen liikenteen väylille sopivan asetuksen kehittämiseen ovat hyvät", Haavasoja toteaa (Haavasoja 2021).

Hiekan tunnistuksen yksi haasteista saattaa liittyä kevääseen. Keväällä hiekanjyvät keräävät auringon lämpöä ja saattavat painua esim. polanteen pinnan alapuolelle. Tällöin hiekka ei välttämättä lisää kitkaa, mutta näkyisi silti optisessa laitteessa.

Eräs haastavimmista keleistä niin jalankulkijalle kuin pyöräilijälle on ohut lumikerros jään päällä. Optinen mittari ei välttämättä tällöin jäätä havaitse. Suomessa optista kitkamittaria ei ole hyväksytty talvihoidon laatuvaatimusten valvontaan.

Optisen mittarin etuna on se, että mittari saadaan toimimaan varsin automaattisesti ilman kuljettajan myötävaikutusta. Tällöin mittari on mahdollista kiinnittää säännöllisen työmatkapyöräilijän pyörään tai ammattiliikenneajoneuvoon, joka muutenkin liikkuu kohteessa. Viime vuosina ammattimainen liikenne jalankulku- ja pyöräilyväylillä on lisääntynyt merkittävästi. Erilaiset lähettipalvelut polkupyörillä ovat yleistyneet. Lisäksi suuretkin kuljetusyrietykset ovat hankkineet kaupunkikeskustoihin poljettavia tavarankuljetuspyöriä.

Vähälän tuotantopäällikkö Pekka Sipilä kertoi, että yhtiö operoi Oulun kaupungin hankkimaa tavarapolkupyörää toukokuusta joulukuuhun vuonna 2019. Pyörä oli hankittu etupäässä Oulun kävelykatualueita varten, missä ajoneuvojen käyttö päivällä klo 11 jälkeen on kielletty. Sipilä kertoi, että alun perin tavoitteena oli vuokrata varasto lähempää kävelykatualueita, mutta lopulta todettiin, ettei matkaa terminaaliin ole kuin 5 km, joten pyörällä kuljettiin koko matka jalankulku- ja pyöräteitä pitkin. Pyörällä tehtiin lenkki muutaman kerran viikossa. Käytöstä jäi positiivinen kuva. Sohjoisimpina päivinä kulku kävely- ja pyöräilyväylillä oli hidasta ja vaati täyttä sähköavustusta. Jatkossa kaupungin pyörää operoi toinen kuljetusliike. Schenkerillä on käytössä vastaavia pyöriä Helsingissä ja Turussa (Sipilä 2021).



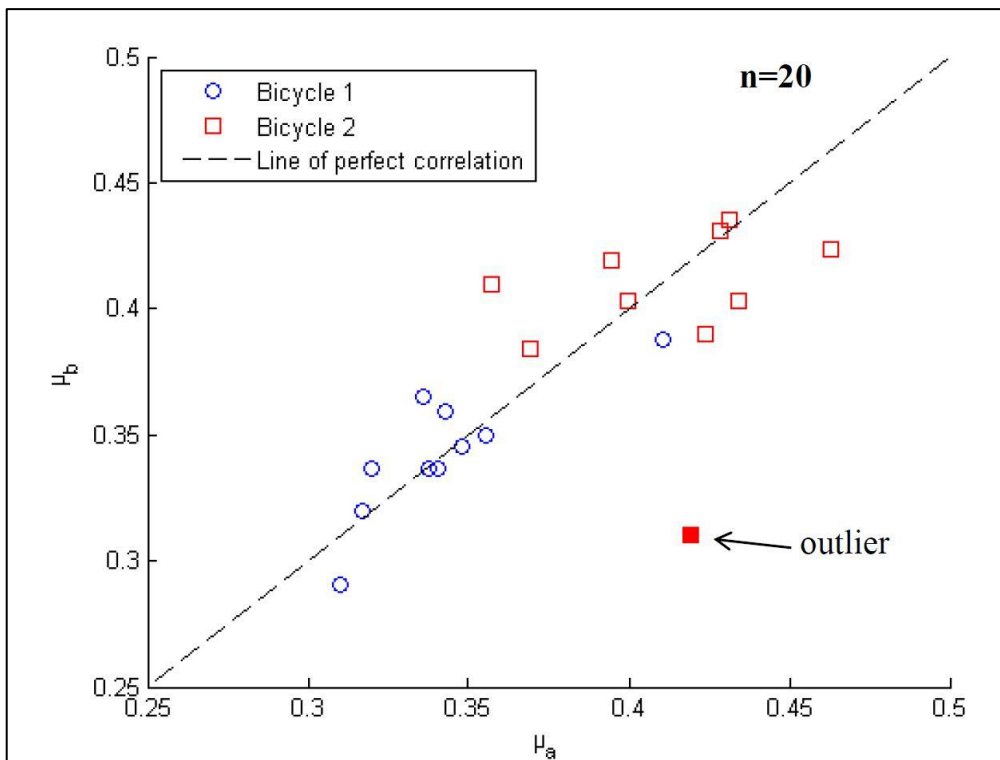
Kuva 18. Vähälän kuljetusyhtiön operoima tavarankuljetuspolkupyörä.

5.3 Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä

Katja-Pauliina Rekilä teki 2015 opinnäytetyön polkupyörän jarrutuskitkanmittauksesta. Rekilän oli tarkoitus tutustua myös pyöräilyväylien kitkanmittausta ja polkupyörän kitkaa käsittelevään kirjallisuuteen, mutta hän havaitsi, että tällaista kirjallisuutta ei juuri ollut (Rekilä 2015).

Rekilän työssä polkupyörän jarrutuskitkaa mitattiin kahdella eri menetelmällä: a) mittaamalla alkunopeutta polkupyörän gps:llä ja jarrutusmatkaa mittanauhalla ja b) mittaamalla hidastuvuutta pyörään kiinnitetyllä kiihtyvyyssanturilla. Jarrutuksen lähtönopeus oli noin 25 km/h. Testi suoritettiin Norjassa, missä polkupyörän jarrutuskitkaa verrattiin TWO:n mekaaniseen jatkuvatoimiseen kitkamittariin, jalkaisin työnnettävään T2GO mekaaniseen kitkamittariin ja Coralban jarrutuskitkamittariin (autossa).

Polkupyörän kiihtyvyyssanturimittauksella ja jarrutusmatkamittauksella päästiin hyvin samankaltaiseen kitkakertoimeen (kuva 19). Rekilä katsoi, että kiihtyvyyssanturi antoi todennäköisesti tarkemman tuloksen, sillä jarrutusmatkamittaukseen liittyi epätarkkuutta.



Kuva 19. Polkupyörän jarrutusmatkamittauksen μ_b ja kiihtyvyyssanturin perusteella lasketun kitkakertoimen vertailua. Pyörässä 1 oli kolme kautta käytetyt hybridinastarenkaat. Pyörässä 2 uudet maastonastarenkaat (Rekilä 2015).

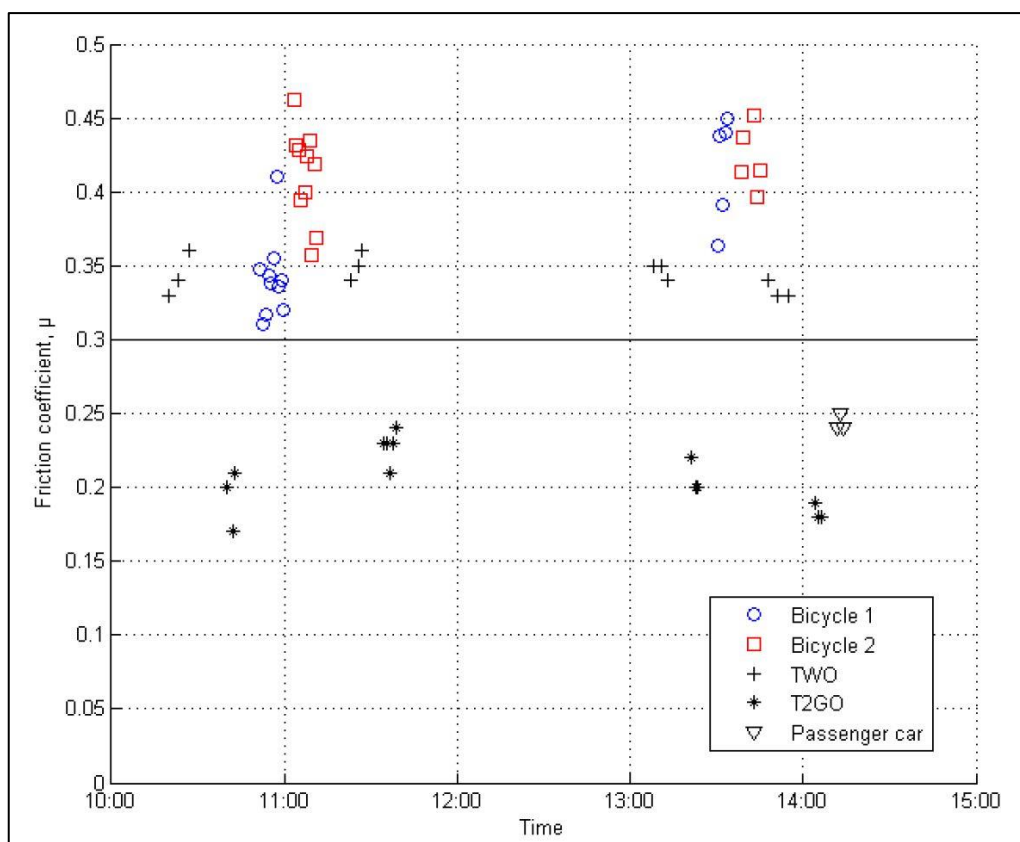
Rekilä totesi, että polkupyörillä tehtyjen mittausten välillä havaittiin suurempi hajonta kuin kitkamittareilla tehtyjen mittausten välillä. Hän arveli, että tämä johtui polkupyörien luiston ja jarrutusvoiman hallinnan puutteesta, mikä edelleen johtaa siihen, ettei jarrutustilanteissa välttämättä saavutettu maksimikitkaa. Polkupyörien

kitka-arvot olivat kuitenkin vähintään yhtä korkeita, kuin kitkamittareilla mitatut kitka-arvot (kuva 20).

Tutkimus käsitti kaksi mittauskertaa samassa kohteessa. Aamupäivän mittauksessa alusta oli kovaa lumipolannetta. Päivän aikana pinta pehmentyi auringon paisteesta ja iltapäivän testi suoritettiin jään päällä olevalla irtolumella. Testi oli varsin suppea, eikä testissä nähty, minkälainen polkupyöräkitkan koko kitkaprofiili olisi erilaisilla alustoilla (mm. jäällä). Testit suoritettiin tavallisilla kaksipyöräisillä polkupyörillä. Kolmi- tai nelipyöräisellä mallilla (esim. noja- tai kuormapyörä) testi olisi voitu turvallisemmin ulottaa vielä liukkaammille pinnoille.

Tutkimuksessa myös todettiin, että todennäköisesti vaarallisimmat liukkaan kelin onnettomuudet polkupyörillä liittyvät tilanteisiin, jossa etupyörän kääntäminen johtaa etupyörän pidon menetykseen. Tutkimuksessa ei pystytty selvittämään, miten tällaiset pidon menetykset suhtautuvat polkupyörän jarrutuskitkaan.

Tutkimuksen polkupyörissä käytettiin nastarenkaita, koska katsottiin, että nastarenkaiden käyttö polkupyörissä talvella on Norjassa yleistä. Pohtiessaan pyöräilyväylien kitkavaatimuksen tarvetta Rekilä arvioi, ettei kitkavaatimus itse asiassa vaikuta olevan nastarenkailla pyöräileville aivan niin tärkeitä. Hän arveli, että pyöräilijöitä tuntui enemmän harmittavan pyöräilyväylien epätasaisuus talvella. Sen sijaan kitkavaatimus edesauttaisi etupäässä jalankulkijoita. Tutkimuksessa ei kuitenkaan esitetty tarkempaa ehdotusta tai proseduuria jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkan määrittämiseksi.

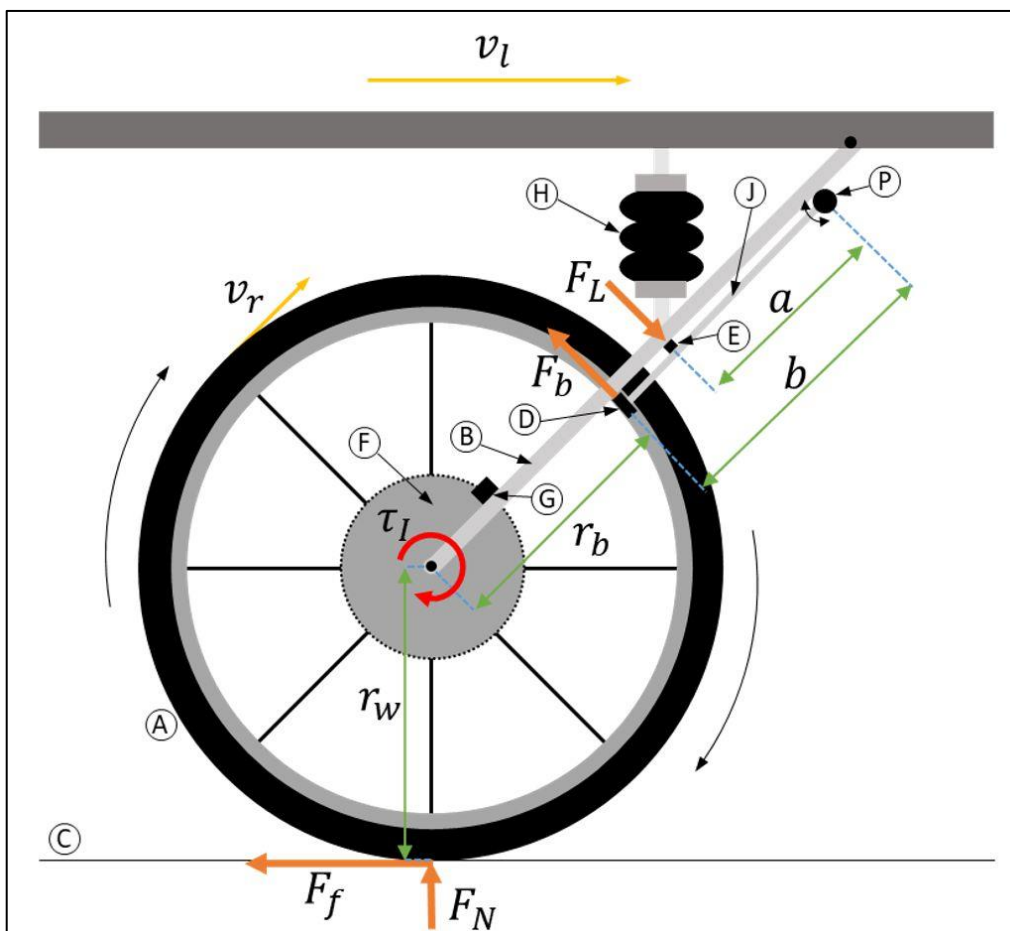


Kuva 20. Polkupyörien jarrutuskitkamittausten vertailua jatkuvatoimiseen mekaaniseen TWO-kitkamittariin, jalkaisin työnnettävään jatkuvatoimiseen kitkamittariin T2GO sekä henkilöauton jarrutuskitkamittariin (Rekilä 2015).

5.3.1 Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä, laboratorio-tutkimus

Norjassa polkupyörän jarrutuskitkanmittausta on edelleen kehitetty laboratorio-olosuhteissa (Fenre ja Klein-Paste 2018). Laboratoriotutkimuksen keskeisin anti oli se, että kun polkupyörän mittasuhteet tunnetaan ja kun pyörä instrumentoidaan siten, että mm. jarruvoimaa mitataan tarkasti, voidaan kitka määrittellä varsin tarkasti.

Laboratoriossa polkupyörän pyörä oli kiinnitetty kelkkaan, jota vedettiin koeradan päällä (kuva 1). Pyörää jarrutettiin perinteisellä vannejarrulla. Pyörää painettiin koerataa vasten vakiovoiman tarjoavalla sylinterillä H. Pyörän keskiöön oli asennettu hammaspyörä F ja takometrin G avulla mitattiin optisesti kulmanopeus.



Kuva 21. Koeasetelma.

Tutkimuksessa kitka määritettiin seuraavalla kaavalla:

$$\mu = \frac{F_f}{F_N} = \frac{F_L r_b a}{F_N r_w b} + \frac{I \dot{\omega}}{F_N r_w}$$

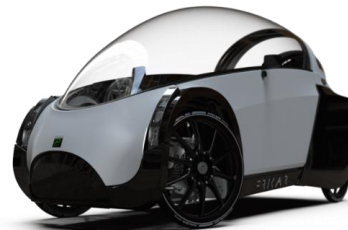
On hyvin uskottavaa, että kontrolloiduissa olosuhteissa voidaan saavuttaa edellä kuvatulla asetelmalla varsin tarkkoja mittaustuloksia. Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa on tarkoitus jatkaa mittauksia kenttäolosuhteissa. Nämä testit tulevat olemaan hyvin mielenkiintoisia. Polkupyörän hallinta ja massan siirtyminen (pyöräilijän painopiste voi muuttua jarrutuksen aikana) jarrutuksessa ovat tekijöitä, jotka todennäköisesti vaikuttavat tulokseen.

5.3.2 Jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä, Juha-Matti Vainion kokemus

Luvussa 5.2 kerrottiin, miten Juha-Matti Vainio on tehnyt sähköpyörällä optista kitkamittausta jalankulku- ja pyöräilyväylillä. Vainio kertoi myös kokeilleensa järjestelmään kuuluneen μ Tec-kitkamittarin avulla jarrutuskitkamittauksia. Sen jälkeen, kun Vainio oli kalibroinut jarrutuskitkamittarin polanteella, hän koki, että jääkelin mittaustulokset olivat yllättävän korkeita. Hän arveli, että syynä oli se, että pyörä liikkui jarrutuksen aikana myös sivusuunnassa. Mittausongelmien vuoksi Vainio päätti keskittyä vain optiseen mittaukseen.

5.3.3 Jarrutuskitkanmittaus useampipyöräisellä polkupyörällä

Rekilän tutkimuksen mukaan polkupyörän käyttö jarrutuskitkamittauksessa on mahdollista, mutta polkupyörän hallinta täysjarrutuksessa on jossain määrin haasteellista. Tässä yhteydessä tulee väistämättä mieleen, voisiko jarrutuskitkamittausta kokeilla kolme- tai nelipyöräisellä nojapyörällä tai velomobiililla (kuva 22). Vuoden 2011 kitkamittaritutkimuksessa havaittiin, että kiihtyvyyssanturilla varustetut jarrutuskitkamittarit Gripman ja μ Tec kykenevät kompensoimaan mäen vaikutuksen, joten kyseisiä mittareita voi hyvin käyttää myös mäessä (Malmivuo 2011). Jalankulku- ja pyöräilyväylät ovat tyypillisesti autoteitä mäkisempiä.



Kuva 22. Kolmipyöräinen suomalainen nojapyörä "Härmäpyörä" (Härmäpyörä) sekä norjalainen katettu nelipyöräinen nojapyörä eli velomobiili "Podbike" (Podbike). Härmäpyörä maksaa sähköavustettuna noin 4600 € ja Podbike varustelusta riippuen noin 5000–6000 €. Härmäpyörässä on rumpujarrut etupyörissä.

5.3.4 Jarrujärjestelmästä ja jarrutuksesta

Autolla maantiellä tehtävät jarrutuskitkamittaukset aktivoivat aina ABS-jarrujärjestelmän. Sen sijaan polkupyörissä tai polkuautoissa ei ABS-jarrujärjestelmää ole. Malmivuon vuoden 2000 kitkamittareiden vertailututkimuksessa tutkittiin ABS-jarrujärjestelmän vaikutusta jarrutuskitkamittauksiin. Tutkimuksessa ABS-saatiin deaktivoitua ABS-jarrujen sulake irrottamalla, joten ABS-järjestelmän vaikutusta pystyttiin tutkimaan yhdellä ja samalla ajoneuvolla.

Tutkimuksessa todettiin seuraavaa: "ABS-jarrujen ja ilman ABS:ää olevien jarrujen merkittävin ero on siinä, että pehmeämmillä lumisilla keleillä ABS-jarruttomat autot pureutuvat jarrutettaessa helpommin lumipinnan läpi, ja tämän lumipinnan alla olevan alustan kitkaominaisuuksista riippuu, millaisia arvoja ilman ABS-jarruja voidaan saada. Pinnoilla, missä tällaista "pinnan läpi pureutumista" ei tapahdu, eri jarrujärjestelmien kitkaprofiilin ero on pieni, mutta silti havaittava. Silti on vaikeata yksiselitteisesti suositella jompaa kumpaa jarrujärjestelmää mittauksissa käytettäväksi. ABS-jarruilla mitattujen tulosten hajonta oli hieman pienempi, mutta ero ilman ABS-jarrua oleviin ajoneuvoihin ei ollut merkitsevä." (Malmivuo 2000).

Polkupyörissä on käytettävissä erilaisia jarrujärjestelmiä. Napajarru eli rumpujarru hidastaa pyörän nopeutta navan sisällä olevilla jarrukengillä, kun polkupyörän kampia pyöritetään taaksepäin. Mekanismi on suljettu, joten menetelmä saattaa olla varsin stabiili vaihtelevissa sääolosuhteissa. Vannejarru on jarrutyyppejä, jossa nopeutta hidastetaan puristamalla pyörän vanne jarrupalojen väliin. Toimintaa ohjataan jarrukahvoja käsin puristamalla. Vaihtelevissa sääolosuhteissa vanne voi olla kuiva, märkä, luminen tai jopa jäinen, joten keliolosuhde saattaa vaikuttaa jarrujen toimintaan. Levyjarruissa jarrutus tapahtuu puristamalla jarrukenkiä pyörän napaan kiinnitettyä jarrulevyä vasten. Toimintaa ohjataan myös jarrukahvoja käsin puristamalla. Jarrulevy pysyy todennäköisesti hieman puhtaampana kuin vanne, mutta on silti alttiina sään vaikutuksille.

Periaatteessa jarrutuskitkanmittaus polkupyörällä tapahtuu aina lukkojarrutuksena. Turvallisuuden näkökulmasta jarrutus kannattaisi tehdä aina takajarruilla, sillä etujarrujen käytön riskinä on, että pyörän takapää nousee ilmaan. Takajarrujen käytön ongelmana on kuitenkin se, että ajaja ei näe, luistivatko jarrut.

Polkupyörällä tai polkuautolla tehtävä jarrutuskitkanmittaus eroaa henkilöautolla tehtävästä jarrutuskitkanmittauksesta myös siinä, että kuljettajan massa vaikuttaa polkupyörässä merkittävästi kokonaismassaan. On kuitenkin huomattava, että jarrutuskitkanmittauksen fyysisen kaavan mukaan massalla ei pitäisi olla vaikutusta tulokseen. Fysiikan lakien mukaan kitkakerroin määrittää pitkälle sen, miten jarrutuksen aikainen ajoneuvon liike-energian muutos vaikuttaa jarrutusmatkaan, eli:

$$\frac{1}{2} m (v_0)^2 - \frac{1}{2} m (v_i)^2 = \mu m g L, \text{ missä}$$

m = ajoneuvon kokonaismassa

v_0 = jarrutusmatkan mittauksen lähtönopeus

v_i = jarrutusmatkan mittauksen loppunopeus

μ = kitkakerroin

g = maan vetovoiman kiihtyvyyden, eli 9,81 m/s²

L = jarrutusmatka

Kun edellä kuvatun yhtälön perusteella lasketaan kitkakerroin, supistuu ajoneuvon massa pois yhtälöstä:

$$\mu = ((v_0)^2 - (v_i)^2) / 2 g L$$

Edellä kuvattu peruskaava ei ota huomioon ilmanvastusta. Voisi kuitenkin kuvitella, että polkupyörän jarrutuskitkanmittauksessa pyöräilijän ajoasento voi hieman vaikuttaa hidastuvuuteen. Nojapyörässä ajoasento on stabiilimpi ja katetussa velomobilissa sillä ei ole lainkaan merkitystä.

5.4 Työterveyslaitoksen mittari

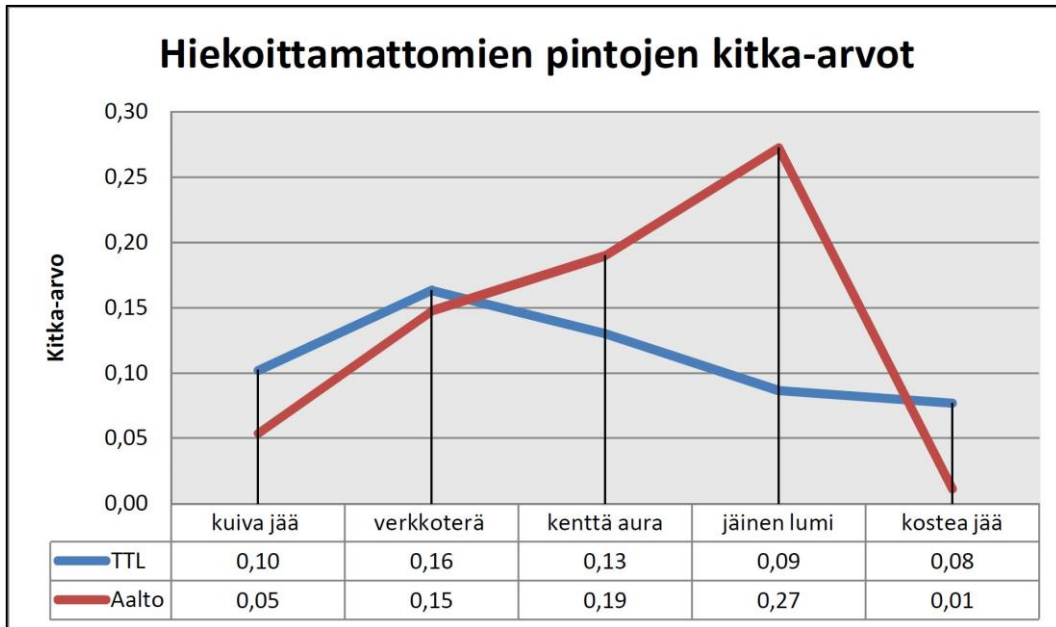
Työterveyslaitoksella (TTL) kehitetyn siirrettävän liukkausmittarin (Aschan et al. 2003) käyttämät mittaussparametrit edustavat todellista kävelyn liukastumisen kannalta kriittisen vaiheen aikana esiintyvää kinematiikkaa. Liukkausmittarin toiminta perustuu jalkineella tehtävän kantaiskuvaiheen askelliu'un simulointiin sopivia säätöparametreja käyttäen sekä mittaushetken ja -välin valintaan aitoa liukastumistapahtumaa mukaillen. Liukkausmittarilla mitataan laitteeseen asennetun kengän ja alustan välistä kitkaa. Liukkausmittarilla on havaittu selvä ero liukkaampien ja pitävämpien kenkien sekä hoitamattomien ja hiekoitettujen kulkuväylien kitkassa.

Laitteella tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että todella liukkaat olosuhteet (vetinen jää) olivat liukkaita kaikille nastoittamattomille kenkätyypeille ja vastaavasti pitävä hiekoitettu talvikeliolosuhde oli pitävä kaikille kenkätyypeille. Sen sijaan näiden ääriolosuhteiden väliset olosuhteet olivat sellaisia, joissa kengän pohjan materiaalilla ja kuvioinnilla oli hyvin merkittävä vaikutus kitkaan.

Vuoden 2010 tutkimuksessa (Elers 2010) työterveyslaitoksen mittaria verrattiin jalkaisin työnnettävään mekaaniseen T2GO-kitkamittariin. Tulosten mukaan mittarit tuottivat samansuuntaisia tuloksia kiinteillä alustoilla (kuva 23). Hiekoitetulla pinnalla todettiin, että jo muutama sepelirae mittauskengän kannan alla tuottaa varsin vaihtelevia tuloksia. Toisaalta työterveyslaitoksen mittarin katsottiin osoittaneen, että hiekoitus 150 g/m² asti kasvattaa kitkaa, ja sitä suuremmat määrät eivät enää kitkaa nosta. Tutkimuksessa laitteen siirtämisen todettiin olleen hidasta sen heikon liikuteltavuuden takia.



Kuva 23. Työterveyslaitoksen jalankulkijan liukastumista simuloiva kitkamittari (Aschan et al. 2003)

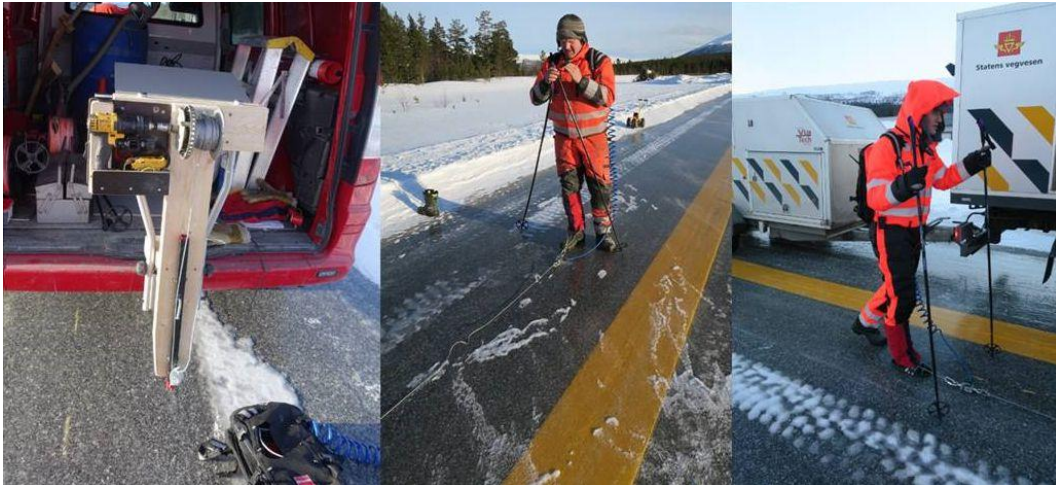


Kuva 24. Työterveyslaitoksen (TTL) kitkamittarin ja T2GO (Aalto) kitkamittarin vertailua (Elers 2010).

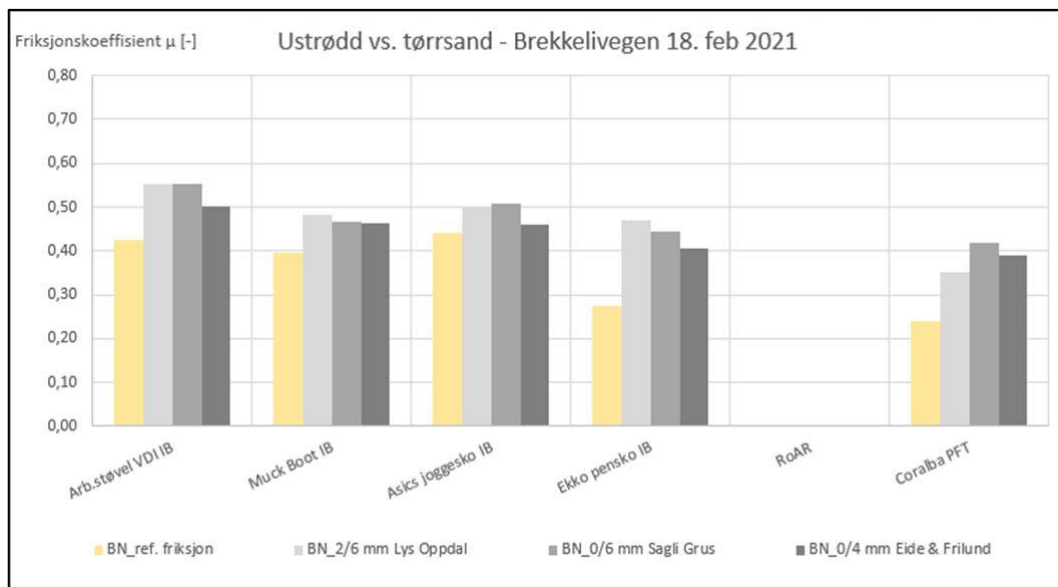
5.5 Ihminen kitkamittarina

Norjassa on meneillään vuosille 2017-2021 ajoittuva jalankulku- ja pyöräilyväylien tutkimusohjelma. Toistaiseksi valmistuneet raportit eivät ole juuri käsitelleet jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkan mittausta. Norjan tielaitoksen kunnossapito-osaston vetäjän Bård Nonstadin mukaan he ovat talvella 2020-21 tehneet asiaa koskevan tutkimuksen ja tutkimusraportin on määrä ilmestyä syksyllä. Nonstad kuitenkin lähetti jo tässä vaiheessa minulle tutkimusta koskevaa materiaalia (Nonstad 2021).

Saamani kuvamateriaalin mukaan norjalaiset ovat vetäneet vinssillä kävelijän jalkaa (kuva 24). He ovat todennäköisesti mitanneet voiman, jolla jalka on lähtenyt liikkeelle ja määrittäneet tämän perusteella jalkineen ja tien pinnan välisen kitkakerroimen. Tutkimuksessa he ovat verranneet tällä menetelmällä saatua kitkaa Ruotsin PFT:llä ja Roar-kitkamittarilla mitattuun kitkaan. Mittauksia on tehty erilaisilla alustoilla.



Kuva 24. Kengänpohjan kitkan määrittys (Nonstad 2021).



Kuva 25. Kengänpohjakitkan vertailua PFT:hen (Nonstad 2021).

Chuansi Gao ja John Abeysekera kertovat raportissaan, että kitkan mittaamiseen on keksitty lattiapinnoilla jopa 70 erilaista mittausmenetelmää, mutta yksikään niistä ei ole saavuttanut kansainvälistä johtoasemaa (Gao ja Abeysekera 2004). He kirjoittavat, että Manning ja Jones kokeilivat 1990-luvun alussa menetelmää, jossa jonkinlainen jousi- ja voimanmittausjärjestelmä kiinnitettiin seinään. Tämän jälkeen mittaajat työnsivät liukkaalla alustalla jousistoa sekä takaperin kantapäkösketuksella että etuperin. Laitteisto mittasi maksimivoiman, joka syntyi juuri ennen liukastumista. Gao ja Abeysekera kuitenkin mainitsevat, että vaikka lattiapintojen mittaamiseen on useita menetelmiä, jääpintojen kitkan mittausmenetelmiä on ainoastaan muutamia.

5.6 Auton käyttö kävely- ja pyöräilyväylällä

Luvussa 4 Oiva Huuskonen ehdotti, että autolla voitaisiin tehdä jarrutuskitkamittauksia vähäliikenteisillä kävely- ja pyöräilyväylillä. Valvontakonsultti Juha-Matti Vainio kertoi haastattelussa, että hän teki Turun kaupungille autolla jarrutuskitkamittauksia jalankulku- ja pyöräilyväylien harjasuolauskokeilussa talvikaudella 2019–20. Mittaukset tehtiin yöaikaan, jotta ne olisivat häirinneet väylän liikennettä mahdollisimman vähän. Vainion mukaan yöaikaankin väylällä liikkui useampia pyöräilijöitä, jotka vastustivat voimakkaasti ajoneuvon käyttöä kävely- ja pyöräilyväylällä. Vainiolle huudettiin asiattomuuksia ja ajoneuvon ovea potkittiin. Vainiolla oli ajoneuvossa asianmukaiset varoitusvalot ja ”mittaustyö”-kyttilt. Lisäksi Vainio pysähtyi väylän sivuun, kun havaitsi vastaantulevia jalankulkijoita tai pyöräilijöitä.

Vainiolla on yli kolmenkymmenen vuoden kokemus maanteiden kitkamittauksesta. Hän ei ole kuullut uransa aikana, että autoa olisi missään muualla käytetty systemaattisesti jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkamittaukseen (Vainio 2021).

5.7 Kiinteä mittaus

Periaatteessa jalankulku- ja pyöräilyväylien varteen olisi mahdollista asentaa kiinteitä mittausasemia maanteiden tiesääsasemien tapaan. Jalankulku ja pyöräilyväylien melko suurten kitkanvaihteluiden vuoksi asemia tulisi olla melko tiheään, jolloin tällaisen järjestelmän kustannus olisi huomattava.

5.8 Muita ajatuksia

Suurimpien urheilukellojen valmistajien valikoimissa on erityisesti juoksun harrastajien tarpeeseen valmistettuja kenkäantureita (kuva 26). Nämä kengännauhoihin kiinnitettävät lisälaitteet on varustettu yleensä kiihtyvyyssanturilla ja ne mittaavat askelnopeutta, askelpituutta ja juoksuvahtia. Laitteet lähettävät mittaustiedon langattomasti urheilukelloon ja tiedot ovat kellosta edelleen siirrettävissä esim. matkapuhelimeen. Tällä kiihtyvyyssanturiteknologialla olisi todennäköisesti helppoa havaita myös liukastumiset. Mikäli tietyllä alueella olisi runsaasti kenkäantureita käyttäviä jalankulkijoita, voitaisiin periaatteessa liukastumistietoa kerätä joukkoistetusti. Laadunvalvonnan apuvälineeksi menetelmä ei kuitenkaan sovi. Menetelmä saattaisi myös osoittautua melko kalliiksi hyötyihin nähden.



Kuva 26. Suomalaisen Polar Electron kehittämä kenkäanturi (Polar).

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Suomessa maanteiden kitkaa on mitattu jo 1980-luvulta lähtien. Maanteiden kitkamittaus perustuu yleensä auton käyttöön, mutta jalankulku- ja pyöräilyväylillä auton käyttö kitkamittauksessa ei ole turvallista. Tämän johdosta jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkamittaus on jäänyt Suomessa hyvin vähäiseksi. Tarvetta kuitenkin olisi, sillä Suomessa tapahtuu vuosittain keskimäärin 4600 sairaalahoitoa vaatinutta talveen liittyvää liukastumistapaturmaa, joista aiheutuu vähintään satojen miljoonien eurojen kustannukset. Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida kävely- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistuksen haasteita sekä selvittää eri tapoja väylien kitkan mittaukseen.

Kävely ja pyöräilyn liukastumismekanismi on sellainen, jota on hyvin vaikea millään tunnetulla mittarilla tarkasti jäljitellä. Jalankulkijoiden liukastumisonnettomuudet usein syntyvät nollakelissä tai pienellä pakkasella. Usein kyseessä on nopea lauhduminen, lumisade tai alijäähtynyt sade. Jalankulku- ja pyöräilyväylille levitetty sepeli on ruotsalaistutkimuksen syynä jopa joka viidenteen pyöräilijän liukastumisonnettomuuteen. Sepeli voi toimia tietyissä olosuhteissa rullalaakerin tavoin.

Asfaltti on paras pyöräilyväylän pintamateriaali. Katukivet, punaiseksi maalatut päällysteet sekä puiset ja metalliset rakenteet ovat usein mustaa asfalttia liukkaampia talvella.

Kävely- ja pyöräilyväylien liukkautta torjutaan perinteisesti hiekoittamalla. Vuoden 2010 tutkimuksen mukaan hiekoitus auttaa pyöräilijöitä hyvin harvoin. Harjasuolausmenetelmä on lisääntymässä liikennöidyimmillä väylillä. Menetelmä on kallis, mutta ilmeisesti etenkin pyöräilijöille paras. Viime aikoina on testattu puulastujen ja sahanpurun käyttöä kävely- ja pyöräilyväylien liukkauden torjunnassa. Menetelmän etuna on vähäisempi pölyäminen sekä parempi pysyvyys polanteen tai jään pinnassa. Lämpiminä päivinä sepeli voi upota polanteen tai jään pinnan alle.

Jalankulku- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistukseen liittyy useita haasteita. Maanteiden kitkamittauksessa kitkaa mitataan aina ajourista, mutta mikä on oikea mittauskohta jalankulku- ja pyöräilyväylillä? Mittauskohta on tärkeä, sillä jalankulku- ja pyöräilyväylien kitka voi vaihdella poikittaissuunnassa paljonkin. On tilanteita, missä hiekoitus ei ole ulottunut koko väylän leveydelle ja tilanteita, missä hiekoitus on painunut polanteen sisään väylän reunoilla, missä on enemmän pyöräliikennettä. Lisäksi on mahdollista, että jalankulku- ja pyöräilyväylän pituussuuntaisen kitkan vaihtelu on jopa suurempaa kuin maanteilla. Tämä heikentää piste-kohtaisten mittausnäytteiden edustavuutta.

Ruotsissa kehitettiin 2010-luvulla jalkaisin työnnettävä mekaaninen kitkamittari PFT. Testien mukaan mittarin ilmoittama kitka vastaa pitkälle polkupyörän jarrutuskitkaa ja Saab Friction Testerin kitkaa. PFT on Ruotsissa hyväksytty jalankulku ja pyöräilyväylien viralliseksi kitkamittariksi. Vastaavia jalkaisin työnnettäviä kitkamittareita on muillakin valmistajilla. Mittarityypin heikkous on siinä, että mittari antaa irtoaineksen (esim. irtolumi) kitkaksi usein yllättävän matalia kitka-arvoja. Lisäksi mittarin heikkoutena on matala mittausnopeus ja melko korkea hinta. Mittaria voisi silti myös Suomessa testata.

Markkinoilta löytyy myös pienikokoisia vedettäviä mekaanisia kitkamittareita. Tällaisten vetäminen mönkijällä lienee periaatteessa mahdollista. Mönkijän käyttö kävely- ja pyörätiellä on kuitenkin lähtökohtaisesti kielletty.

Valvontakonsultti Juha-Matti Vainio on käyttänyt optista RCM411 kitkamittaria sähköavusteisessa polkupyörässä seurattessaan jalankulku- ja pyöräilyväylien talvihoidon tasoa Porissa ja Turussa talvikaudella 2020-21. Optisen kitkamittarin haasteena on, että laite tunnistaa melko huonosti hiekoitusmateriaalin. RCM411 kehittäjä Taisto Haavasoja kuitenkin katsoo, että mikäli talvihoidon seuranta jalankulku- ja pyöräilyväylillä yleistyisi, laitetta voisi yrittää kehittää siihen suuntaan, että se havaitsisi myös hiekoituksen. Optinen kitkamittari ei ole kuitenkaan virallinen talvihoidon valvonnan kitkamittari. Erilaisten kevyiden kuljetuspalveluiden yleistyessä olisi periaatteessa mahdollista varustaa jakeluyhtiön poljettava laite optisella kitkamittarilla. Lisäksi mittaria olisi mahdollista käyttää työmatkapyöräilyssä.

Polkupyörän jarrutuskitkamittausta on tutkittu jonkin verran. Kenttäkokeissa polkupyörän kitkan vaihtelu on ollut suurempaa kuin maanteille suunniteltujen kitkamittarien kitkan vaihtelu. Norjassa polkupyörän jarrutuskitkamittausta on tutkittu laboratorio-olosuhteissa niin, että kitkatulokset on laskettu uudenlaisen kaavan perusteella. Laboratoriotulokset ovat olleet lupaavia, mutta järjestelmää ei ole vielä päästy testaamaan todellisissa kenttäolosuhteissa. Tässä tutkimuksessa ei löydetty ainoatakaan lähdettä, missä polkupyörän jarrutuskitkamittausta olisi testattu kolmi- tai nelipyöräisellä polkupyörällä. Periaatteessa voisi kuvitella, että jarrutus tapahtuman hallinta olisi helpompaa ja mittausturvallisempaa useampipyöräisellä polkupyörällä.

Suomessa Työterveyslaitos on kehittänyt hydraulisen kitkanmittauslaitteen, joka simuloi jalankulkijan kantaiskuvaiheen askelliukua. Mittari sisältää keinotekoisien jalkaterien, joihin voidaan kiinnittää erilaisia kenkiä. Mittarilla on pystytty saamaan varsin uskottavia tuloksia mm. jalkinevalintaan liittyen. Laite on isokokoinen ja sen siirtely on vaikea. Laitetta voidaan käyttää referenssimittarina, mutta tuotantomittauksiin se ei sovellu.

Joissain tutkimuksissa on käytetty myös elävää ihmistä simuloimaan jalankulkijan kokemaa kitkaa. Norjassa on vedetty jäällä seisovan ihmisen jalkaa voimaa mittaavalla laitteistolla. Kirjallisuudesta löytyy menetelmä, jossa liukkaalla pinnalla oleva ihminen yrittää työntää seinässä olevaa voimaa mittaavaa jousijärjestelmää. Nämäkin menetelmät soveltuvat lähinnä referenssiksi varsinaista tuotantomittausmenetelmää valittaessa.

Valvontakonsultti Juha-Matti Vainio kertoi, että hän on suorittanut autolla jarrutuskitkamittauksia jalankulku- ja pyöräilyväylillä Turun kaupungin harjasuolauskokeilussa talvikaudella 2019-20. Vaikka mittauksia pyrittiin tekemään hiljaisen liikenteen aikaan, polkupyöräilijät eivät lainkaan sietäneet mittaustyövaloilla varustettua ajoneuvoa, vaan häiritsivät mittauksia.

Jatkotutkimuksen kannalta yksi mielenkiintoisimpia vaihtoehtoja on jarrutuskitkanmittaus useampipyöräisellä sähköavusteisella polkupyörällä. Maanteiden laadunvalvonta perustuu jo jarrutuskitkamittaukseen, joten olisi luontevaa käyttää jarrutuskitkamittausta myös jalankulku- ja pyöräilyväylillä. Periaatteessa jarrutuskitkamittausta voisi kokeilla myös mönkijällä, mutta koska mönkijän käyttö on lähtökohtaisesti kielletty jalankulku- ja pyöräilyväylillä, mittausten juridinen puoli olisi

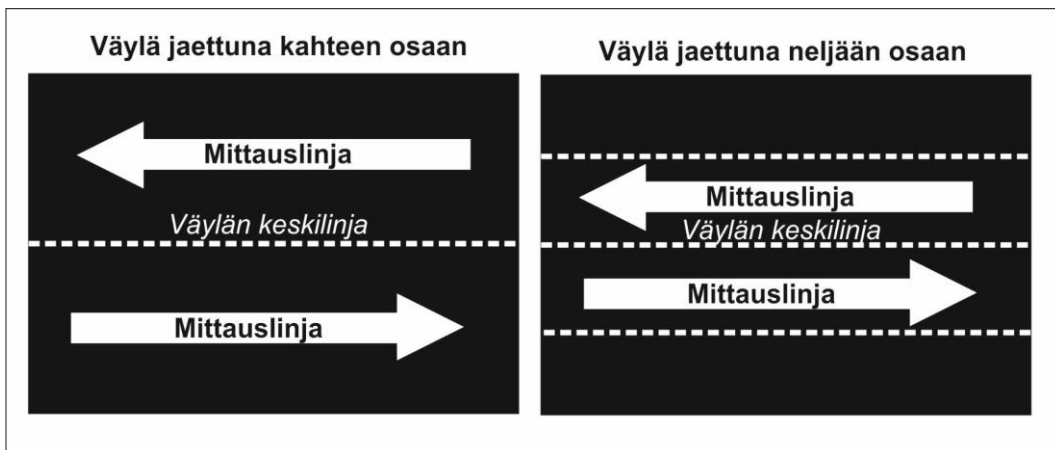
ensin selvitettävä. Lisäksi on mahdollista, että jalankulku- ja pyöräilyväylien käyttäjät osoittavat mieltään myös mönkijän käyttöä vastaan. Mikäli mönkijän käyttö jalankulku- ja pyöräilyväylillä olisi mahdollista, olisi myös mahdollista käyttää mönkijää vetämään jatkuvatoimista mekaanista kitkamittaria. Kaikkien mekaanisten kitkamittarien haittana on varsin korkea hankintahinta.

Jalkaisin työnnettävän kitkamittarin käytön ongelmana on hyvin hidas mittausnopeus. Menetelmällä pystyttäisiin tekemään vain pistekohtaisia tarkistuksia. Toisaalta kitkan vaihtelu jalankulku- ja pyöräilyväylillä on usein suurta eikä siten puolla pistekohtaisia mittauksia.

Yksi jalankulku- ja pyöräilyväylien kitkanmittauksen haasteista liittyy mittauskohdan valintaa poikittaissuunnassa. Jalankulku- ja pyöräilyväylillä vallitsee yleensä oikeanpuoleinen liikenne, jolloin eräs looginen mittauskohta olisi väylän oikeanpuoleinen reuna mittaussuunnassa. Jos väylä on silminnähten liukas tietystä poikileikkauksen kohdasta ja pitävämpi toisesta, on oletettavaa, että väylän käyttäjä valitsee pitävämmän kohdan. Pitäisikö mittaus siten aina suorittaa kohdasta, joka näyttää pitävimmältä? Tähän menetelmään liittyy kuitenkin paljon spekulatiivisuutta.

Mittauslinja voidaan valita myös siten, että mittaja jakaa silmämääräisesti väylän useampaan osaan. Ehkä luonnollisin valinta olisi sellainen, että väylä jaetaan leveyssuunnassa kahteen yhtä leveään osaan ja mittaja pyrkii ajamaan keskellä tätä puolikasta (kuva 27, "Väylä jaettuna kahteen osaan"). Jos mittaus halutaan lähemmäksi väylän keskilinjaa, väylä voidaan jakaa leveyssuunnassa neljään yhtä leveään osaan ja kohdistaa mittaukset sisimpiin neljänneksiin (kuva 27, "Väylä jaettuna neljään osaan").

Uusi tieliikennelaki lähtee siitä oletuksesta, että jalankulku- ja pyöräilyväylät ovat kaksisuuntaisia. Erikoistapauksissa, eli baanoilla mittaus voitaisiin suorittaa jopa kolmesta kohtaa.



Kuva 27. Ehdotuksia mittauslinjan valinnaksi

Mikäli mittaus suoritetaan jarrutuskitkamittauksella sellaisella useampipyöräisellä polkupyörällä, jossa on vierekkäin kaksi tai kolme jarruttavaa pyörää, mittausulos on jo automaattisesti eräänlainen keskiarvo väylän kahdesta tai kolmesta kohdasta.

Lähdeluettelo

- Anttila, Virpi 2001: Talvijalankulku, liukastumistapaturmat ja kelitiedottamisen kehittäminen. VTT tiedotteita 2110. 65 s.
- Aschan, Carita; Hirvonen, Mikko; Rajamäki, Erkki; Mannelin, Tarmo 2004: Konferenssiesitelmä. The Fifth International Conference on Walking in the 21st Century, June 9-11 2004, Copenhagen, Denmark. 10 s.
- Chang, Wen-Ruey; Courtney, Theodore K.; Grönqvist, Raoul; Redfern, Mark 2003: Measuring slipperiness. Human locomotion and surface Factors. Taylor & Francis. 14 s.
- Chuansi, Gao; Abeysekera, John 2004: A systems perspective of slip and fall accidents on icy and snowy surfaces. Ergonomics 2004, vol 47, no. 5. 27 s.
- Elers, Klaus 2010: Kevyen liikenteen väylän liukkaudentorjunnan riittävyyden arvioinnin kehittäminen. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Teknillinen korkeakoulu.
- Fenre, Mathis Dahl; Klein-Paste, Alex 2019: A Torque Based Method for measuring bicycle braking friction. Conference paper. 13 s.
- Giudici, Henri 2019: Road State Monitoring System Project: Field campaign and laboratory test results 2019. 41 s.
- Haavasoja, Taisto 2021. Tekniikan tohtori Taisto Haavasojan haastattelu 20.4.2021.
- Hippi, Marjo; Hartonen, Sari; Hirvonen, Mikko 2017: Työmatkatapaturmien vähentäminen kelivaroitussmallia kehittämällä. Ilmatieteenlaitos. Raportteja 2017:3. 40 s.
- Kuusela, Rauno; Kaarre, Seppo; Huuskonen Oiva 2021: Haastattelu (Teamsin välityksellä) jalankulku- ja pyöräilyväylien liukkaudentunnistusmenetelmistä 19.4.2021.
- Hellman Fredrik; Niska, Anna; Blomqvist, Göran 2019: Orsaker till halka på cykelvägar och belägningens inverkan. En beskrivning av kunskapsläget. VTI notat 18-2019. 30 s.
- [Härmäpyörä](#): Kuva härmäpyörän internet-sivuilta.
- Karhula, Kaisa; Raatikka, Minna; Jokiranta, Anna 2018: Pyöräväylien priorisoitu talvihoito. Loppuraportti kokeilusta 201–18. 24 s.
- Karhunen Antti 2021: [Pohjoissavolaisessa pikkukunnassa testataan, voiko sahanpuru korvata hiekoitushiekan liukkauden torjunnassa – tarttuu jään pintaan hyvin](#). YLEn verkkouutinen 11.4.2021.
- Karlsson, Hampus; Roche-Cerasi, Isabelle; Rise, Torun 2020: Kartlegging av nye kjøretøy- eller maksinteknologier for vinterdrift av gang- og sykkelveger. Lavutslipps- og autonome kjøretøyer eller selvkjørende maskiner. Sintef 2020:00525. 47 s.
- Koistinen Matti 2020: Pyöräliiton tiedote: [Pyöräteiden talvikunnossapito pitäisi sopeuttaa ilmastoon – nyt jopa viidennes pyöräilijöiden kaatumisista johtuu sepelistä](#).

Liikennevirasto 2017: [Maanteiden talvihoito. Menetelmätieto](#). Liikenneviraston ohjeita 1/2017. 103 s.

Lönnqvist, Jan 2021: Sähköpostikeskustelu PFT:n hinnasta 31.3.2021.

Malmivuo, Mikko 2001: [Kitkanmittauslaitteiden vertailututkimus 2000](#). Tiehallinnon selvityksiä 6/2001. 78 s.

Malmivuo, Mikko 2011: [Kitkamittareiden vertailututkimus 2011](#). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/ 2011. 80 s. + liitt.11 s.

Niska, Anna; Blomqvist, Göran 2015: Sopsaltning av cykelvägar. Utvärdering av försök i Stockholm vintern 2013/14. VTI Notat 28-2015. 102 s.

Niska, Anna; Blomqvist Göran; Hjort, Mattias 2018: Cykelvägars friktion. Mätningar i fält i jämförelse med cykeldäcks friktion på olika underlag i VTI:s däckprovningensanläggning. VTI rapport 993.

Nonstad, Bård 2021: Nonstadin sähköpostitse lähettämiä kuvia luonnosvaiheen tutkimusraportista 6.4.2021.

Penttinen, Merja; Nygård, Magnus; Harjula, Virpi; Eskelinen, Minna 1998: Jalankulkijoiden liukastumiset, vaikeimmat kelit ja niiden ennustaminen sekä tiedottamiskokeilu pääkaupunkiseudulla. VTT Tiedotteita. 60 s.

[Podbike](#): Kuva Podbiken internet-sivuilla.

[Polar](#): Kuva Polar Electron juoksusensorista.

Rekilä, Katja-Pauliina 2015: Bicycle braking friction measurements on winter roads. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 50 s. + liitt. 31 s.

Ruuhela, Reija; Ruotsalainen, Johanna; Kangas, Markku 2005: Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi. Jaloin-ohjelma. 47 s.

Salo, Roope-Taneli 2015: [Puulastujen käyttö liukkauden torjunnassa kevyen liikenteen väylillä](#). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 62/ 2015. 74 s.

Sipilä, Pekka 2021: Vähälän tuotantopäällikkö Pekka Sipilän haastattelu 26.4.2021.

Sjögren, Leif 2019: Metodbeskrivning för handragen friktionsmätare. Bestämning av friktion med en dynamisk mätmetod på cykel- och gångvägar samt vägmarkeringsytor. VTI notat 26-2019. 28 s.

THL 2019: [Varaa aikaa, vältä kiire ja pysy pystyssä talviliukkailla](#). Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen verkkoartikkeli.

[Transtec Group](#): Internet-sivu.

[TWO: Traction watcher one friction meter](#). Yhtiön internet-sivut.

Vainio, Juha-Matti 2021: Puhelinhaastattelu 13.4.2021.

[West Coast Road Masters 2020](#): Kuva West Coast Road Masters Facebook-sivuilla.



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-885-4
www.vayla.fi