

Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä

Remix-menetelmän työskentelyvaikutukset

Tiehallinnon selvityksiä 25/2001



Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä
Remix-menetelmän työskentelyvaikutukset

Tiehallinnon selvityksiä 25/2001

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-758-4
TIEH 3200672

Edita Oyj
Helsinki 2001

Julkaisua myy:
Tiehallinto, julkaisumyynti
telefaksi 0204 22 2652
e-mail julkaisumyynti@tiehallinto.fi



TIEHALLINTO
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

Asiasanat kivimastiksiasfaltti, lentotuhka, Remix-menettelmä, työskentelyolot

Aiheluokka 42

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin vaikuttaako kivihiilen lentotuhkan (LT) käyttö kalkifillerin (KF) tilalla SMA:ssa työntekijöiden altistumistasoihin, kun asfalttia levitetään. Vertailu tehtiin normaalisti tuotetun SMA:n ja REM-menettelmällä valmistetun SMA:n työskentelyn välillä. Remix-menettelmä (REM) valittiin, koska siinä käytetään vanhan tiepinnan lämmityksessä melko korkeita lämpötiloja ja lisäksi kahta eri tekniikkaa lämmön lähteenä; nestekaasua (NK) ja polttoöljyä (PÖ). Mittauskohteita oli kesän 2000 aikana viisi. Kahdessa tutkittiin normaalia SMA-levitystä ja kolmessa Remix-levitystä. Yksi ABREM/PÖ -kohde oli Oulun lähellä Utajärvellä ja muut SMAREM/NK - ja normaalit SMA-kohdeet olivat Etelä-Suomessa.

Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin kokonaispölyä, bitumihuruja, bitumihöyryjä ja karsinogeenisten PAH-yhdisteiden määrää sekä typen ja rikin oksideita. Ilman epäpuhtauksien lisäksi altistumista PAH-yhdisteille tutkittiin mittaamalla pyreenin aineenvaihduntatuotteen, 1-pyrenolin pitoisuutta työntekijöiden virtsassa.

Kokonaispölyn ja bitumihuurun keskiarvopitoisuudet olivat SMAREM-mittauksissa seuraavat: SMAREM/LT 1,5 ja 0,4 mg/m³ sekä SMAREM/KF 1,1 ja 0,3 mg/m³. Normaalin SMA:n mittauksissa nämä arvot olivat suuremmat: normaali SMA/LT 1,9 ja 0,9 mg/m³ sekä SMA/KF 2,2 ja 1,0 mg/m³. Kalkifillerin korvaaminen lentotuhkalla ei vaikuttanut olennaisesti ilman kokonaispöly- ja bitumihuurupitoisuuksiin. Bitumihöyryjen keskiarvopitoisuuksissa ei ollut suurta eroa menettelmän tai levitysmassan mukaan. SMAREM/LT-levityksessä bitumihöyryn keskiarvopitoisuus oli 3,5 mg/m³ ja SMAREM/KF-levityksessä 1,1 mg/m³. Vastaava pitoisuus normaalin SMA/LT:n levitykselle oli 3,4 mg/m³ ja SMA/KF:n levitykselle 4,3 mg/m³. ABREM-levityksen aikana mitatut kokonaispöly- ja bitumihuurupitoisuudet olivat pienempiä kuin muissa vuoden 2000 REM-mittauksissa.

SMAREM/LT-levityksessä PAH-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli 5,4 µg/m³ ja vastaavasti SMAREM/KF-levityksessä 6,9 µg/m³. SMAREM-levityksissä hengitysilman PAH-pitoisuudet olivat hieman pienempiä kuin normaalissa SMA/KF-levityksissä mitatut PAH-pitoisuudet. Selvästi suurimmat hengitysilman PAH-pitoisuudet mitattiin ABREM-levityksen aikana - keskiarvopitoisuus oli 12,8 µg/m³. ABREM-levityksessä ilmassa oli myös eniten 4-6 renkaisia PAH-yhdisteitä, joihin kuuluu mm. karsinogeeninen bentso(a)pyreeni.

Korkeimmat ilman PAH-pitoisuudet mitattiin levittimen kuljettajilta, 13,0 µg/m³. Lämmityskoneen kuljettajat altistuivat seuraavaksi eniten ilman PAH-yhdisteille, mitattu pitoisuus 8,0 µg/m³. Lämmityskoneen kuljettajien hengitysvyöhykkeeltä mitattiin myös eniten 4-6 renkaisia PAH-yhdisteitä. Näiden keskiarvopitoisuus oli 0,71 µg/m³. Taustaliikenteen osuus ilman PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin ei ollut merkittävä. Liikenteenohjaajilta ja tien vierestä mitattujen ilman PAH-pitoisuuksien määrä oli keskimäärin vain 0,5 µg/m³.

SMAREM-töissä oli työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuus keskimäärin kaksin-kolminkertainen altistumattomien viiterajaan verrattuna. Ammateittain tarkasteltaessa levittimien kuljettajien, perämiesten ja lämmittimien kuljettajien virtsan 1-pyrenolin määrä keskimäärin ylitti altistumattomien viiterajan työvuoron jälkeen.

Työntekijöiden ilmoituksen mukaan ihon ja vaatteiden tahraavuus, työskentelyilman ärsyttävyys ja muut vaikutukset eivät olleet merkittävästi erilaisia levitettäessä SMAREM/KF- ja SMAREM/LT -massoja. ABREM/PÖ-levityksessä, jossa vanhan massan lämpötila oli viallisen lämmittimen vuoksi ajoittain erityisen korkea, työntekijät kokivat massat ihoa ja vaatteita tahraaviksi sekä ilman epäpuhtaudet ärsyttäviksi. Näillä työntekijöillä oli myös päänsärkyä.

Viileässä levityssäissä tavallisen SMA:n lämpötila sekä koneasemalta lähtevästä että levityspäähän saapuvasta kuormasta oli melko korkea, ylimmillään noin 210 °C. SMAREM-levityksessä kuumentimilta mitattu korkein lämpötila oli noin 284 °C. Tulosten perusteella on levitystekniikasta riippumatta mietittävä parannuksia massojen lämpötilakontrolliin ja levittimen sekä Remix-lämmittimen kuljettajan työskentelyolosuhteisiin.

Virpi Väänänen, Pirjo Heikkilä, Mervi Hämeilä, Petri Peltonen: Coal fly ash in stone mastic asphalt. Working influences of remixing method.

Key words Stone mastic asphalt, fly ash, Remixing, occupational conditions

ABSTRACT

The aim of the Research was to investigate and compare the occupational exposure of the road paving workers when using coal fly ash (CFA) or limestone (LF) as a filler in stone mastic asphalt concrete (SMA). The comparison of occupational exposure was done when laying SMA mixture by traditional method and by remixing method. Remixing method (REM) was studied because high temperatures are used when heating the old pavement. In the remixing either the liquid gas (LG) or the fuel oil (FO) was used for heating the old asphalt layer.

Occupational measurements were carried out in five worksites. In one survey the REM/FO technics was applied for heating the old AC. In two contracts the exposure measurements were done with the traditional method with the SMA. In two surveys the REM technics with liquid gas heating was applied for the old SMA surface.

The concentrations of the total inhalable dust, bitumen fumes, bitumen vapours, 15 different PAH-compounds, nitrogen oxides and sulphur dioxide were determined in the breathing air zones of the asphalt workers. The workers' exposure to PAHs (carcinogenic compounds) was also monitored by analysing the 1-pyrenol concentrations in the urine samples.

The arithmetic mean concentrations of the total inhalable dust and bitumen fumes in SMA remixing were as follows: SMAREM/CFA 1,5 and 0,4 mg/m³ and SMAREM/LF 1,1 and 0,3 mg/m³. In the normal SMA laying, the values obtained were, however, higher and the following: SMA/CFA 1,9 and 0,9 mg/m³ and SMA/LF 2,2 and 1,0 mg/m³. The inorganic CFA-filler had not thus any noticeable effect on the measured concentrations. The arithmetic mean concentrations of the bitumen vapours were similar in all field surveys. The concentrations of the total inhalable dust and the bitumen fumes were lower when remixing the AC-mixture through the REM/FO technics in the year 2000 than during the remixing of the other SMA mixtures by using the REM/LG technics.

The arithmetic mean concentration of the PAH-compounds was 5.4 µg/m³ in remixing with SMA containing CFA and 6.9 µg/m³, respectively, in remixing with SMA containing LF. The concentrations of the PAHs were lower in remixing the SMA than in normal laying of the SMA. The arithmetic mean concentration of the 15 different PAHs was highest, 12.8 µg/m³ in remixing the AC. Also the concentrations of the PAH compounds containing 4-6 ring structures like compound named benzo(a)pyrene, were highest during the remixing of the AC.

The concentrations of the PAHs were highest in the breathing air zone of the paver operators (13.0 µg/m³) and the operators of the heating devices (8.0 µg/m³). The highest values of the PAHs (0.71 µg/m³) with the 4-6 ring structure compounds were measured at the breathing air zone of the heating device operators.

The urinary 1-hydroxypyrene concentrations among the SMA remixing workers were two to three times higher than the reference value of the non-exposed workers ($0.27 \mu\text{mol/mol}$ creatinine). The concentration of the 1-hydroxypyrene in urine samples of the paver operators, screed men and operators of the heating devices also exceeded the reference value of the non-exposed workers.

All the workers in AC remixing with FO experienced the emissions to be irritating. Most of the workers had headache. This was partly caused by the broken heating device which highed the temperatures too much during the AC survey.

The temperature (210°C) of the virgin SMA mixture was occasionally too high. The temperature of the old AC in remixing was also occasionally too high especially because one of the heating-up systems was damaged during the AC contract. The highest surface temperature reached, after the heating-up systems in SMA remixing was about 284°C . More strict temperature control with normal and remixing method is recommended. The more ventilated cabin to paver machine is recommended for decreasing the emissions at the paver operators' breathing air zones.

ALKUSANAT

Työterveyslaitos (TTL) ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka tutkivat asfaltissa käytettävien kierrätysaineiden vaikutusta työskentelyilman laatuun, työoloihin ja ympäristöön Suomen Akatemian Ympäristötyöterveyden tutkimusohjelmassa (SYTTY). Tutkimukseen ovat osallistuneet myös Työsuojelurahasto, Tieliikelaitos, Tiehallinto ja asfaltti- ja REM-urakoitsijat. Yhdeksi tutkittavaksi asfaltin uusimisen työmenetelmäksi on hankkeessa valittu Remix-tekniikka. Tässä julkaisussa esitetään ja verrataan tuloksia työntekijöiden altistumisesta levitettäessä kalkkifillieriä ja lentotuhkaa sisältäviä SMA-massoja tavallisesti sekä REM-menetelmää käyttäen.

Tutkimuksen asiantuntijaryhmään ovat kuuluneet:

- *Asko Saarela* VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, puheenjohtaja
- *Mats Reihe* ja *Katri Eskola* Tiehallinto
- *Jorma Paananen* Tieliikelaitos
- *Vesa Karvonen* Savatie Oy, nyk. Skanska Asfaltti Oy
- *Heikki Keskinen* Elg Yhtiöt Oy
- *Seppo Kauppinen* Valtatie Oy
- *Jussi Rantanen*, *Hannu Haapamäki*, *Jyrki Tuominen*, *Marjo Hyödynmaa* Lemminkäinen Oyj
- *Pirjo Heikkilä*, *Virpi Väänänen*, *Mervi Hämeilä* ja *Kimmo Peltonen* Työterveyslaitos
- *Petri Peltonen* VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, johtoryhmän sihteeri

Virpi Väänänen, *Pirjo Heikkilä* ja *Mervi Hämeilä* TTL:sta ovat kirjoittaneet julkaisun työolosuhdemittauksia koskevat osiot. Kenttämittauksiin osallistivat lisäksi *Yrjö Peltonen* ja *Sakari Someroja*, Työterveyslaitos. Julkaisun teknisen osion on kirjoittanut *Petri Peltonen*. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta osallistuivat koekohteiden lämpötilamittauksiin lisäksi *Sami Similä* ja *Juhani Idman*. Asiantuntijaryhmä on kommentoinut julkaisun ennen sen julkaisemista.

Helsingissä toukokuussa 2001

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	REMIK- MENETELMÄ	10
3	MITTAUSKOHTEET JA OLOSUHTEET MITTAUSTEN AIKANA	13
3.1	Mittauskohteet, SMA-päällysteet	13
3.2	Mittausolosuhteet, SMA-päällysteet	13
3.3	REMIK-päällystyskohteet ja lämmitystekniikka	14
3.4	Mittausolosuhteet REMIX-kohteissa	15
4	TYÖOLOSUHDE TUTKIMUKSET	17
4.1	Tutkimusmenetelmät	17
4.1.1	Näytteenkeräys- ja mittausmenetelmät	17
4.1.2	Työolosuhdekysely	18
4.1.3	Työhygieeniset vertailuarvot	18
4.2	Tulokset	19
4.2.1	Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet	19
4.2.1.1	Ilman typenoksidi-, hiilimonoksidi- ja rikkidioksidipitoisuudet	19
4.2.1.2	Kokonaispöly-, bitumihuuru- ja bitumihöyrypitoisuudet	19
4.2.1.3	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt ilmassa	22
4.2.1.4	Vuosina 1999 ja 2000 tehtyjen mittauksien vertailu aikaisempiin mittauksiin	22
4.2.2	Työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuudet	23
4.2.3	Työolosuhdekysely	24
5	YHTEENVETO	26
6	JATKOSUOSITUKSET	27
7	VIITTEET	28
8	LIITTEET	29

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää vaikuttaako kivihiilen lentotuhkan käyttö kalkkikiven tilalla täytejauheena kivimastikiasfaltissa (SMA) työntekijöiden altistumistasoihin ja kokemuksiin haittoihin. Vuosien 1999 ja 2000 aikana tehtiin kenttämittaukset SMA:n levityksen aikana ja kesällä 2000 tehtiin mittaukset käytettäessä REMIX-uusimismenetelmää.

Tutkimus kuuluu osana Suomen Akatemian rahoittamaan Ympäristötyöterveyden tutkimusohjelmaan (SYTTY). Hanke toteutetaan vuosina 1998 - 2002. Työolosuhdemittauksiin on saatu rahoitusta myös Työsuojelurahastolta. VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sekä Työterveyslaitoksen yhteisesti toteutettavana on SYTTY-ohjelmassa hanke "Kierrätysaineiden ympäristö- ja työterveysriskit asfaltin tuotannossa". Hankkeessa on ollut mukana laajasti myös materiaalitöimittäjistä lentotuhkan tuottajia sekä asfalttiurakoitsijoita.

Koska kivihiilen polton lentotuhkaa syntyy erittäin paljon ja tuhkan käyttö asfaltissa on vakioitunut, kohdistuivat hankkeen vuosien 1999 - 2000 tutkimusosiot erityisesti selvittämään lentotuhkan kierrätyskäytön ympäristötyöterveyttä.

Kesällä 1999 käynnistyi asfaltoinnin työntekijöiden työskentelyoloja koskeva selvitys, jossa kartoitettiin SMA:ssa käytettävän lentotuhkan työskentelyriskejä. Käynnistystulokset, ks. viite 9. Selvitystä jatkettiin kesällä 2000 tarkastellen työskentelyvaikutuksia myös, kun SMA- tai AB-päällystettä uusiin Remix-menetelmällä.

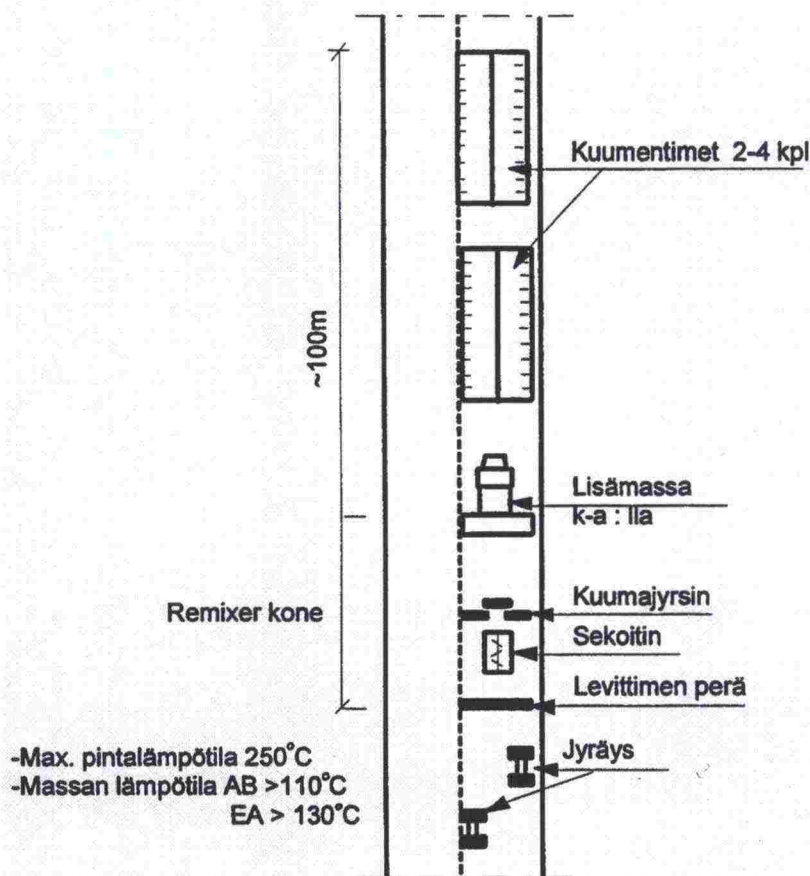
Remix-menetelmän kautta haluttiin selvittää työskentelyriskit Remix-menetelmälle tyypillisissä korkeammassa lämpötiloissa. Samoin tuloksia haluttiin verrata eri REM-tekniikoiden osalta niin, että mukaan oli valittu kohteita joissa lämpöenergia tuotetaan joko nestekaasulla; kohteet etelässä tai polttoöljyllä; Utajärven kohde. Remix-tutkimusosioon sitoutuivat mukaan Remix-menetelmää käyttävät urakoitsijat. Urakoitsijoiden edustajat ovat seuranneet työn etenemistä myös johtoryhmässä. Lisämäärät valmistettiin Etelä-Suomen kohteissa Tieliikelaitoksen Maantiekylän koneasemalla, josta ne toimitettiin REM-pintauskohteisiin.

Raportissa esitetään asfaltointimiehistön työskentelyolojen altistustulokset levityksen eri työvaiheissa. Mittauksia tehtiin mm. levittimen sekä lämmittimen kuljettajan hengitysvyöhykkeellä. Lisäksi tarkastellaan työn aikana tehtyjä lämpötilamittauksia asfaltiasemalta lähtevästä massasta, levityspäähän saapuvasta massasta sekä REM-menetelmän eri työstövaiheista. Lopuksi on esitetty yhteenveto ja jatkosuositukset.

2 REMIX- MENETELMÄ

Tutkimus käsitti SMA-päällystyskohteita, joissa asfaltointi tapahtui normaali tavalla. Uusiopäällystekohteissa asfaltointi tehtiin REMIX-pintauksena (REM). REMIX-menetelmä on vakiintunut yleiseen käyttöön päällysteen kunnostuksessa. Tässä menetelmässä vanha asfalttipäällyste kuumennetaan tiellä kulkevilla kuumentimilla, jyrsitään irti, sekoitetaan uuden massan kanssa ja levitetään takaisin tielle. Remix-menetelmän periaate, kts. kuva 1 /1/.

REMIX (REM) MENETELMÄKUVAUS (ESIM. AB 16 /15/REM)



Kuva 1. Remix- menetelmän periaate /1/.

Vanhan asfalttipäällysteen kuumennus on tehtävä tasaisesti niin, että alustan pintalämpötila kuumentimen jälkeen on ≤ 250 °C. Lisämassana käytetään vastaavaa tai laadukkaampaa massaa kuin käsiteltävä massa. SMA-päällysteen pintalämpötilan levittimen jälkeen on oltava ≥ 130 °C. Pitkärunkoinen Remixer-kone, kuten kuvat 2 - 4 käytännössä osoittavat, rajoittaa REMIX-menetelmän käyttöä taajamissa. Kuumentimien käyttö mahdollistaa jossain määrin työskentelyn kylmemmällä säällä sekä lievässä sateessa.

Lämmittimiä on kahta tyyppiä ja niissä on käytetty infrapunakuumentimia, joissa säteilylämpö on tuotettu joko nestekaasulla tai polttoöljyllä. Tutkituissa REM-kohteissa Utajärven kohde edusti polttoöljyn käyttöä ja muut kohteet nestekaasun käyttöä lämmön lähteenä.

Kuvassa 2 on lähikuva lämmittimen kohdalta. Kuvassa 3 nähdään lisämasan annostus. Kuvassa 4 on esitetty sama REM-kalusto levittimen suunnasta eli takaa eteen päin kuvattuna. Varsinaisesti REM-työskentelyn työntekijöitä ovat lämmittimen kuljettajien lisäksi levittimen kuljettaja, perämies, kolamies ja lapiomies.



Kuva 2. Lähikuva REM-kuumentimista.



Kuva 3. Lähikuva REM-lisämäärän annostuksesta levittimelle.



Kuva 4. REM-kalusto menosuuntaan kuvattuna. Valmistettu päällystepinta edessä.

3 MITTAUSKOHTEET JA OLOSUHTEET MITTAUSTEN AIKANA

3.1 Mittauskohteet, SMA-päällysteet

Mittaukset tehtiin päällystyskohteissa, jotka olivat seuraavat:

- Kehätie I Porintien risteyksestä länteen
- Kehätie I Tapiolan risteyksestä itään

3.2 Mittausolosuhteet, SMA-päällysteet

Kohteessa Kehä I päällysteenä oli SMA ja täytejauheena lentotuhka. Vertailuna käytettiin kalkkifilleriä sisältävää SMA-asfalttia kuten käytettiin myös päällystyskaudella 1999. Päällystyskauden 2000 asfalttoinnit hankkeessa tehtiin 9. - 12.05.2000 välisenä aikana. Työt tehtiin yöllä, klo 21.00 ja 4.00 välisenä aikana. Ensimmäisellä mittauskerralla vallitsi poutainen, heikkotuulinen sää. Ilman lämpötila vaihteli 11 - 18 °C välillä ja ilman suhteellinen kosteus oli 34 - 55 %. Tuuli oli myötäinen. Toisella mittauskerralla oli kylmä, kirkas ilma tuulen nopeuden ollessa 8 m/s vastaista ja ilman lämpötilan vaihdellessa 2 - 6 °C välillä. Ilman suhteellinen kosteus oli 28 - 37 %. Mittausolosuhteet, kts liitteet 1-2.

Päällystyskohteessa Porintie - Lintuvaara (Kehä I) oli päällysteenä tavallinen SMA-päällyste, jossa oli käytetty täytejauheena kalkkifilleriä (vertailu). Kohteessa VTT seurasi massan lämpötilaa koneasemalla (puikkolämpötilamittaus kuormasta), kun massaa lähdettiin kuljettamaan levityspäähän, massan lämpötilaa levityspäässä (puikkomittarilla kuormasta) ja päällyste-laatan pintalämpötilaa heti levittimen jälkeen ennen jyräystä. Tähän lämpötilamittaukseen käytettiin infrapunamittaria. Massa valmistettiin Tieliikelaitoksen Maantiekylän koneasemalla. Lämpötilaseurannan tulokset kuormittain on esitetty taulukossa 1.

Taulukossa 2 on kohteen Kehä I: Karhusaarentie - Esso, Tapiola 11.5 - 12.5.2001 tehty lämpötilaseuranta. Massana oli edelleen normaaliasfalttoinnissa SMA ja massassa oli käytetty täytejauheena lentotuhkaa. Taulukosta 2 nähdään SMA:n valmistuslämpötilan ylittävän vaihteluvälin puitteissa 210°C, mikä on erittäin korkea lämpötila ja otollinen runsaalle bitumihuuruksen (hiilivetykomponentit) haihtumiselle. Työ tehtiin yötyönä.

Kuljetettaessa massaa koneasemalta levityspäähän lämpötilan alenema ei ole merkittävä. Lisäksi nähdään, että lämpötila laskee nopeasti tiivistetyn laatan pinnassa. Valmiin laatan pinnassakin lämpötila on paikoin vielä kuitenkin melko korkea (taulukko 2). Taulukkoa 2 vastaavassa kohteessa ulkoilman lämpötila päällystyshetkellä oli vain +3,5°C ja tuuli kohtalainen. Tämä voi osin selittää korkeaa massan valmistuslämpötilaa.

Taulukko 1. Lämpötilan seuranta-arvot eri kuormista, SMA vertailu (KF), Kehä I Porintie - Lintuvaara.

Lämpötilaseuranta: SMA täytejauheena kalkkifilleri, lämpötila (°C)					
Kone-asema	Kone.as. vaiht.väli	Levitys/kuorma	Levitys vaiht.väli	Laatan pinta	Laatta vaiht.väli
194,6	192,1 - 196,6	196,3	187,6 - 201,9	144,0	134,0 - 153,0
199,6	196,3-203,2	202,0	199,2-204,6	148,7	136,0-156,0
195,4	194,5-196,6	196,9	195,4-197,8	153,7	147,0-158,0
199,8	195,2-203,3	198,6	192,8-204,6	151,7	148,0-154,0
191,4	182,7-198,9	190,7	169,7-200,7	149,8	142,0-155,0
196,9	192,1-198,9	187,7	176,9-195,9	149,3	139,0-155,0
183,9	175,3-198,1	183,8	176,0-195,2	138,8	131,0-146,0
192,3	183,7-201,9	194,0	187,6-199,9	150,0	148,0-153,0
199,1	198,7-199,5	200,4	199,9-200,7	155,8	146,0-163,0
199,6	196,1-203,1	201,5	198,5-204,9	161,4	149,0-167,0

3.3 REMIX-päällystyskohteet ja lämmitystekniikka

REM-menetelmän aikaiset mittaukset tehtiin päällystyskohteissa

- Hämeenlinnan moottoritie Hyvinkäältä etelään
- Turun moottoritie Kehä I liittymästä Helsingin suuntaan
- Vt 22 Utajärvi - Vaalan kr

Hämeenlinnan moottoritieellä, Hyvinkäältä etelään noin 3,3 km matkalla, päällysteenä oli SMAREM/kalkkifilleri. Lämpö tuotettiin nestekaasu/IR - tekniikalla. Samaa tekniikkaa käytettiin Turun moottoritieellä Kehä I liittymästä Munkkiniemeen päin noin 3 km matkalla, jossa päällysteenä oli SMAREM/lentotuhka.

Utajärven kohteessa päällysteenä oli ABREM/KF. Lämpö tuotettiin polttoöljyllä.

Taulukko 2. Lämpötilan seuranta-arvot eri kuormista, SMA (LT), Kehä I Karhusaarentie - Esso, Tapiola.

Lämpötilaseuranta: SMA täytejauheena lentotuhka, lämpötila (°C)					
Kone-asema	Koneasema vaiht.väli	Levitys/kuorma	Levitys vaiht.väli	Laatan pinta	Laatta vaiht.väli
209,2	208,7-209,7	209,9	208,4-212,5	170,3	158,0-179,0
203,3	189,9-210,4	195,3	184,0-205,8	164,3	162,0-167,0
202,1	200,5-203,5	198,6	190,2-208,3	164,7	155,0-170,0
202,3	200,5-204,6	201,9	193,6-204,9	164,5	161,0-168,0
201,7	192,3-210,7	203,9	201,0-210,8	159,8	144,0-167,0
198,7	195,6-202,5	200,2	197,4-203,9	163,0	153,0-170,0
205,6	195,9-211,3	205,4	198,3-211,8	169,8	168,0-172,0
199,4	178,4-211,4	200,7	185,3-210,6	166,8	163,0-173,0
193,0	177,1-198,4	202,3	200,3-204,8	167,3	164,0-172,0
193,8	188,8-203,2	195,4	184,4-204,1	157,3	151,0-161,0
184,5	173,1-191,7	187,1	169,2-197,4	156,0	154,0-158,0
197,9	187,6-204,1	200,2	196,7-206,7	166,3	162,0-169,0
197,7	193,4-201,3	200,9	199,3-202,5	162,8	153,0-170,0
181,2	173,5-190,4	184,2	178,2-190,3	150,5	140,0-161,0

3.4 Mittausolosuhteet REMIX-kohteissa

REMIK-kohteiden päällystämisen ajankohdat olivat 13. ja 29. 06.2000. Kohteet päällystettiin klo 9.00 - 23.00 välisenä aikana. Hämeenlinnan moottoritiellä ilman lämpötila vaihteli päällystyksen aikana 16 - 20 °C ja ilman suhteellinen kosteus 32 - 63 % välillä. Tuulen suunta oli lounaasta ja melko voimakasta. Turun moottoritiellä mittauksissa oli selvästi lämpimämpää, 21 - 28 °C ja ilman suhteellinen kosteus oli 43 - 79 %. Tuulen suunta oli idästä ja nopeus noin 3 - 4 m/s. SMAREM/lentotuhka -osuuden levityksen aikana esiintyi kuurosateita levitystyön alku- ja loppuvaiheessa.

Utajärven REMIX-kohteessa infrapunasäteilijän kuumentamiseen käytettiin kevyttä polttoöljyä (ABREM/polttoöljy/IR). Mittaukset tehtiin Utajärvellä, noin 30 km Oulusta Kajaaniin päin normaalina työaikana - klo 9.00 -16.00. Sää oli välillä aurinkoinen, välillä puolipilvinen ja lämpötila vaihteli 12 - 20 °C välillä. Tuulen nopeus oli 2 - 6 m/s. Tuulen suunta oli etelästä ja pääosin sivuvastainen. Mittausolosuhteet, kts. lähemmin Liitteet 3-5.

REM-kohteissa VTT seurasi lämpötiloja koneasemalla lähtevästä massa-kuormasta (puikkomittari) ja tämän lisämangan lämpötilaa levityspäähän saapuvasta kuormasta (puikkomittari). Odotusaika kuorman saapumiselle oli noin 1,5 h. Vanhan päällysteen lämpötila mitattiin infrapunamittarilla ennen rouhimista noin 10 cm etäisyydeltä jokaisen lämmittimen takareunasta.

Taulukossa 3 ovat lämpötilaseurannan tulokset REM-kohteesta Vt 3 Hämeen tp. raja - Nurmijärvi 13.6.2000 (massa SMA, säättila +20 °C / poutainen) ja taulukossa 4 tulokset REM-kohteesta Vt1 Turunmo-Munkkiniemi 29.6.2000.

Korkeimmillaan lämpötila on hajonnan perusteella tällöin noin 284 °C lämmittimellä 3, arvot kts. taulukko 4.

Taulukko 3. Lämpötilaseuranta SMA/REM Vt3 Nurmijärvi 13.6.2000.

Lämpötilaseuranta SMA/REM Vt 3 Nurmijärvi, ka (°C)						
Kone- asema	Levitys/ kuorma	Lämmitin 1	Lämmitin 2	Lämmitin 3	Vanha pinta	Uusi pinta
192,9	191,9	151,2	237,2	259,5	119,3	133,3
Lämpötilan hajonta (°C)						
183,2- 207,7	188,6- 195,2	118,8- 181,5	189,7- 269,7	247,3- 282,3	110,3- 135,0	120,4- 146,7

Lämpötilaseurannan perusteella asfaltin pinta on kuuminta lämmittimien lähellä. Sen sijaan levittimen lähellä asfaltin pintalämpötilat ovat jo melko pieniä. Näin ollen on tärkeää tarkastella lämmittimen kuljettajien hengitysvyöhykkeen ilman epäpuhtauksia.

Taulukoiden 3 ja 4 lämmöntuotanto aikaansaatiin REM-pintaauksessa neste-kaasutekniikalla. Taulukossa 5 on polttoöljyteknika toimivan REM-koneen lämpötilan seurantatulokset Utajärveltä 20.6.2000. Mittausarvot ovat koholla, koska lämmitin rikkoutui mittauksen aikana. Käytössä oli kolme esilämmittintä EL 1, 5 ja 4. Mittaukset aloitettiin aamusään ollessa poutainen, lämpötila 15 - 20°C. Selvityksen perusteella esilämmittimestä EL 5 puhkesi rengas

klo 13.30. Vaihtotyö kesti klo 16.45 asti. Lämmitystyötä jatkettiin kahdella esilämmittimellä, jolloin mittausarvot eivät kuvaa työmaalla normaalisti vallitsevaa tilannetta.

Taulukko 4. Lämpötilaseuranta SMA/REM Vt 1 Turun MO - Munkkiniemi.

Lämpötilaseuranta SMA/REM: Vt 1 Turun MO - Munkkiniemi, ka (°C)						
Kone- asema	Levitys/ kuorma	Lämmitin 1	Lämmitin 2	Lämmitin 3	Vanha pinta	Uusi pinta
191,8	162,5	217,4	218,1	246,9	125,4	132,8
Lämpötilan hajonta °C						
186,7- 203,8	140,7- 187,2	172,7- 254,3	188,7- 236,7	221,7- 284,3	108,0- 141,3	116,3- 147,7

Taulukko 5. Lämpötilaseuranta AB/REM Vt 22 Utajärvi.

Lämpötilaseuranta Vt 22 Utajärvi, ka (°C)							
Kone- asema	Levitys/ kuorma	Lämmitin 1	Lämmitin 2	Lämmitin 3	Lisä- lämpö	Vanha pinta	Uusi pinta
159,9	139,1	353,4	325,4	309,9	196,9	116,3	117,9
Lämpötilan hajonta °C							
125,9- 174,3	113,8- 163,0	333,7- 366,0	253,7- 360,5	262,7- 349,7	187,7- 206,0	96,7- 125,0	97,7- 127,0

Odotusaika massan saapumiselle levityspäähän oli Utajärvellä noin 4h. Yhden lämmittimen vaurio aiheutti tilanteen, jossa lämmittimen kuljettajan hengitysilmassa voivat arviolta näkyä kohonneet pitoisuudet. Vaurio aiheutti myös sen, että valmiin päällystepinnan lämpötila jäi paikoin melko pieneksi.

4 TYÖOLOSUHDE Tutkimukset

4.1 Tutkimusmenetelmät

4.1.1 Näytteenkeräys- ja mittausmenetelmät

Kesällä 2000 tehtiin yhteensä viidessä tienpäällystyskohteessa mittauksia. Näistä kaksi oli SMA-päällystyskohteita ja kolmessa kohteessa oli kyseessä REMIX-päällystys.

Kenttäkokeissa mitattiin kokonaispöly-, bitumihuuru-, bitumihöyry- ja PAH-pitoisuudet levitystyössä olevien työntekijöiden kuten levittimen kuljettajan, perämiehen ja lämmityskoneiden kuljettajien hengitysvyöhykkeeltä. Näytteiden keräysaika oli työvuoron mittainen eli kuusi–kahdeksan tuntia. Työntekijöiltä kerättiin virtsanäytteet ennen työvuoron alkamista sekä sen päätyttyä. Virtsanäytteistä määritettiin PAH-yhdisteen, pyreenin, aineenvaihduntatuotteen, 1-pyrenolin pitoisuus. Liikenteenohjaajalta tai tien vierestä kerättiin PAH-näytteet, joista saatiin selville liikenteen osuus PAH-pitoisuuksiin. REMIX-menetelmää käyttävissä kenttäkohteissa mitattiin myös typen oksidit (NO_x; typpimonoksidi, typpidioksidi; mittausrajat 0,5 - 10 ppm), hiilimonoksidi- (CO; mittausrajat 2 - 60 ppm) ja rikkidioksidipitoisuus (SO₂; mittausrajat 0,1 - 3 ppm) osoitinputkilla (Dräger).

Liitteissä 6 -10 on esitetty eri kohteissa kerätyt näytteet. Taulukossa 6 on esitetty ilman epäpuhtauksien sekä virtsan 1-pyrenolin mittaamiseen käytetyt näytteenkeräysmenetelmät sekä analysointitekniikat.

Taulukko 6. Näytteenkeräys- ja analysointimenetelmät.

Yhdiste	Keräin	Virtausnopeus	Keräysaika	Analysointitekniikka
Kokonaispöly, bitumihuuru	Teflon suodatin 1,0µm, (SKC 225-17-05)	1,0 l/min	työvuoro	Gravimetrinen, FTIR
Haihtuvat hiilivedyt	XAD-2 (SKC 226-30-06)	1,0 l/min	työvuoro	GC/MS
PAH (ilma)	Teflon suodatin, 2,0 µm,(SKC 225-1707)+ XAD-2 (Supelco Orbo-43, Cat.No 20258)	1,0 l/min	työvuoro	HPLC/FLD
1-pyrenoli	Virtsanäyte ennen työvuoroa ja sen jälkeen			HPLC/FLD
NO _x	osoitinputki Dräger Part.No CH29401			
CO	osoitinputki Dräger Part No 6733051			
SO ₂	osoitinputki Dräger Part No 6727101			

Kokonaispölypitoisuudet määritettiin suodattimista gravimetrisesti Uudenmaan aluetyöterveyslaitoksessa (UATTL) (menetelmä SFS-3860). Tämän jälkeen suodattimet uutettiin tetrakloorietyleeniin (C₂Cl₄) ja määritettiin bitumihuurupitoisuudet Fourier Transform infrapunaspektrometrillä (FTIR) Työterveyslaitoksen Työhygienian ja toksikologian osastolla /2/.

Haihtuvat hiilivedyt (TVOC) eli bitumihöyryt uutettiin XAD-hartseista dikloorimetaaniin (CH_2Cl_2) ja pitoisuudet määritettiin kaasukromatografilla (GC) käyttäen massaspesifistä detektoria (MS). Haihtuvien hiilivetyjen analyysit suoritettiin UATTL.

Polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ilmasta analysoitiin sekä suodattimilta (hiukkaset) että XAD-hartseista (haihtuvat) /3,4/. Suodattimet uutettiin sykloheksaaniin ja hartsit asetoniin. Kaikista PAH-näytteistä tutkittiin 15 eri PAH-yhdisteen pitoisuudet. PAH-yhdisteet analysoitiin nestekromatografisesti (HPLC). Testit teki Työterveyslaitoksen Työhygienian ja toksikologian osasto.

Virtsanäytteet pakastettiin näytteenkeräyksen jälkeen. Virtsan 1-pyrenolin määrittämiseen käytettiin entsymaattista hydrolyysiä (17 tuntia, 37°C), jonka esipuhdistuksena oli kiinteäfaasiuutto C18-matriisin läpi. Tämän jälkeen 1-pyrenoli määritettiin HPLC/FLD:lla samoin Työterveyslaitoksen Työhygienian ja toksikologian osastolla /5/.

4.1.2 Työolosuhdekysely

Työntekijöitä haastateltiin työvuoron kuluessa. Heidän mielipidettään kysyttiin lentotuhkaa sisältävän ja kalkkifilleriä sisältävän asfaltin, tahraavuudesta, hajusta sekä ärsyttävyydestä silmille ja hengitystiehyille käytettäessä näitä massoja ja REMIX-tekniikkaa tien päällystyksessä. Yhteenveto vastauksista on liitteessä 11.

4.1.3 Työhygieeniset vertailuarvot

Suomessa on asetettu epäorgaanisen pölyn eli kokonaispölyn haitalliseksi tunnetuksi pitoisuudeksi (HTP-arvo) 10 mg/m^3 kahdeksan tunnin altistuksessa /6/.

HTP-arvo orgaaniselle pölylle, kuten bitumihuurulle on 5 mg/m^3 (8 tunnin keskipitoisuus). Yhdysvalloissa bitumihuurun raja-arvo on $0,5 \text{ mg/m}^3$ bentseeniin tai vastaavaan liuottimeen liukenevana aerosolina /7/.

Höyrymäisille yhdisteille ei ole annettu HTP-arvoa. PAH-yhdisteistä on bentso(a)pyreenille asetettu Suomessa suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi $0,01 \text{ mg/m}^3$. Norjassa on suositeltu PAH-yhdisteiden yhteispitoisuuden raja-arvoksi $0,04 \text{ mg/m}^3$ /8/.

Typpidioksidin (NO_2) HTP-arvo on 3 ppm ja typpioksidin (NO) vastaava arvo on 25 ppm kahdeksan tunnin altistuksessa. Vastaavat HTP-arvot hiilimonoksidille (CO) on 30 ppm ja rikkidioksidille (SO_2) 1 ppm /6/.

4.2 Tulokset

4.2.1 Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet

4.2.1.1 Ilman typenoksidi-, hiilimonoksidi- ja rikkidioksidipitoisuudet

REMX-kohteissa mitattiin lämmityskoneiden vierestä ja levittimen päältä ilman typen oksidit (NO_x ; typpiemonoksidi ja typpidioksidi), hiilimonoksidi- ja rikkidioksidipitoisuudet. Typpioksidien pitoisuus oli alle HTP-arvon mittauksissa. Rikkidioksidipitoisuus ylitti HTP-arvon ABREM-kohteessa. Hiilimonoksidimääritystä häiritsivät hiilivety-yhdisteet ja värinmuutos osoitinputkissa (kts. taulukko 7) ei ollut selvä.

Taulukko 7. Osoitinputkella määritetyt ilman epäpuhtaudet eri REMIX-kohteissa.

	SMAREM / kalkki / nestekaasu / IR	SMAREM / lentotuhka / nestekaasu / IR	ABREM / polttoöljy / IR
NO_x	0,2 ppm	0,2 ppm	0,5 ppm
SO_2	0,1 ppm	-	2 ppm
CO	25 ppm *	25 ppm *	30 ppm *

*CO-mittauksissa värinmuutos ei ollut selvä ja tulos ei ole näin ollen luotettava

4.2.1.2 Kokonaispöly-, bitumihuuru- ja bitumihöyrypitoisuudet

Taulukossa 8 on esitetty ilman kokonaispöly- bitumihuuru- ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) eli bitumihöyryn pitoisuudet sekä PAH-pitoisuudet levitettäessä eri asfalttimassoja eri menetelmällä.

Levitettäessä uudelleen lentotuhkaa sisältävää vanhaa asfalttia (SMAREM/lentotuhka) ilman epäpuhtauksista kokonaispöly- ja bitumihuuru-pitoisuudet ovat hieman suuremmat kuin SMAREM/kalkki-levityksessä. SMAREM/lentotuhka-levityksessä keskiarvopitoisuudet olivat kokonaispölylle $1,5 \text{ mg/m}^3$ ja bitumihuuruille $0,40 \text{ mg/m}^3$. Vastaavat keskiarvopitoisuudet SMAREM/kalkki-levityksessä olivat $1,1 \text{ mg/m}^3$ ja $0,34 \text{ mg/m}^3$. Kokonaispöly- ja bitumihuuru-pitoisuudet olivat SMAREM-mittauksissa selvästi pienemmät kuin SMA-mittauksissa. SMAREM -levityksen aikaisissa mittauksissa pitoisuuksien hajonta on pientä, kun taas SMA-levityksen aikana pitoisuudet olivat suuria levittimen päällä vuoden 1999 kesän mittauksissa ja muulloin selvästi pienempiä /9/.

Bitumihöyryjen keskiarvopitoisuuksissa ei ollut suurta eroa menetelmän tai levitysmassan mukaan. SMAREM/lentotuhka-levityksessä keskiarvopitoisuus oli bitumihöyryille $3,5 \text{ mg/m}^3$ ja SMAREM/kalkki-levityksessä keskiarvopitoisuus oli $1,1 \text{ mg/m}^3$. Vastaavat pitoisuudet SMA/lentotuhkalle olivat $3,4 \text{ mg/m}^3$ ja SMA/kalkille $4,3 \text{ mg/m}^3$. ABREM-levityksen aikana mitatut kokonaispöly- ja bitumihuuru-pitoisuudet olivat alhaisempia kuin muissa vuonna 2000 tehdyissä REMIX-mittauksissa. Keskiarvopitoisuudet olivat kokonaispölylle $0,7 \text{ mg/m}^3$ ja bitumihuuruille $0,08 \text{ mg/m}^3$. Bitumihöyrypitoisuuden keskiarvo oli $1,3 \text{ mg/m}^3$.

Taulukko 8. Ilman epäpuhtauksien keskiarvopitoisuudet ja vaihteluvälit levitettäessä erilaisia asfalttimassoja vuosina 1999-2000 sekä vuosina 1992-1993 ja 1997.

Massa	Kok.pöly	Bitumihuuru	TVOct	PAHt	4-6 PAHt	Mittausten lkm
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
SMA/lentotuhka						
- aritm. keskiarvo	1,9	0,88	3,4	6,3	0,26	N ₁ =13
- geom. keskiarvo	1,2	0,48	1,6	5,7	0,19	N ₂ =10
- vaihteluväli	0,3-8,5	0,10-5,60	0,6-20	2,7-13,7	0,08-0,91	N ₃ =10
SMA/kalkki						
-aritm. keskiarvo	2,2	0,98	4,3	9,0	0,42	N ₁ =12
-geom. keskiarvo	1,1	0,36	2,2	5,4	0,20	N ₂ =9
-vaihteluväli	0,1-9,7	0,04-6,90	0,6-21	1,4-45,9	0,05-2,5	N ₃ =11
SMAREM/lentotuhka ^a						
-aritm. keskiarvo	1,5	0,40	3,5	5,4	0,16	N ₁ =5
-geom. keskiarvo	1,4	0,37	3,3	3,4	0,13	N ₂ =5
-vaihteluväli	1,1-1,9	0,19-0,64	2,2-5,2	0,86-10,6	0,05-0,33	N ₃ =4
SMAREM/kalkki ^a						
-aritm. keskiarvo	1,1	0,34	1,1	6,9	0,27	N ₁ =5
-geom. keskiarvo	1,0	0,32	0,95	4,5	0,20	N ₂ =9
-vaihteluväli	0,5-1,5	0,17-0,49	0,4-1,9	1,3-12,7	0,06-0,56	N ₃ =4
AB16REM ^b						
-aritm. keskiarvo	0,7	0,08	1,3	12,8	0,93	N ₁ =6
-geom. keskiarvo	0,6	0,06	1,1	10,3	0,50	N ₂ =6
-vaihteluväli	0,3-1,3	0,02-0,17	0,5-1,9	4,0-23,7	0,08-2,1	N ₃ =6
Mittaukset vv. 1999-00						
-aritm. keskiarvo	1,7	0,67	2,5	8,2	0,42	N ₁ =41
-geom. keskiarvo	1,0	0,30	1,1	5,7	0,22	N ₂ =39
-vaihteluväli	0,1-9,7	0,02-6,90	<0,2-21	0,86-45,9	0,05-2,5	N ₃ =35
Mittaukset vv. 1992-93						
-aritm. keskiarvo	0,6	0,29	5,6	5,0	0,11	N ₁ =67
-geom. keskiarvo	0,5	0,12	1,7	3,0	0,05	N ₂ =67
-vaihteluväli	0,2-4,2	0,01-3,9	<0,2-66	0,2-52,5	<0,05-0,65	N ₃ =55
ABREM/vv. 1992-93 ^a						
-aritm. keskiarvo	0,5	0,13	0,6	1,8	0,04	N ₁ =9
-geom. keskiarvo	0,5	0,10	0,5	1,4	0,03	N ₂ =12
-vaihteluväli	0,2-0,8	0,02-0,28	0,2-1,1	0,46-4,4	0,01-0,06	N ₃ =10
SMA/hematiitti 1997						
-aritm. keskiarvo	1,7	0,44	7,0	3,9	0,01	N ₁ =3
-geom. keskiarvo	1,7	0,41	6,5	3,8	0,01	N ₂ =3
-vaihteluväli	1,4-2,2	0,3-0,67	4,7-11	3,1-4,9		N ₃ =3
SMA/kalkki 1997						
-aritm. keskiarvo	2,2	0,52	8,3	6,7	0,01	N ₁ =3
-geom. keskiarvo	2,1	0,52	8,0	6,2	0,01	N ₂ =3
-vaihteluväli	1,5-2,7	0,37-0,62	5,5-9,7	4,0-9,9		N ₃ =3
Raja-arvot:						
HTP-arvo (Suomi)	10	5			BaP ^c 10	
TLV® (USA)		0,5	100			
Norja				40		

N₁ = Bitumihuurumittausten lkm, N₂ = VOC-mittausten lkm, N₃ = PAH-mittausten lkm, ^a kuumennus nestekaasulla, ^b kuumennus polttoöljyllä, ^c BaP= bentso(a)pyreeni

Taulukkoon 9 on kerätty keskiarvopitoisuudet ilman epäpuhtauksista ammattaittain. Työntekijöistä levittimen kuljettajat altistuivat eniten kokonaispölylle, bitumihuuruille ja bitumihöyryille. Perämiehiin on laskettu mukaan jyrsinmies ABREM-mittauksista ja tuuttimies on laskettu kola- ja lapiomiehiin. Lämmityskoneiden kuljettajat taas altistuivat vähiten edellä mainituille ilman epäpuhtauksille.

Taulukko 9. Ilman epäpuhtauksien keskiarvopitoisuudet ja vaihteluvälit ammattaittain levitettäessä erilaisia asfalttimassoja vuosina 1999-2000.

Ammatti	Kok. pöly mg/m ³	Bitumi- huuru mg/m ³	TVOct mg/m ³	PAHt µg/m ³	4-6 PAH µg/m ³	Mittaus-ten lkm
Levittimen kulj.						
-aritm. keskiarvo	1,9	0,83	3,4	13,0	0,58	N ₁ =12
-geom. keskiarvo	1,2	0,36	2,0	9,3	0,31	N ₂ =12
-vaihteluväli	0,3-9,7	0,02-6,90	0,6-21	2,7-45,9	0,09-2,5	N ₃ =8
Perämies						
-aritm. keskiarvo	1,5	0,44	1,5	6,7	0,25	N ₁ =11
-geom. keskiarvo	1,0	0,25	1,1	6,2	0,20	N ₂ =9
-vaihteluväli	0,2-2,2	0,02-1,30	0,2-3,0	3,0-12,7	0,08-0,56	N ₃ =10
Kola-/lapiomies						
-aritm. keskiarvo	1,6	0,50	1,6	7,4	0,30	N ₁ =8
-geom. keskiarvo	0,9	0,32	1,2	6,3	0,22	N ₂ =6
-vaihteluväli	0,1-4,2	0,04-1,24	0,6-4,7	2,8-16,2	0,08-0,81	N ₃ =8
Lämmittimen kulj.						
-aritm. keskiarvo	0,9	0,22	0,2	8,0	0,71	N ₁ =5
-geom. keskiarvo	0,8	0,16	0,2	3,8	0,27	N ₂ =9
-vaihteluväli	0,3-1,5	0,04-0,49	0,2-0,4	0,87-23,7	0,05-2,1	N ₃ =7
Liimakoneen kulj.						
-aritm. keskiarvo				1,5	0,05	N ₃ =2
-geom. keskiarvo				1,5	0,05	
-vaihteluväli				1,4-1,7		
Liikenteenohj. ja taustaliikenne						
-aritm. keskiarvo				0,49	0,03	N ₃ =10
-geom. keskiarvo				0,40	0,03	
-vaihteluväli				0,21-1,4	0,02-0,06	
Raja-arvot:						
HTP-arvo (Suomi)	10	5			BaP ^c 10	
TLV® (USA)		0,5	100			
Norja				40		

N₁ = Bitumihuurumittausten lkm, N₂ = VOC-mittausten lkm,
 N₃ = PAH-mittausten lkm
 BaP = Bentso(a)pyreeni

4.2.1.3 Polysykliset aromaattiset hiilivedyt ilmassa

Mittaustulokset on esitetty edellä olevissa taulukoissa 8 ja 9.

SMAREM-levityksen aikaisissa mittauksissa ilman PAH-pitoisuudet olivat samaa luokkaa SMAREM/lentotuhkalla ja SMAREM/kalkilla. SMAREM/lentotuhkalevityksessä keskiarvopitoisuus PAH-yhdisteille oli $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja SMAREM/kalkki-levityksessä keskiarvopitoisuus PAH-yhdisteille oli $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. SMAREM-levityksissä ilman PAH-pitoisuudet olivat alhaisempia kuin vastaavalla täyteaineella SMA-levityksissä mitatut PAH-pitoisuudet.

Suurimmat ilman PAH-pitoisuudet mitattiin ABREM-levityksen aikana - keskiarvopitoisuus oli $12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ABREM-levityksessä esiintyi myös eniten 4-6 renkaisia PAH-yhdisteitä, joista osa on karsinogeenisiä yhdisteitä kuten bentso(a)pyreeni. Tuloksia voi selittää lämmittimen rikkoutuminen.

Levittimenkuljettajat altistuivat eniten myös ilman PAH-yhdisteille vuosina 1999 ja 2000 tehtyjen mittauksien mukaan. Levittimen kuljettajien keskiarvopitoisuus oli mittauksissa $13,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lämmityskoneen kuljettajat altistuivat seuraavaksi eniten ilman PAH-yhdisteille. Heidän keskiarvopitoisuus oli $8,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lämmityskoneen kuljettajien hengitysvyöhykkeeltä mitattiin eniten 4-6 renkaisia PAH-yhdisteitä, keskiarvopitoisuuden ollessa $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taustaliikenteen osuus ilman PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin ei ollut merkittävä. Liikenteenohjaajilta ja tienvierestä mitattujen ilman pitoisuuksien keskiarvopitoisuus oli $0,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.1.4 Vuosina 1999 ja 2000 tehtyjen mittauksien vertailu aikaisempiin mittauksiin

Taulukkoon 8 on kerätty myös vuosina 1992 - 1993 ja vuonna 1997 Työterveyslaitoksen tekemät mittaustulokset ilman epäpuhtauksista levitettäessä eri asfalttimassoja. Vuosina 1999 - 2000 kokonaispöly- ja bitumihuurupitoisuudet olivat huomattavasti suurempia kuin vuosina 1992-93 tehdyissä mittauksissa. Myös vuonna 1997 SMA-levityksessä mitatut bitumihuurupitoisuudet olivat alhaisempia kuin nyt tehdyissä mittauksissa. Sen sijaan kokonaispölypitoisuudet ovat samaa luokkaa.

Bitumihöyrypitoisuudet ovat olleet aikaisemmissa mittauksissa huomattavasti korkeampia kuin näissä viimeisissä mittauksissa vuosina 1999 - 2000. Ilman PAH-pitoisuudet olivat näissä mittauksissa korkeammat kuin aikaisemmissa mittauksissa. Myös 4-6 renkaisia PAH-yhdisteitä esiintyi enemmän ilman epäpuhtauksissa kuin ennen.

ABREM-kohteessa mitatut ilman epäpuhtaudet, varsinkin PAH-pitoisuudet, olivat korkeammat vuonna 2000 kuin vuosina 1992 - 93 mitatut pitoisuudet. Vuonna 2000 ABREM-kohteessa IR-lämmittimet kuumennettiin polttoöljyllä ja vuosina 1992 - 93 kuumennettiin IR-lämmittimet nestekaasun avulla. Kesän 2000 mittauksissa ABREM-kohteessa lämmitin rikkoutui työn aikana.

4.2.2 Työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuudet

Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty työntekijöiden virtsan 1-pyrenolin pitoisuudet työvuoron alussa ja työvuoron jälkeen. Pyreenin aineenvaihduntatuotteen 1-pyrenoli pitoisuutta virtsassa käytetään kuvaamaan työntekijän altistumista PAH-yhdisteille.

SMAREM/kalkki-levityksessä 1-pyrenolipitoisuudet olivat hieman suurempia kuin SMAREM/lentotuhka-levityksessä työvuoron jälkeen. SMAREM/kalkki- ja SMA-levityksissä mitatut pitoisuudet myös nousevat työvuoron aikana, mikä viittaa altistumiseen hengitysilman kautta. SMAREM-levityksissä 1-pyrenolipitoisuudet olivat korkeampia kuin SMA-levityksissä. SMAREM-levityksessä pitoisuudet olivat noin kaksi-kolme kertaa suurempia kuin työssään altistumattomien viitearvo, joka on 0,27 $\mu\text{mol/mol}$ kreatiniinia. Sen sijaan SMA-levityksissä 1-pyrenolipitoisuudet olivat alhaisempia kuin altistumattomien viitearvo. SMA/kalkki-levityksessä oli mukana kolme työntekijää, jotka ilmoittivat tupakoivansa.

Taulukko 10. Työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuus ($\mu\text{mol/mol}$ kreatiniini) levittäessä erilaisia asfalttimassoja vuosina 1999-2000.

Massa	Työvuoron alussa	Työvuoron jälkeen	Mittausten lkm
SMA/lentotuhka			
-aritm. keskiarvo	0,11	0,14	N ₁ = 10
-geom. keskiarvo	0,07	0,11	N ₂ = 10
-vaihteluväli	0,03-0,37	0,03-0,32	
SMA/kalkki			
-aritm. keskiarvo	0,12	0,19	N ₁ = 14
-geom. keskiarvo	0,08	0,15	N ₂ = 14
-vaihteluväli	0,03-0,38	0,03-0,57	N ₃ = 3
SMAREM/lentotuhka			
-aritm. keskiarvo	0,75	0,72	N ₁ = 4
-geom. keskiarvo	0,47	0,69	N ₂ = 4
-vaihteluväli	0,13-1,99	0,51-1,16	
SMAREM/kalkki			
-aritm. keskiarvo	0,58	0,85	N ₁ = 3
-geom. keskiarvo	0,45	0,61	N ₂ = 4
-vaihteluväli	0,21-1,18	0,33-2,18	
Tienpäällystäjät 92-93			
-aritm. keskiarvo	0,50	0,44	N ₁ = 32
-vaihteluväli	<0,01-2,97	<0,01-2,54	N ₂ = 32
Altistumattomien viiteraja	0,27		

N₁ = työvuoron alussa, N₂ = työvuoron jälkeen, N₃ = tupakoivien työntekijöiden määrä

Levittimen kuljettajilla, perämiehillä ja lämmityskoneen kuljettajilla oli suurimmat 1-pyrenolipitoisuudet, kun pitoisuuksia verrataan ammateittain. Näiden työntekijöiden 1-pyrenolipitoisuus nousi työvuoron aikana, mikä viittaa altistumiseen hengitysilman kautta.

Taulukko 11. Työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuus ($\mu\text{mol/mol}$ kreatiniini) ammattittain.

Ammatti	Työvuoron alussa	Työvuoron jälkeen	Mittausten lkm
Levittimen kulj.			
-aritm. keskiarvo	0,21	0,36	N ₁ = 8
-geom. keskiarvo	0,16	0,22	N ₂ = 8
-vaihteluväli	0,03-0,38	0,03-1,16	N ₃ = 1
Perämies			
-aritm. keskiarvo	0,43	0,45	N ₁ = 8
-geom. keskiarvo	0,10	0,23	N ₂ = 8
-vaihteluväli	0,03-1,99	0,11-2,18	N ₃ = 1
Kola-/lapiomies			
-aritm. keskiarvo	0,14	0,18	N ₁ = 5
-geom. keskiarvo	0,08	0,15	N ₂ = 5
-vaihteluväli	0,03-0,37	0,04-0,30	N ₃ = 0
Lämmittimen kulj.			
-aritm. keskiarvo	0,29	0,51	N ₁ = 3
-geom. keskiarvo	0,25	0,50	N ₂ = 4
-vaihteluväli	0,13-0,53	0,33-0,69	N ₃ = 0
Liimakoneen kulj.			
-aritm. keskiarvo	0,17	0,20	N ₁ = 4
-geom. keskiarvo	0,12	0,17	N ₂ = 4
-vaihteluväli	0,03-0,26	0,09-0,32	N ₃ = 1
Liikenteenohjaaja			
-aritm. keskiarvo	0,03	0,05	N ₁ = 3
-geom. keskiarvo	0,03	0,05	N ₂ = 3
-vaihteluväli		0,03-0,09	N ₃ = 1
Altistumattomien viiteraja	0,27		

N₁ = työvuoron alussa, N₂ = työvuoron jälkeen, N₃ = tupakoivien työntekijöiden määrä

4.2.3 Työolosuhdekysely

Työolosuhdekyselyn tulokset ovat liitteessä 11. Edellisessä kyselyssä ei saatu eroja levitettäessä SMA/kalkkia ja SMA/lentotuhkaa /9/. Kyselyssä mukana olleista REMIX-massoista, SMAREM/kalkki/nestekaasu/IR, SMAREM/lentotuhka/nestekaasu/IR ja ABREM/polttoöljy/IR jälkimmäisen tekniikan kokivat työntekijät subjektiivisilta hengitysoireiltaan ärsyttävimmäksi (vrt. kuitenkin lämmitinrikon merkitys). Kuudesta työntekijästä kaikki olivat yksimielisiä siitä, että massa tahraa ihoa ja vaatteita, haju on epämiellyttävä ja että haju ärsyttää hengitysteitä ja silmiä. Iho-oireita koki neljä kuudesta työntekijästä samoin kuin päänsärkyä. Ainoastaan yksi ilmoitti, että ei ole kärsinyt päänsärystä ja yksi valitti pahoinvointia päänsäryn lisäksi. Väsymystä tunsi viisi kuudesta työntekijästä.

SMAREM/kalkki-massan ja SMAREM/lentotuhka-massan levityksissä vastauksissa oli enemmän hajontaa, joten olosuhdekyselyn perusteella näiden massojen välille ei saada olennaista eroa. Molemmissa ryhmissä oli yhteensä neljä työntekijää, joista kolme oli sitä mieltä, että massat tahraavat ihoa ja vaatteita ja yksi neljästä oli vastakkaista mieltä. SMAREM/kalkin levityksessä vain yksi oli sitä mieltä, että haju oli epämiellyttävä ja kaksi ilmoitti sen olevan tavanomaisen. Ärsytysoireista kaksi neljästä koki, että massa ärsyt-

tää hengitysteitä ja silmiä mutta ei ihoa. Yksi oli kokenut myös ihoärsytystä. Päänsärkyä ja väsymystä koki puolet ja toinen puoli ei. SMAREM/lentotuhkan levityksessä haju oli tavanomainen kolmen työntekijän mielestä. Ärsytysoireita hengitysteissä ja silmissä myönsi tunteneensa kolme neljästä ja yksi neljästä oli tuntenut ihoärsytystä. Päänsärkyä ja väsymystä tunsivat kolme neljästä ja pelkästään väsymystä yksi neljästä työntekijästä. Yksi sanoi, että SMAREM/lentotuhkan levitys ärsyttää vähemmän kuin pelkkä SMAREM/kalkin levitys.

5 YHTEENVETO

Työntekijöiden ilmoituksen mukaan ihon ja vaatteiden tahraavuus, ilman epäpuhtauksien ärsyttävyys ja muut vaikutukset eivät olleet merkittävästi erilaisia levitettäessä SMAREM/kalkki- ja SMAREM/lentotuhkamassoja. Sen sijaan ABREM:n levityksessä, jossa IR-kuumennin lämmitettiin kevyellä polttoöljyllä ja vanhan massan lämpötila oli korkea (300 - 360°C), kaikki työntekijät kokivat massat ihoa ja vaatteita tahraaviksi sekä ilman epäpuhtaudet ärsyttäviksi. Lisäksi valtaosalla työntekijöistä oli päänsärkyä.

Mittauksissa ei määritetty bitumin lämpöhajoamistuotteiden kuten aldehydien pitoisuuksia. Nämä hajoamistuotteet voivat olla ärsyttäviä. Rikkidioksidin pitoisuus oli korkea, 2 ppm, kaksinkertainen HTP-arvoon verrattuna ABREM:n levityksessä lämmittimen vieressä n. 1,5 m korkeudella. Häkäpitoisuus oli HTP-arvon tasolla, 25 - 30 ppm, mutta bitumihöyryt ja huuрут häiritsevät määrittystä ja siksi tulokset eivät ole luotettavia. Typenoksidien pitoisuudet olivat alhaisia, alle 20 % typpidioksidin HTP-arvosta.

Mitatuissa ilman epäpuhtauspitoisuuksissa ei ollut merkittävää eroa käytettäessä SMA-massoissa täyteaineena kalkkia tai lentotuhkaa. Käytettäessä REMIX-tekniikkaa ja SMA-massaa (kalkki, lentotuhka), täyteaineet eivät myöskään vaikuttaneet ilman epäpuhtauspitoisuuksiin.

Sen sijaan verrattaessa ilman epäpuhtauspitoisuuksia keskenään SMA- ja SMAREM-tekniikoissa, pitoisuuksilla oli eroja. SMA:ssa (kalkki, lentotuhka) kokonaispöly- ja bitumihuurupitoisuudet olivat noin kaksinkertaisia verrattuna vastaaviin REMIX-töihin. Ilman PAH-pitoisuudet olivat samansuuruisia molemmissa. ABREM-mittauksessa kokonaispöly- ja bitumihuurupitoisuudet olivat alhaisemmat kuin SMA-työmailla. Ilman PAH-pitoisuudet olivat korkeammat ABREM-mittauksissa, erityisesti 4-6-renkaisten PAH:n pitoisuudet. Viimeksi mainituista yhdisteistä osa on mahdollisesti karsinogeenisia.

SMAREM-töissä oli työntekijöiden virtsan 1-pyrenolipitoisuuden keskiarvopitoisuus kaksin-kolminkertainen altistumattomien viiterajaan (0,27 µmol/mol. kreatiniini) verrattuna.

Tarkasteltaessa tuloksia ammattitaitain levittäjän kuljettajat altistuivat eniten ilman epäpuhtauksille ja lämmittimen kuljettajat eniten 4-6 renkaisille PAH-yhdisteille. Lämmittimen kuljettajilla oli myös korkein 1-pyrenolipitoisuus työvuoron jälkeen sekä selvä nousu 1-pyrenolipitoisuuksissa työvuoron aikana.

Koneasemalta lähteneen SMA:n ja levityspäähän tulleen SMA:n korkein mitattu lämpötila kuormasta oli n. 210°C. SMAREM-tekniikassa lämmittimen jälkeinen tien pinnan korkein mitattu lämpötila oli 284°C. ABREM-kohteessa, jossa lämmitin rikkoontui, pinnasta mitattiin paikoin n. 366°C lämpötila.

6 JATKOSUOSITUKSET

Työskentelymittausten tulokset kesän 2000 osalta puoltavat tutkimuksissa edellisinä vuosina saatua käsitystä, jonka mukaan asfaltointitekniikasta riippumatta levittimen kuljettaja altistuu eniten hengitysilman epäpuhtauksille.

REMIK-tekniikassa, jossa ulkoisesti tarkastellen esiintyy työn aikana runsasta höyryn muodostusta, ei lämmittimen kuljettaja vaikuta altistuvan muita työntekijöitä enemmän kokonaispölylle ja bitumihuuruille. Lämmittimen kuljettaja vaikuttaisi kuitenkin altistuvan karsinogeenisille PAH-yhdisteille (4-6 -renkaiset yhdisteet), kun massan lämpötila on erityisen korkea.

Vaikka ulkoilman lämpötila olisi päällystämisen aikana jonkin verran viileämpi, eivät SMA-massan valmistuslämpötilat tästä huolimatta saisi olla liian korkeita. Korkeasta lämmöstä johtuva voimakas haihtuminen ja myös hapettuminen voi vaikuttaa epädullisesti bitumin kovettumiseen. Sama pätee REMIX-tekniikkaan, vaikka päällyste saavuttaisikin vain hetkellisesti lämmittimien käytön jälkeen erittäin korkeita pintalämpötiloja. Lämmittimen vaurioituessa korkea lämpötila mahdollistaa massan pintabitumin palamisilmion, jota myöskään ei saisi esiintyä REMIX-tekniikassa.

Tulosten perusteella esitetään seuraavia jatkosuosituksia:

- Levittimen kuljettajan työskentelytilan hengitysvyöhykkeelle olisi hyvä suunnitella hengitysilmaa puhdistavia ilmastointiparannuksia
- REMIX-lämmittimen kuljettajan työskentelytilan hengitysvyöhykkeelle olisi samoin ajankohtaista suunnitella lämmittimen huurujen kulkeutumisista suuntaavia ja ilmastointia parantavia lisävarustuksia
- Sekä SMA-massan valmistuksessa että REMIX-tekniikassa käytettävien lämpötilojen kontrollointia (vrt. toteutuneet ja seurannassa mitatut lämpötilatasot tässä tutkimuksessa) olisi massan laatusyiden kuten kovettumisvaikutuksen perusteella lisättävä
- Lämpötilojen alentaminen on myös erittäin tärkeä tekijä vähennettäessä työskentelyn terveystvaikutuksia

7 VIITTEET

1. Päällysteiden suunnittelu. TIEL 2140011. 1997, ss. 16-17
2. Heikkilä, P., Riala, R., Hämeilä, M., Pfäffli, P., *Bitumihuurut - käytetyt aineet ja altistuminen tienpäällystys- ja vedeneristystöissä..* 1994, Työterveyslaitos: Helsinki.
3. NIOSH, *Method 5506. Polynuclear aromatic hydrocarbons by HPLC.* 1998.
4. Pyy, L., Mäkelä, M., Hakala, E., Kakko, K., Lapinlampi, T., Lisko, A., Yrjänheikki, E. and Vähäkangas, K., *Ambient and biological monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons at a coking plant.* The Science of the Total Environment, 1997. 199: p. 151-158.
5. Jongeneelen, F.J., Anzion, R.P.M. and Henderson, P.Th., *Determination of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine.* Journal of Chromatogr Biomedical Applications, 1987. 413: p. 227-232.
6. Työministeriö, *HTP-arvot 2000.* 2000, Tampere: Työministeriö; Kemian Työsuojeluneuvottelukunta.
7. ACGIH, *2000 TLVs and BEIs; Thershold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents.* 2000: ACGIH.
8. Arbeidstilsynet, *Administrative normer for forurensnig i arbeidsatmosfaere 1996. Veiledning til arbeidsmiljøloven.* Vol. best.nr. 361. 1996, Oslo: Arbeidstilsynet.
9. Väänänen, V., et al., *Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä; työskentely- ja ympäristövaikutukset.* 2000. Tielaitoksen selvityksiä 23/2000, TIEL 3200611. Tielaitos: Helsinki. p. 34+liitteet.

8 LIITTEET

- Liite 1 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet 9.-10.5.2000 - SMA/kalkki-levitys
- Liite 2 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet 11.-12.5.2000 - SMA/lentotuhka-levitys
- Liite 3 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet 13.6.2000 - SMAREM/kalkki-levitys
- Liite 4 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet 20.6.2000 - AB16REM-levitys
- Liite 5 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet 29.6.2000 - SMAREM/lentotuhka-levitys
- Liite 6 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet, Työterveyslaitos, 9.-10.5.2000 - SMA/kalkki-levitys
- Liite 7 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet, Työterveyslaitos, 11.-12.5.2000 - SMA/lentotuhka-levitys
- Liite 8 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet, Työterveyslaitos, 13.6.2000 - SMAREM/kalkki-levitys
- Liite 9 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet, Työterveyslaitos, 20.6.2000 - AB16REM-levitys
- Liite 10 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet, Työterveyslaitos, 29.6.2000 - SMAREM/lentotuhka-levitys
- Liite 11 Työolosuhdekaavake ja työntekijöiden vastaukset. Työterveyslaitos.

PÄÄLLYSTYS- JA MITTAUSTIEDOT

Urakoitsija: Tielaitos

Mittauspäivä: 9.-10.5.2000

	Päällystystyömaa Kehä I, Konala, Porintien liittymästä länteen
Massa	Kalkkifilleri, split mastik SMA 12
Sideaine, laatu ja määrä	B-80/ Neste Bitumia 6,5 p-%
Täyteaine, mistä	Kalkkifilleri, 9,4 %, Virkkala
Lisäaineet	Kuitu, 0.3 %, Ylisvilla
Lämpötilat, levitys	195 °C (170 - 180 °C)
Työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	<ul style="list-style-type: none"> - yhteensä 9 - levityskoneen kuljettaja 1 kpl - kolamies 2 - jyränajaja 2 - liikenteenohjaaja 1 - perämies 1 - työnjohtaja 1 - liimakoneen kuljettaja 1
Aika	klo 21.00 - 02.30
Lastausten lkm mittausten aikana, levitetty määrä, päällystyksen pituus	<ul style="list-style-type: none"> - 24 kuormaa - 460 000 kg - 1844 m
Koneiden tyyppi	<ul style="list-style-type: none"> - levitin Vögele Super 1804 - jyrä Hamm HV90 (koppi) - jyrä Hamm DV 822 - liimakone Silent Pack hat 3
Lisätietoja työkohteesta	- viereisellä kaistalla koko ajan liikennettä.
Ympäristön kuvaus	Kehä 1, Porintien liittymästä länteen
Sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	<ul style="list-style-type: none"> - poutainen sää, - 18,1 °C (klo 20.45); 14,8°C (klo 22.25); 11,3°C(klo 00.12) - 34 % (klo 20.45); 41 % (klo 22.25); 55 % (klo 00.12) - heikko tuuli - edestä, viistosti vasemmalle
Muut huomiot	<ul style="list-style-type: none"> - puhdistukseen rypsiöljy, kaikilla työntekijöillä takit - klo 21.00 - vilkas liikenne - klo 22.00 - vilkas liikenne - klo 24.00 - liikennettä melko paljon

PÄÄLLYSTE- JA MITTAUSTIEDOT

Urakoitsija: Tielaitos

Mittauspäivä: 11.-12.5.2000

	Päällystystyömaa Kehä I, Tapiolan liittymästä itään
Massa	Lentotuhka split mastik SMA
Sideaine, laatu ja määrä	B-80/ Neste Bitumia 6,5 p-%
Täyteaine, mistä	Lentotuhka 9,4 %, Virkkala
Lisäaineet	Kuitu , 0,3 %; Ylisvilla
Lämpötilat, levitys	200 - 205 °C
Työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	- yhteensä 10 - levityskoneen kuljettaja 1 - kolamies 2 - jyränajaja 2 - liikenteenjärjestäjä 2 - perämies 1 - työnjohtaja 1 - liimakoneen kujettaja 1
Aika	klo 21.00 - 03.45
lastausten lkm mittausten aikana, levitetty määrä, päällystykseen pituus	- 26 kpl - 505850 kg - 1864 m,
koneiden tyyppi	- levitin Vögele Super 1804 - jyrä Hamm HV90 (koppi) - jyrä Hamm DV 822 - liimakone Silent Pack hat 3
Lisätietoja työkohteesta	Moottoritien toinen kaista , liikennettä viereisellä kais- talla
Ympäristön kuvaus	Kehä I -Tapiolasta itään
Sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	- aurinkoinen sää (klo 20.00) - 5,9°C (klo 21.00); 5,0°C (klo 23.20); 4,3°C (klo 01.20); 2,5°C(klo 04.00) - 37 % (klo 21.00); 33 % (klo 23.20); 28 % (klo 01.20); 30 % (klo 04.00) - kova vastatuuli (8 m/s) - levittimen edestä, työntekijöitä päin (klo 20.00)
muut huomiot	- klo 01.20 - tuulee edelleen kovaa - perämies: kitkerämpi haju, käy kurkkuun - massan tulo hidasta - puhdistukseen rypsiöljy, takit ja hanskat kaikilla

PÄÄLLYSTE- JA MITTAUSTIEDOT

Urakoitsija: Elg Oy

Mittauspäivä: 13.6.2000

	Päällystystyömaa Hämeenlinnan moottoritie, Hyvinkäältä etelään (Hämeen piirin raja)
Massa	Kalkkifilleri Remix (Infrapuna- nestekaasu)
Sideaine, laatu ja määrä	B-800 (säiliössä) Elg/Fortum, 0,2 kg/m ² B-80 5,9 % (uusi massa ,25-27%, 27 kg/m ² , uusi/vanha)
Täyteaine, mistä	Kalkkifilleri, 9 %, Nordkalk
Lisäaineet	Kuitu 0,3 %, Eki-12, Ylisvilla
Lämpötilat, levitys ja lämpötila kuumentimien jälkeen	150°C, 130°C perän jälkeen, pinta 115°C
Työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	- 10 - levityskoneen kuljettaja 1 - jyränajaja 3 - perämies 1 - työnjohtaja 1 - koneenhoitaja 1 - lämmityskoneen kuljettaja 3
Aika	klo 11.00 - 22.30
Levitetty määrä päällystyksen pituus	klo 18.00: 2200 m, 27 kg/m ² , 27 % päällysteen kokonaispituus 3380 m
Koneiden tyyppi	Elg Remixer 4200 Elg-lämmitin (infrapuna)
Ympäristön kuvaus	Hämeenlinnan moottoritie - vilkas liikenne
Sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	- 18 °C (klo 13.00); 19,5 °C (klo 15.15); 15,7 °C (klo 18.00) - 32 % (klo 13.00); 38 % (klo 15.15); 63 % (klo 18.00) - melko voimakasta - tuuli lounaasta vastainen
Muut huomiot	Lämmittimen no 2 kuljettajalla hanskat, muilla ei

PÄÄLLYSTE- JA MITTAUSTIEDOT

Urakoitsija: Savatie Oy

Mittauspäivä: 20.6.2000

	Päällystystyömaa Utajärvi, Oulusta n. 30 km Kajaniin päin
Massa	AB16, kuuma Remix-mittaus,(polttoöljy/infrapuna)
Sideaine, laatu ja määrä	B-800, lisäys 150 g/m ² (elvytin) Uusiomassaa 13-14 kg/m ²
Täyteaine	Kalkkifilleri
Lisäaineet	Sellukuitu
Lämpötilat, massan pinta- lämpötila kuumentimien ja levittimen jälkeen	Korkea, jopa 360 °C (yksi lämmitin/rengasrikkko). Levittimen jälkeen 120-130 °C.
Uuden ja recycling massan suhde, %	B-800, lisäys 150 g/m ² Uusiomassaa 13-14 kg/m ²
Työntekijöiden lkm ja am- mattinimikkeet	- 9 - levityskoneen kuljettaja 1 - lämmityskoneen ohjaaja 3 - liikenteenohjaaja 2 - perämies 1 - tuuttimies 1 - jyrsinmies 1
Aika	- klo 9.00-16.00
Koneiden tyyppi, lkm	- Road Preheater, 3 - Roadmix II (infrapunasäteilijä, kevyt polttoöljy; tasauslevy; tamppari; sekoitin Kalottikone KM-2000R; jyrsin Kalottikone KJ-4000)
Päällystyksen pituus ja leveys	4000 m ja leveys 3,75 m
Lisätietoja työkohteesta	Massa tuotiin Oulun toiselta reunalta ja se oli jäähtynyt n. 130 °C:ksi tuotaessa levittimelle.
Sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	- aurinkoisesta puolipilviseen - 12 °C (klo 9.00); 20 °C (klo 14.45) - 90 % (klo 9.00); 35 % (klo 14.45) - 2-6 m/s - pääosin tien poikki (sivuvastainen) päällystettävän kaistan puolelta
muut huomiot	- tuutti- ja perämiehellä oli kuulosuojaimet - Lämmittimen 2. rengas hajosi klo 13.30, korjaukseen

PÄÄLLYSTE- JA MITTAUSTIEDOT

Urakoitsija: Elg Oy

Mittauspäivä: 29.6.2000

	Päällystystyömaa Tarvontie - Kehä I (Munkkiniemi)
Massa	Lentotuhka Remix (Infrapuna- nestekaasu)
Sideaine, laatu ja määrä	B-800 (elvytin) Elg/Fortum, 0,2 kg/m ² B-80 6,0-6,1 %
Täyteaine	Lentotuhka
Lisäaineet	
Uuden ja recycling-massan suhde	20 % uutta/ 80 % vanhaa
Lämpötilat, levitys ja lämpötila kuumentimien jälkeen	
Työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	- kokonaismiehistö 10 - levityskoneen kuljettaja 1 - jyränajaja 3 - perämies 1 - työnjohtaja 1 - koneenhoitaja 1 - lämmityskoneen kuljettaja 3
Aika	- klo 11.00 - 21.30
Levitetty määrä päällystyksen pituus	- 240 000 kg - päällysteen kokonaispituus 3 000 m, leveys 4 m - uusiomassan paksuus 50 mm
Koneiden tyyppi	Elg Remixer 4200 Elg-lämmitin (infrapuna)
Ympäristön kuvaus	Aloitus sillan alta, moottoritien kaista, liikennettä vieressä paljon
Sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	- 21 °C (klo 11.00); 28 °C (klo 16.30) - 79 % (klo 11.00); 43 % (klo 16.30) - kohtalainen tuuli (3-4 m/s) - koillisen ja kaakon välinen (tuuli takaa katsottuna oikealle)
Muut huomiot	- klo 21.30 alkoi sataa

Mittauskohteet: Projekti 305 457; kohde kevät / kesä 2000

KALKKI-SMA (uusinta)

Kohde: Kehä I - Porintien risteyksestä länteen, 9.-10.5.2000

Tienpäälystys: kiinteän pisteen näytteet

Kohde	Amesin testi	Hengittyvä pöly
Levittimen päältä	Teflon, 1 µm, 10 l/min Keräys ei onnistunut, pumppu pysähtyi	2 x IOM-keräin, teflon 1 µm, 2.0 l/min rinnan Milliporeen kanssa. Keräys ei onnistunut, pumppu pysähtyi!!

Tienpäälystys: hengitysvyöhykkeeltä kerätyt näytteet

Kohde	Kok.pöly + bitumihiuru+ bitumihöyryt	PAH:t	Virtsa	Iho
LEVITTIMEN KULJETTAJA	2 x (Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), kaide	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Perämies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Kolamies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Liimakoneen-kuljettaja	* Ei kerätty	Teflon 2 µm + orbo43-putki), 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Liikenteenohjaaja	* Ei kerätty	Teflon 2 µm + orbo-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot

Teflon 1 µm 225-1705

Teflon 2 µm 225-17-07

Mitatut suureet/ Projekti 305 457; kohde kevät / kesä 2000

LT-SMA uusinta

Kohde: Kehä I - Tapiolan liittymästä itään, 11.-12.5.2000

Tienpäällystys: kiinteän pisteen näytteet

Kohde	Amesin testi	Taustaliikenne PAH
Levittimen päältä	Teflon 1 µm, 10 l/min (akut vaihdettu kaksi kertaa)	2 x Teflon 2 µm + orbo43, 1.0 l/min

Tienpäällystys: hengitysvyöhykkeeltä

Kohde	Kok.pöly + bitumihuuru+ bitumihöyryt	PAH:t	Virtsa	Iho
LEVITTIMEN KULJETTAJA	2 x (Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), kaide	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Perämies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot
Kolamies II	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	* Ei kerätty	Ranteisiin polypropyleenikalvot
Kolamies I	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki), 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropyleenikalvot

Huom!! Takit ja hanskat kaikilla

Teflon 1 µm 225-1705

Teflon 2 µm 225-17-07

Mitatut suureet/ Projekti 305 457; kohde kevät / kesä 2000
 KUUMA REMIX-MITTAUS (Infrapuna)
 Kohde: Nurmijärvi - Hämeen piirin raja; kalkki-sellukuitu, 13.6.2000
 Tienpäällystys: kiinteän pisteen näytteet

Kohde	Amesin testi	Amesin testi
Levittimen päältä	Teflon, 1 µm, 10 l/min	2 x Millipore keräin, Teflon 2 µm, 2 l/min

Tienpäällystys: hengitysvyöhykkeeltä

Kohde	Kok.pöly + bitumihuuru+ bitumihöyryt	PAH:t	Virtsa	Iho
LEVITTIMEN KULJETTAJA	2 x (Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), kaide	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Perämies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Kolamies levittimen takana	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	* Ei halunnut
Lämmittimen konemies, 3 kpl	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki), 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Kahdelle! Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Tausta		Teflon 2 µm + orbo-putki, 1 l/min, 200-500 l		

Teflon 1 µm 225-1705
Teflon 2 µm 225-17-07

Mitatut suureet/ Projekti 305 457; kohde kevät / kesä 2000
 KUUMA REMIX-MITTAUS; polttoöljyteknikka/ AB16
 Kohde: Utajärvi, 20.6.2000; kalkki-sellukuitu, Savatie Oy
 Tienpäällystys: kiinteän pisteen näytteet

Kohde	Amesin testi
Levittimen päältä	2 x Millipore-keräin teflon 2 µm, 2.0 l/min

Tienpäällystys: hengitysvyöhykkeeltä

Kohde	Kok.pöly + bitumihuuru+ bitumihöyryt	PAH:t
TUUTTIMITIES	2 x (Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), kaide	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv
Perämies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv
Jyrsinmies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv
Lämmitinkoneenkuljettaja, 3 kpl	3 x Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	3 x Teflon 2 µm + orbo43-putki), 1 l/min, 200-500 l, hv
Liikennetausta		Teflon 2 µm + orbo-putki, 1 l/min, 200-500 l, statiivi

Teflon 1 µm 225-1705
Teflon 2 µm 225-17-07

Mitatut suureet/ Projekti 305 457; kohde kevät / kesä 2000

KUUMA REMIX-MITTAUS (Infrapuna)

Kohde: Tarvontie - Kehä I (Munkkiniemi) 29.6.2000

Tienpäällystys: kiinteän pisteen näytteet

Kohde	Amesin testi	Amesin testi
Levittimen päältä	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), 2x tien puoli+2x ojan puoli	2 x Millipore keräin, Teflon 2 µm, 2 l/min

Tienpäällystys: hengitysvyöhykkeeltä

Kohde	Kok.pöly + bitumihiuruu+ bitumihöyryt	PAH:t	Virtsa	Iho
LEVITTIMEN KULJETTAJA	2 x (Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min), kaide	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Perämies	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Kolamies levittimen takana	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	* Ei halunnut
Lämmittimen konemies, 3 kpl	Teflon 1µm + XAD (226-30-06), 1,2 l/min, hv	Teflon 2 µm + orbo43-putki, 1 l/min, 200-500 l, hv	Ennen ja jälkeen työvuoron	Kahdelle! Auringonkukkaöljypyvyhintä ennen ja jälkeen työvuoron, ranteisiin polypropeenikalvot
Tausta		Teflon 2 µm + orbo-putki, 1 l/min, 200-500 l		

Teflon 1 µm 225-1705

Teflon 2 µm 225-17-07

KYSELY REMIX-TEKNIIKAN VAIKUTUKSISTA TIENPÄÄLLYSTYKSESSÄ

	SMAREM/KALKKI/ NESTEKAASU//IR (Hämeenlinnan moottoritie) n = 4		SMAREM/LENTOTUHKA/ NESTEKAASU//IR (Tarvontie) n = 4		AB16REM/ POLTTOÖLJY//IR (Utajärvi) n = 6	
	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Tahraa ihoa	3/4	1/4	3/4	1/4	6/6	
Tahraa vaatteita	3/4	1/4	3/4	1/4	6/6	
Hajut						
Tavanomainen	2/4	1/4	3/4	1/4		
Epämiellyttävä	1/4				6/6	
Muu (kuvaile)						
Oireet						
Ärsyttää hengitysteitä	2/4	2/4	3/4	1/4	6/6	
Ärsyttää silmiä	2/4	2/4	3/4	1/4	6/6	
Ärsyttää ihoa*	1/4	2/4	1/4	3/4	4/6	
Muut oireet						
Päänsärkyä	2/4	2/4	3/4		4/6	1/6
Väsymystä	2/4	2/4	1/4	3/4	5/6	
Muut havainnot	* Yksi jättänyt vastaamatta tähän kohtaan a) Yksi valitti, että kurkkua kuivaa ja nenä on tukkoinen		a) Yksi sanoi, että ärsyttää vähemmän kuin vastaava kalkki-remix		a) Yhdellä joskus päänsärkyä ja väsymystä b) Yksi valitti pahoinvointia päänsäryn lisäksi c) Yksi valitti erityisesti työn likaisuudesta	

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-758-4
TIEH 3200672