

HILJAISET PÄÄLLYSTEET – TUOTEVAATIMUKSET JA MITTARIT

Marko Kelkka Ilmo Hyyppä Nina Raitanen Jarkko Valtonen Panu Sainio



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
TECHNISCHE UNIVERSITÄT HELSINKI
UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE D'HELSINKI

Jakelu:

Teknillinen korkeakoulu

Tielaboratorio

PL 2100

02015 TKK

Puh. (09) 451 3791

Fax (09) 451 5019

ISBN 951-22-6870-1

ISSN 1459-7551

Espoo 2003

TIIVISTELMÄ

Hiljaiset päällysteet; tuotevaatimukset ja mittarit -tutkimusprojekti (HILJA-projekti) kuului Tekesin INFRA-teknologiaohjelman hankintamenettelyt-osioon. Tekesin lisäksi rahoittajina olivat asfalttialan urakoitsijoista Lemminkäinen, Tieliikelaitos, NCC Roads ja Valtatie sekä rakennuttajista Tiehallinto, Helsinki, Espoo ja Turku. HILJA-projektin kesto-aika oli 2.1.2001-31.1.2004.

Tutkimuksen koordinoinnista ja pääosin toteutuksesta vastasi Teknillisen korkeakoulun tielaboratorio. Muut hankkeessa työskennelleet tahot olivat Teknillisen korkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorio, Suomen Akustiikkakeskus sekä VTT.

Tutkimuksen tavoitteina oli saada markkinoille melua vähentäviä, riittävän kulutuskestävyyden omaavia kohtuuhintaisia päällysteitä ja kehittää niille toiminnalliset laatuvaatimukset ja mittarit.

Seitsemään täysimittakaavaiseen koe-kohteeseen rakennettiin kaikkiaan 46 koeosuutta. Lähes kaikissa koe-kohteissa oli hiljaisten päällysteiden lisäksi referenssiosuutena SMA 16.

Tutkimuksen tuloksena on saatu kaksi käyttökelpoista mittaumenetelmää päällysteen meluominaisuuksien mittaamiseen; modifioitu CPX- eli vaunumittaus ja SPB- eli tilastollinen ohiajomittaus, mutta mittaamatta raskaiden ajoneuvojen melua.

Kulumiskestävyyden arviointi tapahtui lopulta pelkästään koe-kohteiden kenttämittausten perusteella, koska Prall-kokeiden todettiin johtavan virheellisiin päätelmiin hiljaisten päällysteiden osalta. Pintakarkeudella ja kitkalla ei havaittu olevan yhteyttä päällysteiden meluominaisuuksiin.

Hiljaisen päällysteen kriteeriksi 50..60 km/h:n välillä määriteltiin, että sen tulee vähentää liikkennemelutasoa SPB-menetelmällä mitattaessa 3 dB(A)max tai CPX-menetelmällä mitattaessa 4 dB(A)eq referenssipäällysteeseen verrattuna. Menetelmät korreloivat hyvin keskenään. Tutkimuksen aikana saatiin kehitettyä useita kriteerin täyttäviä päällysteitä. Päällysteen meluominaisuudet vakiintuvat ensimmäisen talven aikana ja siksi melumittaukset on syytä tehdä vasta päällystystyötä seuraavana kesänä. Kaksikerrospäällysteiden (nopeammin kuivuvien) etuja melun suhteen ei voitu havaita, koska melumittaukset tehtiin aina kuivalla kelillä. Päällysteen tiedetään olevan märkänä meluisampi kuin kuivana.

Myös koepäällysteiden kulumisominaisuuksia onnistuttiin parantamaan projektin aikana. Parhaat kulumistulokset olivat suorastaan vertailukelpoisia referenssipäällysteiden kulumisen kanssa. Muutamilla vähäisen kulumisen osuuksilla myös melukriteeri täyttyi.

Hiljaisten päällysteiden hyöty melurajojen muutoksena voidaan osoittaa projektin yhteydessä kehitetyllä laskentatavalla, jossa CPX- ja SPB-tulos muutetaan melunlaskentamallin lähtöarvoksi.

Hiljaisten päällysteiden hankintamenettelyksi luonnosteltiin kolme tapaa, joissa on kaksi keskeistä eroa; kuinka pitkän ajan urakoitsija on vastuussa päällysteen kulumisesta ja todetaanko melukriteerin täytyminen aiemmin toteutetuilla vastaavilla kohteilla tehtyjen mittausten perusteella vai jäädäänkö odottamaan seuraavan kesän mittaustuloksia.

SUMMARY

The HILJA-Research Project is dealing the noise reducing asphalts, their definition and measurements. This project belongs to the INFRA-Technology Program of Tekes (National Technology Agency of Finland).

Other financers of the project were the asphalt companies Lemminkäinen, Finnish Road Enterprise, NCC Roads and Valtatie. Also the FinnRA (Finnish Road Administration) and the cities of Helsinki, Espoo and Turku were the financers. HILJA was a three years project started in the 2nd of January 2001 and ended in the 31st of January 2004.

The project was co-ordinated by the Laboratory of Highway Engineering at the Helsinki University of Technology (HUT). Most of the research work was done there. Also the Automotive Laboratory of HUT, Suomen Akustiikkakeskus (Acoustic Centre of Finland) and VTT (Technical Research Centre of Finland) were working for the project.

The aim of the project was that the asphalt companies would develop the noise reducing asphalt products, that also have good wearing properties and the reasonable price. The recipes of the products were secret, only the companies knew the proportioning. There was also a need to have a functional quality criteria for these asphalt products and to define how the properties should be measured.

At the beginning a literature research was done. It was important to collect knowledge from other countries, because there was not enough experience of noise reducing asphalts in Finland. Some trials had been done before this project in Finland, but especially the wearing properties of the asphalts tested were quite poor. In Finland the severe winter conditions including frost, long term presence of moisture, using sanding for slippery prevention and allowance of studded tyres require unique solutions with high wear resistance. After the literature research there were lots of ideas, what kind of methods should be tested and perhaps modified.

To test different kinds on asphalts in the real environment altogether 50 test sections were built on seven different roads. In Helsinki 12 test sections were built on a four-lane road, where the traffic volume is little more than 20 000 vehicles/day and the speed limit varies between 50 and 60 km/h. Another test road with two sections was built inside Helsinki between high buildings to measure noise in different heights. 12 sections were built on a highway 50 km northwest from Helsinki. The traffic volume is nearly 6 500 vehicles/day there and the speed limit is 100 km/h in the summer and 80 km/h in the winter. In Espoo the test sections were on the street, where the traffic volume is nearly 4 500 vehicles/day and the speed limit 50 km/h. The other test roads were in Kaarina (nearly 9 000 vehicles/day, 60 km/h), Kirkkonummi and Kokkola (nearly 4 000 vehicles/day, 60 km/h). SMA 16 was used as a reference in every place except in Espoo. In Espoo there are two references: AC 16 and SMA 8. In Kirkkonummi and Kokkola the noise level was also measured further from the road side.

As a result of the study there are now two methods available for determining the noise properties of the asphalt: modified CPX (close-proximity method, with only one tyre) and modified SPB (statistical pass-by method, without measuring the noise of heavy vehicles). Two other methods were also tested. CB-Method (coast-by) was not very good, because both the tyres and the car itself had a very big influence on the results and it is impossible to compare the results of the different car and tyre combinations. Noise measurements inside the car gave good results, which indicated a clear reduce of noise levels when driving on several test sections. Also in this method the car and tyres used influenced the result.

Wearing properties were measured by the Prall-Method. But the results were unconvincing and that is why the wear was evaluated only by measuring the rut depths of the products. Neither the macro texture nor the friction of the surfaces measured had any clear correlation with noise.

The criteria set for the noise reducing asphalts on the speed limit area 50...60 km/h is following: the noise reduction of 3 dB(A)max (mod. SPB-Method) and 4 dB(A)eq (mod. CPX-Method), when comparing with SMA 16. This means that the criteria for the noise reducing pavement is 72,5 dB(A)max (mod. SPB) and 88,5 dB(A)eq (mod. CPX). These methods correlate very well with each other. Several products fulfilling the criteria were developed during the project. The noise properties changed quite a lot due to the first winter and that is why the measurements were suggested to be performed the following summer. The benefits of twin-layer asphalt (that dry fast) were not to be seen, because the surfaces were dry when measured. A common knowledge is, that a wet surface is noisier than a dry one.

Also the wear resistance became much better during the project. The best results were nearly as good as the ones of the reference sections. On some sections with minor rut depths also the noise results were good.

The calculation program was developed inside the project. The results of either mod. CPX - or mod. SPB -method can be transferred into a computer program, that calculates the noise levels beside the road (L(A)eq, 10 m).

Also some guidelines for ordering the noise reducing asphalts were introduced. The main issues are:

- the length of constructor's guarantee (wear resistance and noise properties)
- conforming the noise and wearing properties (previous reference contracts or new measurements)

Results achieved during this project have given an important knowledge: the combination of high wear resistance and good noise properties is possible. This has given positive signals and satisfaction to the road authorities about using noise reducing pavement products as one of the standard procedures in the traffic noise reduction. The common use of noise reducing pavements can be expected.

SAMMANFATTNING

HILJA-projektet var ett delprojekt inom TEKES-INFRA -teknologiprogram. I HILJA-projektet undersöktes olika bullerdämpande asfaltbeläggningar, deras egenskaper och -krav samt olika bullermättningsmetoder. Förutom TEKES finansierade asfaltentreprenörerna Lemminkäinen, Vägaffärsverket, NCC Roads och Valtatie samt fyra byggherrar: Vägförvaltningen och städerna Helsingfors, Esbo och Åbo projektet. HILJA-projektet var i gång 2.1.2001-31.1.2004.

Väglaboratoriet vid Tekniska högskolan var ansvarigt för projektets koordinering och dessutom för största delen av utförandet. Övriga utförande institutioner var Laboratoriet för bilteknik vid Tekniska högskolan, Suomen Akustiikkakeskus (Finlands Akustikcentral) och VTT (Statens forskningscentral).

Meningen var att entreprenörerna skulle utveckla bullerdämpande beläggningar, som har tillräckligt goda nötningsegenskaper och som inte kostar för mycket. Informationen om proportioneringsdetaljer var hemlig, bara entreprenörerna själva vet, vad massorna innehåller. Därtill var det meningen att utveckla funktionella krav och mättningsmetoder för bullerdämpande beläggningar.

I början gjordes en litteraturundersökning om vad man redan vet i olika länder. Det var viktigt att börja så, för att det inte fanns mycket erfarenhet om bullerdämpande beläggningar i Finland. Några gånger hade man gjort korta teststräckor och slitaget, hade ofta varit ganska stort. Med hjälp av litteraturundersökningen fick man kunskap att välja, vilka forskningsmetoder som skulle prövas och kanske modifieras.

För att testa olika typer av produkter i verkliga förhållanden, byggde entreprenörerna tillsammans 50 testsektioner på sju olika vägar. Ur slitage-synpunkts skull var det viktigt, att åtminstone en väg hade mycket trafik och hög hastighetsbegränsning (80...100 km/h). I Helsingfors var det möjligt att bygga testsektioner på en fyrfilig väg, vars trafikmängd är något mera än 20 000 fordon/dygn och hastighetsbegränsningen varierar mellan 50 och 60 km/h. I Helsingfors byggdes också två testsektioner på en innerstadsgata. Här kunde man jämföra hur trafikbullret spred sig i vertikal riktning längs husväggarna. I Västra Nyland byggdes testsektionerna på en riksväg, där trafikmängden är nästan 6 500 fordon/dygn och hastighetsbegränsningen är 100 km/h på sommaren och 80 km/h på vintern. I Esbo stad byggdes testsektionerna på en gata, där trafikmängden är nästan 4 500 fordon/dygn och hastighetsbegränsningen 50 km/h. De andra testvägarna ligger i St Karins på sydvästkusten (nästan 9 000 fordon/dygn, 60 km/h), i Kyrkslätt i Nyland och i Karleby i Österbotten. Alla testvägar utom den som ligger i Esbo hade SMA 16 som referensbeläggning. I Esbo fanns det två referensbeläggningar; AB 16 och SMA 8. I Kyrkslätt och i Karleby var det meningen att mäta hur ljudet från olika beläggningar sprider sig till vägens omgivning.

Som resultat finns det nu två modifierade metoder för att mäta beläggningarnas ljudegenskaper; CPX (vagnmättningsmetod med bara ett däck) och SPB (statistisk mättningsmetod för verkligt trafikbuller, där tunga fordons buller inte tagits i beaktande). Också CB-metoden (där man använder bara en bil) användes, men däck och bil har mycket stor inverkan på resultat. Därför är det svårt att jämföra resultat av olika utrustningar. Också bullret, inne i en bil, mättes.

De bullerdämpande beläggningarnas slitage-egenskaper bedömdes slutligen bara på grund av fältnätningar, därför att Prall-testen inte lämpade sig för uppgiften. Ytans grovhet och friktion gav ingen korrelation med beläggningarnas ljudegenskaper.

Som kriterium för en bullerdämpande beläggning föreslås en 3 dB lägre ljudnivå än vad referensbeläggningen (SMA 16) har på vägar med 50-60 km/h hastighetsbegränsning. Detta kriterium gäller vid SPB-metoden, medan en 4 dB's skillnad föreslås vid CPX-metoden. Medelvärdet för SMA 16 var 75,5 dB(A)max med SPB-metoden och 92,5 dB(A)eq med CPX-metoden. Gränsvärdena för ljuddämpande beläggningar blir då 72,5 dB(A)max med SPB och 88,5

dB(A)_{eq} med CPX. Metoderna korrelerar bra med varandra. Entreprenörerna lyckades utveckla flera beläggningar som uppfyllde "kravet". För att beläggningarnas ljudegenskaper förändras ganska mycket under den första vintern, är det rekommendabelt att mäta dem endast under den följande sommaren. Tvåskiktiga beläggningar gav inte bättre resultat än enskiktiga eftersom ljudmätningarna alltid utfördes på torr yta. Man vet ändå, att på en våt yta är ljudnivån högre än på en torr yta.

Under projektets tre år utvecklades "tysta beläggningar" med bättre slitage-egenskaper. De bästa beläggningarna nöts nästan lika litet som referensbeläggningarna. Några beläggningar, som hade bra motstånd mot slitage, dämpade också buller utmärkt väl.

Projektet producerade också en kalkyleringsmetod, med vilken man kan räkna ut, hur stor nytan av bullerdämpande beläggningar är. Idén är att man med hjälp av SPB- eller CPX-mätvärden kan räkna ut hur trafikbullret sprids i vägens omgivning.

Projektet ger tre förslag till upphandling av bullerdämpande beläggningar utgående från praktiska synpunkter och/eller entreprenörens ansvarsperiod. Vid upphandling bör man beakta om man kan lita på tidigare bullermätningar som utförts med den ifrågavarande beläggningstyper eller om man bör utföra bullermätningar och/eller slitagemätningar på det utförda objektet och vid vilken tidpunkt bör dessa mätningar utföras.

Byggherrarnas åsikt är nu positiv och sannolikt är, att bullerdämpande beläggningar blir allt vanligare i framtiden.

ESIPUHE

Infrarakentamisen markkinoilla alan toimijat kehittävät toimintatapoja, jotka edistävät innovatiivisten tuotteiden ja palveluiden tarjontaa. Tuottavuuden parantaminen, liikenneturvallisuuden edistäminen sekä ympäristövaikutusten vähentäminen ovat muita alan kehittämistavoitteita. Tarvitaan hankintatapoja, joissa asetetaan vaatimuksia tuotteiden ominaisuuksille, ja yritystoimintaa, joka kykenee tuottamaan kehittämistavoitteiden mukaisia ratkaisuja.

Hiljaiset päällysteet -projektissa oli tavoitteena kehittää uudistuvia tie- ja katupäällysteiden hankintamenettelyjä varten meluominaisuuksiin liittyviä toiminnallisia laatuvaatimuksia ja vertailun mahdollistavia mittareita ja mittaustapoja. Projektin toisena tavoitteena oli luoda yrityksille osaamis pohjaa ja valmiuksia kehittää ja tuoda markkinoille kustannustehokkaita rengasmelua vähentäviä, riittävän kulumiskestävyiden omaavia päällysteitä.

”Hiljainen päällyste” on tuote, jossa renkaasta aiheutuva melu on merkittävästi alhaisempi kuin tavanomaisesta päällysteestä. Hiljaisella päällysteellä voidaan alentaa sekä ympäristöön että ajoneuvon sisälle kohdistuvaa melutasoa. Hiljainen päällyste on siten meluestettä monipuolisempi ratkaisu.

Päällysteen melu-, kulutuskestävyys-, turvallisuus- ja kustannusominaisuudet muodostavat toisistaan riippuvien yhteyksien verkon. Projektissa saatiin arvokasta tietoa päällysteiden meluominaisuuksista ja ns. hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksia parannettiin. Tutkimuksen tuloksena saatiin kaksi käyttökelpoista mittausten menetelmää meluominaisuuksien mittaamiseen. Myös liikennemelun leviämismalleja kehitettiin. Muutama hankintamenettelymalli tuotettiin jatkokäsittelyä varten. Tutkimuksen tulokset nähtiin sellaisenaan käyttökelpoisina Pohjoismaiden markkinoita ajatellen.

Tutkimusprojekti oli osa Tekesin Infra – Rakentaminen ja palvelut -teknologiaohjelmaa, joka muun muassa tukee yrityksiä kohottamaan tutkimuksen avulla osaamistasoaan. Projektin taakse saatiin tilaajatahon lisäksi päällystealan yrityksiä sekä rahoittajina että tutkimusta johtaneen johtoryhmän jäseninä. Projekti koettiin todella koko alan yhteiseksi projektiksi, ja se auttoi löytämään toimintatapoja yhteiseen kehitystyöhön.

Projektin päärahoittajina olivat Tekes ja Tiehallinto ja muina rahoittajina Espoon, Helsingin ja Turun kaupungit, Lemminkäinen Oyj, NCC Roads Oy, Tieliikelaitos ja Valtatie Oy.

Johtoryhmän puolesta esitän kiitokseni kaikille tutkijoille, jotka Teknillisen korkeakoulun Tielaboratorion opettavan tutkijan TkT Jarkko Valtosen johdolla rakensivat päällystealalle tarpeellista yhteistä osaamis pohjaa. Projektin koordinaattorina erikoistutkija DI Marko Kelkka ansaitsee erityiskiitoksen kokoavasta työstään.

Marraskuu 2003

Hiljaiset päällysteet -projektin johtoryhmän puolesta

Lars Forstén, johtoryhmän puheenjohtaja

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
SUMMARY.....	4
SAMMANFATTNING	6
ESIPUHE	9
TERMIT JA KÄYTETYT LYHENTEET	12
1 JOHDANTO.....	13
1.1 Tausta.....	13
1.2 Tutkimuksessa käsitelty ongelma	13
1.3 Tavoitteet.....	14
2 TIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA MELU	15
2.1 Ympäristömelun ohjearvot.....	15
2.2 Melun osatekijät.....	15
2.3 Meluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet	16
2.4 Kosteuden merkitys	18
2.5 Kokemukset Suomessa.....	18
2.6 Kokemukset ulkomailla.....	20
3 MITTAUSMENETELMÄT.....	23
3.1 Yleistä	23
3.2 Sovellatut CPX- ja SPB-menetelmät	24
3.2.1 CPX-menetelmä	24
3.2.2 SPB-menetelmä.....	25
3.2.3 CPX- ja SPB-menetelmien vertailu.....	28
3.3 CB- ja sisätilamittaukset.....	30
3.3.1 CB-menetelmä	30
3.3.2 Auton sisätilan melu	30
3.4 Sturenkadun mittaukset	31
3.5 Kulumismittaukset	32
3.5.1 Prall-menetelmä	32
3.5.2 Profilometri-menetelmä	33
3.6 Muut mittaukset.....	34
3.6.1 Yleistä.....	34
3.6.2 Kitkamittaus.....	34
3.6.3 Veden läpäisevyys	34
3.6.4 Makrokarkeus - Mean Profile Depth.....	35
3.6.5 Makrokarkeus – lasihelmimenetelmä	35
4 TUTKIMUSAINEISTO	36
4.1 Yleistä	36
4.2 Vuonna 2001 toteutetut Hilja-koekohteet	37
4.2.1 Meripellontie, Helsinki	37
4.2.2 Kaarinatie, Kaarina	39
4.2.3 Pohjoinen ohikulkutie (mt 749), Kokkola.....	41
4.3 Vuonna 2002 toteutetut Hilja-koekohteet	43

4.3.1 Riihiniityntie, Espoo.....	43
4.3.2 Virkkala (vt 25), Lohja.....	45
4.3.3 Länsiväylä (kt 51), Kirkkonummi.....	46
4.3.4 Sturenkatu, Helsinki.....	47
4.4 Muut Hilja-projektissa hyödynnetyt koekohteet.....	47
4.4.1 Kehä II, Espoo (st 102).....	47
4.4.2 Kulomäentie, Vantaa (st 152).....	48
5 TULOKSET.....	49
5.1 Yleistä.....	49
5.2 Lopputarkasteluista hylätyt mittaustulokset.....	51
5.2.1 Meripellontien SPB-tulokset.....	51
5.2.2 Virkkalan vuoden ikäiset SPB- ja CPX-tulokset.....	52
5.2.3 Riihiniityntien referenssiosuuksien SPB-tulokset.....	53
5.3 CPX- ja SPB-tulokset.....	54
5.3.1 Yhteenveto tuloksista.....	54
5.3.2 Vuonna 2001 rakennetut koetiet.....	56
5.3.3 Vuonna 2002 rakennetut kohteet.....	59
5.3.4 SPB- ja CPX-menetelmien toistettavuus.....	60
5.3.5 SPB- tulosten riippumattomuus mittauspaikasta.....	61
5.3.6 SPB- ja CPX-menetelmien välinen suhde.....	63
5.4 Laatuvaatimusehdotus hiljaisen päällysteen meluominaisuudelle.....	65
5.4.1 Mittausajankohdan valinta.....	67
5.5 CB-menetelmä ja sisätilamittaukset.....	69
5.6 Sturenkadun melumittaukset.....	72
5.7 Melun leviämisen mittaukset.....	75
5.8 Kulumismittaukset.....	76
5.8.1 Yleistä.....	76
5.8.2 Meripellontie.....	76
5.8.3 Kaarina.....	79
5.8.4 Kokkola.....	80
5.8.5 Riihiniityntie.....	83
5.8.6 Virkkala.....	86
5.8.7 Kehä II.....	88
5.8.8 Korso.....	89
5.9 Päällysteiden pintarakenne.....	89
5.9.1 Makrokarkeusmittaukset.....	89
5.9.2 Makrokarkeustulosten vertailu kitka-arvoihin.....	94
5.9.3 Makrokarkeustulosten vertailu päällysteiden meluominaisuuksiin.....	96
5.10 Koepäällysteiden kelpoisuus meluominaisuuksien ja urautumisen perusteella.....	96
6 PÄÄTELMÄT.....	99
HILJA-PROJEKTIN TIEDOTUS JA RAPORTOINTI.....	102
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	104
LIITTEET.....	106

TERMIT JA KÄYTETYT LYHENTEET

Aallonpituus	<i>Aallon pituus vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen</i>
Absorptiokyky	<i>Materiaalin kyky imeä ääntä</i>
Amplitudi	<i>Värähtelyn ääripisteiden etäisyys toisiinsa</i>
A-painotus	<i>Korvan kuuloaistimukseen perustuva äänenpainetason korjaus</i>
A-suodatin	<i>A-painotuksessa käytettävä taajuus- / äänenpainetaso-käyrä</i>
CB	<i>Coast-by, rullausmenetelmä</i>
CPB	<i>Controlled Pass-by, kontrolloitu ohiajomenetelmä</i>
CPX	<i>Close-Proximity, vaunumittausmenetelmä</i>
Desibeli	<i>Äänenpaineen yksikkö (logaritminen)</i>
Ekvivalenttimelutaso	<i>Tietyn ajanjakson keskimääräinen melutaso</i>
ETD	<i>Estimated texture depth – estimoitu pinnan syvyys</i>
Graafinen oikolauta	<i>Viivain, jota käytetään oikean oikolaudan omaisesti määrittäessä urasyvyyttä graafisesti</i>
Kuulamylyarvo	<i>Arvo, joka kuvaa kiviaineksen kestävyyttä päällystemateriaalina</i>
L(A)eq	<i>A-painotettu ekvivalenttimelutaso</i>
L(A)max	<i>A-painotettu maksimimelutaso</i>
L(A)min	<i>A-painotettu minimimelutaso</i>
Litteysluku	<i>Kiviaineksen raemuotoa kuvaava luku</i>
Lämpötilakorjaus	<i>Tuloksen muuntaminen referenssilämpötilaan</i>
MPD	<i>Mean profile depth – keskimääräinen profiilin syvyys</i>
MTD	<i>Mean texture depth – keskimääräinen pinnan syvyys</i>
NOTRA	<i>Noise trailer – melunmittausvaunu</i>
Prall-laite	<i>Päällysteen nastarengaskulumista määrittävä laboratoriolaite</i>
Profilometri	<i>Kaistan poikkiprofiilin määrittävä yleensä lasermittaukseen perustuva kenttämittauslaite</i>
Referenssipäällyste	<i>Vertailupäällyste</i>
Sand Patch	<i>Päällysteen makrokarkeutta määrittävä ns. lasihelmimenetelmä</i>
SPB	<i>Statistical Pass-by, tilastollinen ohiajmittausmenetelmä</i>
SRK-arvo	<i>Arvo, joka kuvaa päällystenäytteen kulumista sivurullakulutuslaitteessa</i>
Taajuusspektri	<i>Taajuusjakauma</i>

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Hiljaiset päällysteet; tuotevaatimukset ja mittarit -tutkimusprojekti (HILJA-projekti) kuului osana Tekesin INFRA-teknologiaohjelman hankintamenettelyt-osioon. Tekesin lisäksi rahoittajina olivat asfalttialan urakoitsijoista Lemminkäinen, Tieliikelaitos, NCC Roads (ent. Interasfaltti) ja Valtatie sekä rakennuttajista Tiehallinto, Helsinki, Espoo ja Turku. HILJA-projektin kestoai-ka oli 2.1.2001-31.1.2004.

HILJA-projektin johtoryhmään kuuluivat:

Lars Forstén (Lemminkäinen), puheenjohtaja

Tom Warras (Tekes)

Tapio Tölli (Tieliikelaitos) 8.4.2002 asti

Keimo Komulainen (Tieliikelaitos) 8.4.2002 alkaen

Pertti Peltomaa (NCC Roads)

Seppo Kauppinen (Valtatie)

Kari Lehtonen (Tiehallinto)

Mats Reihe (Tiehallinto)

Pekka Isoniemi (Helsingin kaupunki)

Jarmo Takaloeskola (Espoon kaupunki)

Petteri Nieminen (Turun kaupunki)

Jarkko Valtonen (TKK)

Marko Kelkka (TKK), sihteeri

Tutkimuksen koordinoinnista ja toteutuksesta vastasi Teknillisen korkeakoulun Tietekniikan laboratorio. Merkittävä osa tutkimuksen toteutuksesta tehtiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratorion kanssa.

Hiljaisten päällysteiden huomioon ottoa melunlaskentamalleissa koskeva teoriaosuus on teetetty alihankintana Suomen Akustiikkakeskuksella. Samoin tätä osuutta koskevat kenttämittaukset on teetetty Suomen Akustiikkakeskuksella ja VTT:llä.

1.2 Tutkimuksessa käsitelty ongelma

Hiljaisia eli vähämeluisia päällysteitä ei Suomessa ole juurikaan tehty. Niiden tuotekehitys on ollut vielä tämän tutkimuksen alkaessa kovin vähäistä, eikä ole riittävää käsitystä siitä, kuinka paljon hiljaisilla päällysteillä voidaan vähentää liikenteen melua. Myöskään hiljaisten päällysteiden kestävydestä Suomessa katu- tai tiepäällysteenä ei ole riittävästi tutkittua tietoa tai käytännön kokemuksia.

Hiljaisten päällysteiden akustisille ominaisuuksille ei ole olemassa yhteisesti hyväksytyjä tekniisiä tai toiminnallisia laatuvaatimuksia eikä laatuvaatimusten todentamismenetelmiä. Yksittäisissä kotimaisissa ja ulkomaisissa tutkimuksissa on käytetty erilaisia standardoituja tai standardoimattomia mittaamenetelmiä, jotka eivät sellaisenaan sovellu toimivuuteen perustuvien uusien hankintatapojen laadunvarmistukseen Suomen oloissa.

Pohjoismaisessa tieliikenteen melunlaskentamallissa ei nykyisin oteta huomioon hiljaisen päällysteen melutasoa alentavaa vaikutusta. Suunnittelijoilla tai päällysteen tilaajilla ei siis ole yksi-

selitteistä työkalua, millä he voisivat osoittaa hiljaisen päällysteen mahdolliset vaikutukset tieympäristön melutasoon ja sitä kautta valita hiljainen päällyste meluntorjuntaratkaisuksi jo suunnitteluvaiheessa.

1.3 Tavoitteet

Tavoitteena on saada markkinoille melua vähentäviä, riittävän kulumiskestävyiden omaavia ja edullisia päällysteitä ja kehittää niille toiminnalliset laatuvaatimukset ja mittarit.

Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuuden ja täysimittakaavalaboratoriokokeiden (koetiet) avulla:

- a) miten paljon uuden tyyppisillä hiljaisilla päällysteillä voidaan vähentää ympäristöön leviävää liikenteen melua kulutuskestävyyden (päällysteen kestoiän) silti kärsimättä.
- b) millä mittaus- ja laskentamenetelmillä päällysteen tuottaja voi osoittaa tuotteensa melu- ja kulumisominaisuudet ja miten rakennuttaja osoittaa laatuvaatimukset (lähtökohdat tuotekehitykselle ja hankintamenettelyjen selkeyttämiselle)
- c) miten hiljaisten päällysteiden melua vähentävä vaikutus otetaan huomioon melunlaskentamalleissa, joiden avulla arvioidaan ympäristöön leviävän melun tasoa (kuinka suuri on vaimennus, paljonko rakennuttajan kannattaa maksaa melua vähentävästä päällysteestä, kuinka suuret markkinat).

Kansainväliseltä kannalta tutkimuksessa selvitetään, mikä Eurooppalaisten standardien (EN) mukainen testimenetelmä tai sen sovellus sopii parhaiten kuvaamaan päällysteiden (paikasta riippumattomia) akustisia tuoteominaisuuksia käytettäessä hankekohtaisesti pohjoismaista melulaskentamallia (paikasta riippuvien) melutasojen laskemiseen. Hankintadirektiivi edellyttää, että kaikissa EU/ETA-maissa käytetään tuotteiden laatuvaatimuksena EN-standardeja, jos sellaisia on olemassa kyseiseen tarkoitukseen. Pohjoismaiden ympäristölainsäädäntö edellyttää pohjoismaisen melulaskentamallin käyttöä meluhaittojen ennustamiseen.

Tutkimuksen tulokseksi saadaan laatuvaatimukset ja laadunmittausmenettely Suomen oloihin. Niiden perusteella kehitettyjen tuotteiden akustiset tuoteominaisuudet ovat kuitenkin kaikissa EU/ETA-maissa ymmärrettäviä. Lisäksi hiljaisella päällysteellä saatava hankekohtainen hyöty on kuvattavissa kaikissa Pohjoismaissa hyväksyttävällä tavalla. Tämä on tärkeää, koska pohjoismaiset päällystemarkkinat ovat jo suureksi osaksi yhdentymässä varsinkin erikoispäällysteiden osalta.

Ulkomaisia (= ei-pohjoismaisia) tuotteita ei voida kopioida suoraan Suomeen, Ruotsiin tai Norjaan, koska nastarenkaiden käyttö aiheuttaa liian voimakasta kulumista tavallisimmissa hiljaisissa päällysteissä. Siksi ulkomaisiin tuotteisiin perehdytään lähinnä vain kirjallisuuden avulla. Pohjoismaiseen käytäntöön perehdytään Pohjoismaiden Tieteellisen Liiton (PTL) seminaareissa ja työryhmissä.

Kulumiskestävyys osoitetaan päällystekeoeteillä ja laboratoriomenetelmillä, jotka tunnetaan kaikissa Pohjoismaissa. Lisäksi menetelmien välille saadaan laskennallinen yhteys.

Tutkimustulosten avulla syntyneiden laatuvaatimusten ja mittaustopojen perusteella syntyvien tuotteiden uskotaan ratkaisevan juuri hiljaisten päällysteiden kulumiskestävyuden. Siksi päämarkkina-alueena on Suomi, Ruotsi ja Norja.

2 TIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA MELU

2.1 Ympäristömelun ohjearvot

Ympäristömelun yleiset ohjearvot on annettu valtioneuvoston päätöksessä (993/1992). Ohjearvot on annettu päivällä (klo 7-22) ja yöllä (klo 22-7) sekä ulkona että sisällä esiintyvälle melulle.

Taulukko 1. Yleiset ohjearvot, melun keskiäänitaso $L(A)_{eq}$ (dB)

	päivä	yö
Ulkona		
asuminen, virkistysalue, taajamassa, hoito- ja oppilaitokset	55	50*
loma-asuminen, leirintä, virkistys- ja luonnonsuojelualue	45	40
Sisällä		
asuin-, potilas ja majoitustila	35	30
opetus- ja kokoontumistila	35	-
liike- ja toimistotila	45	-

* uudella alueella 45 dB

2.2 Melun osatekijät

Melu, jonka tie aiheuttaa lähiympäristössään on riippuvainen monista eri seikoista. Meluun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- liikennevirran koostumus ja erityisesti raskaiden ajoneuvojen osuus siitä
- tien päällyste
- kuljettajien ajotapa erityisesti alhaisilla nopeuksilla
- yksittäisten ajoneuvojen ominaisuudet (malli, akselipaino ja rakenne)
- ajoneuvojen renkaiden ominaisuudet (paine, koko, lämpötila, pintakuvio, pintamateriaali)
- nopeusrajoitus
- sääolot (tien pinnan lämpö ja kosteus, tuuli)
- tien geometria (pituuskaltevuus, liittymät)
- liikenteen ohjaus (liikennevalot)

Yksittäisen ajoneuvon synnyttämää melua ja eri tekijöiden vaikutusta siihen on tutkittu laajalti. Ajoneuvojen kohdalla vaikeutena on tunnistaa yleisiä piirteitä hyvinkin vaihtelevien teknisten ratkaisujen ja ajoneuvojen rakenteiden vaikuttaessa meluun usein ristiriitaisestikin. Myös ajoneuvon käyttötilanne ja kuljettajan toimet vaikuttavat kokonaismelun koostumukseen. Ajoneuvon aiheuttama melu voidaan jakaa seuraaviin komponentteihin.

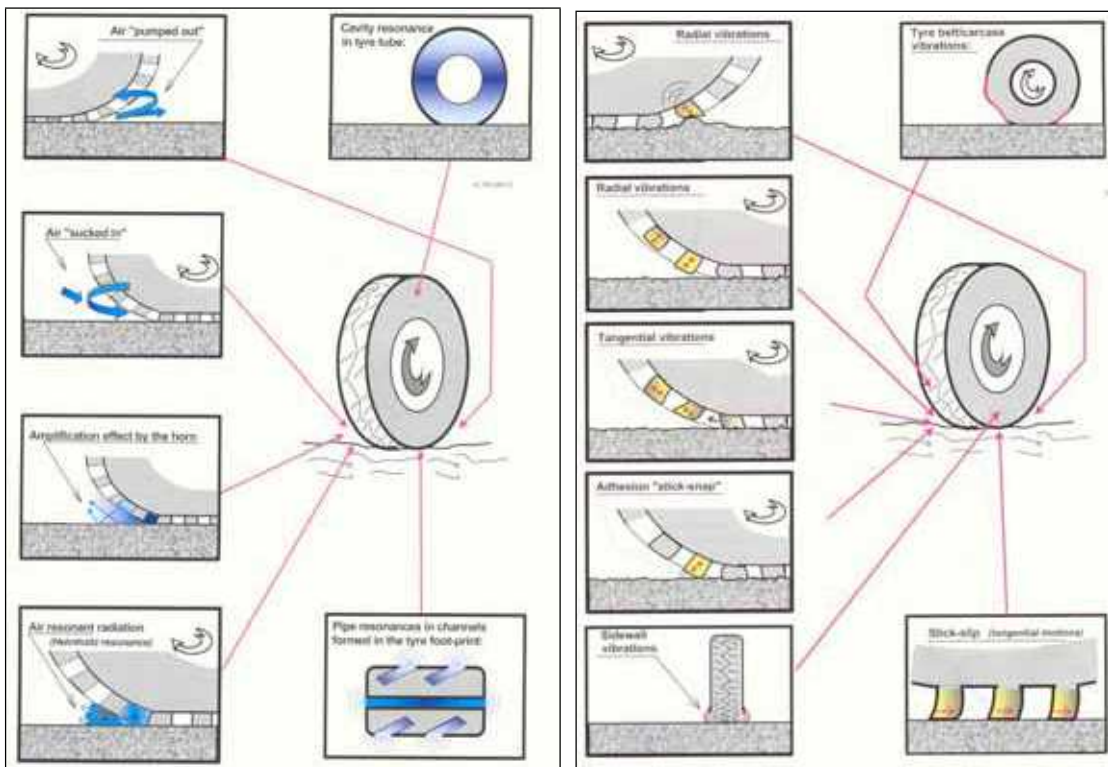
- mekaaninen moottorimelu
- rengasmelu
- ilmvirtausten aiheuttama aerodynaaminen melu
- polttoaineseoksen palamismelu
- tuuletinmelu
- imumelu (moottorin ilmanotto)

Näiden melulähteiden osalta voidaan todeta moottorimelun hallitsevan alhaisilla nopeuksilla (< 30-40 km/h), rengasmelun keskinopeuksilla (40-120 km/h) ja suurilla nopeuksilla (> 120 km/h) hallitsevana melulähteenä on rengasmelu/aerodynaaminen melu.

HILJA-projektissa melua on pyritty vähentämään vaikuttamalla päällysteeseen ja sitä kautta rengas-tie -kosketuksessa syntyvään meluun. Kokonaisuutena renkaan ja tienpinnan kosketus on erittäin monimutkainen tapahtuma. Tästä kosketuksesta aiheutuva melu koostuu seuraavista osatekijöistä (Nelson, Phillips 1997):

- törmäykset ja iskut
- aerodynaamiset ilmiöt
- adheesio ja mikroskooppiset efektit

Ensin mainittu komponentti syntyy pääosin renkaan kuvioinnin ja rakenteen värähtelyistä. Rakenteen värähtely sekä renkaan pyöriminen ja puristuminen tien pintaa vasten synnyttävät osaltaan ilman pyörteilyä renkaan ympärillä. Tästä ilman pyörteilyä ja liikkeistä renkaan ympärillä ja kuviourissa muodostuu toinen komponentti, jota edellä on nimetty aerodynaamisiksi ilmiöiksi. Adheesio ja mikroskooppiset efektit liittyvät kitkavoimiin ja kitkan murtumisesta aiheutuviin ääniin.



Kuva 1. Ilman liikkeiden ja rakenneperäisten värähtelyjen synnyttämä rengasmelu (Sandberg, Ejsmont 2002)

2.3 Meluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet

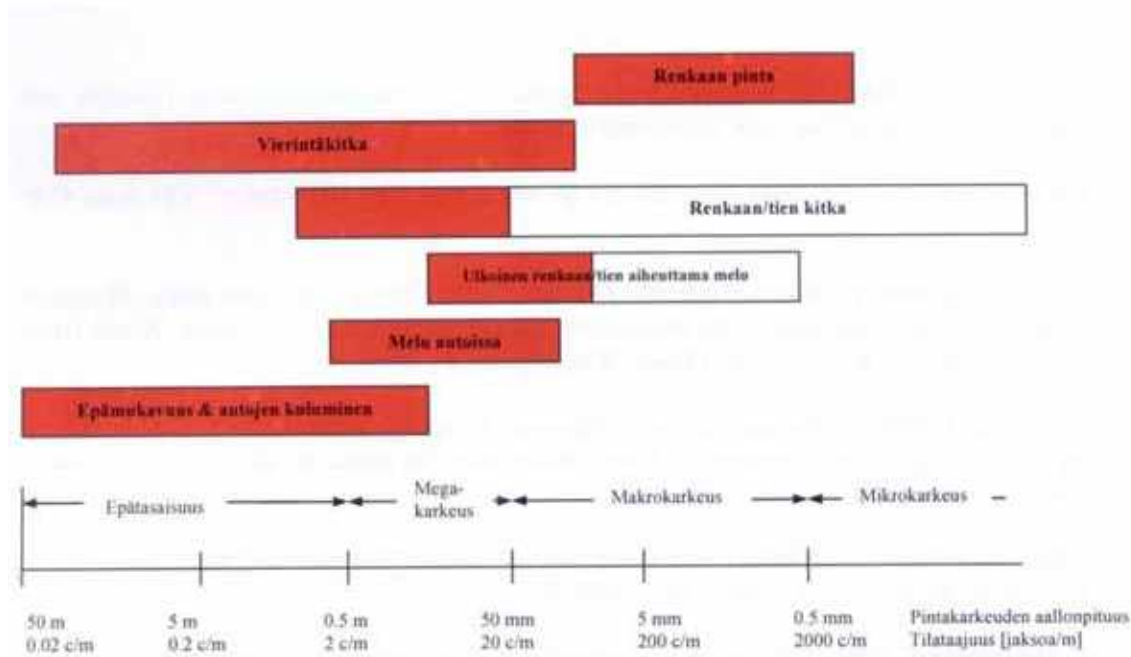
Merkittävimmät rengasmeluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet ovat päällysteen pintarakenne, huokoisuus ja huokoisen kerroksen paksuus. Myös rakenteen (pinnan) jäykkyys sekä renkaan ja tien pinnan adheesio vaikuttavat jonkin verran päällysteen meluominaisuuksiin. (Domenichi et al. 1999, Sandberg 1996).

Päällysteen pinnan karkeutta ja karkeuden aallonpituutta ja amplitudia ja näiden vaikutusta päällysteen meluominaisuuksiin on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Englannissa. Ruotsalaisen

tutkimuksen (Sandberg 1996) perusteella hiljaisten päällysteiden suunnittelussa ottaa huomioon seuraavat seikat:

Päällysteen <0,5 mm pituussuuntainen epätasaisuus (mikrorakenne) johtuu tyypillisesti kiviaineksen karkeudesta. Mikrorakenne on merkityksellinen päällysteen kitkan kannalta. (Päällysteen ja renkaan välinen kitka jaetaan hysterees- ja adheesiokomponenttiin, joista jälkimmäinen on riippuvainen päällysteen mikrokarakteerista). Päällysteen meluominaisuuksien kannalta renkaan ja tien pinnan välisen adheesion tulisi olla kuitenkin mahdollisimman pieni, jotta adheesiosidosten murtumisesta syntyvää ääntä voitaisiin vähentää. Edellä mainitusta syystä kiiltäviä, adheesiota korostavia pintoja tulisi välttää.

Päällysteen makrorakenteen (0,5-50 mm) osalta pinnan epätasaisuuksien amplitudin (epätasaisuuden syvyyden) tulisi olla mahdollisimman suuri aallonpituusalueella 0,5-8 mm (kevyet ajoneuvot) ja aallonpituusalueella 0,5-12 mm (raskaat ajoneuvot). Vastaavasti amplitudin tulisi olla mahdollisimman pieni aallonpituusalueella 10-50 mm (kevyet ajoneuvot) ja 16-50 mm (raskaat ajoneuvot). Edellä esitetystä seuraa, että meluominaisuuksien kannalta optimaalinen maksimiraekoko on 4-6 mm (<8 mm) kevyiden ajoneuvojen osalta ja 6-10 mm (<12 mm) raskaiden ajoneuvojen osalta.



Kuva 2. Tien pinnan aallonpituuden vaikutus tien käyttäjään ja ympäristöön (ISO/DIS 13473-1)

Käytetyn kiviaineksen tulisi olla teräväreunaista, kuutiomaista, heikosti kiillottuvaa ja muotonsa mahdollisimman hyvin säilyttävää. Erityisen tärkeää on synnyttää avoin pintarakenne.

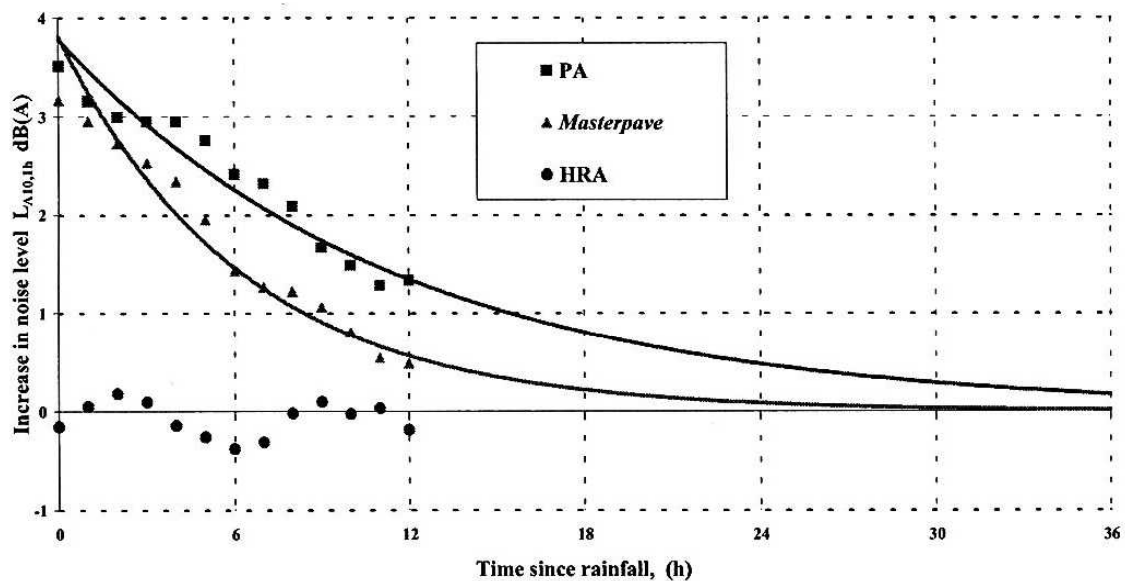
Sandbergin tutkimusten perusteella pintarakenteen jäykkyydellä on melua lisäävä vaikutus. Tämä selittäisi jäykkien betonipäällysteiden huonot meluominaisuudet. Samoin on perusteltavissa päällysteiden meluominaisuuksien heikentyminen päällysteen ikääntyessä, kun sideaine vanhenee ja rakenteen jäykkyys kasvaa. Muutoin sideainetyypin vaikutusta pidetään vähäisenä.

Edellä esitettyjen lisäksi oma sekundäärinen vaikutuksensa päällysteen meluominaisuuksiin on sen värillä. Tumma päällyste absorboi tehokkaasti auringon lämpösäteilyä. Tutkimusten perusteella päällystemelu riippuu päällysteen lämpötilasta keskimäärin gradientin -0,1 dB/ °C mukaisesti.

Toinen sekundäärisesti rengasmeluun (ja ajoneuvon synnyttämään kokonaismeluun) vaikuttava ominaisuus on päällysteen äänen absorptiokyky. On todettu, että yli 20 % tyhjätila tekee päällysteestä tehokkaasti ääntä absorboivan.

2.4 Kosteuden merkitys

Englantilaiset pohtivat kuinka pitkä aika tulisi kuluu sateen loppumisesta ennen SPB- melumittauksia. Samaa ajattelua voidaan soveltaa myös CPX-mittauksiin. Aiemmin uskottiin noin 12 tunnin riittävän. Englantilaiset havaitsivat, että huokoisten päällysteiden meluisuus nousi sateen johdosta noin 3,5 dB(A) ja SMA-päällysteiden noin 3,2 dB(A) (kuva 3). Sateen lakattua päällysteiden meluisuus väheni eksponentiaalisesti ajan kuluessa. Tavallisen AB-päällysteen meluisuus märkänä ei suurestikaan muuttunut kuivana saaduista tuloksista, koska päällyste kuivuu melko nopeasti esimerkiksi renkaiden vaikutuksesta. Huokoiset päällysteet kuivuvat pääasiassa haihtumalla, koska vesi säilyy huokosissa pinnan alapuolella. Vaikka SMA-päällyste ei ole huokoinen (tyhjätila alle 5%), sen rakenne edesauttaa kosteuden säilymistä suhteellisen syvissä ja kapeissa käytävissä kivirakeiden välissä. Autojen renkaat eivät poista tätäkään kosteutta. Tämän vuoksi kuivumistapahtuma on melko saman kaltainen kuin huukoilla päällysteillä. (Abbot, Phillips 2001)



Kuva 3. Meluisuuden väheneminen eri päällystetyypeillä sateen jälkeen (Abbot, Phillips 2001)

Päällysteen akustiset ominaisuudet palautuvat AB-päällysteellä siis 12 tunnissa, SMA-päällysteellä 24 tunnissa ja huukoilla päällysteillä noin 36 tunnin kuluttua.

2.5 Kokemukset Suomessa

Ensimmäinen koetie, jossa rengas-tie -kosketuksessa syntyvää melua mitattiin, rakennettiin vuonna 1981 Mäntsälään. Koetie sisälsi useita erilaisia päällystetyyppejä. Tässä yhteydessä mielenkiintoisin niistä oli vettä läpäiseväksi suhteitettu päällystetyyppi, joka vastasi nykyisten asfaltinormien avointa asfalttia AA 20. Vertailtaessa kyseistä päällystettä vertailupäällysteeseen AB 20 havaittiin ensiksi mainitun melutaso 1,0...2,4 dB pienemmäksi. Pienin, 1,0 desibelin vähennys

melutasoon saavutettiin 70 kilometrin tuntinopeudella moottori käyden. Vastaavasti suurin, 2,4 desibelin vähennys saavutettiin 100 kilometrin tuntinopeudella autolla, jonka moottori oli sammutettu. Lähteistä ei käy ilmi mikrofonin sijainti mittauksissa. Ilmeisesti mittausmenetelmänä on käytetty ns. Coast-by (CB)-menetelmää, jossa mikrofoni sijoitetaan 7,5 metrin etäisyydelle kaistan keskilinjasta 1,2 metrin korkeuteen tien pinnan tasoon nähden. Koepäällysteiden urautumista tutkittaessa havaittiin vettä läpäiseväksi suhteitetun urautuvan noin 20 % vertailupäällystettä enemmän. (Anila, Unhola 1992, Reihe 2000)

Vuonna 1983 tutkittiin sirotepintausten ja AB 25:n meluominaisuuksia ajoneuvon sisältä tehdyin mittauksin. Nopeuden ollessa 80 km/h sirotepintaukselta mitattiin 75,8 dB(A) melutaso. Vastaavalla nopeudella AB 25:n melutasoksi mitattiin 70,9 dB(A). AB 25 oli siis 4,9 dB(A) sirotepintausta hiljaisempi. (Anila, Unhola 1992)

Seuraava päällysteiden meluominaisuuksia selvittävä tutkimus toteutettiin ASTO:n (Asfaltti-päällysteiden tutkimusohjelma) työryhmän 5 toimeksiannosta vuosina 1990-1992. Koeteillä suoritetuista mittauksista kyseisessä tutkimuksessa vastasi VTT:n (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Päällysteen melutasoa tutkittiin soveltamalla yksittäisen ajoneuvon ohiajomittausta (CB-menetelmä). Menetelmässä ajoneuvo ohittaa mikrofonin, joka on sijoitettu kuten edellä on kuvailtu (7,5 m ja 1,2 m), moottori sammutettuna. Tässä tutkimuksessa moottoria ei sammutettu, vaan mikrofoni ohitettiin moottori suurimmalle vaihteelle kytkettynä. Mittausnopeuksina käytettiin 50, 70 ja 100 kilometriä tunnissa. Taulukossa 2 on esitetty kootusti valtateillä 3 ja 7 ja maantiellä 1182 sijainneiden koeosuuksien mitaustulosten keskiarvot: (Anila, Unhola 1992)

Taulukko 2. ASTO-koeteiden melumittaustulokset

Päällystetyyppi	Melutaso dB(A)		
	50 km/h	70 km/h	100 km/h
AB 20	72,8	76,8	81,5
ABE 20		78,0	81,7
SMA 8	70,4		
SMA 16	71,9	77,5	81,8
SMA 18		77,6	82,6
BETONIPÄÄLLYSTE		76,4	80,9

Työn jakautuminen useammalle vuodelle mahdollisti myös nastarenkaiden käytön vaikutuksen tutkimisen. Mittaustulosten perusteella yhden nastarengaskauden aiheuttama melulisäys oli nopeudella 70 km/h 1,7-2,2 dB(A) ja nopeudella 100 km/h 1,8 dB(A).

Espoon Pitkäjärventielle rakennettiin vuonna 1996 Kuntaliiton ja VTT:n yhteisprojektina koetie. Koetie koostui neljästä osuudesta; AA 18, Novachip, SMA 12 ja SMA 8. Päällysteiden melutasot mitattiin kaksi vuotta rakentamisen jälkeen. Meluntasonsa perusteella päällysteiden järjestys oli pienimmästä alkaen; SMA 8, Novachip, AA 18 ja SMA 12. Pienimmän ja suurimman tuloksen erotus oli 3,5 desibeliä. Lisäksi tutkittiin päällysteiden urautumista; AA 18 kului vähiten ja vastaavasti Novachip eniten. Kulumisen suhteen ero pienimmän ja suurimman välillä oli 2 mm vuodessa. (Reihe 2000)

Hiljaiset päällysteet ovat Suomessa melko uusi asia. Ensimmäiset kokeilut vuosina 1981, 1983, 1992 ja 1996 jäivät varsin vähälle huomiolle. Laajempi kiinnostus hiljaisiin päällysteisiin virisi vasta kansainvälisen TINO-projektin (Tire Noise, Brite Euram, BRPR 950121) myötä vuonna 1999. Vielä saman vuoden syksyllä rakennettiin Kehä III:lle Tielaitoksen hallinnon tie- ja lii-

kennetekniikan tilaamana kaksi osuutta käsittävä koetie. Arviot koepäällysteiden, SMA 5 ja TINO, huonosta nastarengaskestävydestä osoittautuivat todeksi ja osuudet olivat ensimmäisen talven jälkeen kuluneet jo lähes puhki. (Valtonen et al. 2000)

Kehä III:n SMA 5 - ja TINO-päällysteiden myötä heräsi kiinnostus tutkia laajemmin näiden päällysteiden kulutuskestävyyttä. Niinpä talven 1999-2000 aikana toteutettiin laaja SRK-kokeiden sarja. Tulokset osoittivat edellä mainittujen massojen kulumisen SRK-kokeessa olevan 2...3 -kertaa SMA 16 -päällystettä suurempaa. Lisäksi tuloksista voitiin havaita TINO-päällysteen osana käytetyn lecasoran lisäävän kulumista merkittävästi. Huolimatta suuresta kulumisesta niin Kehä III:lla kuin SRK-kokeessa usko SMA 5 -päällysteeseen säilyi ja niinpä siitä tuli eräänlainen hiljaisten päällysteiden perustyyppi. Lecasoran käyttö osana kiviainesta jäi huonon kulutuskestävyyden vuoksi tähän ensimmäiseen kokeiluun. Kaiken kaikkiaan tulokset osoittivat varsin selvästi jo ennakkoon tiedostetun ongelman hiljaisten päällysteiden suuren kulumisnopeuden suhteen. Toisaalta uusilta SMA 5- ja TINO-päällysteiltä mitatut rengasmelut olivat noin 8 dB(A) ja vielä vuoden ikäisiltäkin 5 dB(A) tavanomaista massaa alhaisemmat. Vuoden ikäisten päällysteiden mittauksiin on kuitenkin voimakkaan kulumisen vuoksi syytä suhtautua varauksella. Joka tapauksessa mitatut rengasmelut olivat erittäin alhaisia. Viimeistään tässä vaiheessa oli selvää, että hiljaisten päällysteiden kohdalla kyse on optimoinnista kulumis- ja meluominaisuuksien suhteen. Usko hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksien paranemiseen oli kuitenkin olemassa. (Komulainen et al. 2002, Valtonen et al. 2000)

Rengasmelu on kuitenkin vain osa tieliikenteen aiheuttamaa melua. Heräsi kysymys siitä kuinka paljon selvästi matalampi rengasmelutaso vaikuttaa tien vierialueiden melutasoon. Niinpä vuosina 2000 ja 2001 toteutettiin Tiehallinnon tie- ja liikennetekniikan tilaamana laaja melumittausten sarja, jossa tieliikenteen ekvivalenttimelutasoa mitattiin 10 ja 30 metrin etäisyydellä tiestä. Tulokset osoittivat uuden hiljaisen päällysteen olevan 10 ja 30 metrin etäisyydellä selvästi (3...4 dB(A)) niin vanhaa asfalttibetonia kuin uutta SMA 16 -päällystettäkkin hiljaisempi. Nastarenkaiden käytön todettiin nostavan melutasoja noin 4 desibeliä. Lisäksi todettiin nastarenkaiden aiheuttaman kulumisen lisäävän melutasoja noin 2 desibeliä. Viimeksi mainittu onkin noussut myöhemmässä vaiheessa keskeiseksi hiljaisten päällysteiden ongelmaksi. Jo yhden talven nastarengaskulumisen vaikuttaa varsin voimakkaasti päällysteen meluominaisuuksiin. (Promethor Oy 2000-2001)

Päällysteiden meluominaisuuksien ohella myös kulumisominaisuuksien tutkimista jatkettiin Tiehallinnon tie- ja liikennetekniikan tilauksesta. Kehä I:lle ja Korson Kulomäntielle rakennetut koeosuudet osoittivat SMA 5 -päällysteen kulumisnopeuden olevan noin 6-kertainen SMA 11 -päällysteeseen verrattuna ja noin 10-kertainen SMA 16 -päällysteeseen verrattuna. Saadut tulokset päättyivät niin Tiehallinnon internet-sivuille kuin Helsingin sanomiinkin. Kirjoitusten johdosta hiljaisten päällysteiden sopivuutta Suomen oloihin ruvettiin epäilemään. Toisaalta Kehä I:n erittäin suuret liikennemäärät antoivat uskoa parempienkin tulosten saavuttamiselle, sillä kyseisillä liikennemäärillä saatiin kulumisen näkyviin nopeasti. Alemmilla liikennemäärillä, eli hiljaisille päällysteille paremmin sopivissa kohteissa, kyseinen päällyste olisi kestänyt paremmin. Sopivassa kohteessa onnistuneesti toteutettu hiljainen päällyste tulisi menestymään selvästi nyt todettua paremmin. Tarvittaisiin vain tuotekehitystyötä ja uusia koekohteita asian perusteelliseen selvittämiseen. (Hyypä, Valtonen 2001)

2.6 Kokemukset ulkomailla

Hiljaisia päällysteitä on käytetty ja kehitelty useissa maissa. Seuraavassa esitetään hyvin lyhyesti kokemuksia muista maista. Ulkomailta saatuja kokemuksia ei voida suoraan hyödyntää Suomessa, koska esimerkiksi päällysteissä käytettävä kiviaines on aina kotimaista. Lisäksi olosuhteet vaihtelevat eri maissa. Suomessa teitä suolataan nestemäisellä suolalla, joka voi aiheuttaa on-

gelmia huokoisten päällysteiden kanssa. Lisäksi teiden talvikunnossapito, routa sekä kitka- ja nastarenkaiden käyttö asettavat vaatimuksia päällysteiden kulumiskestävyydelle.

Ruotsissa kokeiltiin vuonna 1995 kahdella koetiellä Duradrain ja Duradrain 16 -nimisiä huokoisia päällysteitä. Koeteistä toisella oli suuri nopeusrajoitus ja toisella alhainen. Melun aleneminen oli alhaisilla nopeuksilla noin 3,6 dB(A) ja suurilla nopeuksilla 5,2 dB(A) referenssipäällysteeseen verrattuna. (Sandberg 1997)

Tanskassa seurattiin seitsemän vuoden ajan kahta koetietä. Toinen tie oli yleinen tie, jonka nopeusrajoitus oli 80 km/h ja toinen tie sijaitsi kaupunkialueella nopeusrajoituksen ollessa 50 km/h. Päällysteiden melut mitattiin SPB- menetelmällä. Tutkitut päällysteet olivat AA 8 (huokoisuus 18-22 %), AA 8 (huokoisuus >22 %), AA 12 (huokoisuus >22 %), AB 12 ref ja AAB 12.

Yleisellä tiellä (80 km/h) havaittiin, että referenssipäällysteen meluisuus kasvoi asteittain kahdella desibelillä ensimmäisten 2-4 vuoden aikana. Kaikkien muidenkin päällysteiden meluisuus kasvoi saman tendenssin mukaisesti. Kaikki avoimet päällysteet vähensivät uusina meluisuutta 3-4 dB(A). Huokoisista päällysteistä suurin melun aleneminen saatiin päällysteellä, jossa oli pienin maksimiraekoko (8mm) ja suurin huokoisuus (yli 22%) heti rakentamisen jälkeen. Yhden ja neljän vuoden välillä melu vaimeni 4 dB(A) ja viiden ja kuuden vuoden välillä 3 dB(A). Päällyste säilytti huokoisuutensa hyvin vuosien kuluessa. Seitsemän vuoden jälkeen myös tämän päällysteen melua vähentävät ominaisuudet olivat vähentyneet lähelle nolaa päällysteen kärkeutuessa. Avoin asfalttibetoni oli koko tutkimusperiodin ajan noin 1 dB(A) meluisampi kuin vertailupäällyste.

Kaupunkialueella (50 km/h) avoimet päällysteet vähensivät uutena melua noin 3 dB(A). Kahden vuoden jälkeen melun vaimentamisominaisuudet oli menetetty ja huokoisuus oli kadonnut. (Bendtsen, Larsen 2001)

Norjassa kokeiltiin vuosina 1989-1992 erilaisia vettä läpäiseviä asfalteja. Melun lisäksi kokeilun yhteydessä tarkasteltiin muita päällysteteknisiä ominaisuuksia: Kokeilussa oli mukana useita eri koeteitä ja asfalttityyppejä. Asfalttityyppejä olivat tavalliset vettä läpäisevät asfaltit (DA 11-DA 16), melun kannalta optimoidut vettä läpäisevät asfaltit (DA 11-DA 16), 2- kerroksiset rakenteet ja elastinen osin kumimurskeesta valmistettu asfaltti.

Melumittaukset tehtiin sekä tilastollisella ohiajomenetelmällä (SPB) sekä rullausmenetelmällä (CB). Edellisellä mitattiin liikennemelua ja jälkimmäisellä rengasmelua. Lisäksi laboratorioolosuhteissa tarkasteltiin tarkemmin eri taajuusalueiden melutasoja.

Kaikkien asfalttityyppien melu pieneni eniten korkeilla taajuuksilla. Rullauskokeella todistettiin melun yhteys tyhjätilaan: mitä suurempi tyhjätila sen hiljaisempi päällyste. Parhaat vettä läpäisevät asfaltit vähensivät rullausmelua noin 5,5 dB(A) ja kumiasfaltti 7-9 dB(A). Melun kannalta paras tyhjätilan suuruus näytti olevan 22-24%. Suuremmilla tyhjätiloilla ei saavutettu enää merkittävää melun lisävähentymistä. Kulutuskestävyys osoittautui vettä läpäisevillä asfalteilla huonommaksi kuin tiiviillä asfalteilla. (Lågbullerbeläggningar- ett nordiskt samarbetsprojekt under NKFT)

Twinlay-päällyste tyyppi esiteltiin Eurobitumen konferenssissa 1996 Strasbourgissa. Hollannissa useita teitä on päällystetty tällä päällystetyypillä. Vuosina 1997-2000 tehdyissä tutkimuksissa Twinlay-päällysteellä (Twinlay 4/8-11/16) on saavutettu jopa 6 dB(A) melun alenemia 100-120 km/h nopeuksissa verrattaessa tiiviiseen asfalttibetoniin. Twinlay M-päällysteellä on saavutettu selvää melun alenemista jopa 40 km/h nopeuksilla. Verrattaessa tiiviiseen asfalttibetoniin 50 km/h nopeudessa saavutettiin jopa 6 dB(A) aleneminen.

Twinlay-päällyste toimii muita huokoisia päällysteitä paremmin alhaisissa nopeuksissa. Tavallisissa huokoisissa asfalteissa on karkea pintarakenne, jolloin syntyy enemmän rengasmelua. Samaa aikaan huokoinen rakenne imee sekä vierintä- että moottorimelua. Päällystettä voidaan siis pitää hiljaisena suurissa nopeuksissa. Twinlay-päällysteen pintakerros on sileä, joten se tuot-

taa vähemmän vierintämelua. Myös päällysteen absorptio-ominaisuudet ovat hyvät koska päällystekerros on paksu. Tämä mahdollistaa melun alenemisen jo 50 km/h nopeuksissa. (Van Bochoven)

Isossa-Britanniassa on kokeiltu useita hiljaisia päällysteitä. (Thin and Quiet? An update on quiet road surface products; Highway & Transportation January/February 2000). Seuraavassa esimerkkejä:

- Ultra Thin Hot Mixture Asphalt Layer (UTHMAL), jonka melun aleneminen on noin 2 dB(A).
- Ohut polymeerimodifioitu AB, jota kutsutaan myös nimellä Very Thin Surfacing Layer (VTSL).
- Hybridi-versiot molemmista edellisistä. Tuotteen melun aleneminen on noin 2-5 dB(A)
- SMA-päällysteellä saavutettiin noin 3-4 dB(A) melun aleneminen

Ranskassa on kokeiltu ainakin seuraavia hiljaisia päällysteitä:

- Colsoft on erittäin ohut bituminen asfaltti. Päällysteen rakeisena aineena on käytetty auton renkaista saatavaa kumia. Lisäksi päällysteen matan pinnan uskotaan vähentävän melua. Colsoft on hyvin ohut asfalttobetoni, jonka kerrospaksuus on ainoastaan 25-35 mm. Valittu epäjatkuva rakeisuus mahdollistaa pienien kumirakeiden lisäämisen massaan. Päällysteellä on saavutettu 8 dB(A) melun aleneminen. Päällyste vähentää erityisesti renkaan värähtelyä ja resonanssia. Päällyste on yhtä tehokas kuin parhaat huokoiset päällysteet, mutta koska se ei ole huokoinen ei se myöskään tukeudu ja menetä ominaisuuksiaan. Päällyste voidaan valmistaa ja levittää perinteisillä koneilla. Myös Englannissa on kokeiltu Colsoft-päällystettä vuodesta 1998 ja sillä on saavutettu hyviä tuloksia. Melua on saatu alenemaan noin 7 dB(A).
- Citychape-päällysteessä on käytetty jauhattua kalkkikivi-silikaattimateriaalia, puhdasta bitumia ja kierrätettyä kumia. Nämä on yhdistetty absorboivalla katalysaattorilla. Tätä päällystetyyppiä käytetään myös värähtelyjä estävänä kerroksena. (Asphalt paves a quieter street- Porous asphalt courses prove a soundtrap for French streets. The Asphalt Contractor, March 2000)

Italiassa on tutkittu kaksikerroksista huokoista päällystettä (DDL = Double Draining Layer). SPB-menetelmällä rakenteella saatiin aikaan noin 5 desibelin melun aleneminen verrattaessa vanhaan yksikerroksiseen huokoiseen päällysteeseen ja 3,3 desibelin aleneminen verrattaessa uuteen yksikerroksiseen huokoiseen päällysteeseen. (Lancieri F et al. 2000)

3 MITTAUSMENETELMÄT

3.1 Yleistä

Projektin alkuvaiheessa kartoitettiin käyttökelpoiset vaihtoehtoiset menetelmät päällysteen paikasta riippumattoman meluominaisuuden mittaamiseksi. Tavoitteena oli löytää ainakin kaksi vaihtoehtoista menetelmää, joita voitaisiin testata sellaisinaan tai sovellettuina päällysteen meluominaisuuden mittaamiseen. Harkittavina olivat taulukossa 3 esitetyt menetelmät.

Taulukko 3. Menetelmät, jotka olivat pohjätietoina, kun suunniteltiin Hilja-projektissa testattuja päällysteen paikasta riippumattoman meluominaisuuden mittaamenetelmiä (lähde: Anttila, Osmo; Ajoneuvon, renkaan ja tienpinnan melun mittaamenetelmät, Tiehallinto/Htl)

MENETELMÄ	Menetelmän periaate	Soveltuvuus	Standardi tai vast.
<i>Coast-by CB rullausmenetelmä</i>	Ajoneuvo, jonka moottori on sammutettu, ohittaa tien viereen sijoitetun mikrofonin. Testinopeus voi vaihdella. Tavallisesti maksimiäänä mitataan ja regressiosuorasta määritetään referenssiäänenvoimakkuudet; 80 km/h kevyille ja 70 km/h raskaille ajoneuvoille.	Renkaiden tyyppi-testaus, yleistes-taus, yksityiskohtainen tutkiminen Päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen	ISO/CD 13325 EU direktiiviehdotus ECE säännösluonnos
<i>Controlled Pass-by CPB kontrolloitu ohiajo</i>	Kaksi valittua ajoneuvoa (kevyt ja raskas) varustettuina määritellyillä renkailla (2 sarjaa per ajoneuvo) ohittaa tien viereen sijoitetun mikrofonin moottorit päällä. Maksimiäänenvoimakkuus mitataan. Lasketaan keskimääräinen arvo tietylle nopeudelle.	Päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen	Ranskalainen standardi S 31 119 Saksalainen standardi GestrO'92
<i>Statistical Pass-by SPB tilastollinen ohiajo</i>	Normaalit liikenteessä olevat ajoneuvot, joita muut eivät läheisyydellään häiritse, ohittavat tien viereen sijoitetun mikrofonin. Ajoneuvon tyyppi, nopeus ja maksimimelutaso tallennetaan. Normalisoitu äänentaso nopeuksille 50, 80 ja 110 km/h lasketaan regression avulla. Havainnot yli 100 kevyestä ja yli 80 raskaasta ajoneuvosta.	Tien pintojen tyyppi-testaus Päällysteiden yleinen tutkiminen	ISO 11819-1 CEN/TC 227 WI 116/1
<i>Close-Proximity CPX lähimittaus</i>	Testirengas on sijoitettu perävaunuun tai ajoneuvon pyöräksi. Mikrofonit on sijoitettu renkaan lähelle. Keskimääräinen äänentaso mitataan. Referenssinopeudet ovat 50, 80 ja 110 km/h.	Renkaiden ja päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen	ISO 11819-2 CEN/TC 227 WI 116/2
<i>Trailer Coast-by TCB trailerirullaus</i>	Kuorma- tai pakettiauto hinaa kaksipyöräisen perävaunun testialueen yli. Pitkä hinauspuomi yhdistää vaunun ja vetoauton. Testiakselin maksimiohitusmelu mitataan korjattuna vetoauton aiheuttamalla melulla.	Renkaiden yleinen ja yksityiskohtainen tutkiminen	ISO/CD 13325, ref 5
<i>Laboratory Drum DR</i>	Testirengas pyörii lieriön sisällä laboratoriossa. Mikrofonit on/ovat renkaan lähellä. Keskimääräinen äänenvoimakkuus mitataan. Lieriö pinnoitetaan vastaamaan tien pintaa. Lämpötila ja pinta ovat vakiot.	Renkaiden yleinen ja yksityiskohtainen tutkiminen	ECE/WP29/GRB, doc R.100

Soveltuvuuden ja kustannusten perusteella päätettiin kokeilla Statistical Pass-By (SPB) - ja Close Proximity (CPX) -menetelmiä. Menetelmiä ei otettu käyttöön standardin tai standardiluonnoksen mukaisina, vaan niitä pyrittiin muokkaamaan standardimenetelmää paremmin Suomeen soveltuviksi. Jatkossa menetelmiä on kutsuttu SPB- ja CPX-menetelmiksi standardeista poikkeamisista huolimatta.

Myöhemmin vuonna 2002 päätettiin tehdä melumittauksia myös Cost-by (CB) -menetelmällä sekä auton sisätilan meluun perustuvalla menetelmällä.

Melun leviämiskoetien (Kokkola) ekvivalenttimelutason mittaukset on suunnitellut ja toteuttanut Suomen Akustiikkakeskus.

Helsingin Sturenkadulla tehdyt ekvivalenttimelutason mittaukset on suunnitellut Teknillisen korkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratorio. Toteutuksesta vastasivat Teknillisen korkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratorio ja Tielaboratorio.

3.2 Sovelletut CPX- ja SPB-menetelmät

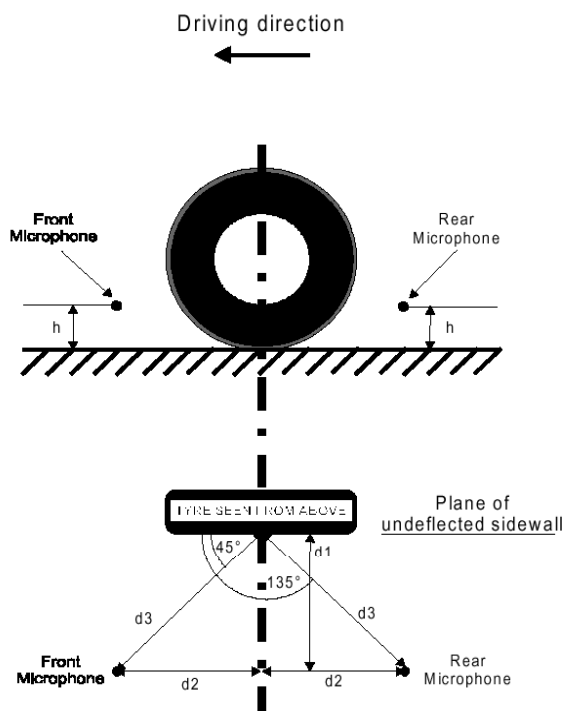
3.2.1 CPX-menetelmä

Vaunumittausmenetelmän mukaiset melunmittaukset on tehty Teknillisen korkeakoulun Autolaboratoriossa valmistetulla ISO:n standardiluonnoksen (Second ISO/CD 11819-2 "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close proximity method" eli CPX) mukaisella melunmittausperävaunulla (NOTRA[®]).

Menetelmän mukaisesti perävaunussa on mittarengas ja sen lähelle sijoitetut kaksi mikrofoonia, jotka mittaavat keskimääräistä A-painotettua äänenpainetasoa. Mittaus tapahtuu renkaan ja päällysteen kosketuspinnan välittömässä läheisyydessä äänieristetyyn kuomun alla, mikä poistaa mittauksesta kaikki ulkopuoliset häiriöt. Mittarengas kulki mittauksissa ajouran kohdalla.

Mittarenkaana käytettiin kuvioimatonta ASTM E524 -rengasta. Rengaspaine oli kylmänä mitattuna 1,9 baaria ja rengaskuorma oli 3900 N. Standardiluonnoksessa suositellaan neljän erilaisen mittarenkaan käyttämistä mutta yhden renkaan käyttäminen yksinkertaistaa ja nopeuttaa mittausta huomattavasti.

Nyt tehdyissä mittauksissa ei laskettu standardiluonnoksen tapaan CPX-indeksiä vaan pintojen ominaisuuksia verrattiin mitattuja keskimääräisiä (A-suodatettuja) äänenpainetasoja (L(A)eq) vertaamalla.



Kuva 4. Teknillisen korkeakoulun Autotekniikan laboratorion NOTRA-melumittausvaunun toimintaperiaate

Maailmassa on noin parikymmentä tunnettua melunmittausperävaunua tai vastaavaa kokonaisuutta.

CPX-menetelmän tulokset lämpötilakorjataan, koska mittauksia joudutaan tekemään eri lämpötiloissa esimerkiksi aikaisin keväällä. CPX-menetelmässä mittaustapahtuma on nopea ja mitattavat osuudet sijaitsevat maantieteellisesti lähellä toisiaan. Tällöin ilman lämpötilan edustaa stabiilimpaa suuretta kuin tienpinnan lämpötila, Korjauskertoimeksi valittiin 0,08, jota on käytetty aiemmin vuosina 1996-1999 tehdyissä TINO-projektin mittauksissa.

$$\text{CPX: } L = L_m + 0,08\Delta T, \text{ jossa}$$

L = korjattu melutaso

L_m = mitattumelutaso

ΔT = erotus mitatun ilman lämpötilaan ja referenssilämpötilan 20 °C välillä

3.2.2 SPB-menetelmä

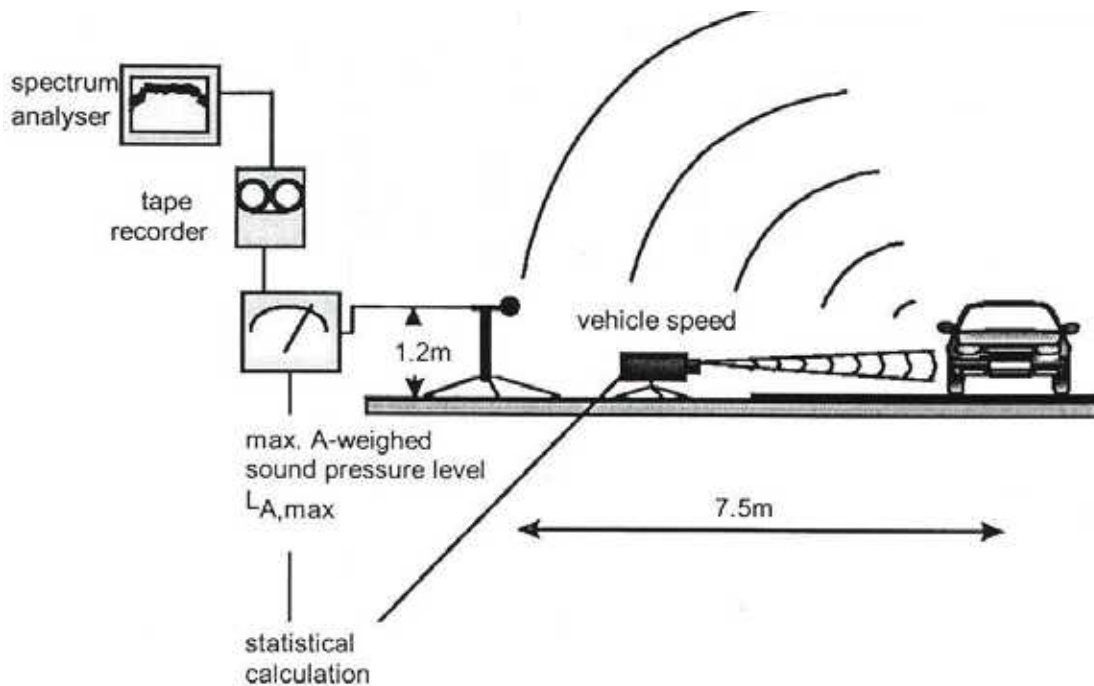
Tilastollinen ohiajomenetelmä SPB (Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method (ISO 11819-1:1997) perustuu Apainotettujen maksimimelutasojen mittaukseen tilastollisesti merkittävästä määrästä yksittäisten autojen ohiajoja. Standardin mukaan mitataan normaalissa liikenteessä olevia ajoneuvoja, joista valitaan ne, joita muut eivät häiritse. Ajoneuvon tyyppi, nopeus ja maksimimelu kirjataan ylös. Normalisoitu äänenpainetaso nopeuksille 50, 80 ja 110 km/h lasketaan regression avulla. Havaintoja kirjataan yli 100 henkilöautosta ja yli 80 raskaasta ajoneuvosta.

Mittauspaikalla tienpinnan tulee olla melko tasainen (kallistus <1%) ja suora 30 metriä mikrofonista kumpaankin suuntaan. Suurilla nopeuksilla tarvitaan suoraa tieosaa 50 metriä kumpaankin suuntaan. Mikrofonit sijoitetaan 7,5 metrin päähän mitattavan kaistan keskikohdasta

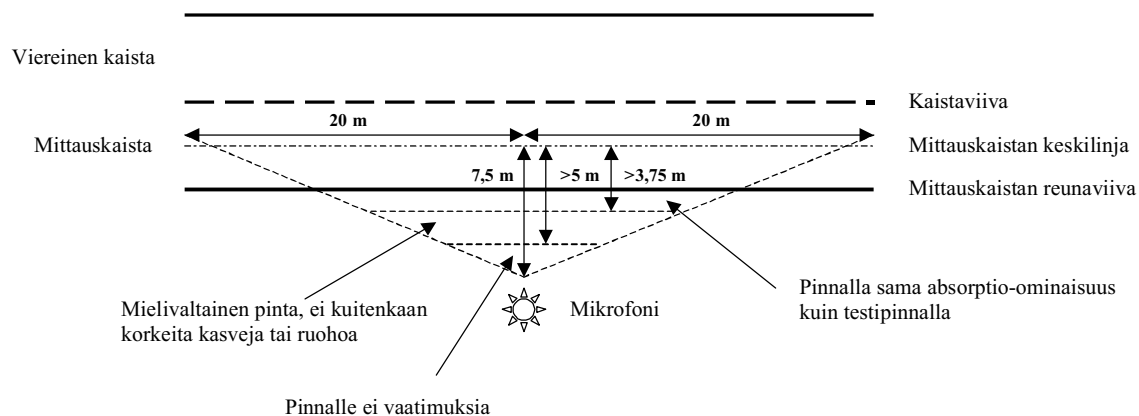
1,2 metrin korkeuteen. Kaistan keskikohdasta mitattuna yli 3,75 metriä tulee olla päällystettyä ja seuraavat 3,75 metriä esimerkiksi matalaa ruohikkoa.

Käytännössä standardin mukainen mittaussuunnitelma osoittautui mahdottomaksi. Raskaita ajoneuvoja ei saatu kohtuullisessa ajassa mitattua riittävästi. Tämän takia menetelmää sovellettiin poistamalla raskaat ajoneuvot kokonaan otoksesta. Päällysteitä vertailtiin siis vertailemalla 100 henkilöauton otoksesta normalisoituja $L(A)_{max}$ -melutasoja. SPB-indeksiä ei siis laskettu. Standardin mukaan normalisointinopeuksina tulisi käyttää 50, 80 ja 110 km/h. Virkkalan koetien epäonnistuksessa ei SPB-tuloksia saatu 80 km/h -koetieltä. Kirkkonummen 100 km/h -koetiellä oli vain kaksi osuutta, joten näistä ei voitu tehdä riittäviä tilastollisia pääteelmiä. Tämän vuoksi mittaus tuloksia saatiin ainoastaan alhaisimmasta nopeusluokasta. Tässäkin nopeusluokassa ei normalisointinopeutena voitu käyttää 50 km/h, koska normalisointinopeuden pitää olla seuraavalla alueella: $1,5^*$ mitattujen nopeuksien keskiarvon keskihajonta. Koe kohteiden nopeusrajoitus oli pääosin 60 km/h, joten myös normalisointi jouduttiin tekemään tähän nopeuteen, jotta edellinen sääntö olisi täyttynyt.

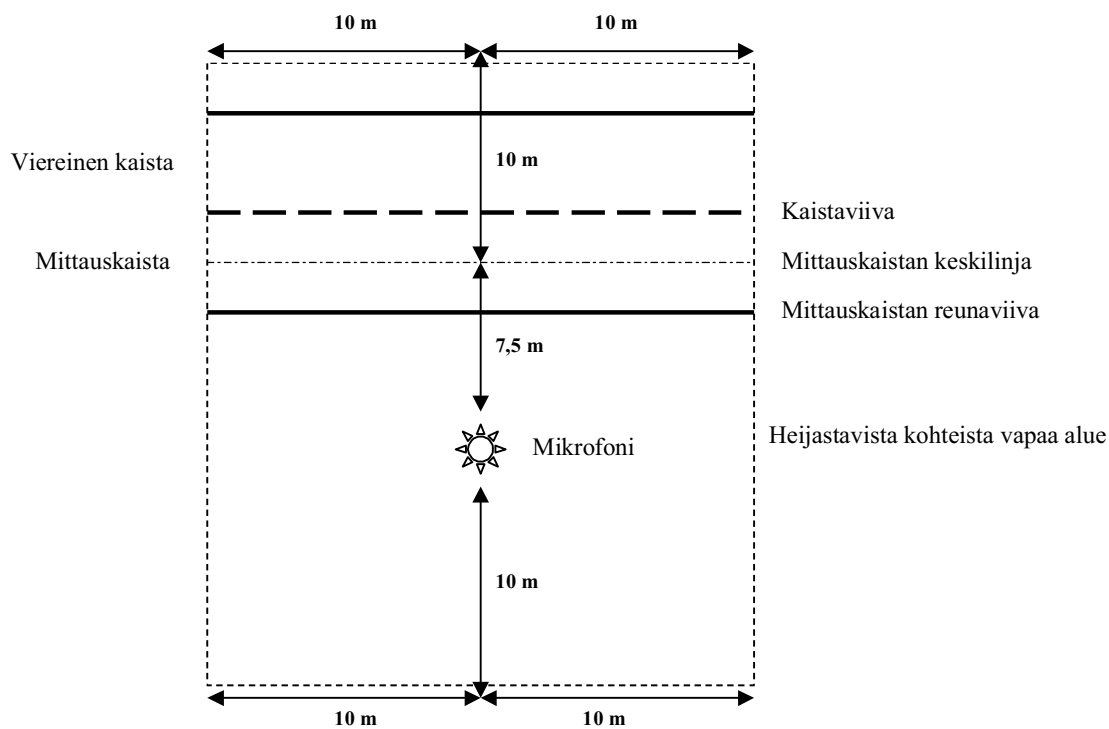
Lisäksi tingittiin maanpinnan vaatimuksesta, jossa kaistan keskikohdasta mikrofonin päin tulisi 3,75 m olla samaa päällystettä kuin kaista. Tähän päädyttiin pitkälti kokeiden luonteen vuoksi. Lyhyet koeosuudet sijoitettiin peräkkäin koetielle, jolloin mittauspaikalle asetettuja vaatimuksia ei voitu aina täyttää.



Kuva 5. Tilastollisen ohiajomenetelmän periaate



Kuva 6. Tilastollisen ohiajomenetelmän mittauspintavaatimukset



Kuva 7. Tilastollisen ohiajomenetelmän vaatimukset heijastuksista vapaalle alueelle

SPB-menetelmän tulokset lämpötilakorjataan, koska mittauksia on tehty myös aikaisin keväällä. Standardissa suositellaan korjaus tehtäväksi, mutta ei mainita menetelmää, jolla se tulisi tehdä. Lämpötilakorjaukseksi valittiin Coast By (CB) ISO/DIS 13325 -standardiluonnoksessa esitetty menetelmä, koska se on ainut, joka on esitetty edes standardiluonnoksen veroisessa dokumentissa. Lämpötilakorjauksen muodosta on paljon erimielisyyttä.

SPB: $L=L_m+K\Delta T$, jossa

L = korjattu melutaso

L_m = mitattumelutaso

K = -0,03, jos tiepinnan lämpötila >20 °C

- K = -0,06, jos tienpinnan lämpötila <20 °C
 ΔT = erotus referenssilämpötilan 20 °C ja mitatun tienpinnan lämpötilan välillä

3.2.3 CPX- ja SPB-menetelmien vertailu

Näiden kahden menetelmän välillä on joukko systemaattisia eroja:

- eri määrä renkaita (4/1) tuottaa mitattavan melun
- melunlähteen ja mikrofonin etäisyys on eri
- mikrofonien lukumäärä on eri (1/2)
- mikrofonin suunta suhteessa melun lähteeseen on eri
- SPB-menetelmässä mitataan maksimimelua ja CPX-menetelmässä keskimääräistä melutasoa.

Taulukko 4. SPB- ja CPX-menetelmien vertailu

SPB (ilman raskaita ajoneuvoja)	CPX (sileällä mittarenkaalla)
<ul style="list-style-type: none"> • Mittaustulos edustaa todellista ajoneuvon tuottamaa kokonaismelua (rengas- ja moottorimelu sekä ilmanvastuksen aiheuttama melu) • Ottaa huomioon ajoneuvokannan ominaisuudet (voivat vaihdella eri maissa ja jopa maan sisällä) ja niiden vaihtelun ajan kuluessa. Antaa todellisen melun päällysteen todellisessa käyttöympäristössä. • Ottaa huomioon avoimien päällysteiden ajoneuvojen kokonaismelua vaimentavan vaikutuksen • Mittaa päällysteen ominaisuuksia vain yhdessä kohdassa • Aikaa vievä mittausmenetelmä • Asettaa tiukkoja vaatimuksia mittauspaikalle • Menetelmästä on olemassa standardi 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittaa vain rengasmelua • Edustaa absoluuttista arvoa, joka ei ota huomioon todellisen ajoneuvokannan ominaisuuksia ja niiden muutoksia (esim. autokannan ikä, kunto, rengasvalinnat) • Ei ota huomioon sitä, paljonko avoin päällyste vaimentaa ajoneuvon muita melulähteitä • Mahdollistaa pitkän osuuden tutkimisen ja päällysteen homogeenisuuden varmistamisen • Nopea mittausmenetelmä • Mittaus mahdollinen melkein missä tahansa • Menetelmästä standardiluonnos

Seuraavassa taulukossa on lueteltuna näiden kahden mittausmenetelmän laitteistovaatimukset sekä vertailtu niiden hintaa ja suorittamista.

Taulukko 5. SPB- ja CPX-menetelmien laitteistovaatimukset, mittausten hinta ja kontrollimittauksen tekeminen

	SPB	CPX
Laitteisto	<ul style="list-style-type: none"> - laserportit tai tutka - Ilman lämpömittari - Pintalämpömittari tielle - Tuulen nopeusmittari - Melumittari - Tietokone - Ohjelmisto 	- NOTRA-melumittausperävaunu tai muu vastaava mittausvaunu.
Laitteiston hinta ja saatavuus	Laitteisto on kenen tahansa hankittavissa. Laitteistoa on myös kaupallisesti saatavilla. Hinta on suuruusluokaltaan noin 50 000 euroa	Laitteiston hinta ilman vetoautoa on noin 50 000 euroa. Laitteistoa ei ole kaupallisesti myytävänä mutta sen tuotestus on käynnissä. Tulevaisuus on vielä epävarmaa. Tällä hetkellä valmis laitteisto ohjelmistoinen on Suomessa ainoastaan TKK:n autolaboratoriolla.
Mittaushenkilöstö	Mittaukset vaativat yhden henkilön. Mittauksen tekeminen ei vaadi pitkää perehdyttämistä laitteistoon tai sen käyttöön. Mittaushenkilöstön kokemuksella on vain vähäinen vaikutus tulosten luotettavuuteen. Tulosten laskeminen vaatii perehdyttämistä ja ymmärrystä menetelmästä ja tulosten "oikeasta" suuruusluokasta	Mittaukset vaativat yhden henkilön. Mittauksen tekeminen vaatii kokenutta mittaushenkilöstöä. Mittaushenkilöstön kokemus vaikuttaa hieman tulosten luotettavuuteen. Tulosten laskeminen vaatii perehdyttämistä ja ymmärrystä menetelmästä ja tulosten "oikeasta" suuruusluokasta
Mittausaika	Yhden mittauksen tekeminen vie yhdeltä henkilöltä laitteiden pystytyksineen noin 2-3 tuntia. Mittaustulosten käsittely ja raportointi vie noin tunnin.	Yhden mittauksen tekeminen vie paikalle saavuttuna kahdelta henkilöltä noin 10 minuuttia. Mittaustulosten käsittely ja raportointi vie noin tunnin.
Yhden mittauksen hinta	Arviolta noin 500 euroa (alv 0%) (sisältää kaksi mittausta). Lisäksi ajoneuvon kilometrikorvaukset ja muut korvaukset (päiväraha ja mahdollinen majoituskorvaus).	Mittauksen hinta paikan päällä on arviolta noin 500 euroa (alv 0%). Lisäksi ajoneuvon kilometrikorvaukset ja muut korvaukset (päiväraha ja mahdollinen majoituskorvaus). Jos samassa paikassa halutaan lisämittauksia, yhden hinta on 100 euroa (alv 0%).
Mittausten määrä	Mittauksia tehdään kaksi yhtä urakkaa kohden. Pienissä urakoissa mittaukset tehdään samasta paikasta. Näistä tulokista lasketaan keskiarvo, joka kuvaa päällysteen hiljaisuutta. Mittaustulokset saavat poiketa toisistaan 1 dB. Jos poikkeama on suurempi, mitataan samat paikat uudelleen mittausvirheen poissulkemiseksi Mittauspaikan valitsee mitaaja.	Mittauksia tehdään yksi yhtä päällysteurakkaa kohden. Jos tilaaja haluaa varmistaa isoissa urakoissa päällysteen homogeenisuuden, voidaan tehdä tarvittaessa lisämittauksia. Mittauspaikan valitsee mitaaja.

3.3 CB- ja sisätilamittaukset

3.3.1 CB-menetelmä

Standardi luonnoksessa, ISO/DIS 13325 (Tyres–Coast-by-method for measurement of tyre/road sound emission), kuvataan miten yhden auton ohiajomittaus tehdään. Menetelmä on kuitenkin kehitetty lähinnä erillisellä testiradalla tehtäväksi, joten sitä ei ole voitu sellaisenaan soveltaa, koska mittaukset on tehty yleisellä tiellä ja liikenteen seassa.

Standardin mukaisesti melumittari sijoitettiin 7,5 metrin etäisyydelle mitattavan kaistan keskilinjasta ja 1,2 metrin korkeuteen. Mittaus tehdään A-painotettuna, fast-aikavakiolla. Mitattava suure on maksimimelu $L(A)_{max}$.

Standardin mukaan mittausnopeuksien tulisi olla 70-90 km/h, normalisointinopeuden ollessa 80 km/h. Tästä vaatimuksesta jouduttiin myös luopumaan, koska haluttiin, että samaa mittausnopeutta voitaisiin käyttää kaikissa kohteissa eli myös niissä, joissa nopeusrajoitus on 50 km/h. Normalisointinopeudeksi valittiin siis 50 km/h.

Standardin mukaan mittauksia tulisi tehdä neljä referenssinopeutta alhaisemmalla nopeudella ja neljä sitä suuremmalla. Mittaukset tulisi tehdä kahdella mikrofonilla, jotka sijaitsevat symmetrisesti eri puolilla testirataa. Saaduista, nopeus/melu -pareista (16 kpl) tehdään regressioanalyysi ja tulokset normalisoidaan referenssinopeuteen.

Koska mittaukset tehtiin todellisissa päällystyskohteissa, yöaikaan muuta liikennettä häiritsemättä, mittauksissa ei ollut mahdollista käyttää kahta mikrofonia. Mittausnopeudeksi valittiin 50 km/h. Alhaisissa nopeuksissa moottorimelun osuus tulee rengasmelua vaikuttavammaksi, joten mittaukset tehtiin moottori sammutettuna. Ajoneuvo kiihdytettiin hieman mittausnopeutta suurempaan nopeuteen ja moottori sammutettiin 10 metriä ennen mikrofonia ja auton annettiin rullata. Moottori käynnistettiin uudelleen 10 metriä mikrofonin jälkeen.

CB-menetelmän tulokset lämpötilakorjattiin. Coast By - (CB) ISO/DIS 13325 standardiluonnoksessa on esitetty korjausmenettely.

CB:	$L=L_m+K\Delta T$, jossa
L	= korjattu melutaso
L_m	= mitattu melutaso
K	= -0,03, jos tienpinnan lämpötila $>20\text{ }^\circ\text{C}$
K	= -0,06, jos tienpinnan lämpötila $<20\text{ }^\circ\text{C}$
ΔT	= erotus referenssilämpötilan $20\text{ }^\circ\text{C}$ ja mitatun tienpinnan lämpötilan välillä

3.3.2 Auton sisätilan melu

Standardissa ISO 5128-1980 (Acoustics – Measurement of noise inside motor vehicles) kuvataan menetelmä auton sisätilan melun mittaamiseksi. Menetelmä on lähinnä kehitetty autojen testaamiseen, erillisellä testiradalla, joten standardia on jouduttu tässä tapauksessa soveltamaan. Menetelmä ei sellaisenaan sovellu yleisellä tiellä, liikenteen joukossa tehtäviin mittauksiin.

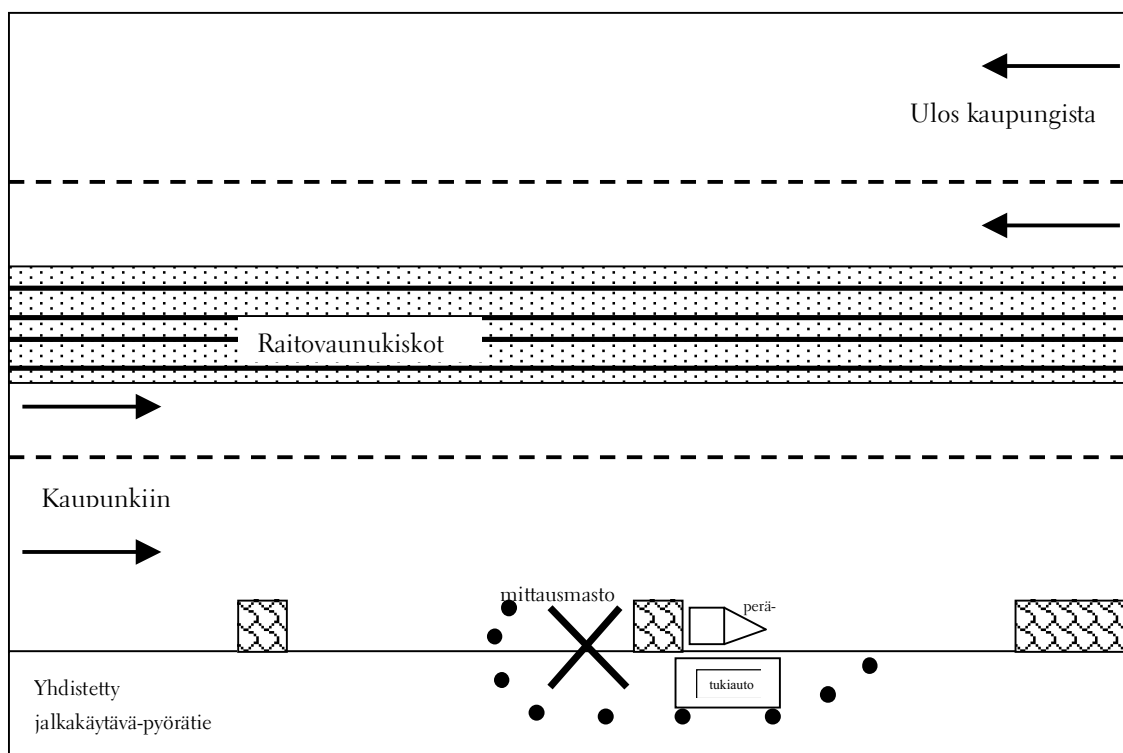
Standardin tarjoamista menetelmistä valittiin vakionopeudella tehtävä mittaus, jossa auto kiihdytetään vakionopeuteen, jossa mitataan vähintään viiden sekunnin ajan fast-aikavakiolla ja A-painotuksella. Standardin mukaan tulisi mitata piikkiarvoa. Nyt tehdyt mittaukset tehtiin fast-aikavakiolla ja A-painotuksella. Mittausaika oli 10 s ja mitattavana suureena käytettiin keskimääräistä äänenpainetasoa Leq . Tähän päädyttiin, koska päällysteiden vertailussa ei ole olennaista suurin hetkellinen äänenpainetaso, vaan keskimääräisen äänenpainetason katsottiin kuvaavan päällystettä paremmin.

Mittaukset tehtiin ensin niin, että mittari kiinnitettiin kiinteään pidikkeeseen. Tästä luovuttiin, koska mittarin käyttäminen ja lukeminen osoittautuivat tässä vaihtoehdossa erittäin hankaliksi. Auton etuistuimen niskatyyny asennettiin sopivalle korkeudelle ja mittaukset tehtiin niin, että testaaja piti mittaria niskatyynyyn vasten paikoillaan mittausten ajan. Menettely osoittautui toimivaksi ja nopeaksi. Standardin mukaan mittaukset tulisi tehdä viidellä eri nopeudella (60-120 km/h). Mittaustuloksista piirretään regressiosuora, josta lasketaan melutaso valitulle nopeudelle. Yleisellä tiellä mitattaessa ei ollut mahdollista tehdä mittauksia usealla eri nopeudella. Menetelmää tulisi voida soveltaa päällysteitä vertailtaessa eri nopeusrajoituksilla, joten mittaukset suoritettiin yksinkertaisesti yhdellä nopeudella (50 km/h) ja viidestä mittauksesta laskettiin keskiarvo. Tuloksia ei lämpötilakorjattu.

3.4 Sturenkadun mittaukset

Sturenkadun mittauksilla haluttiin testata hiljaisen päällysteen vaikutusta ja erityisesti mittausmahdollisuuksia katukuilussa. Peruskysymyksenä nähtiin hiljaisen päällysteen vaikutus eri korkeuksilla (kerroksissa). Tämän tyyppisiin menetelmiin ei ollut olemassa valmista menetelmää.

Toteutetussa kokeellisessa menetelmässä mittaukset suoritettiin kolmella mikrofonilla, jotka olivat 1,2, 5 ja 12 metrin korkeudella kadun vierellä olevan jalkakäytävän pinnasta. Matalin korkeus 1,2m on sama kuin SPB-menetelmässä; 5m on suurin piirtein ensimmäisen asuinkerroksen tasolla ja 12m on kolmannen (lähes jo neljännen eli ylimmän) kerroksen ikkunoiden tasolla. Kolmen mikrofonin signaali tallennettiin tietokoneen muistiin ja tästä tiedosta analysoitiin ekvivalentti äänenpainetaso $L(A)_{eq}$ tunnin ajalta, lyhytaikainen keskiarvo fast-aikavakiolla (melun vaihtelu mittausjaksolla) sekä keskimääräinen taajuusjakauma 1/3 oktaavin välein tunnin ajalta. Mittausajaksi valittiin yksi tunti. Tällöin liikenteen määrä oli riittävän suuri mittausajan pysyessä kuitenkin kohtuullisena ja katu ympäristön taustamelun jokseenkin samanlaisena.



Kuva 8. Kaaviokuva Sturenkadun melumittausten järjestelyistä

Liikennemäärä laskettiin käsin kumpaankin suuntaan eli kaupunkiin päin ja pois kaupungista. Ajoneuvojen nopeutta ei mitattu.

Mittauksessa päädyttiin käyttämään ylämikrofonin tukevan ja turvallisen pystytyksen (Sturenkadulla liikenne, talot ja raitiovaunujen ajojohdot) tähden suhteellisen raskasta rakennuksilla käytettävää valomastoa. Maston pystytys kuitenkin edellyttää vähintään neljän henkilön osallistumista, joten mittaukset olivat sangen työvoimavaltaisia.



Kuva 9. Mittauspaikat Sturenkadulla. Vasemmalla pohjoinen ja oikealla eteläinen. Mittauspaikat pyrittiin tarkoituksella pitämään kadulla ajavien autojen kannalta huomaamattomina, jotta autojen nopeudet olisivat mahdollisimman todellisia.

Sturenkadun kummallakin puolella on vanhahkoja kivitaloja, joissa on katutasossa liikehuoneistoja ja neljä asuinkerrosta. Talot ovat koko mittausjaksolla hyvin samankaltaisia kummallakin puolella tietä (ikkunoiden määrä, pintamateriaali, ei parvekkeita). Mikrofoni oli sijoitettu kadun oikealle puolelle ajettaessa kaupunkiin päin.

Kummankin mittauspaikan edessä päällyste oli pääasiassa ehjä, mutta kulunut. Pohjoisen mittauspaikan jälkeen kadun ajokaistalla alkoi hyväkuntoinen urapaikkaus. Uudelleen päällystykseen yhteydessä osuudelle 1 levitettiin karkeahko SMA 8 ja osuudelle 2 levitettiin asfalttinormien mukainen SMA 18. Pohjoisen mittauspaikan kohdalla tie alkaa hieman nousta ja heti eteläisen mittauspaikan jälkeen alkaa selkeä ylämäki.

3.5 Kulumismittaukset

3.5.1 Prall-menetelmä

Prall-kokeet on tehty EN-standardiluonnoksen prEN 12697-16 mukaisesti. Prall-laitteella porakappaletta koestetaan 15 minuutin ajan. Tuloksena ilmoitetaan $\varnothing 11,5$ millimetrin teräskuulien (40 kpl) aikaansaama tilavuushäviö kuutiosenttimetreinä. Kulutettavan koekappaleen mitat ovat $\varnothing 100$ mm, korkeus 30 mm (sahattu pinta), ja sen lämpötila on $+5^{\circ}\text{C}$. Teräskuulien liikkeen saa aikaan mäntä, jonka iskunpituus on 43 mm, kiertokangon pituus 200 mm ja kierrosnopeus 950 kierrosta minuutissa. Kokeen aikana näytettä huuhdellaan $+5^{\circ}\text{C}$ vedellä, jonka virtausnopeus on 2 litraa minuutissa.



Kuva 10. Prall-laite, johon kuuluu vesikierron (+5°C) takia myös lauhdeallas. Sylinterissä olevan koekappaleen päällä on 40 teräskuulaa, jotka kuluttavat kappaletta sylinterin liikkeessä vertikaalisesti 950 kierrosta minuutissa.

3.5.2 Profilometri-menetelmä

Profiilit on mitattu laserprofilometrillä menetelmän PANK-5105 mukaisesti. Profiilien mitta-
usmatka (pituus) on ollut 3850 mm ja lukemaväli 2 mm. Laseriin perustuvan etäisyysmittauk-
sen lukematarkeys on 1/100 mm. Käytännössä yksittäisen urasyvyyden mittaustarkkuus on $\pm 0,1$ mm. Urasyvyyden mittaamisen periaate on sama kuin oikolaudalla.



Kuva 11. Profilometrimittaukset käytännössä (Meripellontie)

Nastarengaskulumisen (kokonaisurautumisen, deformaation) tutkiminen on laserprofilometriä käytettäessä yksinkertaista. Mittausten ajankohdat määrittävät saatavat tulokset:

mittaus syksyllä ennen nastarenkaiden käyttöönottoa
- mittaus keväällä nastarengaskauden jälkeen
tuloksena saadaan nastarengaskuluminen

mittaus keväällä nastarengaskauden jälkeen
- mittaus syksyllä ennen nastarenkaiden käyttöönottoa
tuloksena saadaan deformaatio

3.6 Muut mittaukset

3.6.1 Yleistä

Melumittausten lisäksi katsottiin, että olisi syytä tuoda esiin myös muita hiljaisten päällysteiden mahdollisia etuja tavanomaiseen päällysteeseen nähden. Varsinkin kaksikerrosrakenteisten, kulutuskerrokseltaan avoimien päällysteiden kohdalla nähtiin mahdolliseksi tavanomaista parempi vedenläpäisevyys ja märän päällysteen kitka.

Päällysteen pinnan karkeus ja avoimuus vaikuttaa sekä rengasmelun syntyyn että päällysteen absorptioon. Tämän takia nähtiin perustelluksi lisätä tutkimussuunnitelmaan pinnan karkeuden mittauksia. Vedenläpäisevyyssmittauksen tavoin päällysteen karkeuden mittaukset kuvaavat samalla pinnan makrokarkeutta.

3.6.2 Kitkamittaus

Kitkamittaus on suunniteltu tehtäväksi märällä (sulalla) päällysteellä. Mitattavan päällysteen märkyys toteutetaan kastelemalla se juuri ennen mittausta tai vaihtoehtoisesti toteuttamalla mittaus tasaisen vesisateen aikana. Eri pinnoilta saadut tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, kun kastelu suoritetaan samalla tavoin tai kun sääolot ovat identtiset. Kitkan mittaukseen käytetään TKK:n Tielaboratorion Ford Mondeoon asennettua Createcin C-trip -merkkistä kitkamittaria. Käytännössä autoa ajetaan tasaisella nopeudella, tässä tapauksessa 50 km/h, ja suoritetaan voimakas lyhyt jarrutus (nopeuden alenema noin 15 km/h). Mittari antaa kustakin jarrutuksesta kitka-arvon. Kyseinen kitka-arvo ei ole absoluuttinen kitkakerroin, vaan se mahdollistaa ainoastaan vertailumittaukset osuuksien kesken edellytettynä, että mittauksen suoritus ja esimerkiksi käytetyt renkaat ovat samat. Mittausautossa on ABS-jarrut ja kesärenkaat (Pirelli P6000 195/65 R15). Kullakin päällysteellä tehdään kaksi rinnakkaista mittausta. Jos rinnakkaisten tulosten ero on enemmän kuin 0,05 niin mittaukset toistetaan.

3.6.3 Veden läpäisevyys

Veden läpäisevyys/johtavuus mitataan soveltaen menetelmää prEN 13036-3 (Measurement of pavement surface horizontal drainability). Menetelmässä käytetään suoraa jalustallista akryyliputkea (outflow meter), johon on tehty merkinnät mitattavan vesipinnan ylä- ja alatasolle. Jalustassa on kumitiiviste, joka estää veden virtaamisen päällysteen pinnan ja jalustan välistä. Läpinäkyvään putkeen kaadetaan vettä merkkiin asti ja mitataan aika vesipinnan laskemisesta ylemmän merkin tasosta alemman merkin tasoon. Mittauksia tehdään vähintään 10 toistoa 2,5 m välein tien pituussuunnassa. Tuloksena ilmoitetaan mitattu aika (s, mittausten keskiarvo).

TKK:n Tielaboratorion mittalaitte poikkeaa muotoilultaan EN-standardiluonnoksen mukaisesta laitteesta. TKK:n laite on tehty yhden suoran putken sijaan useista päällekkäisistä sylinteriputkista, joiden halkaisija kapenee ylöspäin mentäessä. Laskeva vedenpinta voidaan siis mitata

poikkipinta-alaltaan erikokoisissa putkissa. Tämä mahdollistaa luotettavan mittauksen suu-remmassa vedenläpäisevyyden skaalassa. Laite on amerikkalaisen National Center for Asphalt Technologyn (NCAT) suunnittelema ja Gilsonin valmistama.

3.6.4 Makrokarkeus - Mean Profile Depth

Makrokarkeus määritetään profilometrillä käyttämällä menetelmää ISO 13473-1 (Determination of Mean Profile Depth). Menetelmää varten tarvitaan profilometri, jonka laserin säteen pisteen halkaisija ei saa olla suurempi kuin 1 mm. Tämän takia standardin mukaiseen mittaukseen käytetään AL-Engineeringin valmistamaa makro- ja mikrokarkeuden määrittämiseen suunniteltua profilometriä.

Yhden päällysteen mittauksessa tehdään 10...16 mittausta, jossa mitattavan profiilin pituus on 100 mm. Mittausdata vaatii tämän jälkeen suodattamista (digitaalinen tai ohjelmallinen suodatin) sekä kaltevuuden korjausta. Tämän jälkeen 10 cm pituinen profiili jaetaan kahteen osaan, joista kummastakin mitataan huipun (peak level) ja regressiolla saadun keskitason välien etäisyys. Näiden keskiarvo ilmoittaa keskimääräisen profiilisyvyyden (mm, mean profile depth, MPD).

3.6.5 Makrokarkeus – lasihelmimenetelmä

Ns. Sand Patch -menetelmää on käytetty maailmalla asfalttipäällysteiden makrokarkeuden määrittämiseen jo vuosia. Nykyinen lasihelmimenetelmä perustuu standardiin EN 13036-1 (Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch). Suomessa on käytössä myös vastaava menetelmä PANK-5103. Menetelmässä päällysteelle kaadetaan 25 ml lasihelmiä, joiden fraktio on 0,18-0,25 mm. Lasihelmet levitetään kumisen kiekon avulla päällysteelle mahdollisimman suurelle alueelle pyöreään muotoon. Lasihelmillä peitetystä alueesta mitataan sen halkaisija. Levitetty lasihelmimäärä jaetaan sen pinta-alalla, jolloin saadaan keskimääräinen lasihelmikerroksen paksuus eli pintakarkeuden keskimääräinen syvyys (mm, mean texture depth, MTD).

4 TUTKIMUSAINEISTO

4.1 Yleistä

Jo tutkimussuunnitelmaa laadittaessa pidettiin selvänä, että meluominaisuuksien mittaukset edellyttävät ns. täysimittakaavakoikeita eli tässä yhteydessä koeteiden rakentamista. Suunnitelman mukaisesti rakennettiin yhteensä seitsemän koetietä, joista kolme (Helsinki, Kaarina ja Kokkola) vuonna 2001 ja loput neljä (Espoo, Helsinki, Kirkkonummi ja Lohja) vuonna 2002.

Koeteiden sijaintien valintaa rajoitti se, että niiden piti kohdentua normaaleihin tutkimuksessa mukana olevien tilaajatahojen eli Tiehallinnon, Helsingin, Espoon ja Turun urakkaohjelmiin. Käytännössä hyviä kohteita koeteille oli erittäin vaikea löytää. Periaatteessa koeteille sijainneille asetettiin seuraavat vaatimukset:

Päällysteen melu- ja kulumismittaukset

1. tavoitteellinen KVL 5000...10 000
2. yksi-ajoratainen
3. yhden koeosuuden pituus n. 200 metriä (vain toinen kaista): suunniteltu 8-10 koeosuutta eli pituus 800...1000 m
4. ei merkittäviä liittymiä ja liikennevaloja koetieosalla (ajoneuvojen nopeudet ja liikennemäärä mahdollisimman vakioita koeosuuksilla)
5. ei rakennuksia, meluaitoja tai muita heijastavia kohteita tien välittömässä läheisyydessä
6. mahdollisimman vähäinen pituuskaltevuus
7. mahdollisimman suora
8. mahdollisuus 2-kerrospäällysteiden tekoon
9. tien vierialue maastoltaan mahdollisimman yhdenmukaista
10. ei jyrkkiä penkereitä tai luiskia
11. riittävästi tilaa melumittausten toteuttamiselle

Melun leviämisen koetie

1. $KVL > 5\ 000$
2. yksi-ajoratainen
3. pituus 1000-1500 m
4. yksi koeosuus n. 500 m (molemmat kaistat samaa päällystettä)
5. mahdollisimman suora
6. mahdollisimman vähäinen pituuskaltevuus
7. ei merkittäviä liittymiä
8. ei taloja aivan lähellä tai muita teitä rinnalla
9. ei merkittäviä muita melunlähteitä lähistöllä
10. tien vierialue maastoltaan mahdollisimman yhdenmukaista

Käytännössä kaikkia edellä mainittuja vaatimuksia ei ainakaan kaikkien koekohteiden osalta voitu täyttää. Syyt tähän olivat juuri edellä mainitut; hyviä kohteita ei ollut tarjolla kovin useita.

Koeosuudet ovat aineistona eri menetelmin tehdyille melumittauksille, uramittauksille sekä muille tutkimussuunnitelman mukaisille tutkimuksille. Uramittausten osalta aineistoon on lisätty jo ennen HILJA-projektin aloitusta rakennetut Korson ja Kehä II:n koetiet. Koeteiden sekä yksittäisten koeosuuksien välisen vertailun mahdollistamiseksi on koekohteista kerätty liiken-

nemäärätietoa. Helsingin Meripellontien koekohteesta liikennemäärät selvitettiin alihankintana (Tieliikelaitos) ja Lohjan koekohteen välittömässä läheisyydessä sijaitsee Tiehallinnon automaattinen liikenteenlaskin. Kaarinan, Kokkolan ja Espoon koekohteiden liikennemäärät selvitettiin vuorokauden mittaisella laskennalla. Helsingin Sturenkadun ja Kirkkonummen koetien osalta laskettiin ekvivalenttitasomittausten aikana ohittaneiden ajoneuvojen lukumäärä.

4.2 Vuonna 2001 toteutetut Hilja-koekohteet

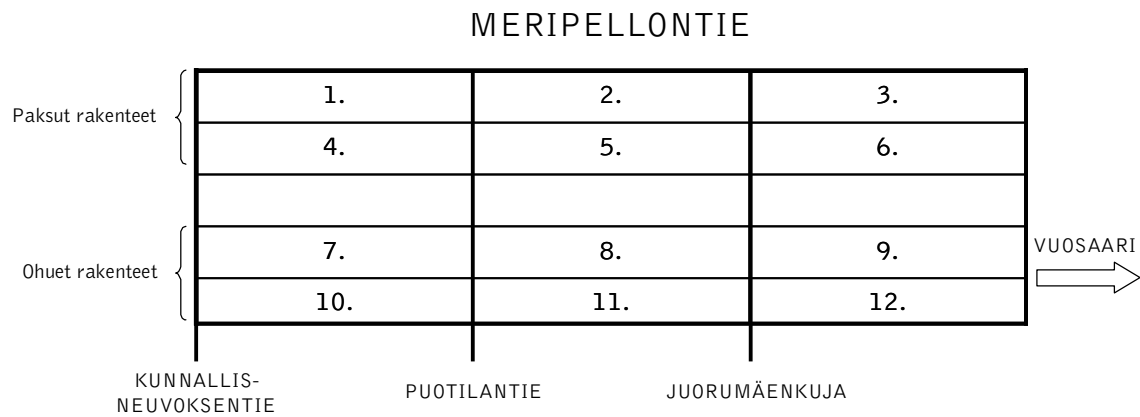
4.2.1 Meripellontie, Helsinki

Meripellontielle Helsinkiin tehtiin yhteensä 12 koeosuutta käsittävä koetie (kuvat 13 ja 14, taulukko 6). Kohde on vilkasliikenteinen Itäkeskuksesta Vuosaareen johtava nelikaistainen katu, jonka tienpidosta vastaa Helsingin kaupunki. Kohteessa on liikennevalo-ohjattuja liittymiä ja nopeusrajoitus vaihtuu keskellä koetietä Helsingin suunnasta tultaessa 50 km/h → 60 km/h. Nelikaistaisuuden ja koeosuuksien lukumäärän takia koeosuudet tehtiin kaistanleveyisinä neljälle eri kaistalle. Kohteen erityispiirteinä ovat paksut salaojitetut kaksikerrosrakenteet (60+30 mm), joita tehtiin koeosuuksille 1-6 (Helsingin suuntaan menevät kaistat). Koetie on kauttaaltaan reunakivetetty (kivinäkymä 12 cm). Kaikkia koeosuuksia rajaa sivusuunnassa siis reunakivi tai toinen koeosuus.



Kuva 12. Salaojitus Meripellontiellä

Meripellontien päällystystyöt tehtiin 14. kesäkuuta - 11. heinäkuuta 2001 välisenä aikana. Kaikki neljä urakoitsijaa - Valtatie, NCC Roads, Tieliikelaitos ja Lemminkäinen - levittivät itse omat n. 200 m pituiset koepäällysteensä. Referenssiosuuden (SMA 16) teki Valtatie.



Kuva 13. Meripellontien koosuudet

Taulukko 6. Meripellontien koosuudet (Osuudet 1-6: n. 60+30 mm ja osuudet 7-12: n. 30 mm)

KOOSUUS NRO	PÄÄLLYSTE	URAKOITSIJA
1	WHISPERPHALT T + WHISPERPHALT B	LEMMINKÄINEN
2	HILTTI 3 + HILTTI 6	TIELIIKELAITOS
3	VIACODRÄN 11A + VIACOBASE 20B	INTERASFALTTI
4	HILJA T + HILJA A II	VALTATIE
5	HILTTI 3 + HILTTI 6	TIELIIKELAITOS
6	HILJA K + HILJA A	VALTATIE
7	HILJA OT	VALTATIE
8	WHISPERPHALT T	LEMMINKÄINEN
9	SMA 6	TIELIIKELAITOS
10	HILJA OK	VALTATIE
11	SMA 16 (REFERENSSI)	VALTATIE
12	SMA 6	TIELIIKELAITOS

Taulukko 7. Meripellontien vuorokausiliikenne koosuuksittain 21.-22.11.2001 (keskiviikkotorstai) (Tieliikelaitos, Tieto- ja asiantuntijapalvelut)

KOOSUUS NRO	KEVYET AJONEUVOT	RASKAAT AJONEUVOT
1	6080	216
2	6953	158
3	7260	177
4	4748	VIRHEELLINEN TULOS
5	4362	35
6	4021	37
7	4701	101
8	4360	30
9	3986	32
10	6858	197
11	7053	205
12	7188	189



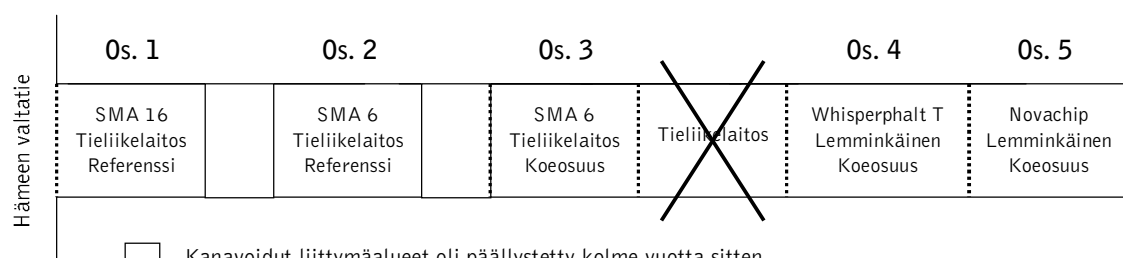
Kuva 14. Yleiskuva Meripellontien Hilja-koetiestä

4.2.2 Kaarinatie, Kaarina

Kaarinatielelle tehtiin yhteensä 5 koeosuutta käsittävä koetie. Lisäksi valittiin vertailuosuus muihin osiin Kaarinatietä samaan aikaan tehdystä SMA 6 -päällysteestä. Kohde on kaksikaistainen tie, jonka tienpidosta vastaa Tiehallinnon Turun tiepiiri. Nopeusrajoitus on kauttaaltaan 60 km/h.

Kaarinatien päällystystyöt tehtiin 12.-18. syyskuuta 2001. Koepäällysteiden teosta vastasivat Tie-liikelaitos ja Lemminkäinen. Lemminkäisen Whisperphalt T -osuuden levitystyön teki Tieliikelaitos. Kaikki n. 200 m pituiset koeosuudet tehtiin koko ajoradan levyisinä.

KAARINA, Kaarinatie, yt 2200



Kanavoidut liittymäalueet oli päällystetty kolme vuotta sitten, eikä niitä päällystetty uudelleen tässä yhteydessä



Koepäällyste epäonnistui, ja osuus on sittemmin korvattu toisella päällysteellä, jota ei otettu mukaan tutkimukseen

Osuuksien alusrakenne MPKJ, paitsi SMA 16, jossa MP

Kuva 15. Kaarinatien koeosuudet

Taulukko 8. Kaarinatien koeosuudet

KOEOSUUS NRO	PÄÄLLYSTE	URAKOITSIJA
1	SMA 16 (REFERENSSI)	TIELIIKELAITOS
2	SMA 6 (REFERENSSI)	TIELIIKELAITOS
3	SMA 6	TIELIIKELAITOS
4	WHISPERPHALT T (TIELIIKELAITOS LEVITTI)	LEMMINKÄINEN
5	NOVACHIP	LEMMINKÄINEN

Taulukko 9. Kaarinatien vuorokausiliikenne 10.-11.4.2002 (keskiviikko-torstai)

KOEOSUUS NRO	KEVYET AJONEUVOT	RASKAAT AJONEUVOT
1,2	4355	440
3,4,5	4336	443

Kaarinatien liikennelaskennan yhteydessä mitattiin lisäksi ajoneuvojen nopeuksia seuraavin tuloksin.

Hämeen valtatielle päin:

Keskinopeus: 68,5 km/h, nopeuksien keskihajonta: 8,2 km/h, otos: 239 ajoneuvoa

Hämeen valtatieen suunnasta:

Keskinopeus: 66,7 km/h, nopeuksien keskihajonta: 6,4 km/h, otos: 227 ajoneuvoa



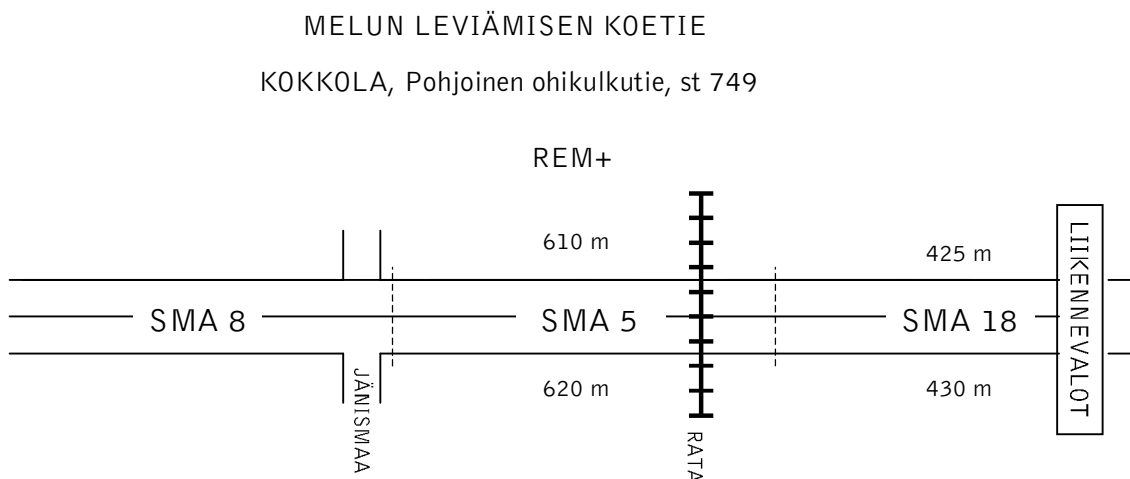
Kuva 16. Kuva Kaarinatien koeosuksesta

4.2.3 Pohjoinen ohikulkutie (mt 749), Kokkola

Kokkolan pohjoiselle ohikulkutielle (tienpidosta vastaa Tiehallinnon Vaasan tiepiiri) toteutettiin kaksi erillistä koetietä. Toinen koetie on melun leviämisen koetie, jonka avulla verrataan tavanomaisen ja hiljaisen päällysteen eroja melunlaskentamallien kannalta. Lisäksi koetiellä verrataan erilaisia paikasta riippumattomia melunmittaustapoja. Toisen koetien tarkoituksena on vertailla tiekuluminen ja Prall-kokeen yhteyttä. Molemmat koetiet teki pohjoisen ohikulkutien päällystysurakan yhteydessä elokuun alussa 2001 Valtatie.

Melun leviämisen koetie on geometrialtaan ja ympäristöltään lähes optimaalinen melunmittaustarkoitukseen. Koeosuudet ovat suoria eikä niissä ole merkittävää pituuskaltevuutta. Ympäristö on tasaista ja tasalaatuista ilman melunmittausta häiritseviä äänilähteitä tai ääntä heijastavia rakenteita. Ainoa häiriön aiheuttaja on osuuksien väliin sijoittuva rautatie, jolla on ajoittain tavaraliikennettä.

Melun leviämisen koeosuteeseen tehtiin kolme n. 500 m mittaista koeosuutta, joissa vertailtava päällyste tehtiin koko ajoradan leveydelle.

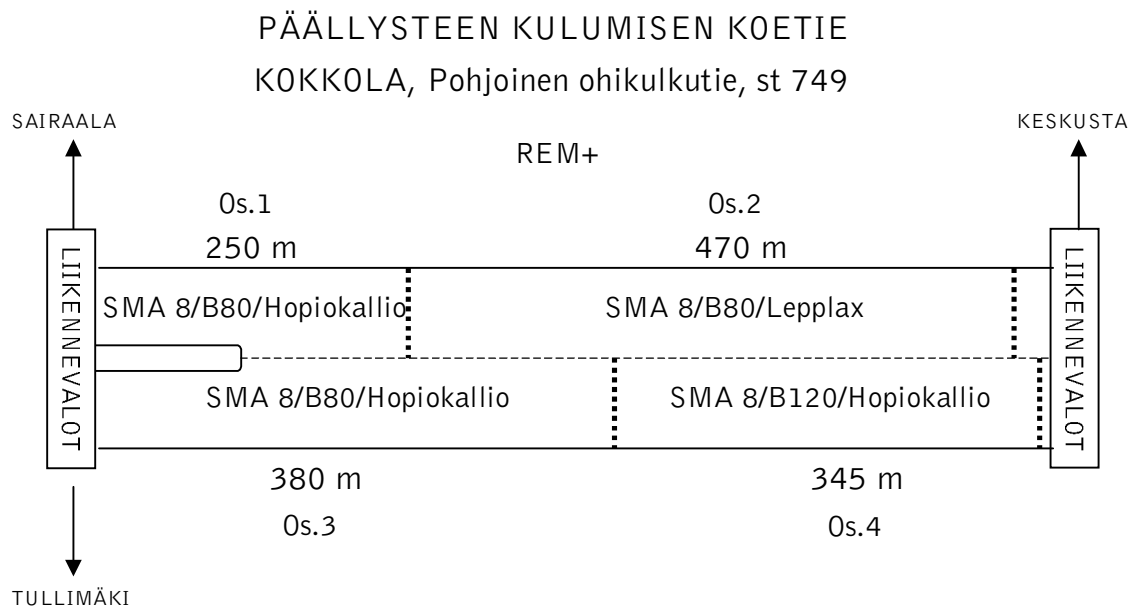


Kuva 17. Melun leviämisen koetie, Kokkola

Kulumisen vertailuun tehtiin kolme koeosuutta. Referenssiosuutena on muutoinkin päällystysurakassa käytetty SMA 8 -päällyste. Vertailtavat osuudet tehtiin käyttämällä heikompa ki-
viainesta ja pehmeämpää bitumia.

Taulukko 10. Päällysteen kulumisen koetien osuudet, Kokkola

KOEOSUUS NRO	PÄÄLLYSTE	URAKOITSIJA
1	SMA 8 B70/100 HOPIOKALLIO	VALTATIE
2	SMA 8 B70/100 LEPLAX	VALTATIE
3	SMA 8 B70/100 HOPIOKALLIO	VALTATIE
4	SMA 8 B100/150 HOPIOKALLIO	VALTATIE



Kuva 18. Päällysteen kulumisen koetie, Kokkola



Kuva 19. Kokkolan koeteiden rakentamista (REM+)

Taulukko 11. Kokkolan päällysteen kulumisen koetie, vuorokausiliikenne 27-28.11.2001 (tiis- tai-keskiviikko)

KOEOSUUS NRO	KEVYET AJONEUVOT	RASKAAT AJONEUVOT
1 JA 2	1891	153
3 JA 4	1779	139

Kokkolan liikennelaskennan yhteydessä mitattiin lisäksi ajoneuvojen nopeuksia seuraavin tuloksin.

Osuudet 1 ja 2:

Keskinopeus: 57,9 km/h, nopeuksien keskihajonta: 7,2 km/h, otos: 116 ajoneuvoa

Osuudet 3 ja 4:

Keskinopeus: 58,0 km/h, nopeuksien keskihajonta: 8,0 km/h, otos: 121 ajoneuvoa

4.3 Vuonna 2002 toteutetut Hilja-koekohteet

4.3.1 Riihiniityntie, Espoo

Riihiniityntie Espoossa on pientaloalueen läpi kulkeva kokoojakatu, joka toimii osaltaan Kehä II:n ”jatkeena” Etelä-Espoosta pohjoiseen suuntautuville liikennevirroille. Riihiniityntielle rakennettiin kahdeksan koeosuutta ja kaksi referenssiosuutta käsittävä koetie. Koetien alueella ei ole merkittäviä liittymiä eikä liikennevaloja. Nopeusrajoitus on 50 km/h. Koeosuudet 2-10 päällystettiin 1.8.2002 ja osuus 1 myöhemmin 10.9.2002.

Taulukko 12. Riihiniityntien koeosuudet

KOEOSUUS NRO	PÄÄLLYSTE	URAKOITSIJA
1	NOVACHIP 8	LEMMINKÄINEN
2	WHISPERPHALT T	LEMMINKÄINEN
3	HILTTI-MIX	TIELIIKELAITOS
4	SMA 6	TIELIIKELAITOS
5	VIACODRÄN 8	NCC ROADS
6	VIACODRÄN 11	NCC ROADS
7	SHP-Y	VALTATIE
8	SHP-K2	VALTATIE
9	SMA 8 (REFERENSSI)	LEMMINKÄINEN
10	AB 16 (REFERENSSI)	LEMMINKÄINEN

Taulukko 13. Riihiniityntien vuorokausiliikenne 4.-5.3.2003 (tiistai-keskiviikko)

KOEOSUUS NRO	KEVYET AJONEUVOT	RASKAAT AJONEUVOT
1-4 JA 9	2153	78
5-8 JA 10	2175	74

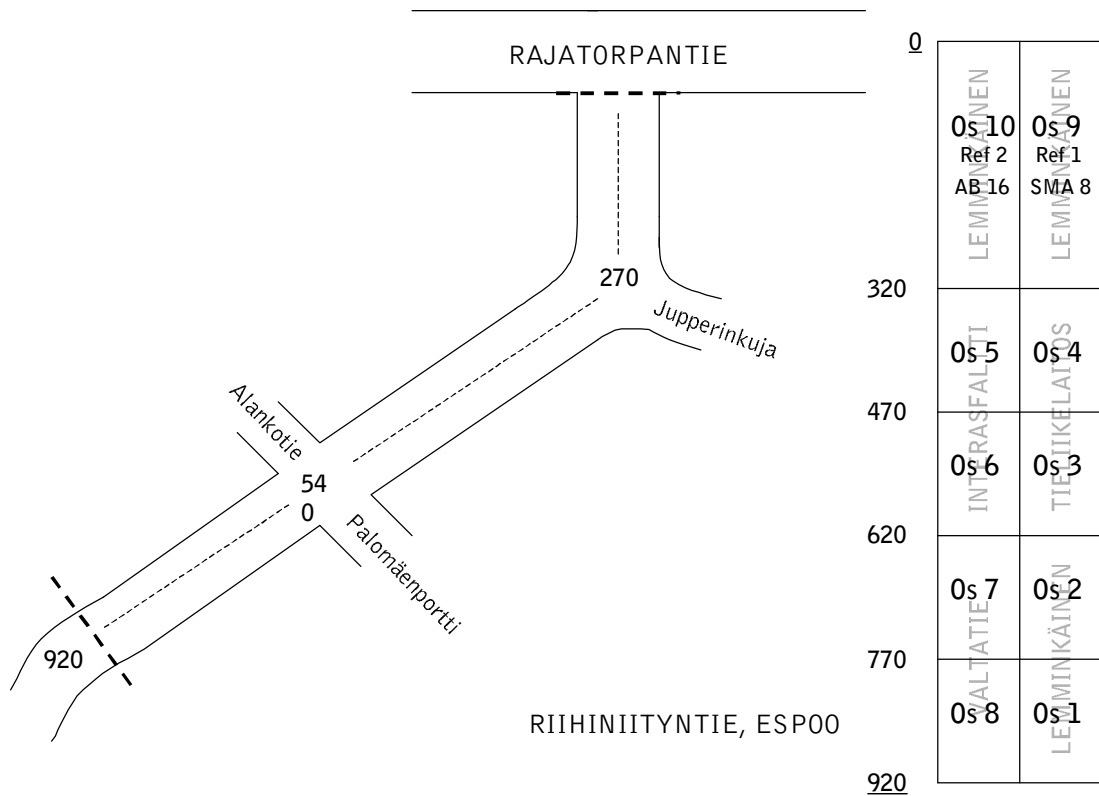
Riihiniityntien liikennelaskennan yhteydessä mitattiin lisäksi ajoneuvojen nopeuksia seuraavin tuloksin.

Osuudet 1-4 ja 9:

Keskinopeus: 52,7 km/h, nopeuksien keskihajonta: 6,4 km/h, otos: 219 ajoneuvoa

Osuudet 5-8 ja 10:

Keskinopeus: 52,2 km/h, nopeuksien keskihajonta: 6,1 km/h, otos: 219 ajoneuvoa



Kuva 20. Riihiniityntien koetie, Espoo



Kuva 21. Riihiniityntien koetie, Espoo

4.3.2 Virkkala (vt 25), Lohja

Virkkalan kymmenosuuksinen koetie sijaitsee valtatiellä 25 Lohjan kaupungin alueella. Kyseessä on normaalimitoituksinen valtatieosuus, jonka nopeusrajoitus on talvella 80 km/h. Koetien alueella sijaitsee yksi liittymä. Muita merkittäviä liikennevirtaan vaikuttavia tekijöitä ei koetien alueella ole. Virkkalan koeosuudet 2,4,6 ja 8 päällystettiin 20.8.2002, koeosuudet 1,3,5 ja 7 21.8.2002 ja koeosuudet 9 ja 10 myöhemmin 10.9.2002.

Taulukko 14. Virkkalan koetien osuudet

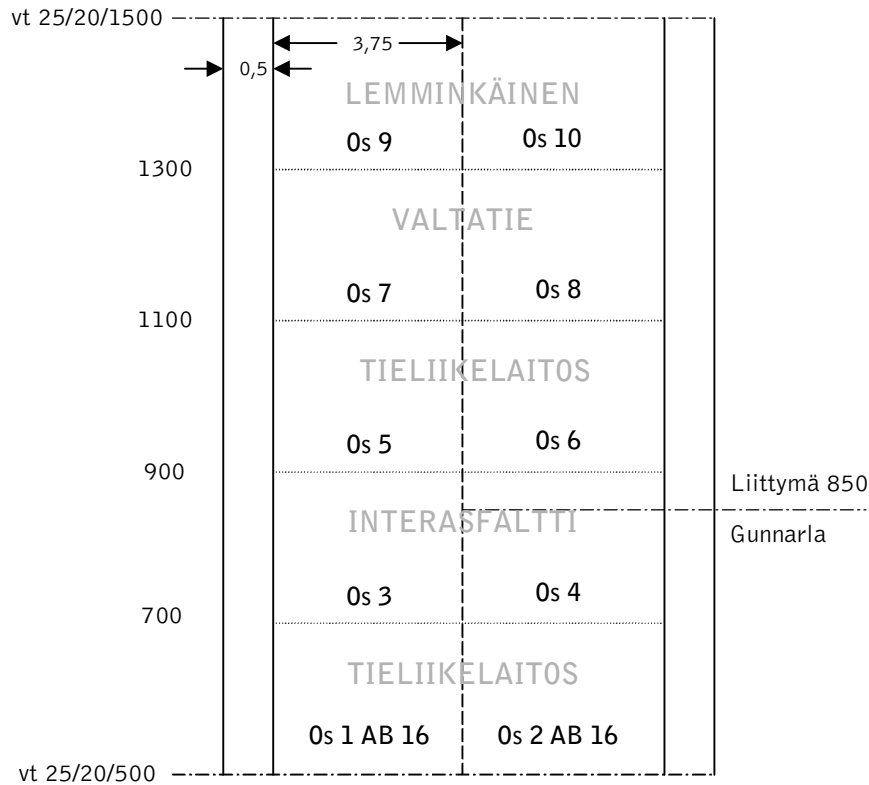
KOEOSUUS NRO	PÄÄLLYSTE	URAKOITSIJA
1	AB 16 (REFERENSSI)	TIELIIKELAITOS
2	AB 16 (REFERENSSI)	TIELIIKELAITOS
3	VIACODRÄN 16	NCC ROADS
4	VIACODRÄN 11	NCC ROADS
5	HILTTI A	TIELIIKELAITOS
6	HILTTI F	TIELIIKELAITOS
7	SHP-KY4	VALTATIE
8	SHP-K3	VALTATIE
9	NOVACHIP 8	LEMMINKÄINEN
10	NOVACHIP 11	LEMMINKÄINEN

Virkkalan koeoshteessa otettiin kulumisreferenssiksi AB 16:n lisäksi Hilja-projektin ”ulkopuolelta” SMA 16, jota Tielikelaitos levitti koetien pohjoispuolelle.

Taulukko 15. Virkkalan koetien vuorokausiliikenne 11.12.2002 (keskiviikko, lähde:Tiehallinto)

KOEOSUUS NRO	KEVYET AJONEUVOT	RASKAAT AJONEUVOT
1,3,5,7 JA 9	3168	535
2,4,6,8 JA 10	3152	464

VIRKKALAN KOETIE

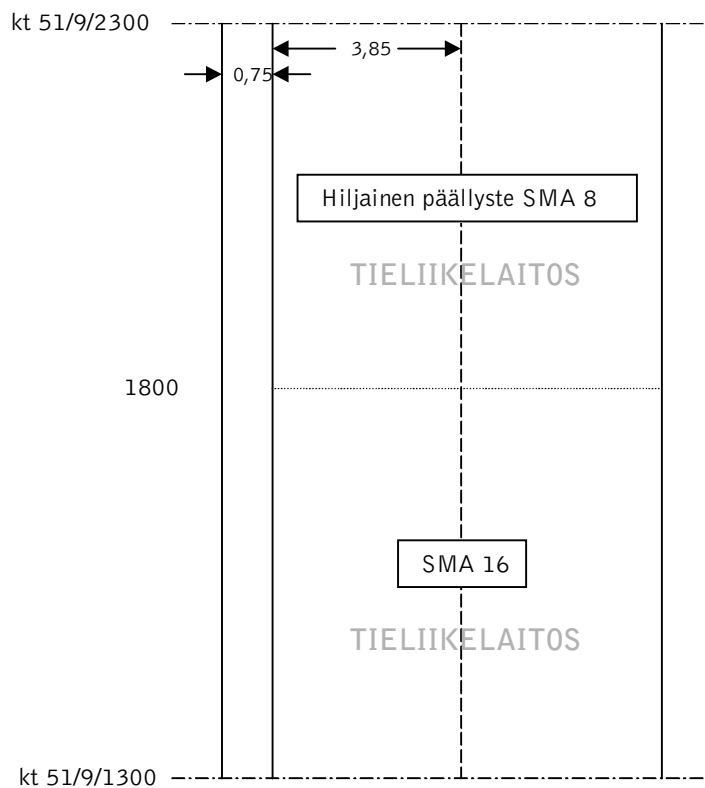


Kuva 22. Virkkalan koetie, Lohja

4.3.3 Länsiväylä (kt 51), Kirkkonummi

Kirkkonummen koetie sijaitsee länsiväylällä (kantatie 51) Kirkkonummen keskustan länsipuolella. Kohde sijaitsee peltoaukealla, eikä koetien alueella ole merkittäviä liittymiä eikä liikennevaloja. Koetie on rakennettu melun leviämismittauksia varten ja se koostuukin vain kahdesta koeosuudesta SMA 8 ja SMA 16. Molemmat päällysteet levitti Tielikelaitos elokuussa 2002.

KIRKKONUMMEN KOETIE



Kuva 23. Kirkkonummen koetie

4.3.4 Sturenkatu, Helsinki

Sturenkadun koetie Helsingissä rakennettiin selvittämään (avoimen ja siten absorboivan) hiljaisen päällysteen vaikutusta katukuilun melutasoon. Hämeentien ja Mäkelänkadun väliin rakennettiin kahden korttelin alueelle kaksi koeosuutta. Koeosuudet levitettiin 11.7.2002 (SMA 8) ja 15.7.2002 (SMA 16) ja työstä vastasi Lemminkäinen.

Kohteen tiedot on selostettu mittausmenetelmän yhteydessä kohdassa 3.4.

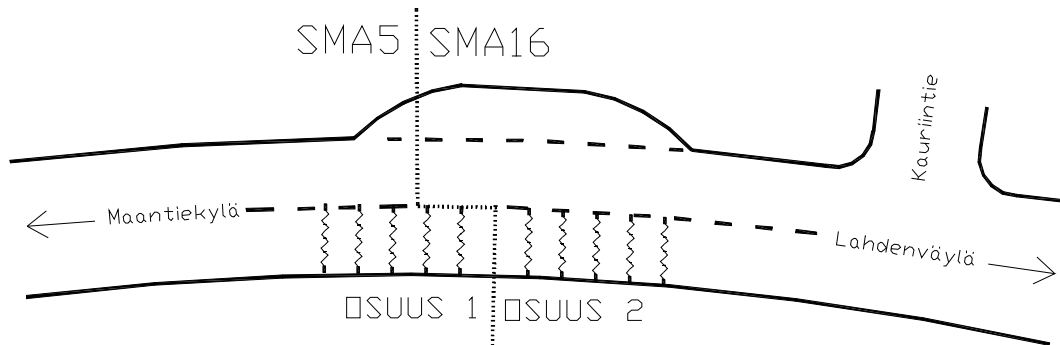
4.4 Muut Hilja-projektissa hyödynnetyt koeobjektit

4.4.1 Kehä II, Espoo (st 102)

Kehä II:lle Espoon Suurpeltoon rakennettiin kesällä 2000 viisi koeosuutta. Osuudet sijaitsevat peräkkäin ajokaistalla, jonka liikennemäärä on n. 12700 ajoneuvoa vuorokaudessa (arkipäivät 11.-15.12.2000, lähde: Tiehallinto, piste 163 Kehä II P). Koetiellä vertailtiin viiden erilaisen SMA-päällysteen; SMA 6, SMA 8, SMA 11, SMA 11 (kuona) ja SMA 16 kulumisominaisuuksia. Tutkimuksesta vastasi VTT:n rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Osuudet ovat sittemmin jääneet lopullisen kulutuskerroksen alle.

4.4.2 Kulomäentie, Vantaa (st 152)

Kulomäentielle Korsoon rakennettiin elokuussa 2000 SMA 5 ja SMA 16 -koeosuudet. Osuudet sijaitsevat peräkkäin osuudella, jonka KVL on n. 12000 ajoneuvoa vuorokaudessa (lähde: Vantaan kaupunki). Koetien tarkoituksena oli vertailla hiljaisten päällysteen vaikutusta ympäristömeluun sekä tutkia niiden kulumisominaisuuksia. Kulomäentie on Vantaan Korson läpi kulkeva tie, joka yhdistää Lahden ja Tuusulan väylät. Koetien alueella nopeusrajoitus on 50 km/h. Kulomäentien päällystystyöstä vastasi silloinen Tielaitos ja tutkimuksista Teknillisen korkeakoulun tielaboratorio. Koetie on päällystetty uudelleen vuoden 2003 syksyllä.



Kuva 24. Kulomäentien koetie, Vantaa (mitattujen profiilien sijainti)

5 TULOKSET

5.1 Yleistä

Mittausten ajankohdat

Taulukkoon 16 on merkitty tehtyjen melumittausten ajankohdat. Mittauksiin on monesti käytetty useita päiviä, joissakin kohteissa kaikkien koeosuuksien mittaaminen samalla menetelmällä on jaettu useampaan jaksoon.

Taulukko 16. Hilja-koekohteiden melumittausten ajankohdat

Koetie:	Melumittausten ajankohdat:				
	SPB:	CPX:	CB:	Sisätila:	Ekvivalenttimelutaso:
Helsinki, Meripellontie	14.-17.8.2001 6.-8.5.2002* 29.-30.7.2002*	14.8.2001 2.5.2002 5.8.2002 8.5.2003	5.9.2002* 24.9.2002*		
Kaarina, Kaarinatie	23.-24.10.2001 29.5.2002 8.7.2003	21.9.2001 8.5.2002 20.5.2003			
Kokkola, melun leviämisen koetie	28.-29.2001 21.-23.5.2002	8.8.2001 6.5.2002	21.5-22.5.2002	21.5-22.5.2002	syksy 2001 kevät 2002
Espoo, Riihiniityntie	19.8- 24.9.2002* 25.9.2002* 12.5.2003 21.-28.5.2003 1.-3.6.2003 18.6.2003	2.9.2002* 23.9.2002* 26.5.2003	27.8.2002	11.10.2002	
Virkkala, vt 25	17.9-24.9.2002 23.-26.6.2003 2.7.2003 17&23.7.2003	19.9.2002 12.5.2003			
Helsinki, Sturenkatu					25.6.2002* 3.7.2002* 7.8.2002*
Kirkkonummi, kt 51	26.8.2002 11.6.2003 11.7.2003	4.9.2002 12.5.2003	2.9.2002	2.9.2002	syksy 2002**
“ylimääräiset referenssit” Vantaa, Tikkurila ja Län- simäki	15.-16.7.2003	13.8.2003			

* mitattu osa koeosuuksista **ei voitu mitata huonon sään ja muiden häiriötekijöiden takia

Mittauspaikkojen luokittelu

SPB-menetelmä asettaa tarkat vaatimukset mittauspaikalle. Koekohteita valittaessa tämän menetelmän vaatimuksia ei voitu täysin täyttää. Koeosuudet ovat pituudeltaan vain muutamia satoja metrejä, joten sopivan mittauspaikan valinnassa jouduttiin tekemään kompromisseja. ISO (11819-1:1997) standardissa mittauspaikalle asetetaan seuraavia ehtoja:

1. Tie on suora 30/50 metriä mittauspaikan molemmin puolin
2. Tien tulee olla suora ja tasainen, alle 1% kallistus sallitaan
3. Ajoneuvot pystyvät ajamaan tasaisella nopeudella
4. Melusteita tai muita isoja heijastavia esteitä ei saa olla mikrofonin ja mittauspisteen välissä
5. Melusteita tai muita isoja heijastavia esteitä ei saa olla 10 metriä mikrofonin takana (10 metriä kumpaankin suuntaan)
6. 3,75 m mittauskaistan keskeltä tulisi olla akustisesti samaa materiaalia kuin mitattavan päällysteen
7. 3,75-5 m alueella mittauskaistan keskeltä saa olla ainoastaan matalaa kasvillisuutta
8. Kadulla ei ole reunakiveä

Kaikki mittauspaikat arvioitiin näiden vaatimusten mukaan ja laskettiin kuinka monta näistä vaatimuksista kukin kohde täytti. Mittauspaikat luokiteltiin seuraavasti:

Taulukko 17. Mittauspaikkojen luokittelu: SPB-menetelmä (R = Riihiniityntie, K = Kaarina, V = Virkkala, M = Meripellontie, numero ko. kirjaimen jälkeen on osuuden numero)

MITTAUSPAIKKOJEN LUOKITTELU: SPB-MENETELMÄ			
R1; Novachip 8	7	V1; AB 16 (referenssi)	7
R2; Whisperphalt T	7	V2; AB 16 (referenssi)	8
R3; Hiltti-Mix	8	V3; Viacodrän 16	7
R4; SMA 6	8	V4; Viacodrän 11	8
R5; Viacodrän 8	8	V5; Hiltti A	7
R6; Viacodrän 11	8	V6; Hiltti F	8
R7; SHP-Y	8	V7; SHP-KY4	7
R8; SHP-K2	7	V8; SHP-K3	8
R9; SMA 8	8	V9; Novachip 8	7
R10; AB 16	6	V10; Novachip 11	8
K1; SMA 16	5	M1; Whisperphalt T+ Whisperphalt B	3
K2; SMA 6 (referenssi)	7	M2; Hiltti 3 + Hiltti 6	6
K3; SMA 6	5	M3; Viacodrän 11A + Viacobase 20B	7
K4; Whisperphalt T	7	M4; Hilja T + Hilja A II	4
K5; Novachip	6	M5; Hiltti 3 + Hiltti 6	7
Kokkola SMA 18	8	M6; Hilja K + Hilja A	6
Kokkola SMA 5	8	M7; Hilja OT	3
Kokkola SMA 8	8	M8; Whisperphalt T	6
		M9; SMA 6	6
		M10; Hilja OK	2
Kirkkonummi SMA 16	7	M11; SMA 16 (referenssi)	5
Kirkkonummi SMA 8	7	M12; SMA 6	5

Erittäin hyviä mittauspaikkoja (8/8) oli siis 14 kpl, hyviä (6-7/8) 20 kpl, tyydyttäviä (5/8) 4kpl ja huonoja (alle 4/8) 4kpl, joista kaikki olivat Meripellontiellä. Meripellontiellä osuuksia 7 ja 10 ei mitattu SPB-menetelmällä ensimmäisen vuoden jälkeen uudestaan.

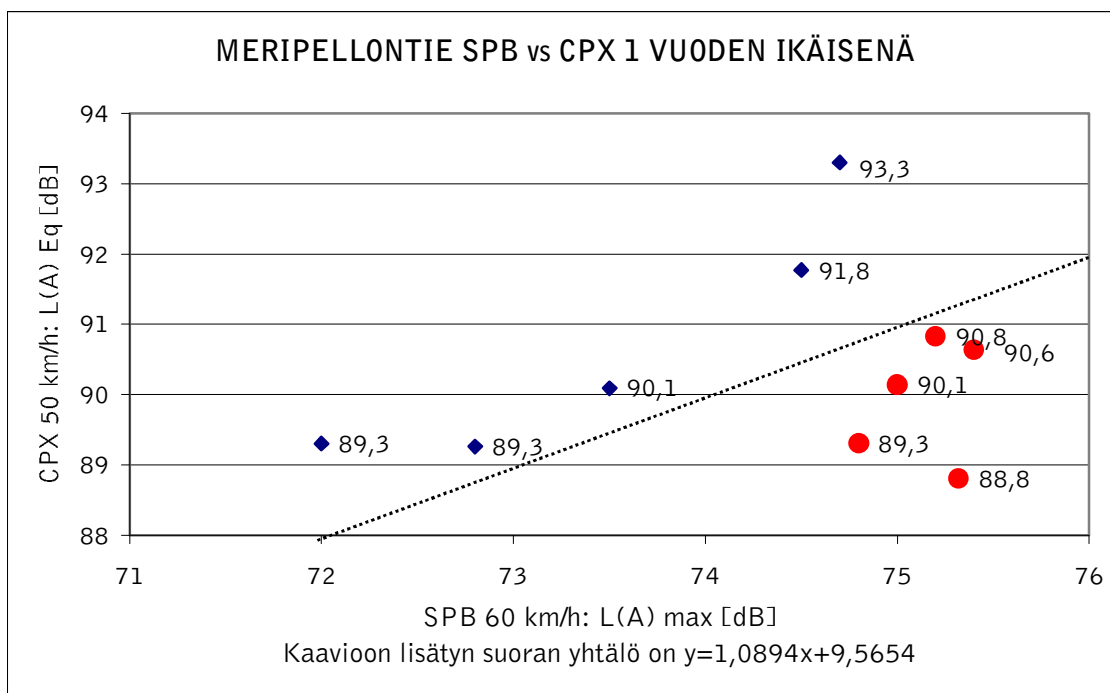
5.2 Lopputarkasteluista hylätyt mittaustulokset

5.2.1 Meripellontien SPB-tulokset

Meripellontien mittauksissa havaittiin, että koetien CPX- ja SPB-tulokset korreloivat keskenään muita kohteita selvästi huonommin. Vuoden ikäisenä menetelmien välinen korrelaatio oli ainostaan 0,3. Kohteena Meripellontie oli huono erityisesti SPB-mittausten tekemiseen, koska tien reunassa oli reunakivi. Reunakiven uskottiin toimivat eräänlaisena pienenä meluvallina, joka varsinaista ajokaistaa mitattaessa oli selvästi lähempänä auton rengasta kuin ohituskaistaa mitattaessa. Tällöin uskottiin myös, että se olisi mahdollisesti vaimentanut varsinaisen ajokaistan meluja enemmän kuin ohituskaistan.

Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin, että varsinaisen ajokaistan SPB-mittaustulokset olivatkin noin 2dB(A)max hiljaisempia kuin ohituskaistan tulokset laskettaessa SPB- ja CPX-tuloksien erotus.

Kuvaan 25 istutettu suora on tämän tutkimuksen yhteydessä saatu regressiosuora, jonka selitysaste R^2 on 0,75. Suora kuvaa CPX- ja SPB-menetelmien välistä yhteyttä ja se on sijoitettu kyseiseen kuvaan osoittamaan erittäin karkeasti ”totuutta”. Oletamme, että CPX- tulokset ovat Meripellontiellä kelvollisia, koska kohde ei poikkea CPX-menetelmän osalta muista HILJA-koekohteista. Kuvassa pisteiden korkeussuunta on siis ”oikein”. Ensinnäkin voimme havaita, että ohituskaistalta mitatut SPB-arvot ovat kaikki suurempia kuin varsinaiselta ajokaistalta mitatut SPB-tulokset eli ohituskaistan pisteet ovat kuvan oikeassa laidassa. Tämä tukee äsken esitettyä teoriaa reunakiven toiminnasta meluvallina.



Kuva 25. • Ohituskaistan ja ♦ varsinaisen ajokaistan SPB ja CPX-tulosten vertailu Meripellontiellä.

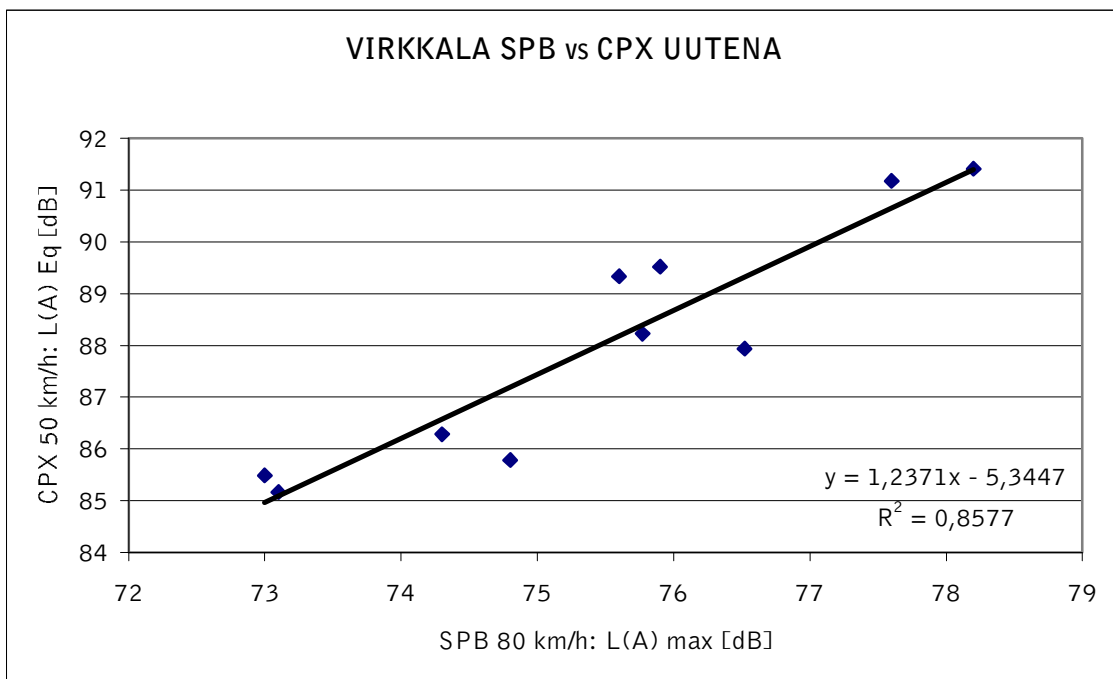
Toinen epäily kohdistui ohituskaistalla ajavien autojen ajokäyttäytymiseen. Ohituskaistaa ajettaessa ajoneuvot kiihdyttävät ja ajavat pienemmillä vaihteilla kuin varsinaisella ajokaistalla ajettaessa. Tämä ei ole aina selvästi korvin kuultavaa, mutta voi vaikuttaa mitattuun SPB- arvoon. Oheista kuvaa katsottaessa voidaan havaita, että ohituskaistalta mitatut SPB-arvot ovat selvästi kauempina ”laskennallisesta suorasta” kuin varsinaiselta ajokaistalta mitatut tulokset. Ohitus-

kaistalta mitatut SPB- tulokset ovat siis selvästi suurempia kuin arvioitu ”oikea tulos”. Tämä tulos tukisi edellä esitettyä arvelua.

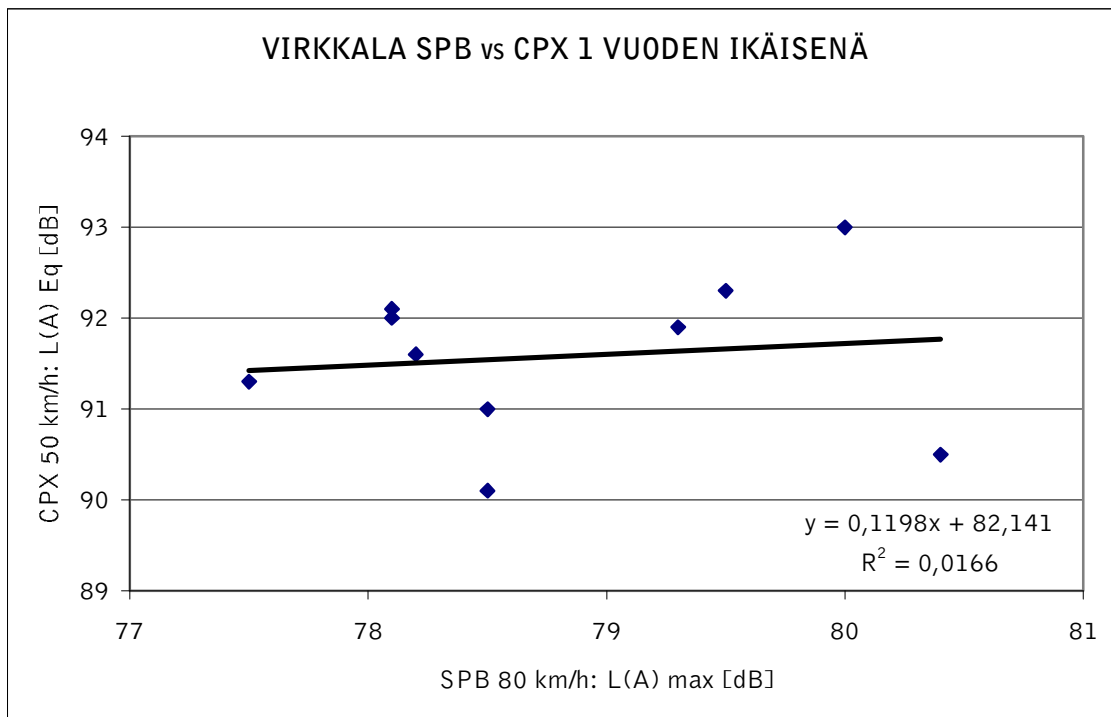
Meripellontien SPB-tuloksiin ja niiden oikeellisuuteen vaikuttaa todennäköisesti moni muukin seikka. Esimerkiksi ohituskaistaa mitattaessa on jouduttu mittaamaan varsinaisen ajokaistan yli. Osa varsinaisista ajokaistoista on päällystetty avoimella, melua absorboivalla asfaltilla, joka vähentää mitattua SPB-arvoa.

Meripellontie ei siis lähtökohtaisestikaan soveltunut SPB-mittauksien koetieksi. Jo ensimmäisten mittausten jälkeen päätettiin luopua osuuksien 7 ja 10 mittaamisesta SPB-menetelmällä, koska lyhyeltä koeosuudelta ei voitu löytää mittauksiin sopivaa paikkaa. Edellä esitetyn karkean pohdinnan tuloksena ei voida varmuudella sanoa mitkä seikat vaikuttivat Meripellontien SPB-tuloksiin ja kuinka paljon. Meripellontien SPB-tulokset päätettiin kuitenkin jättää huomiotta tutkimuksessa.

5.2.2 Virkkalan vuoden ikäiset SPB- ja CPX-tulokset



Kuva 26. Virkkalan koetien CPX- ja SPB- tulosten yhteys uutena. Eri menetelmillä saaduilla tuloksilla on selvä yhteys toisiinsa eli $R^2=0,8577$.



Kuva 27. Virkkalan koetien SPB- ja CPX- tulosten yhteys vuoden ikäisenä. Koetulokset eivät korreloi juurikaan keskenään eli $R^2=0,0166$

Kuvasta voidaan nähdä, että Virkkalan koekohteessa uutena mitatuilla CPX- ja SPB-tuloksilla on selvä yhteys toisiinsa. Vuoden ikäisenä mitattaessa tämä yhteys näyttää katoavan täysin. Tämä on ainut koekohde, jossa näin kävi. Virkkalan koekohde on molempien mittaustapojen kannalta hyvä kohde ja mittaukset sujuivat hyvin ja ne voitiin tehdä erinomaisissa oloissa.

Virkkalan koetien päällysteiden epäillään vaurioituneen ensimmäisen talven aikana kun itenäisyyspäivän paraati järjestettiin Lohjalla ja tiellä kulki silloin molempiin suuntiin 2 tela-alustaista Buk-vaunua (à 31 t) ja 10 kevyempää tela-alustaista panssarivaunua (à 12 t).

Päivän valossa on erittäin vaikeaa havaita päällysteen vaurioita. Katsottaessa koetietä pimeässä panssarivaunujen telaketjujen jättämät jäljet havaittiin selvästi tievalaistuksen ansiosta kevään 2003 profiilimittausten yhteydessä. Lokakuussa 2003 kyseisiä jälkiä ei enää silmämääräisesti havaittu.

Koska vuoden ikäisistä tuloksista on vaikea päätellä virheen aiheuttajaa, Virkkalan vuoden ikäiset tulokset jätetään kokonaan tarkastelun ulkopuolelle.

SPB-menetelmän kannalta tämä on erittäin valitettavaa, koska tämä oli ainut koekohde, jossa nopeusrajoitus ja tulosten normalisointinopeus olivat 80 km/h, joten tätä nopeustasoa ei voida tarkastella ollenkaan.

5.2.3 Riihiniityntien referenssiosuuksien SPB-tulokset

SPB-menetelmän standardin (ISO 11819-1:1997) mukaan normalisointinopeuden tulee olla alueen: mitattujen nopeuksien keskiarvo $\pm 1,5^*$ nopeuksien keskihajonta, sisällä. Riihiniityntien referenssiosuuksien 9 (SMA 8) ja 10 (AB 16) kohdalla tämä ehto ei täyty uutena eikä vuoden ikäisenäkään.

Käytetty normalisointinopeus oli 60 km/h ja saadut tulokset seuraavia:

Taulukko 18. Riihiniityntien osuuksien 9 ja 10 nopeuksien keskiarvot ja keskihajonnat

Osuus:	keskiarvo (km/h)		keskihajonta (km/h)	
	Uutena	1 v ikäisenä	Uutena	1 v ikäisenä
9	48,7	51,3	5,5	4,5
10	51,2	51,2	4,9	4,9

Muilla koeosuuksilla vastaavaa ongelmaa ei havaittu. Riihiniityntien referenssisuudet sijaitsevat hankalassa paikassa mittaamisen kannalta. Referenssisuus 9 päättyi T-risteykseen ja osuus 10 alkoi siitä. Tämän vuoksi autot joko kiihdyttivät nopeuttaan Riihiniityntielle kääntyttyään tai alensivat nopeuttaan risteykseen saapuessaan. Riihiniityntien referenssisuuksien SPB-tulokset jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

5.3 CPX- ja SPB-tulokset

5.3.1 Yhteenveto tuloksista

Taulukoissa 19 ja 20 on esitetty kaikki muut paitsi edellä esitettyjen perustelujen takia pois jätettävät SPB- ja CPX-mittausten tulokset.

Taulukko 19. Vuonna 2001 rakennettujen HILJA-koekohteiden SPB- ja CPX-mittausten tulokset [SPB: dB(A)_{max} ja CPX: dB(A)_{eq}]:

MERIPELLONTIE	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
1. Whisperphalt T	-	-	-	86,5	90,1	-
2. Hiltti 3	-	-	-	84,4	89,3	-
3. Viacodrän 11	-	-	-	87,7	91,8	91,0
4. Hilja T	-	-	-	86,1	90,6	-
5. Hiltti 3	-	-	-	82,8	89,3	88,6
6. Hilja K	-	-	-	85,3	90,1	-
7. Hilja OT	-	-	-	82,5	88,9	87,8
8. Whisperphalt T	-	-	-	84,3	90,8	-
9. SMA 6	-	-	-	84,3	88,8	88,4
10. Hilja OK	-	-	-	86,5	89,8	-
11. SMA 16	-	-	-	91,0	93,3	92,3
12. SMA 6	-	-	-	84,4	89,3	-
KAARINA	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
1. SMA 16 ref.	73,4	75,8	75,9	89,1	92,4	92,4
2. SMA 6 ref.	69,7	73,0	73,5	81,9	90,1	88,6
3. SMA 6	70,0	71,9	71,7	83,0	89,1	88,1
4. Whisperphalt T	70,5	73,3	73,3	82,8	91,0	90,5
5. Novachip 8	67,3	73,1	73,4	85,3	91,0	89,9
KOKKOLA	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
SMA 5	70,3	73,5	-	83,9	89,1	-
SMA 8	71,5	73,6	-	85,2	90,2	-
SMA 18	72,6	76,0	-	89,5	92,1	-

Taulukko 20. Vuonna 2002 rakennettujen HILJA-koekohteiden SPB- ja CPX-mittausten tulokset [SPB: dB(A)_{max} ja CPX: dB(A)_{eq}]:

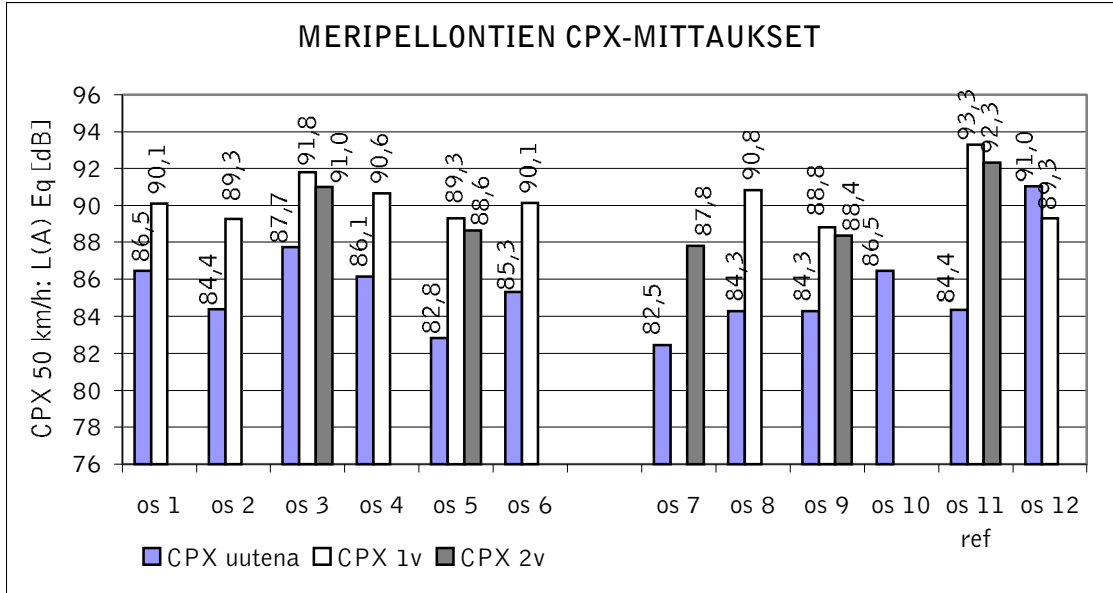
RIIHINIITYNTIE	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
1. Novachip 8	-	65,8	73,3	-	82,5	89,4
2. Whisperphalt T	-	67,1	69,8	-	83,8	87,8
3. Hiltti-mix	-	69,6	72,8	-	85,1	88,0
4. SMA 6	-	69,1	71,6	-	83,7	87,4
5. Viacodrän 8	-	68,5	73,6	-	86,1	88,5
6. Viacodrän 11	-	71,5	72,2	-	89,9	88,5
7. SHP-Y	-	66,6	69,0	-	80,4	87,1
8. SHP-K2	-	68,1	72,0	-	82,7	88,3
9. SMA 8	-	-	-	-	85,7	89,4
10. AB 16	-	-	-	-	87,3	90,7
VIRKKALA	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
1. AB 16	-	75,8	-	-	88,2	-
2. AB 16	-	76,5	-	-	87,9	-
3. Viacodrän 16	-	78,2	-	-	91,4	-
4. Viacodrän 11	-	75,9	-	-	89,5	-
5. Hiltti A	-	75,6	-	-	89,3	-
6. Hiltti F	-	74,3	-	-	86,3	-
7. SHP-KY4	-	73,1	-	-	85,2	-
8. SHP-K3	-	73,0	-	-	85,5	-
9. Novachip 8	-	74,8	-	-	85,8	-
10. Novachip 11	-	77,6	-	-	91,2	-
KIRKKONUMMI	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
SMA 16	-	80,0	83,4	-	91,7	91,8
SMA 8	-	78,6	81,1	-	86,7	90,1

Taulukko 21. Kolme vuotta vanhojen SMA 16 -pintojen ("ylimääräiset" referenssikohteet) melumittaustulokset [SPB: dB(A)_{max} ja CPX: dB(A)_{eq}]:

VANTAA	SPB 2001	SPB 2002	SPB 2003	CPX 2001	CPX 2002	CPX 2003
Länsimäki SMA 16	-	-	75,4	-	-	92,9
Tikkurila SMA 16	-	-	75,9	-	-	92,5

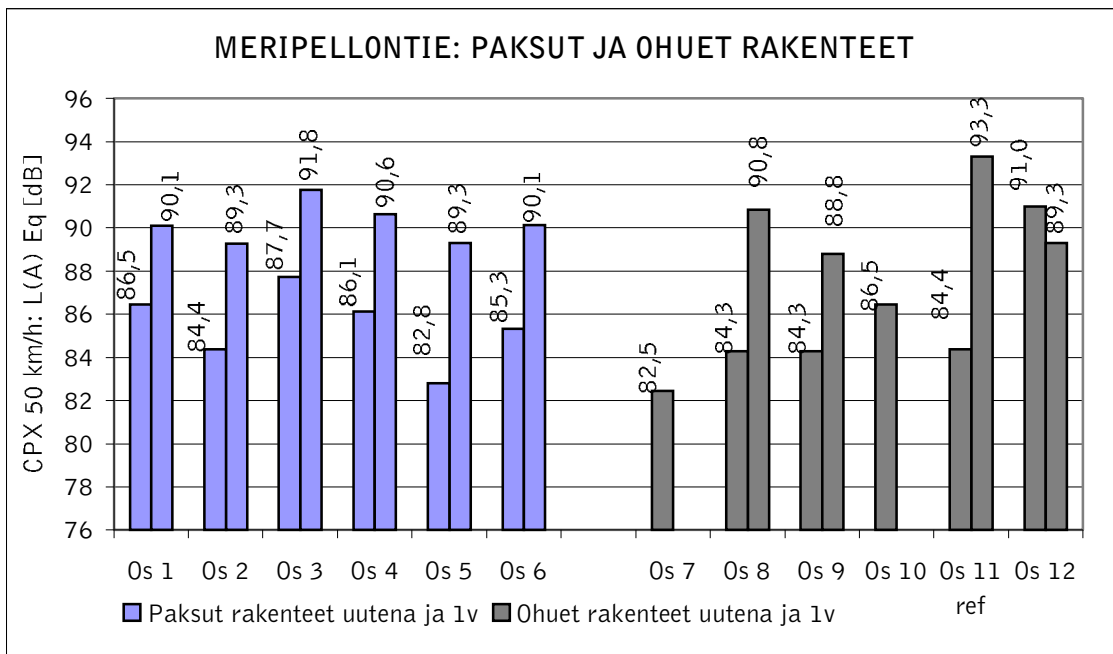
5.3.2 Vuonna 2001 rakennetut koetiet

Meripellontie, Helsinki



Kuva 28. Meripellontien melumittaustulokset vuosina 2001-2003

Ohuet ja paksut rakenteet



Kuva 29. Meripellontien paksujen (osuudet 1-6) ja ohuiden (osuudet 7-12) päällysterakenteiden CPX-menetelmällä saatujen melujen vertailu

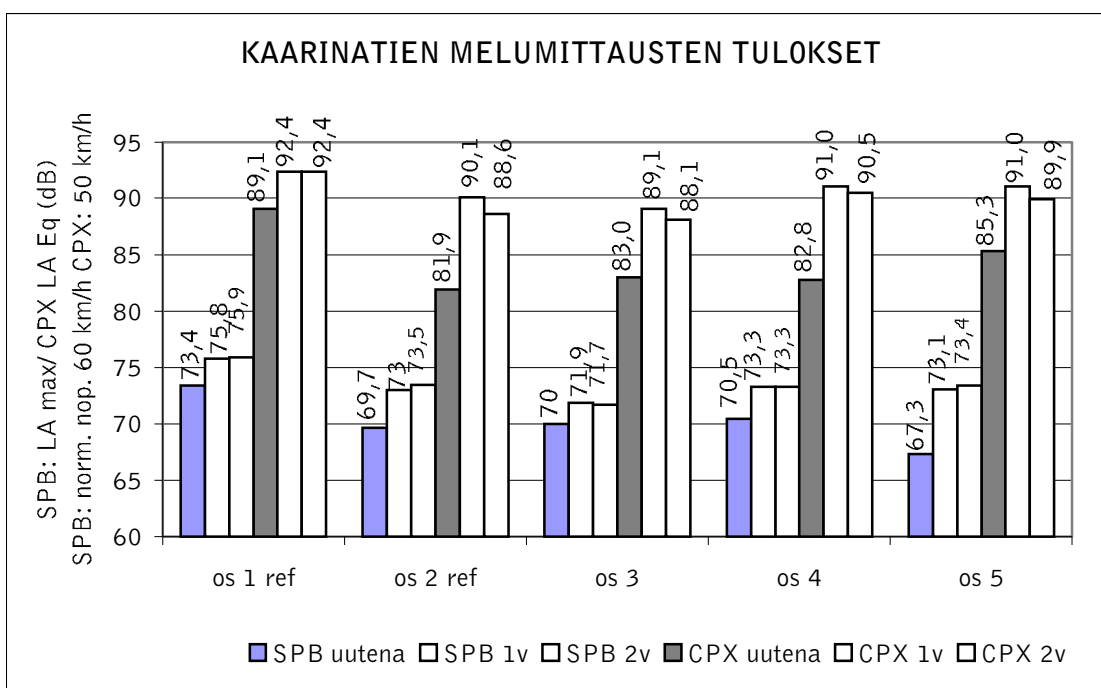
Meripellontiellä kokeiltiin myös paksuja ja ohuita rakenteita. Vuosaaresta Helsinkiin päin menevällä ajoradalla, eli osuuksilla 1-6, kokeiltiin kaksikerrosrakenteita, joissa alempi kerros oli paksuudeltaan 60 mm ja ylempi 30 mm. Helsingistä Vuosaareen mentäessä päällysteet olivat puolestaan 30 mm paksuja ja yksikerroksisia. Osuudella 11 on referenssipäällyste, SMA 16.

Hiljaiset päällysteet, joissa oli käytetty paksuja rakenteita, eivät ainakaan Meripellontiellä poikkea meluominaisuuksiltaan merkittävästi niistä hiljaisista päällysteistä, joiden rakenne oli ohut.

Taulukko 22. Meripellontien paksujen ja ohuiden päällysterakenteiden melujen ja niiden keskihajontojen vertailu

Rakenne	Uutena Keskiarvo (dB)/keskihajonta	Vuoden ikäisenä Keskiarvo (dB)/keskihajonta
Paksu	85,7/1,7	90,2/0,9
Ohut	84,4/1,4 (ilman ref. päällystettä)	89,5/0,9 (ilman ref. päällystettä)

Kaarinatie, Kaarina



Kuva 30. Kaarinatien melumittausten tulokset vuosilta 2001-2003

Kaarinatiellä mitattiin melut molemmilla menetelmillä myös ”toisena” kesänä. Yllättävää oli, että SPB-menetelmällä tulokset olivat melko lailla saman suuruisia kuin edellisenäkin kesänä. CPX-menetelmällä mitattuna tulokset olivat kuitenkin selvästi alempia (0,5-1,5 dB(A)eq) referenssiusutta eli SMA 16 -päällystettä lukuun ottamatta.

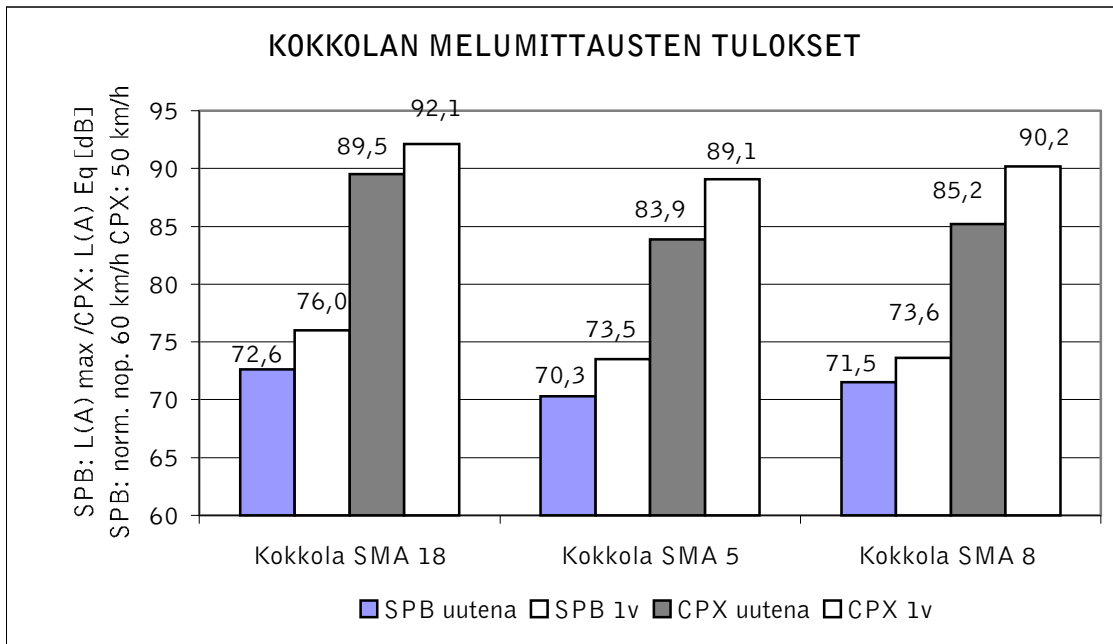
Vuonna 2002 SPB-mittaukset tehtiin 29.5. ilman lämpötilan ollessa 18 °C ja CPX-mittaukset 8.5 lämpötilan ollessa 23 °C. Vuonna 2003 vastaavat päivät ja lämpötilat olivat SPB: 8.7. (23°C) ja CPX: 20.5. (22°C). Sääolot ovat siis olleet mittausten aikana hyvin samanlaiset ja suuria lämpötilakorjauksia ei ole tarvittu. Tulosten eroa ei siis voida selittää tällä. CPX-menetelmällä mitatut ”2 vuoden” tulokset Meripellontiellä olivat myös alempia kuin edellisen vuoden tulokset. Tässä kohteessa ei mitattu SPB-tuloksia kahden vuoden ikäisiltä päällysteiltä.

CPX-menetelmällä mitataan ainoastaan rengasmelua. Tämän alentuessa olisi myös SPB-menetelmän pitänyt havaita tämä sillä SPB-menetelmässä mitataan rengasmelun lisäksi myös ajoneuvon moottorimelua ja ilmanvastuksesta aiheutuvaa melua. Näissä ei ole varmaankaan tapahtunut vuodessa suuria muutoksia, joten rengasmelun aletessa olisi myös kokonaismelun pitänyt alentua.

Tässä kohteessa SPB-tulokset ja osuuden 1 CPX-tulos käyttäytyvät ”oletuksen” mukaisesti. Syytä muihin CPX-tuloksiin ei ole löydetty, mutta niihin tulisi kuitenkin suhtautua varauksella.

NOTRA-työohjeen mukaan mitattaessa 105 desibelin äänenpainetasoa eri virhelähteillä voisi olla tuloksiin suurimmillaan seuraavanlaiset vaikutukset: mikkien asettelu 0,17 dB(A)eq, nopeus 0,046 dB(A)eq, virhe referenssiäänilähteessä 0,289 dB(A)eq. Nämä desibelilukemat vaativat jo hyvin karkeita virheitä, esimerkiksi mikkien asettelussa silmin nähtävää virhettä. Nämäkin virhelähteet eivät kuitenkaan riitä selittämään Kaarinatien CPX-tulosten alenemista edellä esitetyn suuruisina.

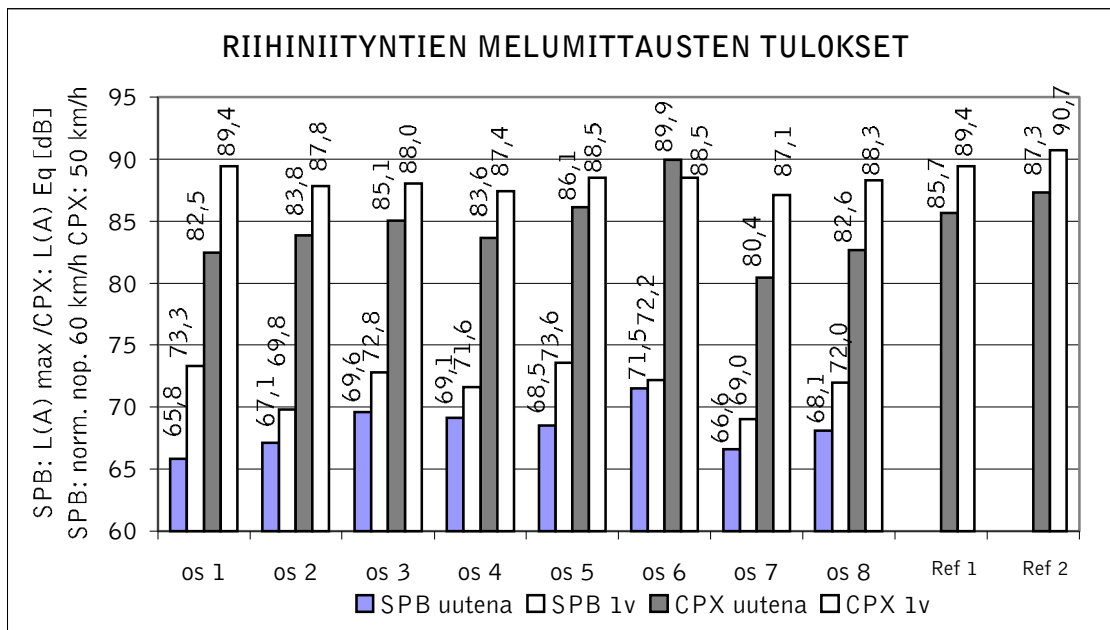
Pohjoinen ohikulkutie, Kokkola



Kuva 31. Kokkolan pohjoisen ohikulkutien melumittauskohteen mittaustulokset vuosilta 2001-2002.

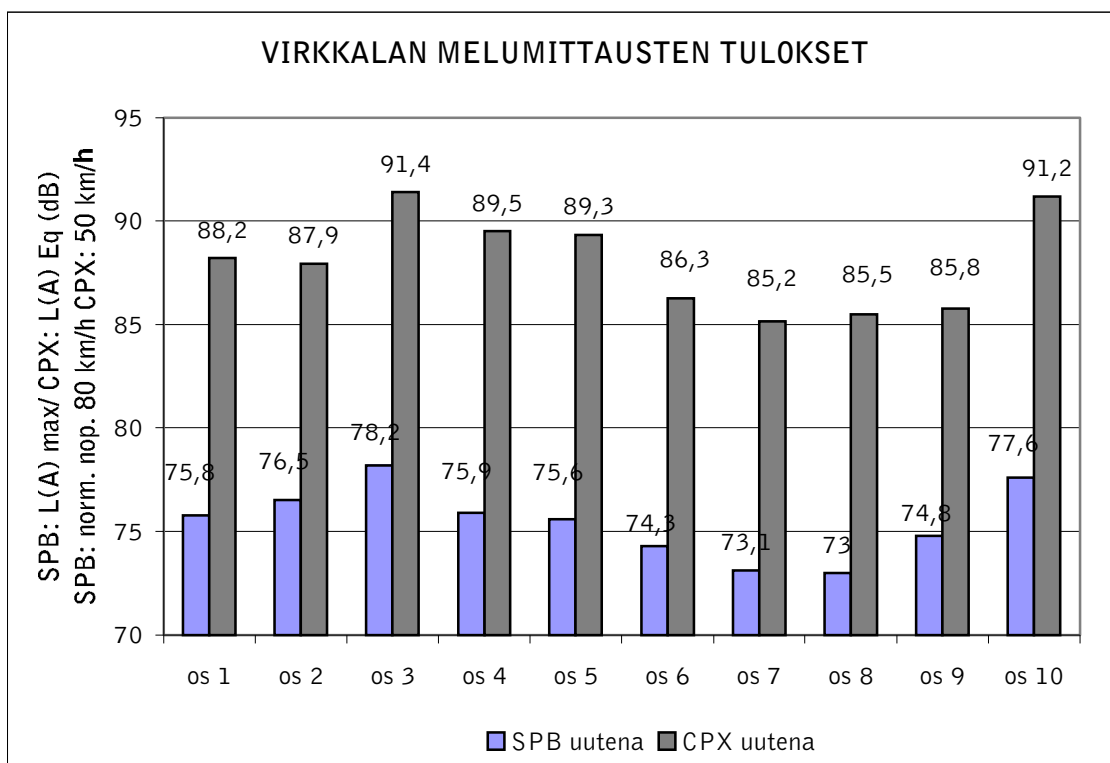
5.3.3 Vuonna 2002 rakennetut kohteet

Riihiniityntie, Espoo



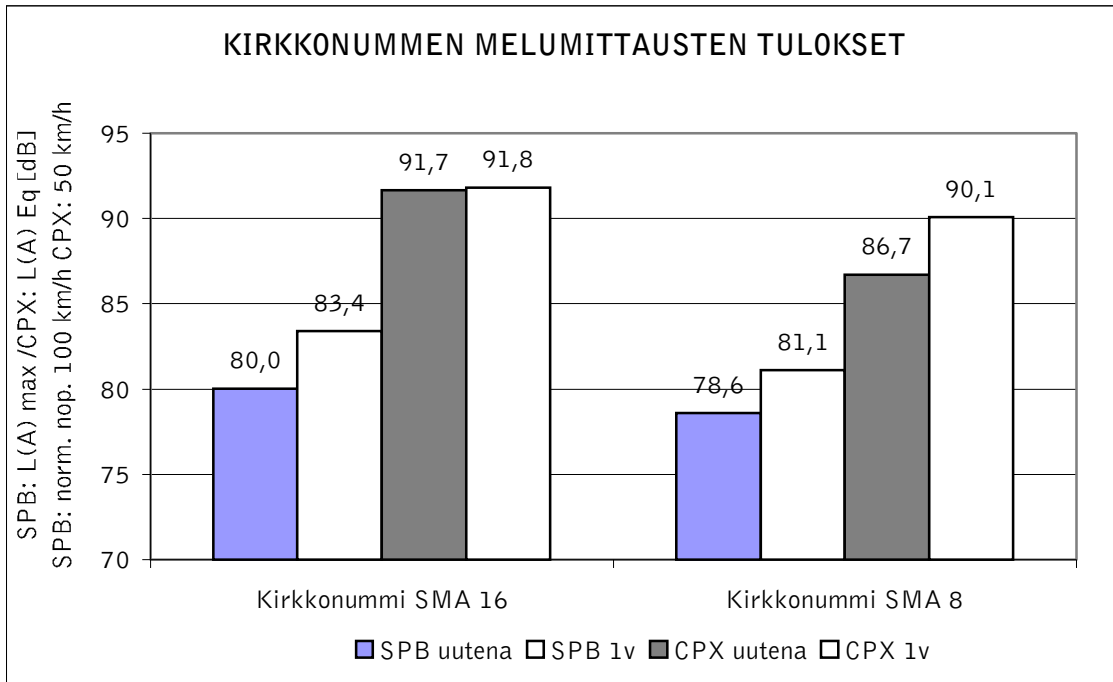
Kuva 32. Riihiniityntien melumittauks tulokset vuosilta 2002-2003

Vt 25, Virkkala



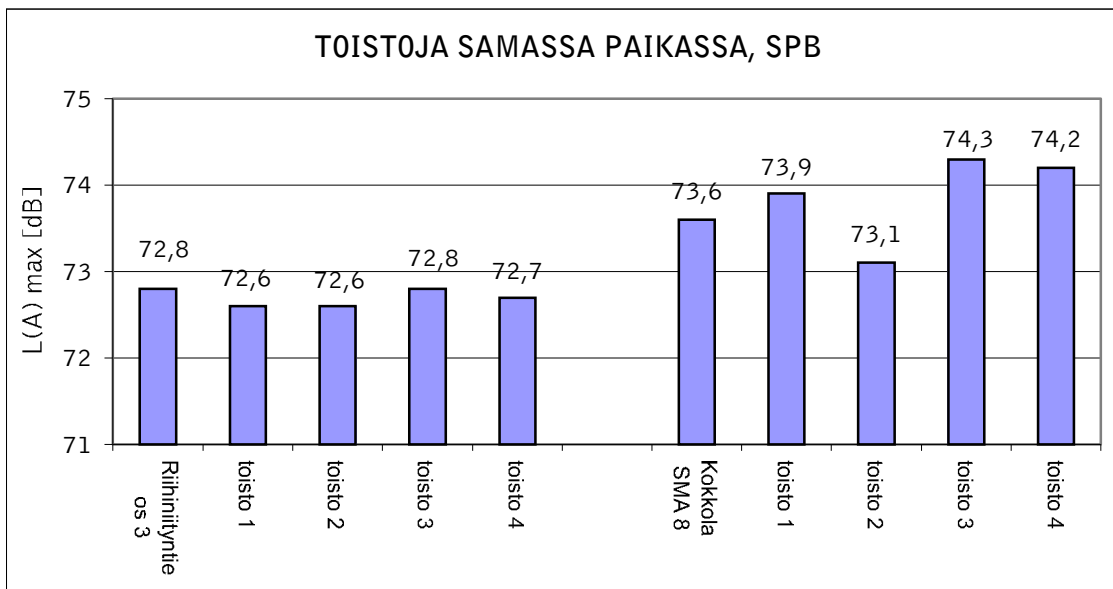
Kuva 33. Vt 25:n, Virkkala, melumittauks tulokset vuodelta 2002

Kt 51, Kirkkonummi



Kuva 34. Kantatie 51:n, Kirkkonummi, melumittaustulokset vuosilta 2002-2003

5.3.4 SPB- ja CPX-menetelmien toistettavuus



Kuva 35. Riihiniityntiellä ja Kokkolassa samassa paikassa mitattiin perusmittauksen lisäksi SPB:llä neljä toistomittausmittausmenetelmän toistettavuuden toteamiseksi SPB-menetelmällä mitattiin kaksi osuutta useampaan kertaan.

Riihiniityntien osuudella 3 (Hiltti-mix) tehtiin viisi mittaus kolmena eri päivänä. Riihiniityntiellä mittausten toistettavuus oli erinomainen. Viiden mittauksen keskiarvo oli 72,7 dB(A)max ja keskihajonta ainoastaan 0,1 dB(A)max.

Kokkolan SMA 8 -päällysteestä tehtiin viisi mittausta kolmena eri päivänä. Mitattu minimi oli 73,1 dB(A)max ja maksimi 74,3 dB(A)max. Mittausten keskiarvo oli 73,8 dB(A)max ja keskihajonta 0,5 dB(A)max. Tässä kohteessa mittauksen toistettavuus oli ainoastaan melko hyvä. Alhaisin mittaustulos eli 73,1 dB(A)max poikkesi muista tuloksista selvästi. Tällä arvolla, 73,1 dB(A)max, SMA 8 -päällyste oli hiljaisempi kuin SMA 5 -päällyste. Suurimmalla toistomittauksen arvolla, 74,3 dB(A)max, SMA 8 -päällyste olisi ollut selvästi SMA 5 -päällystettä meluisampi. Jos tämä tulos olisi jätetty pois, olisi neljän mittauksen keskiarvo ollut 74,0 dB(A)max ja keskihajonta 0,3 dB(A)max.

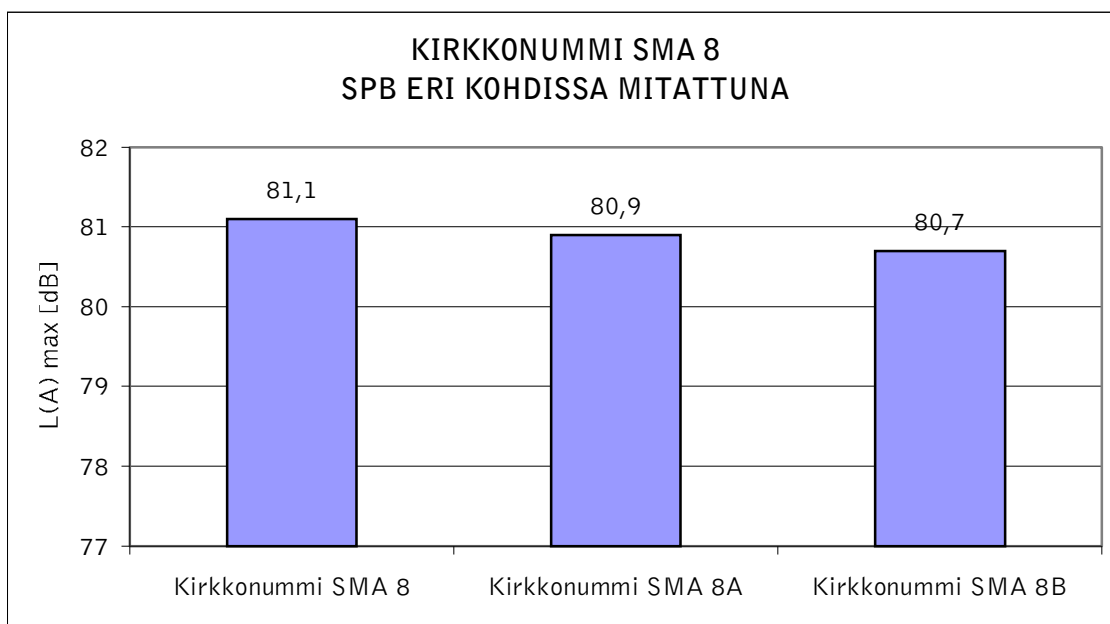
Viiden mittauksen otos on erittäin pieni, mutta jos 95 % luottamusväli lasketaan on se Riihiniityntiellä $\pm 0,1$ dB(A)max ja Kokkolassa $\pm 0,4$ dB(A)max. ISO 11819-1 -standardin mukaan SPB-menetelmän toistettavuus (ISO-5725-1) on parempi kuin 1dB(A)max. HILJA-projektissa mitataan standardista poiketen ainoastaan henkilöautoja. Standardin esimerkeissä raskaille ajoneuvoille lasketut keskihajonnat ovat suurempia kuin henkilöautoille. Voidaan siis olettaa, että toistettavuus olisi HILJA:n mittauksissa parempikin.

CPX-menetelmän kokonaisepävarmuus on NOTRA-mittausvaunun työhohjeen mukaan 105 desibelin äänenpainetasolla 0,76 dB(A)eq.

5.3.5 SPB- tulosten riippumattomuus mittauspaikasta

Sama päällyste, saman koekohteen eri kohdista mitattuna

HILJA-projektin yhteydessä tehdyt koeosuudet olivat pääsääntöisesti hyvin lyhyitä, joten samaa päällystettä ei voitu mitata SPB-menetelmällä eri paikoista. Yhdessä kohteessa tämä voitiin kuitenkin tehdä. Kirkkonummella (kt 51) mitattiin SMA 8 -päällyste kolmesta eri kohdasta niin, että mittauspaikat A ja B sijaitsivat eri puolilla perusmittauspaikkaa noin 200 metrin etäisyydellä. Kyseisessä kohdassa tie on suora, joten kaikki kolme mittauspaikkaa olivat oloiltaan tasavertaiset. Myös sääolot olivat kolmen eri mittauksen aikana melko samanlaiset.



Kuva 36. Kantatie 51:llä, Kirkkonummella, mitattiin SMA 8 -päällyste kolmesta eri kohdasta, jotta olisi saatu selville mittauspaikan vaihtamisen vaikutus SPB- tuloksiin.

Ero suurimman ja pienimmän mittaustuloksen välillä on noin 0,4 dB(A)max. Mittauspaikan valinta ei siis vaikuttanut suuresti mittaustuloksiin.

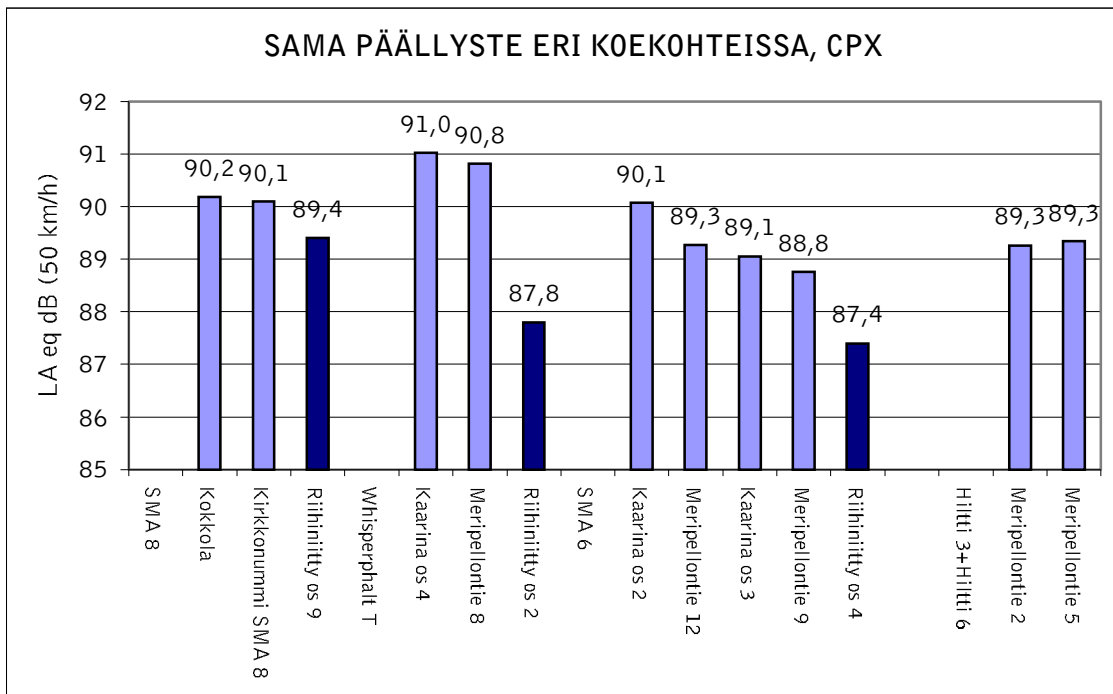
Sama päällyste eri koekohteissa

Seuraavaan kuvaan on koottu päällysteitä, joilla on sama ”nimi”, jonka perusteella niiden voitaisiin olettaa olevan samaa päällystettä. Arvot on mitattu yhden vuoden ikäisinä. Kaaviosta voidaan havaita, että SMA 8 -, Whisperphalt T -, Hiltti 3 - ja Hiltti 6 -päällysteet saavat saman suuruisia meluarvoja eri paikoissa Riihiniityntietä lukuun ottamatta.

SMA 6 -päällysteen kohdalla on enemmän hajontaa. Kaarinatieltä on mitattu kaksi eri SMA 6 -päällystettä, joiden melutulokset poikkeavat toisistaan. Näiden päällysteiden osalta on ainakin tiedossa, että käytetty kiviaines ei ole ollut samaa. Myös SMA 6 -päällysteistä Riihiniityntien päällyste on selvästi hiljaisiin.

Yksiselitteistä syytä sille, miksi kaikki päällysteet tuntuvat olevan hiljaisempia juuri Riihiniityntielle on vaikea keksiä. SPB-menetelmän mittaukset tukevat tätä havaintoa, joten kyseessä ei voi olla mittausvirhe. Syyksi on arvioitu mm sitä, että kyseisessä kohteessa on muita kohteita vähemmän liikennettä ja erityisesti raskasta liikennettä. On arvioitu myös, että Riihiniityntielle päällysteitä olisi jyrätty vähemmän kuin muissa kohteissa.

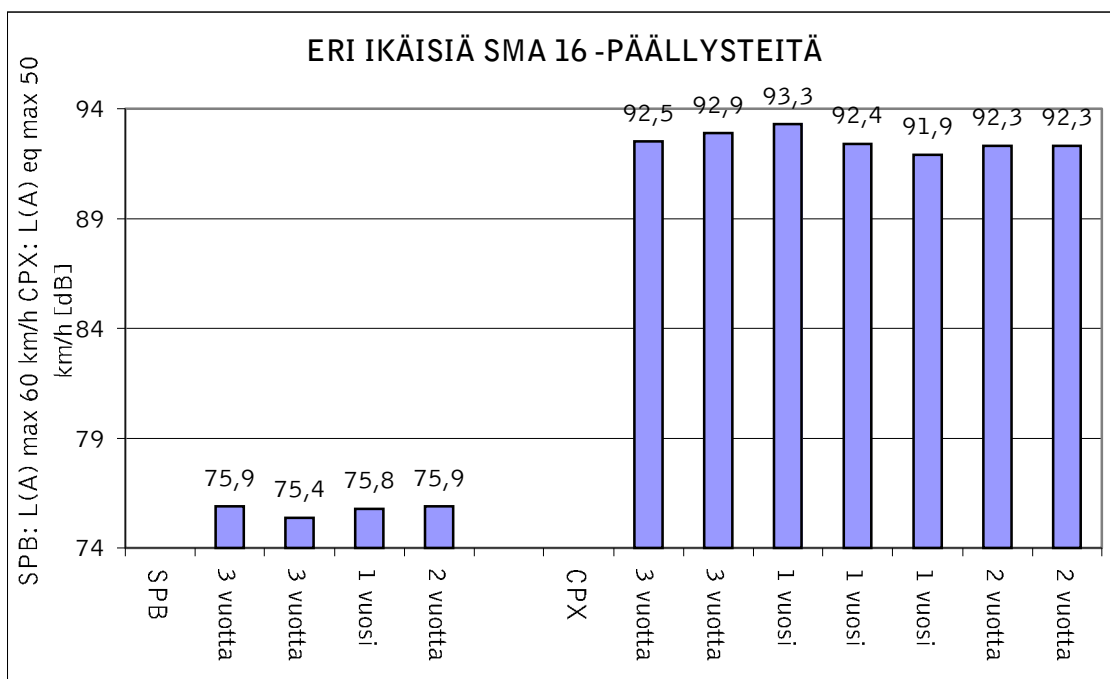
Yhden koekohteen päällysteiden melujen poikkeaminen näin selvästi vastaavien päällysteiden meluista muissa koekohteissa kiinnittää huomion siihen, että vertailtaessa ”saman nimistä” päällystettä eri kohteissa tulee suhteutuksen ja kiviaineksen lisäksi myös päällysteen levityksen, jyräyksen ja mahdollisesti myös käyttökohteen olla vertailukelpoisia. Tämä tulee muistaa, jos päällysteiden meluominaisuuksia käytetään referenssitarkoituksessa.



Kuva 37. Joissakin koekohteissa käytettiin samannimisiä päällysteitä. Kuvassa tarkastellaan mitattujen päällysteiden CPX-arvoja eri kohteissa. Riihiniityntielle päällysteet ovat hiljaisempia kuin muissa koekohteissa.

Referenssipäällyste SMA 16

SMA 16 -päällystettä on käytetty referenssipäällysteenä Meripellontiellä, Kaarinassa ja Kirkkonummella. Lisäksi mitattiin Tikkurilassa ja Länsimäessä kolme vuotta vanhoja päällysteitä. Eri ikäiset ja eri paikoissa mitatut SMA 16 -päällysteet antavat hyvin saman suuruiset tulokset. SPB-mittausten keskiarvo on 75,8 dB(A)max (keskihajonta 0,2 dB(A)max) ja CPX-mittausten 92,5 dB(A)eq (keskihajonta 0,5 dB(A)eq)



Kuva 38. SMA 16 -päällystettä käytettiin referenssinä useissa HILJA-koekohteissa (yhden ja kahden vuoden ikäiset tulokset). Lisäksi mitattiin kaksi kolme vuotta vanhaa SMA 16 -päällystettä.

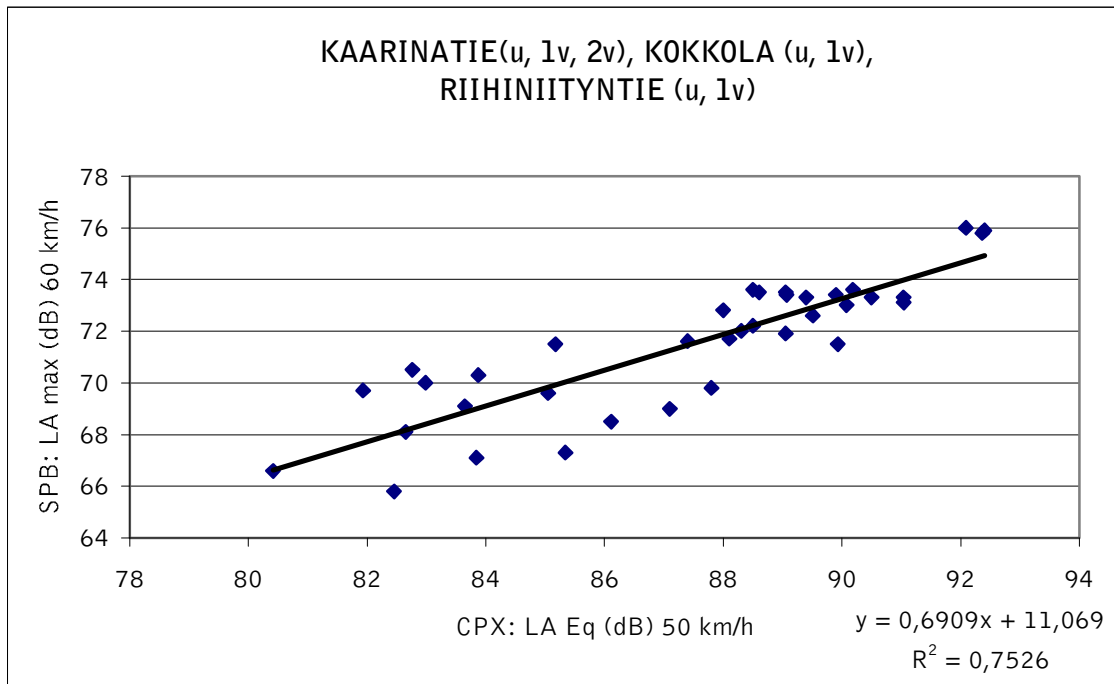
SPB-menetelmän standardissa (ISO 11819-1) suositellaan referenssipäällysteeksi joko AB 11-16 - tai SMA 11-16 -päällystettä. Tässä tutkimuksessa SMA 16 -päällystettä käytetään referenssipäällysteenä. SPB-menetelmässä SMA 16 -päällysteistä saatua keskiarvoa pyöristetään alaspäin ja arvona käytetään 75,5 dB(A)max. CPX-menetelmän referenssiarvona käytetään 92,5 dB(A)eq.

Referenssipäällysteistä saatu tulos tukee sitä näkemystä, että päällysteiden meluominaisuudet muuttuvat voimakkaasti ensimmäisen vuoden aikana, mutta sen jälkeen ne ”vakiintuvat”. SMA 16 -päällysteen kohdalla ei mikään mittauspaikoista anna selvästi muista poikkeavaa tulosta, kuten hiljaisten päällysteiden kohdalla Riihiniityntie teki. Tämä siitäkin huolimatta, että mittauspaikkojen nopeusrajoitukset ja liikennemäärät vaihtelivat suurestikin. Voi olla, etteivät SMA 16 -päällysteen meluominaisuudet ole aivan yhtä herkkiä muutoksille suhteutuksessa, kiivaiksessa tai levityksessä kuin hiljaisten päällysteiden ominaisuudet.

5.3.6 SPB- ja CPX-menetelmien välinen suhde

Seuraavaan tarkasteluun on otettu mukaan ne koekohteet, joissa SPB-tulokset on normalisoitu 60 km/h:ssa eli Riihiniityntie, Kaarina ja Kokkola. Näiltä koeosuuksilta tarkasteluun on otettu uusilta, vuoden ikäisiltä sekä Kaarinasta vielä kahdenkin vuoden ikäisiltä päällysteiltä mitatut SPB- ja CPX-tulokset. Tulospareja on tarkastelussa yhteensä 37.

Tällä aineistolla laskettu korrelaatio CPX ja SPB-tulosten välillä oli 0,87.



Kuva 39. SPB- ja CPX- menetelmien antamien tulosten keskinäinen yhteys on hyvä. Tarkasteluun on otettu mukaan ne koeosuudet, joiden SPB-normalisointinopeus oli 60 km/h ja joista oli saatavissa myös CPX-tulokset.

Samaan tulokseen on päädytty aiemminkin (Sandberg, Ejsmont J 2002). Kirjan mukaan SPB- ja CPX-tulokset korreloivat voimakkaasti keskenään erityisesti, jos SPB-menetelmässä tarkastellaan ainoastaan henkilöautoja ja CPX-menetelmässä käytetään renkaana ”kesärengasta”. HILJAJA-tutkimuksessa SPB-menetelmä on nimenomaan rajoittunut henkilöautoihin ja CPX-rengas on sileä.

SPB-mittauksissa mitataan kokonaismelua (ilmanvastuksesta aiheutuva melu sekä rengas- ja moottorimelu), jonka ihminen kuulee tienlaidassa seistessään. CPX-mittauksissa mitataan puolestaan ”absoluuttista” renkaan ja tienpinnan kosketuksesta syntyvää melua. Mitattaessa melua CPX-menetelmällä mitataan pelkkää rengasmelua. Mitattu rengasmelun aleneminen ei ole kokonaan korvin kuultavissa tien laidalla. Koska desibeliasteikko on logaritminen, eri melunlähteitä ei voi summata suoraan yhteen. CPX-tuloksissa ei 3 desibelin aleneminen siis tarkoita ohiajavan ajoneuvon aiheuttaman kuultavan melun alenemista samalla määrällä ainakaan alhaisilla nopeuksilla. Yli 50 km/h nopeudella rengasmelu on kuitenkin dominoiva melunlähde ja nopeuden kasvaessa rengasmelun dominoivuus kasvaa. Tutkimustuloksia siitä, paljonko CPX-tuloksen tulisi alentua eri nopeuksilla, jotta ohiajavan ajoneuvon aiheuttama tien laidassa kuultava melu alenisi 3 desibeliä ei ole tullut tähän mennessä esille.

Kuvaan sijoitetun regressiosuoran selitysaste R^2 on 0,75 eli 75 % SPB-tuloksista voidaan selittää CPX-tuloksen avulla. Toisin sanoen 75 % SPB-tuloksesta voidaan arvioida riippuvan rengasmelusta.

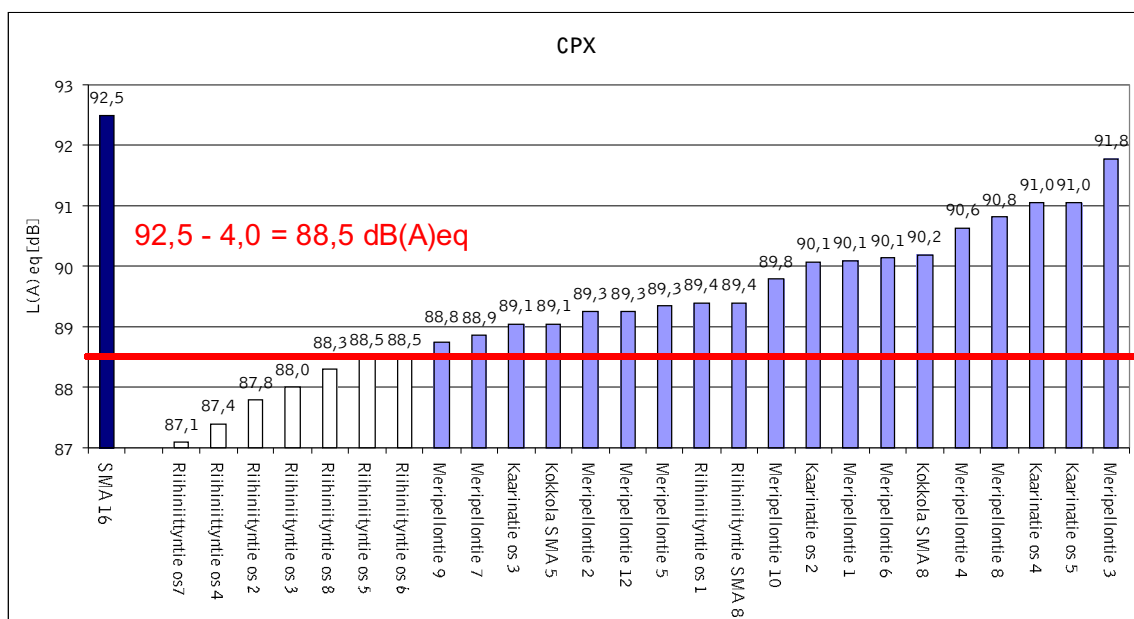
Erään määrittelyn mukaan päällystettä voidaan pitää hiljaisena, jos se on 3 desibeliä hiljaisempi kuin ”yleisesti käytetty” päällyste. Käytännössä tämä 3 desibeliä merkitsee desibelias- teikon logaritmisen luonteen takia mitatun äänenpainetason puolittumista.

Seuraavassa laskelmassa arvioidaan, mitä 3 desibelin aleneminen SPB-tuloksissa voisi tarkoittaa CPX-tuloksena. Jos kyseiseen kaavaan (kuva 39) $y = 0,6909x + 11,069$ sijoitetaan x:n paikalle CPX-arvo 87,0 dB(A)eq (kaikkien nopeusrajoitusalueella 50-60 km/h mitattujen CPX-arvojen

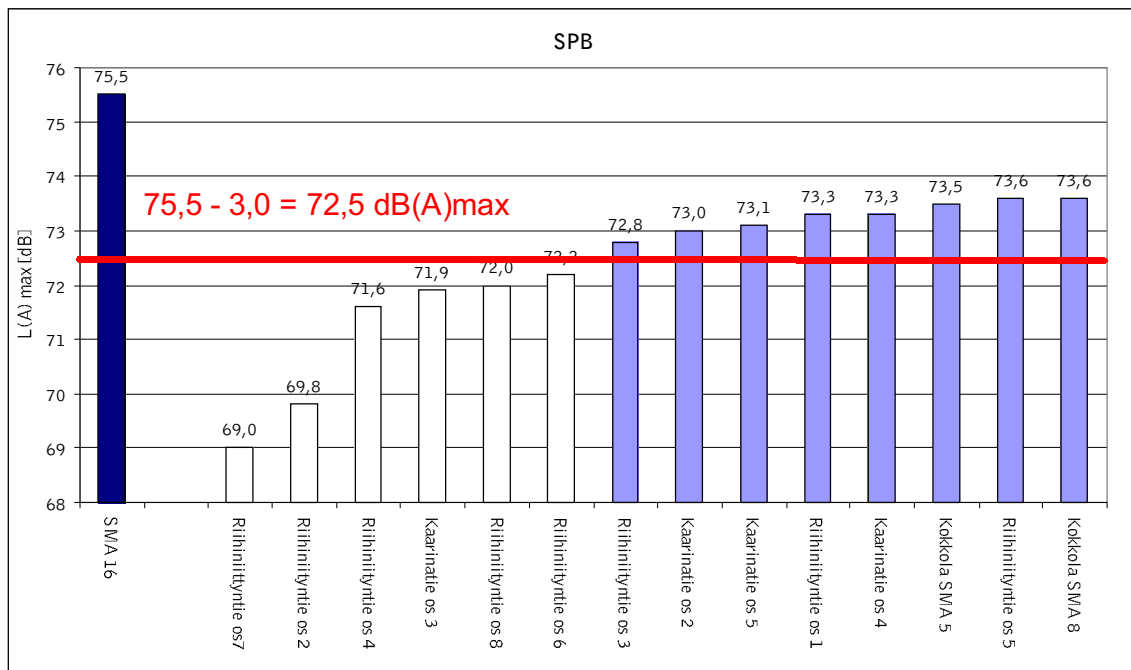
keskiarvo), saadaan SPB-arvoksi 71,2 dB(A)max. Jos tätä SPB-arvoa halutaan alentaa kolmella desibelillä, saadaan arvoksi 68,2 dB(A)max. Tämä luku sijoitetaan takaisin kaavaan y:n paikalle ja lasketaan toisinpäin x. Näin laskettuna saadaan y:ksi 82,7 dB(A)eq. 3 desibelin aleneminen SPB-arvossa merkitsee siis CPX-arvon alenemista 4,3 desibelillä (87,0-82,7 dB(A)eq).

5.4 Laatuvaatimusehdotus hiljaisen päällysteen meluominaisuudelle

Seuraavissa kuvissa on verrattu hiljaisia päällysteitä referenssipäällysteeseen (SMA 16). SPB-menetelmän kohdalla raja hiljaiselle päällysteelle asetettiin niin, että se on 3 dB(A)max hiljaisempi kuin referenssipäällyste SMA 16. CPX-menetelmän kohdalla hiljaisiksi päällysteeksi luokiteltiin 4 dB(A)eq referenssipäällystettä hiljaisemmat päällysteet.



Kuva 40. Hiljaisen päällysteen (yhden vuoden ikäinen päällyste) raja-arvo CPX-menetelmällä mitattuna tiellä, jonka nopeusrajoitus on 50 tai 60 km/h.



Kuva 41. Hiljaisen päällysteen (yhden vuoden ikäinen päällyste) raja-arvo SPB- menetelmällä mitattuna tiellä, jonka nopeusrajoitus on 50 tai 60 km/h.

Kyseisellä tarkastelutavalla ”hiljaisiksi” päällysteiksi saadaan seuraavat taulukossa 23 esitetyt päällysteet.

Taulukko 23. Kuvien 40 ja 41 perusteella hiljaisiksi päällysteiksi voidaan luokitella seuraavat päällysteet

SPB dB(A)max		CPX dB(A)eq	
Riihiniityntie os 7	69,0	Riihiniityntie os 7	87,1
Riihiniityntie os 2	69,8	Riihiniityntie os 4	87,4
Riihiniityntie os 4	71,6	Riihiniityntie os 2	87,8
Kaarina os 3	71,9	Riihiniityntie os 3	88,0
Riihiniityntie os 8	72,0	Riihiniityntie os 8	88,3
Riihiniityntie os 6	72,2	Riihiniityntie os 5	88,5
		Riihiniityntie os 6	88,5

CPX-menetelmä luokittelee ”hiljaisiksi” päällysteiksi ainoastaan Riihiniityntien koekohteita. Muutoin kohteet ovat samoja kuin SPB-menetelmällä mutta CPX-menetelmä löytää hiljaisiksi kohteiksi myös osuudet 3 ja 5, joita SPB-menetelmä ei pidä hiljaisina. Osuus 3 on kuitenkin melko lähellä SPB:n ”hiljainen päällyste” -rajaa mutta osuus 5 melko kaukana siitä. SPB-menetelmä löytää hiljaiseksi Kaarinan SMA 6 -osuuden CPX-menetelmästä poiketen. CPX-menetelmällä tämä kohde on kuitenkin melko lähellä ”hyväksymisrajaa”

SPB-standardin mukaan melutulokset normalisoidaan kolmeen eri nopeusluokkaan (50, 80 ja 110 km/h) Tässä tutkimuksessa alimpana normalisointinopeutena käytettiin 60 km/h. Tämän tutkimuksen puitteissa on SPB- ja CPX-menetelmillä saatu riittävästi mittaustuloksia ainoastaan sellaisilta teiltä, joiden nopeusrajoitus on ollut (50-) 60 km/h. Edellä esitetyt raja-arvoja hiljaisille päällysteille ei siis voida käyttää teillä, joiden nopeusrajoitukset ovat selvästi tätä suuremmat (joita ei voida normalisoida nopeuteen 60 km/h). Teillä, joiden nopeusrajoitukset ovat

alle 50 km/h, eivät melua vähentävät päällysteet ole tehokkaita, koska rengasmelu ei ole hallitseva melun lähde.

Taulukko 24. Raja-arvot hiljaisille päällysteille SPB- ja CPX- menetelmillä.

Nopeusrajoitusalue	Raja-arvo hiljaiselle päällysteelle	
	SPB (SMA 16 75,5 dB(A)max)	CPX (SMA 16, 92,5 dB(A)eq)
≤ 50 km/h	-	-
60 km/h	72,5 dB(A)max	88,5 dB(A)eq
80 km/h	-	-
≥ 100 km/h	-	-

5.4.1 Mittausajankohdan valinta

Mittaukset tehdään noin vuoden ikäiselle päällysteelle, ensimmäisen talven jälkeen

Tehtyjen CPX- ja SPB-mittausten perusteella on havaittu, että päällysteiden meluominaisuuksissa tapahtuu hyvinkin erilaisia muutoksia ensimmäisen talven aikana. Tämän jälkeen ne tuntuvat saavuttavan sen meluisuuden tason, joka on niille tyypillinen. Ensimmäisen vuoden aikana päällysteiden melua vähentävät ominaisuudet ovat siis erittäin hyviä ja tämän vuoden ajan hyödytään melun vähenemisestä erityisen paljon.

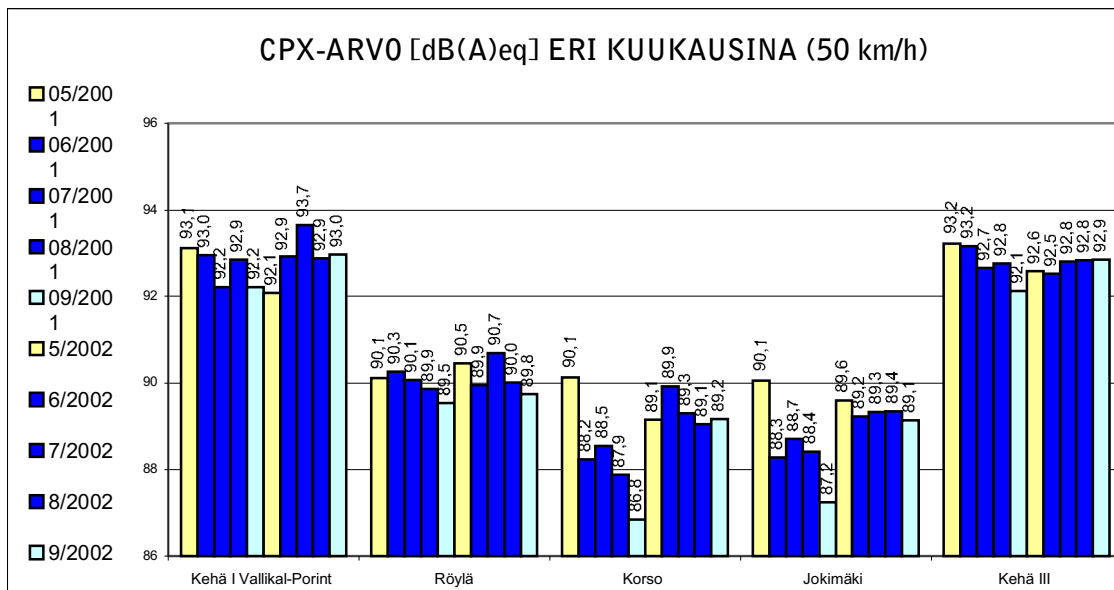
Hiljaisten päällysteiden meluominaisuudet tulisi kuitenkin mitata ensimmäisen talven jälkeen. Koska kyseessä on kontrollimittaus, jonka perusteella arvioidaan urakoitsijoiden työn jälkeä, on tämä mittausajankohta riskittömin. Mitä pidemmälle tätä mittausta siirretään, kasvaa riski siitä, että päällysteelle tapahtuu jotain, joka saattaisi vaikuttaa sen meluominaisuuksiin (esimerkiksi huolimaton talvikunnossapito, raskaita erikoiskuljetuksia kesäaikaan)

Mittaukset tulee tehdä kesä-, heinä- tai elokuun aikana.

Mittausten aikana ilman lämpötilan tulisi olla standardien (ISO 11819-1:1997 ja ISO/CD 11819-2) mukaan mahdollisimman lähellä referenssilämpötilaa eli +20°C. Seuraavassa taulukossa on ilmoitettu eri kuukausien keskimääräiset lämpötilat niin Etelä- kuin Pohjois-Suomesakin. Kesäkuukausien aikana ollaan Etelä-Suomessa melko lähellä referenssilämpötiloja ja Pohjois-Suomesakin vielä kohtalaisen lähellä. Varsinkin Pohjois-Suomessa touko- ja syyskuun lämpötilat poikkeavat selvästi kolmen kesäkuukauden lämpötiloista.

Taulukko 25. Keskimääräiset lämpötilat Helsingissä ja Sodankylässä (www.tilastokeskus.fi)

Kuukausi:	Helsinki								Sodankylä (Lappi)							
	1971–2000	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	1971–2000	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Tammikuu	-4,2	-5,2	-3,2	-1,0	-5,1	-2,2	-1,0	-2,7	-14,1	-8,8	-13,1	-12,5	-18,5	-12,2	-6,8	-14,4
Helmikuu	-4,9	-9,2	-2,5	-3,6	-6,3	-1,6	-6,8	-0,4	-12,7	-14,4	-12,4	-19,4	-14,0	-10,4	-15,5	-9,7
Maaliskuu	-1,5	-3,1	-0,3	-3,3	-1,1	-0,3	-2,7	0,8	-7,5	-6,6	-6,6	-11,0	-7,2	-6,1	-12,7	-8,0
Huhtikuu	3,3	2,7	2,4	2,7	5,4	5,8	5,0	5,3	-2,0	-2,6	-5,6	-4,2	0,1	-0,4	-1,7	2,0
Toukokuu	9,9	8,6	8,5	9,9	8,0	10,2	9,7	11,4	4,9	2,0	3,4	4,1	3,2	6,4	4,2	7,2
Kesäkuu	14,8	13,3	16,5	14,0	17,6	13,9	13,8	16,0	11,6	10,2	12,9	10,0	14,6	11,4	13,5	13,8
Heinäkuu	17,2	15,0	19,2	16,4	18,7	17,0	20,2	19,1	14,3	12,9	15,9	15,5	14,7	15,5	14,9	15,6
Elokuu	15,8	18,1	18,9	14,1	15,6	15,9	16,4	19,4	11,2	14,3	13,5	10,6	9,6	11,9	11,5	13,4
Syyskuu	10,9	9,8	11,7	12,2	13,4	10,5	12,8	11,6	5,8	5,2	7,5	6,0	8,7	6,9	8,1	5,3
Lokakuu	6,2	7,7	3,8	6,7	7,4	9,5	8,7	1,5	-0,6	1,9	-1,5	0,3	1,8	4,4	0,1	-2,5
Marraskuu	1,4	4,4	1,2	-2,1	3,4	5,5	0,9	-1,9	-7,7	-4,7	-7,9	-10,0	-3,4	-2,3	-8,0	-12,1
Joulukuu	-2,2	-3,9	-2,1	-1,4	-1,2	2,0	-6,0	-7,1	-12,4	-12,8	-10,0	-12,8	-14,9	-10,3	-14,1	-16,5



Kuva 42. Mobile-tutkimuksessa mitattuja CPX-arvoja päällysteille kahdelta vuodelta kuukauden välein (toukokuu-syyskuu). [lähde: TKK Auto- ja työkonetekniikan laboratorio]

Mobile-tutkimuksessa samaa päällystettä on mitattu NOTRA-vaunulla useana eri kuukautena kahden vuoden aikana. Päällysteet ovat olleet yli vuoden ikäisiä, mutta niiden tarkasta iästä ei ole tietoa. Mittauksista voidaan huomata, että tulokset vaihtelevat suurestikin ajanjaksolla touko-syyskuu vaikka tulokset ovatkin lämpötilakorjattuja.

Seuraavassa taulukossa on laskettu keskiarvot kesäkuukausien meluista ja näiden keskihajonnat sekä touko- ja syyskuun poikkeamat kesäkuukausien keskiarvosta.

Taulukko 26. Kuvan 42 mittaustulosten keskiarvot kesäkuukausien meluista ja näiden keskihajonnat sekä touko- ja syyskuun poikkeamat kesäkuukausien keskiarvosta

	Kesäkuukausien (6,7,8) keskiarvo LA eq (dB) (kaksi perättäistä vuotta)	Keskihajonta (6,7,8)	Toukokuu poikkeama kesäkuukausien keskiarvosta (dB)	Syyskuun poikkeama kesäkuukausien keskiarvosta (dB)
Kehä I SMA 11	92,7/ 93,2	0,4/0,4	0,4/ -1,1	-0,5/ -0,2
Röylä AB 12	90,1/90,2	0,2/0,4	0,04/ 0,2	-0,5/ -0,5
Korso SMA 6	88,2/89,4	0,3/0,5	1,9/ -0,3	-1,4/ -0,3
Jokimäki SMA 6	88,5/89,3	0,2/0,1	1,6/ 0,3	-1,2/ -0,2
Kehä III SMA18	92,9/92,7	0,3/0,2	0,4/ -0,1	-0,7/ 0,1

Kesäkuukausien aikana mitattujen tulosten keskihajonta vaihtelee kymmenessä mittauksessa välillä 0,1-0,5 dB(A)eq. Keskihajonta on tällöin maltillinen. Toukokuun ja syyskuun tulokset puolestaan poikkeavat suurestikin kesäkuukausien keskiarvosta. Esimerkiksi Korsossa toukokuun mittaustulos ensimmäisenä vuonna oli 1,9 dB(A)eq keskiarvoa suurempi ja syyskuun tulos puolestaan 1,4 dB(A)eq pienempi. Kesäkuukausien mittaustulosten keskihajonta kyseisessä kohteessa oli vain 0,3 dB(A)eq.

5.5 CB-menetelmä ja sisätilamittaukset

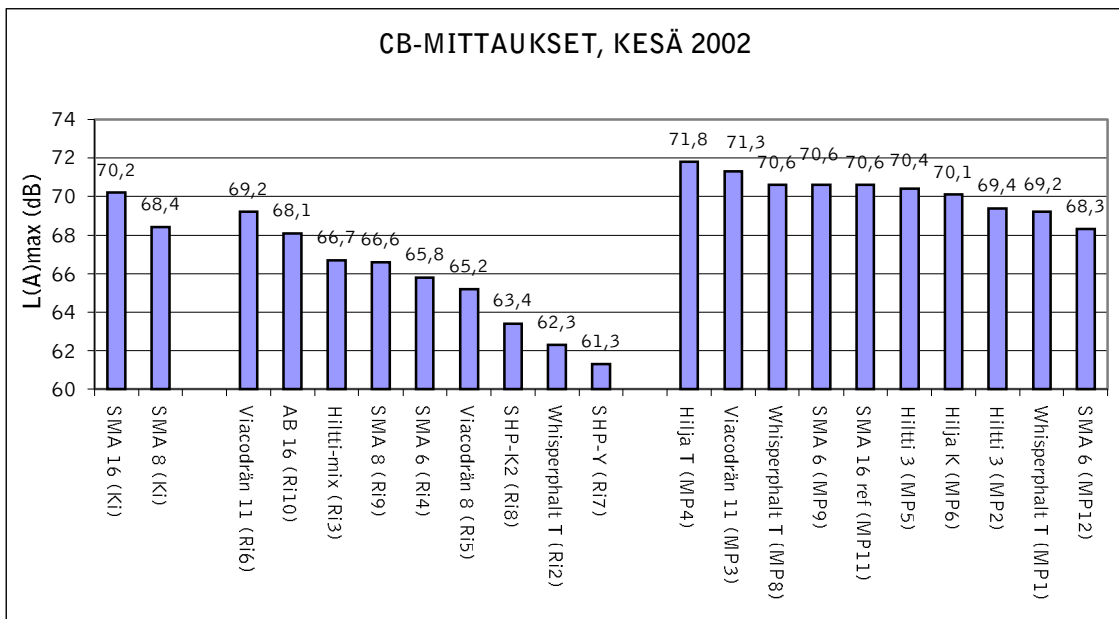
Yhden auton ohiajamelun (Coast-By-menetelmä) ja auton sisätilamelun mittausten tulokset on esitetty taulukossa 27 ja kuvissa 43 ja 44.

Taulukko 27. Yhden auton ohiajamelun (CB-menetelmä) ja auton sisätilamelun mittausten tulokset

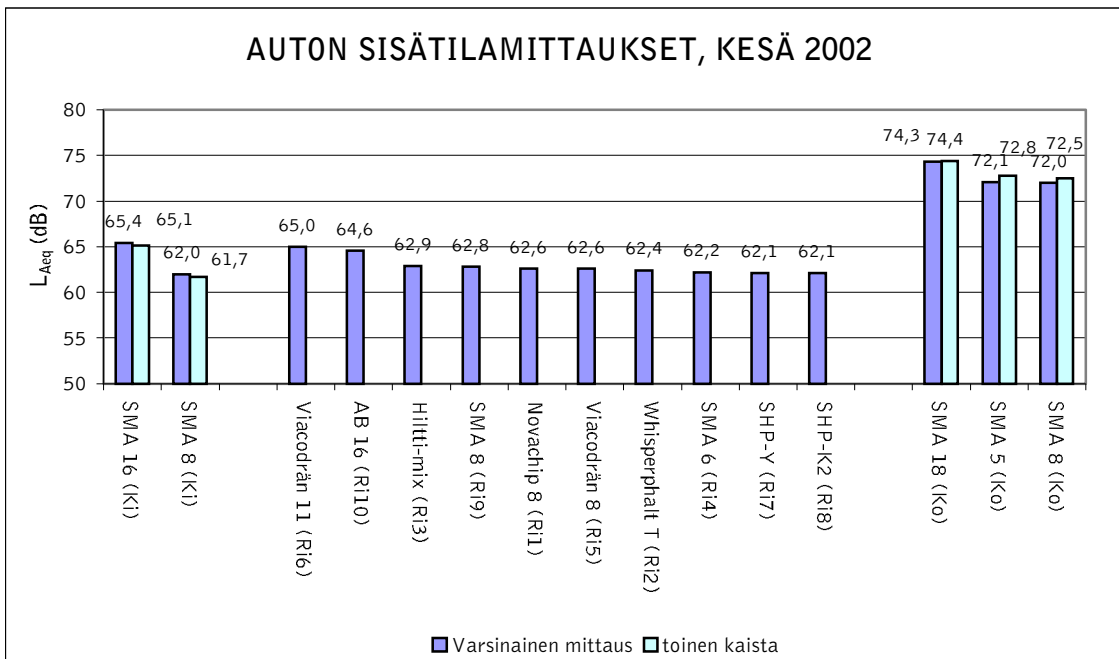
	CB-mittaus L(A)max (50 km/h)	Sisätilamittaus L(A)eq (50 km/h)
KIRKKONUMMI		
SMA 16	70,2	65,4/65,1 ¹
SMA 8	68,4	62/61,7 ¹
RIIHINIITYNTIE		
Os 1 / Novachip 8	.	62,6
Os 2 / Whisperphalt	62,3	62,4
Os 3 / Hiltti-mix	66,7	62,9
Os 4 / SMA 6	65,8	62,2
Os 5 / Viacodrän 8	65,2	62,6
Os 6 / Viacodrän 11	69,2	65
Os 7 / SHP-Y	61,3	62,1
Os 8 / SHP-K2	63,4	62,5
Os 9 / SMA 8 ref	66,6	62,8
Os 10 AB 16 ref	68,1	64,6
MERIPELLONTIE		
Os 1 / Whisperphalt T	69,2	.
Os 2 / Hiltti 3	69,4	.
Os 3 / Viacodrän 11	71,3	.
Os 4 / Hilja T	71,8	.
Os 5 / Hiltti 3	70,4	.
Os 6 / Hilja K	70,1	.
Os 8 / Whisperphalt T	70,6	.
Os 9 / SMA 6	70,6	.
Os 11 / SMA 16 ref	70,6	.
Os 12 / SMA 6	68,3	.
KOKKOLA		
SMA 18	.	74,3/74,7 ²
SMA 8	.	72/72,5 ²
SMA 5	.	72,1/72,8 ²

¹ ensimmäinen lukema on mitattu länteen menevältä kaistalta ja toinen itään

² ensimmäinen luku on mitattu etelään ja toinen pohjoiseen menevältä kaistalta



Kuva 43. HILJA-kohteissa tehtyjen yhden auton ohiajomelumittausten (CB-menetelmä) tulokset (Ki=Kirkkonummi, Ri=Riihiniityntie, MP=Meripellontie)



Kuva 44. HILJA-kohteissa tehtyjen auton sisättilamelun mittausten tulokset (Ki=Kirkkonummi, Ri=Riihiniityntie, Ko=Kokkola)

Koeteillä tehtyjen mittausten lisäksi mitattiin myös Teknillisen korkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratorion pihalle samana keväänä levitetyn asfalttipäällysteen meluja CB-menetelmällä. Mittauksissa pyrittiin tarkastelemaan sitä, miten ajoneuvon vaihtaminen ja erilaiset renkaat vaikuttavat tuloksiin samalla päällysteellä (taulukko 28).

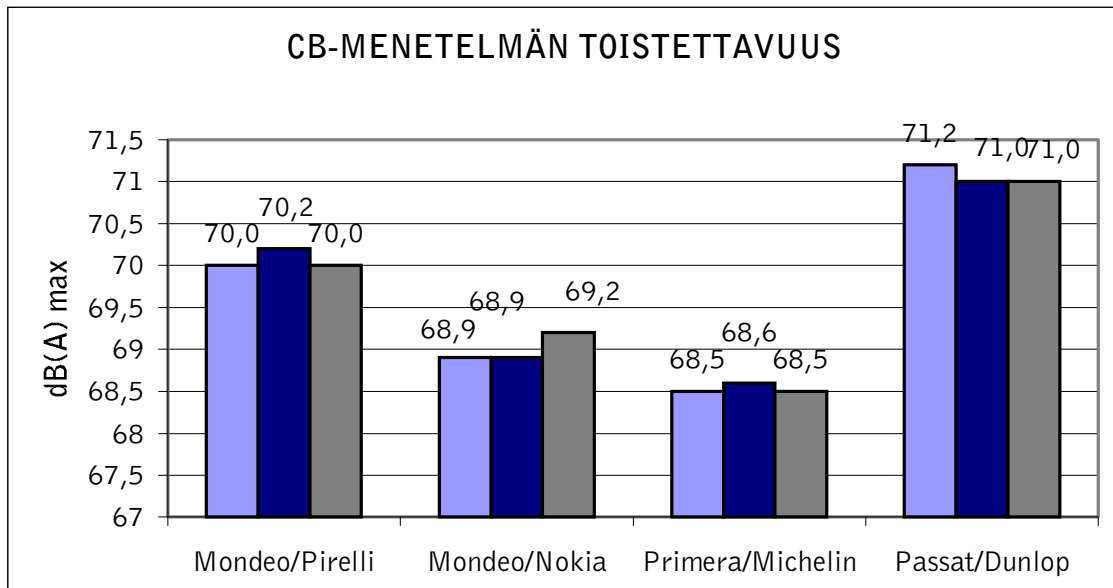
Käytetyt ajoneuvot ja renkaat olivat seuraavat:

Ford Mondeo 2,0 STW -00	Pirelli P6000 195/65 R15 88T
Ford Mondeo 2,0 STW -00	Nokia NRT 2 195/65/R15 91T (testirengas, käytetty vain yhden auton ohiajoissa)
Nissan Primera 1,6 LX STW -91	Michelin Energy 195/65 R 14 89T XT2 Radial XSE
VW Passat variant 4-motion 2,8 -02	Dunlop SP Sport 2000E 205/55 R16 91W

Taulukko 28. Otaniemessä tehdyt Cost-by -menetelmän toistomittaukset; kolme toistoa rengas-mallia kohden

Ajoneuvo:	L(A) max (dB) (50 km/h)	L(A) max (dB) keskiarvo	L(A) max (dB) keskihajonta
Ford Mondeo 2,0 STW (Nokia)	70,0 70,2 70,0	70,1	0,1
Ford Mondeo 2,0 STW (Pirelli)	68,9 68,9 69,2	69,0	0,1
Nissan Primera 1,6 LX STW (Michelin)	68,5 68,6 68,5	68,5	0,0
VW Passat variant 4-motion 2,8 (Dunlop)	71,2 71,0 71,0	71,1	0,1

Mittausten toistettavuus oli hyvä, neljässä eri mittaussarjassa (kussakin kolme toistoa) mittaustulosten keskihajonta oli ainoastaan 0-0,1 dB(A)max.



Kuva 45. CB-menetelmän toistettavuus; Otaniemessä tehtyjen CB-mittausten (3 rinnakkaista) tulokset eri automalleilla tai kesärengasmalleilla

Samaa päällystettä mitattaessa käytettävällä ajoneuvolla oli suuri vaikutus mittaustuloksiin (n. 2,7 dB(A)max). Samalla ajoneuvolla mitattaessa ja renkaita vaihdettaessa saatiin mittaustulosten eroksi noin 1 dB(A)max (kuva 45).

CB-menetelmän heikkoutena on se, että ajasta ja paikasta riippumattomissa testeissä mittausten menetelmän vakioiminen voi olla vaikeaa. Sama ongelma on myös sisätilamittauksissa. CB-menetelmässä (ISO/DIS 13325) referenssinopeutena käytetään 80 km/h ja mittaukset tehdään nopeuksilla 70-90 km/h. Näistä tuloksista normalisoidaan tulos referenssinopeuteen. Sisätilamittauksissa (ISO 5128/1980) testinopeudet ovat välillä 60-120 km/h. Molemmilla menetelmillä mittaaminen kohteissa, joiden nopeusrajoitus on alhainen tuottaisi vaikeuksia. Samoin mittaaminen kaupunkiooloissa ja lyhyillä osuuksilla olisi mahdotonta.

Menetelmiä ei voida suositella päällysteiden tilaamisen yhteydessä tehtäviksi kontrollimittausmenetelmiksi. CB-menetelmä on kuitenkin käyttökelpoinen esimerkiksi yritysten omassa tuotekehityksessä.

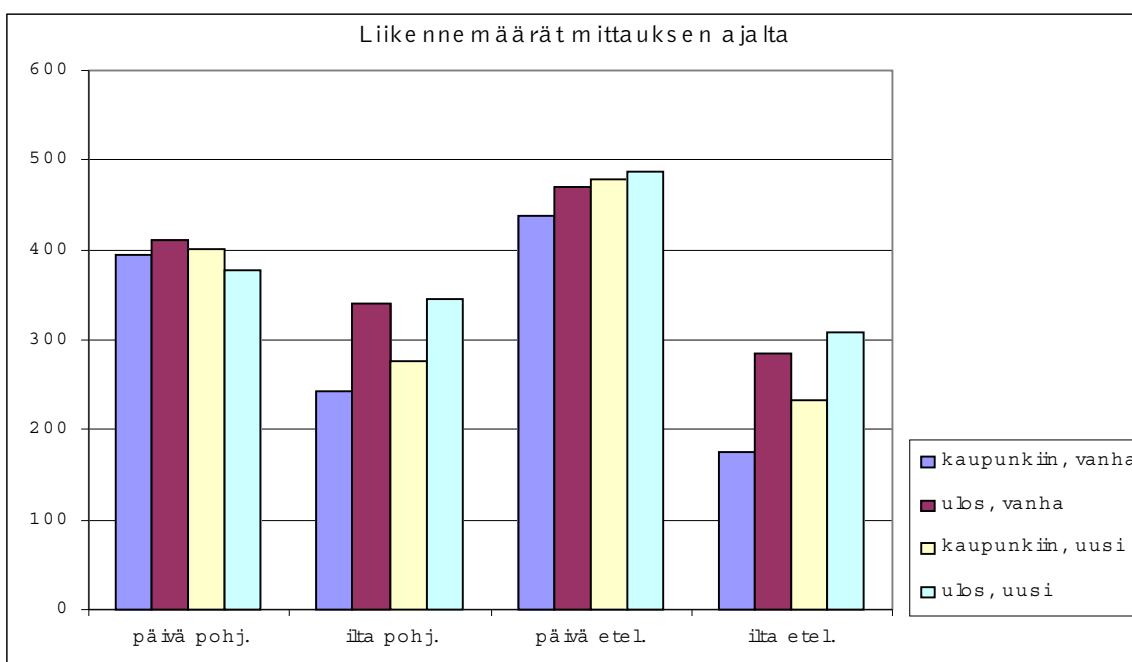
5.6 Sturenkadun melumittaukset

Päivämittauksilla (2 x 1h) pyrittiin saamaan normaali arkipäivän liikenne, joka sisältäisi myös raskaita ajoneuvoja. Iltamittauksilla taas pyrittiin saamaan vähäisempi ja sujuvampi liikenne, pääasiassa ilman raskaita ajoneuvoja ja hieman suuremmilla nopeuksilla.

Vanhan päällysteen mittaukset suoritettiin sään tähden kahdessa osassa eli päivämittaukset suoritettiin tiistaina 25.6.2002 10:00-13:00 ja iltamittaukset keskiviikkona 3.7.2002 klo 19:30-22:00. Uuden päällysteen mittaukset suoritettiin keskiviikkona 7.8.2002 10-12:30 ja 19:30-22:00. Mittaukset ovat vertailukelpoisia vain keskenään. Niiden vertaamiseen muihin melumittauksiin tulee suhtautua varauksella. Mittaustuloksiin ei ole tehty lämpötilakorjausta.

Taulukko 29. Sturenkadun mittauksen tarkat suoritusajankohdat.

vanha päällyste						uusi päällyste					
pohjoinen osuus			eteläinen osuus			pohjoinen (SMA 8)			eteläinen (SMA 18)		
klo	T °C	hum %	klo	T °C	hum %	klo	T °C	hum %	klo	T °C	hum %
10:05	25.3	35	12:20	22.5	30	9:55	20.9	58	11:40	21.9	53
10:35	27.1	30	12:35	22.5	31	9:25	24.0	53	12:10	22.5	45
11:20	23.2	34	13:25	21.9	30	10:00	23.5	52	12:35	22.9	47
19:45	21.1	50	21:15	19.7	51	19:30	24.0	50	20:52	21.5	56
20:15	20.4	50	21:45	19.4	53	20:00	22.2	57	20:22	21.2	58
20:45	20.0	49	22:15	18.4	56	20:30	22.8	54	21:55	21.5	53



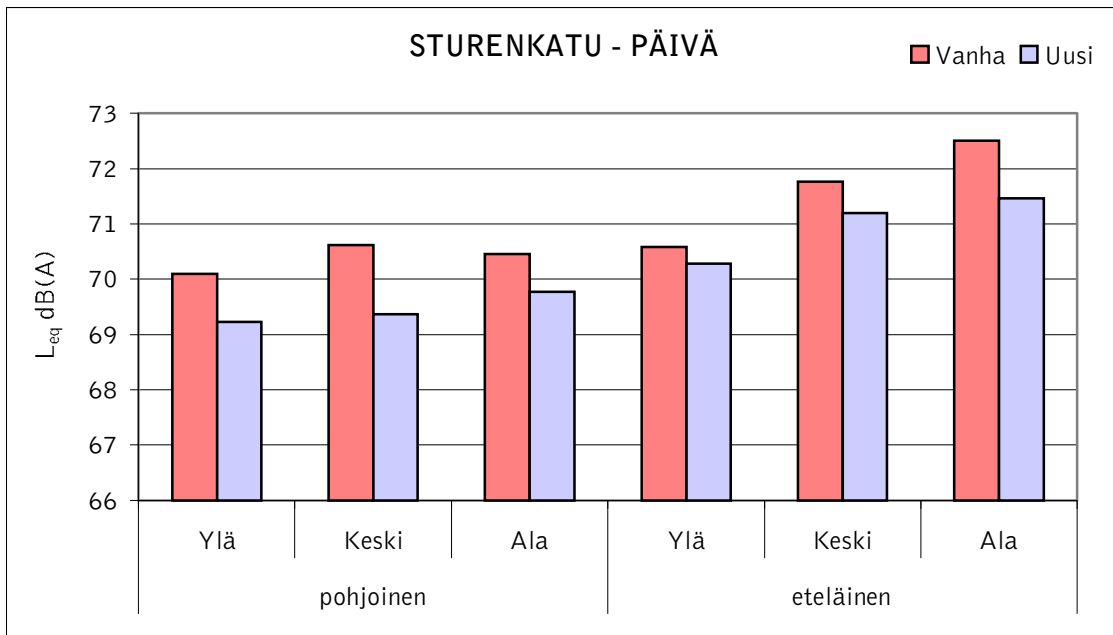
Kuva 46. Sturenkadun liikennemäärät mittauksen ajalta.

Lopputulokset ovat kuvissa 47 ja 48 ja taulukoissa 30 ja 31. Melutaso on suurin yleensä alamikrofonin kohdalla ja vaimenee ylöspäin mentäessä. Auton ohiajomelu näkyy selkeästi isompana piikkinä alamikrofonissa kuin ylempissä. Lopputuloksissa ero on kuitenkin pieni, sillä ilman liikennettä alamikrofoni on hiljaisin, koska ylempät mikrofonit mittaavat myös kauempaa kantautuvaa melua.

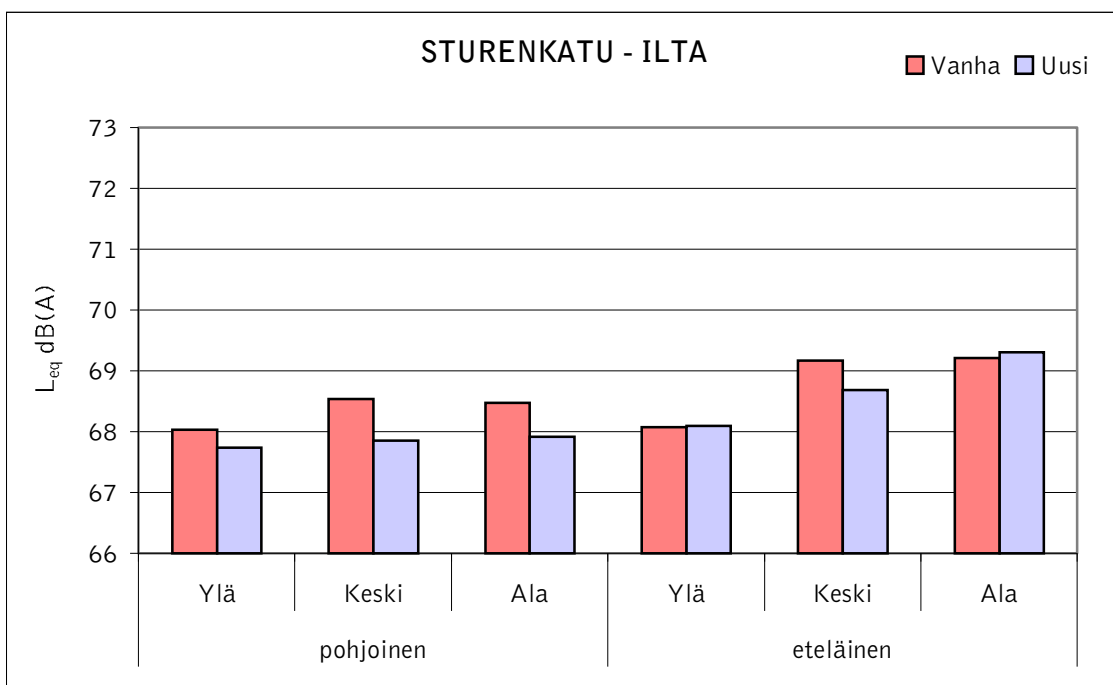
Päivä- ja iltamittauksien välinen tasoero johtuu eri liikennemääristä. Esimerkiksi vanhalla päällysteellä pohjoisessa mittauspisteessä ajoi päivällä 152+72 autoa enemmän ja melua oli 2,1 dB(A)eq enemmän. Eteläisessä mittauspisteessä ajoi päivällä 263+185 autoa enemmän ja melua oli 2,8 dB(A)eq enemmän.

Uuden päällysteen vaikutus on selkeästi nähtävissä. Iltamittauksissa on ajoneuvoja ollut liian vähän, joten niiden tuloksiin on suhtauduttava varauksella. Uuden ja vanhan päällysteen vertailua vaikeuttavat myös keskellä tietä sijaitsevat raitiovaunukiskot. Kiskojen lähialue on betonia, joten ohituskaistoja ajavien autojen vasemman puoleiset renkaat ovat kulkeneet betonin päällä jota ei ole uusittu tämän kokeilun yhteydessä. Eli vertailtaessa tilannetta ennen - jälkeen päällystyksen, osa kaistoista on pysynyt muuttumattomina.

Eteläinen mittauspaiikka on liikennevalojen ja linja-autopysäkin jälkeen alkavan ylämäen juurella. Eteläisessä mittauspaiikassa ajoneuvot (erityisesti pysäkiltä lähtevät linja-autot) kiihdyttivät voimakkaasti, mikä näkyy tuloksissa.



Kuva 47. Päivämittausten ennen-jälkeen -tulokset L_{eq} dB(A). Pohjoisen osuuden uusi päällyste SMA 8, eteläisen SMA 18. Kadun keskellä oleva betoninen raitiovaunujen osuus on pysynyt muuttumattomana eli kaikissa mittauksissa osa ajoneuvoista on ajanut vasemmat renkaat betonilla.



Kuva 48. Sturenkadun iltamittausten ennen-jälkeen-tulokset L_{eq} dB(A). Pohjoisen osuuden uusi päällyste SMA 8, eteläisen SMA 18. Kadun keskellä oleva betoninen raitiovaunujen osuus on pysynyt muuttumattomana eli kaikissa mittauksissa osa ajoneuvoista on ajanut vasemmat renkaat betonilla.

Taulukko 30. Sturenkadun päivämittaustulokset Leq dB(A).

	pohjoinen, uusi päällyste SMA 8			eteläinen, uusi päällyste SMA 18		
	ylä	keski	ala	ylä	keski	ala
vanha	70,0	70,5	70,3	70,5	71,6	72,4
uusi	69,2	69,3	69,6	70,2	70,9	71,1

Taulukko 31. Sturenkadun iltamittaustulokset Leq dB(A).

	pohjoinen, uusi päällyste SMA 8			eteläinen, uusi päällyste SMA 18		
	ylä	keski	ala	ylä	keski	ala
vanha	68,0	68,5	68,5	68,0	69,1	69,1
uusi	67,2	66,8	66,7	68,0	68,5	69,1

Yhteenvedon voidaan todeta, että uudet päällysteet ovat vanhaa päällystettä hiljaisempia. Pääosin tämä johtuu siitä, että uusista päällysteistä tulee vähemmän melua tuhannen hertsin paikkeilla, ja nämä taajuudet vaikuttavat eniten kokonaisäänitasoon. Melumittausten mukaan pohjoinen osuus on hiljaisempi, mutta verrattaessa vanhaan pintaan on eteläinen osuus hiljentynyt enemmän katutasossa uuden päällysteen myötä. Tämän tutkimuksen perusteella ei päällysteen vaikutus melun vaimenemiseen korkeussuunnassa ole niin merkittävä kuin katutasossa.

5.7 Melun leviämisen mittaukset

Melun leviämisen mittauksia tehtiin Kokkolassa (Kokkolan pohjoinen ohikulkutie, kappale 4.2.3) ja Kirkkonummella (kantatie 51, kappale 4.3.3). Kokkolan mittaukset ja niiden tulokset on esitetty Suomen Akustiikkakeskuksen raportissa 2612TR1 (liite 1).

Kirkkonummen mittauksista vastasi VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Mittaukset tehtiin 20. ja 22.5.2003. Niissä tarkasteltiin kolmea osuutta (noin 500 metriä) ja niihin nähden kohtisuorassa olevia mittalinjoja ja mittapisteitä etäisyyksillä 20, 40, 80, 160 metriä. Tuloksista voidaan nähdä, etteivät keskiäänitasot poikenneet hiljaisen päällysteen (SMA 8) kohdalla juurikaan referenssiosuudesta (SMA 16) ja osuudesta, jolla oli uusimaton päällyste. Kahdenkymmenen metrin etäisyydellä keskiäänitasot olivat kaikilla mittalinjoilla noin 71 dB(A). Etäisyyden kaksinkertaistuessa melu vaimeni aluksi 4...7 dB(A), kuitenkin arvosta 80 metriä arvoon 160 metriä vaimeneminen oli enää 2...4 dB(A). Suurimmat erot osuuksien kesken havaittiin etäisyyksillä 40 ja 80 metriä, joilla keskimääräismelutasot hiljaisen päällysteen osuudella olivat 1...2 dB(A) muita kahta osuutta pienemmät. Taajuusjakautumien perusteella mitattu melu on koostunut lähinnä moottorimelusta sekä tienpinnan ja renkaiden kosketuksessa syntyvästä melusta. Lähellä tietä äänitasoissa ei ole eroja. Lähellä tietä rengasmelu on hallitseva ja näin hiljaisen päällysteen vaikutus on jäänyt vähäiseksi. Kauempana olleissa mittapisteissä moottorimelun osuus kokonaismelusta on kasvanut, joskin rengasmelu on edelleen hallitseva melulähde. (Lähde: Saarinen A, Sipari P; Hilja-projektin liikennemelumittaukset kantatie 51 Kirkkonummella; VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tutkimuslaskelma nro RTE2081/03)

Sekä Kokkolan että Kirkkonummen melun leviämismittausten tuloksia on hyödynnetty Suomen Akustiikkakeskuksen raporteissa 2612TR2 ja 2612TR3 (liitteet 2 ja 3), jotka käsittelevät hiljaisen päällysteen huomioon ottoa melunlaskentamalleissa.

5.8 Kulumismittaukset

5.8.1 Yleistä

Koosuukien nastarengaskulumista ja deformatumista seurattiin syksyllä ja keväällä tehdyin profiilimittauksin kevääseen 2003 asti. Poikkeus menettelystä tehtiin Meripellontien kohdalla. Koetien rakennusajankohdan (kesä-/heinäkuu) katsottiin edellyttävän mittauksia sekä kesällä että syksyllä 2001 alku-uran määrittämiseksi. Niinpä vuonna 2001 rakennetuista koeteistä Meripellontie mitattiin yhteensä viisi kertaa ja Kaarinatie sekä Kokkolan pohjoinen ohikulkutie yhteensä neljä kertaa. Vuonna 2002 rakennetut koetiet, Virkkala ja Riihiniityntie, mitattiin ainoastaan syksyllä 2002 ja keväällä 2003. Koeteiden mittausajankohdat on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Profiilimittausten ajankohdat

Koetie:	Profiilimittausten ajankohdat:				
	kesä 2001	syksy 2001	kevät 2002	syksy 2002	kevät 2003
Meripellontie	2.-3.7.	24.-25.10.	6.-7.5.	23.-24.9.	10.-11.6
	11.-12.7.				
Kaarina		21.-22.8.	13.-14.5.	23.-24.10.	22.-23.5
Kokkola		28.8.	20.5.	1.10.	27.5
Riihiniityntie				25.-26.9.	5.5
Virkkala				1.-2.10.	8.-9.5
				22.10.	

Meripellontien kesän 2001 ja Virkkalan syksyn 2002 mittaukset on tehty kahdessa osassa työtekniisten syiden vuoksi. Yksittäisiä poikkeuksia (Kokkola 1.10.2002 ja 27.5.2003) lukuun ottamatta kaikki mittaukset on tehty illalla/yöllä.

5.8.2 Meripellontie

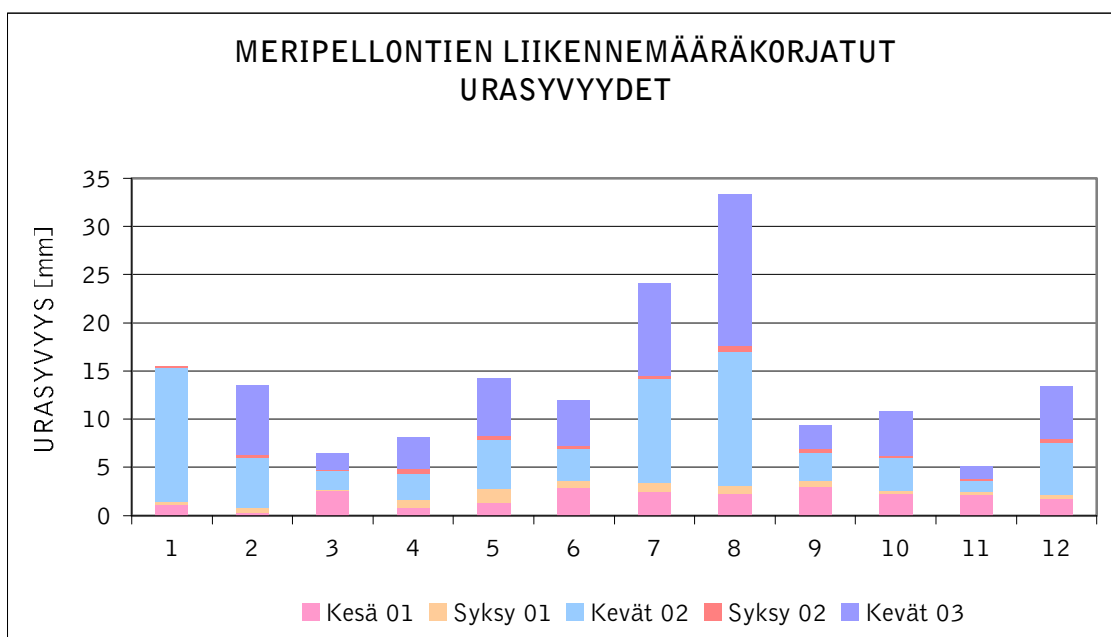
Meripellontien todelliset ja osuuksien liikennemäärillä vertailukelpoisiksi korjatut urasyvytydet on esitetty taulukoissa 33 ja 34 sekä kuvissa 49 ja 50. Osuus 1 oli talvella 2002/2003 kulunut osittain puhki, eikä sitä mitattu enää keväällä 2003.

Taulukko 33. Meripellontien todelliset urasyvytydet

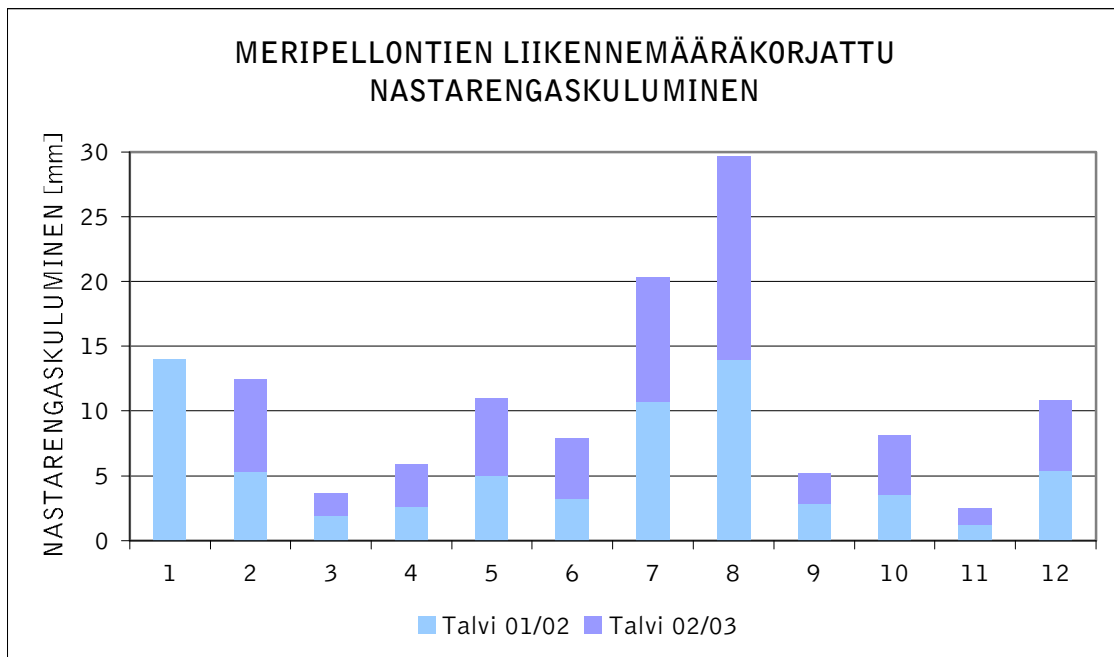
Meripellontien todelliset urasyvytydet [mm]						
Osuus:	Tuote:	kesä 01	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	Whisperphalt T	1,0	1,3	13,3	13,4	puhki
2	Hiltti 3	0,3	0,8	6,0	6,2	13,2
3	Viacodrän 11A	2,6	2,8	4,8	4,9	6,6
4	Hilja T	0,6	1,1	2,9	3,3	5,5
5	Hiltti 3	0,9	1,9	5,2	5,5	9,4
6	Hilja K	1,7	2,1	3,9	4,2	6,8
7	Hilja OT	1,7	2,3	9,5	9,7	16,1
8	Whisperphalt T	1,4	1,9	10,6	10,9	20,6
9	SMA 6	1,7	2,0	3,7	4,0	5,3
10	Hilja OK	2,3	2,5	5,9	6,1	10,5
11	SMA 16 ref.	2,2	2,4	3,7	3,9	5,1
12	SMA 6	1,8	2,2	7,7	8,2	13,7

Taulukko 34. Meripellontien koeosuuksien keskenään vertailukelpoiset urasyvytydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla. Osuus 11 (SMA 16 ref.) = 1,000.

Meripellontien liikennemääräkorjatut urasyvytydet [mm]						
Osuus:	Korjauskertoimen:	kesä 01	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	0,862	1,2	1,5	15,4	15,5	puhki
2	0,986	0,3	0,8	6,1	6,3	13,4
3	1,029	2,5	2,7	4,6	4,7	6,4
4	0,673	0,8	1,7	4,3	4,9	8,1
5	0,661	1,4	2,9	7,9	8,3	14,2
6	0,570	3,0	3,7	6,9	7,3	11,9
7	0,667	2,6	3,4	14,2	14,6	24,1
8	0,618	2,3	3,1	17,1	17,7	33,3
9	0,565	3,0	3,6	6,5	7,0	9,3
10	0,972	2,4	2,6	6,1	6,2	10,8
11	1,000	2,2	2,4	3,7	3,9	5,1
12	1,019	1,8	2,2	7,6	8,0	13,4



Kuva 49. Meripellontien koeosuuksien keskenään vertailukelpoiset urasyvytydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla. (Osuus 1; ei mitattu keväällä 2003 puhkikuluminen vuoksi)



Kuva 50. Meripellontien koeosuuksien nastarengaskuluminen talvina 2001/2002 ja 2002/2003. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla. (Osuus 1; ei mitattu keväällä 2003 puhkikuluminen vuoksi)

Meripellontien uramittausten tulokset osoittavat hiljaisten päällysteiden olevan alku-uraa lukuun ottamatta deformaatio-ominaisuuksiltaan erittäin hyviä. Vaikka kesä 2002 oli varsin helteinen, havaitaan tuloksista etteivät koepäällysteet ole juurikaan deformoituneet. Nastarengaskulumisen suhteen tilanne on toinen. Osa päällysteistä on kulunut erittäin voimakkaasti. Huonoimmin menestyivät Whisperphalt-päällysteet, joiden kiviaines oli Lemminkäisen mukaan ennakkokokeisiin nähden odotettua heikompaa. NCC Roadsin Viacodrän 11 sitä vastoin osoitautui kulutusominaisuuksiltaan koepäällysteistä parhaaksi. Eron referenssiosuuteen SMA 16 jäädessä noin yhteen milliin. Tulos oli osaltaan odotettu selvästi suurimman maksimiraekoon takia. Myös koepäällysteiden Hilja T, Hilja K, Hilja OK ja SMA 6 liikennemääräkorjattu nastarengaskuluminen jäi kahden talven tarkastelujaksolla alle 10 millimetrin, mitä voitaneen pitää melko hyvänä tuloksena. Mielenkiintoinen seikka on kahden keskenään samoiksi ajatellun SMA 6 -osuuden ero kulumisominaisuuksien suhteen. Osuudella 12 kuluminen on ollut molempina talvina noin kaksinkertaista osuuteen 9 nähden.

Referenssiosuus SMA 16 [lähde: Valtatie]

B50/70 5,8% + gilsoniitti 0,6%

KaM Kytäjä (kuulamyllyarvo 6,5 ja litteysluku 7)

5.8.3 Kaarina

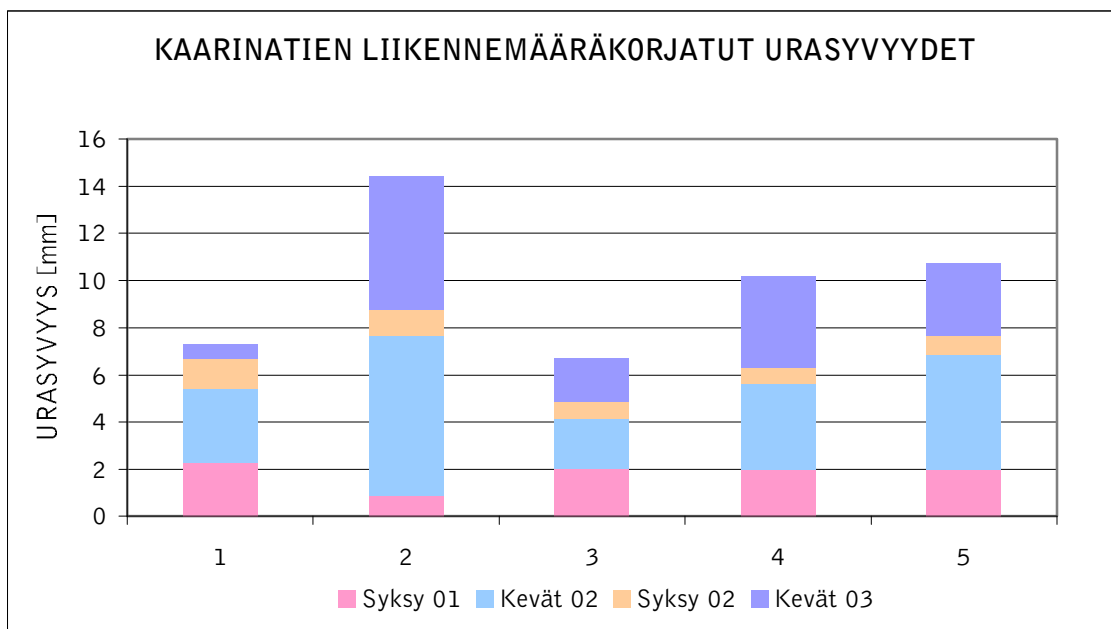
Kaarinatien mitatut ja osuuksien liikennemäärillä vertailukelpoisiksi korjatut urasyvytydet on esitetty taulukoissa 35 ja 36 sekä kuvissa 51 ja 52.

Taulukko 35. Kaarinatien todelliset urasyvytydet

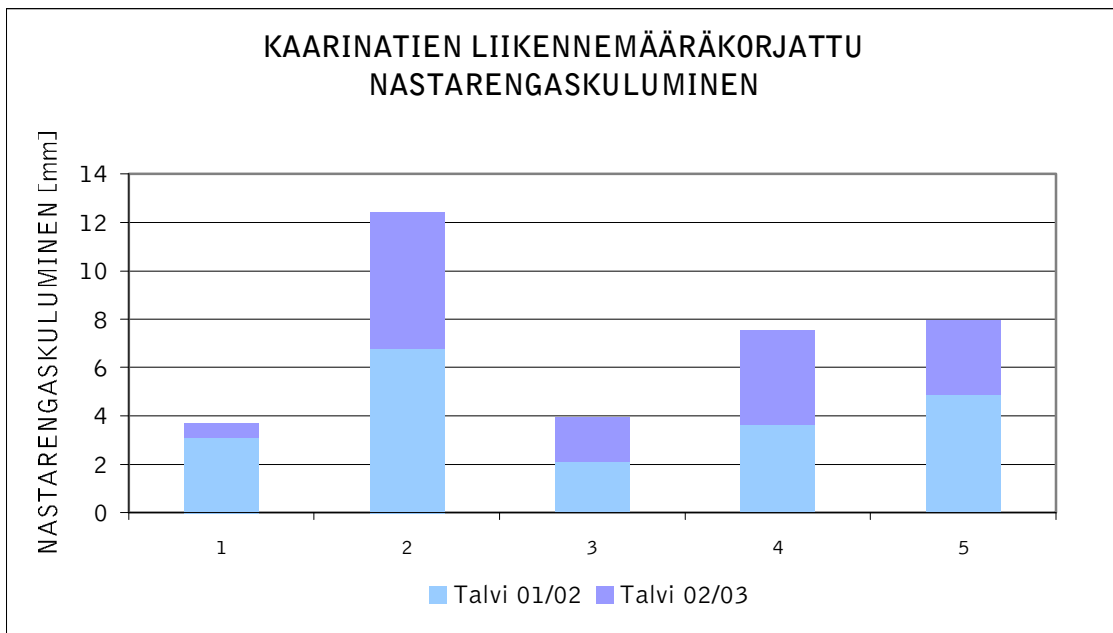
Kaarinatien todelliset urasyvytydet [mm]					
Osuus:	Tuote:	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	SMA 16 ref.	2,3	5,4	6,7	7,3
2	SMA 6 ref.	0,9	7,7	8,8	14,4
3	SMA 6	2,0	4,1	4,9	6,7
4	Whisperphalt T	2,0	5,6	6,3	10,1
5	Novachip	2,0	6,8	7,6	10,7

Taulukko 36. Kaarinatien koosuukien keskenään vertailukelpoiset urasyvytydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Kaarinatien liikennemäärällä korjatut urasyvytydet [mm]					
Osuus:	Korjauskertoimen:	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	1,000	2,3	5,4	6,7	7,3
2	1,000	0,9	7,7	8,8	14,4
3	0,996	2,0	4,2	4,9	6,7
4	0,996	2,0	5,7	6,3	10,2
5	0,996	2,0	6,8	7,7	10,7



Kuva 51. Kaarinatien koosuukien keskenään vertailukelpoiset urasyvytydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.



Kuva 52. Kaarinatien koeosuuksien nastarengaskuluminen talvina 2001/2002 ja 2002/2003. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Kaarinatien koeosuuksien uramittaustulokset osoittavat kuten Meripellontiellä, ettei deformaatio ole hiljaisten päällysteiden ongelma. Nastarengaskulumisen osalta huomio kiinnittyy ensin osuuden 3 (SMA 6) erittäin pieneen kulumiseen, joka on lähes referenssiosuuden SMA 16 tasolla. Toisaalta tuloksista havaitaan nastarengaskulumisen osuudella 3 olleen molempina seurantatalvina varsin tasaista. Referenssiosuus ei talvella 2002/2003 kulunut kuin viidesosan siitä mitä talvella 2001/2002. Syytä tähän ei ole selvillä. Merkittävä seikka on myös kulumiserot SMA 6 -referenssiosuuden ja SMA 6 -osuuden välillä. Tulos on ainakin osittain osoitus kiviaineksen vaikutuksesta päällysteen kulumisominaisuuksiin.

Referenssiosuus SMA 6 / SMA 16 [lähde: Tielikelaitos]

KaM Sudenluodon vulkaniitti (kuulamyllyarvo 7,2-7,3)

5.8.4 Kokkola

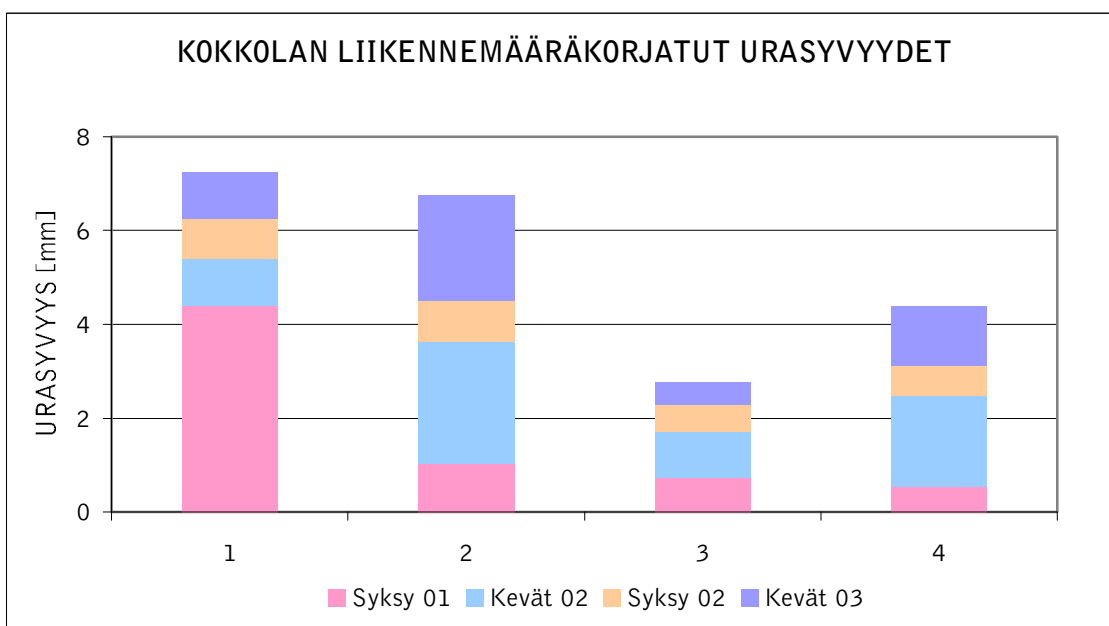
Kokkolan sideaine- ja kiviaineskoetien mitatut ja osuuksien liikennemäärillä vertailukelpoisiksi korjatut urasyvydet on esitetty taulukoissa 37 ja 38 sekä kuvissa 53 ja 54.

Taulukko 37. Kokkolan sideaine- ja kiviaineskoetien todelliset urasyvydet

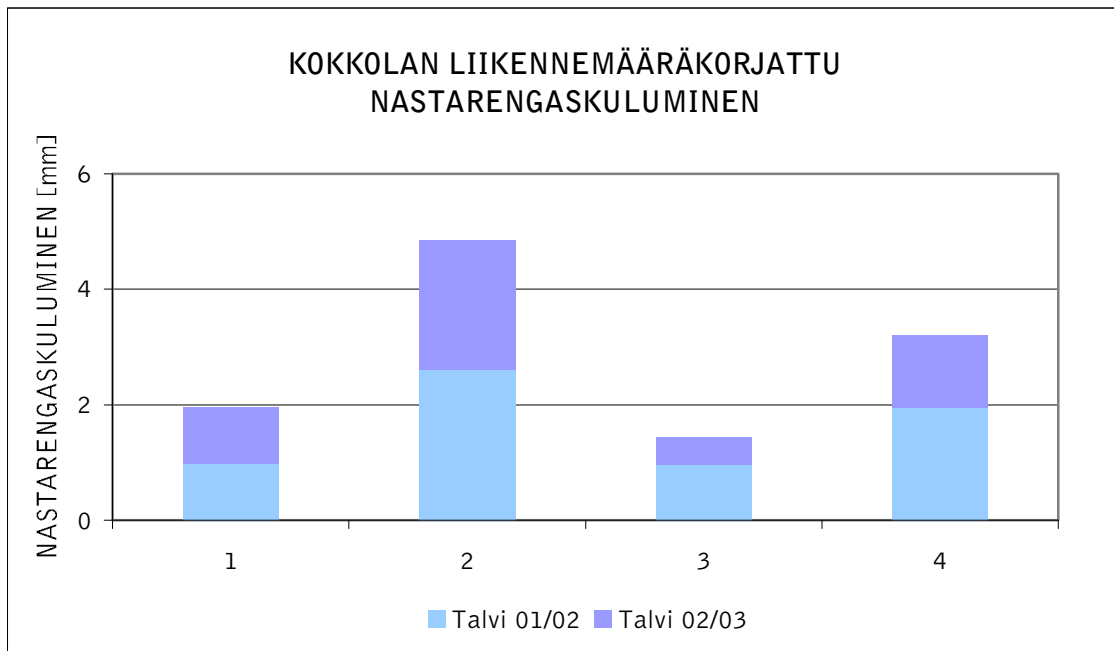
Kokkolan todelliset urasyvydet [mm]					
Osuus:	Tuote:	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	SMA 8 Hopiokallio	4,4	5,4	6,3	7,2
2	SMA 8 Lepplax	2,1	4,7	5,6	7,8
3	SMA 8 B80	2,1	3,0	3,6	4,0
4	SMA 8 B120	2,1	3,9	4,5	5,7

Taulukko 38. Kokkolan sideaine- ja kiviaineskoetien osuuksien keskenään vertailukelpoiset urasyvydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Kokkolan liikennemäärällä korjatut urasyvydet [mm]					
Osuus:	Korjauskerroin:	syksy 01	kevät 02	syksy 02	kevät 03
1	1,00	4,4	5,4	6,3	7,2
2	1,00	2,1	4,7	5,6	7,8
3	0,94	2,3	3,2	3,8	4,3
4	0,94	2,2	4,1	4,8	6,0



Kuva 53. Kokkolan sideaine- ja kiviaineskoetien osuuksien keskenään vertailukelpoiset urasyvydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.



Kuva 54. Kokkolan kiviaines- ja sideainekoetien nastarengaskulumisen talvina 2001/2002 ja 2002/2003. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Kokkolan uramittaustuloksia tarkasteltaessa huomio kiinnittyy osuuden 1 voimakkaaseen deformaatioon ennen ensimmäisiä uramittauksia. Kyseessä on remixer-koneen aiheuttama alku-ura, jonka todettiin (Hyypä TKK, Pienimaa Valtatie Oy) syntyneen koesuoksia rakennettaessa - 70 tonnin painoinen kone jouduttiin ajamaan edellisenä päivänä tehdyn päällysteen yli. Voimakkaasti alku-urautunut osuus jouduttiin kuitenkin ottamaan urasyvyyden muutostarkasteluihin mukaan koska risteykset (liikennemäärän muutos) ja keskisaarekkeet eivät antaneet mahdollisuutta mittauskohdan vaihtamiselle. Toisaalta Kokkolan koetiellä oli tarkoitus nimenomaan seurata nastarengaskulumista. Tätä tarkastelua varten rakennettiin neljä koesuutta, joista osuudet 1 ja 3 ovat samoja, osuudella 2 on heikompi kivi ja osuudella 4 pehmeämpi sideaine B120. Kohde toteutettiin REM+ -menetelmällä. Tiedot lisämassasta ovat seuraavat [Valtatie Oy]:

- Osuudet 1 ja 3: SMA 8
B70/100 6,9% +1% tartuke
KaM Hopiokallio (kuulamyllyarvo 7,1 ja litteysluku 7,2)
- Osuus 2: SMA 8
B70/100 6,9% +1% tartuke
KaM Lepplax (kuulamyllyarvo 9,5)
- Osuus 4: SMA 8
B100/150 6,9% +1% tartuke
KaM Hopiokallio (kuulamyllyarvo 7,1 ja litteysluku 7,2)

Nastarengaskulumistuloksista havaitaan selvästi, vaikka absoluuttiset urasyvyydet ovatkin melko pienet, miten heikompi kiviaines vaikuttaa kulumisominaisuuksiin. Sideaineen suhteen tilanne on erikoinen sikäli, että yleisestihän sideaineen vaikutusta nastarengaskulumisominaisuuksiin pidetään varsin vähäisenä. Kokkolan koetien mittaukset osoittavat kuitenkin osuuden 4 kuluneen lähes kaksinkertaisesti osuuksiin 1 ja 3 nähden. Osasy tuloksiin saattaa olla remix-

massan paikoittaisessa ”tunkeutumisessa” lisämässän läpi. Kuvassa 55 on SMA 8 -päällyste ”pahimmillaan”.



Kuva 55. SMA 8 -päällyste näytti Kokkolan koetiellä pahimmillaan tältä

5.8.5 Riihiniityntie

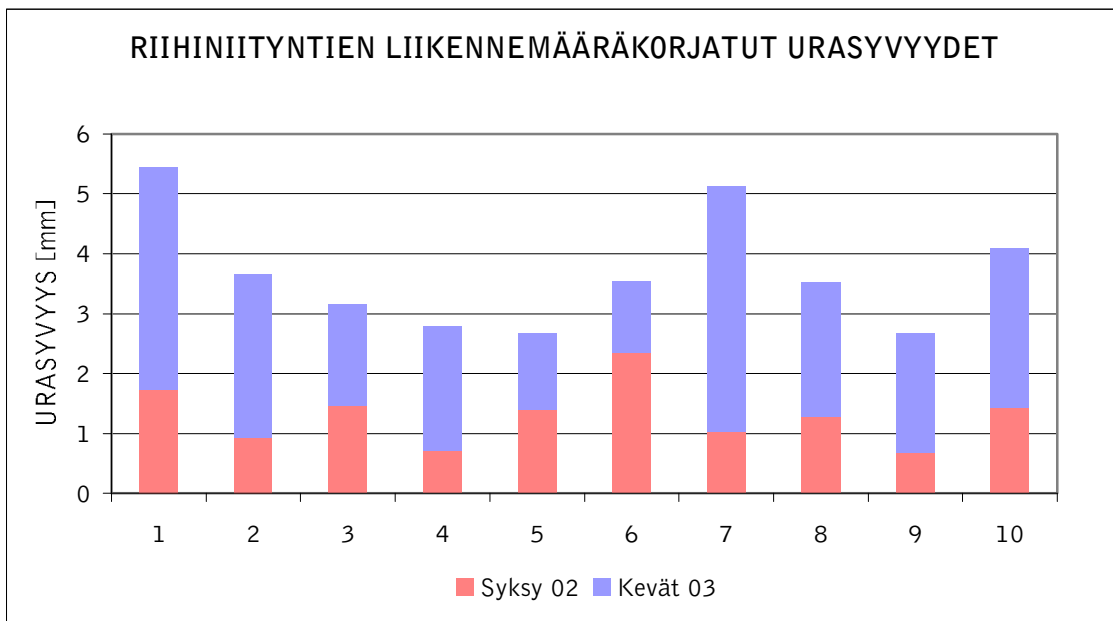
Riihiniityntien mitatut ja osuuksien liikennemäärillä vertailukelpoisiksi korjatut urasyvytydet on esitetty taulukoissa 40 ja 41 sekä kuvissa 56 ja 57.

Taulukko 39. Riihiniityntien todelliset urasyvytydet

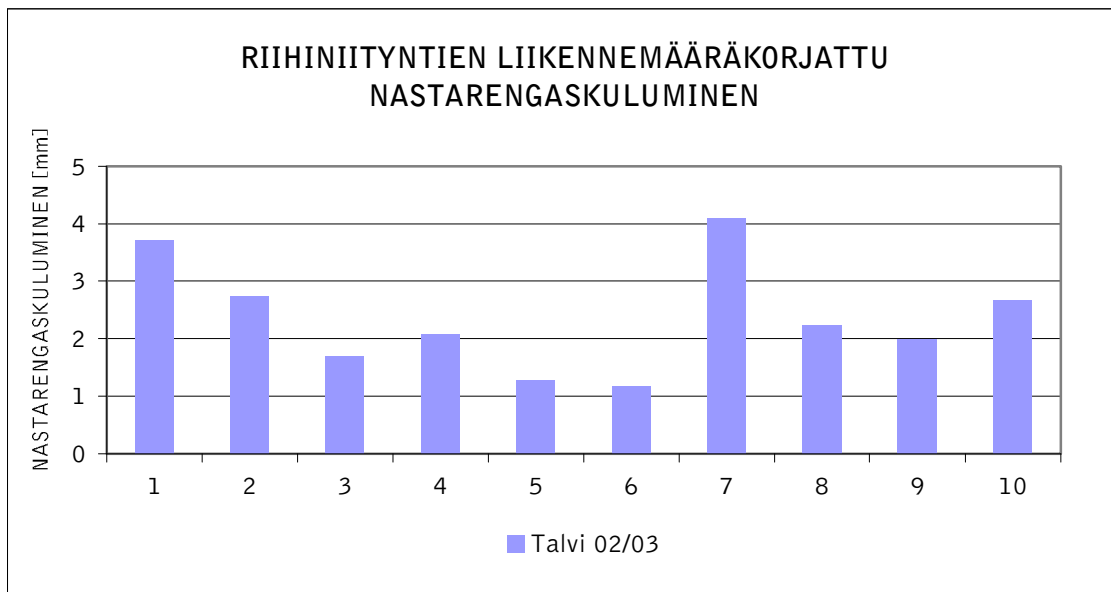
Riihiniityntien todelliset urasyvytydet [mm]			
Osuus	Tuote	syksy 02	kevät 03
1	Novachip 8	1,7	5,4
2	Whisperphalt T	0,9	3,6
3	Hiltti-mix	1,5	3,1
4	SMA 6	0,7	2,8
5	Viacodrän 8	1,4	2,7
6	Viacodrän 11	2,4	3,5
7	SHP-Y	1,0	5,1
8	SHP-K2	1,3	3,5
9	SMA 8 ref.	0,7	2,6
10	AB 16 ref.	1,4	4,1

Taulukko 40. Riihiniityntien osuuskien keskenään vertailukelpoiset urasyvyyydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Riihiniityntien liikennemäärällä korjatut urasyvyyydet [mm]			
Osuus	Korjauskertoin	syksy 02	kevät 03
1	0,990	1,7	5,4
2	0,990	0,9	3,7
3	0,990	1,5	3,2
4	0,990	0,7	2,8
5	1,000	1,4	2,7
6	1,000	2,4	3,5
7	1,000	1,0	5,1
8	1,000	1,3	3,5
9	0,990	0,7	2,7
10	1,000	1,4	4,1



Kuva 56. Riihiniityntien osuuskien keskenään vertailukelpoiset urasyvyyydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.



Kuva 57. Riihiniityntien osuuksien nastarengaskuluminen

Jo Riihiniityntien koeosuuksia rakennettaessa epäiltiin koetien edustavan tulevaisuuden tyypillistä hiljaisten päällysteiden käyttökohdetta. Kohteen nopeusrajoitus (50 km/h) ja liikennemäärä (KVL ~4500) ovat sellaiset, että hiljaisten päällysteiden käyttöikä tulee olemaan keskimäärin ainakin viisi vuotta. Tämän osoittavat myös uramittaustulokset. Nastarengaskulutuksen suhteen parhaat päällystetuotteet ovat Viacodrän 8 ja 11, joiden nastarengaskuluminen on ollut vain reilun millimetrin verran. Osuudet 1 (Novachip) ja 7 (SHP-Y) ovat menestyneet huonoimmin. Toisaalta edellä mainittujenkin päällysteiden nastarengaskuluminen on ollut vain noin 4 mm. Muut päällysteet ja referenssit (SMA 8 ja AB 16) asettuvat edellä esiteltyjen rajojen sisälle. Tuloksia voitaneen näin ollen pitää rohkaisevina.

Referenssiosuus AB 16 [lähde: Lemminkäinen] (SMA 8 -päällyste, tietoja ei saatu)
kuulamylyarvo 9-10, SRK-arvo noin 40 cm³

5.8.6 Virkkala

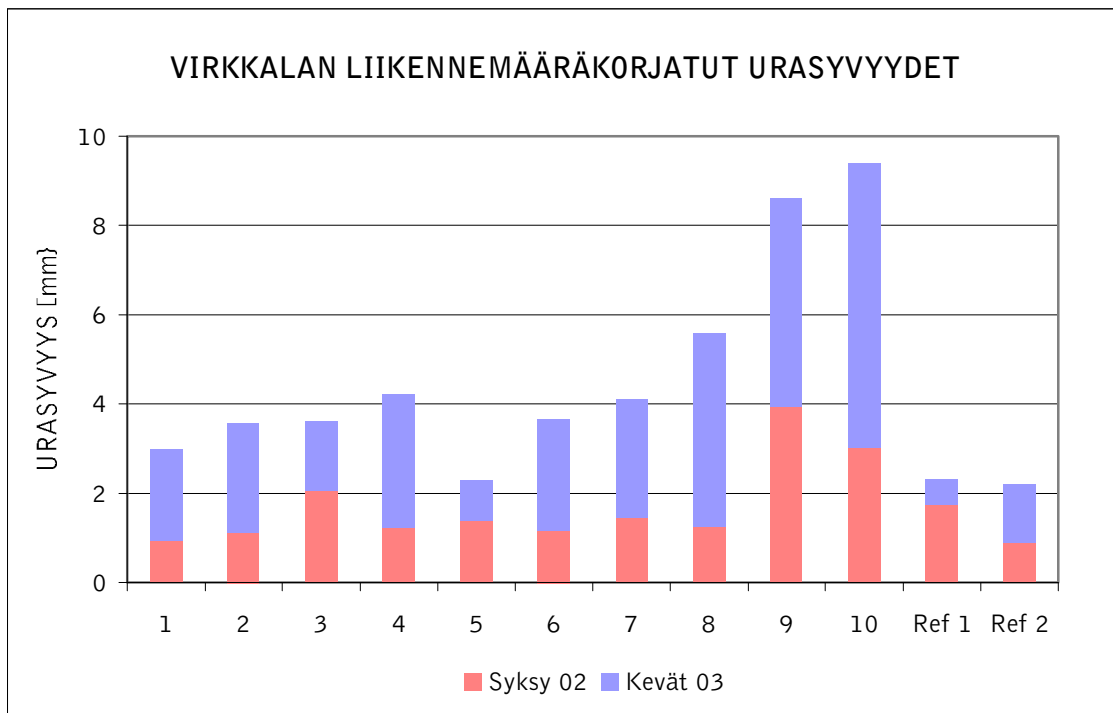
Virkkalan koetien mitatut ja osuuksien liikennemäärillä vertailukelpoisiksi korjatut urasyvytydet on esitetty taulukoissa 41 ja 42 sekä kuvissa 58 ja 59.

Taulukko 41. Virkkalan koosuukien todelliset urasyvytydet

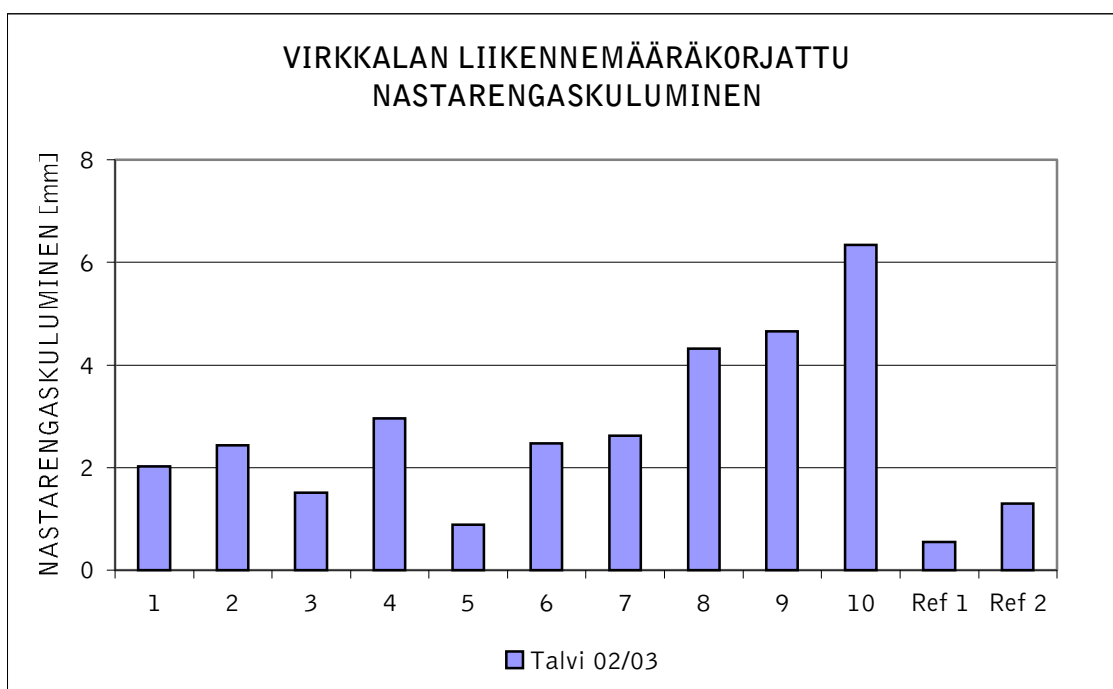
Virkkalan todelliset urasyvytydet [mm]			
Osuus:	Tuote:	syksy 02	kevät 03
1	AB 16 ref	1,0	3,0
2	AB 16 ref	1,1	3,6
3	Viacodrän 16	2,1	3,6
4	Viacodrän 11	1,2	4,2
5	Hiltti A	1,4	2,3
6	Hiltti F	1,2	3,6
7	SHP-KY4	1,5	4,1
8	SHP-K3	1,3	5,6
9	Novachip 8	4,0	8,6
10	Novachip 11	3,0	9,3
Ref 1	SMA 16 ref	1,8	2,3
Ref 2	SMA 16 ref	0,9	2,2

Taulukko 42. Virkkalan koosuukien keskenään vertailukelpoiset urasyvytydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.

Virkkalan liikennemäärällä korjatut urasyvytydet [mm]			
Osuus:	Korjauskerroin:	syksy 02	kevät 03
1	1,000	1,0	3,0
2	0,995	1,1	3,6
3	1,000	2,1	3,6
4	0,995	1,2	4,2
5	1,000	1,4	2,3
6	0,995	1,2	3,6
7	1,000	1,5	4,1
8	0,995	1,3	5,6
9	1,000	4,0	8,6
10	0,995	3,0	9,4
Ref 1	1,000	1,8	2,3
Ref 2	0,995	0,9	2,2



Kuva 58. Virkkalan koeosuuksien keskenään vertailukelpoiset urasyvyydet. Tulokset on korjattu liikennemäärien suhteilla.



Kuva 59. Virkkalan koeosuuksien nastarengaskuluminen

Mittaustuloksista havaitaan osuuksilla 9 ja 10 (Novachip 8 ja 11) alku-urautumisen olleen hieman keskimääräistä voimakkaampaa. Nastarengaskulumisen suhteen tuloksia voidaan pitää positiivisena yllätyksenä. Uramuodostus on ollut melko vähäistä valtatieolosuhteista huolimatta. Nastarengaskulutusominaisuuksiltaan parhaaksi osoittautui Hiltti A -päällyste, jonka kulumisominaisuudet ovat lähellä Hilja-projektin ”ulkopuolelta” tarkasteluun otettuja SMA 16 -päällysteitä (Ref 1 ja Ref 2). Myös Viacodrän 16 menestyi hyvin. Heikoimmin menestyneitä

ovat SHP-K3 ja Novachipit 8 ja 11. Näidenkin osalta kuluminen on ollut vain 4...6 mm. Ennako-odotuksiin nähden hiljaiset päällysteet kestävät varsin hyvin myös valtatieoloissa.

Referenssiosuus AB 16 [lähde: Tieliikelaitos]

KaM Jussila (kuulamylyarvo 8,7)

5.8.7 Kehä II

Kehä II:n kulumistulokset (2000-2001) on esitetty liitteenä olevassa VTT:n raportissa (liite 5). Koetiellä vertailtiin viiden erilaisen SMA-päällysteen (osuudet 1-5); SMA 6, SMA 8, SMA 11, SMA 11 (kuona) ja SMA 16 kulumisominaisuuksia.

5.8.8 Korso

Korson koekohteen kulumistulokset on esitetty taulukossa 43.

Taulukko 43. Korson koekohteen mitatut urasyvytydet ja niiden muutokset talvella 2000/2001

	s. 2000		k. 2001		Urasyvyyden muutos	
	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]
SMA 5						
Profiili 1	3,7	1,5	10,3	8,9	6,6	7,4
Profiili 2	3,7	1,7	9,9	8,7	6,2	7,0
Profiili 3	3,8	1,4	9,4	10,5	5,6	9,1
Profiili 4	3,6	1,4	9,9	10,9	6,3	9,5
Profiili 5	3,3	1,4	11,4	10,5	8,1	9,1
Keskiarvo	3,6	1,5	10,2	9,9	6,6	8,4
SMA 16						
Profiili 1	6,3	2,7	6,9	3,7	0,6	1,0
Profiili 2	3,3	4,7	4,6	6,0	1,3	1,3
Profiili 3	3,9	3,5	4,4	4,2	0,5	0,7
Profiili 4	2,4	2,4	3,3	2,7	0,9	0,3
Profiili 5	2,2	4,5	3,1	4,4	0,9	-0,1
Keskiarvo	3,6	3,6	4,5	4,2	0,8	0,6

5.9 Päälysteiden pintarakenne

5.9.1 Makrokarkeusmittaukset

Päälysteiden makrokarkeutta (epätasaisuus 0,5-50 mm) mitattiin Meripellontiellä, Kaarinantiellä ja Riihiniityntiellä. Mittaukset tehtiin kaikilla edellä mainituilla koeteilla Sand Patch -menetelmällä (EN 13036-1/PANK-5103). Kaarinantiellä ja Riihiniityntiellä käytettiin lisäksi profilometrimenetelmää (ISO 13473-1).

Mittausten tuloksina esitetään seuraavia muuttujia:

MTD (mean texture depth):	Sand Patch -kokeen tulos, joka ilmoittaa päälysteen pinnan keskikarkeussyvyyden (kolmiulotteinen mitta, ympyräpinta). Tulos annetaan neljän mittauksen keskiarvona.
MPD (mean profile depth):	Profilometrimenetelmän tulos, joka ilmoittaa päälysteen pinnan keskimääräisen profiilisyvyyden (kaksiulotteinen mitta, viivaprofiili). Tulos annetaan kymmenen mittauksen keskiarvona
ETD (estimated texture depth):	$ETD = 0,2 + 0,8 \cdot MPD$. Kaavalla voidaan MPD-arvo muuntaa MTD-arvoksi ja päinvastoin. (kolmiulotteinen mitta)

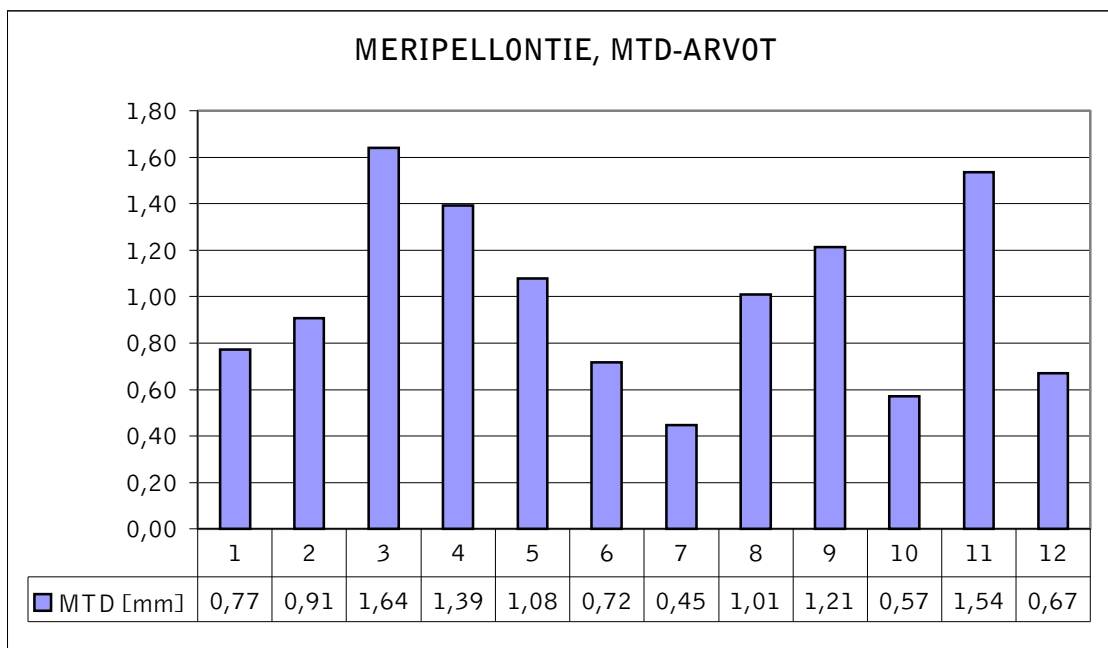


Kuva 60. Sand Patch -mittaukset käytännössä



Kuva 61. Makrokarkeusmittaukset (profilometrimenetelmä) käytännössä

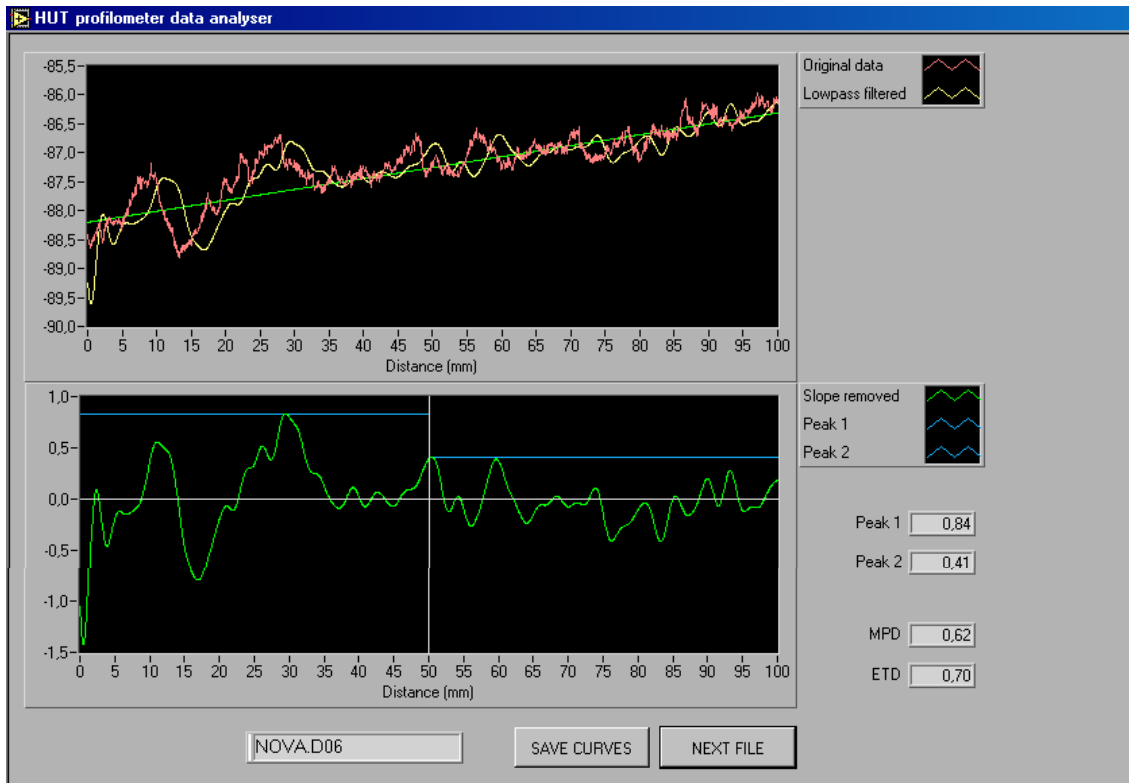
Hilja-projektissa Sand Patch -kokeita tehtiin Meripellontieltä 10.7.2002. Ajourista tehtyjen mitausten tulokset on esitetty kuvassa 62.



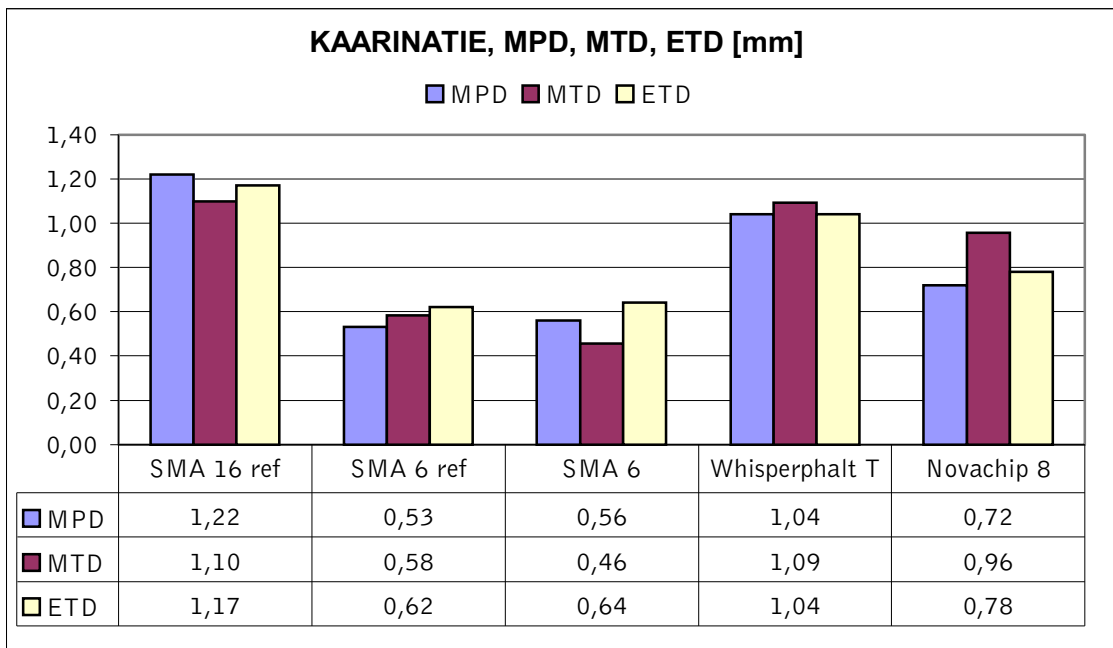
Kuva 62. Meripellontien ajourista mitatut makrokarkeustulokset (Sand Patch -menetelmä)

Suurimmat makrokarkeudet Meripellontieltä mitattiin osuuksilta 3 (Viacodrän 11A) ja 11 (SMA 16, referenssi). Kyseiset osuudet edustavat koetien suurimpia maksimiraekkoja. Mielenkohtainen seikka havaitaan verratessa osuuksia joilla on sama päällystetuote (1 ja 8 sekä 2 ja 5). Varsinaisella ajokaistalla (osuudet 1 ja 2) MTD-arvot ovat noin 0,2 yksikköä ohituskaistaa (osuudet 8 ja 5) alemmat. Suuremman liikennemäärän vaikutus (nastarengaskulutus ja deformaatio) näkyikin osuuksien makrokarkeuden pienenemisenä, eikä suinkaan sen kasvuna kuten on ehkä luultu. Toisaalta mittausajankohdan sijoittuminen keskikesään ei kerro koko totuutta. Tilannehan on voinut olla keväällä päinvastainen.

Kaarinatiellä makrokarkeusmittauksia tehtiin ajourista sekä Sand Patch - että profilometrimenetelmillä. 8.9.2003 suoritettujen mitausten tulokset on koottu kuvaan 64. Kuvassa MPD on profilometrimenetelmällä mitattu keskimääräinen profiilin syvyys (mean profile depth), MTD on Sand Patch -kokeen tulos (mean texture depth) ja ETD (estimated texture depth) on MTD-arvon estimaatti MPD-arvon funktiona. Kaarination Sand Patch -tulokset ovat neljän mittauksen keskiarvoja. Vastaavasti MPD-arvon saamiseksi mitattiin kymmenen 12,5 cm mitaista päällystenäytettä, jotka on analysoitu käyttäen Teknillisen korkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratorion HUT profilometer data analyser -ohjelmaa (kuva 63).



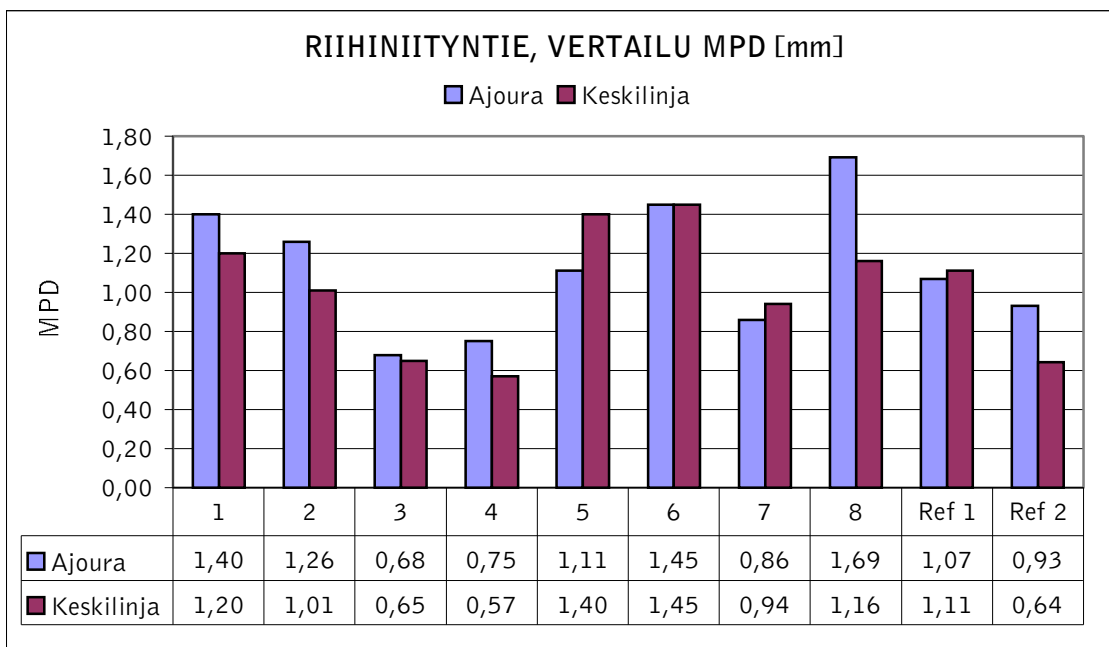
Kuva 63. HUT profilometer data analyser -ohjelman käyttöliittymä



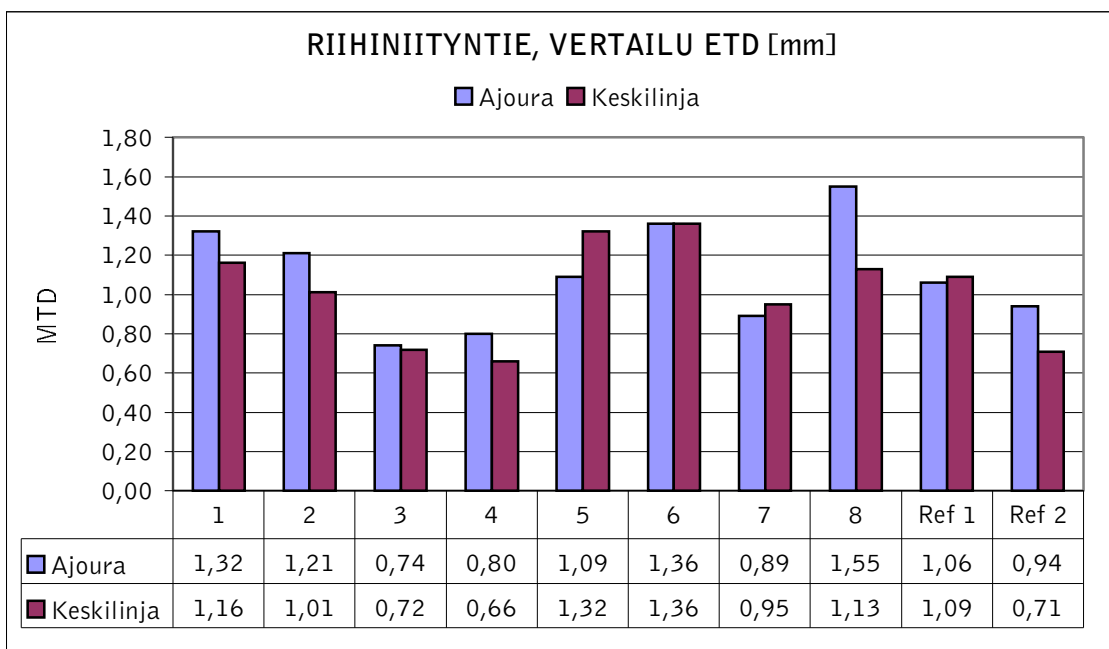
Kuva 64. Kaarintien makrokarkeusmittausten tulokset

Kuten Kaarintien mittaustuloksista havaitaan eroavat Sand Patch (MTD) - ja profilomenetelmän (MPD arvosta estimoitu ETD) tulokset hieman toisistaan. Erot selittyvät näytteiden määrällä (Sand Patch neljä ja profilometrimenetelmä kymmenen) ja sitä kautta satunnaisella vaihtelulla. Mittauksia ei myöskään suoritettu mittausteknisistä syistä täsmälleen samoista kohdista. Kaiken kaikkiaan tulokset ovat kuitenkin varsin odotetun kaltaisia. Suurin makrokarkeus mitattiin SMA 16 -osuudelle ja pienimmät SMA 6 -osuuksille, jotka ovat makrokarkeudeltaan lähes samoja.

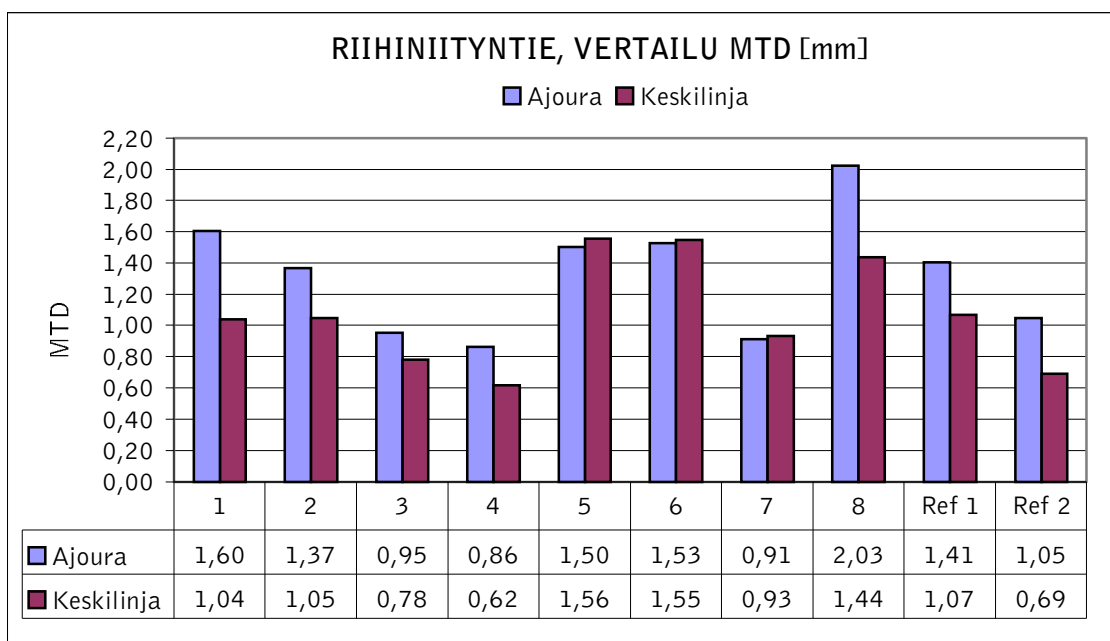
Riihiniityntiellä koeosuuksien makrokarkeutta mitattiin niin ikään sekä Sand Patch - että profilometrimenetelmällä. Ajourien lisäksi mittauksia tehtiin niiden välistä. Menettelyllä pyrittiin selvittämään nastarengaskulutuksen ja deformaation vaikutusta päällysteen makrokarkeuteen. Mittaukset suoritettiin 26.-27.8.2003 ja 24.-25.9.2003. Riihiniityntien makrokarkeusmittausten tulokset on esitetty kuvissa 65-67.



Kuva 65. Riihiniityntien makrokarkeudet; profilometrimenetelmä MPD



Kuva 66. Riihiniityntien makrokarkeudet; ETD-arvot



Kuva 67. Riihiniityntien makrokarkeudet; Sand Patch -menetelmä MTD

Riihiniityntien mittaustulokset osoittavat koeosuuksien erot makrokarkeuden muutoksen suhteen. Tarkasteltaessa kuvia 65 ja 66, voidaan todeta MPD-arvon, ja siitä estimoidun ETD-arvon kasvaneen kuudella osuudella, pienentyneen kolmella osuudella ja pysyneen samana yhdellä osuudella. Sand Patch -kokeen tulokset (kuva 67) ovat varsin samankaltaisia. Tosin MTD-arvo osoittaa edellä esitetystä poiketen makrokarkeuden kasvaneen myös referenssiosuudella 1 (SMA 8).

5.9.2 Makrokarkeustulosten vertailu kitka-arvoihin

Hilja-koeteistä kitkaa mitattiin Riihiniityntiellä ja Meripellontiellä. Mittaukset tehtiin 30.9.2003 Ford Mondeon Createc $\mu 3$ -mittarilla. Olosuhteet kyseisenä päivänä olivat mittauksille erittäin otolliset. Koko päivän satoi ja illalla mittausten aikana tihutti, mikä takasi sen, ettei olosuhde-eroja osuuksien välillä voitu olettaa olevan. Taulukkoihin 44 ja 45 on koottu mitatut kitka-arvot.

Taulukko 44. Riihiniityntien koeosuuksien kitka-arvot (50 km/h)

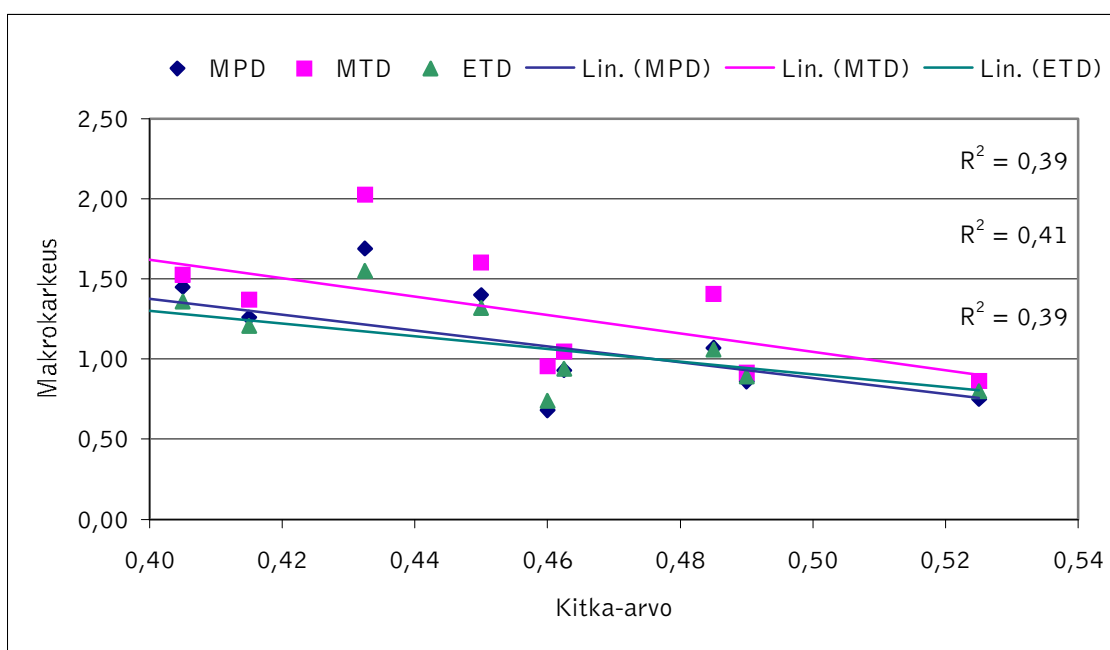
Koeosuus:	mittaus 1:	mittaus 2:	mittaus 3:	mittaus 4:	keskiarvo:	keskihajonta:
Novachip 8	0,54	0,42	0,40	0,44	0,45	0,06
Whisperphalt T	0,43	0,42	0,41	0,40	0,42	0,01
Hiltti-mix	0,51	0,46	0,46	0,41	0,46	0,04
SMA 6	0,56	0,56	0,48	0,50	0,53	0,04
Viacodrän 8	0,39	0,43	0,40	0,36	0,40	0,03
Viacodrän 11	0,45	0,41	0,39	0,37	0,41	0,03
SHP-Y	0,54	0,47	0,51	0,44	0,49	0,04
SHP-K2	0,44	0,45	0,44	0,40	0,43	0,02
SMA 8 ref	0,49	0,50	0,48	0,47	0,49	0,01
AB 16 ref	0,51	0,51	0,43	0,40	0,46	0,06

Taulukko 45. Meripellontien koeosuuksien kitka-arvot (50 km/h)

Koeosuus:	mittaus 1:	mittaus 2:	mittaus 3:	mittaus 4:	keskiarvo:	keskihajonta:
Whisperphalt T	ei mitattu koska osuus kulunut puhki					
Hiltti 3	0,46	0,41	0,36	0,45	0,42	0,05
Viacodrän 11A	0,37	0,33	0,33	0,34	0,34	0,02
Hilja T	0,44	0,42	0,42	0,45	0,43	0,01
Hiltti 3	0,54	0,55	0,46	0,46	0,50	0,05
Hilja K	0,42	0,44	0,40	0,43	0,42	0,02
Hilja OT	0,53	0,60	0,45	0,36	0,49	0,10
Whisperphalt T	0,47	0,45	0,38	0,45	0,44	0,04
SMA 6	0,46	0,45	0,45	0,48	0,46	0,01
Hilja OK	0,40	0,41	0,43	0,44	0,42	0,02
SMA 16 ref	0,34	0,35	0,34	0,32	0,34	0,01
SMA 6	0,50	0,56	0,45	0,44	0,49	0,06

Riihiniityntien tulosten osalta voidaan todeta, että pienimmät kitka-arvot saadaan Viacodrän- osuuksilla. Meripellontiellä pienimmät kitka-arvot mitattiin Viacodrän - ja SMA 16 -osuuksilla. Tulosten valossa näyttääkin siltä, että ainakin Createc $\mu 3$ -mittaria käytettäessä, pienimmät kitka-arvot saadaan suuren maksimiraekoon omaavilta (avoimilta) osuuksilta. Vastaavasti suurimmat kitka-arvot saadaan hienojakoisilta (SMA 6) päällysteiltä. Yhteenvetona voidaan todeta, ettei hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuuksia, ainakaan kosteana, ole syytä pitää ongelmana. Tutkituista päällysteistä huonoimmat kitkaominaisuudet olivat SMA 16 -päällysteellä, joka kuitenkin nykyään on varsin yleisesti käytetty ja kitkaominaisuuksiltaan kelvollisena pidetty päällyste.

Kuvassa 68 on vertailu kitka-arvoja makrokarkeusmittausten tuloksiin. Kuvasta havaitaan, että suurilla makrokarkeuden arvoilla saavutetaan huonompi kitka.

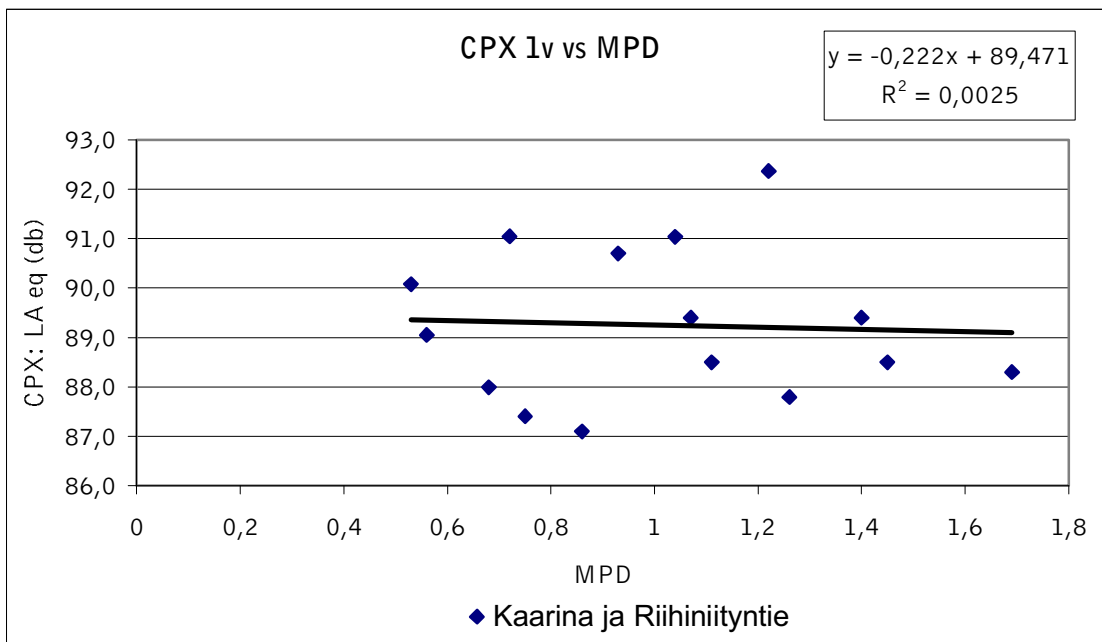


Kuva 68. Riihiniityntien kitka-arvot / makrokarkeus -vertailu. Selitysasteet järjestyksessä MPD, MTD ja ETD.

5.9.3 Makrokarkeustulosten vertailu päällysteiden meluominaisuuksiin

Ulkomaalaisissa tutkimuksissa on selvitetty jonkin verran päällysteiden melun johtumista päällysteen makro- tai megakarkeudesta. 1970-luvulla löydettiin jonkin asteinen yhteys auton sisätilamelun ja päällysteen pintarakenteen välille. Tutkimus oli kuitenkin melko rajoittunut. Ulkoisen melun ja päällysteen pinnan rakenteen (MPD tai MTD) välille ei silloin eikä juuri myöhemminkään ole löydetty selvää yhteyttä. Jonkin asteinen yhteys voidaan havaita silloin, jos tutkimuksessa käytetään sileää rengasta eli ”slicksiä”. Hiemankaan aggressiivisemmilla pintakuvioinneilla korrelaation voidaan katsoa olevan nolla. (Sandberg, Ejsmont 2002).

Edellä esitetyn perusteella olisi voitu olettaa, että Suomessa käytetyllä CPX-menetelmällä saatujen melutulosten ja MPD-arvojen välille olisi löydetty lievä yhteys, koska mittarenkaana käytetään slicksiä. Tätä yhteyttä ei kuitenkaan havaittu.

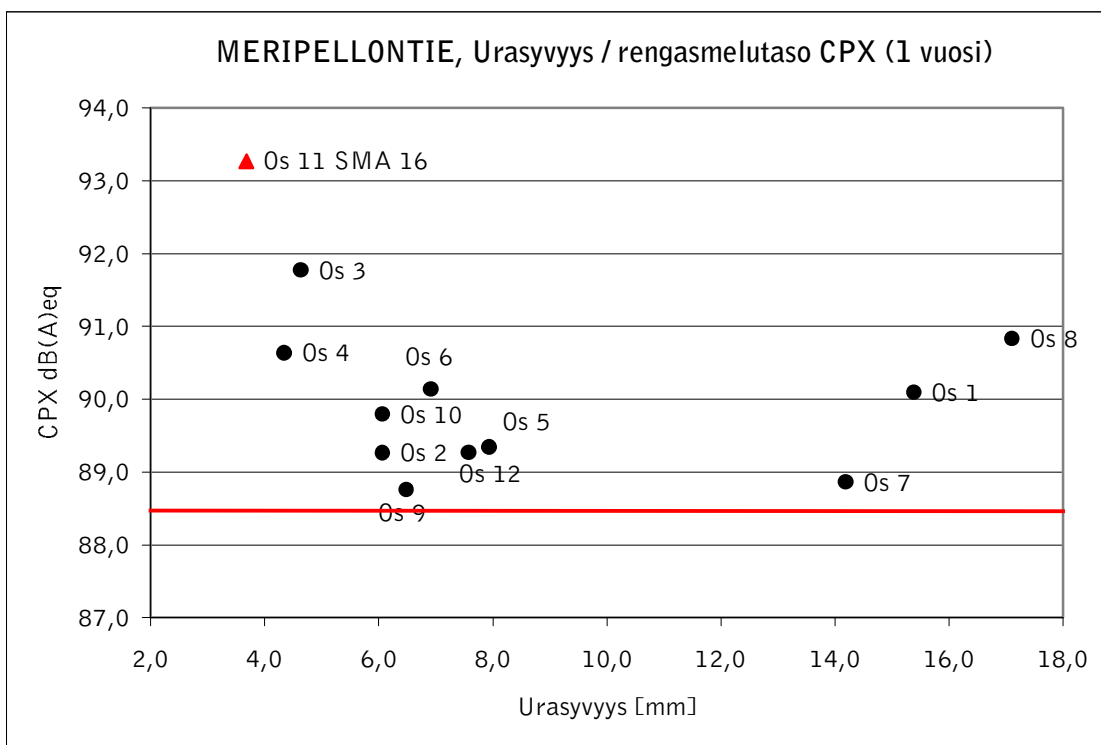


Kuva 69. Makrokarkeustulosten vertailu CPX-melutasoon

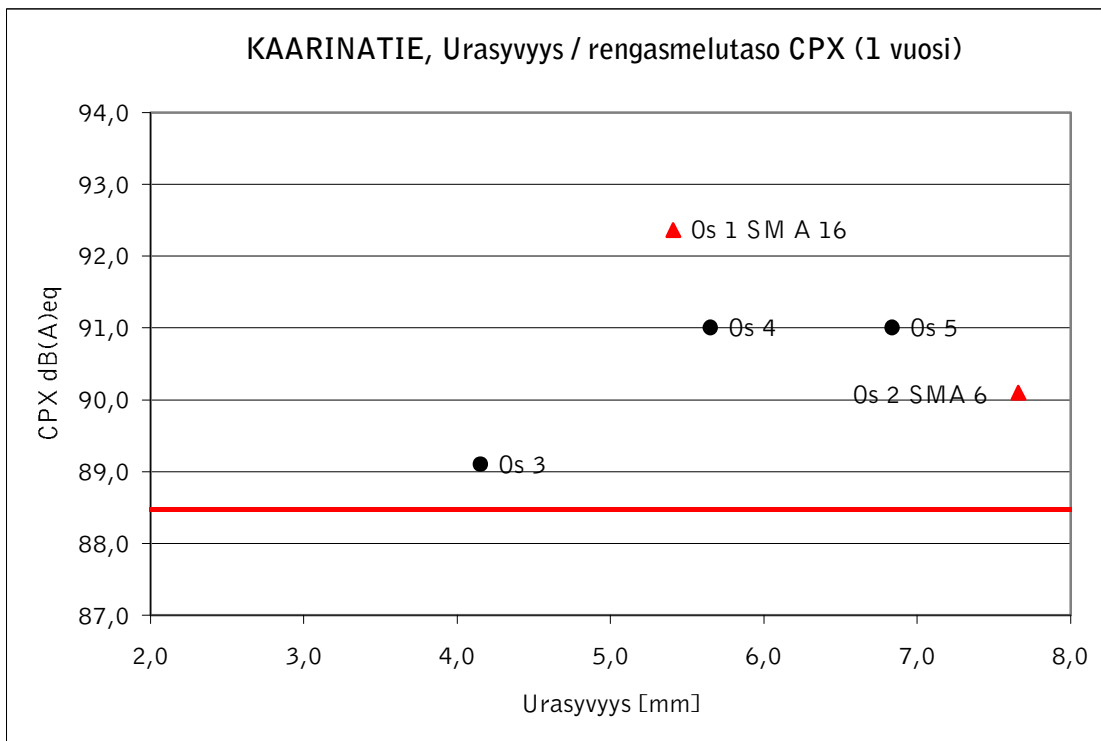
5.10 Koepäällysteiden kelpoisuus meluominaisuuksien ja urautumisen perusteella

Seuraavissa kuvissa on arvioitu Meripellontien, Kaarintien ja Riihiniityntien koepäällysteiden kelpoisuutta meluominaisuuksien ja urautumisnopeuden näkökulmasta. Kuviin on lisätty hiljaisen päällysteen melukriteeriä, CPX-arvo 1.vuoden ikäisenä < 88,5 dB(A)eq, osoittava viiva. Päällysteiden urautumisnopeuden osalta vastaavaa raja-arvoa ei ole haluttu esittää. Koeosuuk-sien urautumista voidaan kuitenkin verrata referenssipäällysteiden urautumiseen ja sitä kautta arvioida päällysteiden kelpoisuutta urautumisen suhteen.

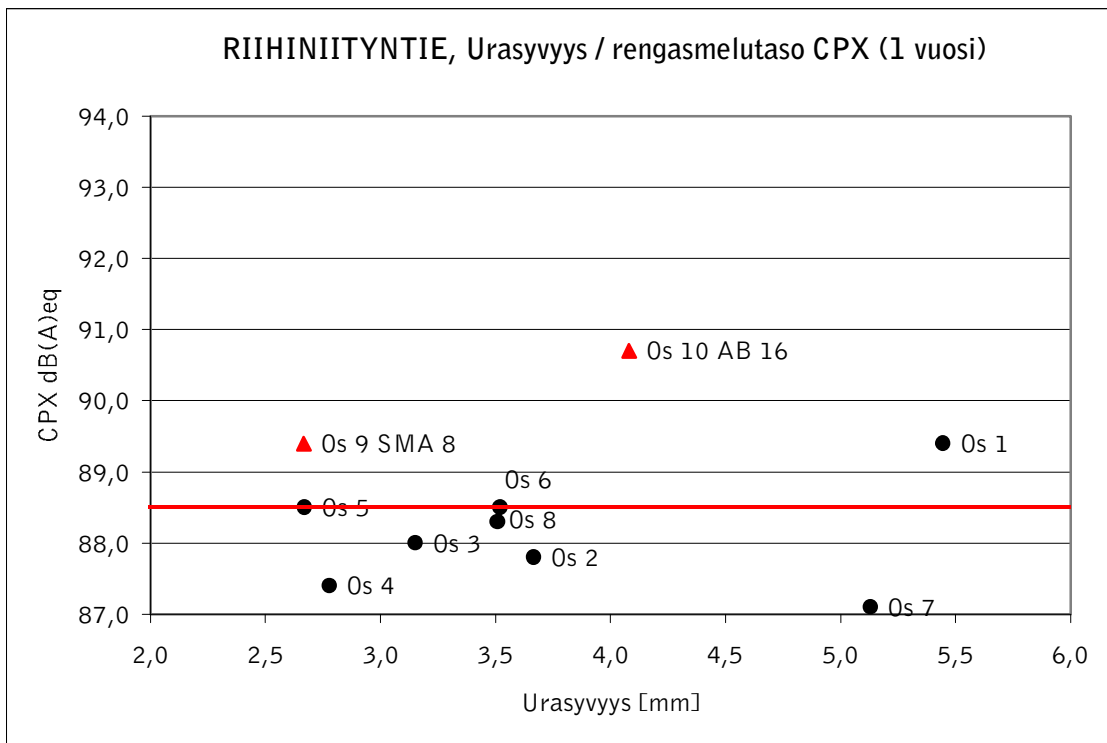
Hiljaisten päällysteiden hankintamenettelyn näkökulmasta tässä yhteydessä on nastarengaskuluminen sijasta tarkasteltu kokonaisurautumista. Kokonaisurautuminen on korjattu vertailukelpoiseksi liikennemäärien suhteilla.



Kuva 70. Meripellontien koeosuuksien melu- ja kulumisominaisuuksien vertailu



Kuva 71. Kaarintien koeosuuksien melu- ja kulumisominaisuuksien vertailu



Kuva 72. Riihiniityntien koeosuuksien melu- ja kulumisominaisuuksien vertailu

Edellä esitetyistä kuvista havaitaan päällysteiden meluominaisuuksien ja kestävyuden kehitys. Koeteistä Meripellontie sekä Kaarinatie rakennettiin projektin ensimmäisenä vuonna kun taas Riihiniityntie rakennettiin projektin toisena vuonna. Tällöin ensimmäisenä vuonna rakennetuista koeteistä saatua tietoa voitiin hyödyntää päällysteiden suunnittelussa. Riihiniityntien koepäällysteistä yhtä lukuun ottamatta kaikki täyttivät melulle asetetun kriteerin. Myös urautuminen on ollut pääosassa osuuksia kohtuullista, referenssiosuuteen AB 16 nähden jopa vähäistä.

6 PÄÄTELMÄT

Hiljaisten päällysteiden toimivuus

Rengasmelu on merkittävin tieliikenteen melunlähde nopeuksilla 40...100 km/h. Rengas- ja ajoneuvoteknologian avulla tätä melua ei voida lähitulevaisuudessa merkittävästi vähentää sen nykyisestä tasosta. Sen sijaan päällysteteknologian keinot ovat hyvät ja Suomessa ainakin osaksi jääneet käyttämättä. Rengasmeluun voidaan merkittävästi vaikuttaa käyttämällä tavanomaisen päällysteen sijaan ns. hiljaista päällystettä. Näin voidaan vaikuttaa itse melulähteeseen ja siten vähentää sekä ympäristöön että ajoneuvon sisälle kantautuvaa melua.

Hiljaiseksi – tai vähämeluiseksi – päällysteeksi kutsutaan päällystettä, joka vähentää liikennemelun tasoa tieympäristössä vähintään 3 dB(A) referenssipäällysteeseen verrattuna. Tässä tutkimuksessa referenssipäällysteeksi oli valittu SMA 16. Tutkimuksen aikana kehitettiin useita tämän kriteerin täyttäviä päällystetuotteita.

Hiljaisten päällysteiden toimivuudesta saatiin tutkimuksen aikana arvokasta tietoa. Melu- ja kulumismittauksia tehtiin uusille sekä yhden ja kahden vuoden ikäisille koepäällysteille. Tulosten mukaan näyttää siltä, että päällysteen meluominaisuudet asettuvat tiettyyn ko. tuotteelle ominaiseen tasoon ensimmäisen talven jälkeen. Tämän tason ennustaminen on hyvin epävarmaa uudesta päällysteestä mitatun meluominaisuuden perusteella. Toisen talven jälkeen ei havaittu merkittäviä muutoksia meluominaisuuksissa ensimmäisen talven jälkeiseen tilanteeseen verrattuna.

Tutkimuksessa mitattiin myös auton sisätilan melua uudella päällysteellä ajettaessa. Erot hiljaisten päällysteiden ja referenssipäällysteiden välillä olivat merkittäviä. Tulosten mukaan hiljaiset päällysteet vähentävät melua tieympäristön lisäksi myös auton matkustamossa.

Koepäällysteiden kulutuskestävyyksissä oli suuria eroja; osa oli varsin hyvin kulutusta kestäviä, osa taas hyvinkin heikkoja. Hiljaiset päällysteet ovat myös luonteeltaan arkoja poikkeuksellisille mekaanisille rasituksille, koska päällysteen meluominaisuus syntyy renkaan ja päällysteen kosketuksessa. Tästä syystä tulisi jatkossa selvittää mm. talvikunnossapidon mahdolliset vaikutukset hiljaisiin päällysteisiin.

Osa koepäällysteistä oli ns. kaksikerrosrakenteita. Melumittaukset tehtiin päällysteiden ollessa kuivia. Kun tuloksia verrattiin saman koekohteen yksikerroksisten hiljaisten päällysteiden kanssa niin voitiin todeta, että tuloksissa ei ollut nähtävissä hyötyä kaksikerrosrakenteesta. Tilanne saattaa olla toinen sateen aikana tai sen jälkeen, sillä päällysteet ovat yleisesti meluisampia välittömästi sateen jälkeen kuin kuivuttuaan.

Tutkimuksen eräs tavoite oli osoittaa, että Suomessa voidaan tehdä riittävän kulutuskestävyyden omaavia hiljaisia päällysteitä. Hilja-projektin parhaat koepäällysteet voitiin luokitella hiljaisiksi päällysteiksi samalla kun niiden kulutuskestävyyttä voidaan pitää riittävän hyvänä. Uudelleenpäällystämisen kustannusten kannalta on myös syytä huomioida, että hiljaisten päällysteiden kerrospaksuudet ovat normaalia pienempiä (40...60 kg/m²).

Melumittausmenetelmät

Tutkimuksen tuloksena saatiin kaksi käyttökelpoista menetelmää päällysteen meluominaisuuden mittaukseen: modifioitu tilastollinen ohiajomenetelmä (SPB-menetelmä) ja modifioitu vaunumittausmenetelmä (CPX-menetelmä). Menetelmät on kehitetty vastaavista standardimenetelmistä siten, että ne soveltuvat käytännössä standardimenetelmiä paremmin melun toimivuusvaatimuksen mittareiksi. Menetelmissä mitataan hieman eri asioita; CPX-menetelmässä mitataan renkaan ja päällysteen vuorovaikutuksessa syntyvää ekvivalenttimelua kun taas SPB-menetelmällä mitataan tien vierestä ajoneuvon kokonaismelun maksimiarvo, jolloin päällysteen vaikutus näkyy rengasmelun osuudessa. SPB-menetelmä ottaa huomioon myös päällysteen

absorptionkyvyn tuoman mahdollisen hyödyn. Menetelmien periaatteellisista eroista huolimatta niiden keskinäinen korrelaatio on hyvä.

Tutkimuksessa käytetyn CPX-menetelmän suurin ero standardi-CPX-menetelmään on yhden sileän mittarenkaan käyttäminen neljän erilaisen renkaan sijaan. Tämä säästää suoraan mittausaikaa ja kustannuksia noin kolme neljäsosaa. Tulokset ovat silti yhdenmukaisia standardimenetelmän kanssa. Vastaavasti tutkimuksessa käytetty SPB-menetelmä poikkeaa standardi-SPB-menetelmästä mm. siten, että raskaiden ajoneuvojen synnyttämää melua ei mitattu lainkaan. Tämä vähentää mittaukseen tarvittavaa aikaa huomattavasti. Raskaiden ajoneuvojen melun mittaaminen ei myöskään ole perusteltua sen takia, että raskaiden ajoneuvojen moottorimelun ja voimansiirron melun osuus kokonaisuudesta sekä suhde rengasmelun osuuteen ovat kaupunkinopeuksilla huomattavasti suurempia kuin henkilöautojen kohdalla.

Menetelmät ovat keskenään vaihtoehtoisia. Tosin SPB-menetelmässä asetetaan hieman enemmän vaatimuksia mittauskohteen suhteen.

Kulutuskestävyyden arviointi

Koepäällysteiden kulumista mitattiin sekä laboratoriokokein että maastomittauksin. Laboratorioskokeet tehtiin Prall-menetelmällä koeteiltä poratuista kappaleista. Koeteiden urautumista mitattiin laserprofilometrimenetelmällä siten, että deformaatio ja kulumisen voitiin erottaa toisistaan. Prall-tulokset eivät korreloineet lainkaan koeteiden todellisen kulumisen kanssa. Tästä voitiin päätellä, että Prall-koe ei sovellu hiljaisten päällysteiden kulumisen arviointiin.

SRK-koetta ei projektin aikana kokeiltu, sillä koepäällysteet olivat liian ohuita riittävän korkeiden koekappaleiden saamiseksi SRK-kokeeseen. Myöskään massanäytteistä laboratoriossa tiivistämällä tehtävät koekappaleet eivät olisi vastanneet koeteiden erikoispäällysteitä.

Koeteiden kulumista mitattiin viidessä Hilja-projektissa toteutetussa ja kahdessa aiemmin tehdyssä koekohteessa - yhteensä 50 koeosuudelta. Näin saatiin erittäin hyvää tietoa hiljaisten päällysteiden kulutuskestävyydestä. Tämä korvasi projektin alkuperäisen tavoitteen kulutuskestävyyden arviointimenetelmästä.

Päällysteiden makrokarkeus, kitka ja vedenläpäisevyys

Koeosuuksien pintakarkeutta mitattiin useammassa koekohteessa kahdella eri makrokarkeutta mittaavalla standardimenetelmällä. Tulokset olivat keskenään johdonmukaisia. Samoin mitattiin märän päällysteen kitkaa autoon asennetulla kitkamittarilla – samaa menetelmää käytetään tiepiireissä liukkaan kelin kitkan mittaamiseen.

Makrokarkeus- ja melutulosten välinen korrelaatio oli huono. Yksi selitys tähän voi olla se, että joidenkin hiljaisten päällysteiden toimivuus perustuu myös rakenteen avoimuuteen. Päällysteen meluominaisuutta ei siis voida ennustaa makrokarkeuden perusteella.

Makrokarkeus ei selitä myöskään kitkaa – ainakaan siten, että makrokarkeuden kasvaessa kitka kasvaisi. Päinvastoin tulosten mukaan vaikuttaa siltä, että makrokarkeuden kasvaessa päällysteen kitka hieman pienenee. Eri osuuksien kitka-arvoja verrattaessa voidaan todeta, että märän hiljaisen päällysteen kitka ei ole huonompi kuin tavanomaisen märän päällysteen kitka.

Vedenläpäisevyyttä oli suunniteltu mitattavaksi Meripellontien koekohteessa, koska osa koeosuuksista on siellä toteutettu kaksikerrosrakenteina. Tästä jouduttiin kuitenkin luopumaan laitteiston viivästyneen käyttöönoton ja myöhemmässä vaiheessa sään kylmenemisen takia.

Meluominaisuuden laatuvaatimus

Melun toiminnallisen laatuvaatimuksen mukaiset mittaukset on suositeltavaa tehdä yhden vuoden ikäiselle päällysteelle kesä-elokuun aikana. Vuoden ikäisellä päällysteellä ymmärretään talven ylitse normaalissa käytössä ollutta tie- tai katuosuutta. Mittauksissa käytetään tässä raportissa kuvattua SPB- tai CPX-menetelmää.

Hilja-projektin mittaustulosten edustavuus on hyvä ainoastaan 50 km/h ja 60 km/h nopeusrajoitusten osalta. Mitattujen SMA16-referenssipäällysteiden keskimääräinen melutaso on SPB-menetelmällä mitattuna 75,5 dB(A)max ja CPX-menetelmällä mitattuna 92,5 dB(A)eq. Tulosten perusteella esitetään 50-60 km/h teillä ja kaduilla hiljaisen päällysteen raja-arvoksi SPB-menetelmällä mitattaessa 72,5 dB(A)max ja CPX-menetelmällä mitattaessa 88,5 dB(A)eq.

Melun leviämisen mallintaminen – hiljaisten päällysteiden hyöty

Hiljaisen päällysteen hyödyn osoittaminen melulaskelmissa teetettiin konsulttityönä, josta vastasi Suomen Akustiikkakeskus Oy. He ovat huolehtineet myös laskelmien edellyttämistä maastomittauksista yhdessä VTT:n kanssa. Tuloksena saatiin Excel-laskentaohjelma, jonka avulla voidaan laskea CPX- tai SPB-tuloksesta melunlaskentamallin lähtöarvo. Näin ollen hiljaisten päällysteiden tuoma mahdollinen hyöty voidaan esittää melulaskentamallien avulla melurajojen muutoksina.

Hankintamenettely

Projektin tavoitteena oli luoda edellytykset hankintamenettelyjen kehittämiseksi. Tuloksena on edellä mainitun mukaisesti esitetty ehdotus meluominaisuuden laatuvaatimukseksi sekä sen mittaamenetelmiksi. Samoin esitetään kolmea vaihtoehtoista hankintatapaa, joiden keskinäiset erot liittyvät urakoitsijan vastuuajanaan kulumisen suhteen sekä meluominaisuuden mittausaikankohtaan. Meluominaisuuden kohdalla vaihtoehtoina ovat mittaus vuoden ikäisenä tai mahdollisuus käyttää referenssikohteita laatuvaatimusten todentamismenetelmänä.

Jatkotutkimuksen tarve

1. Hiljaisten päällysteiden laatuvaatimusten laajentaminen koskemaan 80-120 km/h -teitä.
2. Nykyisten koeteiden meluominaisuuden ja kulutuskestävyyden seuranta.
3. Hiljaisten päällysteiden hoidolle asetettavat erityisvaatimukset

HILJA-PROJEKTIN TIEDOTUS JA RAPORTOINTI

Radio- ja TV-ohjelmat

1. Yle, Radio Vega, 21.8.2002
2. Yle, tv-uutiset, TV1, 23.8.2002
3. Yle, Puskuri, TV2, 27.3.2003
4. Ylen läntinen, maakuntaradio, heinäkuu 2003

Sanomalehdistö

1. Keskipohjanmaa 26.10.2001
2. Länsiväylä 28.7.2002
3. Länsi-Uusimaa 21.8.2002
4. Helsingin Sanomat 5.9.2002
5. Rakennuslehti 10.4.2003
6. Länsiväylä 19.11.2003

Aikakauslehdistö

1. Tiennäyttäjä 6/2002 / Mats Reihe
2. Ympäristö ja Terveys 3-4/2003 / Panu Sainio, Marko Kelkka
3. Asfalttilehti nro 72, joulukuu 2003 / Jarkko Valtonen

Kotimaiset esitelmät

1. Asfalttialan palautepäivä 13.11.2001, Viking Cinderella / Jarkko Valtonen, Ilmo Hyypä
2. Pohjolassa huipputietämys asfalttialalla. PTL:n seminaari 17.1.2002, Espoo / Nina Raitanen
3. Päällystekurssi 13.2.2002, Helsinki / Marko Kelkka
4. Katupäivät 5.9.2002, Helsinki / Marko Kelkka
5. Meluntorjuntapäivät 19.-20.3.2003, Jyväskylä / Panu Sainio
6. Kunnosta on kysymys -seminaari 4.-5.6.2003, Jyväskylä / Ilmo Hyypä
7. Asfalttialan palautepäivä 28.10.2003, Viking Mariella / Jarkko Valtonen

Ulkomaiset esitelmät

1. 9th International Conference on Asphalt Pavements 17.-22.8.2002, Kööpenhamina / Jarkko Valtonen, Ilmo Hyypä
2. Durable and Safe Road Pavements 6.-7.5.2003, Kielce / Nina Raitanen
3. 26th International Baltic Road Conference 25.-26.8.2003, Vilna / Nina Raitanen

Opinnäytteet

1. Hyyppä, Ilmo; Hiljaiset päällysteet Suomessa; Diplomityö, TKK 2002

Raportit

1. Raitanen, N. & Hyyppä, I; Hiljaiset tien ja kadun asfalttipäällysteet, Kirjallisuustutkimus; Projektin sisäinen raportti; TKK tietekniikan laboratorio 16.11.2001
2. Raitanen, N; Hilja - kesän 2001 SPB-mittaukset ja vertailu CPX-mittauksiin, Kokkola, Kaarina ja Meripellontie; Projektin sisäinen raportti, TKK tietekniikan laboratorio 15.2.2002.
3. Kelkka, M., Hyyppä & I, Raitanen, N; Hiljaiset päällysteet – HILJA. Väliraportti kevät 2002; T120, TKK tietekniikan laboratorio 2002.
4. Sainio, P. & Kelkka, M; Koepäällysteiden melunmittaustulokset toukokuussa 2002 (CPX-menetelmä); Hilja-projektin tilanneraportti, TKK tietekniikan laboratorio 24.5.2002.
5. Hyyppä I. & Kelkka, M; Hiljaiset päällysteet – HILJA. Päällysteiden kulumisraportti, kevät 2002; T122, TKK tietekniikan laboratorio 2002.
6. Sainio, P; Mittauksia Sturenkadulla 2002, Hilja-projekti; Projektin sisäinen raportti, TKK Autotekniikan laboratorio 2002.
7. Kelkka, M. & Raitanen, N; Kokkolan ja Kirkkonummen melunleviämiskoeteiden SPB- ja CPX-tulokset; Tilanneraportti syksy 2002, TKK tietekniikan laboratorio 2002.
8. Raitanen, N; Hilja - kesän 2002 SPB-mittaukset, Kokkola, Kaarina ja Meripellontie; Projektin sisäinen raportti, TKK tietekniikan laboratorio 11.8.2002.
9. Raitanen, N; Hilja – kosteuden vaikutus hiljaisiin päällysteisiin; Projektin sisäinen raportti, TKK tietekniikan laboratorio 11.8.2002.
10. Hyyppä, I. et al.; Hiljaiset päällysteet – tuotevaatimukset ja mittarit; Väliraportti maaliskuu 2003; T126, TKK tietekniikan laboratorio 2003.
11. Hyyppä, I et al.; Hiljaiset päällysteet – tuotevaatimukset ja mittarit; Päällysteiden kulumisraportti, kevät 2003; T131, TKK tietekniikan laboratorio 2003.
12. Hilja-projektin liikennemelumittaukset, kantatie 51 Kirkkonummella; VTT:n tutkimuslaskelma nro RTE2081/03, Espoo 2003.
13. Tuominen, H. Tekes/Infra/Hiljaiset päällysteet (Hilja); Lähiympäristön melumittaukset Kokkolassa; Suomen Akustiikkakeskuksen tekninen raportti TR 2612-1, Helsinki 13.10.2003.
14. Tuominen, H. Tekes/Infra/Hiljaiset päällysteet (Hilja); Tuoteominaisuuksien liittäminen laskentamalleihin; Suomen Akustiikkakeskuksen tekninen raportti TR 2612-2, Helsinki 27.10.2003.
15. Tuominen, H. Tekes/Infra/Hiljaiset päällysteet (Hilja); Mittaustulosten muunnokset laskentaa varten; Suomen Akustiikkakeskuksen tekninen raportti TR 2612-3, Helsinki 13.10.2003.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Abbott P G, Phillips S M; Factors affecting Statistical Pass-by measurements; The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering; Internoise 2001; The Hague, The Netherlands 2001
- Anila M, Unhola T; Melu-, kitka- ja heijastavuusmittaukset; VTT, Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 132; ASTO; Espoo, joulukuu 1992
- Anttila O; Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka; Ajoneuvon, renkaan ja tienpinnan melun mitausmenetelmät, muistio
- The Asphalt Contractor, March 2000; Asphalt paves a quieter street- Porous asphalt courses prove a soundtrap for French streets.
- Bendtsen H, Larsen L; Perception of Noise Reduction by Porous Asphalt; seminaariesitelmä Euronoise 2001, Patras 14.-17.1.2001
- Domenichini L, Francassa A, La Torra F, Loprencipe G, Renzo A, Scalamandre A; Relationship Between Road Surface Characteristics and Noise Emission; Paper 99.03; 1st International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction; TINO project, Rome 1999
- Hyypä I, Valtonen J; Melua vähentävien päällysteiden vaikutus ympäristömeluun; kulumisraportti, 2001; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T112
- ISO-11819-1:1997; Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-by Method; International Standard; International Organization for Standardization, 1997
- ISO 5128-1980; Acoustics – Measurement of noise inside motor vehicles; International Standard; International Organization for Standardization, 1980
- ISO/CD 11819-2; Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method; Committee Draft; International Organization for Standardization, 2000
- ISO/DIS 13473-1; Characterization of pavement texture utilizing surface profiles – Part 1: Determination of mean profile depth; Draft International Standard; International Organization for Standardization, 1995
- ISO/DIS 13325; Tyres – Coast-by-method for measurements of tyre/road sound emission; Draft International Standard; International Organization for Standardization, 2001
- Komulainen K, Puttonen M, Kärkkäinen T, Nyberg C; Ympäristömelun vähentäminen asfalttialan haasteena; Asfaltti; Asfalttiliitto Ry:n julkaisu nro 69, kesäkuu 2002
- Lancieri F, Licitra G, Losa M, Gerchiai M, Berengier M; Field and Laboratory Testing on Different Porous Asphalt Pavements; Pavement Surface Characteristics IV th International Symposium "SURF 2000", Nantes 22.-24.5.2000
- Nelson P M, Phillips S M; Quieter Road Surfaces; TRL Annual Review 1997
- NKFT; Lågbullerbeläggningar -ett nordiskt samarbetsprojekt under NKFT; Nordiske Seminar- og Arbejds- rapporter, 1993:603
- Promethor Oy; Tieliikennemelun mittausraportti, osat 1-4; Turku 2000-2001
- Reihe M; Hiljainen asfaltti, luentotiivistelmä; Päällystekurssit 2000

Saarinen A, Sipari P; Hilja-projektin liikennemelumittaukset kantatie 51 Kirkkonummella; VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tutkimusseloste nro RTE2081/03)

Sandberg U, Ejsmont J A; Tyre/Road Noise Reference Book, 2002

Sandberg U; Design and Maintenance of Low Noise Road Surface; Paper Presented at the Third International Symposium on Pavement Surface Characteristics; Christchurch, New Zealand 1996

Sandberg U; Low noise Road Surfaces on Traffic Characteristics Related to Environment, Economy and Safety; VTI notat 53 A-1997

Thin and Quiet? An update on quiet road surface products; Highway&Transportation, January/February 2000

Tieliikelaitos, Tieto- ja asiantuntijapalvelut, Etelä-Suomi; Meripellontien nopeustutkimus ja liikennelaskenta 29.10.2001

Valtonen J, Kosonen T, Peltonen P; Melua vähentävien päällysteiden kuluminen; tutkimusraportti, 2000; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T94

Van Bochoven Ir; Porous Asphalt (Two-Layered) -Optimising and Testing

LIITTEET

- Liite 1: Lähiympäristön melumittaukset Kokkolassa 2612TR-1, Suomen Akustiikkakeskus Oy
- Liite 2: Tuoteominaisuuksien liittäminen laskentamalleihin 2612TR-2, Suomen Akustiikkakeskus Oy
- Liite 3: Mittaustulosten muunnokset laskentaa varten 2612TR-3, Suomen Akustiikkakeskus Oy
- Liite 4: Melua vähentävän päällysteen hankinta (ehdotelma)
- Liite 5: Kulumismittaukset Kehä II:lla, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

TEKES / INFRA / HILJAISET PÄÄLLYSTEET (HILJA)

Lähiympäristön melumittaukset Kokkolassa

Tilaja	TKK tielaboratorio
Yhteyshenkilöt	Jarkko Valtonen, TKK tielaboratorio Marko Kelkka, TKK tielaboratorio Kari Lehtonen, Tiehallinto Mats Reihe, Tiehallinto Lars Forstén, Lemminkäinen Oyj, pj Tom Warras, Tekes

TIIVISTELMÄ

Raportoitavat mittaukset ovat osa Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan kuuluvaa tutkimusta, jonka avulla mm. pyritään selvittämään uudentyyppisten päällysteiden kykyä vähentää ympäristöön leviävää liikenteen melua ja sitä, millä mittaus- ja laskentamenetelmillä nämä ominaisuudet voidaan osoittaa.

Normaalin liikenteen ekvivalenttitaso mitattiin kesärengasaikana kolmella etäisyydellä tien lähiympäristössä. Mittaukset tehtiin syksyllä 2001 päällysteen levittämisen jälkeen sekä keväällä 2002 päällysteiden oltua käytössä yhden nastarengaskauden. Mittauksen kohteena oleva koetie sijaitsee Kokkolan pohjoisella ohikulkutiellä ja siihen kuuluu kaksi hiljaisten päällysteiden koeosuutta sekä yksi referenssiosuus. Samoilla osuuksilla TKK on tehnyt myös SPB- ja CPX-mittauksia. SPB mitataan ajoradan vieressä ja CPX erityiseen perävaunuun asennetulla laitteistolla.

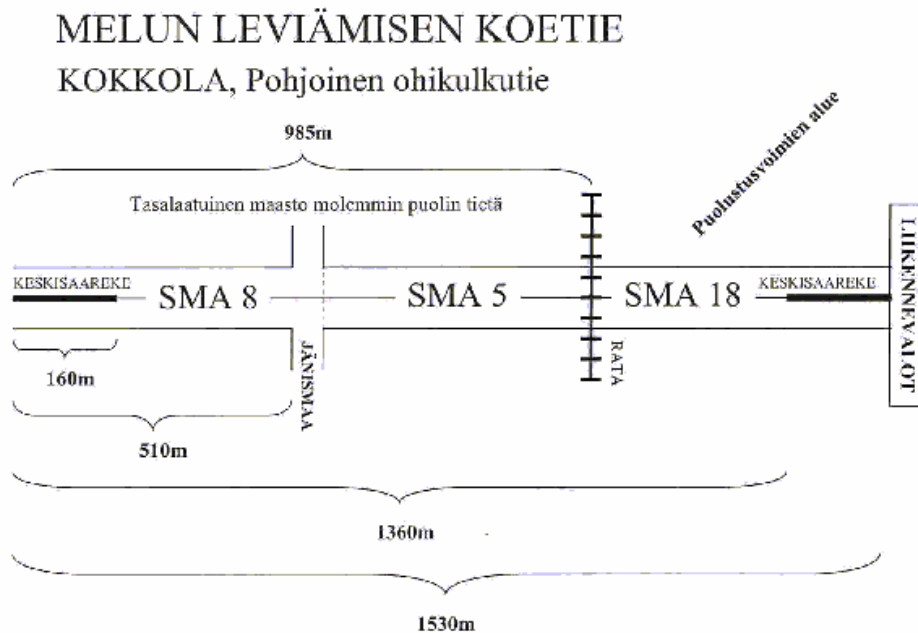
Tulokset eivät ole lainkaan yhteismitallisia muilla menetelmillä saatuihin tuloksiin verrattaessa. Tuloksiin vaikuttivat monet häiriötekijät. Eroissa voi pikemminkin nähdä koeosuuksien sijaintiin liittyvää, siis liikenneolosuhteiden ja taustamelun vaikutusta.

Hiljaisella päällysteellä saatavan meluntorjuntahyödyn toteamiseen suojattavissa kohteissa voisi tässä käytetty mittausmenetelmä olla toimiva, mikäli liikennevirran muutokset hallitaan, liikennettä on paljon ja mittausaika voidaan saada riittävän pitkäksi.

Tällaista mittausmenetelmää ei näin lyhyilläkin etäisyyksillä voida tämän selvityksen perusteella pitää käyttökelpoisena tuoteominaisuuksien määrittämiseen tai vertailuun, syistä jotka Kokkola ssa tulivat erityisen selkeinä esiin. Meluntorjuntahyötyä voidaan arvioida ainakin karkeasti, mikäli mittaussignaali tallennetaan samanaikaisesti sekä kohteessa että lähellä tietä, jotta tallennetta analysoitaessa liikennevirrasta voidaan poimia sellainen ajoneuvovalikoima, joka on ennen- ja jälkeenmittauksissa riittävän samanlainen.

MITTAUSKOHDE

Koetie sijaitsee Kokkolan pohjoisella ohikulkutiellä Ykspihlajan satamaan johtavan radan ja Puolustusvoimien varikkoalueen kohdalla ja sen osalta tutkimuksessa selvitetään melun leviämistä lähiympäristöön. Varsinaisia koeosuuksia on kaksi ja afalttilajina näissä SMA 5 ja SMA 8, jotka oli tehty kummallekin kaistalle. Koeosuuksien pituudet ovat noin 500m. Vertailuosuuden afalttilajina on SMA 16, joka oli myös tehty kummallekin kaistalle noin 500m pituisena.



Kuva 1: Mittauskohde

MITTAUSMENETELMÄ

Kunkin päällysteosuuden keskikohdalla olevalta linjalta tien itäpuolelta tasaisessa maastossa valittiin kolmelta etäisyydeltä pisteet, jotka kierrettiin vakiojärjestyksessä. Ensin kierrettiin kaikilla osuuksilla pisteet 20m tien keskilinjasta (A1, B1 ja C1). Sen jälkeen 10m etäisyydellä (C2, A2 ja B2) ja lopuksi 40m etäisyydellä (B3, C3 ja A3). Välittömästi hiljaisen päällysteen valmistumisen jälkeen tehdyissä mittauksissa tehtiin vielä ylimääräiset lyhyemmät otokset keskietäisyydellä (A1b, B1b ja C1b). Täsmälleen samanaikaisesti edellisten kanssa suoritettiin kiinteässä pisteessä (K) kontrollimittaukset joilla seurattiin melupäästön vaihteluita.

Kunkin mittausjakson liikennemäärät laskettiin kontrollipisteessä ja samalla mitattiin sen melutaso. Tuloksia käsiteltäessä liikkuvan mittauspisteen havaintoarvot analysoitiin myös oikaisemalla ne kontrollipisteen tuloksilla, jotta liikenteen melupäästön vaihtelut eivät jäisi vaikuttamaan lopputuloksessa. Mittausten samanaikaisuus varmistettiin puhelinyhteydellä.

Nauhoja analysoitaessa pyrittiin jättämään pois sellaiset melutapahtumat, joiden meluun päällysteen ominaisuuserot eivät vaikuta, kuten isot rekat, traktorit ja moottoripyörät, jotka muutoin olisivat dominoineet tuloksia. Tämänäyttypiset melulähteet ovat myös niin harvaan toistuvia, että mittauspisteiden vertailtavuus kärsisi paljon.



Kuva 2: Kontrollipiste

Tulokset on esitetty lopulta ilman kontrollipisteen vaikutusta, koska kontrollipiste oli kahteen koeosuuteen nähden merkittävän liittymän toisella puolella. Syksyn 2001 mittauksissa kontrollipisteen paikkaa vaihdettiin kerran ja toiseen ei ollut aikaa, eikä toisaalta parempaa sijaintipaikkaakaan olisi ollut tarjolla.

MITTAUSLAITTEET

Liikkuva mittauspiste:	Tarkkuusäänitasomittari B&K 2209 Sony TC-D5M nauhuri Kalibraattori B&K 4230
Kontrollipiste:	Tarkkuusäänitasomittari B&K 2231 Event recorder -ohjelmamoduuli Kalibraattori B&K 4230 Pintalämpömittari

Tässä selvityksessä oltiin liikkeellä hyvin kevyellä laitteistolla, koska sopiva ajankohta mittauksille oli lyhyt ja siirtymisajat oli pakko pitää varsin lyhyinä. Liikkuva mittauskalusto oli kannettava, yksikanavainen ja nauhoittava.

MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Mittaukset päällysteen valmistumisen jälkeen

Mittaukset välittömästi hiljaisen päällysteen valmistumisen jälkeen tehtiin 6.9.2001. Mittauspäivänä aamuna oli vesisade. Mittaukset tehtiin iltopäivällä, kun sateen loppumisesta oli yli neljä tuntia ja

päällyste näytti täysin kuivuneen ajourista. Myöhemmin voitiin tuloksista kuitenkin päätellä että kuivuminen ei ollut ollut täydellistä.



Kuva 3: Ajorata mittausten alkamisaikaan 6.9.2001

Mittaukset yhden nastarengaskauden jälkeen

Mittaukset tehtiin 5.6.2002 loppuiltaapäivästä. Tie oli mittausten aikana täysin kuiva.

TULOKSET

Spektrit on esitetty A-painotettuina. Erot vastavalmistuneiden päällysteiden välillä ovat melko selviä sekä kokonaistasoina että spektrissä, liite 1. Nastarengaskauden jälkeen tulokset ovat, mikäli mahdollista, vielä hajanaisempia kuin syksyn mittauksessa, liite 2. Yksi syy ovat häiriöäänät ja alhaisemmat liikennemäärät. Päällysteiden odotettuja (siis muilla menetelmillä saatuja) eroja ei voi havaita.

Tulosten tarkastelua

Yllättäen SMA5, jonka oletettiin olevan päällysteistä hiljaisiin, onkin meluisampi kuin peruspäällyste SMA8. Tämä ero säilyi, vaikka analyysit tehtiin kokonaan uudelleen. Spektrien perusteella järjestys voimakkaimmalla taajuusalueella 500-3000Hz (A-painotettuna) on odotetun mukainen, mutta matalammilla taajuuksilla järjestys muuttuu. Osan tästä ilmiöstä voi selittää päällysteiden lyhyt kuivumisaika sateen jälkeen (seuraava sade alkoi varhain seuraavana aamuna). Toisaalta mittausmenetelmä ei mahdollista liikenteen melupäästön, erityisesti ajoneuvojakautuman, muutosten oikaisua tuloksista. Tulos oli kuitenkin hyvin systemaattinen, mikä puoltaa kuivumiseroja. Hienojakoisimman päällysteen voidaan ajatella kuivuvan muita hitaammin.

Virhelähteistä

Tutkimusstrategian tulee olla erilainen, jos tavoite on määrittää päällysteen ominaisuus ja päällysteen vaikutus (hyöty) suojattavassa kohteessa. Sään ja muiden melulähteiden vaikutukset, sekä poikkeamat liikenteessä tulee pyrkiä minimoimaan ominaisuusmittauksessa ja ottamaan huomioon (tilastollisesti oikein) vaikutusmittauksessa.

Virhelähteitä ovat häiriöäänät ja keskiarvoistuksen (näytteenoton) rajallisuuden vaikutukset. Jälkimmäisellä tarkoitetaan tässä signaalin epästabiiliutta, eli liikennevirran vaihtelevuutta.

Jotkut virheet kasvavat tieltä poispäin mentäessä, jolloin taas toiset pienenevät. Samoin mittausjaksojen pidentäminen pienentää eräitä virheitä ja saattaa suurentaa toisia.

Voimakkaimpia virhelähteitä kaukana tiestä ovat linnut (keväällä), hyönteiset (koko kesän) ja muualta tulevat häiriöäänät. Syy näihin on mitattavan signaalin vaimeneminen, jolloin taustäänät kuuluvat sen yli helpommin.

Voimakkaimpia virhelähteitä lähellä tietä ovat yksittäiset tapahtumat liikenteessä eli poikkeavat ajotavat ja hetkelliset nopeusvaihtelut, sekä näytteenoton eriaikaisuus vertailupisteiden välillä.

Harvinaiset ja melultaan muusta liikenteestä poikkeavat ajoneuvot ovat virhelähde, johon etäisyys ei vaikuta. Mittaajan on tällöin päätettävä hylkäämiskynnys niitä varten etukäteen.

Virhelähteitä, joita voi heikentää pitkällä näytteenotolla ovat yksittäiset ilmiöt liikennevirrassa ja ajoneuvojakautumassa, näytteenoton eriaikaisuus vertailupisteiden välillä, keskiarvosta poikkeavat ajoneuvot ja hetkelliset häiriöäänät.

Virhelähteitä, joita voi heikentää lyhyellä näytteenotolla ovat sääolosuhteiden muuttuminen ja liikenneolosuhteiden muuttuminen (vuorokausi- ja viikkorytmi)

Ratkaisumalleina edellisiin on, että mittaus keskeytetään häiriön ajaksi tai nauhalta karsitaan ko. häiriöt pois ja/tai että mittaus käynnistetään vain kun hyvä signaali on saatavilla eli kun häiriöitä ei ole odotettavissa ja kun hyväksyttävä ajoneuvo(joukko) tulee kohdalle. Lisäksi voidaan vaikuttaa liikenteeseen itse esim. siten, että lisätään hyväksyttävien ajoneuvojen määrää. Tällöin saadaan kelvollinen näytesarja kertymään nopeammin. Kannattaa myös pyrkiä kattamaan sama osuus liikennevaihtelusyklistä joka pisteessä, esim perjantain iltaliikenne.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Mittauksella ei saatu käyttökelpoisia tuloksia, useammasta syystä.

Paikka oli liikenteellisesti koeosuuksien välisten pienten erojen vertailuun hankala, koska osuuksien välillä oli liittymä, josta suuri osa liikennevirrasta poistui tai tuli ja molemmissa koeosuuksien väleissä liikenteen tasaisuus häiriintyi. Tämä lisäsi moottorimelun osuutta entisestään. Kauempana tiestä tämä vaikuttaa mittaus tuloksiin voimakkaammin kuin tien reunalla, esimerkiksi SPB-mittauksissa. SPB:hen sisältyvä nopeusvaihtelun normalisointi myös osaltaan kompensoi tätä epävarmuuslähdettä. Raskaita ja kooltaan hyvin erilaisia ajoneuvoja oli paljon, mikä asettaa erityisen suuret vaatimukset vertailtavuuden parantamisen muille tekijöille. Samoista syistä ei mittausajankohtien 'sisäisen' vertailtavuuden parantamiseen tarkoitettu kiinteä vertailumittauspiste liikennelaskentoiheen tuonut apua.

Ympäristössä oli paljon häiriöääniä. Kauemmas tietä siirryttäessä jouduttiin lähelle teollisuusaluetta, jolla paikoin oli rekkaliikennettä ja muuta toimintaa. Niiden vaikutuksen poistaminen nauhaa analysoitaessa ei onnistunut. Asiaa olisi auttanut samanaikainen taltiointi läheltä tietä, mihin silloin ei ollut mahdollisuutta. Katko syksyn sateessa antoi ensimmäiseen mittaukseen vain muutaman tunnin aikaa ennen liikenteen hiljentymistä yöksi. Seuraavana aamuna jatkuva sade oli jo alkanut uudelleen. Toinen mittaus tehtiin edellisen toistona, kuitenkin hieman pidemmin mittausajoin.

Erikoista on, että molemmilla kerroilla päällysteet menivät vertailussa samaan järjestykseen, joka kuitenkin poikkeaa muilla menetelmillä saadusta järjestyksestä. Tässä voinee nähdä koeosuuksien sijaintiin liittyvää, siis liikenneolosuhteiden ja taustamelun vaikutusta.

Tällaista mittausmenetelmää ei näin lyhyilläkin etäisyyksillä voida tämän selvityksen perusteella pitää käyttökelpoisena tuoteominaisuuksien määrittämiseen tai vertailuun, syistä jotka Kokkolassa tulivat erityisen selkeinä esiin. Jos kohteeseen olisi ollut mahdollista päästä lyhyemmällä matkaviiveellä, olisi mittaukset ehkä ollut mahdollista tehdä optimaalisempina ajankohtina tai useammassa jaksossa.

Liite 1 Mittaukset syksyllä 2001

HILJA / Kokkola / syksy 2001: mittaukset maastossa (A-tasot)

A-painotetut oikaisemattomat tasot:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko	ka
SMA8	60.1	55.4	53.0	46.0	53.6
SMA5	60.0	56.8	54.6	50.5	55.5
SMA18	64.3	60.7	57.8	56.0	59.7
ka	61.5	57.6	55.1	50.8	

Päällystekohtaiset erotukset:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko	ka
SMA8	-4.2	-5.3	-4.7	-10.0	-6.1 dB
SMA5	-4.4	-3.9	-3.1	-5.5	-4.2 dB
SMA18	0	0	0	0	0 dB

Etäisyysvaimeneminen:

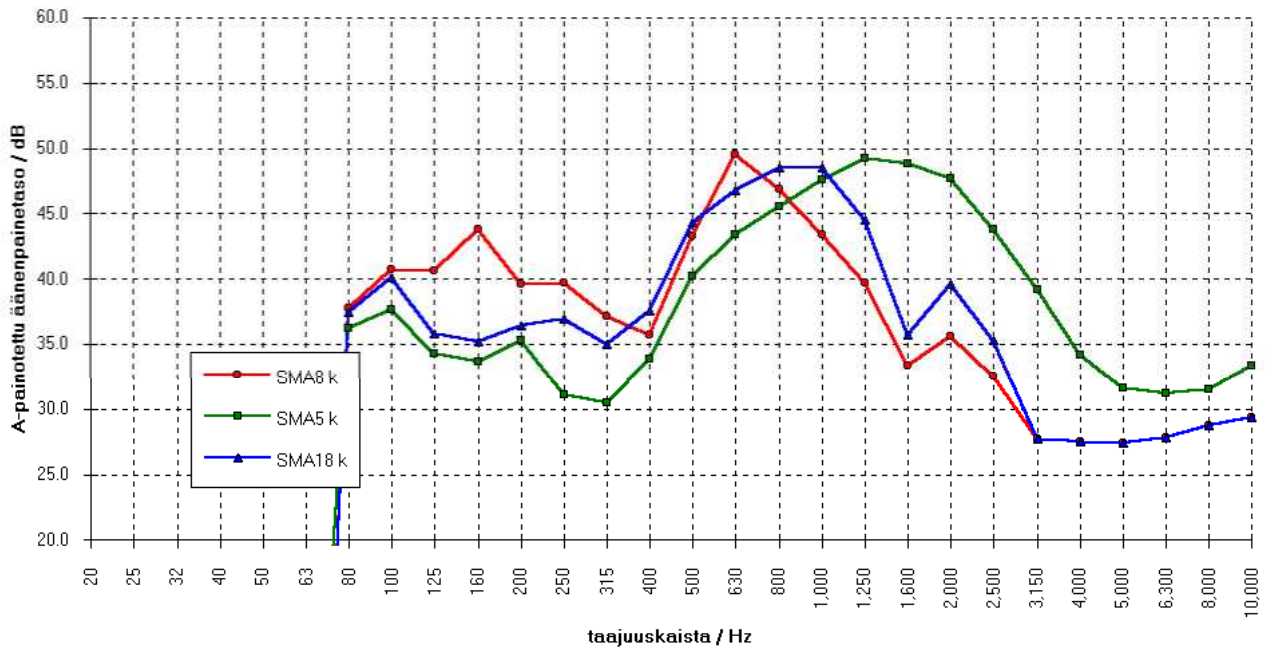
dB/2x etäisyys

	lähi	keski 1	keski 2	kauko
SMA8	0	-4.7	-7.1	-8.3
SMA5	0	-3.2	-5.3	-5.2
SMA18	0	-3.6	-6.6	-3.2
ka	0	-3.8	-6.3	-4.3

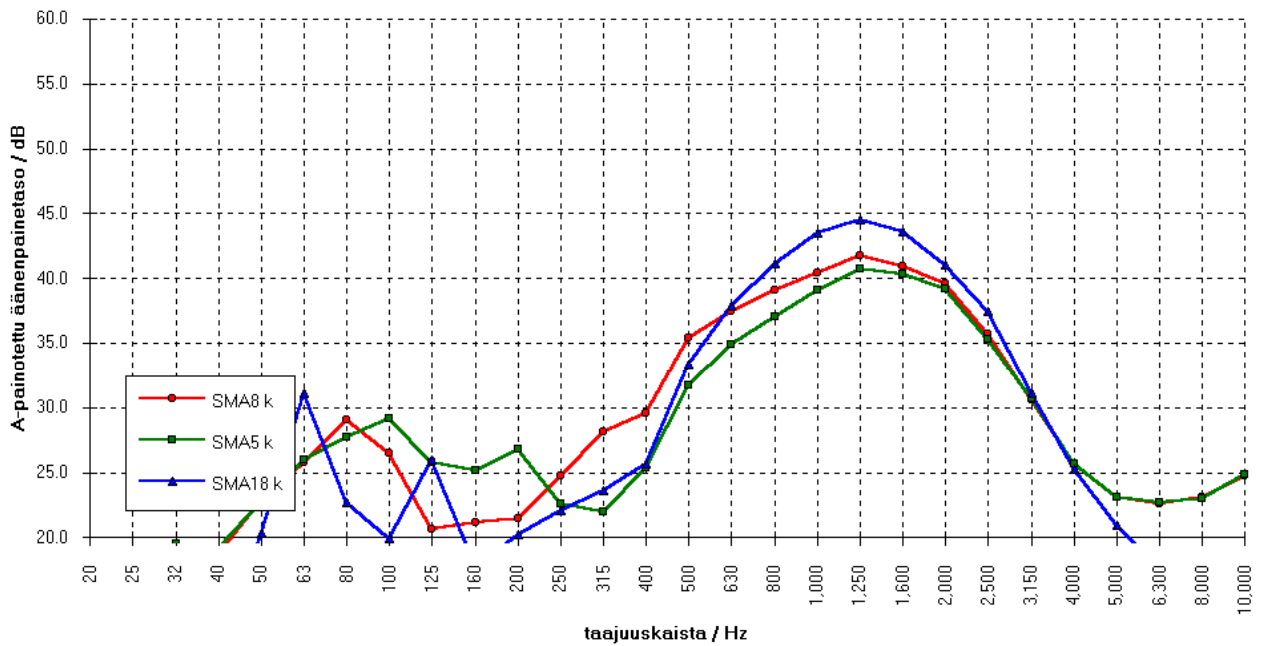
Mittausjärjestys:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko
SMA8	5	1	10	9
SMA5	6	2	11	7
SMA18	4	3	12	8

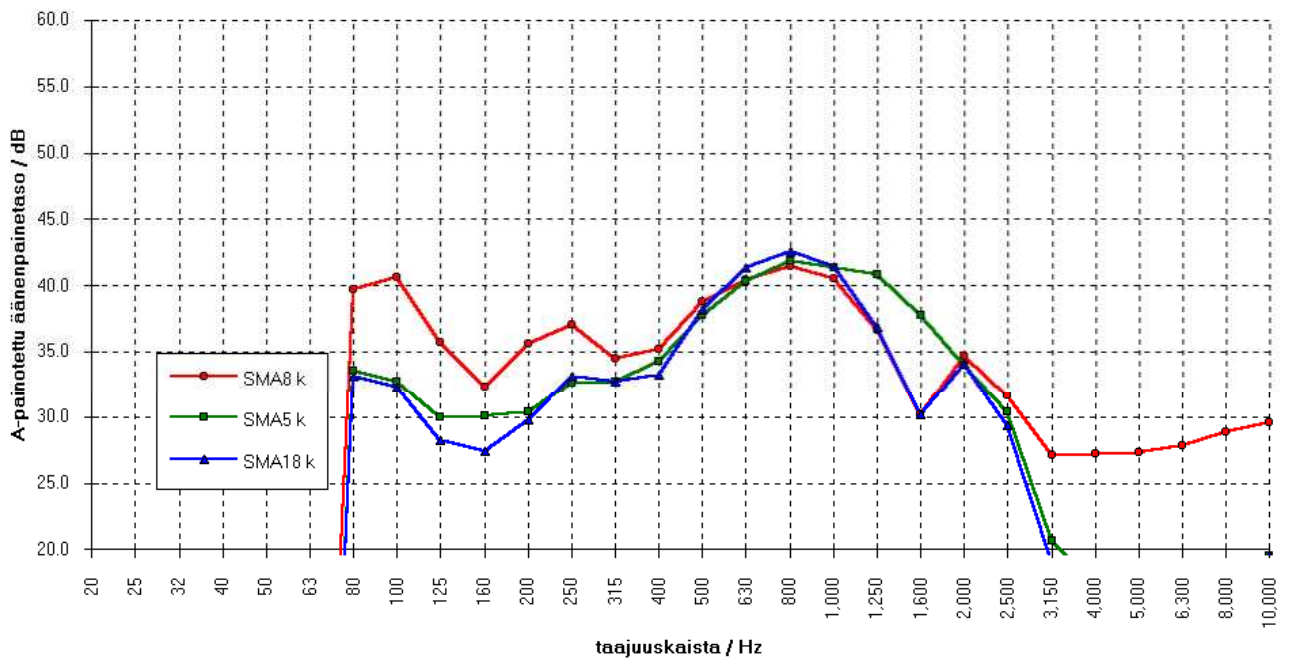
HILJA / Kokkola / syksy 2001: lähietäisyys



HILJA / Kokkola / syksy 2001 : keskieäisyys



HILJA / Kokkola / syksy 2001 : kaukoetäisyys



Liite 2 Mittaukset keväällä 2002

HILJA / Kokkola / kevät 2002: maastomittaukset A-tasoina

A-painotetut oikaisemattomat tasot:

	lähi	keski	kauko	ka
SMA8	56.9	51.6	44.9	51.1
SMA5	55.2	54.0	47.5	52.2
SMA18	60.9	49.7	51.9	54.2
ka	57.7	51.8	48.1	

Päällystekohtaiset erotukset:

	lähi	keski	kauko	ka
SMA8	-4.0	1.9	-7.0	-3.0 dB
SMA5	-5.7	4.3	-4.4	-1.9 dB
SMA18	0	0	0	0 dB

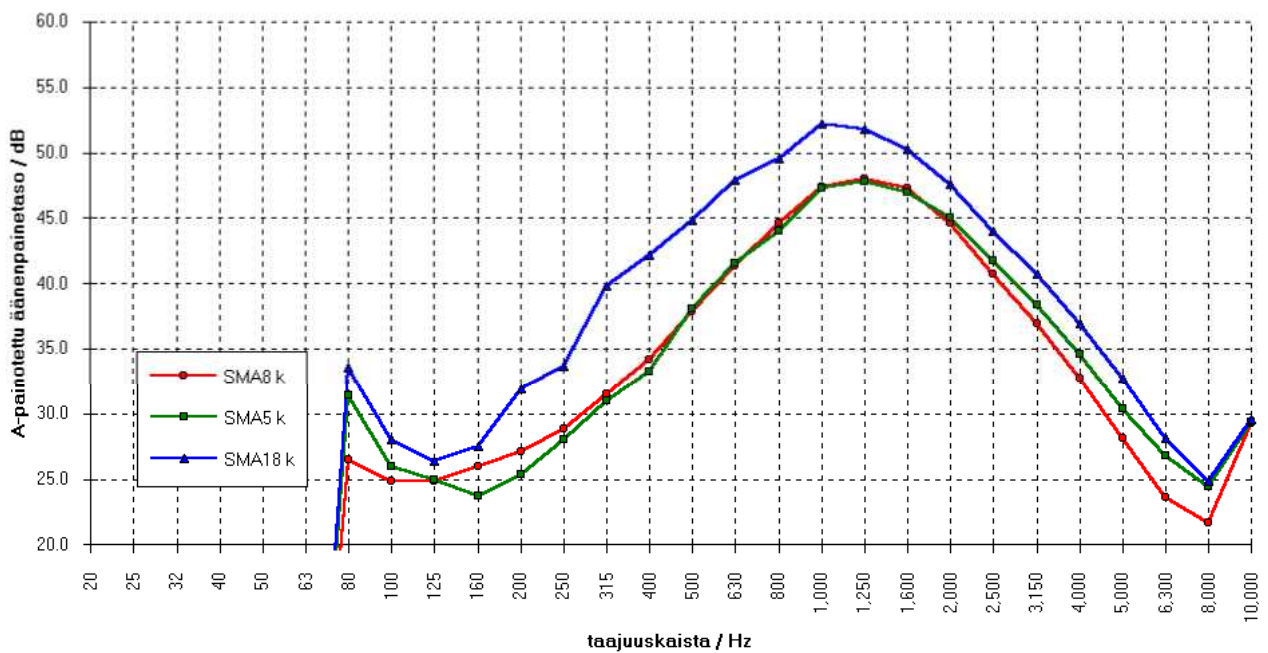
Etäisyysvaimeneminen:

	lähi	keski	kauko
SMA8	0	-5.3	-6.7
SMA5	0	-1.2	-6.5
SMA18	0	-11.2	2.2
ka	0	-5.9	-3.7

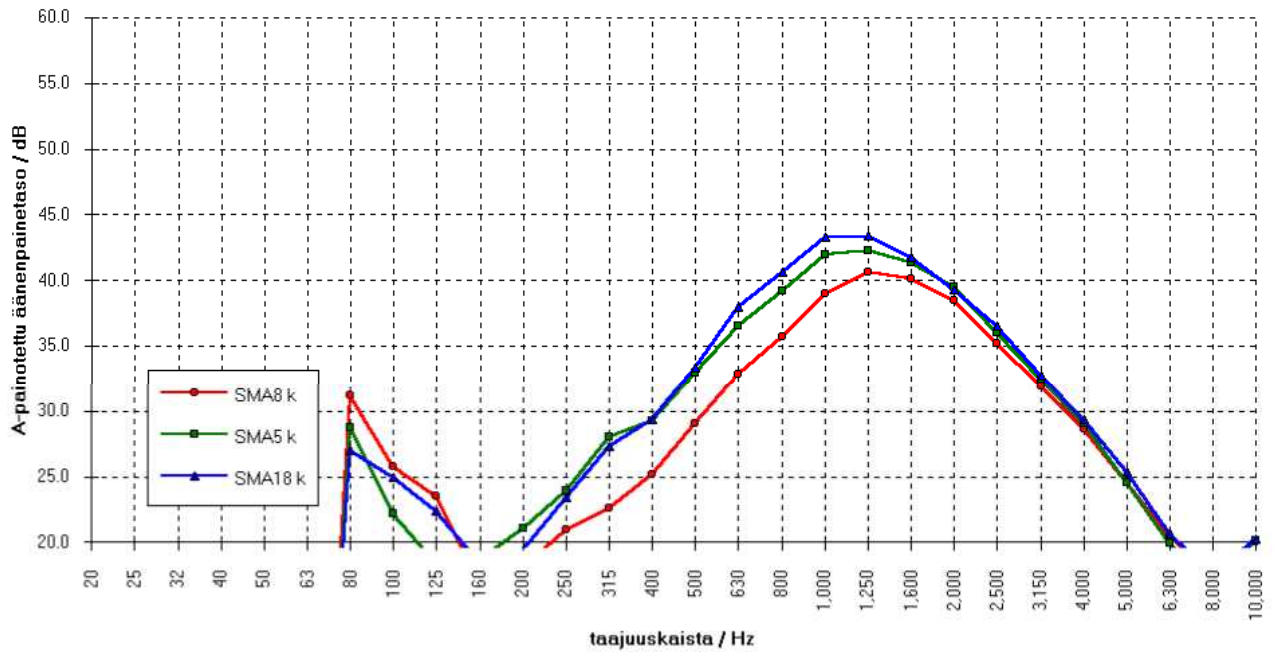
Mittausjärjestys:

	lähi	keski	kauko
SMA8	5	1	9
SMA5	6	2	7
SMA18	4	3	8

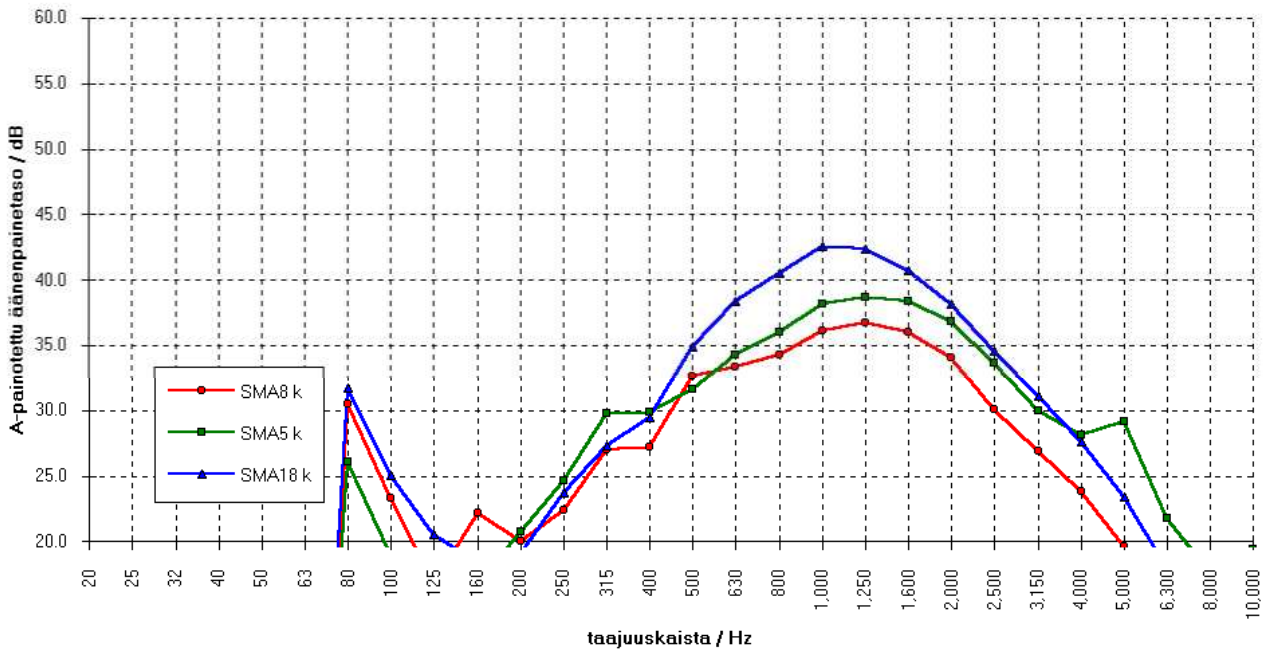
HILJA / Kokkola / kevät 2002 : lähietäisyys



HILJA / Kokkola / kevät 2002: keskieäisyys



HILJA / Kokkola / kevät 2002: kaukoetäisyys



TEKES / INFRA / HILJAISET PÄÄLLYSTEET (HILJA) Tuoteominaisuuksien liittäminen laskentamalleihin

Tilaja	TKK tielaboratorio
Yhteyshenkilöt	Jarkko Valtonen, TKK tielaboratorio Marko Kelkka, TKK tielaboratorio Kari Lehtonen, Tiehallinto Mats Reihe, Tiehallinto Lars Forstén, Lemminkäinen Oyj, pj Tom Warras, Tekes

TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on osa TEKESin Infra-teknologiaohjelmaan kuuluvaa HILJA-tutkimusta, jonka avulla mm. pyritään selvittämään, millä mittaus- ja laskentamenetelmillä uudentyypisten päällysteiden kykyä vähentää ympäristöön leviävää liikenteen melua voidaan osoittaa. Projektiin kuuluu suuri määrä päällysteiden meluominaisuuksien vertailuja, jotka suorittaa ja raportoi TKK. Menetelminä valtaosassa mittauksia on ISO:n standardista soveltaen kehitetty ohiajomittaus (SPB) sekä ISO/CD-starnardiluonnoksesta sovellettu perävaunussa tehtävä mittaus (CPX).

Tässä raportissa käsitellään laskentamenetelmien esittelyn lisäksi kysymystä, kuinka päällysteiden tuotekohtaiset vaatimusarvot voitaisiin johtaa meluntorjuntatarpeesta nyt ja tulevaisuudessa. Tämä onnistuu esimerkiksi siten, että nykyisten ja tulevien laskentamallien tuoteominaisuustaulukkoja voitaisiin täydentää uusilla päällystetyypeillä.

Raportissa kuvataan aluksi kuinka melulaskentamallit ovat kehittymässä ja mitä tulevista EU:n yhteisistä menetelmistä nyt tiedetään. Kysymykseen 'mikä menetelmä on paras hankintamittauksiin juuri nyt' vastaus on nyt voimassaolevan laskentamallin soveltaminen. Pitkälle tulevaisuuteen on vaikea varautua, koska tulevan kehityksen aikatauluakaan ei voi ennustaa. Laskentamallit kuitenkin näyttävät kehittyvän siihen suuntaan, että liittäminen on nykyistä tarkempaa ja tuoteominaisuudet paremmin huomioivaa.

Tulevaisuuden mittausmenetelmänä tuoteominaisuuksille on jokin ohiajomittausmenetelmän kehittyneempi muoto varsin todennäköinen, ehkä sellaisin signaalinkäsittelyteknisin parannuksin, joita Taraldsen on esittänyt Nordtest-hankkeissaan.

Laajan päällysteurakan luovutus- tai vastaanottomittauksissa perävaunumittaus (CPX) puolustaa paikkaansa, koska sen avulla voidaan varmistaa päällysteen meluominaisuuksien toteutuminen ja yhtenäisyys urakan koko alueella ja monista epävarmuustekijöistä riippumattomana.

1 TAUSTA JA TAVOITE

Rengasmelusta on vähitellen tullut yhä keskeisempi tieliikennemelun osatekijä. Ajoneuvot ovat kehittyneet hiljaisemmiksi, tien varren meluntorjuntatoimenpiteiden, kuten melusteiden, käytettävyyden rajat ovat tulleet monin paikoin vastaan ja liikennemäärät kasvavat jatkuvasti.

Euroopan Unionin direktiivi 2002/49/EC edellyttää jäsenmailta suunnitelmia ympäristömelun alentamiseksi ja tilanteen seuraamiseksi. Melusteet ovat tehokas paikallinen keino, jota on laajalti käytetty myös Suomessa. Niiden vaikutus on kuitenkin hyvin paikallinen ja liikennemäärien kasvaessa vaimennuksen parantaminen jälkeinpäin on yleensä erittäin vaikeaa ja kallista. Hiljaiset päällysteet vaikuttavat desibeleinä keskimäärin vähemmän, mutta vaimennus koituu koko ympäristön hyödyksi.

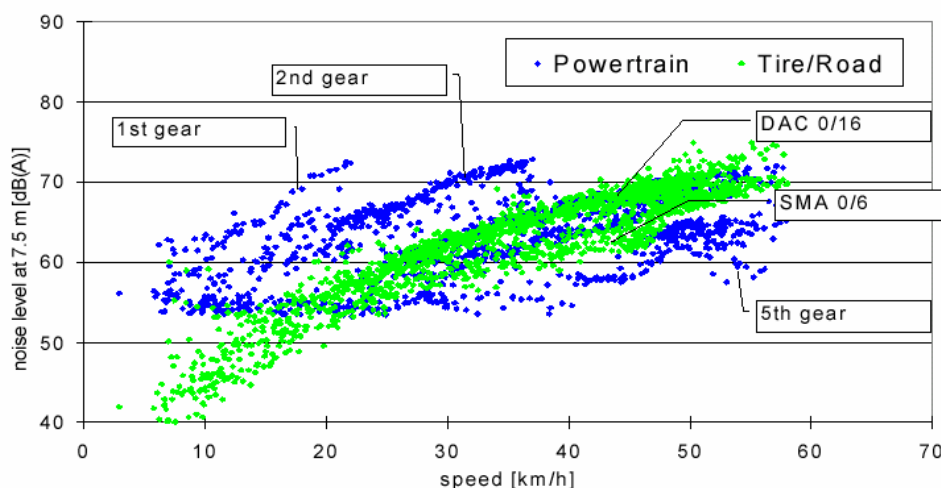
Päällysteiden kehittäminen hiljaisemmiksi on erittäin houkuttelevaa, koska samoilla, jo toteutetuilla meluntorjuntaratkaisuilla voitaisiin tulla toimeen pitkiä aikoja eteenpäin liikenteen kasvusta huolimatta. Mikäli päällysteellä saadaan 5dB, 3dB tai yksikin dB alempi melutaso, se tekisi tilaa 200%, 100% tai edes 20% liikennemäärien kasvulle ilman, että melutaso nousisi.

Tässä raportissa ei tulla käsittelemään

- kuinka SPB- ja CPX-mittus tehdään
- kuinka melutaso mitataan maastossa (viitataan suomalaisiin mittausohjeisiin)
- miten päällysteen märkyyden vaihtelu vaikuttaa tai voitaisiin kompensoida
- miten päällysteen vanheneminen vaikuttaa

Kahden ensimmäisen rajauksen suhteen tässä viitataan vain Hilja-projektin muihin osiin sekä projektiin liittyviin opinnäytetöihin. Kaksi jälkimmäistä seikkaa taas tiedetään tärkeiksi päällysteen antaman meluntorjuntahyödyn sekä mittauksen ja luokittelun kannalta, mutta tutkimustietoa tai ehdotuksia ilmiöiden käsittelemiseksi ei juurikaan ole. Luokittelu ja mallinnus tuntuu kaikkialla olevan rajattu kuiviin olosuhteisiin eikä vanhoista päällysteistä ole vielä paljonkaan kokemusta.

Rengasmelun osuus henkilöajoneuvojen melusta on merkittävä yli 50 km/h nopeuksilla, kun ajetaan kolmesta suuremmalla vaihteella. Sekarakenteisen liikennevirran melusta sen merkitys on selvä viimeistään yli 80 km/h nopeuksilla. Kuvasta nähdään myös, että alle 50 km/h nopeuksilla moottori- ja voimansiirtomelu muuttuu nopeuden mukana hyvin samalla jyrkkyydellä kuin rengasmelu.



Voimansiirtomelun (powertrain) ja rengasmelun (tire/road) keskinäiset suhteet henkilöautoilla tehdyissä mittauksissa. Jonasson, EuroNoise 2003

Optimaalinen päällyste on aina jonkinasteinen kompromissi kestävyys-, ympäristö- ja turvallisuusominaisuuksien kesken.

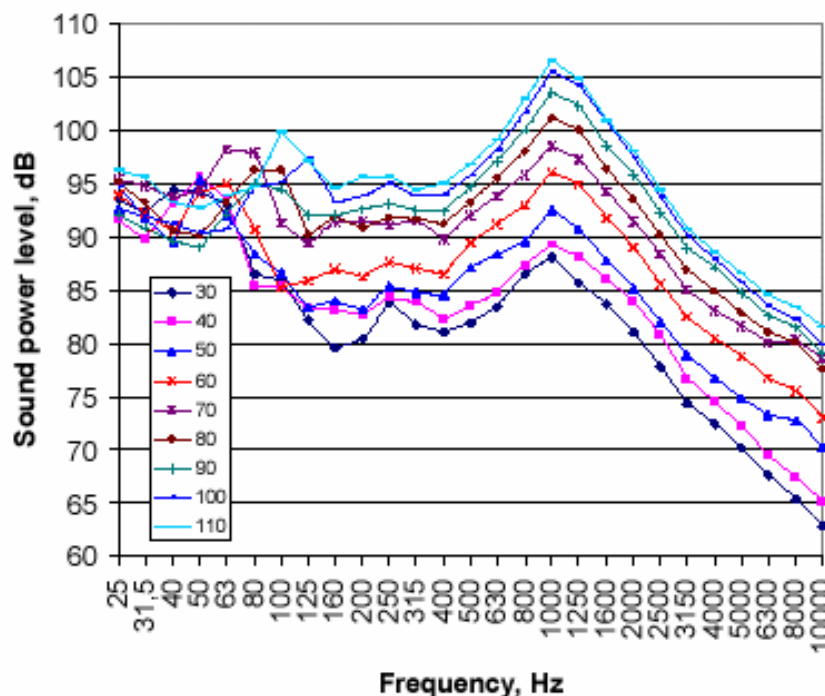
Monissa Euroopan maissa on päällysteen meluominaisuuksien kehittämissuunnitelmia. Erityisesti Tanska ja Hollanti ovat tuottaneet paljon aineistoa. Nastarekaiden puuttuminen näistä maista kuitenkin rajoittaa tulosten suoraa hyödyntämistä Suomessa. Teoreettista ja laboratoriotutkimusta on paljon myös Ruotsissa (VTI) ja Puolassa. Melun leviämisen laskentamalleja on kehitetty mm Ruotsissa (SP), Tanskassa (Delta), Ranskassa ja Hollannissa.

TEKESin ympärille kootun Hilja -utkimuksen tavoitteena on saada markkinoille melua vähentäviä, riittävän kulumiskestäviä ja edullisia päällysteitä. Sitä varten kehitetään toiminnalliset laatuvaatimukset ja mittarit, joilla voidaan verrata tuotteita keskenään ja myös osoittaa paljonko kannattaa paremmasta tuotteesta maksaa.

Keskeistä on osoittaa yhteys menetelmiin, joilla suojattavassa kohteessa saavutettava vaimennus voidaan ennustaa. Tästä voidaan edelleen jatkossa päätellä paljonko melua vaimentavasta päällysteestä kannattaa maksaa ja siitä edelleen tarpeen ja hankinnan kannattavuuden perusteella kuinka suuret markkinat hiljaisten päällysteiden kehittämisen pohjaksi ovat olemassa.

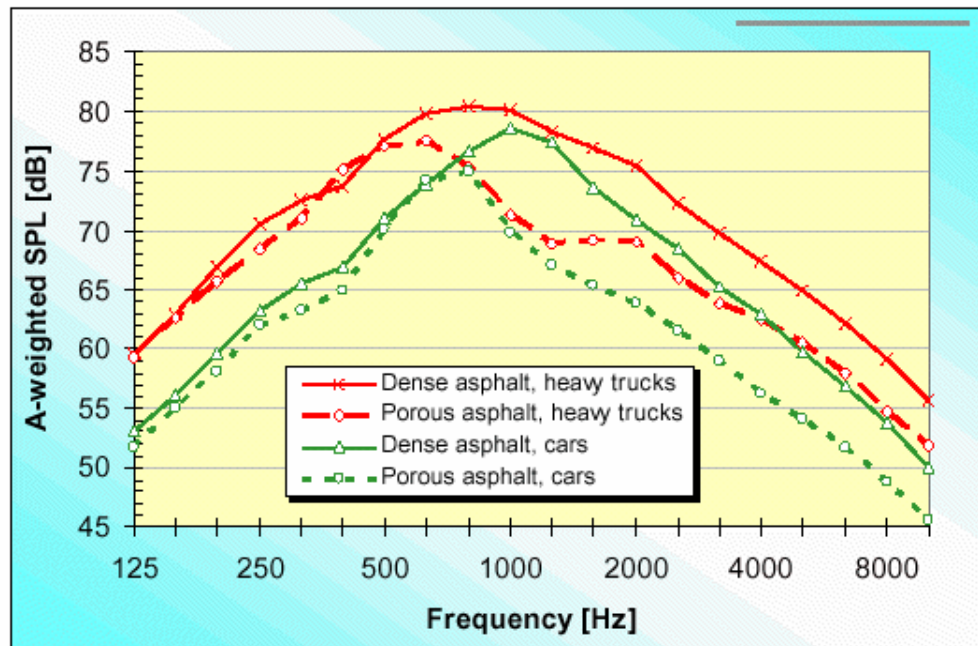
1.1 Rengasmelun syntymekanismit

Melun synnylle on kehitetty paljon teorioita ja ennustamalleja, joista mikään ei liene vahva kaikkien vaikuttavien tekijöiden huomioonottamisessa. Melun synty ja voimakkuus riippuu ensisijaisesti ajoneuvon nopeudesta (kuvassa suurena koko ajoneuvon äänitehotaso).



Rengasmeluun eli tienpintakosketuksen meluun vaikuttaa monta erillistä tapahtumaa ja ilmiötä. Osatekijöitä ovat renkaan törmäämisen tienpintaan ja irtoamisen aiheuttamat värähtelyt renkaan pinnassa, ilman liikkeet tienpintakosketuksen lähellä sekä ns torvivaikeus. Torvi-ilmiöllä tarkoitetaan renkaan etu- ja jättöpuolella olevan ilmatilan toimimista megafonin tavoin akustisena impedanssisovittimena.

Päällysteen karkeudella ja huokoisuudella on selvä vaikutus meluun. Ero näkyy suurilla taajuuksilla ohiajomittauksessakin:



1.2 Suomessa käytetyt tieliikennemelun laskentamallit

Melun leviämisen laskemiseen on tarjolla useita laskentamalleja sekä niistä tehtyjä ohjelmistoja. Tien välittömässä läheisyydessä (etäisyys enintään 30 - 100 m), maastomuodot vaikuttavat suhteellisen vähän ja laskenta voidaan tehdä melko yksinkertaisesti. Sääkään ei tällöin vaikuta etenemiseen (melun syntyyn se vaikuttaa, jos esimerkiksi tienpinta on märkä).

Vuodesta 1981 alkaen on Suomessa ollut käytössä pohjoismainen laskentamalli, uusin versio on vuodelta 1996. Nämä mallit perustuvat A-tason käsittelyyn eivätkä siis tee erittelyä taajuuden suhteen. Mallissa on kuitenkin ”apuparametrejä” joilla spektrin muuttuminen huomioidaan mm. este- ja maavaimennusta laskettaessa.

Pohjoismaisesta mallista on kehitetty täysin uudistettu versio Nord2000, joka ei ainakaan vielä ole virallisessa käytössä missään Pohjoismaassa. Mallista on julkaistu yhden pisteen melutason laskeva demo-ohjelma DN2000. Ohjelma on vapaasti saatavana ja se on laskentamallin virallinen ”kalibrointiversio”, tai ainakin tulossa sellaiseksi.

Pohjoismaatkin siirtynevät myöhemmin käyttämään euroopan yhteistä mallia, johon Ranskan malli sekä Nord2000 ovat vahvasti ehdolla. Yhteistä mallia kehittää Harmonoise-projekti, jossa Suomella ei tällä hetkellä ole edustusta.

2 HILJAINEN PÄÄLLYSTE LASKENTAMALLEISSA

Suomessa käytetyt tieliikennemelun laskentamallit ovat perustuneet A-tason käsittelyyn, eli eri taajuuksia ei lasketa erikseen. Mallissa on kuitenkin "apuparametreja" joilla spektrin muuttuminen huomioidaan laskennan aikana. Päällysteiden erilaisuus voidaan ottaa laskennassa huomioon vain alentamalla kokonaistasoa, vaikutus on siis yhtä monta dB kaikkialla.

Nord2000 on tällä hetkellä paras arvaus tulevan laskentamallin rakenteesta. Malli perustuu terssikaistajakoon ja emissio/eteneminen/immisio-osien täydelliseen erillä pitoon ja tavanomaiset melulähteet, kuten ajoneuvot, luokitellaan ryhmiksi, joiden emissiot ovat yhteisiä. Menetelmään voidaan myös mallintaa uusia melulähteitä ja -luokkia.

Päällyste on osa laskentamallin lähdeominaisuutta, lähdeominaisuuksille on jo nyt olemassa käyttökelpoiset mittausten menetelmät. Menetelmää voidaan käyttää myös vapaassa liikenteessä, joskin hyvä signaali saadaan vain, kun muut ajoneuvot ovat riittävän kaukana (samalla, ja viereisillä kaistoilla).

Päällysten ominaisuudet voi ottaa laskentamalliin mukaan. Tämä onnistuu hyvin helposti, jos tyydytään pitämään ajoneuvo+rengas+päällyste -kombinaatiot erillisinä melulähdetyyppeinä. Päällysten (+rengas) ominaisuuksien erottaminen ajoneuvotyypistä vaatii kokeellista aineistoa

EU tulee harmonisoimaan melulaskentatapaansa. Vielä ei tiedetä miten Nord2000 tulee näkymään lopputuloksessa, vain päädytäänkö kovin erilaiseen lähdemalliin.

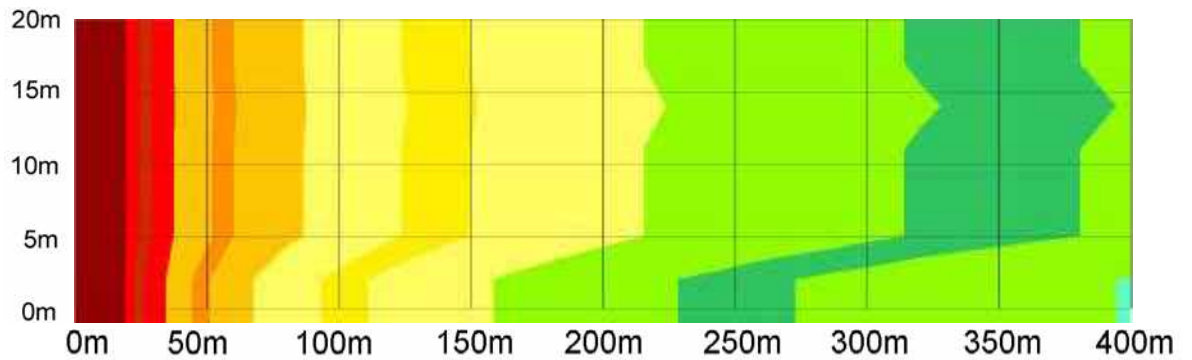
2.1 Hiljaisten päällysteiden vaikutus kauempana tiestä

Nykyinen laskentamalli olettaa päällysten hyödyn (A-tason alenemisen) säilyvän samana kaikilla etäisyyksillä. Taajuuskaistoittain laskettaessa tulee kuitenkin esille se tosiasia, että mikä tahansa muu ilmiö, joka vaimentaa samaa taajuusaluetta kuin hiljainen päällyste, voi pienentää päällysten valinnan (lisä)merkitystä melutasoon. Tekijöitä, jotka vaimentavat samaa taajuusalueen osaa, voivat tilanteesta riippuen olla mm. meluesteet sekä estevaikutuksen tekevät maastonmuodot ja rakennukset taikka joskus jopa tiheä kasvillisuus.

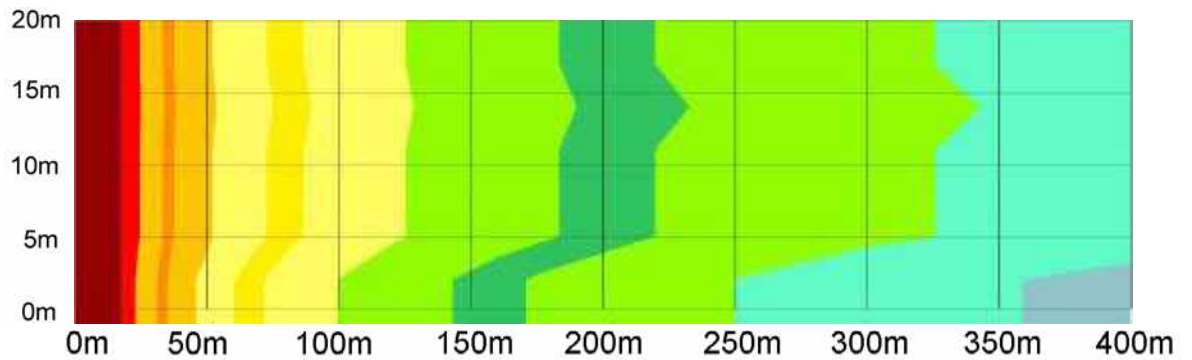
Tästä on esimerkkinä oheinen kuvasarja, jossa kolme poikkileikkaustilannetta on laskettu neljällä kuivitteellisella hiljaisella päällysteellä. Niiden erot ovat 1kHz taajuusalueen ympärillä kuten luonnossakin. Erot vaunumittauksessa, siis päällysten melussa yksin ovat 0, 4, 7 ja 10 dB. Laskenta on tehty teollisuusmelun laskentamallilla (viivalähteenä) kolmessa tilanteessa tasaisessa maastossa. Moottorin ja voimansiirron keskimääräinen melu on mukana, ja se pysyy vakiona rengasmelun eri arvoilla.

- ilman estettä (pengerkorkeus 0 – 1m)
- 3m korkuisen esteen takana, kun tie on maanpinnan tasalla (esim katu)
- 3m korkuisen esteen takana, kun tie on 1m penkereellä (tyyplillinen maantie)

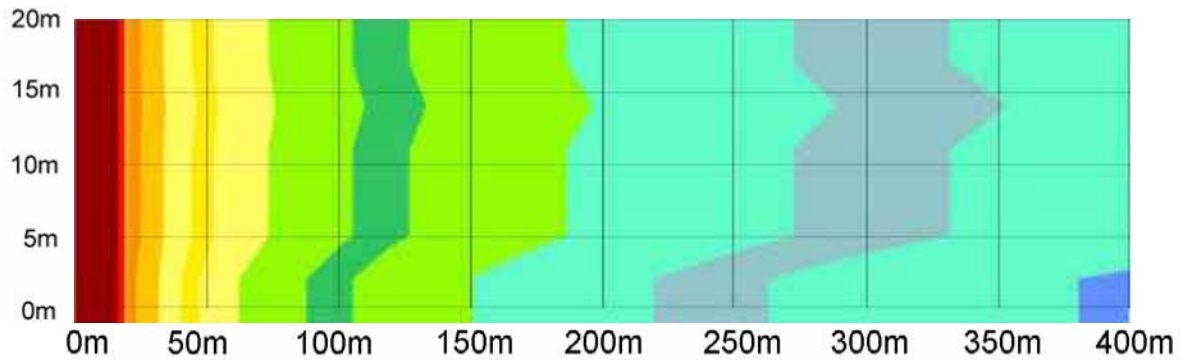
Väri vaihtuu 5dB välein siten, että kussakin kaistaleessa on kapea 1dB hieman poikkeava raita keskellä. Eroja voi kätevimmin vertailla keskellä kuvan alareunassa, joka vastaa tilannetta maanpinnan korkeudella 200m etäisyydellä. Esitetty tulos on sama kuin 2m korkeudella.



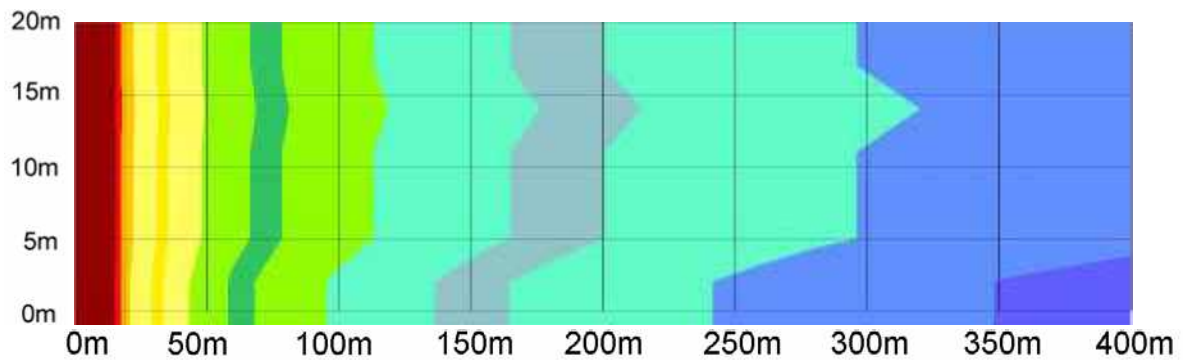
Ei meluestettä, vertailupäällyste, "0 dB" (CPX)



Ei meluestettä, hiljainen päällyste, noin -4 dB (CPX)



Ei meluestettä, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX)

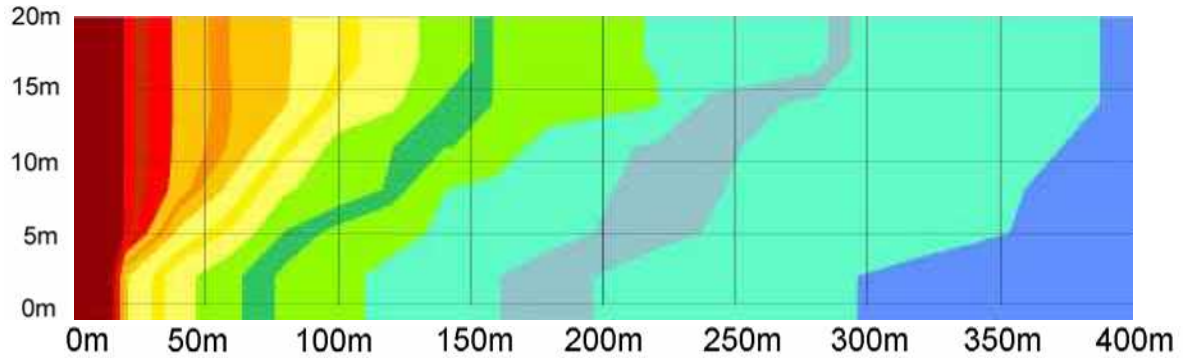


Ei meluestettä, erittäin hiljainen päällyste, noin -10 dB (CPX)

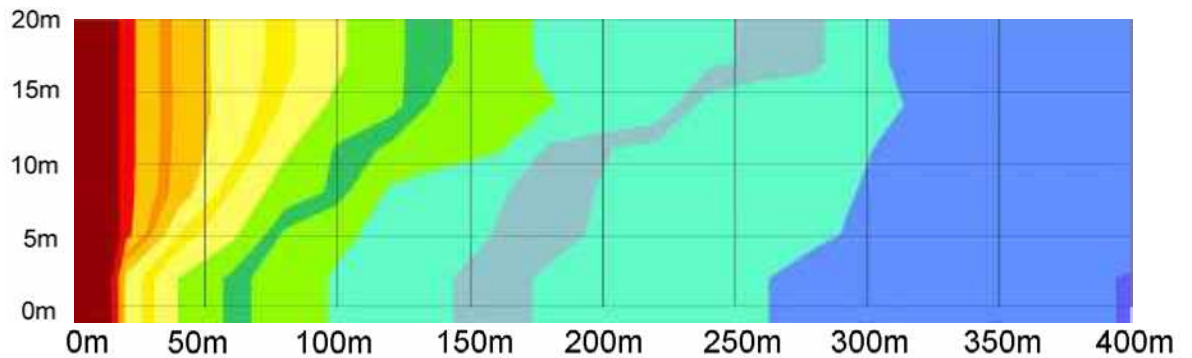
AKUSTI

TR 2612-2

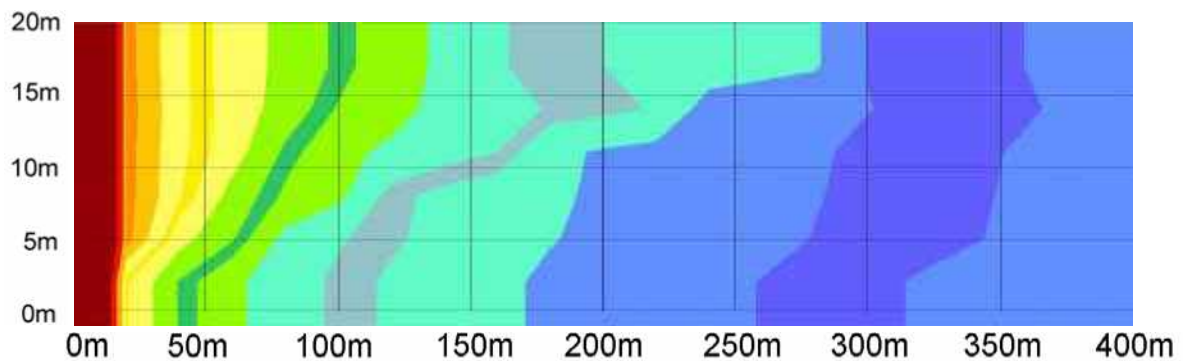
s.7



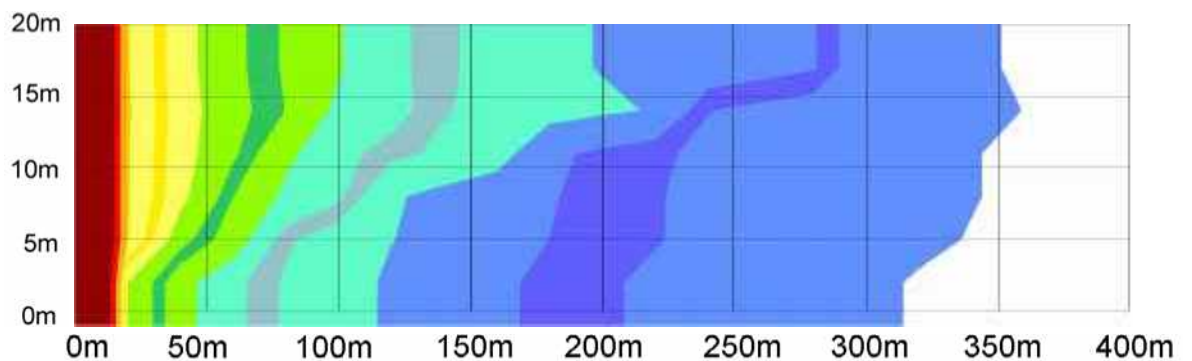
Tie maanpinnan tasalla, meluste 3m maanpinnasta, vertailupäällyste, 0 dB (CPX)



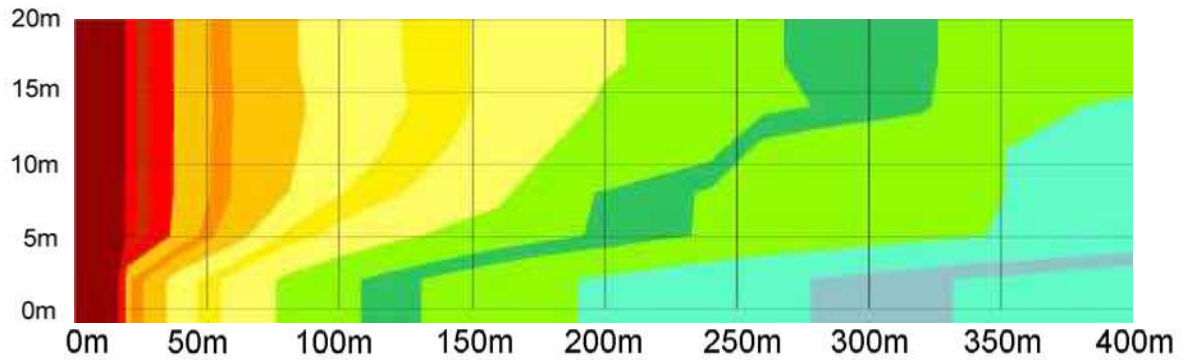
Tie maanpinnan tasalla, meluste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -4 dB (CPX)



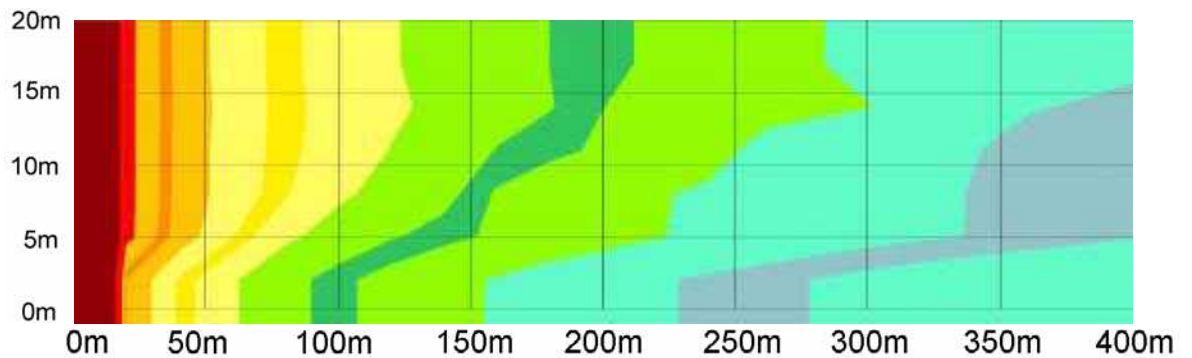
Tie maanpinnan tasalla, meluste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX)



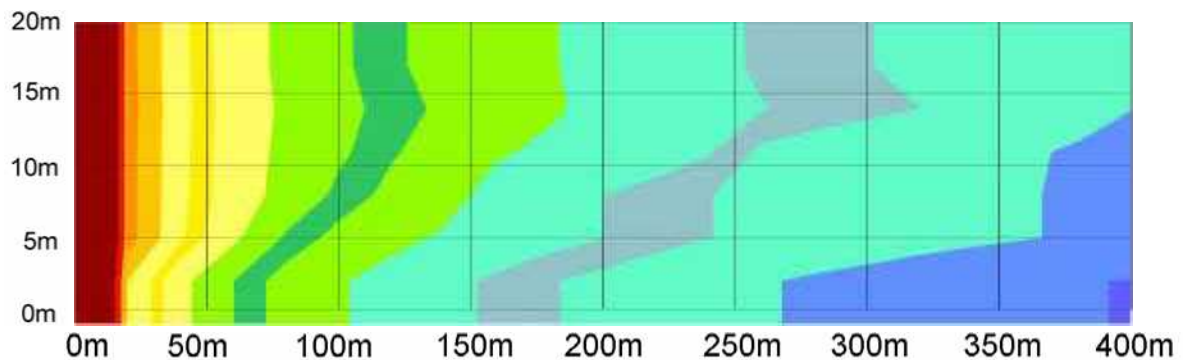
Tie maanpinnan tasalla, meluste 3m maanpinnasta, erittäin hiljainen päällyste, noin -10 dB (CPX)



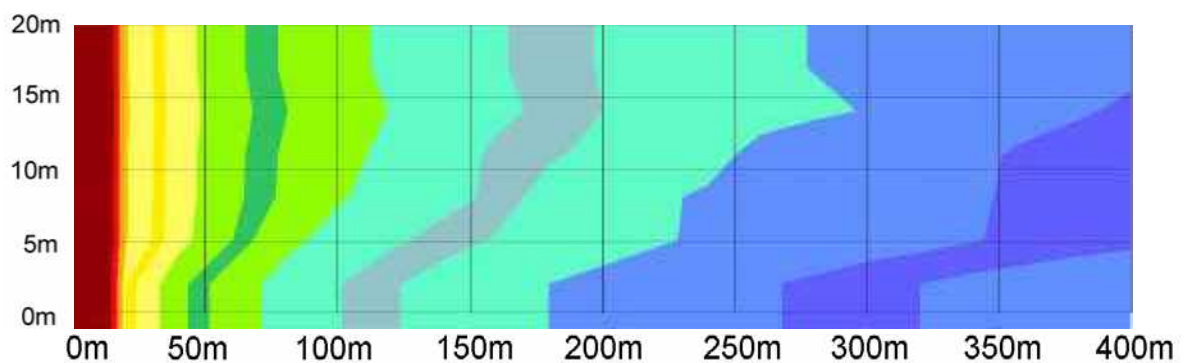
Tie 1m penkereellä, meluaste 3m maanpinnasta, vertailupäällyste, "0 dB" (CPX)



Tie 1m penkereellä, meluaste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -4 dB (CPX)



Tie 1m penkereellä, meluaste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX)

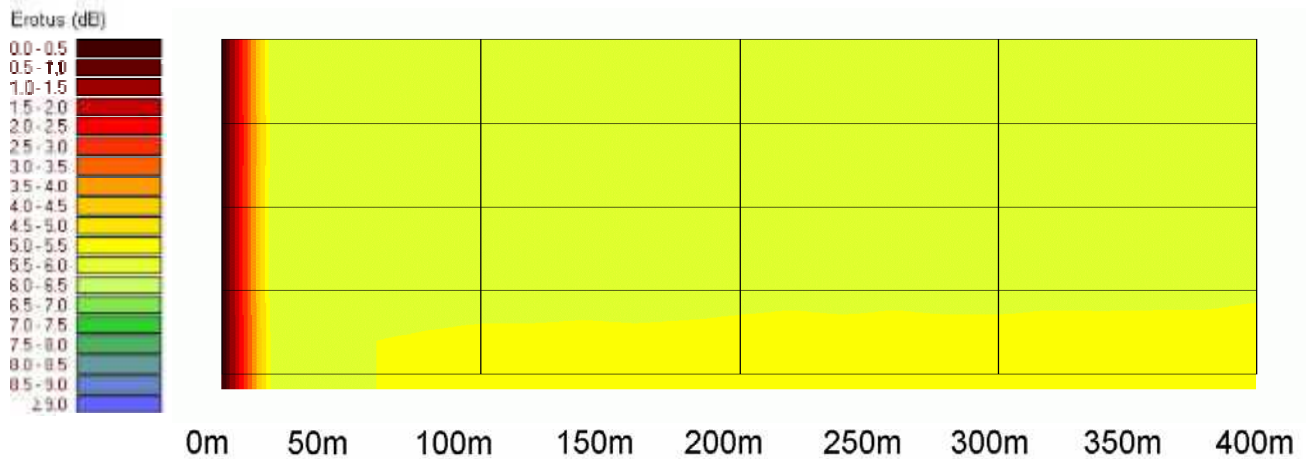


Tie 1m penkereellä, meluaste 3m maanpinnasta, erittäin hiljainen päällyste, noin -10 dB (CPX)

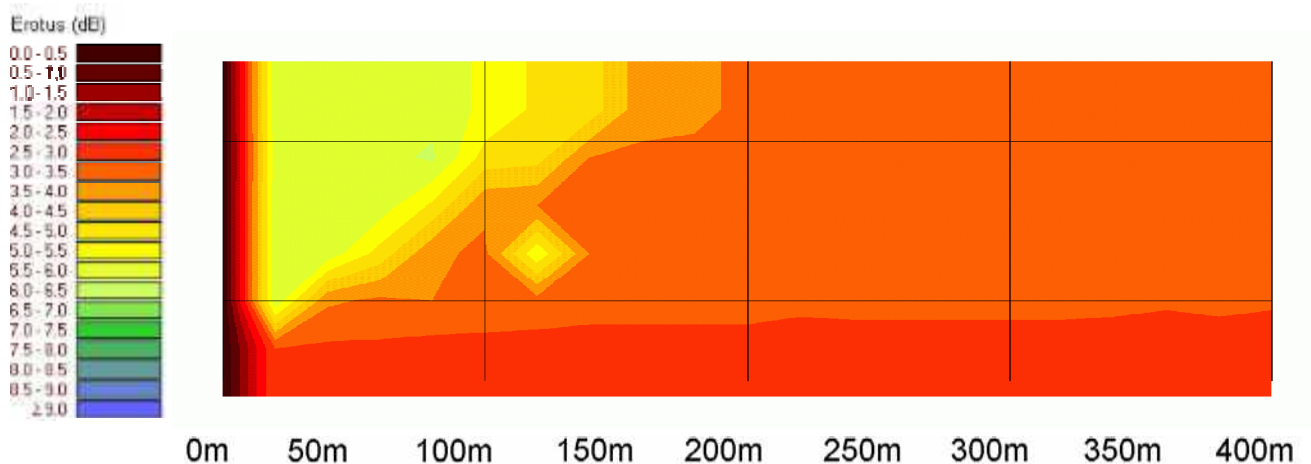
Kuvista nähdään mm. että

- ilman meluestettä (ensimmäinen kuvasarja) erot päällysteiden kesken ovat noin 2,5dB maanpinnan lähellä ja noin 3dB ylempänä, missä maanpintavaimennus ei vaikuta
- esteen takana erot ovat vain runsas 1 dB
- kun este vaikuttaa vähemmän (tien ollessa penkereellä ja este tehollisesti matalampi ja maavaimennus vähäisempi), erot ovat noin 2dB.

Selvemmin ilmiö erottuu, kun katsotaan kuvia, joissa on esitetty paljonko lisäysvaimennusta syntyy esim ylläkuvatulla ”-7dB” päällysteellä syntyy. Nykyisen (pelkkään A-tasoon nojaavan) laskentamallin mukaan päällyste alentaisi melutasoa tasaisesti koko kuvan alueella. Näin tapahtuukin ilman meluestettä.

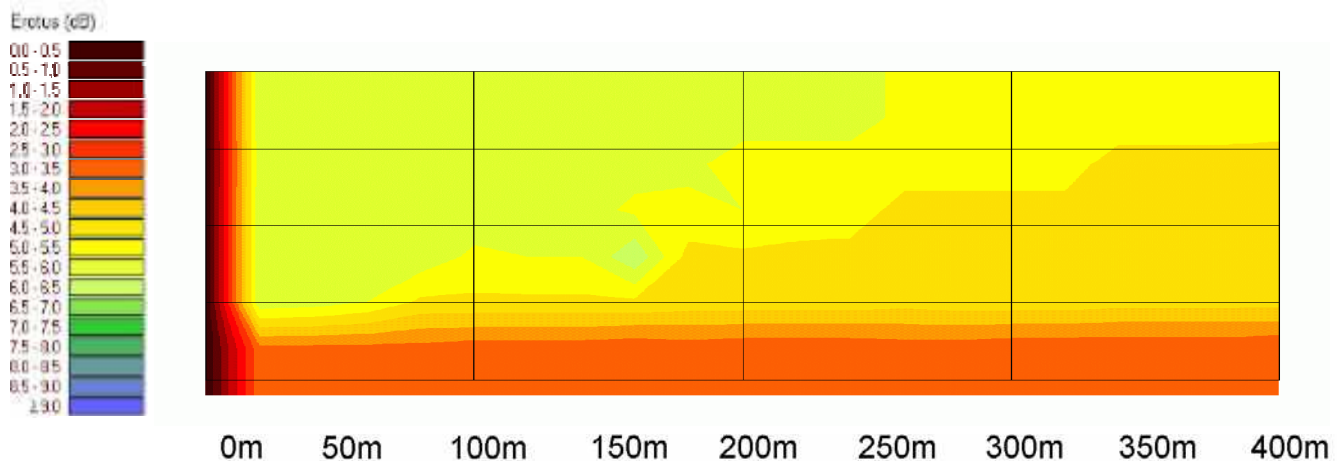


Ei meluestettä, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX). Vaimennus on likimain tasainen, 5 dB.



Tie 1m penkereellä, meluste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX).

Päällysteen täysimittainen lisäysvaimennus on rajoittunut alueelle, jossa esteen merkitys on pieni. Muualla (alempana ja kauempana) vaimennus on pienempi.



Tie 1m penkereellä, meluste 3m maanpinnasta, hiljainen päällyste, noin -7 dB (CPX).
Koska estevaimennusta on vähemmän, on nettohyöty hiljaisesta päällysteestä parempi.

Osa päällysteen vaimennuksesta katoaa aina silloin, kun jokin muukin ilmiö vähentää 500 – 2000 Hz alueen merkitystä melun spektristä. A-tasoon vaikuttaa muiden taajuuskaistojen melu tällöin enemmän, eivätkä päällysteistä johtuvat erot pääse vaikuttamaan täydellä tehollaan lopputulokseen. Vastaava pienennys tapahtuu myös taustamelun tapauksessa tai silloin, kun hiljainen päällyste on vain osalla sitä tie/katuosuutta, jonka melu kohteessa vaikuttaa.

3 PÄÄLLYSTEOMINAISUUKSIEN LISÄÄMINEN LASKENTAMALLEIHIN

Emme siis vielä tiedä mitä laskentamalleja Suomi taikka muut EU-maat tulevat käyttämään lähitulevaisuudessa. Tällä hetkellä paras hahmo tulevasta laskentamallista on ennakointi Nord2000:sta ja ranskalaisesta laskentamallista. Päällysteitä koskevilta osin Nord2000 näyttäisi olevan hyvä pohja tulevan mallin ennakoinnille.

Osana Nord2000-projektiperhettä on kehitetty myös mittausmenetelmiä emissiolle

- alunperin SP (Jonasson) Ruotsissa (SP REPORT 1999:35), josta on kehitetty standardi NT acou 107
- nyt myös SINTEF (Taraldsen) Norjassa on käyttänyt ja kehittänyt menetelmiä

Menetelmän sovellettavuus myös päällystetyypitykseen näyttää lupaavalta. Menetelmä poikkeaa ulkonaisesti vain vähän ns. ohiajomittausmenetelmästä. Siinä kannattaa käyttää useampia mikrofoneja samanaikaisesti ja laskennan jälkikäsitellyssä tehdään laskenta Nord2000-mallilla sekä (ainakin parhaassa versiossa) matriisiyhtälön ratkaiseminen osalähteiden emissioiden ratkaisemiseksi. Taraldsen on kehittänyt menetelmää edelleen niin, että sillä voidaan tunnistaa (laskea takaperin) kolmen osalähteen (1cm, 15cm ja 30cm) emissiot ja siten havaita taajuuskaistoittain myös niiden suhteelliset osuudet käyttämällä vain kahta mittauskorkeutta (0,2m ja 4,0m). Ilmeisesti luotettavuutta voitaisiin selvästi parantaa mittaamalla useammasta kuin kahdesta kohdasta samanaikaisesti.

Osalähteiden keskinäiset merkitykset näyttävät yleisesti olevan:

- 30cm kaikki matalat äänet (moottori) ja vähän myös 5 - 8kHz (ajoviima)
- murrosalueella 315 - 800 Hz lähde vaihtuu vaihteittain
- 1cm lähteen alue 315 - 10kHz ja yksin dominoiva 2k - 4kHz (rengas/päällyste-kontakti)
- välikorkeuden osalähde (15cm) näkyy vähän 1000 - 1600Hz (max 35%) ja (ehkä) 10kHz (77%)

Koska päällysteellä näyttäisi olevan oma "alueensa" spektrissä, voisi tuloksista olla tulevaisuudessa helppo laskea mikä on päällysteen (rengaskontaktin) vaimentamisella saavutettava maksimaalinen kokonaismelun alenema

3.1 Päällystetietojen liittäminen nykyiseen laskentamalliin

Nykyinen laskentamalli antaa mahdollisuuden vain A-tason käsittelyyn. Laskentamallissa on ohje lähtöarvon laskemiseen liikenteen nopeuden, liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen osuuden perusteella. Mitään erottelua tienpintakontaktin melulle suhteessa voimansiirron meluun ei ole. Hiljaisen päällysteen vaikutus voidaan lisätä malliin lähtöarvon muutoksena. Tällöin lisätään ylimääräinen vaimennustermi, joka on päällysteen vaimennus suhteessa normaaliin päällysteeseen. Tällä tavoin voidaan tehdä meluntorjuntasuunnittelua, mm. hiljaisen päällysteosuuden optimoimiseksi. Melun spektrin muuttumisen vaikutusta mm. estevaimennuksen tehoon ei tällä tavoin saada aivan oikein. Korjausterminä ei voida käyttää CPX-arvon erotusta, koska siinä moottorin ja voimansiirron tai ajoviiman melu eivät näy. Raportissa TR2612-3 on esitetty taulukkolaskentaohjelmat (MS Excel) laskentamallin lähtöarvon muutoksen arvioimiseksi CPX- ja SPB-mittauksen tuloksista.

3.2 Päällystetietojen liittäminen Nord2000-malliin

Uusin Pohjoismaiden malli sisältää terssikaistajaon kaikissa melusuureissa. Emissio, eteneminen ja immissio ovat vanhemman mallin mukaisesti täysin erillisiä, mikä mahdollistaa päällysteitä kuvaavien vaimennustietojen lisäämisen laskentaan suoraan.

Tavanomaiset melulähteet, kuten ajoneuvot, luokitellaan mallissa ryhmiksi, joiden emissiot ovat yhteisiä. Erikoiset melulähteet mallinnetaan aina yksilöinä. Menetelmien kansallisiin sovellusohjeisiin voidaan samalla menettelyllä lisätä myös uusia melulähteitä ja melulähdeluokkia.

Päällysteiden luokitus on Nord2000:ssa varsin laaja:

1a	Asphalt concrete, dense smooth (12-16mm, max)
1b	Asphalt concrete, dense smooth (8-10mm, max)
2a	Mastic asphalt (SMA) max 12-16mm
2b	Mastic asphalt (SMA) max 8-10mm
3a	Chipped asphalt (BCS) "hot rolled asphalt"
3b	Chip seal, single (Y1) max 16-20mm
3c	Chip seal, single (Y1) max 10-12mm
3d	Chip seal, single (Y1) max 6-9mm
4a	Chip seal, double (Y2) max 16-20mm
4b	Chip seal, double (Y2) max 10-12mm
5a	Porous asphalt (20% void), max 14-16mm
5b	Porous asphalt (20% void), max 8-12mm
6a	Cement concrete, dense, smooth 20-80mm
6b	Cement concrete, dense, smooth 12-18mm
6c	Cement concrete, ground, grinding not worn
7	Paving stones, cobble stones (older type)
8	Cement block pavement (interlocking)

Ajo-olosuhteet on luokiteltu seuraavasti:

1	Cruising = constant speed and gear
2	Acceleration = continuous acceleration, eg. after crossings, traffic lights or speed limit signs
3	Deceleration = continuous deceleration, eg. before crossings, traffic lights or speed limit signs
4	Uneven = both acceleration and deceleration
5	Uphill = lower gear required to keep constant speed
6	Winter = car is equipped with winter tyres

Erikoista tässä on se, että nastarenkaita (studded tyres) ei listassa mainita.

Myös ajoneuvotyypeille on esitetty laaja luokitus:

1	Cars
2	Dual
3	Multi
4	Motor cycles
5	Mopeds

ja sille alaluokat

1a	Passenger cars excluding other light vehicles = 4 wheels, two axles
1b	Other light vehicles: cars with trailers or caravans, light utility vehicles, minibuses, vans, motor homes, recreation and utility vehicles = 4 wheels, two axles or 6 wheels, 3 axles
2a	City buses = 6 wheels, two axles
2b	Light and medium trucks = 4
3a	Large city buses = 8
3b	Medium trucks = 8
3c	Heavy trucks = 4
3d	Very heavy trucks = at least 6 axles

Jos keskeisten ajoneuvoluokkien emissio tunnetaan hiljaisen päällysteen kanssa, laskentamallia voidaan sen jälkeen suoraan käyttää. Tämä edellyttää ehkä myös päällysteiden (ja renkaiden) luokittamista, jotta kombinaatioita ei tulisi tarpeettoman monta. Tähän tarvitaan vain lisää mittauksia.

Mikäli taas tutkimuksin voidaan osoittaa, että päällysteen (+ renkaan) ominaisuudet ovat "additiivinen" osa meluemissiota (kuten nykyisin yleisteknisissä teksteissä oletetaan), voitaisiin päällysteestä ilmeisesti kehittää oma vaimennustermensä lisättäväksi ajoneuvo-emissioihin. Kuitenkin renkaiden meluvaikutuksen merkitys saattaa vielä monimutkaistaa tätä ajattelua. Ainoa varmasti hyväksyttävä tapa tienpäällysteen mittaamiseksi on mitata sen ominaisuudet auton alla. Tähän saattaa kehittyä hyvinkin menetelmä NT ACOU 109 pohjalta.

3.3 Harmonoise

Melulähteeseen keskittyvän Harmonoise-työryhmän (WP 1.1) odotetaan tuottavan seuraavia tuloksia

- mittausten menetelmät ajoneuvoille ja ajoneuvojen osalähteille
- ajoneuvojen ja tienpäällysteiden luokittelu luonnehdinnan perusteella
- kullekin ajoneuvoluokalle äänitehotasoarvot
- tehotasot moottorimelulle ja tienpintakontaktin melulle erikseen
- moottorimelun ja tienpintakontaktin melun nopeus-, kiihdytys- ja hidastusriippuvuudet
- tienpintakontaktin melun riippuvuus päällysteestä, lämpötilasta ja märkyydestä
- melun osalähteiden sijainnit
- suuntaavuudet vaaka- ja pystysuuntaan

Kunkin pistelähteen edustama melu kuvataan terssikaistoittaisena tehotasona sekä tarvittaessa myös suuntaavuuksina. Taajuusalue on 25 Hz - 10kHz, jolle mahtuu 27 terssikaistaa.

Harmonoise-projektissa melupäästö (emissio) on luvattu pitää täysin erillään melun etenemistä koskevista osista. Tämä tarkoittaa sitä, että emissioon vaikuttaville suureille voidaan tehdä erilliset taulukot, vastaavasti kuin Nord2000-mallissa. Erilläpidon mahdollistaa suurelta osin se, että taajuusresoluutio on riittävä.

Ajoneuvot mallinnetaan tyypillisesti kahden tai kolmen pistelähteen avulla. Niiden paikkoja (korkeutta tienpinnasta) ei ole päätetty. Paikat saatetaan myös jättää määritettäväksi ajoneuvotyyppikohtaisesti. Alin piste on kuitenkin aina hyvin lähellä tienpintaa.

Laskennassa käytettävät tehotasot otetaan joko eri maissa tehtyjen omien mittaustulosten mukaisina tai laskentamalliin yhteisesti sisällytettävillä riippuvuuskaavoilla (tehotaso nopeuden ja kiihdyttämisen funktiona), joiden parametrit määritetään tapauskohtaisesti.

Määritysmenetelminä tultaneen hyväksymään tilastollinen liikennevirralla tehtävä mittaus (kuten SPB) sekä yksittäisillä ajoneuvoilla eri ajoparametreilla tehtävät mittaukset. Tienpinnan lämpötila, tyyppi, märkyys, liukkaus sekä talvirenkaiden käyttö on mittauksissa otettava huomioon.

Harmonoisen ajoneuvoluokitus on sekin varsin laaja pää- ja alaluokkineen:

1	light vehicles
2	medium heavy
3	heavy
4	other heavy
5	two-wheelers (also 3-wheel motorcycles)

1a	Cars = 2 axles, max 4 wheels including MPV:s up to 7 seats Vans = 2-4 axles*, max 2 wheels per axle
1b	- SUV - pickup trucks - RV - car+trailer or car+caravan (3-4 axles on car & trailer or car & caravan) - MPV:s with 8-9 seats
2a	Buses = 2 axles (6 wheels)
2b	Light trucks and heavy vans = 2 axles (6 wheels) - also 4-wheel trucks, if it is evident that they are >3.5 tons
2c	Medium heavy trucks = 2 axles (6 wheels) - also 4-wheel trucks, if it is evident that they are >3.5 tons
3a	Buses 3-4 axles
3b	Heavy trucks = 3 axles - if a high exhaust is noted this is identified as category 3b'
3c	Heavy trucks = 4-5 axles - if a high exhaust is noted this is identified as category 3c'
3d	Heavy trucks = at least 6 axles - if a high exhaust is noted this is identified as category 3d'
4a	Construction trucks (partly off-road use) - if a high exhaust is noted this is identified as category 3b', 3c', 3d' or 4a'
4b	Agr. tractors, machines, dumper trucks, tanks
5a	Mopeds, scooters
5b	Motorcycles

3.4 Päälystetietojen liittäminen Harmonoise-malliin

Päälysteiden tuotekohtaisille arvoille tulee syntymään valmiit paikat laskentamallissa ja malli tulee sisältämään ennalta mitattuja päälystelajeja. Uuden päälysteen kehittäjän tarvitsee siten vain lisätä tuotetyyppejä niiden jatkoksi.

Harmonoise WP 1.1 -työryhmä on päätenyt kahteen referenssipäälysteeseen, joista toisen tulisi aina olla mukana mittaussarjassa (numerot ovat maksimiraekokoja):

Stone Mastic Asphalt (SMA): SMA 11-13, SMA 14-16
Dense Asphalt Concrete (DAC): DAC 11-13, DAC 14-16

Referenssipäälysteitä mittaamalla saadaan myös eri maissa tehtävät mittaukset vertailukelpoiksi, jolloin syntyy mahdollisuus kansainvälisen päälystetietokannan luomiseen.

Päälysteiden luokittelujärjestelmää on jo hahmoteltu (Jonasson):

Pakolliset, aina esitettävät tiedot:

Basic surface type (incl type of binder)
Maximum chipping size
Age of the surface
Posted speed limit
Type of road, measured lane
Condition of surface (subjective, incl homogeneity)

Vapaaehtoiset tai tarvittaessa esitettävät tiedot:

Grading curve of mix
Total traffic exposure (No. of axles passing)
Composition of traffic (% of heavies, % of studded tyres)
Grade (longitudinal slope)
Surface texture - MPD (ISO 13473-1)
Surface texture - LT63 (ISO/FDIS 13473-2)
Surface texture - LT4 (ISO/FDIS 13473-2)
Sound absorption coefficient as a function of freq (ISO 13472-1) if porous
Unevenness (CEN prEN 13036-x)

4 MITTAUSMENETELMÄT

Mittauksia tehdään kolmessa erilaisessa käyttötilanteessa, joilla tarkkaanottaen on myös varsin erilaiset tarpeet.

- tuoteominaisuuksien määrittäminen
- päälysteturakan vastaanottomittaus
- meluntorjuntatoimenpiteen tehokkuuden toteaminen kohteissa (ennen/jälkeen)

Hilja-projektissa paljon käytetyt SPB ja CPX sopivat päälysteen teknisten (eli hankintavaatimus-) ominaisuuksien mittauksiksi. Laskentamallin lähtötietoja tarvitaan soveltuvuus- ja hyötytarkasteluihin, hankintapäätösten tekoon sekä suunnitteluun.

Osana Nord2000-projektiperhettä kehitetyt emissiomittausmenetelmät (pohjoismainen standardi NT ACOU 109 ja Taraldsen) poikkeavat ulkonaisesti vain vähän ns. ohiajomittausmenetelmästä. Siinä käytetään useampia mikrofoneja samanaikaisesti ja laskennan jälkikäsitteily tehdään Nord2000-mallilla.

Nordtestin meneillään oleva projekti 1637-03 Road traffic: Vehicle noise emission jota Taraldsen vetää, tulee tuottamaan menetelmän, jolla osalähteet – varsinkin tienpinnan tasossa oleva lähde – voidaan erotella ohiajomittauksesta. Projekti ei tuota mittaustuloksia, vaan vain menetelmän.

Tärkeä edellytys kaikelle mittaustulosten vertailtavuudelle on olosuhteiden vastaavuus mittauskerrasta toiseen ja eri päällysteosuuksilla. CPX-mittauksessa toistettavuus on hyvä. Toistettavuutta muissa mittauksissa voidaan parantaa huolehtimalla mm. seuraavista asioista:

1 Liikenne ja raskaiden ajoneuvojen osuus

- erikseen ha, tavara-autot, 2-akseliset kuorma-autot, bussit ja yli 2-akseliset kuorma-autot
- tulos normalisoidaan keskimääräiseen (tai ennen-mittauksen) jakautumaan
- ei oteta mukaan moottoripyöriä, mopoja traktoreita ym, joiden aineisto jäisi pieneksi

2 Ajotavat

- kohteet valitaan suorilta, tasaisen liikennevirran kohdilta
- sivukaduilta tms. sekaan tulevat kiihdyttävät ajoneuvot jätetään pois
- vähintään 100m etäisyys valo-ohjauksiin

3 Ajoneuvovalikoima

- ikä, tyyppi, renkaat, kunto
- luotetaan suuren näytemäärän tasoittavan erot

4 Tienpinnan lämpötila

- jos kaikki mittaukset hyvissä kesäolosuhteissa, ei korjausta tarvita

5 Mittauspaikan ympäristö

- maa ajoradan ja mikrofonin välillä aina kova
- huokoisen asfaltin etenemisvaimennus on osa sen ominaisuuksista

6 Säätila

- mittauksen aikana varmistetaan, että puiden suhina ei vaikuta
- tie kuiva (vähintään 48 tuntia sateesta)

5 LOPUKSI

Jotta hiljaiset päällysteet koettaisiin luotettavaksi ja käyttökelpoiseksi käytännön meluntorjuntakeinoksi, tulisi korostaa ja kehittää mahdollisuutta rutiininomaisten mittausten tekemiseen päällystehankinnan yhteydessä.

Tutkimusta tarvitaan ja sen ongelmana on enemmän määrä- kuin laatutekijät. Mittausten aloituskynnys on korkea osin ehkä johtuen siitä, että paikan järjestäminen on hidasta, kallista ja joskus myös erittäin vaikeata.

Mittausten vertailtavuus paranisi sekä tarkan ja monimutkaisen laitteiston tarve vähenisi, jos olisi olemassa **pysyvä vertailupäällyste** (pääkaupunkiseudulla luontevimmin SMA16 ja sisemmän Suomen pääteitä ajatellen AB16). Vertailupaikkana voisi olla liikenteltä kokonaan pois oleva vanha

tieosa, josta muun ajamisen voisi sulkea puomilla. Sijaintina keski-/etelä-Suomi, pohjoisempaan ehkä tarvittaisiin toinen.

Muotoja jatkuvan kehitystoiminnan mahdollistamiseksi voisi olla Tekesin tukema ”Tienpäällystemeluklinikka” noudatellen jo toimivan Meluklinikan mallia taikka tässä ominaisuudessa toimiva yhtiö, esim. osuuskunta, joka voisi

- hankkia vertailumittauspaikat ja huolehtia niistä
- tarvittavassa määrin myös omistaa erikoismittauslaitteita
- toimia yhteistilaaajana tai välittäjänä mittauspalveluille
- järjestää koulutusta ja tietopalveluja (esim Internet-porttaalin muodossa)

Kirjallisuutta

Mittausmenetelmiä

ISO 11819-1:1997.

Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise
Part 1: Statistical Pass-by method.

ISO/CD 1189-2 (2000)

Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise
Part 2: the close-proximity method.

Vehicles: Determination of immission relevant noise emission

NT ACOU 109 standardin käsikirjoitus, hyväksytty 2001-11

Taraldsen, G.

On the presentation of a vehicle by an array of incoherent point sources.

Käsikirjoitus 21.10.2001

Laskentamalleja

Jonasson, Hans G. & Storeheier, Svein Å.

Proposal for a New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise.

SP Rapport 2001: (draft 2001-03-18). Acoustics, Borås 2000

Vägtrafikbuller. Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996

Naturvårdsverket Rapport 4653 (+Rättelselista 1998-05-05)

Jonasson, Hans G.

Source Modelling of Road Vehicles – Harmonoise WP 1.1

EuroNoise 2003 Napoli

Katsauksia ym

Sandberg, Ulf

The Multi-Coincidence Peak around 1000 Hz in Tyre/Road Noise Spectra

EuroNoise 2003 Napoli

Bendtsen, Hans & Ellebjerg Larsen, Lars & Greibe, Poul

Udvikling af støjreducerende vejbelægninger til bygaeder

Danmarks transportforskning Rapport 4, 2002

Hofman, R & Mank, J.A.M.

Silent Roads and Pavements in the Netherlands.

EuroNoise 2003, Napoli

Bérenghier, M. & Licitra G.

Traffic noise and road surfaces: a state-of-the-art

EuroNoise 2003, Napoli

Phillips, S. M. & Kollamthodi, S. & Morgan, P.A

Classification of low noise road surfacings

Internoise 2001, The Hague

TEKES / INFRA / HILJAISET PÄÄLLYSTEET (HILJA) Mittaustulosten muunnokset laskentaa varten

Tilaaaja	TKK tielaboratorio
Yhteyshenkilöt	Jarkko Valtonen, TKK tielaboratorio Marko Kelkka, TKK tielaboratorio Kari Lehtonen, Tiehallinto Mats Reihe, Tiehallinto Lars Forstén, Lemminkäinen Oyj, pj Tom Warras, Tekes

TIIVISTELMÄ

Tässä raportissa esitellään kaksi Excel-laskentataulukkoa jotka on kehitetty tienpäällysteiden melumittausten menetelmien antaman tuloksen muuntamiseen Tieliikennemelun laskentamallin lähtöarvoksi. Laskentataulukot on suojattu salasanaalla, mutta niiden sisältöä voi tarvittaessa muuttaa. Normaalikäytössä riittää lähtötietojen antaminen merkittyihin kohtiin, eikä lukitusta tarvitse avata.

Kirjallisuudesta ei vastaavia muunnoksia ole löytynyt. Tässäkin tapauksessa muunnoksen käytännön luotettavuus selviää vasta pitkän käytön kuluessa.

VAUNUMITTAUSMENETELMÄN (CPX) MUUNNOSLASKENTA

Tiedostonimi: CPX2LAeq10m.xls

Yleiskuvaus

Vaunumittausmenetelmässä mikrofonit liikkuvat mitattavan renkaan mukana äänieristetyssä ja -vaimennetussa perävaunussa. Mittaussignaali ei siten sisällä ajoneuvojen moottorin tai voimansiirron melua. Lisättävä melu riippuu monesta tekijästä, joista tässä vain voimakkain eli nopeusriippuvuus on otettu mukaan.

Laskentaohjelman sisältö riveittäin

Taajuuskaista

Laskentataulukon taajuusalue on 25 Hz:stä 10kHz:iin, mutta sitä voidaan käyttää myös kapeammalla alueella, koska lopullisessa A-painotetussa tuloksessa taajuusalueen ääripäillä ei yleensä ole merkitystä.

Äänenpainetasoerot (Nord2000) CPX-pisteistä laskentamallin lähtöpisteeseen

Laskettu DN2000-ohjelmalla Nord2000-mallin mukaisesti.

Empiirinen "kokemuskorjaus" (käyttäjä voi antaa erikoistapauksessa)

Paikka korjaustermeille tutkimuskäyttöön tai myöhemmin mahdollisesti tarpeellisiksi havaittaville termeille. Nyt ei käytössä, mukana kaiken varalta.

Korjaukset yhteensä

Välisummarivi.

Mittaustulos (A-painotettuna, kuten TKK/Autolaboratorio) käyttäjä antaa

Rivi, jolle mittaustulos talletetaan A-painotettuna.

Moottorin ja voimansiirron melu (1000/h, 80km/h)

Laskentamallista poimittu kevyen ajoneuvon spektri lähtöarvon pisteessä.

Nopeus: __ km/h käyttäjä antaa

Annetaan ajonopeus, jolla ohjelma laskee nopeuskorjauksen.

Nopeuskorjaus: __dB käyttäjä antaa tarvittaessa

Nopeuskorjaus noudattaa nykyisen mallin (1993) mukaista 30lg() -sääntöä. Se voidaan antaa myös käsin.

Mittaustulos ja lisätty moottorin ja voimansiirron melu normalisoituna 10m etäisyydelle

Ohjelman laskema summaspektri.

A-painotus (vakio, standardien mukaan)

A-painotuksen vaimennukset näkyvillä havainnollisuuden vuoksi.

A-painotettu spektri

A-painotuksen jälkeinen melun spektri laskennan lähtöarvon pisteessä.

Lopputulos nykyiseen laskentamalliin: A-painotettu lähtöarvo

A-painotettu kokonaistaso, joka on lähtöarvo laskentamalliin.

OHIAJOMITTAUSMENETELMÄN (SPB) MUUNNOSLASKENTA

Tiedostonimi: PB2LAeq10m.xls

Yleiskuvaus

Tilastollisessa ohiajomitauksen menetelmässä mikrofoni on kiinteästi ajoradan reunassa. Mittaussignaali sisältää ajoneuvojen koko melun. Ongelman muunnokselle muodostaa se, että viereisten ajoneuvojen melun vaikutuksen vähentämiseksi SPB:ssä tallennetaan ohiajon hetkellinen enimmäismelutaso.

Ero etsittiin Kirkkonummella tehdyn mittauksen yksittäisten tapahtumien tilastosta (Lähde: tiedosto kirkkon2kaikki.txt 23.7.2003), jonka perusteella määritettiin oktaavikeskitaajuksilta ja kokonaistasoista erotukset ja niiden keskiarvot (ka) ja standardipoikkeamat (std).

Aikapainotusten erot (max -- eq)

Cat A = kevyet ajoneuvot

	ka / dB	std / dB
All	2.26	0.53
125	3.77	0.89
250	3.73	0.78
500	3.30	0.76
1000	3.20	0.77
2000	2.19	0.58
4000	2.32	0.47
ka	2.97	
std	0.70	

Cat B = raskaat ajoneuvot

	ka / dB	std / dB
All	2.27	0.27
125	3.63	0.38
250	3.43	0.74
500	3.90	0.53
1000	3.08	0.33
2000	2.73	0.31
4000	2.70	0.49
ka	3.11	
std	0.58	

Vaihtelu oli kohtuullisen pientä ja varsin sama raskaille ja kevyille ajoneuvoille. Nopeusero liikennevirran joukossa ajettaessa on hyvin pieni. Laskentataulukossa käytetään arvoa 3,0.

Laskentaohjelman sisältö riveittäin**Taajuuskaista**

Laskentataulukon taajuusalue on 25 Hz:stä 10kHz:iin, mutta sitä voidaan käyttää myös kapeammalla alueella, koska lopullisessa A-painotetussa tuloksessa taajuusalueen ääripäillä ei yleensä ole merkitystä.

Äänenpainetasoerot (Nord2000) SPB-pisteistä laskentamallin lähtöpisteeseen

Laskettu DN2000-ohjelmalla Nord2000-mallin mukaisesti.

Muunnos $L_{max} \Rightarrow L_{eq}$

TKKn mittaustuloksista muodostettu, kokemusperäinen korjaus, ks yllä.

Leq-mittauksen kapean portin (=näkökulman) korjaus

Laskentamallissa olevan "näkökulman" laajennus. Arvo muuttuu vain, jos mittauksen käynnistys- ja lopetusporttien paikat muuttuvat.

Empiirinen "kokemuskorjaus" (käyttäjä antaa erikoistapauksessa)

Paikka korjaustermeille tutkimuskäyttöön tai myöhemmin mahdollisesti tarpeellisiksi havaittaville termeille. Nyt ei käytössä, mukana kaiken varalta.

Korjaukset yhteensä

Välisummarivi.

Mittaustulos käyttäjä antaa

Rivi, jolle mittaustulos talletetaan, ilman A-painotusta.

Mittaustulos normalisoituna 10m etäisyydele

Ohjelman laskema painottamaton spektri.

A-painotus (vakio, standardien mukaan)

A-painotuksen vaimennukset näkyvillä havainnollisuuden vuoksi.

A-painotettu spektri

A-painotuksen jälkeinen melun spektri laskennan lähtöarvon pisteessä.

Lopputulos nykyiseen laskentamalliin: A-painotettu lähtöarvo

A-painotettu kokonaistaso, joka on lähtöarvo laskentamalliin.

MELUA VÄHENTÄVÄN PÄÄLLYSTEEN HANKINTA (EHDOTELMA)

10.10.2003

Tapa 1. Referenssitietojen perusteella

Tarjouspyynnössä ilmoitetaan:

- a) urautumisnopeutta koskeva tavoite (esimerkiksi enintään 8 mm ura kolmessa vuodessa), liikennemäärä ja ajonopeus
- b) tavoiteltu referenssipäällysteen melutaso SPB- /CPX-arvona nähden 1. talven jälkeen
- c) että kelpoisuus arvioidaan referenssien perusteella ottaen huomioon kiviaineksen ja liikenteen erot
- d) paljonko vähimmäislaatutason ylittävää tuotetta hyvitetään hintavertailussa

Tarjouksessa urakoitsijat osoittavat referenssikohteiden perusteella, että päällystetuote on kestänyt kulumista vaaditulla tavalla ja että akustiset ominaisuudet ovat olleet vaaditut 1. talven jälkeen.

Tilaaaja valitsee kelpoisuudet täyttävistä päällysteistä halvimman.

Tilaaaja maksaa päällysteestä työn valmistuttua.

Ongelmat:

- takuuajan puutteen vuoksi lopullista toimivuutta ei voida selvittää urakan aikana
- referensseistä on vaikea ennustaa toimivuutta, jos kiviaines ja liikenne vaihtuu
- riittävän samanlaisten päällysteiden tekeminen eri paikkoihin on vaikeaa
- toteutetun laatutason todentaminen

Edut:

- yksinkertainen menettely, ei tarvitse aina mitata

Tapa 2. Takuuajan seurantaan perustuva, 1...3 vuoden takuu aika

Tarjouspyynnössä ilmoitetaan:

- a) urautumisnopeutta koskeva tavoite (esimerkiksi enintään 8 mm ura kolmessa vuodessa), liikennemäärä, ajonopeus ja vanhan päällysteen tiedot
- b) tavoiteltu äänilähteen melutaso CPX- tai SPB-arvona (tilaaaja valitsee) 1. talven jälkeen
- c) että kelpoisuus arvioidaan takuuajan seurannan perusteella
- d) arvonmuutos, jos edellä mainittu vaatimus alittuu (tai ylittyy)

Kuinka suuri takuuajan vakuus vaaditaan 1. talven jälkeiseen mittaukseen asti ja takuuajan loppuun asti, ja miten tämä riippuu tarjotun tuotteen referensseistä? (suuri vakuus voi olla tarpeen, jos referenssit eivät vakuuta).

Tarjouksessa ilmoitetaan hinta ja tarvittaessa pyritään osoittamaan, että urakoitsija hallitsee referenssien ja tuotetta varten kehitettyjen testien avulla laadun niin, että tavallista suurempaa takuuajan vakuutta ei tarvita. Tilaaaja valitsee tarjotuista tuotteista hankintahinnaltaan halvimman. Tilaaaja maksaa työn valmistuttua.

Meluominaisuudet mitataan 1. talven jälkeen ja urat takuuajan lopussa (2. tai 3. talven jälkeen). Laatumittausten jälkeen peritään arvonvähennys tai maksetaan bonus.

Uramittauksia varten ajokaistat ja tieosuudet on syytä jakaa seuraaviin luokkiin, joilla kullakin (tai ainakin tärkeimmillä) on oma uravaatimus:

1. vilkasliikenteiset bussikaistat ja valo-ohjatun liittymän tulokaistat (deformaatio)
2. muut vilkasliikenteiset (nopea kuluminen)
3. vähäliikenteiset kaistat ja osuudet.
4. risteysalueet ym. (ei selvää uramuotoa)

Arvonmuutoksen perusteena oleva melumittaus voidaan rajata mittausteknisistä syistä vain joillekin ajokaistoille ja osuuksille, jolloin muut kaistat arvioidaan välillisesti. Laatuvaatimukseen verrataan tarjouspyynnön mukaan joko kunkin osuuden urakeskiarvoa tai urayläkvartiilia.

Ongelmia:

- Urakoitsijan riski kasvaa
- Ei ota huomioon uran korjauksen helppoutta

Edut:

- Toteutettu laatutaso ja toimivuus selkeästi todennettavissa

Tapa 3. Kuntovastuu-urakka, 6...12 vuoden vastuu aika

Tarjouspyynnössä ilmoitetaan:

- a) suurin sallittu urasyvyys vastuuajana ja tavoitearvo vastuuajan keskimääräiselle urasyvyydelle sekä liikennemäärä, ajonopeus ja vanhan päällysteen tiedot
- b) suurin sallittu äänilähteen melutaso CPX- tai SPB-arvona (tilaaja valitsee) vastuuajana
- c) kelpoisuus arvioidaan vastuuajan seurannan perusteella
- d) arvonmuutos, jos em. vaatimus alittuu (tai ylittyy)
- e) hinnanmuutuskriteerit nopeusrajoituksen, KVL:n yms. muuttumisen varalta

Tarjouksessa ilmoitetaan hinta ja yksi tai useampi ylläpitostrategia sekä ehdotus kuhunkin ylläpitostrategiaan kuuluvasta äänilähteen melutason ja urasyvyyden mittaushjelmasta.

Jos strategiana on usein tehtävä urapaikkaus (esim. SMA 6:lla), melumittaus tehdään urapaikkausta seuraavana kesänä. Seuraavissa urapaikkauksissa voi käyttää ensimmäisen mittauskerran tuloksia, jos resepti pysyy samana.

Jos aluksi tehdään monta vuotta kestävä päällyste, mitataan melutaso 1. talven jälkeen ja urat ensimmäisen kesän jälkeen ja ennen seuraavaa päällystämistä.

Tilaaja valitsee tarjotuista palveluista halvimman.

Ongelmat:

- erilaiset ratkaisut aiheuttavat erilaiset tiemerkinäkustannukset
- pelkkä urasyvyyden maksimiarvo antaa mahdollisuuden sille, että uria paikataan paikoitellen syvimmistä kohdista, eikä tasaista pintaa tule missään vaiheessa
- lisää urakoitsijan riskiä

KULUMISMITTAUKSET KEHÄ II:LLA

Mittaukset tehtiin 2.7.2001. Mittaajina olivat Timo Kurki, Juhani Idman ja Mikko Myllymäki VTT:ltä. Mittaukset tehtiin laserprofilometrillä. Liikenteenohjauksesta vastasi Tieliikelaitos.

Kulumispinta-ala laskettiin kahdesta ajallisesti peräkkäisestä mittauksesta. Profiilit kohdistettiin kolmen tiessä olevan pultin avulla. Pultit sijaitsivat:

- n. 10 cm reunaviivasta pientareelle päin (0)
- keskellä ajokaistaa (190 cm)
- suunnilleen kaistojen välissä (360 cm).

Pinta-ala on mitattu kahdessa osassa siten, että keskimmäisen pultin molemmilta puolilta jää 10 cm laskennan ulkopuolelle ja sen molemmin puolilta on laskettu 150 cm:n matkalta (150 cm + 150 cm = 300 cm).

Urasyvyys on laskettu vertailukelpoisuuden takia kaikista profiileista keskiurasta (vasen), koska se on yleensä syvin.

Lisäksi laskettiin uran kohdassa tapahtunut päällysteen kuluminen.

Tulokset on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Tutkija Timo Kurki

Taulukko 1. Mittaustulokset Kehä II:lta

	Kulumispinta-ala						
	keski- arvo	keski- hajonta	Profiilit				
Osuus	(cm ²)	(%)	1	2	3	4	5
1	164	8	188	164	154	156	157
2	80	6	87	77	83	79	75
3	97	7	101	96	86	97	104
4	80	5	78	84	78	84	76
5	70	9	74	78	66	61	72
Urasyvyys kevät 2001							
	keski- arvo	keski- hajonta	Profiilit				
Osuus	(mm)	(%)	1	2	3	4	5
1	9.7	12	11.2	10.6	9.5	8.5	8.9
2	3.7	30	3.6	2.5	3.4	3.4	5.5
3	7.4	3	7.6	7.4	7.0	7.4	7.4
4	3.6	28	5.3	3.6	2.5	3.2	3.6
5	4.6	54	4.2	4.4	3.4	8.7	2.1
Kuluminen urassa							
	keski- arvo	keski- hajonta	Profiilit				
Osuus	(mm)	(%)	1	2	3	4	5
1	10.1	7	11.2	10.6	9.9	9.3	9.7
2	4.5	4	4.4	4.2	4.6	4.6	4.6
3	6.5	16	4.9	7.4	6.3	6.5	7.4
4	4.6	11	4.9	5.1	3.8	4.8	4.4
5	3.7	26	4.2	4.4	3.4	4.2	2.1

Taulukko 2. suhteelliset arvot (osuus 5 = 1)

Osuus	Pinta- ala	ura- syvyys	Kuluminen urassa
1	2.33	2.13	2.76
2	1.14	0.81	1.23
3	1.38	1.61	1.77
4	1.14	0.80	1.25
5	1.00	1.00	1.00

ISBN 951-22-6870-1

ISSN 1459-7551