

Kevään Merkki – Tienpintojen kuivuminen nostaa katupölyn ilmaan ja otsikoihin

MIKA RÄISÄNEN, KAARLE KUPIAINEN,
HEIKKI TERVAHATTU JA AKSELI TORPPA

Tausta

Ilmassa leijuvat aerosolihiukkaset muodostavat yhden ilmansuojelun tärkeimmistä kansainvälisistä haasteista. Hiukkasten koostumus ja koko vaihtelevat suuresti. Eniten ilmakehässä on merivedestä peräisin olevia suolahiukkasia sekä maaperän mineraalihiukkasia, joista osa (mm. katupöly) on ihmistoiminnasta peräisin. Runsaasti hiukaspäästöjä tulee myös teollisuudesta sekä fossiilisten polttoaineiden ja biomassan poltosta. Tässä kirjoituksessa keskitytään pohjoisten ja vuoristoalueiden keväiseen ongelmaan eli katupölyyn, joka muodostuu pääasiassa asfaltin ja hiekoitushiekan kuluessa (Pakkanen *et al.* 2001, Kupiainen *et al.* 2002, kuva 1). Muita ei-poltto-peräisiä katupölyn komponentteja ovat renkaiden, jarrujen, katalysaattorien ja auton muiden osien korroosion hiukkaset. Suuri osa hiukkasista laskeutuu ja varastoituu talven aikana mm. lumen ja jään sekaan. Keväällä, lumen sulaessa varastoituneet hiukkaset vapautuvat ja kun tienpinnat kuivuvat ne nousevat autojen ja tuulen aiheuttamien ilmanvirtauksien mukana jälleen ilmaan (resuspensio). Kukkonen *et al.* (1999) mukaan Suomen kaupunkien vuosittaiset maksimikokonaispölypitoisuudet ovat usein korkeampia kuin vastaavat arvot Keski-, Itä- tai Etelä-Euroopan

kaupungeissa. Tämä johtuu Suomen teiltä nousevasta keväisestä katupölystä.

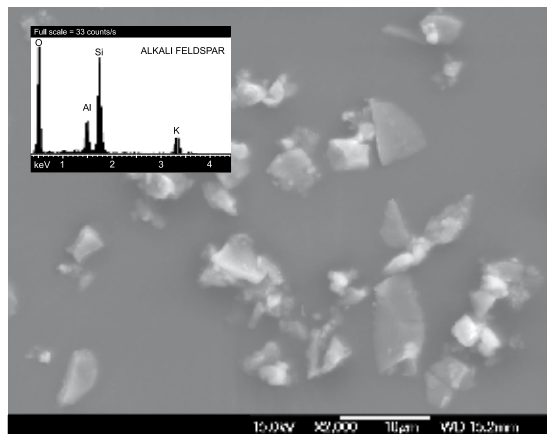
Valtioneuvoston asetus (711/2001) panee täytäntöön EY-direktiivin 1999/30, joka määrittää mm. raja-arvot ilman PM_{10} hiukkaspitoisuuksille (PM_{10} = particulate matter, ilmassa leijuvat hiukkaset, joiden ns. aerodynaaminen halkaisija on $<10 \mu m$). Vuorokausikeskiarvo $50 \mu g/m^3$ saadaan ylittää enintään 35 vuorokautena vuodessa. Raja-arvot on asetettu ihmisten terveyden suojelemiseksi. PM_{10} hiukkaset kulkeutuvat henkitorveen ja keuhkoputkiin ja $PM_{2.5}$ hiukkaset ($< 2.5 \mu m$) vastaavasti keuhkorakkuloihin asti.

EU:n jäsenvaltiot voivat saada luvan raja-arvojen ylityksiin määrätyillä alueilla. EY-direktiivissä 1999/30 sanotaan: ”Raja-arvojen ylittyessä tai ollessa vaarassa ylittyä on laadittava suunnitelmia ja ohjelmia ilmanlaadun parantamiseksi”. Mikäli ylitykset johtuvat teiden talvihiekoituksesta, suunnitelmia tai ohjelmia ei ole tarpeen tehdä. Kunnan on kuitenkin laadittava selvitys, josta ilmenee ylitysalueen laajuus, arvioitua tai mitattua hengittävien hiukkasten pitoisuudet sekä käytettävissä olevat tiedot hiukkaskokojakaumasta ja hiukkasten lähteistä (Aarnio ja Koskentalo 2001). Katupölyn lähteiden tunnistaminen edellyttää katupölyn hiukkasten tunnistamista ja alkuperän määrittämistä.



Kuva 1. Katupölyä Espoon Nihtisillassa. Onko kuvassa isoäitisi? Road dust in Nihtisilta, Espoo. Is your grandmother in the picture?

Tutkimusryhmämme on käyttänyt tähän yksittäishiukkasten (pölypartikkeleiden) analyysia pyyhkäiselektronimikroskoopilla, johon on kytketty energiadiispersiivinen röntgenmikroanalysaattori (kuva 2).



Kuva 2. Elektronimikroskooppikuva asfaltin ja hiekoitushiekan kulmikkaista mineraalihiukkasista ja mineraalin (kalimaasälpä) alkuainespektristä. Mittakaava 10 μm .

Scanning electron microscope image of angular mineral particles and an example spectrum of alkali feldspar. Scale bar 10 μm .

Olemme tehneet Katupölyprojektin puitteissa tutkimuksia pölyn muodostumisesta, koostumuksesta, reaktiokojakaumista sekä hiekoitus- ja asfalttipölyn muodostumisesta (esim. Tervahattu *et al.* 2005). Koeradon tutkimuksissa on pystytty kiinnittämään huomio pelkästään hiekoituksessa sekä renkaan ja tienpinnan vuorovaikutuksessa syntyviin suoriin hiukkaspäästöihin käyttäen eri rengastyyppejä. Tämän lisäksi olemme tehneet katupölytutkimuksia mm. pääkaupunkiseudulla ja Lappeenrannassa käytännön olosuhteissa. Tutkimuksemme ovat keskittyneet päällystetyille katuosuuksille, mutta samoja menetelmiä voidaan hyödyntää myös sorateiden pölyongelmien tutkimuksissa.

Hiukkaskoko ja terveysvaikutukset

Hiukkaset voidaan jakaa hienoihin ja karkeisiin. Hienot hiukkaset ovat alle 2.5 μm halkaisijaltaan GEOLOGI 58 (2006)

ja karkeat tätä suurempia. Pääsääntöisesti, mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä suurempi lukumäärä niitä on. Karkeat hiukkaset muodostuvat mekaanisesti esimerkiksi kiviaineksen kulutuksessa. Näkyvät hiukkaset (50–100 μm) muodostavat lähinnä esteettisen haitan, ja runsaina pitoisuuksina ne voivat vaarantaa liikenneturvallisuutta heikentämällä näkyvyyttä. Laboratorioissa tehdyissä simulaatiokokeissa on todettu myös, että asfaltin ja hiekoitushiekan kulutuksessa muodostuvasta PM_{10} pölystä noin 1–10 % on < 1 μm (Kupiainen *et al.* 2005). Tämä osoittaa osaltaan mineraalipölyjen tutkimisen tarpeellisuuden. Koska vakavimmat terveysvaikutukset aiheutuvat hienoista hiukkasista, tulevaisuudessa aletaan todennäköisesti valvoa myös niiden määrää ja koostumusta. Negatiiviset terveysvaikutukset korostuvat herkillä ihmisillä (lapset, vanhukset ja sairaat). Lasten tyypillisiä oireita ovat mm. nuha ja yskä. Sydän- ja verisuonitauteja sairastavilla hiukkaspitoisuuksien kohoaminen heikentää keuhkojen toimintakykyä ja lisää hengitystietulehduksia sekä lisää astmaohtauksien määriä astmaa sairastavilla. Nykyisin ei tiedetä vielä missä määrin negatiiviset terveysvaikutukset aiheutuvat hiukkaskoosta, muodosta tai kemiallisesta koostumuksesta.

Katupölyn muodostuminen

Tien pintojen kuivuminen nostaa keväisin katupölyn ilmaan sekä otsikoihin. Keväällä 2005 oli tavanomaistakin huonompi tilanne – ainakin pääkaupunkiseudulla – pitkään jatkuneiden aurinkoisten säiden ja pakkasöiden vuoksi. Pakkasilmat vaikeuttavat katujen puhdistusta, sillä katuja ei voida pestä teiden jäätyneisyyden vuoksi, mutta pakkas ei kuitenkaan selitä sitä, miksi pölyä muodostui tänä vuonna niin runsaasti, että EU:n raja-arvo PM_{10} hiukkaspitoisuuksille ylittyi selvästi.

Renkaiden suorat päästöt aiheutuvat pääasiassa niiden tien pintaa kuluttavasta vaikutuksesta. Päästöihin vaikuttavat renkaan ominaisuudet, esimerkiksi onko nastoja vai ei, nastojen lukumäärä, nastojen ominaisuudet sekä auton paino. Asfaltti (> 90 % kiviainesta) ja hiekoitushiekka kuluvat renkaiden alla ja tien pinnalle muodostuu hienorakeista mineraaliainesta. Kuivalla tien pinnalla hiekka lentää pääosin tien sivuun. Märällä tien pinnalla hiekka muodostaa veden kanssa lietteen,

joka jauhautuu ja hienonee edelleen renkaiden alla kuluttaen tehokkaasti asfalttia. Tämä pölyn muodostumistapa on nimetty *hiekkapaperi-ilmiöksi* (Kupiainen *et al.* 2002 ja 2003). Ilmiö havaitaan myös hiekoittamattomilla katuosuuksilla, joilla hioma-aines on peräisin pääosin asfaltista, mutta myös jalkakäytäviltä ajoradoille siirtyneestä hiekoitushiekasta sekä autojen alustoissa ja renkaissa kulkeutuneesta aineksesta. Katupöly koostuu kiviaineksen yleisimpien mineraalien (kvartsi, maasälvät, kiilteet ja amfibolit) kulumistuotteista.

Asfaltin kuluminen, suolaus ja nastarenkaat

Nastarenkaiden käyttöä pidetään merkittävänä pölyn lähteenä, ja ne kuluttavatkin teitä enemmän kuin kitkarenkaat. Ilman nastarenkaita tiet kuitenkin kiillottuisivat huomattavan liukkaiksi, jolloin suolausta ja hiekoitusta tulisi lisätä. Nastarenkaat lisäävät siten osaltaan koko liikenneturvallisuutta. Asfaltin kulutuskestävyyteen vaikuttavat etenkin kiviaineksen ominaisuudet (mekaaniset ominaisuudet, rakenne ja mineralogia, raekokojakauma sekä raemuoto) (esim. Saarela 1992). Nastojen kevenemisen, lukumäärän alentamisen rengasta kohden ja ulkoneman pienentymisen sekä asfalttipäällysteiden kehittymisen vuoksi päällysteiden urautuminen on laskenut yli 50 % 1980-luvun lopulta 2000-luvun alkuun. Mäkelä (2000) arvioi, että nastarenkaiden aiheuttama kuluminen on noin 47 000 tn/a, josta nousee pölynä ilmaan 5–20 % (2100–10 400 tn/a). Määrä on suuri, kun sitä verrataan Suomen kaikkien ilmoitusvelvollisten teollisuuslaitosten hiukkaspäästöihin (50 000 tn/a) (Suomen ympäristökeskus 1996).

Asfaltin kuluminen on märissä olosuhteissa moninkertainen verrattuna kuiviin olosuhteisiin (esim. Folkesson 1992), ja koska tieltä sulaa suojaavaa lumi- tai jääkerros, nastarenkaista johtuva asfaltin kulumisen moninkertaistuu määrällä kelillä. Täten tienpintojen märkyys todennäköisöisesti lisää pölynmuodostusta merkittävästi. Esimerkiksi talvikaudella 2004–2005 katupölyä lienee muodostunut pääkaupunkiseudulla paljon juuri siksi, että vaihtelevat säätilat ja tehokas liukkauden torjunta (suolaus) ovat pitäneet tien pinnat kosteina pitkiä aikoja.

Suolausta on lisätty viime vuosikymmenien aikana, jotta teiden turvallisuus säilyisi kasvaneesta liikenteestä huolimatta. Suolauksella on myös korvattu hiekoitusta talvikunnossapidon menetelmänä. Suolauksen vuoksi tienpinnat pysyvät märkinä pienillä pakkasilla, jolloin hiekoitustarve vähenee. Tämän seurauksena hiekoitushiekasta itsestään ja sen aiheuttamasta asfaltin kulumisesta vapautuu vähemmän pölyä suoraan ilmaan. Suolauspäätösten yhteydessä tulee tarkkaan harkita sen aiheuttamaa tienpintojen kostumista ja kulumisen voimistumista sekä siitä aiheutuvia pölypäästöjä. Tietyillä teillä (esim. kaupunkien sisäänajoväylillä), joilla suolaus on pääasiallinen liukkaudentorjuntakeino, tulisi suolan käyttöön liittää myös velvoite tehostetusta kevätpuhdistuksesta.

Hiekoitus

Hiekoitushiekka voidaan valmistaa murskeista tai luonnonsorista joko pesu- tai kuivaseulonnalla. Hiekoitushiekan särmät kuluvat ja rakeet murskautuvat renkaiden ja nastojen alla, mistä aiheutuu hiekkapartikkeleiden pieneminen lopulta aina hengitettäviin hiukkasiin asti. Räisänen *et al.* (2003) mukaan hiekoitushiekkalla tulee olla hyvä iskunkestävyys, joka edesauttaa rakeiden koossapysymistä ja ehkäisee suuripinta-alaisten partikkeleiden muodostumista. Mitä enemmän partikkeleita on, sitä enemmän on sekä kuluvia että kuluttavia pintoja. Kun hiekoitushiekkana käytetään kvartsirikkaita kiviä, tulisi kiven iskunkestävyyteen kiinnittää erityistä huomiota, jotta kvartsipölyn osuus ilmassa ei lisääntyisi. Jos hiekoitushiekka on iskunkestävyydeltään heikkoa ja koostuu lisäksi pääasiassa kovista mineraaleista, muodostaa se hienontuessaan tehokkaan kuluttavan aineksen tien pinnalle (Räisänen 2004).

Helsingissä levitetään hiekoitushiekkaa kaduille 40 000–50 000 tn/a. Hiekoitushiekan levitysmäärään tulee kiinnittää huomiota, koska asfaltin kulumisesta ja hiekoitushiekasta peräisin olevan pölyn määrä lisääntyy hiekoitusmäärän kasvaessa (Kupiainen *et al.* 2002). Mustonen ja Valtonen (2000) esittivät laboratoriotutkimusten perusteella, että mikäli hiekoitushiekasta vesiseulotaan 0–1 mm fraktio pois, voidaan alentaa kokonaispölyn määrää 15–25 %. Räisänen *et al.* (2003 ja 2005) mukaan vilkkaasti liikennöidyillä teillä tulisi käyt-

GEOLOGI 58 (2006)

tää 2 mm seulalla vesiseulottua hiekoitushiekkaa, koska 1–2 mm hiekkafraktio lisää selvästi sekä asfaltista että hiekoitushiekasta peräisin olevan pölyn määrää. Hiekoitushiekan raekokojakauma, mekaaniset ominaisuudet ja mineralogia vaikuttavat siihen, miten hiekoitushiekka kuluu itse ja kuluttaa asfalttia. Pölyongelman vähentäminen edellyttää myös uusien hiekoitushiekan standardisointien tutkimusmenetelmien kehittämistä.

Katujen puhdistettavuus

Asfaltin pinnan karheus ja kunto vaikuttavat kadun puhdistettavuuden tehokkuuteen (kuva 3), koska katupöly varastoituu pinnan epätasaisuuksiin, mistä se on hankalasti poistettavissa. Nykyisillä menetelmillä ei saada riittävän tehokkaasti hienojakoista pölyä poistettua vaan puhdistuksen jälkeen pinnoille jää vielä märkä liete, joka nousee pölynä ilmaan kadunpintojen kuivuttua. SMA-päällyste on kulutuskestävämpi, kuin hiljainen asfaltti tai AB-asfaltti, mutta SMA-asfaltti karkeine pintoineen vaikeuttaa sen puhdistamista. Täten pölyn kannalta ei ole yksiselitteistä, mikä päällystetyyppi soveltuu parhaiten kaupunkiolosuhteisiin.

Johtopäätökset, pölyhaittojen vähentäminen ja kestävä kehitys

Katupölyn muodostumisen kannalta ei ole arvioitu, mikä on paras strategia teiden talvikunnossapidossa, vaan arviot ovat pohjautuneet lähinnä liikenneturvallisuuteen ja suoriin yhteiskunnallisiin kustannuksiin nastarenkaiden käytön, suolauksen ja hiekoituksen osalta (esim. Alppivuori *et al.* 1995).

Tavikunnossapito ja kestävä kehitys

Kestävän kehityksen periaatteiden avulla pyritään luomaan nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elinolosuhteet. Kestävä kehitys jakautuu taloudelliseen, sosiaaliseen ja ekologiseen osioon; kysymyksessä on siis erittäin laaja-alainen kehitysalue. Katupölyn osalta kestävään kehitykseen liittyy mm. seuraavia tekijöitä: 1. Uusiutumattomien kiviainesvarantojen säästeliäs ja laatuohjattu käyttö, 2. Ilmanlaadun ja asumisviihtyvyyden parantaminen, 3. Jätteen määrän vähentäminen, maan kaatopaikkojen täyttymisen ehkäisy sekä kiviainesten kierrätyksen tehostaminen, 4. Kokonaistaloudellisuuden ja monitavoiteoptimoinnin kehittäminen ja 5. Parhaiden



Kuva 3. Hiljaisen asfaltin (vasemmalla) ja SMA16 asfaltin pinnan rakenne. Mitakaava 45 mm.
Surface textures of low-noise (on the left) and SMA 16 asphalt pavements. Scale 45 mm.

käytettävissä olevien tekniikoiden hyödyntäminen sekä niiden jatkuva kehittäminen.

Viime vuosina kaupunkien katujen talvikunnossapidon määrärahoja on yleensä supistettu, mikä vuoksi katupölyä on vaikeampi vähentää ja tienpitoa suunnitella kokonaisvaltaisesti. Määrärahoja lisäämällä olisi mahdollista parantaa kaupunkien ilman laatua sekä lisätä kaupunkien viihtyisyyttä ja vaalia kestävä kehitystä. Tämä vähentäisi sairastumisia etenkin herkillä ihmisryhmillä. Jos katujen ja teiden talvikunnossapidon määrärahoja lisättäisiin, saataisiin kustannukset tutkimusten mukaan moninkertaisesti takaisin jo pelkästään vähentyvinä terveydenhuollon kustannuksina (Teronen *et al.* 2001). Viime vuosien aikana tehdyt tutkimukset ja toimenpiteet katupölyn vähentämiseksi eivät ole parantaneet tilannetta riittävästi.

Kiviainesten laatu ja talvikunnossapito

Paikalliseen ilmanlaatuun voidaan vaikuttaa etenkin tehostamalla ja kehittämällä teiden ja kaupunkien katujen talvikunnossapitoa, kuten katupölyn likaamien lumivallien poiskuljetusta, puhdistamalla teitä myös talven suojakeleillä sekä ottamalla puhdistuskohteiksi esimerkiksi kaupunkien sisäänajoyäylät. Lisäksi kevätpuhdistuksen yksi

kiireellisimmistä kohteista olisi bussipysäkkien kaualueiden puhdistus, jonka tehokkaalla toteuttamisella voitaisiin parantaa huomattavasti linja-autojen sisäilman laatua. Tämä toiminta on säädetty myös ympäristönsuojelulaissa, jonka pykälissä 3 ja 4 todetaan, että ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi on käytettävä tehokkaita puhdistusmenetelmiä ja kiinnitettävä huomiota raaka-ainevalintoihin ja lisäksi toiminnan on oltava tehokasta ja hyvin suunniteltua. Kuntien tämänhetkinen resurssipula estää kuitenkin katujen tehokkaan puhdistamisen eikä hiekoitusmateriaalien raaka-ainevalintoihin ja tutkimukseen ole panostettu riittävästi, koska niiden tärkeyttä ei ole vielä yleisesti tiedostettu. Tiedon lisääntyessä kuntien materiaalivalinnoissa tulevat painottumaan myös muut kriteerit kuin hinta. Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa syntyvän pölyn määrään ja koostumukseen.

Kaupunkisuunnittelu

Kaupunkisuunnittelussa ja ohjeistuksessa tulisi huomioida eräitä keskeisiä asioita, jotta jyrkimät pölyn vähennyskeinot kuten yksityisautoilun rajoitukset kyettäisiin välttämään. Seuraavassa on annettu esimerkkejä keinoista vaikuttaa pölypitoisuuksiin tai sen haitallisuuteen. Julkista liikennettä tulisi suosia ja kehittää voimakkaasti



Kuva 4. Liikkuvat laboratoriot, a) Helsingin ammattikorkeakoulun Stadian autolaboratorio (Nuuski-ja), joka soveltuu katupölytutkimuksiin ja b) TKK:n autolaboratorio, joka soveltuu melututkimuksiin (Kuva: Panu Sainio).

Transportable on-line laboratories, a) Stadia Helsinki Polytechnic car laboratory (sniffer) that can be used in road dust studies and b) Helsinki University of Technology car laboratory that can be used road noise measurements (Picture: Panu Sainio).

ja herkimpien ihmisten päivittäisten oleskelu- ja asuinalueiden, kuten sairaaloiden, koulujen ja asuintalojen sijoittamisessa tulisi huomioida ilmanlaadulliset seikat. Raskaan liikenteen aiheuttamat ilmapirrut nostavat pölyä runsaasti ilmaan, joten on tärkeää, että raskaan liikenteen nopeudet rajoitettaisiin riittävän alas kriittisillä alueilla ja että raskas liikenne ohjattaisiin katupölyn kannalta kriittisimmältä alueilta vaihtoehtoisille reiteille ja tietyille ajokaistoille.

Jatkotutkimukset: VIEME-projekti

VIEME (VIERintäMElun vähentäminen) on juuri käynnistynyt (Tervahattu *et al.* 2006), ja projektin tavoitteena on tutkia tiepäälysteiden ja renkaiden vuorovaikutuksessa syntyvää melua ja sen leviämistä. Tavoitteena on myös alentaa melutasoja ja melulle altistumista ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja/tai liikenneturvallisuus heikkenisi. Projektissa tutkitaan siten melun ja pölyn muodostumista ja leviämistä samanaikaisesti ja samoissa kohteissa mm. autolaboratorioiden avulla (kuva 4). VIEME:ssä tuotetaan uutta tietoa melu-pöly ongelmien keskinäisyydestä ja niiden muodostamasta kokonaisuudesta. Projektissa mitataan eri vuodenaikoina melun ja pölyn syntyä ja leviämistä sekä niihin vaikuttavia tekijöitä erilaiset meluominaisuudet omaavilla päälysteillä ja rengastyypeillä katuolosuhteissa ja koeradalla. Tutkimusten perusteella laaditaan suositukset eri tarkoituksiin soveltuvista päälyste- ja rengastyypeistä sekä tuotekehittelyn tarpeista.

Projektin johdosta ja koordinaatiosta vastaa Nordic Envicon Oy (NE) yhdessä koordinaatioryhmän kanssa (NE, TKK Auto- ja työkonetekniikan laboratorio, Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus, Akukon Oy ja YTV). Projektin ohjausryhmässä ovat edustettuina tutkimuksen rahoittajia ja muita yhteistyötahoja.

Summary: Sign of Spring –Road dust rises into air and headlines as roads dry out

In northern latitudes, urban road dust lowers the quality of air. Dust is formed when cars use studded

tyres and when anti-skid aggregate is used on roads to obtain more traction on the icy road surfaces. After formation, dust is deposited on all surfaces. During late winter, especially when the surfaces of roads dry out, the dust rises into the air. In order to minimize the negative health effects of airborne particles, European limiting values for PM₁₀ concentrations in the air have been determined (European Council Directive 1999/30/EC).

We are studying the formation process of mineral dust both in laboratory and in practice. In the laboratory, we spread anti-skid aggregates on the asphalt pavement of a road simulator. The asphalt pavement was made up of homogeneous rock aggregates that were mainly composed of different minerals compared with anti-skid aggregates. Dust was collected from the ambient air. The particle size distribution and the proportions of dust from the pavement and the anti-skid aggregate were analysed with a scanning electron microscope coupled with an energy dispersive X-ray microanalyser by single particle analysis. In practice we have analysed dust samples with on-line and stationary measuring units.

According to our studies, proper aggregate selection, intensified winter maintenance and street cleaning, and city planning can assist to decrease the total amount of urban dust and concentration of potentially harmful minerals. The 0/2 mm fraction should be wet-screened from anti-skid aggregates that are used in densely populated areas. The successive particle breakage into smaller particles with more wearing surface can be minimized by using anti-skid aggregates with good resistance to fragmentation. Furthermore, an important factor in dust formation is the wetness of road surfaces. The use of salt for winter maintenance causes wet conditions, and a wet asphalt pavement is worn substantially faster than a dry one (Folkeson 1992). A mixture of water and asphalt-originated mineral particles acts as grinding material and enhances the wearing process of the asphalt pavements and the formation of dust. If salt is used as the main anti-skid method close to densely populated areas (for example, on the motorways of Helsinki and Espoo), intensive spring-cleaning of these roads is required to lower the amount of urban dust. The cleaning costs should be recognized as unavoidable expenses related to the using of salt.

Our results bring new information on the formation process of dust particles, and can assist to determine cost-effective means to decrease urban road dust concentrations in the air and the negative health effects, and discomfort factors caused by urban road dust.

Kirjallisuus – References

- Aarnio, P. ja Koskentalo, T. 2001. YTV:n selonteko: Ilmanlaatu koskevien direktiivien vaikutukset pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja 2001:3.
- Alppivuori, K., Kanner, H., Mäkelä, K. ja Kallberg, V.-P. 1995. Nastarenkaiden käytön ja kunnossapidon yhteiskunnallinen optimointi. Tielaitoksen tutkimuksia 4/1995, TIEL 3100019.
- Folkeson, L. 1992. Miljö- och hälsoeffekter av dubbdäcksanvändning. Litteraturöversikt. [Yhteenveto englanniksi, Environmental and health effect of studded tyres. A literature review]. VTI meddelande 694, Swedish National Road and Transport Research Institute, Lindköping, 36 s.
- Kukkonen, J., Salmi, T., Saari, H., Kontinen M. ja Karsasenpää, R. 1999. Review of Urban Air Quality in Finland. Boreal Environmental Research 4:55–65.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H. ja Räisänen, M. 2002. Katupölyn tutkimusprojekti, Katupölyn muodostuminen ja koostumus koeolosuhteissa. Mobile2-vuosiraportti, 163–178.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H. ja Räisänen, M. 2003. Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. The Science of the Total Environment 308:175–184.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M., Mäkelä, T., Aurela, M. ja Hillamo, R. 2005. Size and composition of airborne particles from pavement wear, tires, and traction sandning. Environmental Science & Technology 39(3):699–706.
- Mustonen, J. ja Valtonen, J. 2000. Katujen kunnossapitotyöntekijöiden pölyaltistuksen vähentäminen katujen pölynpoistossa. Helsinki University of Technology, Internal report, Otaniemi, 25 s.
- Mäkelä, K. 2000. Kirjallisuusselvitys nastarenkaiden irrottaman asfalttipölyn määrästä. VTT Yhdyskuntateknikka Tutkimusraportti 538/2000. VTT, Espoo.
- Pakkanen, T.A., Loukkola, K., Korhonen, C.H., Aurela, M., Mäkelä, T., Hillamo, R.E., Aarnio, P., Koskentalo, T., Kousa, A., ja Maenhaut, W. 2001. Sources and Chemical Composition of Atmospheric Fine and Coarse Particles in the Helsinki Area. Atmospheric Environment 35:5381–5391.
- Räisänen, M. 2004. From outcrops to dust - mapping, testing, and quality assessment of aggregates. Academic dissertation. Publications of the department of geology D 1, 80 s.
- Räisänen, M., Kupiainen, K. ja Tervahattu, H. 2003. The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62(4):359–368.
- Räisänen, M., Kupiainen, K. ja Tervahattu, H. 2005. The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust, stages II and III. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 64:247–256.
- Saarela, A. 1992. The ASTO programme. Teoksessa: Aggregate 1992 and the Finnish symposium on rock mechanics 1992. Papers of the Finnish Society of Engineering Geology, Vol. 20, Espoo, 7 s.
- Suomen ympäristökeskus 1996. Ympäristökatsaus 3/1996, Helsinki.
- Tervahattu, H., Kupiainen, K. ja Räisänen, M. 2005. Tutkimuksia katupölyn koostumuksesta ja lähteistä. YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2005:12, 56 s.
- Tervahattu, H., Kupiainen, K., Sainio, P., Räisänen, M., Lahti, T., Pirjola, L. ja Karppinen, A. 2006. Vierintämelun vähentäminen VIEME-tutkimus- ja kehittämisprojektin esiselvitys. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2006, 68 s.
- Tervonen, J., Hämekoski, K., Myllynen, M., Pihlaja, M. ja Penttinen P. 2001. Liukkaus, hiekoitus ja katupöly – Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 30, 48 s., 9 liitettä.

Mika Räisänen

Geologian Tutkimuskeskus
PL 96, 02151 Espoo

Kaarle Kupiainen ja Heikki Tervahattu

Nordic Envicon Oy
Koetilantie 3, 00710 Helsinki

Akseli Torppa

Helsingin yliopisto
Geologian laitos, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
GEOLOGI 58 (2006)