

Kyösti Laukkanen & Timo Unhola

Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000



Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000

Kyösti Laukkanen & Timo Unhola
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-5791-3 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5792-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Väylät ja ympäristö, Betonimiehenkuja 1, PL 19041, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 467 927

VTT Bygg och Transport, Infrastruktur och miljö,
Betongblandargränden 1, PB 19041, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 467 927

VTT Building and Transport, Infrastructure and Environment,
Betonimiehenkuja 1, P.O.Box 19041, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 467 927

Toimitus Leena Ukoski

Otamedia Oy, Espoo 2001

Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo. Ajoharjoitteluratojen liukasalue tutkimus. Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000. [Low friction areas of driving training tracks. Laboratory and field tests 2000 / Lågfrikionsytor för trafikövningsplatser. Laboratorie- och fältforskning 2000]. Espoo 2001, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2079. 58 s. + liitt. 8 s.

Avainsanat drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement

Tiivistelmä

Suomessa on 28 ajoharjoittelurataa ajokorttiin tähtäävän koulutuksen käytössä. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka suoritti vuosina 1999–2000 liikenne- ja viestintäministeriön, Ajoneuvohallintokeskuksen, Liikenneturvallisuuden edistämissäätiön ja liukaspintamateriaalien edustajien rahoittaman ajoharjoitteluratojen liukasalueisiin kohdistuneen tutkimuksen. Tutkimus sisälsi esiselvityksen, laboratoriokokeet ja kenttäkokeet. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää olemassa olevien ratojen nykytila ja tuoda esiin erilaiset ratkaisut liukaspintojen kunnostamiseksi.

Tutkimuksen esiselvitysraportissa esitetään yhteenveto ratojen teknisistä ominaisuuksista, kustannuksista, käytöstä, kunnosta ja korjaustarpeesta, turvallisuudesta, ympäristövaikutuksista ja ratoja koskevien ohjeiden muutostarpeista. Lisäksi jokaisesta radasta on erillinen ratakohtainen kuvaus. Esiselvityksen keskeisiä tuloksia käsitellään tämän julkaisun kohdassa "Yhteenveto".

Laboratoriokokeissa tutkittiin liukaspintamateriaalien kitka, nastarengaskulumiskestävyys, ohuiden pinnoitteiden tartuntalujuus asfaltti- ja teräsalustaan, kemiallinen yhteensopivuus asfaltin kanssa ja UV-kestävyys. Laboratoriossa tutkittiin kolme erilaista polyuretaania, grafiitti, valuasfaltti, komposiitti Densifalt, graniittikivi ja kaksi teräslaattaa. Lähes kaikkien näiden materiaalien sekä betonin ja tiemerkinämässän kitka tutkittiin lisäksi koekentällä ja/tai käytössä olevalla ajoharjoitteluradalla.

Nykyisin liukasalueilla käytettyjen teräs-, polyuretaani-, kivi- ja betonipintojen ominaisuuksissa on eroja, joiden merkitys pintamateriaalin valinnassa painottuu mm. radan taloudellisten mahdollisuuksien, sijainnin ja ympäristövaatimusten mukaan. Kivipinnan etuja ovat, että sen liukasteeksi riittää pelkkä vesi ja sillä on hyvä kulumiskestävyys ja mahdollisuus kitkatason ylläpitoon hiomalla. Kiven valintaa liukaspintamateriaaliksi rajoittaa lähinnä rakenteen hinta. Myös toistaiseksi käytetyllä kovalla polyuretaanilla riittää liukasteeksi vesi, mutta se ei kestä hyvin nastarengkaita. Teräksen etu on hyvä nastarengaskulutuskestävyys. Sen ongelmina ovat vahan tai öljyn tarve liukasteena ja vaikeus jäädyttää teräspinta talvella. Betoni kestävä hyvin kulutusta, mutta myös sen liukasteeksi tarvitaan vaha tai öljyä.

Eräs uusi mahdollinen vaihtoehto liukaspintamateriaaliksi on joustava polyuretaani, joka omaisi hyvän kulumiskestävyyden laboratoriokeessa sekä hyvät kitkaominaisuudet. Se kesti paremmin kuin mikään muista materiaaleista nastarenkaita laboratoriokeessa. UV-säteily aiheutti värimuutoksia kaikkiin tutkittuihin polyuretaaneihin ja joustavaan polyuretaaniin lisäksi hiushalkeilua. Nämä vauriot eivät vaikuttaneet merkittävästi laboratoriossa tehdyn kulumiskestävyyskokeen tuloksiin. Joustavassa polyuretaanissa todettujen muutosten merkitystä kestävyiden kannalta ei voitu varmasti osoittaa. Joustavan polyuretaanin käyttöä liukasradoilla tulisi siksi kokeilla aluksi koerakentamisen avulla, ja sen nastarengaskestävyys tulisi varmentaa tieolosuhteissa tehtävällä kokeella.

Densifalt-komposiitti, jota esim. Ruotsissa on käytetty joillakin uusilla liukasradoilla, ei osoittautunut erityisen hyväksi liukaspintavaihtoehdoksi. Se ei ollut liukas, eikä sen liukastusaineeksi riittänyt pelkkä vesi.

Grafiitin kulumiskestävyys muihin liukaspintamateriaaleihin verrattuna oli heikko. Tästä syystä asfaltin pinnalle levitettyllä grafiitilla ei saavuteta pysyvästi alhaista kitkaa, vaan grafiittikäsitteily joudutaan uusimaan aika ajoin. Grafiitti toimisi tällöin liukasteaineena. Grafiitilla saattaa olla kehittymismahdollisuuksia yhdistettyyn käyttöön jonkin toisen liukaspintamateriaalin kanssa.

Tiemerkintämassan kitkakerroin oli korkea ja kitkatason pysyvyys oli heikko, kun pintaa kulutettiin hiekkapuhalluksella, eikä se tämän tutkimuksen mukaan osoittautunut hyväksi liukaspintamateriaaliksi.

Kahden tutkitun teräsmateriaalin välillä ei todettu keskinäisiä eroja teräksen soveltuvuudessa liukaspintamateriaaliksi. Tulevaisuudessa tulevat korostumaan öljyn käyttöön teräspinta-aisilla liukasradoilla liittyvät ympäristönsuojelunäkökohdat. Maalinvalmistajia ei saatu tässä tutkimuksessa mukaan kehitystyöhön, jolla olisi haettu teräsradoille maali-pinnoite, jolle kitkaa alentavaksi liukastusaineeksi olisi riittänyt pelkkä vesi.

Julkaisussa esitetään vertailu eri pintamateriaalien kitkatasoista sekä muista tutkituista toiminnallisista ominaisuuksista sekä esimerkkitapauksia erilaisista liukasalueiden korjaustapavaihtoehdoista ja korjauskustannuksista. Liukasalueiden ohjeelliseksi kitkakerroin suositukseksi esitetään 0,20–0,30 mitattuna VTT:n kitkanmittausautolla märeältä pinnalta hyväkuntoisilla kesärenkailla. Liukaspintojen tutkimusyhteistyötä esitetään jatkettavaksi projektissa, johon osallistuisivat liikenne- ja viestintäministeriö, Ajoneuvohallintokeskus, Suomen Autokoululiitto, ajoharjoitteluratojen edustaja sekä VTT. Jatko-toimenpide-ehdotukset sisältävät sisältävät useita liukasalueiden materiaaleihin, niiden vaurioihin, korjaustapoihin ja ympäristönsuojeluun kohdistuvia tutkimuksia.

Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo. Ajoharjoitteluratojen liukasalue tutkimus. Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000. [Low friction areas of driving training tracks. Laboratory and field tests 2000 / Lågfrikionsytor för trafikövningsplatser. Laboratorie- och fältforskning 2000]. Espoo 2001, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2079. 58 p. + app. 8 p.

Keywords drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement

Abstract

In Finland there are 28 tracks with low friction areas for skid training aiming at driving licence. During 1999–2000, VTT Building and Transport carried out a study of low friction tracks. It was financed by the Ministry of Transport and Communications, Vehicle Administration, Foundation for Promotion of Traffic Safety, and agents of low friction materials. The study was divided in three parts: a preliminary study, a laboratory study and a field study.

A summary of the technical properties of the Finnish driving training tracks, costs, usage, state, need for repair, safety, environmental aspects and need for change of specifications for low friction areas is presented in the preliminary study. Furthermore, a separate description of each track is included.

The friction properties, studded tyre wearing resistance, adhesion of thin coatings to asphalt and steel base, chemical compatibility with bitumen, and the ultraviolet radiation resistance of alternative low friction materials were studied at laboratory tests in the year 2000. The materials tested at laboratory included three different polyurethanes, graphite, mastic asphalt, composite pavement Densiphalt, granite stone slabs and two different types of steel. In addition, most materials mentioned above as well as concrete and a road marking mixture were also subjected to friction measurements on a test field and/or on a skid training track in use.

On granite stone slabs or polyurethane-coated low friction tracks, which nowadays are in use, pure water worked well as lubricant. Stone had a better resistance against studded tyres than the hard polyurethane. According to the results an elastic polyurethane mass might be a new alternative low friction material. It had a better wearing resistance than any other material in the laboratory test against studded tyres. The wearing resistance of polyurethane mass should, however, be verified by a wearing test carried out on a road. Ultraviolet radiation caused colour changes in all polyurethanes tested, including also hair cracking in the elastic polyurethane. These damages did not have any effect on the Tröger wearing test results performed at laboratory. Therefore the real significance of the changes in polyurethanes could not be reliably proven. Accordingly, the use of

elastic polyurethane should first be experimented in a test construction. Based on a test construction on track and a test carried out in road conditions it will be possible to obtain additional necessary information about the ultraviolet radiation resistance of the material.

Densiphalt composite pavement, which has been used e.g. in Sweden on some skid training tracks proved not to be a very good alternative for low friction areas. It was not slippery and water alone was not a sufficient lubricant for it.

The wearing resistance of graphite was poor, as compared with the other low friction materials. For this reason a permanent low friction will not be achieved with a graphite membrane sprayed on asphalt concrete but the treatment must be repeated from time to time. In this case graphite would work as a lubricant. Some development possibilities may exist for graphite in combined use with some other low friction surface material.

The friction coefficient of the road marking mass layer was high and the stability of the friction level was poor upon wearing away of the surface by sand blasting. According to this study the mass layer proved not to be a recommendable low friction material.

There were no differences between the two steel materials in their suitability for low friction material. In the future the environmental protection aspects associated with the use of oil as a lubricant on steel-coated low friction tracks will gain more significance. Paint manufacturers were not interested to participate in development work to find a steel surface paint coat, for which water alone would work as a friction-reducing lubricant.

A comparison of the friction levels of different surface materials and other tested functional properties is shown in the report along with cases and costs of different alternatives for reparation of low friction areas. As a directive guideline for friction coefficient of low friction areas, values of 0,20–0,30 are proposed as measured by the VTT's friction measuring vehicle (side friction method, wet surface, summer tyres in a good condition).

This study dealt with the low friction materials comparatively widely, and on the basis of its results it is possible to compare the functional properties of various materials. The research co-operation of low friction areas should be continued in a research project, in which the Ministry of Transport and Communications, Vehicle Administration, Foundation for Promotion of Traffic Safety, an agent of the tracks and VTT would participate. The follow-up study proposals include several studies focusing on low friction materials, their failures, repair methods and environmental protection.

Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo. Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus. Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000. [Low friction areas of driving training tracks. Laboratory and field tests 2000 / Lågfriktionsytor för trafikövningsplatser. Laboratorie- och fältforskning 2000]. Esbo 2001, Statens tekniska forskningscentral, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2079. 58 s. + bil. 8 s.

Nyckelord drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement

Referat

I Finland finns 27 trafikövningsplatser med konventionella halkområden och en övningsplats avsedd för Skid-Car vid utbildning för körkort. VTT Bygg och Transport finansierad av Kommunikationsministeriet, Fordonsförvaltningscentralen, Stiftelsen för trafiksäkerhetets främjande och representanter av lågfriktionsytmaterial utförde under åren 1999–2000 en utredning av halkytor på trafikövningsplatser. Utredningen innehöll en preliminär utredning, laborieforskning och fältprov. Utredningens syfte var att ta reda på det nuvarande tillståndet av trafikövningsplatser och ta fram olika alternativ av underhållsåtgärder.

Rapporten av den preliminära utredningen innehåller ett sammandrag om tekniska egenskaper av trafikövningsplatser, kostnader, bruk, tillstånd, reparationsbehov, säkerhet, miljöinverkan och behov att ändra anvisningar gällande trafikövningsplatser. Det finns därtill i rapportens bilaga en skild beskrivning om varje trafikövningsplats.

I laboratoriet undersöktes friktionsegenskaper, slitstyrka mot dubbdäck, vidhäftning mot stål- och asfaltunderlag samt kemiska kompatibilitet mellan bitumen och tunna ytbeläggningar samt resistens mot ultraviolettstrålning. Material, som testades i laboratoriet, var tre olika polyuretaner, grafit, gjutasfaltbeläggning, Densifalt kompositbeläggning, stenplattor av granit och två stålart. Friktion av nästan alla ovan nämnda material samt betongbeläggning och vägmarkeringsmassa undersöktes också på provfält och/eller trafikövningsplats.

De nuvarande halkytor av stål, polyuretan, sten och betong har skillnader, som har betydelse i val av ytmaterial på grund av bl.a. trafikövningsplatsens ekonomiska möjligheter, belägenhet och miljökrav. Fördelar av stenyta är att som halkmedel behövs enbart vatten, den har bra slitstyrka och friktionsnivån kan upprätthållas med hjälp av slipning. Bruket av stenmaterial begränsar priset av konstruktionen. Också för en hittills använd hård polyuretan behövs enbart vatten som halkmedel, men den har ingen god resistens mot slitage av dubbdäck. Fördelen med stål är en bra slitstyrka, men dess problem är behov av vax eller olja som halkmedel och problem med att frysa

ytan på vintern. Betong har en bra slitstyrka, men kräver också som halkmedel för vax eller olja.

På basen av de utförda proven fanns ett nytt ytmaterial, en elastisk polyuretanmassa, som hade i laboratorieproven en bra slitstyrka mot dubbdäck och goda friktionsegenskaper. Ultravioletstrålning förorsakade färgändringar i alla polyuretaner och därtill sprickbildning i elastisk polyuretan. Användning av elastisk polyuretan på halkområden borde undersökas först i provbyggnad för att få mera information som behövs om materialets resistens mot ultravioletstrålning och slitage.

Densifalt, som t.ex. i Sverige har använts på några nya halkytor, befanns inte vara speciellt bra. Den var inte hal och enbart vatten räckte inte som halkmedel.

Slitstyrkan av grafit var dålig jämförd med andra halkytmaterial. Därför kan man inte nå en beständig friktion med grafit utbredd på asfaltyta, utan grafitbehandlingen måste förnyas med jämna mellanrum. Grafit fungerade då som halkmedel.

Friktionskoefficienten av vägmarkeringsmassan var hög och beständigheten av friktionsnivån dålig, när ytan släts med sandblåsning. Enligt denna forskning är vägmarkering inte ett gott halkytmaterial.

Mellan två olika stålmaterial fanns inga skillnader för lämplighet till halkytmaterial. I framtiden kommer synpunkter av miljöskydd kommer att betonas i bruk av olja på halkytor av stål.

I rapporten uppvisas en jämförelse av friktionsnivåer och andra undersökta funktionella egenskaper av olika ytmaterial samt exempel på olika sätt att underhålla halkytor och underhållskostnader. Som en normativ friktionskoefficient rekommenderas 0,20–0,30 mätt på våt yta med VTT's friktionsfordon utrustad med sommardäck i bra skick.

Ett forskningssamarbete av halkytor föreslås fortsätta i en projekt, var skulle ta del Kommunikationsministeriet, Fordonsförvaltningscentralen, Finlands Bilskoleförbund rf. och representant av trafikövningsplatser samt VTT. Rekommendationer för framtida åtgärder innehåller flera undersökningar av material för halkytor, deras skador, underhållsmetoder och miljöeffekter.

Alkusanat

Useimmat kuljettajakoulutuksessa käytettävistä maamme 28 ajoharjoitteluradasta ovat olleet käytössä jo kymmenen vuoden ajan. Ajoharjoitteluradat on tarkoitettu erityisesti liukkaalla ajamisen ympärivuotiseen harjoitteluun. Monella radalla on lähiaikoina edessä täydellinen peruskorjaus tai uusiminen.

Tämä tutkimus sisältää Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimuksen vuonna 2000 toteutetut liukaspintamateriaalien laboratoriotutkimukset, koerakenteilla sekä ajoharjoitteluradoilla tehdyt kitkatutkimukset sekä malliratkaisuja liukasalueiden kunnostamiseksi. Tutkimuksen ovat rahoittaneet liikenne- ja viestintäministeriö, Ajoneuvohallintokeskus, Liikenneturvallisuuden edistämissäätiö sekä tutkittujen materiaalien edustajat. Tutkimusta on ohjannut ryhmä, jonka työhön ovat osallistuneet

Pekka Tiainen	Liikenne- ja viestintäministeriö
Ove Knekt	Ajoneuvohallintokeskus
Veijo Tuononen	Ajoneuvohallintokeskus
Jarkko Hietämäki	Suomen Autokoululiitto ry.
Seppo Asikainen	Suomen Autokoululiitto ry.
Tapani Rintee	Suomen Autokoululiitto ry.
Timo Unhola	VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kyösti Laukkanen	VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Tutkimusraportin ovat laatineet erikoistutkija Kyösti Laukkanen ja tutkija Timo Unhola VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

Förord

De flesta av landets 28 övningsbanor för körundervisningen har redan varit i bruk under tio år. Övningsbanorna är avsedde speciellt för övning i halkkörning året runt. Flera av banorna måste i en snar framtid genomgå en fullständig grundreparation eller helt förnyas.

Denna rapport innehåller år 2000 utförda laboratorieutredningar av halkytmaterial och friktionsutredningar på provfält och/eller trafikövningsplats samt modellösningar för att sätta halkområdena i stånd på nytt. Kommunikationsministeriet, Fordonsförvaltningscentralen, Stiftelsen för trafiksäkerhetets främjande och representanter av lågfriktionsytmaterial har finansierad utredningen. Medlemmar i arbetets styrgrupp har varit:

Pekka Tiainen	Kommunikationsministeriet
Ove Knekt	Fordonsförvaltningscentralen
Veijo Tuononen	Fordonsförvaltningscentralen
Jarkko Hietamäki	Finlands Bilskoleförbund rf.
Seppo Asikainen	Finlands Bilskoleförbund rf.
Tapani Rintee	Finlands Bilskoleförbund rf.
Timo Unhola	VTT Bygg och Transport
Kyösti Laukkanen	VTT Bygg och Transport.

Utredningen har gjorts av specialforskare Kyösti Laukkanen och forskare Timo Unhola på VTT Bygg och Transport.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Referat.....	7
Alkusanat.....	9
Förord.....	10
1. Johdanto	13
1.1 Tutkimuksen tausta.....	13
1.2 Tutkimuksen tavoite	14
1.3 Liukaspintamateriaaleille asetetut vaatimukset	14
1.3.1 Yleiset vaatimukset.....	14
1.3.2 Materiaalivaatimukset laboratorionkokeissa.....	15
2. Aineisto ja menetelmät.....	17
2.1 Liukaspintamateriaalit	17
2.2 Liukastusaineet	20
2.3 Tutkimusmenetelmät	21
2.3.1 Laboratorionkokeet.....	21
2.3.1.1 Yleistä	21
2.3.1.2 Heilurikitkamittaukset.....	21
2.3.1.3 Valuafaltin painuma	22
2.3.1.4 Kulumiskestävyys	23
2.3.1.5 Tartunta alustaan	23
2.3.1.6 Yhteensopivuus bitumin kanssa.....	24
2.3.1.7 UV-kestävyys.....	24
2.3.2 Kitkamittaukset koerakennekentällä ja radoilla	25
2.3.2.1 Yleistä	25
2.3.2.2 Kitkamittaukset VTT:n kitkanmittausautolla	25
2.3.2.3 Kitkamittaukset henkilöauton kitkamittarilla	27
2.3.2.4 Koerakennekenttä.....	27
2.3.2.5 Tutkitut ajoharjoitteluratojen liukasalueet	28
3. Tulokset.....	30
3.1 Kitka	30
3.2 Kulumiskestävyys.....	38
3.3 Valuafaltin painuma	40

3.4	Tartunta alustaan.....	40
3.5	Yhteensopivuus bitumin kanssa	41
3.6	UV-kestävyys.....	42
3.7	Liukasalueiden korjaukset	44
3.7.1	Peruskorjausten lähtökohdat	44
3.7.2	Korjaustapavaihtoehtoja.....	46
4.	Tulosten tarkastelu	48
5.	Jatkotoimenpiteet	52
5.1	Jatkotutkimustarve.....	52
5.2	Ajoharjoitteluratojen tutkimusyhteistyön kehittämisehdotus	53
6.	Yhteenveto	55
	Lähdeluettelo.....	58

LIITTEET

Liite A: Liukaspintamateriaalien kitkanmittauskoekenttä.

Liite B: Kitkamittauksissa käytetyt renkaat.

Liite C: Liukaspintamateriaalien kitkakeskiarvot. Koekentällä ennen ja jälkeen hiekkapuhalluksen tehdyt mittaukset .

Liite D: Liukaspintamateriaalien kitkakeskiarvot. Ajoharjoitteluradoilla ja laboratoriossa tehdyt mittaukset.

Liite E: Nastarenkaiden raapaisujälkiä.

Liite F: Tartunta alustaan.

Liite G: Yhteensopivuus bitumin kanssa.

Liite H: Värimuutos UV-vanhennuksessa.

1. Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomessa on 28 ajoharjoittelurataa, jotka ovat ajokorttiin tähtäävän koulutuksen käytössä. Yleisin ajoharjoitteluratojen liukasalueen pintamateriaali on Suomessa noin 5 mm paksu teräslevy. Muita pintamateriaaleja ovat massiiviset betoni-, kivilaatoitus- ja asfalttipäällysteet sekä ohuet polyuretaani- ja PVC-muovipinnoitteet. Muissa pohjoismaissa käytetään vastaavilla radoilla myös sementtilaastin ja avoimen asfaltin komposiittia, jonka pinta hiotaan sekä epoksia ja tervaepoksia. Ajoharjoittelua varten harjoittelualueet liukastetaan tarkoitukseen soveltuvalla liukastusaineella (öljy, vaha, suopa ja/tai vesi). Teräs on erinomainen kulumiskestävyyden kannalta, mutta tarvitsee liukastusaineeksi öljyä. Luopumista öljyn käytöstä liukastusaineena puoltavat ympäristönäkökohdat. Muovi- ja kivipinnalla käytetään liukastamiseen pelkkää vettä. Liukasradat ovat enimmäkseen noin kymmenen vuoden ikäisiä, ja useimpien liukasalueiden pinnat ovat peruskorjauksen tarpeessa. Monilla radoilla on suunnitteilla myös liukasalueiden lisärakentamista.

Liukasalueita korjattaessa joudutaan useissa tapauksissa uusimaan myös pinnoitteen alla olevia kerroksia. Ne ovat asfalttia, kun pintamateriaali on teräs tai muovi. Pintakerroksen korjaustapavaihtoehtoja ovat:

- Nykyinen pintamateriaali uusitaan entistä vastaavalla materiaalilla.
- Pintamateriaali vaihdetaan toisentyyppiseksi pintamateriaaliksi.
- Nykyinen pintamateriaali (esim. teräs tai polyuretaani) pinnoitetaan massalla tai maalilla.

Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus jakaantui kolmeen vaiheeseen:

- esiselvitys (tehty v. 1999)
- liukaspintamateriaalien laboratoriokokeet (v. 2000)
- tutkimukset koekentällä ja ajoharjoitteluradoilla (v. 2000).

Esiselvitys [1] sisälsi kaikille ajoharjoitteluradoille ja niiden sijaintikuntien ympäristöviranomaisille tehdyt kyselyt, joilla selvitettiin mm. ratojen taustatiedot, liukasalueiden ominaisuudet ja rakenteet, radan varusteet ja laitteet, radan käyttö, liukasalueiden kunto, tehtyjä korjauksia ja korjaustarve, radan rakentamis- ja käyttökustannukset, turvallisuus, ympäristövaikutukset ja alustavasti ohjeiden muutostarve. Samassa yhteydessä selvitettiin myös Ruotsin, Norjan ja Tanskan ajoharjoitteluratojen liukasalueiden päällysteiden käyttökokemuksia ja materiaaleja.

Kesällä 2000 tehtiin kenttäkokeita useilla ajoharjoitteluradoilla. Yhdelle radalle rakennettiin koekenttä eri pintamateriaaleista, joilla tehtiin kitkamittauksia. Pintamateriaalien kulumiskestävyyttä tutkitaan mahdollisesti vuonna 2001 tieolosuhteissa.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Ajoharjoitteluratojen liukasalueiden pintamateriaalien tutkimuksen avulla tuli selvittää Suomen liukasalueiden nykytila, niiden rakentamis- ja kunnossapitokustannukset sekä tuottaa malliratkaisuja liukasalueiden kunnostamiseksi.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuoda esiin erilaiset liukasalueiden pintamateriaalivaihtoehdot liukasalueiden erilaisissa korjaustavoissa ja samalla ottaa huomioon pintamateriaalien erilaiset ympäristövaikutukset, ajo-olosuhteiden realistisuus, rakentamis- ja käyttökustannukset sekä pintamateriaalien kestävyys käytössä.

Kenttäkokeiden avulla tuli tutkia erilaisten liukaspintamateriaalien kitkaominaisuudet ja kulumiskestävyys käytännön olosuhteissa.

1.3 Liukaspintamateriaaleille asetetut vaatimukset

1.3.1 Yleiset vaatimukset

Ajoharjoitteluratojen liukaspintojen materiaaleja koskevat, voimassa olevat vaatimukset on esitetty liikenneministeriön ohjekirjeessä [2]. Kirje sisältää ohjeet ajoharjoitteluratojen mitoituksesta, rakenteesta ja varusteista ratojen hyväksymistä varten. Liukasratojen suunnitteluohje [3] käsittelee ainoastaan teräspintaisia liukasalueita ja on monilta osin vanhentunut.

Liukasalueen pintamateriaalille on voimassa numeerinen vaatimus vain kitkan osalta. Liukasalueen pintamateriaaleilla tulee olla liukkaita talvisia tieolosuhteita vastaavat kitkaominaisuudet. Liukastusaineella käsitellyn liukasalueen pinnan kitkakertoimen tulee olla ajo-opetukseen soveltuva (0,15–0,20) sekä pito- ja luistokitkan eron liikenteessä esiintyvää vastaava [2].

Pintamateriaalien tulee kestää sääolosuhteita, tiesuolaa (NaCl) ja radalla käytettäviä liukastusaineita sekä sopia kemiallisesti yhteen alla olevan kerroksen kanssa. Käytettävät liukastusaineet eivät saa aiheuttaa haittaa ympäristölle.

Ohuiden pinnoitteiden tulee tarttua hyvin alustaan. Alusta on yleensä asfaltti. Pinnoitteen kutistuminen tuotteen vanhetessa ei saa olla liian suuri, koska pinnan suunnassa merkittävästi kutistuva pinnoite saattaa halkeilla tai aiheuttaa halkeamia alustaan. Ohuiden pinnoitteiden riittävä venyvyys pakkasella on etu, koska tällöin pinnoite kestää halkeamatta alustan liikkeitä, vaikka alla olevaan asfalttikerrokseen syntyisi halkeama.

Jos pinnoitemateriaali levitetään radan vanhalle teräspinnalle, tulee pinnoitteen olla riittävän joustava, koska vain osittain toisiinsa kiinnitetyt teräslevyt liikkuvat lämpötilan muuttuessa ja värähtelevät ajoneuvojen alla. Teräksen pinnoitteen tulee toimia myös teräspinnan korroosiosuojana.

Ajoharjoitteluradat päättävät itsenäisesti materiaalien valinnasta. Ajoneuvohallintokeskus hyväksyy radat käyttöön ja valvoo niiden toimintaa.

1.3.2 Materiaalivaatimukset laboratorikokeissa

Seuraavassa esitetään liukaspintamateriaalien laatuvaatimukset laboratorikokeissa. Koska eräistä materiaaleista oli ennen tutkimuksen aloittamista tiedossa, että ne täyttävät osan vaatimuksista, ei kaikkien materiaalien osalta tutkittu kaikkia ominaisuuksia (esim. teräksen UV-kestävyyttä tai yhteensopivuutta bitumin kanssa ei ollut tarvetta tutkia). Tutkimuksen aloitusvaiheessa tehtiin seuraavat rajaukset:

- Kitka kulumisen funktiona ja kulumiskestävyys edellytettiin tutkittavaksi kaikista liukaspintamateriaaleista.
- Tartunta käytännön rakennetta vastaavaan pintaan tuli tutkia kaikista ohuista pinnoitteista.
- Yhteensopivuus bitumin kanssa ja UV-kestävyys tuli tutkia ohuista pinnoitteista, tai materiaalin edustajalle jätettiin kustannusten säästämiseksi mahdollisuus vaihtoehtoisesti esittää vaatimuksen täyttyminen hyväksytyssä laboratoriossa saadun aieman testituloksen perusteella.

Siten tässä tutkimuksessa ei selvitetty esim. joustavan polyuretaanin ja bitumin yhteensopivuutta eikä grafiitin UV-kestävyyttä.

Kitka kulumisen funktiona

Kitka kulumisen funktiona mitattiin laboratoriossa heilurikitkamittarilla. Heilurikitkamittauksen tuloksena saatu kitkaa kuvaava lukuarvo ei ole suoraan kitkakerroin. Mitattuja kitka-arvoja verrattiin muiden materiaalien vastaaviin arvoihin sekä saman materiaalin kitka-arvoihin kulumisen eri vaiheissa. Kitkaominaisuuksien tulisi pysyä mahdollisimman muuttumattomina.

Kulumiskestävyys

Liukaspintamateriaalin nastarengaskestävyys on merkittävä etu, vaikka se ei ole ehdoton vaatimus. Pinnan kulumiskestävyydelle ei ole asetettu numeerista vaatimusta. Eri materiaalien kulumiskestävyksiä verrattiin keskenään sekä muuhun vertailuaineistoon.

Valuasfaltin painuma

Liukasradalla käytettävän valuasfaltin tulee olla deformaationkestävää. Asfaltin deformaationkestävyydellä tarkoitetaan päällystekerroksen kykyä kestää muotoaan muuttamatta raskaiden ajoneuvojen pyöräkuormia. Valuasfaltin deformaatiokestävyys testataan Asfalttinormien mukaan painumakokeella (menetelmä PANK-4401) [5].

Tartuntalujuus

Ohuiden pinnoitteiden tulee tarttua lujasti alustaansa. Liukasalueen ohuen pinnoitteen ja alustan väliselle tartuntalujuudelle ei ole asetettu numeerista vaatimusta. Tartuntalujuutta verrattiin muiden tutkittavien materiaalien tartuntalujuuteen ja muuhun vertailuaineistoon.

Yhteensopivuus bitumin kanssa

Asfalttialustalle levitettävän pinnoitemateriaalin tulee olla yhteensopiva bitumin kanssa. Pinnoitteen tartunta alustaan ei saa heikentyä näytteen lämpövanhennuksen aikana.

UV-kestävyys

Liukasalueen pinnan tulee kestää auringon UV-(ultravioletti)säteilyä. Liukasalueen ohuen pinnoitteen UV-vanhennus ei saa heikentää pinnan kestävyyttä tai aiheuttaa siihen vaurioita tai värimuutoksia.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Liukaspintamateriaalit

Ajoharjoitteluratojen liukasalueiden pintamateriaaleja tutkittiin sekä VTT:n laboratorioissa, Vihdin Ammattioppilaitoksen radalle tutkimusta varten tehdyssä koerakenteessa että käytössä olevilla ajoharjoitteluradoilla Vihdissä, Vantaalla, Riihimäellä, Laukaalla ja Nokian Poliisiopiston radalla. Tutkittujen liukaspintamateriaalien valinta perustui materiaalien edustajille lähetettyyn osallistumiskutsuun, jonka perusteella materiaalien edustajat päättivät tutkimukseen osallistumisesta. Laboratoriokokeisiin osallistuminen edellytti materiaalien edustajilta osallistumista myös tutkimuskustannuksiin. Koska materiaalien edustajien tuli osallistua kokeiden rahoitukseen, ei niihin voitu ottaa muita vapaasti myynnissäkään olevia tuotteita. Koerakennekokeeseen osallistuminen edellytti ilman muita osallistumismaksuja, että materiaalin edustaja rakensi tai rakennutti oman tuotteensa koealueen.

Polyuretaanit

Laboratoriokokeissa tutkittiin kolme erityyppistä polyuretaanimuovipintaa (taulukko 1). Näistä *Conifloor Conipur 275 Glasier* oli tutkimuksen tekoaikana käytössä olleilla polyuretaaniradoilla yleisimmin käytetty materiaali. Tätä tuotetta tutkittiin myös koerakenteessa ja laboratoriokokeessa taulukon 1 mukaisesti.

Tutkitut kovat polyuretaanit levitetään käsityönä yleensä asfalttibetonin päälle. Aiemmin kova polyuretaani levitettiin yhtenä kerroksena bitumisella massalla tiivistetyn asfalttialustan päälle. Rakennusmenetelmää on myöhemmin muutettu siten, että asfalttialusta ensin hiekkapuhalletaan ja sen jälkeen polyuretaani levitetään kahtena kerroksena, joiden väliin levitetään tukikangas jäykisteeksi (esim. Nokian Poliisiopiston rata). Materiaalin edustajan ohjeen mukaan alustan esikäsitelyainetta ei tarvita, kun tuote levitetään asfalttibetonialustalle. Jos alusta on terästä, sen pinta käsitellään Conipur 79 primerilla ennen polyuretaanimassan levitystä.

Conipur 255 Novocoat on joustava, ruiskuttamalla 1–2 kerroksena levitettävä polyuretaanimassa. Tuote on hyväksytty käytettäväksi mm. tiehallinnon silloilla vedeneristykseenä betonirakenteen ja asfalttipäällysteen välissä. Sekä asfaltti- että teräsalustat käsitellään Conipur 79 -primerilla ennen polyuretaanin ruiskutusta. Tuotetta tutkittiin sekä laboratorioissa että koerakenteessa.

Uredur 2000 on kova, käsin levitettävä polyuretaanimassa, johon lisättiin massan sekoitusvaiheessa hienorakeista kvartsihiekkää. Asfalttialustalla ei käytetty esikäsitelyainetta, teräsalusta käsiteltiin Epirex 310 -primerilla ennen polyuretaanin levitystä. Tuotetta tutkittiin ainoastaan laboratorioissa.

Grafiitti

Slip Plate No. 1 on ruiskuttamalla tai sivelemällä levitettävä grafiittimassa. Sitä tutkittiin sekä laboratorioissa, jossa se levitettiin sivelemällä 1–3 kerroksena, että koerakenteessa, johon se levitettiin ruiskuttamalla. Grafiittia käytetään esim. konepajateollisuudessa liukasteena.

Tiemerkintämassa

Hotmark VH ohut on kuumana ruiskuttamalla levitettävä tiemerkintämassa. Tiemerkintänä käytettäessä sen pintaan sirotellaan lasihelmiä näkyvyyden parantamiseksi, mutta samalla pinnan kitkakerroin kasvaa. Tuotetta tutkittiin tässä tutkimuksessa (ilman lasihelmiä) ainoastaan koekentällä. Samaa tuotetta on käytetty vuonna 2000 myös Pielisen Karjalan ajoharjoitteluradan liukasalueella, jonka pinta lisäksi maalattiin.

Kumibitumivaluasfaltti

Lemproof 11 on Asfalttinormien 2000 mukainen valuasfalttimassa, jonka sideaine on kumibitumi ja kiviaineksen maksimiraekoko on 11 mm. Tutkitun valuasfaltin kiviaines täytti materiaalin edustajan ilmoituksen mukaan Asfalttinormien [5] mukaisessa kuulamylykokeessa päällystekiviaineksen parhaan lujuusluokan I mukaiset laatuvaatimukset. Valuasfalttia (ilman karkeutuskiviainesta) tutkittiin sekä laboratorioissa että koerakenteessa.

Valuasfaltille on tyypillistä, että bituminen sideaine täyttää massan kiviaineksen tyhjätilan ja tekee massasta kuumana valettavan. Runsas hienoainemäärä ja korkea sideainepitoisuus tekevät valuasfaltin pinnasta sileämmän kuin esim. asfalttibetonin pinta. Esim. Helsingin kaupunki käyttää valuasfalttia mm. silloilla kulutuskerrospäällysteenä. Ajoratapäällysteenä käytetty valuasfaltti karkeutetaan jyräämällä kuuman asfalttikerroksen pintaan karkeutuskiviainesta kitkan lisäämiseksi.

Komposiitti

Densiphalt on komposiitti, joka valmistetaan kolmessa työvaiheessa. Ensin levitetään korkean (20–25 %) tyhjätilan omaava avoin asfalttikerros (paksuus noin 30–60 mm) ja sen jälkeen asfalttikerroksen koloihin imeytetään notkea sementtilaasti. Kolmannessa vaiheessa pinta hiotaan, jos se tehdään liukasradalle. Avoimeen asfalttiin käytetty kiviaines oli Pohjolan Sorajalosteen Kytäjän kalliomursketta KaM 8/11 mm. Sen kuulamylyarvo oli tilaajan ilmoituksen mukaan 5,4–6,9 % (5,9 %), joten kiviaines sijoittuu Asfalttinormien [5] mukaan asfaltin kiviaineksen parhaaseen lujuusluokkaan I. Densifaltissa käytetty bitumi on B160/220. Tuotetta tutkittiin sekä laboratorioissa että koerakenteessa.

Densiphaltia tai muuta samantyyppistä komposiittia on käytetty Suomessa mm. teollisuushallien lattiarakenteissa, teiden kantavissa kerroksissa sekä bussipysäkeillä. Ruotsissa Densiphaltia on käytetty myös ajoharjoitteluradan liukaspintana.

Kivilaatoitus

Kurun harmaa graniitti on kivilaattoina mm. lattioiden ja seinien päällysteenä käytettävä materiaali. Kiillotetun Kurun graniitin kulumis- ja säänkestävyys on Luonnonkivikäsi-kirjan mukaan hyvä [6]. Graniittipintaa tutkittiin sekä laboratoriossa, koerakenteessa että ajoharjoitteluradalla.

Taulukko 1. Tutkitut liukaspintamateriaalit.

Tuotemerkki	Materiaali- tyyppi	Paksuus mm	Materiaalin edustaja	Tutkittu		
				Lab:ssa	Koerakenne	Ajoharj.rata
Conipur 255 Novocoat	Joustava polyuretaani	2–3	Omni-Sica Oy	x	x	
Conipur 275 Glasier	Kova polyuretaani	n. 3	Omni-Sica Oy	x	x	x
Uredur 2000	Kova polyuretaani+ kvartsihiekkä	2–3	Master Builders Oy	x		
Slip Plate No.1	Grafiitti	< 2	Raicorp Oy	x	x	
Hotmark VH ohut	Tiementämassa		Tielinja Oy		x	
Lemproof 11	Kumibitumivalu- asfaltti KBVA 11	40	Lemminkäinen Oyj	x	x	
Densiphalt	Komposiitti	40	Interasfaltti Oy	x	x	
Kurun harmaa graniitti	Kivilaatoitus	40	Suomen Graniitti- keskus Oy	x	x	x
RAEX PERUSTERÄS	Teräs		Rautaruukki Steel	x		x
RAEX 650 MC OPTIM	Teräs		Rautaruukki Steel	x		
Jää	Jää		–	x		
Masterplate-betoni	Betoni		Master Builders Oy			x

Teräs

Teräslevy (paksuus noin 5 mm) on ajoharjoitteluratojen liukasalueiden yleisin pintamateriaali. Terästä tutkittiin laboratoriossa kahtena eri vaihtoehtona: *RAEX PERUSTERÄS* ja *RAEX 650 MC OPTIM*. Ensimmäinen mainittu on Fe 37 -terästä ja jälkimmäinen standardin

EN 10149 mukaista S 650 MC -terästä. Lisäksi teräspintaa tutkittiin käytössä olevalla ajoharjoitteluradalla.

Betoni

Betonipäälystettyä liukasalueen pintana tutkittiin ainoastaan ajoharjoitteluradalla. Betonin pintakerros oli lujitettu hiertämällä siihen Masterplate-pintasirotetta.

Jää

Jääpinnan koekappaleet valmistettiin vedestä lieriömuottiin jäädyttämällä. Niistä tutkittiin laboratorioissa kitkaheilurikitkamittarilla.

2.2 Liukastusaineet

Kunkin liukaspintamateriaalin kanssa käytetty liukastusaine valittiin pintamateriaalin ominaisuuksien perusteella käytännön olosuhteita vastaavasti. Liukastusaine oli vettä öljyä, vahaa tai niiden seosta. Grafiittia kokeiltiin laboratorioissa myös ilman liukastetta. Koerakenteen ja liukasradan kitkamittausten aikana liukaspinnalla oli aina vettä myös silloin, kun käytettiin öljyä tai vahaa liukasteena. Liukastusaineet eri pinnoilla ja eri kitkakokeissa esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Kitkanmittauksissa käytetyt liukastusaineet.

Liukastusaine	Kitkan mittausta paikka ja pintamateriaali		
	Laboratorio	Koerakenne	Ajoharjoittelurata
Ilman liukastetta	grafiitti		
Pelkkä vesi	polyuretaanit kivi valuasfaltti Densifalt grafiitti jää	polyuretaanit kivi valuasfaltti Densifalt grafiitti tiemerkinä	polyuretaani kivi
Öljy (Mobil Whiterex)	Densifalt teräkset	Densifalt	
Vaha (Mobil Slip Agent)	Densifalt teräkset		betoni
Vahan ja öljyn seos (Mobil Slip Agent + Whiterex)			teräs

2.3 Tutkimusmenetelmät

2.3.1 Laboratoriokokeet

2.3.1.1 Yleistä

Laboratoriokokeissa noudatetut vaatimukset on esitetty kohdassa 1.3.2. Tutkittavan materiaalin edustaja levitti ruiskutettavat pinnoitteet, jotka vaativat erikoiskalustoa, sekä massiiviset bitumilla tai sementillä sidotut pintamateriaalinäytteet (esim. valuasfaltti tai komposiitti Densifalt). Käsin levitettävät pinnoitetyyppiset näytteet valmistettiin joko materiaalin edustaja tai VTT. Näytteiden alustat olivat asfalttibetonia tai terästä. Asfalttialustat valmistettiin VTT ja teräs alustat Rautaruukki Steel. Taulukossa 3 esitetään tutkittavan pinnan ja pinnoitteiden alustan valmistustapa eri kokeissa.

Taulukko 3. Näytteiden tutkittavat pinnat ja alustat laboratoriokokeissa.

Koe	Materiaali	Tutkittava pinta	Alusta
SRK-kulumis-kestävyys ja kitka	Ohuet pinnoitteet	Materiaalin levityspinta (=lieriön kaareva vaippapinta)	Asfalttiporanäyte
	Valuasfaltti	Pyöreään muottiin valettu näyte, kaareva pinta	Ilman alustaa
	Komposiitti	Poranäyte, kaareva pinta	Ilman alustaa
	Kivi	Poranäyte + hiottu pinta	Ilman alustaa
	Teräs Jää	Teräslieriön kaareva pinta Jäälieriön kaareva pinta	Ilman alustaa Ilman alustaa
Tartunta asfalttiin, Yhteensopivuus, UV-kestävyys	Ohuet pinnoitteet	Ruiskutus-/ valupinta	Hiekkapuhallettu asfalttipinta
Tartunta teräkseen	Ohuet pinnoitteet	Ruiskutus-/ valupinta	Hiekkapuhallettu teräslevy

2.3.1.2 Heilurikitkamittaukset

Heilurikitkamittari on kuvassa 1 esitettävä laite, jolla mitataan heilurin liike-energian (heilahduskulman) pieneneminen, kun kumipintainen liukukappale laahaa heilahduksen aikana mitattavan pinnan ylitse. Mitä suurempi kitka, sitä enemmän heilahduskulma pienenee. Mittaustulos ilmoitetaan kitka-arvoa kuvaavana BPN-lukuna. Kaarevilta pinnoilta mitattaessa käytetään ns. F-asteikkoa, joka kattaa BPN-luvut väliltä 0–1,0. On huomattava, että BPN-luku ei ole suoraan kitkakerroin.



Kuva 1. Heilurikitkamittauksen kojärjestely.

Liukaspintamateriaalien pinnan kitka tutkittiin laboratoriossa kulumisen funktiona. Tutkittava koekappale oli samanlainen kuin nastarengaskulutuskokeessa (kohta 2.3.1.4).

Nastarengaskulumisrasitus saatiin aikaan SRK-kulutuslaitteessa, jossa näytettä kulutettiin vaiheittain valitun aikataulun mukaan. Aina kulutusvaiheiden jälkeen mitattiin näytteen pinnan kitka ja kuluma. Kitka mitattiin lieriömäisen näytteen kaarevasta vaippapinnasta, kuva 1. Koska kulutuslaitteen kulutusura on noin 30 mm leveä, kavennettiin heilurikitkamittarin mittauselementti 25 mm leveäksi, jotta se mahtui kulumisuraan. Luke-asteikkona käytettiin kaareville pinnoille tarkoitettua kitkamittarin F-asteikkoa. Liukastusaineena käytettiin terästä lukuun ottamatta kaikilla pintamateriaaleilla vettä. Veden lisäksi Densifaltin liukasteena kokeiltiin vaha ja öljyä. Grafiittipintaa tutkittiin myös kuivana ilman liukastetta. Terästen liukastusaine laboratoriossa oli öljy tai vaha.

Kitka mitattiin näytteestä kolmesta kohdasta, joista jokaisesta tehtiin kolme rinnakkaismäärittystä (yhteensä yhdeksän määrittystä jokaisen kulutusvaiheen jälkeen).

2.3.1.3 Valuasfaltin painuma

Painumakokeen valuasfalttinäytteet toimitti materiaalin edustaja teräsputkeen (D 100 mm) valettuna. Painumakokeessa määritettiin syvyys, johon poikkileikkaukseltaan pyöreä sauva (D 25,2 mm) painui valuasfalttinäytteeseen +40 °C lämpötilassa, kun sauvaa kuormitettiin 52,5 kg:n kuormalla 30 minuutin ajan (menetelmä PANK-4401).

2.3.1.4 Kulumiskestävyys

Laboratoriossa tutkittiin liukaspinnan kulumiskestävyys lieriömäisen näytteen kaarevas- ta vaippapinnasta asfalttipäällysteiden kulumiskestävyuden testaamiseen suunnitellulla SRK-laitteella. Testiä varten valmistettiin lieriönäytteitä, joiden korkeus on 50 mm ja läpimitta 100 ± 1 mm. Näytteet olivat joko kokonaan tutkittavaa materiaalia, tai tutkitta- va materiaali on levitetty näytteiden (kaarevalle) vaippapinnalle.

- Valuasfalttinäyte tehtiin muottiin valamalla ilman karkeutuskiviainesta, koska näin tehdyn näytteen kaareva muottipinta vastasi kentälle levitetyn valuasfalttipäällysteen yläpintaa paremmin kuin poranäytteen porauspinta.
- Densifalt-näytteet olivat laatasta porattuja lieriöitä, koska porauspinnan ajateltiin tässä tapauksessa (laboratoriokokeessa) vastaavan hiottua Densifalt-päällysteen pin- taa (todellisessa kenttärakenteessa) paremmin kuin muottipinta.
- Teräs- ja kivilieriöt toimitti materiaalin edustaja valmiina.
- Joustavan polyuretaanin ruiskutti materiaalin edustaja asfalttilieriön vaippapinnalle.
- Kovat polyuretaaninäytteet valmistettiin 100 mm halkaisijaltaan olevissa teräsmuo- teissa siten, että muotin pohjalle kaadettiin ensin polyuretaanimassaa ja heti sen jäl- keen tuoreeseen polyuretaaniin painettiin asfalttilieriö (D= 94 mm). Tällöin asfaltti- lieriön pintaan muodostui 3 mm paksu polyuretaanikerros.
- Grafiitti levitettiin pensselillä sivelemällä asfalttilieriön pintaan.

Lieriönäytteen vaippapintaa kulutettiin SRK-kulutuslaitteessa kolmella pienellä nastoi- tetulla pyörällä 2 tunnin ajan $+5$ °C:n lämpötilassa, ja näytettä kasteltiin kokeen aikana (menetelmä PANK-4209). Kulumiskestävyys ilmoitetaan näytteen tilavuushäviönä (cm^3). Mitä suurempi kulumishäviö on, sitä heikompi on materiaalin kulumiskestävyys.

2.3.1.5 Tartunta alustaan

Ohuiden pinnoitteiden (polyuretaanit ja grafiitti) tartuntalujuus käytännön rakennetta vastaavaan alustaan mitattiin tartuntavetokokeella kohtisuoraan alustaa vastaan $+20$ °C:n lämpötilassa (menetelmä VTT 2633).

Alustan materiaali oli sama kuin käytännön rakennuskohteessa (joko asfalttibetoni tai teräs). Asfalttibetonialustat olivat AB 16 -massaa. Tartuntakoenäytteiden liukaspintama- teriaali levitettiin hiekkapuhalletuille asfalttilaatoille tai hiekkapuhalletuille teräslevyille.

2.3.1.6 Yhteensopivuus bitumin kanssa

Jos ohut pinnoite käytännön rakenteessa levitetään asfalttipinnalle, tulee pinnoitteen ja bitumin kemiallinen yhteensopivuus varmistaa. Pinnoitteen ja bitumin yhteensopivuustestiä varten levitettiin tutkittava pinnoite hiekkapuhalletun asfalttibetonilaatan yläpinnalle.

On huomattava, että vaikka esim. kovettuneen polyuretaanin päälle levitetty asfaltti sopisi kemiallisesti yhteen polyuretaanin kanssa, saattaa asfaltin päälle levitetty polyuretaani reagoida tuoreena ennen kovettumistaan haitallisesti asfaltin sisältämän bitumin kanssa. Tästä syystä yhteensopivuustestin näytteet tulee valmistaa siten, että polyuretaani levitetään asfaltin päälle kuten liukasradalla eikä päinvastoin.

Yhteensopivuustestissä säilytettiin tutkittavalla materiaalilla pinnoitettua AB16-asfalttibetoninäytettä 91 vrk lämpökaapissa +50 °C:ssa, (menetelmä DIN 50011). Näytteistä tutkittiin lämpösäilytyksen vaikutus pinnoitteen ja alustan väliseen tartuntaan (kohta 2.3.1.5).

2.3.1.7 UV-kestävyys

UV-kestävyyskoetta varten tutkittava materiaali levitettiin hiekkapuhalletuille asfalttibetonilieriöiden tai asfalttibetonilaattojen yläpinnoille. Vanhennetut näytteet ovat läpimitaltaan 100 mm olevia noin 30 mm korkeita porattuja lieriöitä.

Polyuretaanien ultraviolettisäteilynkestävyys tutkittiin UV-vanhennuskaapissa menetelmällä ISO 4892-2 (syklinen vanhennus: Xenon-lampun UV-säteily + vesikastelu, kestoai-ka kuusi viikkoa, mustan pinnan lämpötila 45 °C). Vanhennuksen vaikutus tutkittiin Tröger-kulumiskestävyyskokeen (menetelmä PANK-4210) avulla ja ulkonäkömuutosten perusteella. Ulkonäkömuutoksina tehtiin havainnot pinnan kiillon ja värin muutoksista, lii-tuuntumisesta, halkeamista ja muista ulkonäköseikoista.

- Tröger-kokeessa sekä vanhennetun että vanhentamattoman lieriömäisen näytteen ylä-pintaa kulutettiin -10 °C:ssa paineilmakäyttöisellä neulapistoolilla 15 minuutin ajan. Kulumiskestävyys ilmoitettiin materiaalin tilavuushäviönä.
- Pinnan kiillon muutos mitattiin kiiltomittarilla Elcometer Mirror Tri-Glass model 405.
- Värimuutos mitattiin laboratoriossa spektrofotometrillä käyttäen menetelmää PANK-8101.
- Pinnan mahdolliset halkeamat ja avojuokokset tutkittiin mikroskoopilla.

- Pinnan liituuntuminen todettiin pyyhkäisemällä sormenpäällä kevyesti näytteen pinta. Jos pinnasta irtosi vaaleaa jauhetta, oli pinta liituuntunut vanhennuksen aikana.

Näytteen mahdollinen muuttuminen vanhennuksen aikana (vanhentamattoman ja vanhentuneen näytteen kulumiskestävyysero, kiillon tai värin muutos tai pintavaurio) ilmaisee materiaalin UV-kestävyyden.

2.3.2 Kitkamittaukset koerakennekentällä ja radoilla

2.3.2.1 Yleistä

Koerakennekentän rakentaminen kuvataan kohdassa 2.3.2.4 ja tutkituista ajoharjoitteluradoista on tietoja kohdassa 2.3.2.5. Koerakennekentällä tehtiin kitkamittauksia VTT:n kitkanmittauskuorma-autolla. Ajoharjoitteluratojen liukaspintojen kitkaa mitattiin sekä VTT:n kitkanmittauskuorma-autolla että henkilöautoon asennetulla kitkamittarilla.

2.3.2.2 Kitkamittaukset VTT:n kitkanmittausautolla

Koekentälle rakennettujen erilaisten pintamateriaalien sekä Länsi-Uudenmaan ajoharjoitteluradan teräspinnan ja Vantaan ajoharjoitteluradan betonipinnan sivukitka ja lukkojarrutuskitka tutkittiin määrittä pinnalta VTT:n kitkanmittauskuorma-autolla, kuva 2.

Kokeessa auton runkoon oikean takapyörän eteen on kiinnitetty henkilöauton pyörä alkuperäisine ripustuksineen. Sivukitkamittauksessa mitataan vapaasti pyörivän henkilöauton pyörän sivukitka, kun sen vierintäkulmaa on muutettu 8° auton kulkusuuntaan nähden. Lukkojarrutuskitkamittauksessa auton kulkusuunnassa pyörivä henkilöauton pyörä jarrutetaan lukkoon ja mitataan pyörän liukukitka tutkittavalla pinnalla. Kuorma-auton lavalla on vesisäiliö (3 m³). Mittauksen aikana ruiskutetaan mittausrenkaan eteen vesikerros, jonka syvyys on 1 mm. Kuorma-auto kulkee kitkamittauksen aikana vakionopeudella. Turvallisuussyistä rajoitettiin tässä tutkimuksessa mittausnopeudeksi noin 35 km/h.

Tämä sivukitkamittausmenetelmä on käytössä mm. uusien tiepäällysteiden liian liukkaiksi muodostuneiden kohtien laadunarvostelussa. Jos sileällä (kuviottomalla) renkaalla määrittä tiepinnalta mitattu sivukitkakerroin on alle 0,4 (nopeusrajoitus enintään 80 km/h), on uusikin päällyste heti korjattava liikenneturvallisuuden vuoksi [5].

Tiehallinnon teiden talvikunnossapito-ohjeen mukaan kunnossapitoluokan Is ja I teillä normaali talviolosuhteiden kitkakertoimen vähimmäisvaatimus on 0,3 ja Ib-luokassa 0,25 henkilöautoon asennetulla kitkamittarilla mitattuna [7].



Kuva 2. VTT:n kitkamittausauto ja koerakennettä Vihdissä.

Liukaspintojen kitkaominaisuuksia tutkittiin koekentällä sekä uudelta että karhennetulta liukaspinnalta. Karhennettu pinta jäljitteli kulunutta liukaspintaa ja "kuluneisuus" saatiin aikaan kevyellä hiekkapuhalluksella.

Kitka-autolla mittauksia tehtiin neljällä erilaisella henkilöauton renkaalla (hyvä uusi kesärenkas, huono kulunut kesärenkas, uusi nastarenkas ja uusi kitkarenkas). Uusia renkaita oli sisäänajettu noin 900 km, taulukko 4.

Taulukko 4. Kitkamittauksissa käytetyt henkilöauton renkaat.

Koerenkaat				Uransyvyys kokeen alussa			
Nro	Lyhenne	Laji	Merkki	Tyyppi	ka, mm	Rengaskoko	Valm.viiko
1	KK	Kulunut kesärenkas	Nokian	NRT2	2,25	185/65 R 15 88 T	207
2	UK	Uusi kesärenkas	Nokian	NRH2	7,7	185/65 R 15 88 H	1400
3	KI	Uusi kitkarenkas	Nokian	Hakkapeliitta Q	9,1	185/65 R 15 88 Q	2500
4	NR	Uusi nastarenkas	Nokian	Hakkapeliitta 2	9,4	185/65 R 15 88 T	3200

Koekentän pinta liukastettiin käytäntöä vastaavalla liukastusaineella (pelkkä vesi esim. polyuretaaneilla, valuasfaltilla, kivellä, grafiitilla ja tiemerintämässalla). Densifaltilla kokeiltiin liukasteena sekä pelkkää vettä että öljyn ja veden yhdistelmää.

2.3.2.3 Kitkamittaukset henkilöauton kitkamittarilla

Viidellä käytössä olevalla ajoharjoitteluradalla (Länsi-Uusimaa, Vantaa, Riihimäki, Jyväskylä, Nokian Poliisiopisto) mitattiin liukaspinnan kitka Trippi Ky:n valmistamalla EL-TRIP-merkkisellä kitkamittarilla, joka oli asennettu ABS-jarruin ja uusien kesärenkain varustettuun Volkswagen Golf -henkilöautoon. Tämän kitkamittarin toiminta perustuu auton hidastuvuuden mittaamiseen. Jarrutuksen aikana jarrupoljin oli painettu pohjaan, mutta ABS-jarrut estivät pyörän lukkiintumisen. Kitka määritettiin sellaisen jarrutuksesta aiheutuneen keskimääräisen hidastuvuuden perusteella, jolla auton nopeus hidastui noin 40 km:sta/ha noin 20 km:iin/h. Ajoharjoitteluratojen suorilla oli tavanomaiseen ajosuuntaan alamäki. Pituuskaltevuus vaikuttaa auton hidastuvuuteen, ja siksi jarrutuksia toistettiin kymmenen kertaa molempiin ajosuuntiin ja kitka laskettiin molempien ajosuuntien keskiarvotulosten perusteella.

2.3.2.4 Koerakennekenttä

Vihdin Ammattioppilaitoksen ajoharjoittelualueelle rakennettiin kitkamittauksia varten koealuekenttä, jolle levitettiin seitsemän erilaista liukaspintamateriaalia, liite A. Kullakin yksittäisellä tutkittavalla materiaalilla päällystettiin alue, jonka pituus oli 30 m ja leveys 0,4–0,5 m. Koealueet rakensi materiaalin edustaja tai hänen hankkimansa urakoitsija. Alueen vanha pintakerros oli noin 70 mm paksu asfalttibetoni.

Koerakennekentällä tutkitut materiaalit olivat

- kivilaatoitus (Kurun harmaa graniitti)
- komposiitti (Densiphalt)
- kumibitumivaluasfaltti (Lemproof 11)
- grafiitti (Slip Plate No.1)
- kova polyuretaani (Conipur 275 Glasier)
- joustava polyuretaani (Conipur 255 Novocoat)
- tiemerkintä (Hotmark VH ohut).

Lähikuvia eri pintamateriaaleista on liitteessä E. Materiaalien edustajat esitetään kohdan 2.1 taulukossa 1. Ohuet pinnoitemateriaalit (polyuretaanit, tiemerkintä tai grafiitti) levitettiin suoraan vanhan asfalttibetonin päälle. Paksut materiaalit (kivilaatoitus, komposiitti, valuasfaltti) asennettiin vanhaan asfalttikerrokseen jyrskyyn laatikkomaiseen syvennykseen siten, että uuden liukaspinnan yläpinta oli samassa tasossa kuin vanhan asfaltin pinta.

Kivilaattojen yläpinnat oli etukäteen hiottu samaan sileyteen (600) kuin liukasradalla käytetään. Laattojen muut pinnat olivat sahattuja pintoja. Laattojen koko oli 40 mm x 400 mm x 490 mm). Kivilaatoitusta varten jyrskyyn syvennys ulottui koko vanhan noin 70 mm paksun asfalttikerroksen läpi. Kivilaatoituksen alustaksi levitettiin syvennyksen pohjalle noin 30 mm:n kerros maakostea betonimassaa Fescon S 30. Sen päälle

kaadettiin liimaksi yleisementin ja veden seos. Kivilaatat asennettiin tuoreeseen betonipintaan. Laattojen väliin jääneet kapeat saumaraot saumattiin Fescon S 06 -ohutlaastilla.

Komposiitti Densiphalt rakennettiin siten, että vanhaan asfalttiin jyrstyyn, noin 40 mm syvään syvennykseen levitettiin ja tiivistettiin avoin asfalttikerros, jonka yläpinta tuli vanhan asfaltin pinnan korkeustasoon. Avoimen asfaltin huokosiin imeytettiin sementtilaasti. Näin muodostuneen kerroksen pinta hiottiin pienellä käsihiomakoneella urakoitsijan valitsemaan sileyntäsuon. Liukaspinna muodostuu siten osittain hiotuista kivirakeiden pinnoista ja osittain hiotusta sementtilaastin pinnasta.

Kumibitumivaluasfaltti levitettiin käsityönä vanhaan asfalttiin jyrstyyn noin 40 mm syvään syvennykseen. Valuasfaltin yläpinta tuli vanhan asfalttibetonin yläpinnan tasoon. Valuasfaltin pintaa ei karkeutettu karkeutuskiviaineksella. Valuasfaltin pintaa yritettiin sen sijaan tasoittaa jyrällä. Jyrä oli leveämpi kuin valuasfalttikaista, joten vanha asfaltti kantoi jyrän painon eikä jyräys vaikuttanut valuasfaltin pinnan sileynteen.

Grafiitti levitettiin vanhan asfaltin päälle tiemerkintämangan levityskoneella ruiskuttamalla yhtenä kerroksena. Levitetyn kerroksen paksuus oli tuoreena noin 0,7 mm.

Kova polyuretaani levitettiin vanhan asfaltin päälle käsityönä yhtenä kerroksena. Kerroksessa ei käytetty tukikerrosta.

Joustava polyuretaani levitettiin yhtenä kerroksena vanhan asfaltin päälle koneellisesti ruiskuttamalla.

Tiemerkintämangan levitettiin yhtenä kerroksena vanhan asfaltin päälle koneellisesti ruiskuttamalla. Sen pintaan ei levitetty lasihelmiä.

2.3.2.5 Tutkitut ajoharjoitteluratojen liukasalueet

Länsi-Uudenmaan ajoharjoittelurata Vihdissä on valmistunut vuonna 1990. Radalla on kaksi teräslevypintaista suoraa, kaarre ja ympyrä. Kitkamittauksia tehtiin toisella suoralla sekä VTT:n kitka-autolla että henkilöauton kitkamittarilla. Liukasalue oli kunnostettu tutkimusvuonna vetämällä teräspinta sivuun, uusimalla alla oleva asfaltti ja asentamalla entinen teräspinta takaisin.

Vantaan ajoharjoittelurata on valmistunut vuonna 1993. Radalla on neljä liukasaluetta (kaksi suoraa, kaarre ja ympyrä). Liukasalueiden pintamateriaali on Masterplate-pintasirotteella vahvistettu betoni. Kitkamittauksia tehtiin kahdella suoralla liukasalueella sekä VTT:n kitka-autolla että henkilöauton kitkamittarilla. Molemmilla suorilla oli osuus, joka oli alkuperäistä betonia vuodelta 1993, ja toinen osuus, jonka pinta oli vuonna 2000 korjattu jyrsimällä ja uutta betonia levittämällä. Kitkamittauspäivänä toiselle suoralle

lisättiin liukkaudentorjunta-ainetta ajoharjoittelun päättyessä ennen kitkamittausta ja toisen suoran pinta oli ajoharjoittelun jälkeisessä kunnossa ilman liukkaudentorjunta-aineen lisäystä.

Riihimäen ajoharjoittelurata on valmistunut vuonna 1987. Radalla on Kurun harmailla graniittilaatoilla päällystetty suora ja kaarre. Kivilaatoitus on asennettu vuonna 1995, ja sen alusta on uusittu vuonna 1997. Radalla tehtiin kitkamittauksia vain henkilöauton kitkamittarilla.

Jyvässeudun ajoharjoittelurata Laukaassa on valmistunut vuonna 1991. Radalla on yksi liukasalue suoralla, kaarteessa ja ylämäessä. Liukasalueiden pintamateriaali oli kotimainen kova polyuretaani. Polyuretaanin alusta oli asfalttibetoni, jonka pinta oli tiivistetty bitumisella massalla. Asfaltin pintaa ei ollut hiekkapuhallettu, eikä polyuretaanissa ollut tukikerrosta. Polyuretaanipinnassa oli noin 2–10 m välein suuria halkeamia sekä radan pituus- että poikkisuunnassa. Polyuretaanin halkeamien kohdalla oli myös asfaltti halki. Polyuretaanissa oli myös kuplineita kohtia (kuplien läpimitta noin 50 mm). Radalla tehtiin kitkamittauksia ainoastaan henkilöauton kitkamittarilla.

Poliisiopiston rata Nokialla oli päällystetty kovalla polyuretaani Conipur 275 Glasier-massalla, jota on käytetty myös muutamilla muilla liukasradoilla. Rakentamisvaiheessa asfalttialustan pinta oli hiekkapuhallettu ennen polyuretaanin levitystä ja polyuretaani oli levitetty kahtena kerroksena, joiden väliin oli asennettu vahvistekangas. Radan pinta oli hyväkuntoinen, eikä siinä ollut halkeamia, kuten Jyvässeudun radalla.

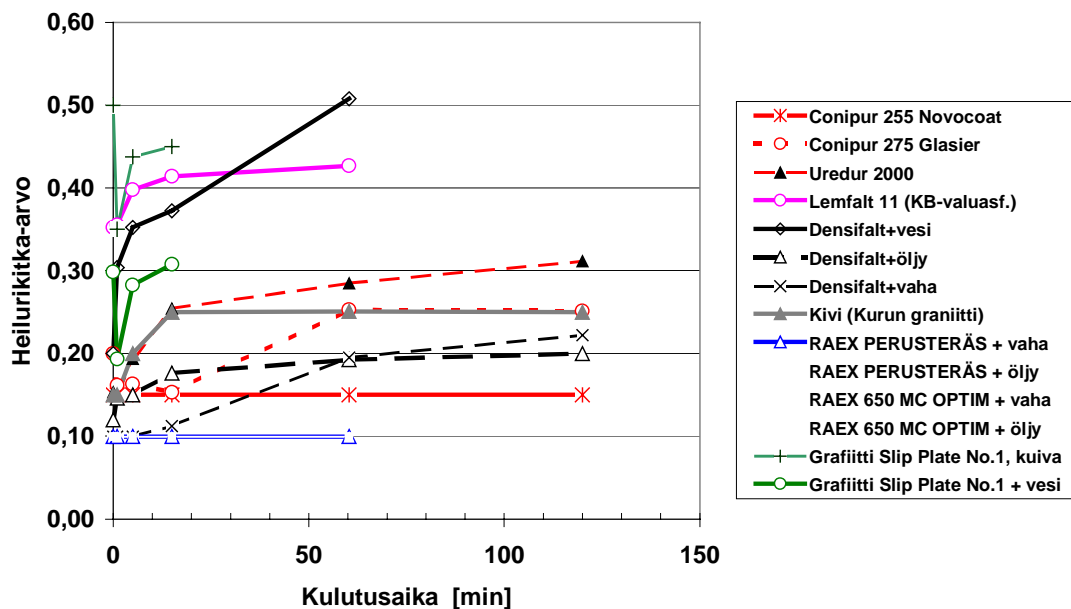
3. Tulokset

3.1 Kitka

Heilurikitkamittaustulokset

Heilurikitkamittarilla mitattiin laboratoriossa liukaspintamateriaalien kitka-arvo sylinterimäisen koekappaleen kaarevasta vaippapinnasta. Heilurikitkamittausten tuloksena saadut heilurikitka-arvot (kunkin kulutusjakson jälkeen laskettuina keskiarvoina) kulutusajan funktiona on esitetään kuvassa 3 ja liitteessä D.

- Teräksen ja joustavan polyuretaanin (Conipur 255 Novocoat) kitka-arvoon kulutuslaitteella ei ollut lainkaan vaikutusta kokeen aikana.
- Muiden kahden polyuretaanin kitka kasvoi kulutuskokeen alussa mutta vakiintui huomattavasti alkukulumisen jälkeen.
- Kiven kitka kasvoi kulutuskokeen alkuvaiheessa mutta vakiintui varsin pian sen jälkeen.
- Densifaltin kitka-arvo muuttui alkukulumisen jälkeen suhteellisen vähän, kun liukastusaine oli öljy tai vaha. Jos liukastusaine oli vesi, Densifaltin kitka kasvoi huomattavasti kulumisen myötä, kunnes pinta oli niin epätasainen, ettei laite pystynyt enää kitkaa mittaamaan
- Valuasfaltin kitka vakiintui alkukuluman jälkeen mutta oli suhteellisen korkea.

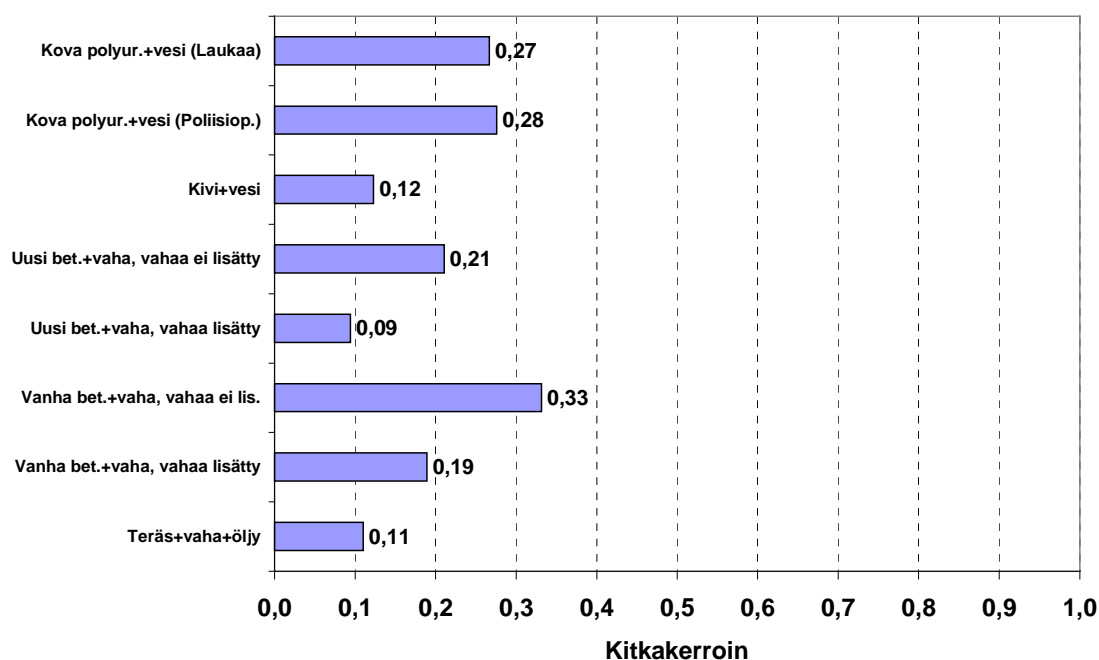


Kuva 3. Heilurikitkamittarilla mitattujen kitka-arvojen riippuvuus SRK-laitteen kulutusajasta.

- Grafiittipinta muuttui noin 30 % liukkaammaksi (kiillottui) heti kokeen alussa mutta alkoi sen jälkeen kulua, jolloin kitkataso nousi nopeasti. Grafiitin kitkaa mitattiin sekä ilman liukastetta että vedellä kasteltuna. Märkänä pinta oli olennaisesti liukkaampi kuin kuivana.
- Jäälieriö otettiin pakastearkusta huoneen lämpötilaan välittömästi ennen mittausta ja kitka mitattiin sen jälkeen viiden minuutin kuluessa. Jään pinta kastui jään alkaessa sulaa. Aluksi heilurikitka-arvo oli 0,12, ajanjakson puolivälissä se oli 0,11 ja jakson lopussa 0,10. Märkäpintaisen jään liukkaus jakson lopussa vastasi liukastetun teräksen liukkautta.

Henkilöauton kitkamittaritulokset

Trippi Ky:n EL-TRIP-kitkamittarilla, ABS-jarruin ja uusin kesärenkain varustetulla Volkswagen Golf -henkilöautolla mitattu kitka viidellä ajoharjoitteluradalla esitetään kuvassa 4 ja liitteessä D. Henkilöauton kitkamittari perustuu auton hidastuvuuden mittaamiseen, ja siksi kitkakerroin on laskettu suoran liukasalueen molempiin suuntiin tehtyjen kitkamittausten keskiarvona.



Kuva 4. Henkilöauton kitkamittarilla mitattu kitka viidellä ajoharjoitteluradalla (kitkamittari EL-TRIP, VW Golf ABS-jarruin ja uusin kesärenkain).

Betonipinnan jarrutuskitkakerroin mitattiin saman ajoharjoitteluradan sekä uusilta että vanhoilta betonipinnoilta, joista osalle oli juuri ennen mittausta levitetty uusi liukastusainevaha ja osa oli kunnostamatta noin neljän tunnin ajoharjoittelun jälkeen. Erilaisista

betonipinnoista alin kitkakerroin (0,09) oli uudella pinnalla, jolle juuri oli lisätty vahaa, ja korkein (0,33) vanhalla betonilla ennen uuden vahan lisäystä.

Alhaisimmat henkilöautolla ajoharjoitteluradoilla mitatut ja samaa suuruusluokkaa olevat, keskimääräiset jarrutuskitkakertoimet (0,09–0,12) olivat vedellä kastellulla graniitipinnalla, vahan ja öljyn seoksella liukastetulla teräspinnalla ja uudella betonipinnalla, jolle oli juuri lisätty vahaa. Kahden polyuretaanipintaisen radan liukaspinnan keskimääräisillä kitkatasoilla ei ollut merkittävää keskinäistä eroa, kuva 4.

Kitkanmittausauton tulokset

VTT:n kitkanmittauskuorma-autolla mitattiin Vihdin koekentälle rakennettujen liukaspintojen sivukitka ja lukkojarrutuskitka neljällä erilaisella henkilöauton renkaalla sekä uudelta että hiekkapuhalluksella kulutetulta pinnalta

- Kuvassa 5 ovat uusilta liukaspinnoilta koerakennekentällä tehtyjen kitkamittausten tulokset.
- Kuvassa 6 ovat vastaavat kitkanmittaustulokset sen jälkeen, kun liukaspintoja oli kulutettu kevyellä hiekkapuhalluksella.
- Kuvassa 7 ovat Vantaan ajoharjoitteluradan betonipinnalla ja Länsi-Uudenmaan ajoharjoitteluradan teräspinnalla mitatut tulokset.
- Liitteen C taulukossa ovat lukuarvoina koerakennekentällä mitatut sivu- ja lukkojarrutuskitkat ennen ja jälkeen hiekkapuhalluksen, hiekkapuhalluksen aiheuttama kitkamuutos sekä suhdeluku sivukitka : lukkojarrutuskitka.

Kuvista 5–7 näkyy selkeästi, että sivukitka on merkittävästi korkeampi kuin lukkojarrutuskitka. Eräillä renkailla tai liukaspinnoilla sivukitka on jopa yli kaksinkertainen lukkojarrutuskitkaan verrattuna.

Alhaisimmat jarrutuskitkat olivat polyuretaaneilla ja kivellä. Alhaiset sivukitkat olivat kivellä ja kovalla polyuretaanilla kaikilla renkailla ja myös joustavalla polyuretaanilla kesärenkailla. Uusista koekentän liukasmateriaaleista korkein kitka oli vedellä liukastetulla Densifaltilla kaikilla rengastyypeillä ja molemmilla kitkanmittaustavoilla.

Kokemusperäisesti tiedetään, että talviolosuhteissa liukkaalla jääpinnalla mittauksissa käytetyn tyyppisten renkaiden pitokyky alhaisimmasta korkeimpaan on useimmiten järjestyksessä: kulunut kesärengas, uusi kesärengas, kitkarengas, nastarengas. Tällä tavoin talviolosuhteita vastaavaan pitokykyjärjestykseen asettuivat kaikki renkaat joustavalla polyuretaanilla ja grafiitilla molemmilla kitkanmittaustavoilla ja kovalla polyuretaanilla lukkojarrutuksella. Tässä mielessä nämä pinnat toimivat liukkaan jään tavoin, kuva 5.

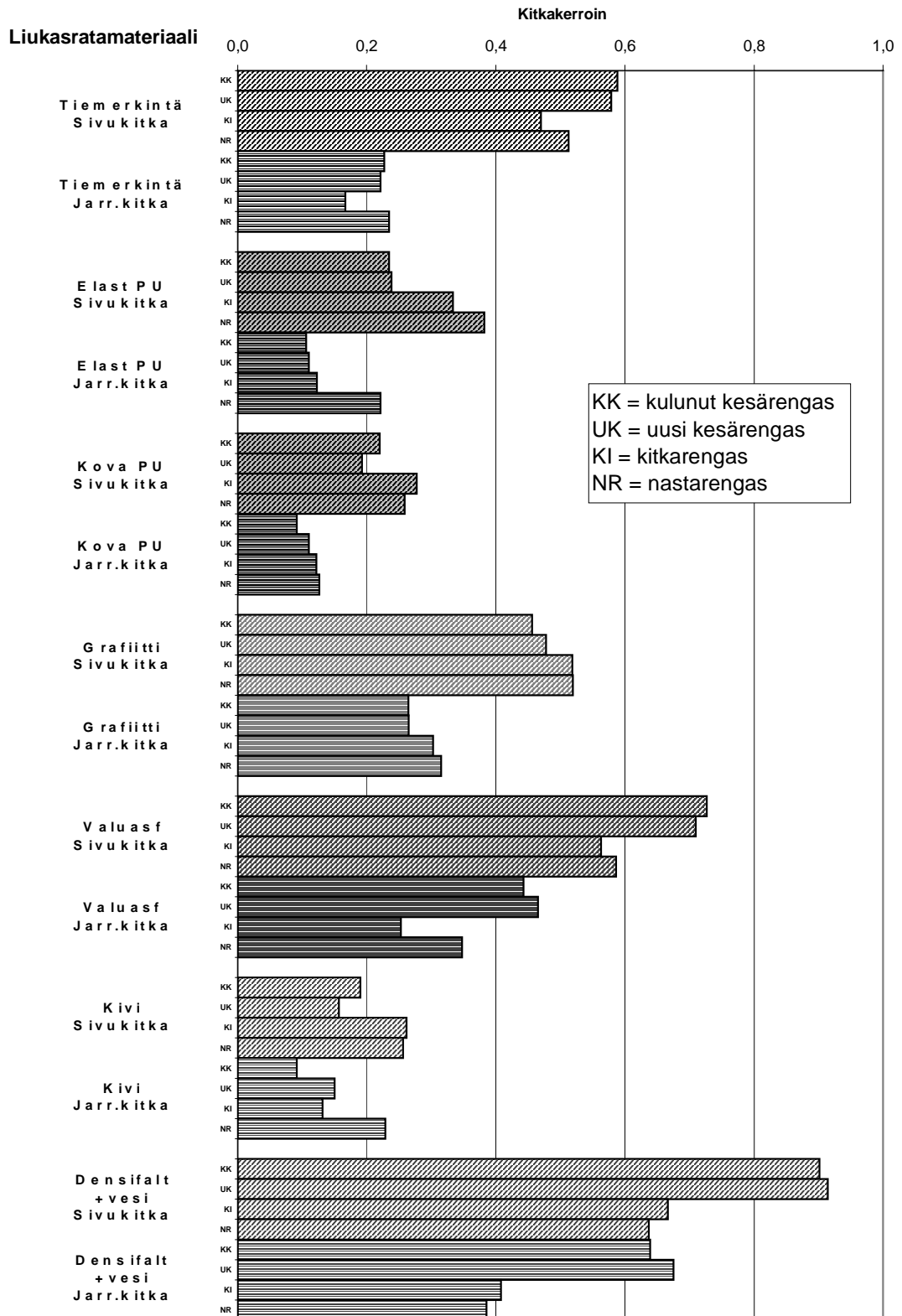
Kesärenkailla saatiin korkeampia kitka-arvoja kuin talvirenkailla tiemerkinältä sivukitkamittausmenetelmällä sekä valuasfaltin ja Densifaltin pinnalta molemmilla kitkanmittaustavoilla. Tässä mielessä nämä pinnat vastasivat muita huomommin talven liukasta jääpintaa, kuva 5.

Tiemerkintään oli (koekentän pinnoista) kevyellä hiekkapuhalluksella suurin kulumisvaikutus. Tiemerkinän kitkakerroin kasvoi rengastyypistä riippuen 0,1–0,2. Muiden materiaalien kitkaan oli hiekkapuhalluksella vain vähäinen vaikutus. Koska hiekkapuhallus muutti pinnan kitkaa yleensä varsin vähän, hiekkapuhallus ei muuttanut kovin paljon myöskään renkaiden pitokykyjärjestystä samalla pinnalla.

Densifaltin kitka mitattiin koekentän muista materiaaleista poiketen veden lisäksi hiekkapuhalluksen jälkeen myös öljyllä liukastettuna. Öljy alensi huomattavasti Densifaltin sivukitkaa, mutta jarrutuskitkaan sen vaikutus oli vähäisempi, kuva 6. Densifaltin kitkaa suurensi todennäköisesti se, että pinta oli hiottu vain pienellä käsikoneella. Pinnassa oli epätasaisuutta ja kivipintojen osuus näkyvästä Densifaltin pinnasta oli olennaisesti alhaisempi kuin sahatussa tai poratussa Densifalt-pinnassa. Tehokkaampi ja isompi hiontalaite olisi tehnyt pinnasta tasaisemman, ja suurempi hiontasyvyys olisi tuonut pintaan enemmän sileitä kivipintoja, joiden kitka on alhaisempi kuin kivirakeiden välissä olevan sementtilaastin.

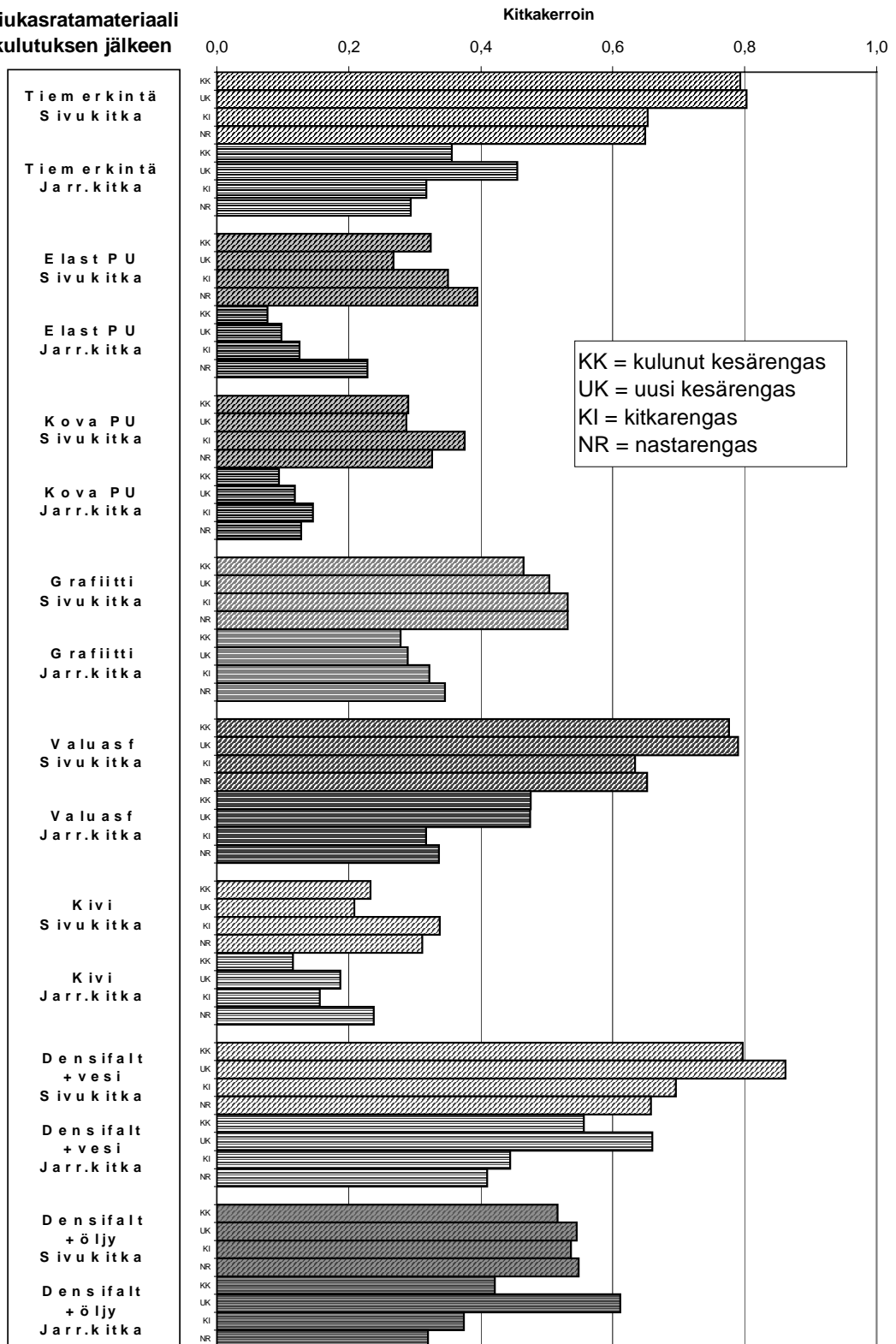
Vantaan ajoharjoitteluradalla tehtiin kitkanmittauksia kahdella betonipintaisella suoralla. Toinen suora oli ajoharjoittelun jälkeisessä kunnossa ilman vahan lisäystä ja toinen suora vahattu juuri ennen mittausta. Molemmilla suorilla oli sekä seitsemän vuoden ikäistä betonipintaa että uutta, muutaman kuukauden ikäistä betonipintaa, jota nastarenkaat eivät olleet ehtineet karkeuttaa. Näin mittauspintoina oli neljä erilaista betonipinnan ja liukastusainemäärän yhdistelmää, joilla kaikilla tehtiin sekä sivukitka- että lukkojarrutusmittauksia, kuva 7.

Betonin lukkojarrutuskitkakerroin oli erityisen alhainen (uudella betonilla pinnan kitkakeskiarvo oli 0,03–0,15 ja vanhalla betonilla 0,12–18). Alhaisimmat lukkojarrutuskitkavarvot saattavat viitata tilanteeseen, jossa kulunut kesärenkas olisi uudella, sileällä, juuri vahatulla pinnalla joutunut "liukastusvahaliirtoon". Sivukitkakeskiarvojen vaihteluväli eri betonipinnoilla oli noin 0,15–0,52, kun muuttujina olivat betonin ikä, liukastustapa ja rengastyyppe, kuva 7.

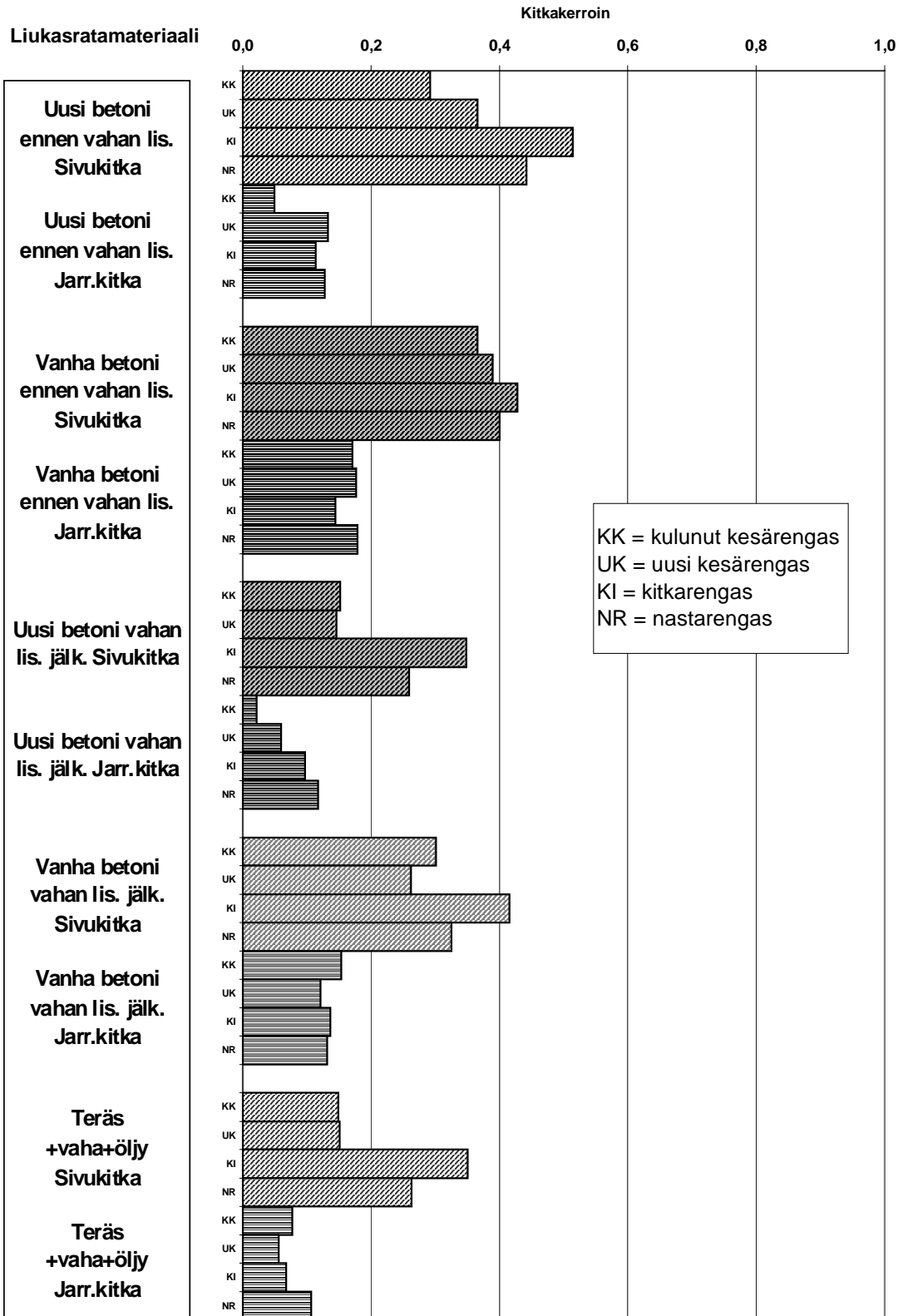


*Kuva 5. VTT:n kitka-autolla mitatut sivu- ja lukkojarrutuskitkat koekentällä ennen kulu-
tusta, Vihdin koekenttä.*

**Liukasratamateriaali
kulutuksen jälkeen**



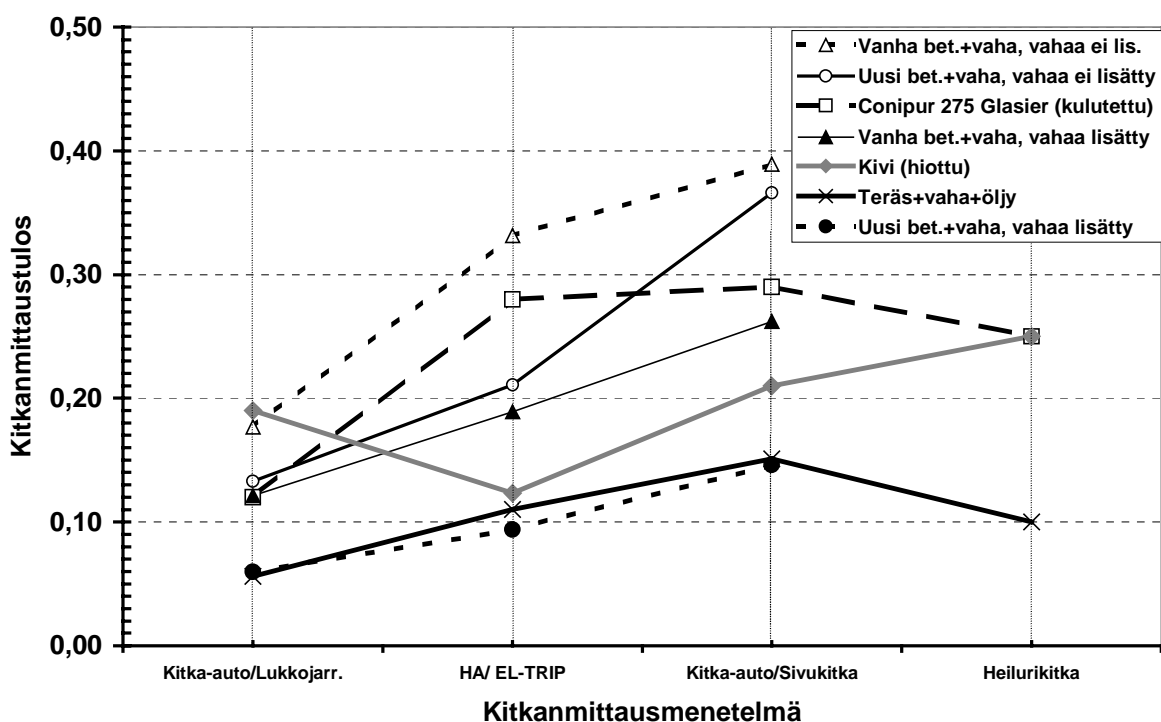
Kuva 6. VTT:n kitka-autolla mitatut sivu- ja lukkojarrutuskitkat kulutuksen (hiekkapuhalluksen) jälkeen, Vihdin koekenttä.



Kuva 7. Vantaan ja Länsi-Uudenmaan ajoharjoitteluradoilla kitkanmittauskuorma-autolla tehdyt mittaukset.

Kitkanmittausmenetelmien vertailu

Kuvassa 8 esitetään neljällä eri kitkanmittausmenetelmällä samoilta pinnoilta tai samaa materiaalia olleilta pinnoilta mitattuja kitkanmittaustuloksia. Kaikki henkilöauton mitaustulokset mitattiin käytössä olleilta ajoharjoitteluradoilta, heilurikitkamittarin tulokset ovat laboratoriokokeista kahden tunnin kulutuksen jälkeen, kitka-auton lukko- ja sivukitkamittauksista teräs- ja betonipinnat mitattiin ajoharjoitteluradoilta, kitka-auton lukko- ja sivukitkamittauksista kivi- ja polyuretaanipinnat mitattiin Vihdin koekentällä hiekkapuhalluksen jälkeen.



Kuva 8. Eri menetelmillä mitattujen kitka-arvojen vertailu (autoissa uudet kesärenkaat).

Eri kitkanmittausmenetelmien vertailutuloksista voidaan todeta seuraavaa:

- Kitka-auton lukkojarrutuskitka oli yleensä pienempi kuin muiden menetelmien mukainen kitkatulos.
- Henkilöauton kitkamittarin tulos oli pienempi kuin kitka-auton sivukitka.
- Uuden juuri vahatun betonipinnan ja liukastetun teräspinnan kitkat olivat hyvin lähellä toisiaan.
- Muutettu heilurikitkanmittausmenetelmä toimi hyvin, koska sen tuloksena saadut heilurikitka-arvot (BNP-luvut) vastasivat kohtalaisen hyvin henkilöauton ja kitka-auton sivukitkamittaustuloksia uusilla kesärenkailla sileillä kivi-, teräs- ja polyuretaanipinnoilla. Kuvassa 8 heilurikitkatulos on kahden tunnin kulutuksen jälkeen. Uusilla pinnoilla kovan polyuretaanin ja kiven heilurikitka-arvo ja koerakenteesta

mitattu vastaavan uuden pinnan sivukitka uusilla renkailla olivat hyvin lähellä toisiaan.

Kuvaa 8 voidaan käyttää karkeana apuvälineenä, kun muunnetaan yhdellä kitkanmittausmenetelmällä saatu kitkanmittaustulos vastaamaan toisen kitkanmittausmenetelmän mukaista kitka-arvoa. Korjaus ei kuitenkaan ole tarkka, koska mittaolosuhteet vaikuttavat kitkaan. Erityisesti kivi- ja polyuretaanipinnan mittauksissa menetelmien vertailukelpoisuutta heikensi se, että niistä henkilöautolla ja kitka-autolla saadut mittaustulokset eivät ole samasta kohteesta, joten mittauspaiikkojen erot vaikuttivat tuloksiin. On huomattava, että kuvan 8 mittauksissa autoissa oli uudet kesärenkaat, muilla renkailla eri menetelmien välinen riippuvuus ei ole aivan samanlainen.

Ajoharjoitteluratojen liukasalueiden suorilla on pituuskaltevuutta, joka yleensä on ajosuunnassa alamäkeen. Henkilöauton kitkamittarin tulos perustuu auton hidastuvuuteen, joten pituuskaltevuus vaikuttaa sen ilmoittamaan kitkatulokseen. Kun henkilöauton kitkamittarilla halutaan muihin menetelmiin vertailukelpoisia tuloksia, on suositeltavaa mitata kitka molempiin ajosuuntiin (esim. kymmenen mittausta kumpaankin ajosuuntaan) ja laskea mittaustulosten keskiarvo.

Tämän tutkimuksen henkilöautolla tehtyjen kitkamittausten "kitkakertoimien ero" eri ajosuuntien välillä oli materiaalista ja radasta riippuen 0–0,6; yleensä ero oli kuitenkin 0,01–0,02.

3.2 Kulumiskestävyys

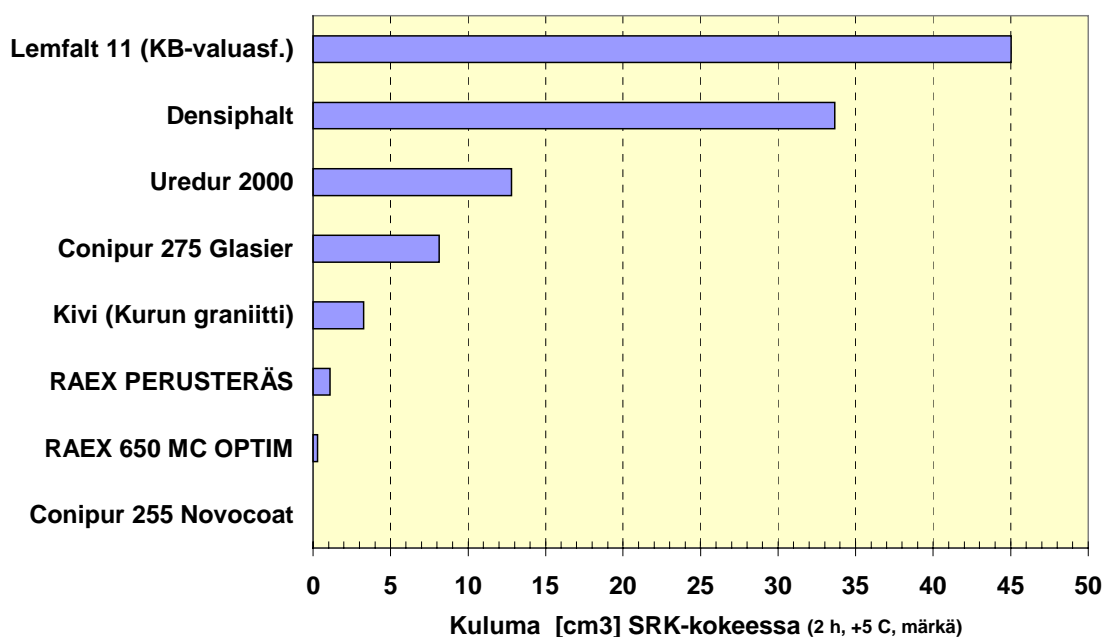
SRK-laitteella laboratoriossa tutkittujen pintamateriaalien nastarengaskulumiskestävyys esitetään kuvassa 9. Parhaiten kesti kokeessa joustava polyuretaani Conipur 255 Novocoat, joka ei kulunut kokeessa lainkaan. Sen kulumiskestävyys tällä laitteella laboratoriossa mitattuna oli siten jopa parempi kuin teräksen tai kiven.

Tämän polyuretaanin poikkeuksellisen hyvää tulosta tässä testissä selittää se, että kulumiskokeen tulokseen vaikuttavat laitteen kulutusmekanismi ja materiaalille ominainen kulumistapa. Toiset materiaalit eivät kestä iskuja ja toiset hirtävää kulutusta. Suhteellisen kovakin materiaali kuluu nastaiskujen vaikutuksesta, jos se on haurasta. Joustava materiaali joustaa iskujen alla rikkoontumatta, mutta terävän nastan raapaisu saattaa leikata sen pinnan rikki.

Myös teräksen ja kiven kuluminen oli erittäin vähäistä. Polyuretaanit Conipur 275 Glacier ja Uredur 2000 kuluivat vähän, jos niitä verrataan esim. asfaltin kulumiseen. On kuitenkin huomattava, että ohuiden polyuretaanipinnoitteiden kulumisvara on huomattavasti vähäisempi kuin paksujen asfalttikerrosten.

Grafiittipinnoitteen kulumiskestävyys oli heikoin, sillä se kului kokeen aikana puhki, ja laite alkoi kuluttaa sen jälkeen asfaltialustaa. Grafiitin kuluma-arvoa ei voitu siten lainkaan määrittää tällä menetelmällä.

Kulumiskokeen tuloksia voidaan verrata Asfalttinormien 2000 mukaisiin samalla menetelmällä määritettyihin asfaltin kulumiskestävyysluokkiin, taulukko 5.



Kuva 9. Liukaspintamateriaalien kulumiskestävyys SRK-kokeessa.

Taulukko 5. Asfalttimassojen jako kulumisluokkiin asfalttinormien mukaan [5].

Kulumisluokka	I	II	III	IV
SRK-kuluma (cm ³)	≤ 25	≤ 35	≤ 45	≤ 60

Vilkkaimmin liikennöidyiltä teiltä, joilla on korkea nopeusrajoitus (esim. moottoriteiltä) voidaan vaatia asfalttinormien kulumisluokan I mukaista kulumiskestävyttä (≤ 25 cm³). Tämän vaatimuksen täyttivät kaikki polyuretaanit, teräkset ja graniitti. Densiphalt täytti luokan II vaatimukset, jota korkeampaa kulumiskestävyttä ei yleensä vaadita katujen ja taajamien teiden päällysteeltä. Valuasfaltti täytti juuri ja juuri luokan III kulumiskestävyysvaatimuksen.

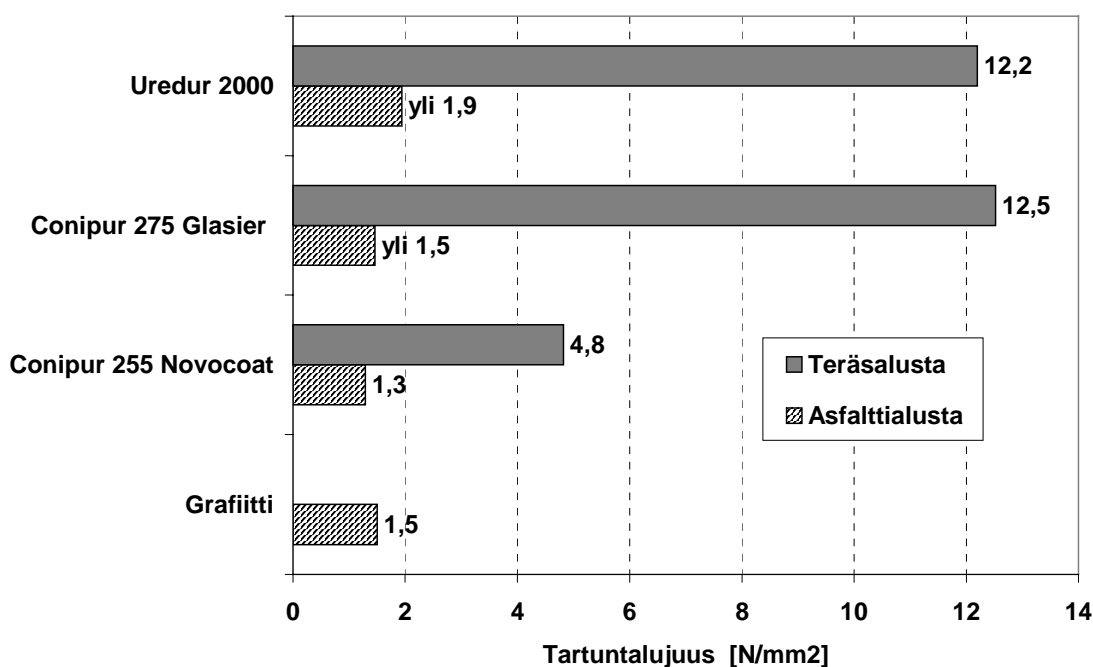
Liitteessä E on valokuvia Vihdin Ammattioppilaitoksen radalle tehtyjen koerakenteiden liukaspinnoista. Niistä voidaan havaita yksittäisten nastojen raapaisujälkien eroja eri materiaaleilla VTT:n kitka-auton sivukitkamittauksen ensimmäisen ajokerran jälkeen. Nastojen raapaisujäljissä on selvästi irronnut pinnoitemateriaalia grafiitista, kovasta polyuretaanista ja tiemerkinästä. Densifaltissa ja graniitissa näkyy pieni viiru, joustavassa polyuretaanissa on nastan jälki, josta ei kuitenkaan ole irronnut pintamateriaalia.

3.3 Valuasfaltin painuma

Yhtenä liukaspintamateriaalina laboratorikokeissa mukana olleen kumibitumivaluasfaltin kahden näytteen painuma-arvot olivat tällä menetelmällä määritettynä 4,9 ja 5,0 mm. Asfalttinormien mukaan ajoratojen, siltojen ja paikoitusalueiden painumarvon tulee olla 1–5 mm. Jos se on yli 5 mm, kasvaa deformaatoriski. Laboratorikokeessa mukana ollut valuasfaltti täytti laatuvaatimuksen vaikka olikin vaatimusalueen ylärajalla.

3.4 Tartunta alustaan

Kolmen polyuretaanista ja yhden grafiitista tehdyn liukaspinnan sekä niiden alustan (asfaltti tai teräslevy) välinen tartuntalujuus esitetään keskiarvojen mukaan kuvassa 10 ja yksittäisinä mittaustuloksina liitteessä F. Kaikki kolme tutkittua polyuretaania tarttuivat erittäin lujasti hiekkapuhalletun teräslevyn pintaan. Asfalttiin tartuntalujuus oli olennaisesti heikompi.



Kuva 10. Kolmen polyuretaanin ja grafiitin tartunta alustaan (+23 °C).

Näitä tuloksia voidaan verrata esim. tartuntalujuuden laatuvaatimukseen, joita on asetettu Sillanrakennuksen yleisissä laatuvaatimuksissa siltakansien polyuretaanisille vedeneristysmassoille ja ohutkerrospäällysteille sekä Tiemerkintöjen laatuvaatimuksissa tiemerkintämassoille, taulukko 6. Kaikki kolme tutkittua polyuretaania ja grafiitti täyttivät tiemerkinnälle ja siltakannen eristysmassalle asetetut tartuntalujuusvaatimukset sekä ohutkerrospäällysteen yksittäisen näytteen tartuntavaatimuksen. Ohutkerrospäällysteen tar-

tuntalujuuden keskiarvovaatimusta ($\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$) joustava polyuretaani ei täyttänyt, taulukko 6.

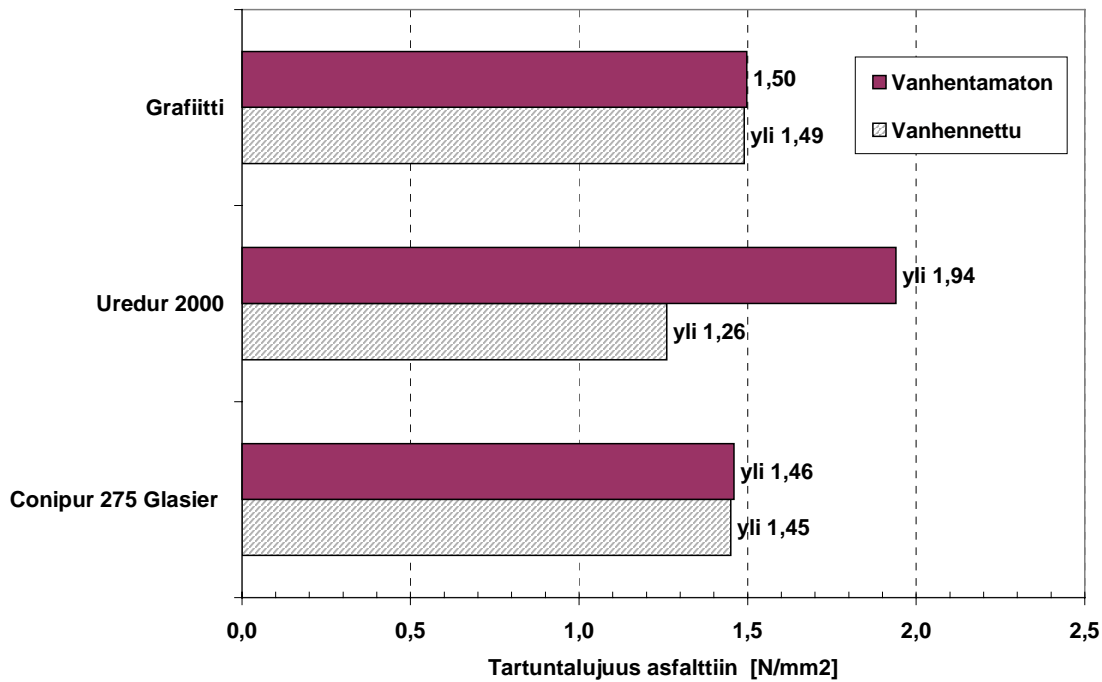
Taulukko 6. Vertailumateriaalien tartuntalujuusvaatimuksia [4, 7].

Päällyste	Alusta	Tartuntalujuus- vaatimus N/mm^2	Lämpötila $^{\circ}\text{C}$
Valuasfaltti	Joustava polyuretaani	ka. $\geq 1,2$ yks $\geq 1,0$	+23
Joustava polyuretaani vedeneristyksenä	Betoni	ka. $\geq 1,2$ yks $\geq 1,0$	+23
Polyuretaani tms. ohut- kerrospäällysteenä	Betoni/ teräs/ puu	ka. $\geq 1,5$ yks $\geq 1,0$	+23
Tiemerkintä, valumassa	Asfaltti	$\geq 1,3$	+20

3.5 Yhteensopivuus bitumin kanssa

Yhteensopivuus bitumin kanssa selvitettiin tutkimalla pitkäaikaisen lämpösäilytyksen vaikutus pinnoitteen ja asfalttibetonin väliseen tartuntalujuuteen. Yhteensopivuus tutkittiin kahden polyuretaanin sekä grafiitin osalta. Yhteensopivuutta kuvaa vanhennetun näytteen ja vanhentamattoman vertailunäytteen tartuntalujuusero. Tartuntalujuusmittausten tulosten keskiarvot esitetään kuvassa 11 ja yksittäisten näytteiden mittaustulokset liitteessä G.

Lämpövanhennuksen ei todettu vaikuttaneen tutkittujen materiaalien tartuntaan. Polyuretaanilla Uredur 2000 tartuntalujuus tosin oli merkittävästi alhaisempi vanhennuksen jälkeen kuin ennen vanhennusta mutta irtoaminen tapahtui asfalttia murtaen eikä tartuntapintaa pitkin. Asfaltin vetolujuuden heikkenemisen aiheuttanut syy ei selvinnyt kohteessa. Kun irtoaminen tapahtui asfalttia murtaen, tartuntalujuuden maksimiarvoa ei ollut saavutettu ennen asfaltin hajoamista ja tuloksiin voitiin merkitä ainoastaan raja, jota suurempi tartuntalujuus oli.



Kuva 11. Lämpövanhennetun ja vanhentamattoman materiaalin tartuta asfalttiin (+23 °C).

3.6 UV-kestävyys

Lähes kaikissa muoveissa tapahtuu hajoamisreaktioita, kun ne ovat jatkuvasti ulkoilmassa auringon valolle alttiina. Polyuretaaneissa on eroja auringon UV-säteilyn kestävyden suhteen: jotkut polyuretaanit kestävät ja toiset eivät kestä sitä [8]. Tästä syystä kaikki kolme laboratoriokokeissa mukana ollutta polyuretaania UV-vanhennettiin, jotta voitiin arvioida niiden kestävyttä auringon säteilyä vastaan.

Silmämääräiset havainnot

Joustava polyuretaani Conipur 255 Novocoat muuttui UV-vanhennuksen aikana siten, että pinnan kiilto hävisi (kiillon väheneminen 62 %, taulukko 7), sen väri muuttui kiiltävän harmaasta himmeän harmaaksi ja pintaa liituuntui (pinnalle muodostui ohut jauhekerros). Vanhennuksen jälkeen näytteen pinnassa näkyi mikroskoopilla tiheä verkkohalkeamakuvioid.

Kova polyuretaani Conipur 275 Glasier muuttui UV-vanhennuksessa siten, että pinnan kiilto hävisi (alenema 62 %, taulukko 7), väri muuttui kiiltävän harmaasta himmeän keltaruskeaksi ja pinta liituuntui. Vanhentamattoman pinnan kiiltomittaustulosta alensi pinnan aaltomainen epätasaisuus. Pinnassa ei näkynyt halkeilua.

Kova, kvartsihiekkää sisältävä polyuretaani Uredur 2000 muuttui UV-vanhennuksessa siten, että kiilto hävisi (suurin alenema 82 %, taulukko 7), väri muuttui kiiltävän har-

maasta himmeään kellertävän harmaaksi ja pinta liituuntui. Pinnassa ei näkynyt halkeilua. Sekä vanhennetussa että vanhentamassa pinnassa näkyi sen sijaan juuri ja juuri silmämääräisestikin erottuvia pieniä neulanpiston näköisiä avojuokosia.

Polyuretaanien värimuutoksia havainnollistavat liitteessä H esitettävät materiaalien värikoordinaatit. Värikoordinaatistokuvaan on merkitty vertailuarvoksi suorakulmiolla uuden valkoisen tiemerkin värin laatuvaatimusalue, jolla tiemerkin värin tulee olla ennen UV-vanhennusta ja sen jälkeen. Vinoneliöllä on merkitty vastaava keltaisen tiemerkin laatuvaatimus. Värikoordinaatistokuvan viereen piirretystä erillisestä suurennoksesta näkyy, että kaikkien tutkittujen polyuretaanien väri oli ennen UV-vanhennusta valkoisen tiemerkin vaatimusalueella ja että niiden kaikkien väri oli muuttunut keltaisen suuntaan (kellastunut) UV-vanhennuksen aikana.

Edellä olevan perusteella voidaan todeta UV-säteilyn vaikuttaneen kaikkien polyuretaanien pinnan ulkonäköön siten, että ne menettivät kiiltonsa ja niiden väri muuttui. Merkittävin silmämääräisesti todettu muutos oli joustavan polyuretaanin verkkohalkeilu. Suurin värin muutos oli kovalla Conipur 275 Glasier -polyuretaanilla, ja suurin kiillon muutos oli alun perin kiiltävimmällä polyuretaanilla Uredur 2000. Uredurin kiillon alenemiseen vaikutti mahdollisesti pinnan huokoisuus.

Taulukko 7. Polyuretaanien pinnan kiilto ennen ja jälkeen UV-vanhennuksen.

	Polyuretaanin pinnan kiilto		
	Conipur 255 Novocoat	Conipur 275 Glasier	Uredur 2000
Ennen UV-vanh.	24	42	59
UV-vanh. jälkeen	9	16	11
Muutos (Erotus)	-15	-26	-48
Muutos (%)	-62	-62	-82

UV-vanhennuksen jälkeen tutkittiin sekä vanhennettujen näytteiden että vanhentamattomien vertailunäytteiden pinnan kulumiskestävyys Tröger-laitteella. UV-vanhennus ei vaikuttanut Conipur 255 tai Conipur 275 -massojen Tröger-kulumiskestävyyteen. Myös Uredur 2000:n kuluminen oli vähäistä, vaikka se hieman muita polyuretaaneja enemmän kuluikin sekä vanhennettuna että vanhentamattomana. UV-vanhennus toimi tämän materiaalin osalta päinvastoin kuin yleensä: vanhennus hidasti kulumista, taulukko 8.

Taulukko 8. UV-vanhennuksen vaikutus polyuretaanien Tröger-kulumiskestävyyteen.

	UV-vanhennettu	Vanhentamaton
	Tilavuushäviö [cm ³]	
Conipur 255 Novocoat	0,1	0,0
Conipur 275 Glasier	0,1	0,1
Uredur 2000	0,3	0,8

3.7 Liukasalueiden korjaukset

3.7.1 Peruskorjausten lähtökohdat

Ajoharjoitteluradan liukasalueen peruskorjaushankkeelle on yleensä tyypillistä, että

- rata on ollut käytössä noin kymmenen vuotta
- radalla on yleensä teräspinta, sillä on käytetty öljyä liukasteena ja öljy on rapauttanut teräksen alapuoliset asfalttikerrokset
- öljyä on imeytynyt myös maakerrokseen.

Liukasalueen peruskorjauksen yhteydessä yleensä poistetaan vaurioituneet asfalttikerrokset ja korvataan ne uusilla. Vaikeampaa on arvioida öljypitoisen maa-aineksen poistotarvetta, ja se tulee selvittää tapauskohtaisesti.

Ennen liukasalueen pinnan korjaustyön aloittamista tulisi aina selvittää liukasalueen kunto ja vauriot, mikä vauriot on aiheuttanut, sekä ympäristösuojelunäkökohdat. Vaurioiden syiden selvittämisen jälkeen valitaan ja suunnitellaan korjaustapa, jolla poistetaan vaurioiden aiheuttajat ja vältetään niiden uusiutuminen. Oikean korjaustoimenpiteen valinta riippuu tapauskohtaisesti toimenpiteen hinnasta ja korjatun rakenteen kestävydestä eli niiden perusteella määräytyvästä vuosikustannuksesta. Seuraavassa käsitellään yleisimpiä korjausten lähtökohtia.

Routavauriot

Routa voi aiheuttaa radan pinnan epätasaisuutta ja asfaltin halkeamia. Routan vaikutus voidaan selvittää routavaaitusten sekä routa- ja pohjavesiputkien avulla. Routan vaikutus voidaan poistaa suunnittelemalla rakenne routimattomaksi tai routan aiheuttamat liikkeet kestäväksi. Routimaton rakenne voidaan suunnitella käyttäen riittävän paksuja routimattomia rakennekerroksia tai lämmöneristeitä. Jos routaliikkeet eivät ole kovin suuria, saattaa teräsverkon asennus rakenteeseen riittää estämään routavauriot. Rakenteen routamitoitus suunnitellaan aina tapauskohtaisesti.

Epätasaisuus

Routavaurioiden lisäksi epätasaisuutta voivat aiheuttaa esim. pohjamaan painuminen, rakenteen riittämätön kantavuus, rakennekerrosten muodonmuutokset ja jälkitiivistyminen sekä ajoharjoitteluratojen liukasalueilla asfalttikerrosten rapautuminen liukastusöljyn vaikutuksesta. Painumien syyt voidaan selvittää pohjamaasta tai rakenteesta otetuista näytteistä ja tarvittaessa radalla tehtävin kantavuusmittauksin.

Pakkashalkeilu

Lämmönvaihtelut aiheuttavat myös kenttärakenteisiin pituuden muutoksia. Niistä johtuville asfalttikerrosten kutistumishalkeamille on tyypillistä, että ne syntyvät kovilla pakkasilla usein tasaisin välimatkoin ja avautuvat lämpötilan alentuessa. Ne pienenevät ja pyrkivät sulkeutumaan lämpötilan jälleen noustessa. Pakkasen aiheuttamien kutistumishalkeamien syntymistä voidaan estää oikealla asfaltin sideaineen ja koostumuksen valinnalla.

Vanhenemiskutistuminen

Monet muovit (esim. eräät polyuretaanit) kutistuvat merkittävästi vanhetessaan. Tämä muodonmuutos on pysyvä eikä palaudu, kuten pakkasen aiheuttamat kutistumishalkeamat. Pintakerroksen kutistuminen voi aiheuttaa niin suuret voimat alla olevaan asfalttiin, että myös se halkeaa. Tällaiset kutistumishalkeamat voidaan välttää valitsemalla kerrosmateriaalit siten, että niihin ei synny merkittävästi toisistaan poikkeavia vanhenemiskutistumia tai että ne kestävät kutistumisen aiheuttamat vetovoimat.

Tartunnan irtoaminen

Pinnoite saattaa irrota alustastaan, jos pinnoite ei sovi kemiallisesti yhteen alustan kanssa tai tartunta on alun perin ollut huono. Heikosti kiinni olevan pinnoitteen irtoamiseen voivat vaikuttaa esim. alemman bitumilla sidotun kerroksen pehmeneminen hellesäällä tai höyrynpainevaihtelut pinnoitteen alla. Tartuntaa voidaan parantaa rakentamisvaiheessa huolellisella työnsuorituksella ja oikealla alustan esikäsitteilyn, työtekniikan, materiaalin ja asennusolosuhteiden valinnalla.

Pinnan kitka ja kuluminen

Nastarenkaat naarmuttavat ja kuluttavat liukaspintamateriaaleja, ja samalla pinnan kitka muuttuu. Jos pintamateriaali kestää hyvin kulumista, myös kitkan muutos on hitaampaa. Jos pinnoite ei kestä UV-säteilyä, se menettää auringon säteilyn vaikutuksesta alkupeittäisiä ominaisuuksiaan. Se voi esim. menettää joustavuuttaan ja alkaa kulua nopeammin. Pinnan kulumisen tai UV-säteilyn aiheuttamien muutosten myötä sen kitkaominaisuudetkin usein muuttuvat. Pinnan liian korkea kitka ja kulumisvauriot voidaan korjata eräissä tapauksissa pintaa hiomalla, maalaamalla pinta liukkaalla maalilla tai pinnoittamalla se uudelleen. Jos pinnan kitkaominaisuuksia mitataan säännöllisesti, voidaan kitkamittaustuloksia käyttää hyödyksi myös korjausajankohdan valinnassa.

Ympäristönsuojelu

Ympäristönsuojelunäkökohtien huomioonottoon korjausrakentamisessa vaikuttavat mm. rakennuspaikan pohjamaan laatu, ympäröivän alueen maankäyttö, pohjavedenpinnan

asema, etäisyys pohjaveden ottopaikkaan ja pohjamaan sisältämät haitalliset aineet, niiden pitoisuudet ja ympäristöviranomaisten määräykset.

Jos radalla käytetään liukastusaineena öljypitoista ainetta, tulisi ympäristön tilaa seurata jatkuvasti. Jatkuvaan seurantaan soveltuu esim. säännöllinen näytteenotto tarkoitusta varten rakennusta pohjavesikaivosta. Ympäristönsuojeluun kannattaa kiinnittää erityistä huomiota radan peruskorjausta suunniteltaessa. Haitallisten aineiden kulkeutumista ja kerääntymistä maaperään tai pohjaveteen voidaan tutkia maa-aines- ja pohjavesinäytteiden avulla. Näytteitä voidaan ottaa ja tutkia myös korjausrakentamisen aikana työmaalla, jotta korjaustoimenpiteiden laajuus voidaan päättää todellisen tarpeen mukaan.

Uuden liukaspintamateriaalin valintaa voidaan perustella myös ympäristönäkökohdilla. Erityisen hyvä vaihtoehto ympäristön kannalta on kivilaatoitus, koska kivi on myrkytön, kulumista kestävä materiaali, jonka liukasteeksi riittää pelkkä vesi. Myös polyuretaaneille riittää liukasteeksi vesi, ja ne ovat siksi ympäristönsuojelun kannalta hyvin perusteltavissa olevia vaihtoehtoja.

3.7.2 Korjaustapavaihtoehtoja

Taulukossa 9 on esimerkkejä liukasalueiden korjaus- ja rakentamistapavaihtoehtoista, jotka on kerätty ajoharjoitteluradoille tehdyn kyselyn perusteella. Pintamateriaalien kustannustiedot perustuvat pääosin v. 1999–2000 toteutuneista korjauksista saatuihin kustannustietoihin. Ratojen rakentamisvaiheen kustannustiedot ja erilaisten kunnostus- ja korjaustöiden kustannustietoja on esitetty myös nykytilaselvitysraportissa [1]. Radan peruskorjauksen suunnitteluvaiheessa tulee usein ajankohtaiseksi selvittää myös vaihtoehtoisen pintamateriaalin tekniset ominaisuudet, rakentamiskustannukset ja toteutusmahdollisuudet.

Teräspintaisilla radoilla tyypillinen peruskorjaus on ollut teräspinnan siirto sivuun, sen alapuolisten asfalttikerrosten uusiminen ja terästen siirto takaisin.

Joustavan polyuretaanin hintatieto taulukossa 9 on puhelimitse saatu urakoitsijan hinta-arvio, joka kertoo kustannuksen suuruusluokan. Joustava polyuretaani on rakennuskustannuksiltaan samaa hintatasoa kuin toistaiseksi käytetty kova polyuretaani. Polyuretaanin pienempiä vauriokohtia voidaan paikata polyuretaanimaaleilla tai massoilla.

Graniittipinnalle tehdään vuosittain radan omana työnä nastarengaskauden jälkeen hiontakäsittely, jolla pinta kunnostetaan kitkaominaisuuksiltaan tavoitetasoon. Kivipintaisen radan laattojen alla oli alun perin maabetoni, joka uusittiin muovibetoniksi, koska alkuperäinen maabetoni ei kestänyt suolavettä [1].

Betonipinnan kestävyyttä kuvaa se, että taulukossa 9 esitetty betonipinnan korjaustoi-
menpide vuonna 2000 oli ensimmäinen tälle pinnalle tehty peruskorjaus radan
rakentamisen (v. 1993) jälkeen.

*Taulukko 9. Ratojen liukasalueiden korjauksia ja niiden kustannuksia v. 1999–2000
(ilman ALV:tä).*

Vanha liukaspinta	Korjaustyön sisältö	Määrä m ²	Yks. hinta mk/m ²	Kok. hinta 1 000 mk
Teräspinta, jonka asfaltti- alusta rapautu- nut	Vanhojen teräslevyjen puhdistus ja veto sivuun ja siirto takaisin	500		24
	Vaurioituneen asfaltin poisto	433		} 39
	uusien asfalttikerrosten levitys	508		
Kova poly- uretaanipinta, joka halkeillut ja kuplinut	Vaurioituneen polyuretaanin ja vaurioituneen asfaltin poisto. Uusi asfalttialusta		ei ilm.	ei ilm.
	Pinnan hiekkapuhallus, kovan polyuretaanin levitys kahtena kerroksena, joiden väliin vahvistusverkko	750	205	158
	Pohjatyöt: Vanhan muovipinnan ja asfaltin poisto, maamassojen leikkaus 1 m:n syvyyteen, pohjan tasaus, suodatinkankaan levitys salaojien asennus 200 m. Säädettävät valurautakansistot 40 t, 10 kpl eristys-suodatinkerros: OKTO-eriste 50 cm jakava / kantava kerros 50 cm murskesora			150
	Asfalttialusta AB 12/120	1 100	38	42
	Kova polyuretaani 3 mm ja vahvistuskangas	600	225	135
Kova polyure- taanipinta	Vaurioituneen polyuretaanin ja vaurioituneen asfaltin poisto. Uusi asfalttialusta. Merkintämassa 4 kg/m ²		ei ilm.	ei ilm.
	VE 1: Merkintämassa 4 kg/m ²	950	63	
	VE 2: Tiemerkinämaali 0,4 litr/m ²	950	37	
Kova polyure- taanipinta	Vaurioituneen polyuretaanin ja vaurioituneen asfaltin poisto. Uusi asfalttialusta AB16/100+AB8/60		ei ilm.	ei ilm.
	Asfalttipinnan hiekkapuhallus, joustavan po- lyuretaanin levitys yhtenä kerroksena ilman lujiteverkkoa	noin 1 000	arvio 200– 250	
Betonipinta	Betonipäällysteeseen jyrsitään vaurioituneel- le alueelle laatikkomainen kaukalo, joka täy- tetään uudella betonimassalla, jonka pintaan hierretään lujitesirote.	500	500	250
Uusi suora ja kaarrerata	Tekojääradan rakentamisen maatyöt			694
	Tekojääradan putkisto ja koneistotyöt			528

4. Tulosten tarkastelu

Yleistä

Liukaspintamateriaalien tulee täyttää niille asetetut lukuisat vaatimukset käyttöominaisuuksien (kitka, helppohoitoisuus, käyttömukavuus), kestävyuden, taloudellisuuden ja ympäristönsuojelun kannalta (kohta 1.3). Yleisimmin käytetty teräspinta kestää hyvin kulutusta mutta edellyttää öljyn käyttöä. Pelkällä vedellä liukastetaan kivi-, polyuretaani-, asfaltti-, tiemerkinä- ja grafiittipinnat. Kitka ja kulumiskestävyys tutkittiin kaikista materiaaleista. Ohuista pinnoitteista selvitettiin myös tartunta alustaan, yhteensopivuus bitumin kanssa ja UV-kestävyys.

Kitka

Koska kitka mitattiin neljällä eri menetelmällä, on eri tavoin saaduissa kitkatuloksissa huomattavia eroja. On kuitenkin huomattava, että erot eivät johdu mittaamenetelmien epätarkkuudesta vaan siitä, että menetelmät mittaavat eri asioita. On luonnollista, että henkilöauton ABS-jarrutuksella saadaan erilainen tulos kuin kitka-auton lukkojarrutuksella. Näin on myös käytännön liikenteessä erilaisilla jarrutustavoilla. Sivukitkamittaus mittaa renkaan sivuttaispitoa, joka erilainen kuin jarrutuspito.

Laboratoriossa heilurikitkamittarilla tehty kitkamittaus lieriön muotoisen näytteen kaarevan vaipan pinnalta kulumisen funktiona toimi yllättävän hyvin. Heilurikitkamenetelmää ei todennäköisesti ole sovellettu tällä tavoin aiemmin missään muualla. Jatkossa menetelmää voidaan käyttää edullisesti mahdollisten uusien materiaalien kitkamittauksiin ilman, että aina tarvitsee rakentaa suurempia koealueita tutkimusta varten.

Tutkittujen liukaspintamateriaalien kitkaerot eri renkailla kertovat, toimiiko pinta renkaan alla kitkan suhteen samaan tapaan kuin liukas jääpinta vai siitä poikkeavalla tavalla.

Pedagogisesti oikean kitkatason valinnalle kitkamittaukset antavat selkeät puitteet:

- Kitkamittausmenetelmän valinta on tärkeämpää kuin pienet erot kitkakertoimen lukuarvossa.
- Kitkamittauksen lukuarvon yhteydessä tulee aina ilmoittaa myös käytetyt laite, menetelmä, rengas ja nopeus.
- Jarrutusmatkamittaukseen henkilöautolla vaikuttavat mm. pituuskaltevuus ja eräillä pinnoilla kitkan nykäyksenomainen kasvu ennen pysähtymistä.
- VTT:n kitkamittausauton sivukitkamittausmenetelmä soveltuu hyvin ajoharjoitteluratojen mahdollisten kitkavaatimusten mukaiseksi mittausmenetelmäksi.
- Kitka-auton sivukitkamittausmenetelmän mukaiseksi ohjeelliseksi liukaspinnan kitkasuosituksiksi hyväkuntoisilla kesärenkailla määrällä pinnalla ehdotetaan 0,20–0,30.

Kesärenkaiden sivukitka oli tämän kitka-alueen ylärajaa merkittävästi korkeampi (kitka yli 0,6) vedellä liukastetulla Densifaltilla, tiemerkinällä hiekkapuhalluksen jälkeen sekä valuasfaltilla. Lievemmin ylärajan ylitti (kitka yli 0,4) Densifalt öljyllä liukastettuna ja märkä grafiittipinta. Alhaisimmat sivukitkat mitattiin teräksen, uuden betonin ja kiven pinnalta.

Kulumiskestävyys

Hyvälle liukaspinnalle on ominaista kitkatason pysyvyys. Pinnan kulumiskestävyys on keskeinen kitkatason pysyvyyteen vaikuttava tekijä. Kitkatason suurilta vaihteluilta vältytään, jos

- liukaspinta kestää hyvin kulumista (esim. teräs, kivi ja kulumista kestävä polyuretaani)
- liukaspinnan korjaus ei ole kallista (esim. polyuretaanikentän kuluneiden kohtien paikkamaalaus on halpaa moniin muihin korjaustapavaihtoehtoihin verrattuna)
- liukaspinta kunnostetaan säännöllisesti ja riittävän usein (esim. kivipinnan hionta nastarengaskauden jälkeen).

Nykyisin käytössä olevista liukasalueiden pinnoista nastarenkaita kestävät hyvin teräs, kivi ja betoni. Kova polyuretaani ei ole ollut riittävän kestävää nastoja vastaan. Tässä tutkimuksessa saavutettiin myös yhdellä joustavalla polyuretaanituotteella laboratoriokeessa erittäin hyvä kulumiskestävyys. Asfaltin kuluttamiseen käytettävä SRK-laite ei pystynyt kuluttamaan sitä lainkaan. Joustava polyuretaani on kuitenkin täysin erilainen materiaali kuin asfalttipäällyste, ja siksi sen kulumismekanismikin poikkeaa asfaltin kulumistavasta. Kaikkien ajoharjoitteluradoilla käytettävien ohuiden pinnoitteiden kulumiskestävyys tulisi siksi tutkia laboratoriokeeseen lisäksi myös tieolosuhteissa tehtävällä kulutuskokeella.

Tartunta alustaan

Ohuiden pinnoitteiden tartunnan alustaan tulee olla hyvä, jotta ne eivät irtoa jarrutusten aikana. Joustavan polyuretaanin tartunta asfalttiin pääosin täytti eräille muille pinnoitetyypisille materiaaleille asetetun tartuntalujuusvaatimuksen. Polyuretaanin ja asfaltin välisen tartunnan varmistamiseen tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota, koska tartunta voi irrota eri syistä. Ennen polyuretaanin levitystä sen alusta tulee hiekkapuhalttaa ja se voidaan tarvittaessa pohjustaa tartuntaa parantavalla, tarkoitukseen soveltuvalla esikäsitelyaineella. Asennustyötä ei saa tehdä sateella, ja pinnoitteen alustan pinnan lämpötilan on oltava asennushetkellä tuotteen käyttöohjeen mukainen, aina kuitenkin vähintään +5 °C ja vähintään 3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella.

Kovalla polyuretaanilla päällystetyillä vanhemmilla liukaspinnoilla esiintyneet kutistumishalkeiluvauriot on uudemmissa kohteissa vältetty oikealla asfalttialustan valinnalla, alustan hiekkapuhalluksella ja käyttämällä polyuretaanissa lujitekangasta. Halkeilulle

voi kuitenkin olla muitakin syitä, jotka tulee selvittää ennen korjauksia (esim. roudan vaikutus).

Yhteensopivuus bitumin kanssa

Tämän tutkimuksen yhteydessä tutkittiin kahden polyuretaanin (Conipur Glasierin ja Uredurin) yhteensopivuus bitumin kanssa. Niiden yhteensopivuudessa bitumin kanssa ei todettu merkittäviä ongelmia. Uredur-massalla pinnoitettujen vanhennettujen näytteiden asfaltin murtuminen alhaisemmalla voimatasolla kuin vanhentamattomien näytteiden jättää tulokseen kuitenkin epävarmuutta, koska tämä tulos voi johtua joko asfalttinäytteiden lujuuseroista tai siitä, että polyuretaani olisi heikentänyt kemiallisesti asfaltin pintakerroksen lujuutta.

Joustavan polyuretaanin (Conipur 255 Novocoatin) yhteensopivuutta bitumin kanssa ei selvitetty tässä tutkimuksessa.

UV-kestävyys

Liukaspintamateriaalin auringon ultraviolettisäteilyn kestävyys tutkittiin kaikilla kolmella polyuretaanilla. Grafiitin osalta sitä ei selvitetty tässä tutkimuksessa.

UV-säteily aiheutti kaikilla polyuretaaneilla kiillon ja värinmuutoksen, liituuntumista ja joustavalla polyuretaanilla verkkohalkeilua. Pinnan muutosten perusteella UV-säteily vaurioitti niitä. Kahden Conipur-polyuretaanin UV-vanhennetut näytteet kestivät kuitenkin yhtä hyvin Tröger-kokeen kulutusta kuin vanhentamattomat, joten niiden kulumiskestävyys ei ollut heikentynyt tämän testimenetelmän mukaan. Tröger-koetta käytetään UV-kokeen yhteydessä mm. merkintämassojen testauksessa. Tröger-menetelmän soveltuvuudesta olennaisesti paremmin kulutusta kestävien polyuretaanien testaamiseen ei ole täyttä varmuutta, koska sitä ei ole tähän tarkoitukseen käytetty. On lisäksi huomattava, että SRK-laite erotteli paremmin kuin Tröger vanhentamattomat erilaiset polyuretaanit kulumiskestävyysperusteella eri lujuusluokkiin. SRK-menetelmällä ei kuitenkaan voitu kuluttaa UV-vanhennettuja näytteitä, koska SRK-kokeessa käytetään erimuotoisia näytteitä kuin UV-vanhennuksessa.

Uredur 2000 -polyuretaanissa todettiin huomattavaa huokoisuutta sekä ennen että jälkeen UV-vanhennuksen, joten huokokset eivät olleet UV-vanhennuksen aiheuttamia. Huokoisuuden aiheuttaneesta syystä ei ole varmuutta, mutta kvartsihiekan mukana on massaan saattanut joutua ilmakuplia sekoitusvaiheessa.

Tutkittujen polyuretaanien UV-kestävyydessä oli siten puutteita, mutta näiden puutteiden vaikutuksen todellinen merkitys polyuretaanien pitkäaikaisiin kitka- ja kulumiskestävyysominaisuuksiin on epävarma. Kovan polyuretaanin (Novocoat Glasierin) moni-

vuotisessa käytössä ajoharjoitteluradoilla ei toisaalta ole todettu varmuudella UV-säteilyn aiheuttamia vaurioita.

Todetut ongelmat UV-kestävyydessä korostavat polyuretaanien jatkotutkimusten tärkeyttä. Niitä tulisi tutkia tieolosuhteissa liikenteen alaisella tiellä, jolloin saataisiin lisätietoa sekä materiaalien nastarengaskulumiskestävyydestä että UV-kestävyydestä.

Jos polyuretaani valitaan liukasradan kulutuspinnaksi, tulisi joustavaa polyuretaania uutena materiaalina kokeilla aluksi pienemmille alueille, esim. osalle liukasradan eniten kuluvaan kohtaan. Näin olisi mahdollista saada materiaalista käyttökokemuksia pienemmin kustannuksin.

Vertailuna muuhun rakentamiseen voidaan todeta, että Sillanrakennuksen yleiset laatuvaatimukset edellyttävät näkyviin jäävien polyuretaanipintojen suojaamista UV-säteilyä kestäväällä maalilla, jos polyuretaani ei sellaisenaan ole ultraviolettisäteilyä kestävä [4]. Maalaus nostaa kustannuksia ja, jos sitä käytettäisiin liukasradalla, maalin tulisi kestää nastarengaskulutusta käytettävän alustan (esim. joustavan polyuretaanin) päälle levitettynä.

5. Jatkotoimenpiteet

5.1 Jatkotutkimustarve

Ajoharjoitteluratojen rakentamiseen on käytetty rakentamisvuoden hintatasossa yli 100 miljoonaa markkaa. Ratojen rakentamisvaiheen jälkeen on vanhojen ratarakenteiden kunto on rapistunut, markkinoille tullut uusia materiaaleja ja ympäristönsuojelunäkökohtien merkitys on korostunut. Ajoharjoitteluradat tarvitsevat muuttuneessa tilanteessa huomattavia korjausinvestointeja suunnitellessaan aiempaa enemmän ulkopuolista, puolueetonta korjausrakentamisen asiantuntemusta.

Ajankohtaisista ajoharjoitteluratojen tarvitsemista tutkimisen osa-alueista esitetään seuraavia tutkimusaiheita tai kehityskohteita:

(a) Liukasalueiden vaurioiden syyt

Ennen liukasalueiden korjaustoimenpiteiden valintaa tulisi tietää vanhojen rakenteiden vaurioiden syyt. Jos vanhassa pinnassa esiintyy esim. halkeilua, tulee selvittää, johtuvatko nämä halkeamat esim. routanoususta, pakkaskutistumasta, materiaalien yhteensopimattomuudesta, materiaali- tai rakennusvirheistä tms.

Liukasradalla ja/tai laboratoriossa tehtävin tutkimuksin tulee aina selvittää vaurioiden aiheuttaja ja poistaa sen vaikutus valitsemalla vaurion syyn perusteella oikeat korjaustoimenpiteet.

(b) Korjausrakentamismenetelmät

Useilla radoilla tehdään samoihin aikoihin korjauksia, joissa saatuja kokemuksia tulisi voida soveltaa toisilla radoilla, joilla on suunnitteilla vastaavia hankkeita. Tieto hyvistä ja huonoista korjaustavoista ja korjausten tuloksista ja toimivuudesta tulisi dokumentoida ja siirtää muiden ratojen hyödynnettäväksi.

(c) Liukaspintamateriaalit

Liukaspintamateriaalit kehittyvät ja uusia tuotteita tulee markkinoille. Materiaalien kehittämisen tulee olla jatkuvaa toimintaa, kehittämisen tulee perustua tutkittuun tietoon ja tutkimustulokset tulee saattaa ratojen käyttöön raporttien ja koulutuksen avulla.

Ohuiden liukaspinnoitteiden kulumiskestävyystutkimus tieolosuhteissa tulisi toteuttaa vuonna 2001. Maaleista tutkimisen arvoisia vaihtoehtoja ovat esim. polyuretaanin paikkaus- ja korjausmaalit ja joko asfaltti- tai teräspinnan maalaaminen vedellä liukastettavaksi.

(d) Liukastusaineet

Teräspintaisilla radoilla käytetään vahaa, mäntysuopaa ja ainakin seitsemää erilaista öljyä. Liukastusaineilla on erilaisia ominaisuuksia liukastamisen, ympäristön, korroosiosuojusominaisuuksien, hajuhaittojen, tahraavuuden, yhteensopivuuden asfaltin kanssa ym. seikkojen kannalta. Eri liukastusaineiden ominaisuuksia tulisi vertailla keskenään ainakin ympäristövaikutusten, hajuhaittojen, tahraavuuden ja asfaltin kanssa yhteensopivuuden osalta.

(e) Teräspintojen alustat

Teräspintojen asfalttialustojen on todettu vaurioituvan liukkaudentorjuntaöljyn vaikutuksesta. Teräspintaisten liukasalueiden korjaustapana on suhteellisen yleisesti käytetty menetelmää, jossa teräspinta vedetään sivuun ja vaurioituneet asfalttikerrokset poistetaan ja korvataan uudella asfaltilla, joka ei myöskään kestä öljyä. Teräspintaisten liukasalueiden korjauksiin tulee kehittää nykyisin käytettyä asfalttia paremmin öljyä kestävä teräksen alustamateriaali.

(f) Ympäristönsuojelu

Radoilta, joilla käytetään öljypitoisia aineita liukasteena, voi päästä haitallisia aineita pohjaveteen teräspinnan saumojen läpi, sivuojista, rankkasateiden aikana jne. Sivuojen pohjavesien suojausrakenteet tulee kehittää öljynpitäviksi. Liukastusaineen kierrätysysteemiä tulee kehittää siten, että rankkasade ei aiheuta kierrätysäiliön sisällön tulvimista maastoon. Haitallisten aineiden kulkeutumiskerrokset liukasradan maaperässä tulee selvittää ja järjestää tarvittaessa seurantamittaukset.

(g) Ratojen konsultointi korjausrakennusasioissa

Ratojen korjausrakentamisen ongelmat poikkeavat merkittävästi tavanomaisesta rakentamisesta. Ratojen korjaustöiden suunnittelijoiden on vaikea saada asiantuntevaa ja riittävän monipuolista neuvontaa korjausasioissa. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikalla on hyvät edellytykset toimia asiantuntijana ajoharjoitteluratojen liukasalueiden rakentamis- ja korjausasioissa.

5.2 Ajoharjoitteluratojen tutkimusyhteistyön kehittämisehdotus

Yhteistyön ohjaus ja koordinointi

Ajoharjoitteluradoilla on liukasaluetutkimusten tarve ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikalla hyvät perusedellytykset tuottaa näitä tutkimuksia. Liikenne- ja viestintäministeriön, Ajoneuvohallintokeskuksen, Liikenneturvallisuuden edistämissäätiön ja VTT:n olisi tässä tilanteessa rationaalista sopia yhdessä tutkimusyhteistyön jatkamises-

ta. Tutkimusyhteistyö voisi toteutua vuosittain laadittavan tai tarkistettavan tutkimusohjelman puitteissa.

Tutkimusohjelma

Ehdotetun ajoharjoitteluratojen tutkimusyhteistyön keskeinen työväline olisi vuosittain laadittava tai tarkistettava tutkimusohjelma. Tälle tutkimusohjelmalle olisi ominaista, että

- ohjelman mukainen tutkimus on jatkuvaa, pitkäjänteistä toimintaa
- ohjelman sisällön suuntaamista koordinoi rahoittajien, tutkimustulosten soveltajien ja VTT:n yhteinen ohjausryhmä
- ohjelman sisältö päätetään vuosittain siten, että se palvelee ajoharjoitteluratojen ajankohtaisia tutkimustarpeita.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan keskeisiä osaamisalueita ovat kaikki tie- ja kenttärakenteiden materiaali-, rakenne- ja toimivuustutkimukset. Sillä on Suomen monipuolisin kenttärakenteiden materiaalitutkimuksiin soveltuva laboratoriolaitekanta ja kenttämittauslaitekanta sekä parhaat henkilöstövalmiudet näiden laitteiden monipuoliseen tutkimuskäyttöön ja siten edellytykset vastata ajoharjoitteluratojen korjausten tutkimus- ja neuvontatarpeeseen.

6. Yhteenveto

Yleistä

Suomessa on ajokorttiin tähtäävän koulutuksen käytössä 28 ajoharjoittelurataa, jotka ovat pääosin noin kymmenen vuoden ikäisiä ja joista suuri osa on peruskorjauksen tarpeessa.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka suoritti v. 1999–2000 liikenne- ja viestintämministeriön, Ajoneuvohallintokeskuksen, Liikenneturvallisuuden edistämissäätiön ja liukaspintamateriaalien edustajien rahoittaman ajoharjoitteluratojen liukasalueisiin kohdistuneen tutkimuksen. Tutkimus jakaantui kolmeen vaiheeseen: esiselvitykseen, laboratoriotokokeisiin ja kenttäkokeisiin. Esiselvitys tehtiin vuonna 1999 ja laboratorio- sekä kenttäkokeet vuonna 2000. Samana vuonna käynnistettiin myös yhden ajoharjoitteluradan rahoittama liukaspinnan vaurioselvitys.

Esiselvityksen tulokset

Valtakunnallisen ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimuksen esiselvitysraportissa [1] esitetään yhteenveto ratojen teknisistä ominaisuuksista, kustannuksista, käytöstä, kunnosta ja korjaustarpeesta, turvallisuudesta, ympäristövaikutuksista ja ratoja koskevien ohjeiden muutostarpeista. Lisäksi jokaisesta radasta on erillinen ratakohtainen kuvaus.

Yleisin (21 radalla) liukasalueen pintamateriaali on teräs, jota liukastetaan öljyn, vahan ja veden avulla. Toiseksi eniten liukasradoilla on polyuretaanipintoja. Teräsratojen ongelmia ovat öljyn käyttö, vaikeus jäädyttää pinta talvella ja tieolosuhteista poikkeava kitkakäyttäytyminen. Teräspintojen tilalle tai lisärakentamisen yhteydessä toteutettaville uusille liukasalueille haluttaisiin materiaaleja, joilla liukastusaineeksi riittää pelkkä vesi. Toistaiseksi käytetty kova polyuretaani ei kestä nastarenkaita. Nykyisillä radoilla pelkkää vettä käytetään liukasteena, kun liukasalueen pintamateriaali on polyuretaani tai kivi.

Teräs- ja betonipintaisilla radoilla käytetään liukastusaineena seitsemää eri öljytuotetta, yhtä vahaa ja mäntysuopaa. Öljy pääsee teräspintaisen radan levyjen saumoista asfaltti-betonikerrokseen, joka ei kestä öljyä kemiallisesti eikä ole riittävän tiivis estääkseen öljyn pääsyn maaperään. Öljyistä vähiten ympäristön kannalta haitallisia ovat luonnossa nopeasti hajoavat öljyt (kasvispohjaiset öljyt tai synteettiset esterit). Valkoöljyt eivät hajoa maaperässä yhtä nopeasti ja eivät ole siksi ympäristön kannalta yhtä hyviä. Erityistä huomiota öljyn laatuun ja käyttöön tulee kiinnittää, jos rata sijaitsee lähellä pohjavesialueita. Kahdeksan rataa 25:stä sijaitsee alle 200 m:n etäisyydellä ja kuusi rataa alle 100 m:n etäisyydellä pohjavesialueesta.

Liukastusaineita oli todettu päässeen ympäristöön kahdelta radalta, ja kolmannen radan kohdalla haitallisen aineen lähtöpaikka oli epävarma. Usein ei mahdollisia päästöjä ollut lainkaan tutkittu.

Radoilla on v. 1995–99 tapahtunut ratojen ilmoituksen mukaan viisi loukkaantumiseen johtanutta liikenneonnettomuutta ja kolme loukkaantumiseen johtanutta työtapaturmaa. Tyypillinen liikenne- tai työtapaturma oli aiheutunut liukastumisesta liukasalueella.

Liikenneministeriön ajoharjoitteluratoja koskeva ohjekirje [2] kaipaa monilta osin tarkistamista ja täydentämistä. Liukaspinnan kitkaa mitataan harvoin. Ohje pedagogisesti oikean laatuista kitkasta, sen tasosta ja mittaustavasta tulisi tarkistaa. Ajoharjoitteluratojen suunnitteluohje [3] on vanhentunut. Liukaspintamateriaalina se tuntee ainoastaan teräksen ja kuvaa 1980-luvun lopulla vallinneita käsityksiä liukaradoista. Uusia suunnitteluohjeita tarvitaan mm. monilla radoilla lähivuosina toteutettavien lisärakennushankkeiden suunnittelua varten.

Laboratorio- ja kenttäkokeiden tulokset

Vuoden 2000 laboratoriokokeissa tutkittiin vaihtoehtoisten liukaspintamateriaalien kitkaominaisuuksia, nastarengaskulumiskestävyyttä, ohuiden pinnoitteiden tartuntalujuutta asfaltti- ja teräsalustaan, kemiallista yhteensopivuutta asfaltin kanssa ja UV-kestävyyttä. Laboratoriossa tutkitut materiaalit olivat kolme erilaista polyuretaania, grafiitti, valuasfaltti, komposiitti Densifalt, graniitti ja kaksi teräslaatua. Lähes kaikkien edellä mainittujen materiaalien sekä betonin ja tiemerkinämässä kitkaa tutkittiin lisäksi koekentällä ja/tai käytössä olevalla ajoharjoitteluradalla.

Kitkamittauksiin käytettiin neljää menetelmää (heilurikitkamittaria, henkilöauton kitkamittaria sekä lukkojarrutuskitkan ja sivukitkan mittausta kitkamittauskuorma-autolla). Kitkaa mitattiin neljällä erilaisella henkilöauton renkaalla ja 11 erilaisella liukaspinnalla. Liukastusaineet olivat vesi, vaha ja öljy.

Graniitikivilaatoitus sopii teknisiltä ominaisuuksiltaan erinomaisesti liukaspinnan materiaaliksi, koska sen liukasteeksi riittää pelkkä vesi, sen kulumis- ja säänkestävyysominaisuudet ovat hyvät ja pinnan kitkaominaisuudet pystytään nykytekniikalla palauttamaan hallitusti sen jälkeen, kun nastarengaskausi on lievästi karhentanut pintaa. Kivipintainen liukasrata alusrakenteineen on kallis vaihtoehto rakennusinvestoinnin toteutusvaiheessa, mikä on rajoittanut sen yleistymistä huolimatta materiaalin hyvistä ominaisuuksista kestävyuden ja ympäristön kannalta. Investointi tulee kattaa radan tuotoilla, joten kivipintainen rata tarvitsee suuren käyttäjämäärän. Kiven kilpailuasema paranee, jos ympäristövaatimukset tiukentuvat.

Tutkituilla kahdella teräslaadulla ei ollut merkittävää keskinäistä eroa tutkittujen ominaisuuksien osalta (kulumiskestävyyden ja kitkan). Teräspinnan etu muihin materiaa-

leihin verrattuna on erinomainen nastarengaskulumisen kestävyys. Betonikin kestää nastarenkaita varsin hyvin, mutta sen pinta karhentuu kuitenkin merkittävästi ajan mittaan nastojen vaikutuksesta. Myös betonirata on rakennusvaiheessa kallis, ja sen taloudellisuus edellyttää korkeita käyttäjämääriä. Teräksellä ja betonilla liukasteeksi tarvitaan öljyä tai vahaa. Liukastetulla teräksellä ja uudella sileällä betonipinnalla saattaa jarrutuskitka olla erittäin alhainen.

Uudeksi mahdolliseksi liukaspintamateriaaliksi hyvien kitkaominaisuuksiensa ja laboratoriotestien mukaan erinomaisen kulumiskestävyyden perusteella osoittautui joustava polyuretaanimassa. Se kesti paremmin kuin mikään muista materiaaleista nastarenkaita laboratorionkokeessa. Sen nastarengaskestävyys tulisi kuitenkin varmentaa tieolosuhteissa tehtävällä kulutuskokeella. UV-säteilyn todettiin aiheuttavan joustavaan polyuretaaniin pintavaurioita ja pinnan muutoksia, joiden todellista merkitystä pitkäaikaiskestävyyden kannalta tulisi selvittää edellä mainitun tieolosuhteisiin suunnitellun kokeen yhteydessä sekä koerakentamisella ajoharjoitteluradoilla.

Densifalt-komposiitti, jota esim. Ruotsissa on käytetty joillakin uusilla liukasradoilla, ei osoittautunut erityisen hyväksi. Se ei ollut liukas, eikä sen liukastusaineeksi ei riittänyt pelkkä vesi.

Uutena vaihtoehtoisena liukaspinnan materiaalina tutkittiin myös grafiittia. Sen kulumiskestävyys oli olennaisesti heikompi kuin muilla materiaaleilla ja materiaali on jonkin verran tahraava hangattaessa. Grafiitti yhdistettynä esim. muun liukaspintamateriaalin joukkoon saattaisi olla mahdollinen kehitettävä ratkaisuvaihtoehto uudentyypisen liukkaan pinnan suunnittelulle.

Tiemerkintämässän mekaaninen kestävyys kevyttä hiekkapuhallusta vastaan oli heikko. Tämän pinnan kitkaominaisuudet muuttuivat hiekkapuhalluksen vaikutuksesta enemmän kuin muiden materiaalien.

Julkaisussa esitetään vertailu eri pintamateriaalien kitkatasoista sekä muista tutkituista toiminnallisista ominaisuuksista sekä esimerkkitapauksia erilaisista liukasalueiden korjaustapavaihtoehdoista ja korjauskustannuksista. Liukasalueiden ohjeelliseksi kitkakerroin suositukseksi esitetään 0,20–0,30:tä mitattuna VTT:n kitkanmittausautolla määrittä pinnalta hyväkuntoisilla kesärenkailla.

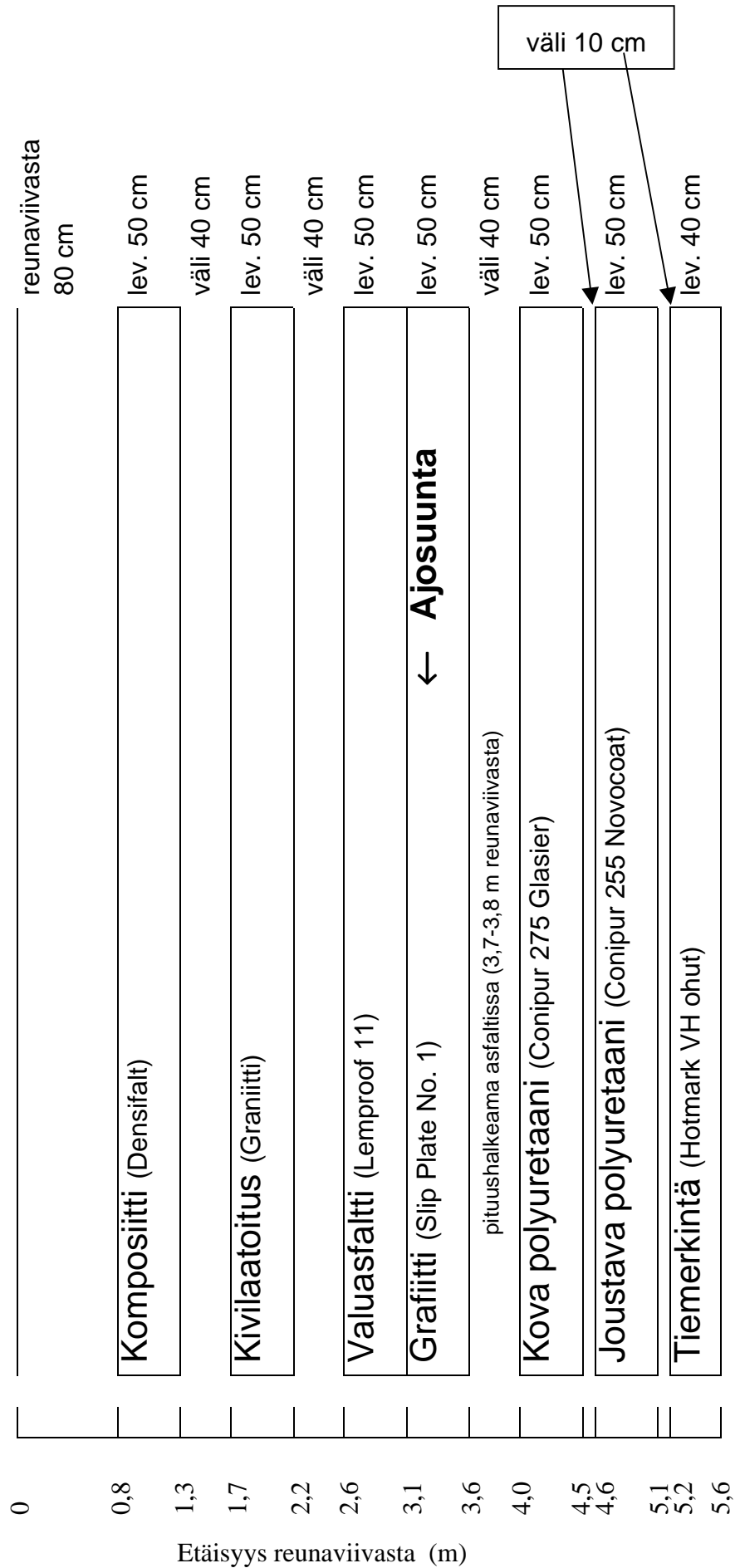
Tutkimuksen jatkotoimenpiteenä esitetään, että ajoharjoitteluratojen kehitysyhteistyötä jatketaan tutkimusprojektissa, johon osallistuisivat liikenne- ja viestintäministeriö, Ajo-neuvohallintokeskus ja Suomen Autokoululiitto, ajoharjoitteluratojen edustaja ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Projektiryhmä koordinoisi kehitysyhteistyötä siten, että tutkimusten sisältö suunnattaisiin vuosittain ajoharjoitteluratojen ajankohtaisten tutkimustarpeiden mukaan.

Lähdeluettelo

1. Laukkanen, K. Valtakunnallinen ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus. Nykytilaselvitys. Helsinki 1999, Ajoneuvohallituksen tutkimuksia ja selvityksiä 5/99. 47 s. + liitt. 112 s.
2. Liikenneministeriön kirje 1448/36/93/7.6.1993.
3. Liukkaan kelin ajoharjoitteluradat. Suunnittelun perusteita. Helsinki 1988, Viatek Oy.
4. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Kannen pintarakenteet – SYL 6. Helsinki 1996, Tielaitos/Siltakeskus, Työselitykset ja laatuvaatimukset, TIEL 2210008-96.
5. Asfalttinormit 2000. Jyväskylä 1999, PANK ry.
6. Luonnonkivikäsikirja. Kiviteollisuusliitto ry.
7. Winter Maintenance Policy in Finland 1996. (1995), Finnish National Road Administration, TIEL 2230014E, Helsinki.
8. Muovit rakentamisessa. Helsinki 1985, RIL 127.

Liite A: Liukaspintamateriaalien kitkanmittauskoekenttä

Kenttäkoe Vihdin Ammattioppilaitoksen radalla, Piillistöentie, Vihti
 Kunkin koealueen pituus 30 m. Koealuekentän koko on 4,8 m x 30 m.
 Koekenttä alkaa noin 10 m:n etäisyydeltä täysleveän kentän alusta (poikkihalkeaman jälkeen)



Liite B: Kitkamittauksissa käytetyt renkaat



Kulunut kesärengas Nokian NRT2



Uusi kesärengas Nokian NRH 2



Uusi kitkarengas Nokian
Hakkapeliitta Q



Uusi nastarengas Nokian
Hakkapeliitta 2

Liite C: Liukaspintamateriaalien kitkakeskiarvot

Koekentällä ennen ja jälkeen hiekkapuhalluksen tehdyt mittaukset

Kitkanmittauskoekenttä, Vihti. VTT:n kitkanmittauskuorma-auto.

Renkaat: KK=kulunut kesären gas, UK=uusi kesären gas, KI=kitkaren gas, NR=nastaren gas

	Ren gas	SIVUKITKA			LUKKOJARR.KITKA			Sivukitka/jarr.kitka suhdeluku	
		Ennen	Jälkeen	Muutos	Ennen	Jälkeen	Muutos	Ennen	Jälkeen
Tiemerkintä	KK	0,59	0,79	0,21	0,23	0,36	0,13	2,6	2,2
	UK	0,58	0,80	0,22	0,22	0,46	0,23	2,6	1,8
	KI	0,47	0,65	0,18	0,17	0,32	0,15	2,8	2,1
	NR	0,51	0,65	0,14	0,23	0,29	0,06	2,2	2,2
Conipur 255 Novocoat	KK	0,23	0,32	0,09	0,11	0,08	-0,03	2,2	4,2
	UK	0,24	0,27	0,03	0,11	0,10	-0,01	2,2	2,7
	KI	0,33	0,35	0,02	0,12	0,13	0,00	2,7	2,8
	NR	0,38	0,39	0,01	0,22	0,23	0,01	1,7	1,7
Conipur 275 Glasier	KK	0,22	0,29	0,07	0,09	0,09	0,00	2,4	3,1
	UK	0,19	0,29	0,10	0,11	0,12	0,01	1,7	2,4
	KI	0,28	0,38	0,10	0,12	0,15	0,02	2,3	2,6
	NR	0,26	0,33	0,07	0,13	0,13	0,00	2,0	2,6
Grafiitti + vesi	KK	0,46	0,47	0,01	0,26	0,28	0,01	1,7	1,7
	UK	0,48	0,50	0,03	0,27	0,29	0,02	1,8	1,7
	KI	0,52	0,53	0,01	0,30	0,32	0,02	1,7	1,7
	NR	0,52	0,53	0,01	0,32	0,35	0,03	1,6	1,5
Valuasf. Lemfalt	KK	0,73	0,78	0,05	0,44	0,48	0,03	1,6	1,6
	UK	0,71	0,79	0,08	0,47	0,48	0,01	1,5	1,7
	KI	0,56	0,63	0,07	0,25	0,32	0,06	2,2	2,0
	NR	0,59	0,65	0,07	0,35	0,34	-0,01	1,7	1,9
Kivi, Kurun graniitti	KK	0,19	0,23	0,04	0,09	0,12	0,02	2,1	2,0
	UK	0,16	0,21	0,05	0,15	0,19	0,04	1,0	1,1
	KI	0,26	0,34	0,08	0,13	0,16	0,02	2,0	2,2
	NR	0,26	0,31	0,05	0,23	0,24	0,01	1,1	1,3
Densifalt + vesi	KK	0,90	0,80	-0,10	0,64	0,56	-0,08	1,4	1,4
	UK	0,91	0,86	-0,05	0,68	0,66	-0,02	1,4	1,3
	KI	0,67	0,70	0,03	0,41	0,44	0,04	1,6	1,6
	NR	0,64	0,66	0,02	0,39	0,41	0,02	1,7	1,6
Densifalt + öljy	KK		0,52			0,42			1,2
	UK		0,55			0,61			0,9
	KI		0,54			0,37			1,4
	NR		0,55			0,32			1,7

Liite D: Liukaspintamateriaalien kitkakeskiarvot

Ajoharjoitteluradoilla ja laboratoriossa tehdyt mittaukset.

Kitkamittaukset ajoharjoitteluradoilla (keskiarvot)					
		VTT:n kitka-auto			HA/ EL-TRIP
		Sivu- kitka	Lukkoj. kitka	Sivu/ lukkoj.	
Uusi bet.+vaha, vahaa ei lisätty	KK	0,29	0,05	5,9	
Uusi bet.+vaha, vahaa ei lisätty	UK	0,37	0,13	2,8	0,21
Uusi bet.+vaha, vahaa ei lisätty	KI	0,51	0,11	4,5	
Uusi bet.+vaha, vahaa ei lisätty	NR	0,44	0,13	3,4	
Vanha bet.+vaha, vahaa ei lis.	KK	0,37	0,17	2,1	
Vanha bet.+vaha, vahaa ei lis.	UK	0,39	0,18	2,2	0,33
Vanha bet.+vaha, vahaa ei lis.	KI	0,43	0,14	3,0	
Vanha bet.+vaha, vahaa ei lis.	NR	0,40	0,18	2,2	
Uusi bet.+vaha, vahaa lisätty	KK	0,15	0,02	6,9	
Uusi bet.+vaha, vahaa lisätty	UK	0,15	0,06	2,4	0,09
Uusi bet.+vaha, vahaa lisätty	KI	0,35	0,10	3,6	
Uusi bet.+vaha, vahaa lisätty	NR	0,26	0,12	2,2	
Vanha bet.+vaha, vahaa lisätty	KK	0,30	0,15	2,0	0,19
Vanha bet.+vaha, vahaa lisätty	UK	0,26	0,12	2,2	
Vanha bet.+vaha, vahaa lisätty	KI	0,42	0,14	3,0	
Vanha bet.+vaha, vahaa lisätty	NR	0,32	0,13	2,5	
Teräs+vaha+öljy	KK	0,15	0,08	1,9	
Teräs+vaha+öljy	UK	0,15	0,06	2,7	0,11
Teräs+vaha+öljy	KI	0,35	0,07	5,1	
Teräs+vaha+öljy	NR	0,26	0,11	2,5	
Kivi+vesi	UK				0,12
Conipur 275 Glasier (Poliisiop)	UK				0,28
Kova polyur.+vesi (Laukaa)	UK				0,27

Heilurikitkamittaukset laboratoriossa kulutusajan funktiona (keskiarvot)							
Aika min	Conipur 255 Novocoat+vesi	Conipur 275 Glasier+ vesi	Uredur 2000 +vesi	Valuasf. +vesi	Densifalt		
					+vesi	+öljy	+vaha
0	0,15	0,20	0,15	0,35	0,20	0,12	0,10
1	0,15	0,16	0,15	0,36	0,30	0,15	0,10
5	0,15	0,16	0,19	0,40	0,35	0,15	0,10
15	0,15	0,15	0,25	0,41	0,37	0,18	0,11
60	0,15	0,25	0,29	0,43	0,51	0,19	0,20
120	0,15	0,25	0,31			0,20	0,22

Aika min	Kivi +vesi	RAEX PERUSTERÄS		RAEX 650 MC OPTIM		Grafiitti	
		+öljy	+ vaha	+öljy	+ vaha	+ kuiva	+vesi
0	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,30
1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,35	0,19
5	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,44	0,28
15	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	0,45	0,31
60	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10		
120	0,25						

Liite E: Nastarenkaiden raapaisujälkiä



Komposiitti (Densifalt)



Kivilaatoitus (Kurun harmaa graniitti)



Kumibitumivaluasfaltti (Lemproof 11)



Grafiitti (Slip Plate No. 1)



Kova polyuretaani (Conipur 275 Glasier)



Joust. polyuret. (Conipur 255 Novocoat)



Tiemerkintä (Hotmark VH ohut)

Liite F: Tartunta alustaan

Näytekohtaiset tulokset, vanhentamattomat näytteet, (T= +23 °C)

TARTUNTA ASFALTIN PINTAAN (Vanhentamattomat näytteet)				
Näyte n:o	Pintamateriaali	Alusta	Tartunta-lujuus N/mm ²	Tartunnan irtoamistapa
A1	Conipur 255 Novocoat	Asf.	1,32	100 % irtosi asfaltin pinnalta
A2			1,33	100 % irtosi asfaltin pinnalta
A3			1,30	100 % irtosi asfaltin pinnalta
A4			1,19	100 % irtosi asfaltin pinnalta
A5			1,31	100 % irtosi asfaltin pinnalta
ka			1,29	
B4	Conipur 275 Glasier	Asf.	>1,54	60 % asf. murtui, 40 % irtosi asf. pinnalta
B5			>1,34	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
B6			>1,43	55 % asf. murtui, 45 % irtosi asf. pinnalta
B7			>1,63	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
B8			>1,37	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
ka			>1,46	
C1	Uredur 2000	Asf.	>1,96	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C2			>1,86	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C3			>1,9	100 % asf. murtui
C4			>2,01	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C5			>1,97	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
ka			>1,94	
K1	Grafiitti		1,46	70 % grafiitti leikkautui, 30 % asf. murtui
K2			1,68	65 % grafiitti leikkautui, 35 % asf. murtui
K3			1,47	70 % grafiitti leikkautui, 30 % asf. murtui
K4			1,44	65 % graf. leikk., 25 % asf. murtui, 10 % liima leikk.
K5			1,44	65 % grafiitti leikkautui, 35 % asf. murtui
ka			1,50	
TARTUNTA TERÄKSEN PINTAAN (vanhentamattomat näytteet)				
A8	Conipur 255 Novocoat	Teräs	3,31	55 % pinnoite murtui, 45 % liima irtosi
A9			4,92	90 % pinnoite murtui, 10 % liima irtosi
A10			5,61	95 % pinnoite murtui, 5 % liima irtosi
A11			5,26	95 % pinnoite murtui, 5 % liima irtosi
A12			4,98	100 % pinnoite murtui
ka			4,82	
B3	Conipur 275 Glasier	Teräs	14,84	35 % pinnoite murtui, 65 % liimasauma murtui
B5			11,09	100 % liimasauma murtui
B6			10,02	100 % liimasauma murtui
B7			13,02	100 % liimasauma murtui
B8			13,61	100 % liimasauma murtui
ka			12,52	
C3	Uredur 2000	Teräs	13,55	45 % pinnoite murtui, 55 % liimasauma murtui
C4			10,78	10 % pinnoite murtui, 90 % liimasauma murtui
C5			11,00	50 % pinnoite murtui, 50 % liimasauma murtui
C6			12,70	10 % pinnoite murtui, 90 % liimasauma murtui
C7			12,95	5 % pinnoite murtui, 95 % liimasauma murtui
ka			12,20	

Liite G: Yhteensopivuus bitumin kanssa

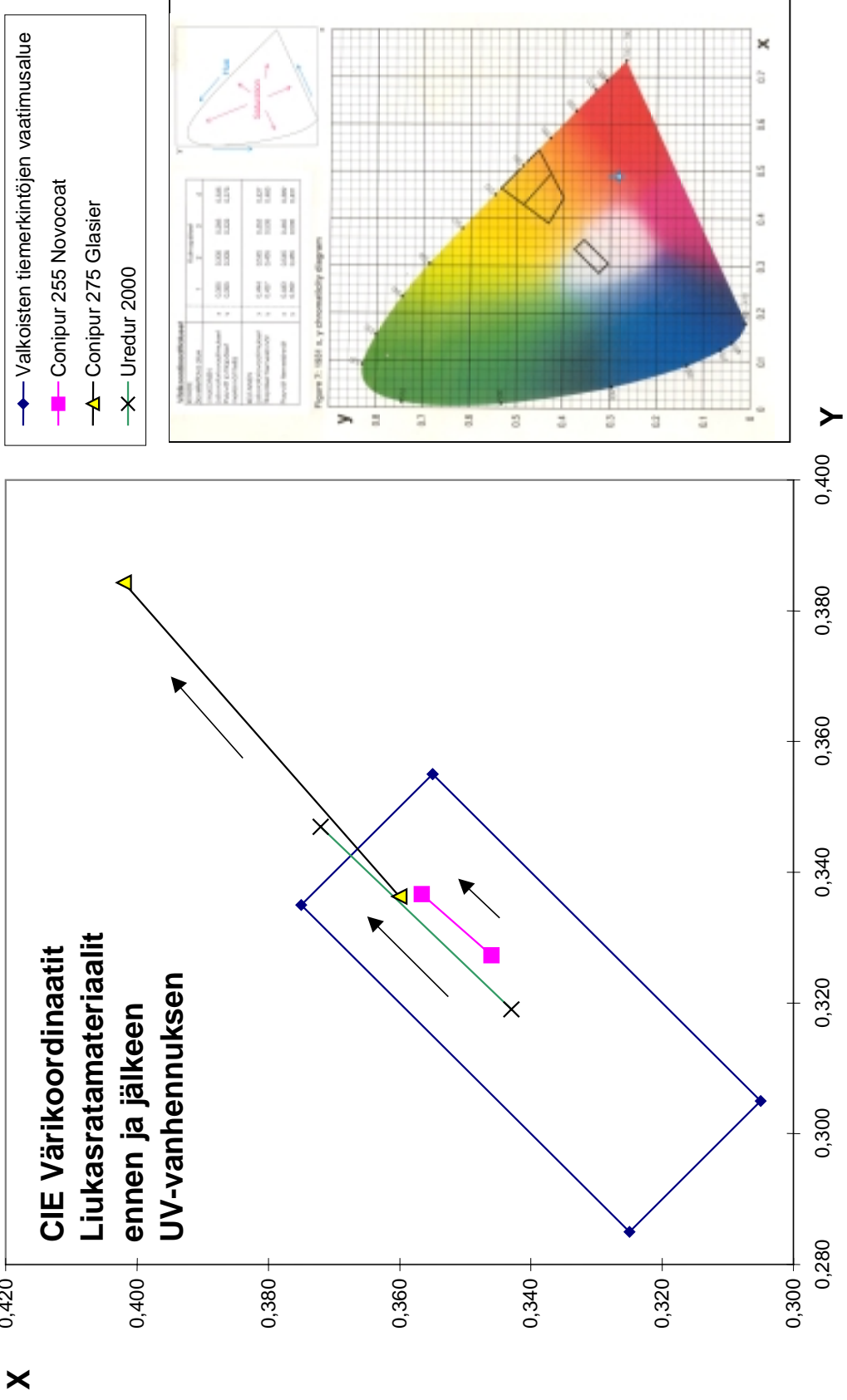
Näytekohtaiset tulokset.

Lämpövanhennettujen ja vanhentamattomien näytteiden tartunta asfalttiin.

(Lämpövanhennus T = +50 °C, 91 vrk. Tartuntavetokoe T = +23 °C)

Näyte n:o	Pintamateriaali	Alusta	Tartunta- lujuus N/mm ²	Tartunnan irtoamistapa
TARTUNTA ASFALTIN PINTAAN (Lämpövanhennetut näytteet)				
B11	Conipur 275 Glasier	Asf.	>1,15	90 % asf. murtui, 10 % polyur. irtosi
B12			>1,5	85 % asf. murtui, 15 % polyur. irtosi
B13			>1,4	85 % asf. murtui, 15 % polyur. irtosi
B14			>1,43	80 % asf. murtui, 20 % polyur. irtosi
B15			>1,7	80 % asf. murtui, 20 % polyur. irtosi
B16			>1,54	80 % asf. murtui, 20 % polyur. irtosi
ka			>145	
C11	Uredur 2000	Asf.	>1,14	85 % asf. murtui, 15 % polyur. irtosi
C12			>1,48	100 % asf. murtui
C13			>1,35	95 % asf. murtui, 5 % polyur. irtosi
C14			>1,2	90 % asf. murtui, 10 % polyur. irtosi
C15			>1,12	95 % asf. murtui, 5 % polyur. irtosi
C16			>1,26	100 % asf. murtui
ka			>1,26	
K11	Grafiitti		(>0,98)	45% graf. irtosi asf., 5% asf.murtui, 50% liima
K12			1,46	65 % graf. leikk., 5% asf. murtui, 30% liima
K13		Asf.	1,38	65 % graf. leikk., 5% asf. murtui, 30% liima
K14			1,51	90% graf. leikk., 10% asf. murtui
K15			1,57	80% graf. leikk., 15% asf. murtui, 5% liima
K16			1,53	90% graf. leikk., 10% asf. murtui
ka			1,49	
TARTUNTA ASFALTIN PINTAAN (Vanhentamattomat vertailunäytteet)				
B4	Conipur 275 Glasier	Asf.	>1,54	60 % asf. murtui, 40 % irtosi asf. pinnalta
B5			>1,34	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
B6			>1,43	55 % asf. murtui, 45 % irtosi asf. pinnalta
B7			>1,63	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
B8			>1,37	70 % asf. murtui, 30 % irtosi asf. pinnalta
ka			>1,46	
C1	Uredur 2000	Asf.	>1,96	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C2			>1,86	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C3			>1,9	100 % asf. murtui
C4			>2,01	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
C5			>1,97	95 % asf. murtui, 5 % irtosi asf. pinnalta
ka			>1,94	
K1	Grafiitti		1,46	70 % grafiitti leikkautui, 30 % asf. murtui
K2			1,68	65 % grafiitti leikkautui, 35 % asf. murtui
K3			1,47	70 % grafiitti leikkautui, 30 % asf. murtui
K4			1,44	65 % graf. leikk., 25 % asf. murtui, 10 % liima leikk.
K5			1,44	65 % grafiitti leikkautui, 35 % asf. murtui
ka			1,50	

Liite H: Värimuutos UV-vanhennuksessa





Tekijä(t) Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo			
Nimeke Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000			
Tiivistelmä Suomessa on 28 ajoharjoittelurataa ajokorttiin tähtäävän koulutuksen käytössä. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka suoritti v. 1999–2000 Liikenne- ja viestintäministeriön, Ajoneuvohallintokeskuksen, Liikenneturvallisuuden edistämissätiön ja liukaspintamateriaalien edustajien rahoittaman, ajoharjoitteluratojen liukasalueisiin kohdistuneen tutkimuksen. Tutkimus sisälsi esiselvityksen, laboratoriokokeet ja kenttäkokeet. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää olemassa olevien ratojen nykytila ja tuoda esiin erilaiset ratkaisut liukaspintojen kunnostamiseksi. Tutkimuksen esiselvitysraportissa esitetään yhteenveto ratojen teknisistä ominaisuuksista, kustannuksista, käytöstä, kunnosta ja korjaustarpeesta, turvallisuudesta, ympäristövaikutuksista ja ratoja koskevien ohjeiden muutostarpeista. Lisäksi jokaisesta radasta on erillinen ratakohtainen kuvaus. Esiselvityksen keskeisiä tuloksia on käsitelty tämän raportin kohdassa "Yhteenveto". Laboratoriokokeissa tutkittiin liukaspintamateriaalien kitkaa, nastarengaskulumiskestävyyttä, ohuiden pinnoitteiden tartuntalujuus asfaltti- ja teräsalustaan, kemiallinen yhteensopivuus asfaltin kanssa ja UV-kestävyys. Laboratoriossa tutkittiin kolme erilaista polyuretaania, grafiitti, valuasfaltti, komposiitti Densifalt, graniittikivilaatat ja kaksi teräslaatua. Lähes kaikkien näiden materiaalien sekä betonin ja tiemerkintämässän kitkaa tutkittiin lisäksi koekentällä ja/tai käytössä olevalla ajoharjoitteluradalla. Raportissa esitetään vertailu eri pintamateriaalien kitkatasoista sekä muista tutkituista toiminnallisista ominaisuuksista sekä esimerkitapauksia erilaisista liukasalueiden korjaustapavaihtoehdoista ja korjauskustannuksista. Liukasalueiden ohjeelliseksi kitkakerroin suositukseksi esitetään 0,20–0,30 mitattuna VTT:n kitkanmittausautolla määrittä pinnalta hyväkuntoisilla kesärenkailla. Liukaspintojen tutkimusyhteistyötä esitetään jatkettavaksi projektissa, johon osallistuisivat liikenne- ja viestintäministeriö, Ajoneuvohallintokeskus, Suomen Autokoululiitto, ajoharjoitteluratojen edustaja sekä VTT. Jatkotoimenpide-ehdotukset sisältävät useita liukasalueiden materiaaleihin, niiden vaurioihin, korjauksiin ja ympäristönsuojeluun kohdistuvia tutkimuksia.			
Avainsanat drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Väylät ja ympäristö, Betonimiehenkuja 1, PL 19041, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5791-3 (nid.) 951-38-5792-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinnumero Y0SU00130, Y0SU00298	
Julkaisu-aika Helmikuu 2001	Kieli Suomi, engl. tiiv., ruots. tiiv.	Sivu-ja 58 s. + liitt. 8 s.	Hinta B
Projektin nimi Ajoharjoitteluratojen liukasalueiden tutkimus. Laboratoriokokeet. Kenttäkokeet		Toimeksiantajat Liikenne- ja viestintäministeriö, Ajoneuvohallintokeskus, Liikenneturvallisuuden edistämissätiö ja 9 yksityistä yritystä	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Authors Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo			
Title Low friction areas of driving training tracks Laboratory and field tests 2000			
Abstract <p>In Finland there are 28 tracks with low friction areas for skid training aiming at driving licence. During 1999–2000, VTT Building and Transport carried out a study of low friction tracks. It was financed by the Ministry of Transport and Communications, Vehicle Administration, Foundation for Promotion of Traffic Safety, and agents of low friction materials. The study was divided in three parts: a preliminary study, a laboratory study and a field study.</p> <p>A summary of the technical properties of the Finnish driving training tracks, costs, usage, state, need for repair, safety, environmental aspects and need for change of specifications for low friction areas is presented in the preliminary study. Furthermore, a separate description of each track is included.</p> <p>The friction properties, studded tyre wearing resistance, adhesion of thin coatings to asphalt and steel base, chemical compatibility with bitumen, and the ultraviolet radiation resistance of alternative low friction materials were studied in laboratory tests in the year 2000. The materials tested at laboratory included three different polyurethanes, graphite, mastic asphalt, composite pavement Densiphalt, granite stone slabs and two different types of steel. In addition, most materials mentioned above as well as concrete and a road marking mixture were also subjected to friction measurements on a test field and/or on a skid training track in use.</p> <p>A comparison of the friction levels of different surface materials and other tested functional properties is shown in the report along with cases and costs of different alternatives for reparation of low friction areas. As a directive guideline for friction coefficient of low friction areas, values of 0,20–0,30 are proposed as measured by the VTT's friction measuring vehicle (side friction method, wet surface, summer tyres in a good condition).</p> <p>This study dealt with the low friction materials comparatively widely, and on the basis of its results it is possible to compare the functional properties of various materials.</p>			
Keywords drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement			
Activity unit VTT Building and Transport, Infrastructure and Environment, Betonimiehenkuja 1, P.O.Box 19041, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5791-3 (soft back ed.) 951-38-5792-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number YOSU00130, YOSU00298	
Date February 2001	Language Finnish, Engl. abstr., Swed. abstr.	Pages 58 p. + app. 8 p.	Price B
Name of project Low friction materials for driving training tracks. Laboratory tests. Field tests.		Commissioned by: Ministry of Transport and Communications, Vehicle Administration, Foundation for Promotion of Traffic Safety and 9 companies	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by: VTT Information Service P.O.Box 2000, 02044 VTT Phone internat.+358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	



Författarna Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo			
Namn Lågfriktionsytor för trafikövningsplatser Laboratorie- och fältforskning 2000			
Referat <p>I Finland finns 27 trafikövningsplatser med konventionella halkområden och en övningsplats avsedd för Skid-Car vid utbildning för körkort. VTT Bygg och Transport finansierad av Kommunikationsministeriet, Fordonsförvaltningscentralen, Stiftelsen för trafiksäkerhetets främjande och representanter av lågfriktionsytmaterial utförde under åren 1999–2000 en utredning av halkytor på trafikövningsplatser. Utredningen innehöll en preliminär utredning, laboratorieforskning och fältprov. Utredningens syfte var att ta reda på det nuvarande tillståndet av trafikövningsplatser och ta fram olika alternativ av underhållsåtgärder.</p> <p>Rapporten av den preliminära utredningen innehåller ett sammandrag om tekniska egenskaper av trafikövningsplatser, kostnader, bruk, tillstånd, reparationsbehov, säkerhet, miljöinverkan och behov att ändra anvisningar gällande trafikövningsplatser. Det finns därtill i rapportens bilaga en skild beskrivning om varje trafikövningsplats.</p> <p>I laboratoriet undersöktes friktionsegenskaper, slitstyrka mot dubbdäck, vidhäftning mot stål- och asfaltunderlag samt kemiska kompatibilitet mellan bitumen och tunna ytbeläggningar samt resistens mot ultraviolettstrålning. Material, som testades i laboratoriet, var tre olika polyuretaner, grafit, gjutasfaltbeläggning, Densifalt kompositbeläggning, stenplattor av granit och två stålart. Friktion av nästan alla ovanstående material samt betongbeläggning och vägmarkeringsmassa undersöktes också på provfält och/eller trafikövningsplats.</p> <p>De nuvarande halkytor av stål, polyuretan, sten och betong har skillnader, som har betydelse i val av ytmaterial på grund av bl.a. trafikövningsplatsens ekonomiska möjligheter, belägenhet och miljökrav. Fördelar av stenytan är att som halkmedel behövs enbart vatten, den har bra slitstyrka och friktionsnivån kan upprätthållas med hjälp av slipning. Bruket av stenmaterial begränsar priset av konstruktionen. Också för en hittills använd hård polyuretan behövs enbart vatten som halkmedel, men den har ingen god resistens mot slitage av dubbdäck. Fördelen med stål är en bra slitstyrka, men dess problem är behov av vax eller olja som halkmedel och problem med att frysa ytan på vintern. Betong har en bra slitstyrka, men kräver också som halkmedel för vax eller olja.</p> <p>På basen av de utförda proven fanns ett nytt ytmaterial, en elastisk polyuretanmassa, som hade i laboratorieproven en bra slitstyrka mot dubbdäck och goda friktionsegenskaper. Ultraviolettstrålning förorsakade färgändringar i alla polyuretaner och därtill sprickbildning i elastisk polyuretan. Användning av elastisk polyuretan på halkområden borde undersökas först i provbyggnad för att få mera information som behövs om materialets resistens mot ultraviolettstrålning och slitage.</p> <p>Densifalt, som t.ex. i Sverige har använts på några nya halkytor, befanns inte vara speciellt bra. Den var inte hal och enbart vatten räckte inte som halkmedel.</p> <p>Slitstyrkan av grafit var dålig jämförd med andra halkytmaterial. Därför kan man inte nå en beständig friktion med grafit utbredd på asfaltyta, utan grafitbehandlingen måste fönyas med jämna mellanrum. Grafit fungerade då som halkmedel.</p> <p>Friktionskoefficienten av vägmarkeringsmassan var hög och beständigheten av friktionsnivån dålig, när ytan släts med sandblåsning. Enligt denna forskning är vägmarkering inte ett gott halkytmaterial.</p> <p>Mellan två olika stålmaterial fanns inga skillnader för lämplighet till halkytmaterial. I framtiden kommer synpunkter av miljöskydd kommer att betonas i bruk av olja på halkytor av stål.</p> <p>I rapporten uppvisas en jämförelse av friktionsnivåer och andra undersökta funktionella egenskaper av olika ytmaterial samt exempel på olika sätt att underhålla halkytor och underhållskostnader. Som en normativ friktionskoefficient rekommenderas 0,20–0,30 mätt på våt yta med VTT's friktionsfordon utrustad med sommaräck i bra skick.</p> <p>Ett forskningssamarbete av halkytor föreslås fortsätta i en projekt, var skulle ta del Kommunikationsministeriet, Fordonsförvaltningscentralen, Finlands Bilskoleförbund rf. och representant av trafikövningsplatser samt VTT. Rekommendationer för framtida åtgärder innehåller flera undersökningar av material för halkytor, deras skador, underhållsmetoder och miljöeffekter.</p>			
Nyckelord drivers, drivers training, driving licence, skid training, training tracks, low friction area, vehicles, surface properties, oil, wax, adhesion, measurement			
Verksamhetsenhet VTT Bygg och Transport, Infrastruktur och miljö, Betongblandargränden 1, PB 19041, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5432-9 (häftad) 951-38-5433-7 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projekt nummer Y0SU00130, Y0SU00298	
Datum February 2001	Språk finska, eng. ref., svensk ref.	Sidor 58 s. + bil. 4 s.	Prisgrupp B
Projektets namn Ajoharjoitteluratojen liukasalueiden tutkimus. Laboratoriokoheet. Kenttäkoheet		Uppdragsgivare Kommunikationsministeriet, Ajoneuvohallintokeskus, Liikenneturvallisuuden edistämisyhtiö, nio privat företag	
Series namn och ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (häftad) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Försäljning VTT Informationstjänst PB 2000, 02044 VTT tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374	