



Kaisa Kotisalo
Mikkelin kaupungin ympäristöpalvelut

ILMANLAADUN BIOINDIKAATIOSELVITYS MIKKELIN SEUDULLA VUONNA 2003



ISBN 952-9861-70-2

ISSN 1459-1790

Tilaukset:

Mikkelin kaupunki, ympäristöpalvelut
Jääkärintie 14
50100 Mikkelä
Puh. 015 – 1944 700
email: kaija.ringbom@mikkeli.fi

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	4
2. ILMAN LAATU	4
2.1 Ilman epäpuhtaudet.....	4
2.1.1 Rikki.....	5
2.1.2 Typen yhdisteet.....	6
2.2 Happamoituminen.....	7
3. ILMANLAADUN SEURANTA.....	8
4. BIOINDIKAATIOTUTKIMUKSET	8
4.1 Neulasten kemiallinen analyysi	9
4.1.1 Neulasten rikkipitoisuus.....	9
4.1.2 Neulasten typpipitoisuus	10
4.2 Havupuiden latvusten kunto	10
4.3 Jäkäläkartoitukset	10
4.4 Sammalten, kaarnan ja maaperän kemiallinen analyysi	11
4.5 Muut menetelmät	11
5. MUIDEN ALUEIDEN TUTKIMUKSIA SUOMESSA.....	11
6. TUTKIMUSALUE.....	12
6.1 Päästölähteet	13
6.2 Aikaisemmat tutkimukset	15
7. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	17
7.1 Näytteenotto.....	17
7.2 Näytteiden analysointi	18
8. TULOKSET	18
8.1 Neulasten rikkipitoisuus	19
8.2 Neulasten typpipitoisuus.....	21
8.3 Neulasten vauriot	22
9. TULOSTEN ARVIOINTI.....	23
10. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
11. LÄHTEET	26

1. Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää bioindikaattoritutkimuksen avulla ilmanlaadun tilan kehitystä Mikkelin seudulla. Työn teettäjänä toimii Mikkelin kaupungin ympäristöpalvelut, joka toimii Mikkelin kaupungin ympäristölautakunnan alaisuudessa. Ympäristöpalvelut vastaa kuntatason ympäristönsuojelun ja ympäristöterveydenhuollon tehtävistä Mikkeliissä, Hirvensalmella ja Ristiinassa.

Ympäristönsuojelulain (4.2.2000/86) 25 § mukaan kunnan on alueellaan huolehdittava paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ympäristön tilan seurannasta. Seurantatiedot on julkistettava ja niistä on tiedotettava tarvittavassa laajuudessa. Ilmanlaadun seuranta voidaan tehdä mittaamalla pitoisuuksia suoraan ilmasta ja arvioimalla saasteiden vaikutuksia kasvillisuuteen bioindikaattorimenetelmien avulla.

Ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksia on tehty Mikkelin seudulla (Anttola, Hirvensalmi, Mikkeli, Mikkelin maalaiskunta ja Ristiina) ensimmäisen kerran vuonna 1987 ja edellisen kerran ennen tätä tutkimusta vuonna 1993. Tämän jälkeen Mikkelin seudulle on laadittu oma kestävä kehityksen toimintaohjelma, Mikkelin seutu 21. Mikkelin kaupungin ympäristöpalveluiden tehtävänä on vuosittain seurata Mikkelin seutu 21 –ohjelman etenemistä /1, s. 47/. Kestävä kehityksen edistymisen seuraamiseksi on laadittu mittareita, joista osa on käytössä vuosittain, osa neljän vuoden välein ja osa kymmenen vuoden välein /2/. Yhteensä mittareita on 58 kappaletta ja yhtenä näistä on joka kymmenes vuosi seurattava männyn neulasten rikkipitoisuus /3/. Vuoden 1993 bioindikaattoritutkimuksessa männyn neulasten rikkipitoisuuden selvittämisen lisäksi tehtiin myös kaarnajakäläkartoitus /4/.

Rikkipitoisuuden seurannan lisäksi tässä tutkimuksessa selvitetään alueen mäntyjen neulasten typpipitoisuutta. Rikkipitoisuuden seuranta on yleisesti käytössä oleva menetelmä ja se suoritetaan standardoidulla menetelmällä. Typen osalta standardoitua menetelmää ei kuitenkaan ole.

2. Ilman laatu

Ilman laatuun vaikuttavat sekä luonnolliset että ihmisen toiminnasta johtuvat tekijät. Ilman laadulle on asetettu ohjearvoja ja raja-arvoja. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi on asetettu tunti-, vuorokausi- ja kalenterivuosiskekiarvoja tietyille aineille. Rikkidioksidin ja typen oksidien osalta raja-arvoja on annettu terveyshaittojen ehkäisemisen lisäksi kasvillisuuden ja ekosysteemin suojelemiseksi. /5, s. 2188-2189./ Ilmansaasteet aiheuttavat haittoja niin maailmanlaajuisesti, alueellisesti kuin paikallisestikin. Maailmanlaajuinen ongelma on kasvihuoneilmaston voimistuminen ja alueellisena haittana ovat maaperän ja vesistön happamoituminen sekä alailmakehän otsonipitoisuuden kohoaminen. Paikallisia ilmansaasteiden aiheuttamia ongelmia ovat haitat terveydelle, luonnolle, viihtyisyydelle ja materiaalille. /6./

Ilman laadun on yleensä todettu olevan huonompaa talvella ja keväällä kuin kesällä ja syksyllä. Tämä johtuu talviajan suuremmista päästöistä energiantuotannosta ja liikenteestä. Lisäksi ilma ei sekoitu maan pinnan läheisyydessä kovin hyvin. Keväisin ilman laatua huonontaa korkea pölypitoisuus. /7, osa 2 s. 5./

2.1 Ilman epäpuhtaudet

Ilmakehään päässeet kaasumaiset tai hiukkasmaiset epäpuhtaudet voivat ilmakehän virtausten vaikutuksesta levitä jopa toiselle puolelle maapalloa. Epäpuhtaudet voivat kulkeutua sellaisenaan, ne voivat laimentua suurempaan ilmassaan tai ne voivat muuntaa kemiallisesti toisiksi yhdisteiksi ja poistua ilmakehästä sateiden mukana. /8, s. 9-11/. Kaasumaiset epäpuhtaudet viipyvät ilmassa yleensä korkeintaan muutaman päivän. Ilmansaasteet voivat poistua ilmasta joko kuivalaskeumana, pidättymällä erilaisiin pintoihin, tai märkälaskeumana eli sateena. Myös kuiva- ja märkälaskeuman välimuodolla, happamalla sumulla, uskotaan olevan merkitystä. /9, s. 12./

Saastepäästöistä merkittävimpiä Suomessa ovat rikin ja typen oksidit sekä hiukkaset, hiilivedyt, häkä ja hiilidioksidi. Näitä yhdisteitä joutuu ilmaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä sekä teollisuuden prosesseista. Öljyn käyttö on vähentynyt viime vuosikymmeninä huomattavasti: 1970-luvun alussa yli 50 % energian kokonaiskulutuksesta saatiin öljystä /10, s. 12/, mutta vuonna 2001 osuus oli noin 27 % /11/. Keski-Eurooppaan verrattuna Suomen rikki- ja

typpilaskeumat ovat melko pieniä /10, s. 12-13/. Suurin osa Suomen omien päästöjen aiheuttamasta laskeumasta tulee Etelä-Suomen alueelle, jossa myös kaukokulkeutuva kuormitus on suurimmillaan /12, s. 148/.

2.1.1 Rikki

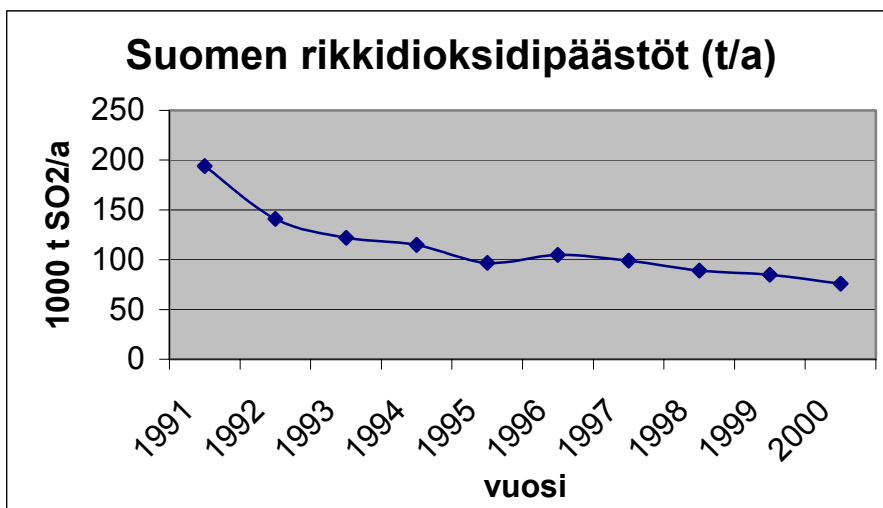
Rikkidioksidi muuttuu ilmassa osittain sulfaatiksi ja veden kanssa reagoidessaan rikkihapoksi. Muuttumisen vuoksi rikkidioksidin aiheuttama suora kaasuvaikutus kohdistuu lähinnä päästölähteiden lähistöille. /9, s. 12./

Vuonna 1995 Suomen rikkilaskeumasta vain 11 % oli peräisin Suomen omista päästölähteistämme /12, s. 21/. Rikkilaskeuma on suurimmillaan talvikuukausina /13/. Energiantuotannon osuus Suomen rikkipäästöistä oli vuonna 1996 noin 68 %. Teollisuuden rikkipäästöt olivat puolestaan noin 29 % Suomen kokonaispäästöistä, eikä ominaispäästöjen edelleen vähentämiseen ole juurikaan enää mahdollisuuksia. /12, s. 37-39, 149./ Liikenteen osuus Suomen rikkipäästöistä oli 2,5 % ja työkoneiden osuus 0,5 % /12, s. 146/.

Esimerkiksi liikenteestä rikkiä joutuu ilmaan, kun polttoaineessa epäpuhtautena oleva rikki reagoi palamistapahtumassa hapen kanssa. Rikin oksideja (SO , SO_2 , SO_3), joita palamisessa syntyy, ei ole käytännössä mahdollista poistaa pakokaasuista. /14./ Näin ollen liikenteen rikkipäästöjen vähentämisessä ainoaksi keinoksi jää polttoaineessa olevan rikin määrän vähentäminen. Koko EU:ssa siirrytäänkin rikittömään bensiiniin vuodesta 2005 lähtien /15/.

Kokonaisrikkidioksidipäästöistä liikenteestä on peräisin ainoastaan 2 %, mutta niiden merkitys on suuri, koska ne vapautuvat ilmaan lähellä ihmisten hengityskorkeutta. Liikenteen aiheuttamat rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet huomattavasti viime vuosina ja tähän on erityisesti vaikuttanut nykyisin käytettävän dieselöljyn vähärikkisyys. /14./ Suomen tieliikennepäästöt rikkidioksidin osalta olivat vuonna 2001 noin 220 tonnia. Liikenteen rikkipäästöistä tieliikenteen osuus onkin hyvin pieni, sillä suurin osa kyseisistä päästöistä on peräisin vesiliikenteestä. /16./ Vuoden 2002 vesiliikenteen rikkipäästöt olivat noin 19 000 tonnia /17/.

Kuten liikenteen, niin myös yleisesti ottaen rikin päästöt ilmaan ovat vähentyneet. Tämä nähdään kuvasta 1, jossa on kuvattu Suomen rikkidioksidipäästöt vuosina 1991-2000. Vuonna 1990 Suomen rikkidioksidipäästöt olivat yhteensä noin 260 000 tonnia ja vuonna 2000 ne olivat 76 000 tonnia /18/. Suomen talousalueella tapahtuvan ulkomaan laivaliikenteen rikkipäästöt olivat vuonna 1996 noin 18 000 t, mutta kansainvälisten periaatteiden mukaan niitä ei lueta valtion päästöihin /12, s. 147/. Ilmatieteen laitoksen Etelä-Suomen tausta-asemilla tyypilliset rikkidioksidipitoisuudet ovat alle $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun ne vielä 1970-luvulla vaihtelivat välillä $10\text{-}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /12, s. 22/. Tulosten vertailussa täytyy huomioida mittausmenetelmien vaihtuminen.



KUVA 1. Suomen rikkidioksidipäästöt vuosina 1991-2000 /18/

Kasvillisuudelle ilmansaasteet aiheuttavat erilaisia haitallisia vaikutuksia. Rikkiyhdisteet ovat yksi kasveille haitallisimmista ilmansaasteista ja niiden vaikutuksia on tutkittu paljon. Rikki voi vaikuttaa kasveihin joko suoraan ilmasta tai epäsuorasti lisäämällä maaperän happamuutta. Rikki ei ole ainoastaan haitallinen, sillä se on myös kasvien tarvitsema ravinne. /10, s. 20./ Rikkidioksidin aiheuttamia tyypillisiä vaurioita havupuissa on neulasten kärjestä alkava kellastuminen ja ruskettuminen /10, s. 88/.

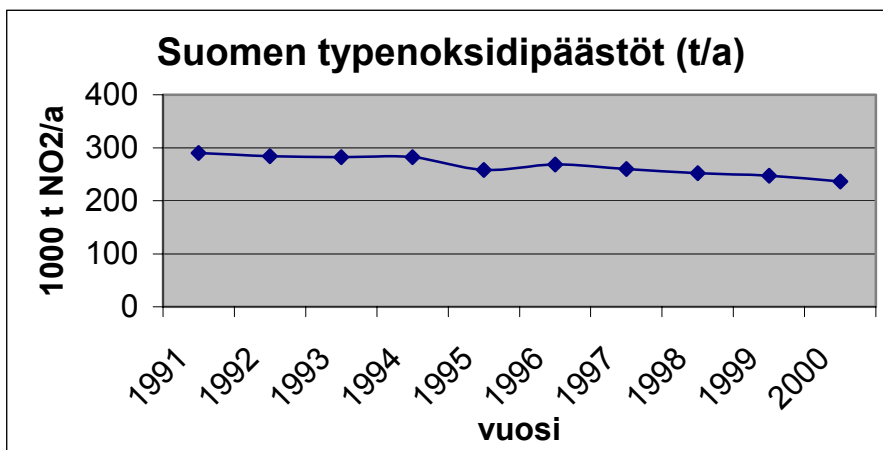
Happamoitumisen ehkäisemiseksi ja ilman laadun parantamiseksi on laadittu kansainvälisiä sopimuksia. Rikkipäästöjä koskevia kansainvälisiä sopimuksia on muun muassa 20 valtion vuonna 1987 allekirjoittama pöytäkirja, joka koski rikkipäästöjen tai niiden rajojen yli kulkeutumisen vähentämistä 30 prosentilla. Useat valtiot ovat kuitenkin päättäneet tiukemmista päästöjen vähennystoimista. Vuonna 1998 astui voimaan niin sanottu toinen rikkipöytäkirja, jossa pitkän

ajan tavoitteeksi asetettiin rikkipäästöjen vähentäminen siten, ettei rikkilaskeuma ylitä kriittisiä kuormituksia. /19./ Lähes kaikkialla Suomessa kriittinen kuormitus on alle 20 meq/m^2 , joka vastaa rikkilaskeumaksi laskettuna alle $0,32 \text{ g/m}^2$ /20/. Vuonna 2000 Mikkelin seudulla rikkilaskeuma oli $0,2 - 0,3 \text{ mg/m}^2$ /21/, joka on pienempi kuin kriittinen kuormitus. Suomen metsätalousalueilla pitkän ajan tavoitteena on, että rikkilaskeuman vuosiarvo ei rikkinä ylitä $0,3 \text{ g/m}^2$ /22, s. 1241/.

2.1.2 Typen yhdisteet

Typenoksideilla (NO_x) tarkoitetaan typpioksidia (NO) ja typpidioksidia (NO_2). Päästöt ovat pääasiassa typpioksidina, joka muuttuu lähinnä alailmakehän otsonin vaikutuksesta ihmisen terveydelle haitalliseksi typpidioksidiksi. Typpidioksidi pysyy ilmassa rikkidioksidia kauemmin. /9, s. 12./

Vuonna 1995 Suomen typenoksidilaskeumasta 15 % oli peräisin Suomen omista päästölähteistämme /12, s. 21/. Vuonna 1996 lähes puolet (48 %) typenoksidaista oli peräisin tieliikenteestä ja 3 % muusta liikenteestä. Kokonaispäästöistä 28 % oli peräisin energiantuotannosta ja 8 % oli teollisuuden typenoksidaista. Työkoneiden osuus typpipäästöistä oli 13 %. /12, s. 146./ Vuonna 1990 typenoksidien päästöt olivat 300 000 tonnia ja vuonna 2000 236 000 tonnia /23/. Päästön suuruuden muuttuminen on nähtävissä kuvasta 2. Suomen talousalueella tapahtuvan ulkomaan laivaliikenteen typpipäästöt olivat vuonna 1996 noin 56 000 t, mutta kansainvälisten periaatteiden mukaan niitä ei lueta valtion päästöihin /12, s. 147/. Tausta-aseamalla typpidioksidin pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat Etelä-Suomessa välillä $4-6 \mu\text{g/m}^3$, mutta taajamissa pitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat aiheuttaen ilmanlaatuongelmia erityisesti kaupunkien keskustoissa ja ulosmenoväylien lähetyillä /12, s. 23/.



KUVA 2. Suomen typenoksidipäästöt vuosina 1991-2000 /23/

Suomen tieliikenteen päästöt vuonna 2001 olivat typenoksidien osalta noin 74 000 tonnia /16/. Liikenteestä typen oksidaista joutuu ilmaan, kun polttomoottoreissa ilman typpi sitoutuu happeen. Erityisesti maantieolosuhteissa suurilla nopeuksilla ajettaessa sekä kaupunkiolosuhteissa kiihdytettäessä syntyy typen oksidaista, joista suurin osa on typpioksidia. Typpioksidia hapettuu ilmassa typpidioksidiksi ja muuntuu tästä edelleen muiksi typpiyhdisteiksi. 1990-luvulta lähtien typen oksidien päästöt ovat vähentyneet huomattavasti, sillä tällöin otettiin uusissa autoissa käyttöön katalysaattoritekniikka. Liikenteestä aiheutuvien typenoksidipäästöjen määrän oletetaan laskevan edelleen, kunnes lähes kaikki bensiinikäyttöiset henkilöautot on varustettu katalysaattorilla. /24./ Katalysaattorilla varustettujen autojen määrä Suomen autokannasta vaihtelee alueittain niin, että pääkaupunkiseudulla niitä on selvästi muuta Suomea enemmän. Katalysaattorilla varustettujen bensiinikäyttöisten henkilöautojen suoriteosuus koko bensiinikäyttöisten henkilöautojen suoritteesta ylitti 50 % vuonna 1999. Vuonna 2001 prosenttiosuus oli 61 % ja arvion mukaan vuonna 2003 luku olisi noin 70 %. /16./

Typeä pääsee energiantuotannosta ilmaan lähes yhtä paljon kuin liikenteestä. Typenoksidit syntyvät lähinnä ilman tpestä ja niitä voidaan vähentää puhdistamalla savukaasuja. Typenoksidien määrä polttoprosesseissa riippuu aina merkittävästi palamisolosuhteista. Polttotekniikan avulla voidaan vähentää sekä polttoaineesta että ilmasta peräisin olevia typenoksidipäästöjä. /12, s. 65./ Pohjoisen sijainnin vuoksi Suomessa käytetään energiaa paljon asukasta kohti laskettuna. Myös pitkät etäisyydet, teollisuuden rakenne ja korkea elintaso lisäävät energian kulutusta. /25./

Ammoniakkipäästöjä joutuu ilmaan maataloudesta ja erityisesti kotieläintaloudesta. Suomen kotieläintalouden ammoniakkipäästöt on arvioitu Suomen ympäristökeskuksen kehittämän päästökustannusmallin avulla, joka huomioi kotieläintalouden lisäksi turkistarhauksesta ja väkilannoitteista peräisin olevat päästöt. Vuonna 1995 Suomen ammoniakkipäästöt olivat yhteensä noin 35 000 t, josta kotieläintalouden osuus oli 85 %. Happamoitumistoimikunnan

mukaan (1998) vuodesta 1995 vuoteen 2005 on oletettavissa noin viiden prosentin väheneminen maatalouden päästöissä. Tässä arvioissa on oletettu kotieläinten määrän vähenevän, mutta puolestaan turkiseläinten päästöjen kasvavan. /12, s. 53-54/. Ammoniakki reagoi ensisijaisesti rikkihapon kanssa muodostaen ammoniumsulfaattia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ja ammoniumvetysulfaattia (NH_4HSO_4) /26/.

Typpi on tärkeä kasvinravinne, mutta sitä ei ole metsämaassa aina riittävästi. Tämän vuoksi metsätaloudessa on käytetty typpilannoitusta puuston kasvun lisäämiseksi. Muutamaa poikkeusta (leppä, hernekasvit) lukuun ottamatta kasvit eivät pysty hyödyntämään ilmassa olevaa typpeä, vaan niiden täytyy saada typpi erilaisten yhdisteiden muodossa. /10, s. 20./

Typenoksidien päästöjen rajoittamista koskeva kansainvälinen pöytäkirja tuli voimaan vuonna 1991. 25 valtion allekirjoittamassa pöytäkirjassa sitoudutaan siihen, etteivät typen oksidien päästöt tai niiden rajan yli kulkeutuminen ole vuoden 1994 jälkeen suurempi kuin vuoden 1987 päästöt. Sofian julistuksessa 12 Länsi-Euroopan maata sitoutui pyrkimään vähentämään typenoksidipäästöjään noin 30 prosenttia vuosien 1980-1986 tasosta vuoteen 1998 mennessä. Useimmat allekirjoittaneista maista eivät saavuttaneet vähennystavoitetta sovittuun aikaan mennessä. /19./ Lähes kaikkialla Suomessa kriittinen kuormitus on alle 20 meq/m^2 , joka vastaa typpikuormitukseksi laskettuna $0,28 \text{ g N/m}^2/\text{v}$ /20/. Vuonna 2000 Mikkelin seudulla nitraattitypen laskeuma oli $100 - 200 \text{ mg/m}^2$ /20/, joka alittaa kriittisen kuormituksen. Ilman kautta laskeutunut typpi on merkittävä sisävesien ja Itämeren rehevöittäjä /27/.

2.2 Happamoituminen

Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä hapanta laskeumaa vastaan /18/. Maaperän happamoituminen johtuu protonien vapautumisesta maaympäristössä. Vapautuneiden protonien määrään vaikuttavat muun muassa maaperän ominaisuudet ja koostumus sekä kasvillisuus. Yhdisteet voivat aiheuttaa happamoitumista, jos ne tuottavat positiivisia ioneja (protoneja) ympäristöön ja aiheuttavat negatiivisten ionien (anionien) huuhtoutumista pois ekosysteemistä. Happamoitumista aiheuttavista yhdisteistä tärkeimpiä ovat rikkidioksidi (SO_2), typpioksidi (NO), typpidioksidi (NO_2), ammoniakki (NH_3), suolahappo (HCl) ja vetyfluoridi (HF). /28, s. 44./

Suomalaisissa metsissä maaperä on yleensä muodostunut kestävästä kivilajeista, joista ravinteiden rapautuminen on hidasta. Tämän vuoksi Suomen metsät ovat herkempiä happamoitumiselle Keski- ja Etelä-Euroopan metsiin verrattuna. Ilmansaasteet voivat aiheuttaa metsille vaurioita myös suoraan ilman kautta turmelemalla lehtien ja neulasten ilmarakojia ja häiritsemällä puiden aineenvaihduntaa. /12, s. 9./ Suomessa happamoituminen aiheuttaa edelleen paikoitellen puustovaurioita tai niiden uhkia /28, s. 44/. Suomessa ja muissa Euroopan maissa kriittinen kuormitus ylittyy vielä monin paikoin /15/.

Kasvillisuudelle suhteellisen alhaisetkaan pH-arvot eivät ole erityisen vahingollisia, sillä Suomen metsäkasvillisuus on sopeutunut happamaan maaperään ja osaltaan pitää yllä maaperän happamuutta. Alhainen pH aiheuttaa kuitenkin merkittäviä epäsuoria vaikutuksia, sillä se vaikuttaa ravinteiden saatavuuteen sekä myrkyllisten aineiden liukenemiseen ja saostumiseen maassa. /10, s. 24./ Hapan laskeuma lisää maaperään tyypillisesti typpeä, rikkiä ja vetyioneja ja voi näin vaikuttaa suoraan kasvien juuristoon. Laskeuma voi myös muuttaa maan happamuutta käynnistäen alumiinin ja muiden metallien liukenemisen sekä kationiravinteiden huuhtoutumisen. /29./

Ilmansaasteet voivat vaikuttaa juuristoon epäsuorasti vaurioittamalla kasvin maanpäällisiä osia tai muuttamalla niiden toimintaa. Luontaisesti sadeveden pH on 5,6, mutta ilmansaasteiden takia pH on Suomessa 4,5 – 4,9 /15/. Tutkittaessa happaman sateen vaikutusta on havaittu, että sadeveden pH:n ollessa 3,5 tai alempi, juuret ovat haaroittuneet ja sienijuurien eli mykorritsojen määrä on vähentynyt. Mykorritsa on kasvin juuren ja sienien muodostama kokonaisuus, joka on sekä sienelle että kasville hyödyllinen. Kaasumaisten ilmansaasteiden vaikutukset välittyvät juuristoon pääasiassa isäntäkasvin kautta. Rikkidioksidin on todettu heikentävän juuriston kasvua ja mykorritsojen muodostusta sekä edistävän mykorritsojen vanhenemista. Näitä muutoksia voi esiintyä pitoisuuksissa, joita esiintyy suomalaisilla teollisuusalueilla. Liiallinen typpi puolestaan lisää yleensä puiden maanpäällisten osien kasvua ja heikentää juuriston kasvua. /29./

Suomessa on 1980-luvun puolivälistä lähtien valmisteltu ohjelmia ja suunnitelmia happamoittavien päästöjen vähentämiseksi. Näiden pohjalta on laadittu valtioneuvoston päätöksiä rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjen rajoittamisesta energiantuotannossa ja teollisuuslaitoksissa. /33./

3. Ilmanlaadun seuranta

Suomessa ilmanlaadun seuranta tehdään pääasiassa kolmella eri tavalla. Analysoidaan tai mitataan laskeumaa tai pitoisuuksia ilmasta, mallinnetaan epäpuhtauksien leviämistä päästö- ja tuulitietojen perusteella sekä tehdään bioindikaatioon perustuvia kartoituksia ja tutkimuksia. /30, s. 7./

Suomessa Ilmatieteen laitos seuraa ilmanlaatua noin kahdellakymmenellä taustamittausasemalla. Mittauksista suurin osa kuuluu kansainvälisiin ilmanlaadun seuranta- ja tutkimusohjelmiin. Mittausasemien avulla saadaan kattava kuva Suomen ilmanlaadun tilasta ja sen muutoksista. Mittausohjelmiin kuuluu mm. rikkidioksidin, typpiyhdisteiden sekä otsonin ja sitä muodostavien yhdisteiden seuranta. Mittausasemilta saaduista tuloksista arvioidaan ilmanlaadun kehittymistä niin ajallisesti kuin alueellisesti. /31./ Ensimmäiset leviämismallit Suomessa on ilmatieteen laitos ottanut käyttöön jo 1970-luvulla /32/.

Ympäristönsuojelulain mukaan kuntien on suoritettava omilla alueillaan paikallisten olojen edellyttämää ympäristön tilan seuranta. Yleensä ilmanlaadun seuranta on kunnissa järjestetty yhteistyössä lähikuntien ja toiminnanharjoittajien kanssa. Ilmasta tutkittavia tekijöitä voivat olla hiilimonoksidi (CO), typpidioksidi (NO₂), otsoni (O₃), rikkidioksidi (SO₂), haisevat rikkiyhdisteet (TRS), kokonaisleijuma (TSP), hiukkaset, joiden halkaisija on alle 10 µm (PM₁₀) sekä hiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 µm. /33./ Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, tutkittavat tekijät vaihtelevat kunnittain.

TAULUKKO 1. Kaupungeissa ja taajamissa tehtäviä ilmanlaatumittauksia. CO = hiilimonoksidi, NO₂ = typpidioksidi, O₃ = otsoni, SO₂ = rikkidioksidi, TRS = haisevat rikkiyhdisteet, TSP = kokonaisleijuma, PM₁₀ = hiukkaset, joiden halkaisija on alle 10 µm. /34./

ERI PAIKKAKUNTIEN ILMANLAADUN MITTAUKSIA							
	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	TRS	TSP	PM ₁₀
Hangon seutu						X	
Hämeenlinna	X	X	X				X
Imatran seutu		X		X	X	X	X
Jyväskylän seutu	X	X	X	X		X	X
Kajaani		X		X			X
Kotka		X		X	X	X	X
Kouvolan seutu		X		X	X	X	X
Kuopio	X	X	X	X		X	X
	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	TRS	TSP	PM ₁₀
Lahti	X	X	X	X			X
Mikkeli		X				X	X
Oulu	X	X		X	X		X
Pori	X	X	X	X			X
Pääkaupunkiseutu	X	X	X	X		X	X
Tampere	X	X	X	X		X	X
Turun seutu	X	X	X	X		X	X
Vaasa	X	X	X	X			X
Varkaus		X		X	X		

Mikkelissä on juuri aloitettu ilman laadun mittaukset keskustan uudessa mittauspisteessä. Pisteessä on tarkoitus mitata jatkuvatoimisesti typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuutta kolmen vuoden ajan. Projektin lopputuloksena arvioidaan, tarvitaanko Mikkeliin jatkuvatoimiset mittaukset hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidin osalta.

4. Bioindikaatiotutkimukset

Bioindikaattorilla tarkoitetaan mitä tahansa eliölajia, jonka yksilöiden tai populaatioiden ominaisuudet ilmaisevat muutoksia ympäristön tilassa. Ilmansaasteiden vaikutukset näkyvät kyseisissä lajeissa selvästi aikaisemmin kuin muissa lajeissa. Muutokset tapahtuvat yleensä melko hitaasti, joten tuloksista nähdään epäpuhtauksien vaikutus pitkällä aikavälillä. Bioindikaattorit voivat osoittaa muutosta eri tavoin, sillä muutos voi olla positiivinen eli runsastuminen tai negatiivinen eli vähentyminen. /35, s. 9-11./ Kuitenkin ilmansaasteiden lisääntyessä indikaattoreiden muutokset lisääntyvät /10, s. 139/. Bioindikaatiotutkimuksissa voidaan käyttää ainoastaan lajeja, jotka ovat tutkimusalueella riittävän yleisiä ja tasaisesti esiintyviä. Lajeiksi soveltuvat yleensä esimerkiksi puiden runkojäkälat, metsäsammalet

sekä havupuut ja niiden neulasat. Tutkimusten tuloksista ei voida laskea suoraan laskeuman suuruutta, mutta päästö- ja kuormitustietojen sekä riittävän pitkään jatkuvan seurannan avulla nähdään päästökehitysten vaikutukset. /35, s. 9-11./

Bioindikaatiotutkimus on vanha menetelmä ja kattavia jäkäläkartoituksia on tehty Euroopassa jo 1800-luvun lopulla ja Suomessa 1930-luvulla. Jo 1960-luvulla on kasvillisuuskartoituksissa todettu jäkäläkatoa taajamissa /8, s. 17/. Kuitenkin bioindikaatiotutkimukset yleistyivät vasta 1970-luvulla, jolloin keskityttiin tutkimaan suurimpien kaupunkien ja päästölähteiden sekä muiden ilman epäpuhtauksien kuormittamia alueita. 1980-luvulla seurantamenetelmiä kehitettiin ja ne saivat ensimmäiset standardit. Tällöin seuranta-alueita laajennettiin ulottumaan ensi kertaa myös tausta-alueille. Ympäristön tilan, ilman laadun sekä laskeuman seurannassa bioindikaatiotutkimus on muodostunut tärkeäksi ja paljon käytetyksi. Bioindikaattorien avulla saadaan tietoa erityisesti rikki- ja typpiyhdisteistä sekä raskasmetalleista sekä niiden leviämisestä ja vaikutuksista metsäympäristöön. /35, s. 7-12./ Näiden lisäksi bioindikaattorit antavat yleisen kuvan ympäristötekijöiden vaikutuksista, joita ei välttämättä pystytä osoittamaan edes laajoilla mittauksilla. Bioindikaattoreita voidaan käyttää myös useiden erityyppisten ympäristötekijöiden yhteisvaikutusten selvittämiseen. /36, s. 17./

Havupuiden neulasten rikkipitoisuuksien selvitykset sekä jäkäläkartoitukset soveltuvat erittäin hyvin happamoittavan laskeuman vaikutusten voimakkuuden ja vaikutusalueen laajuuden arviointiin. Happamoitumisen ja muiden stressitekijöiden arviointiin on käytetty myös puuston harsuuntumista ja vuosikasvun hidastumista. /10, s. 45./

4.1 Neulasten kemiallinen analyysi

Männyn (*Pinus sylvestris*) sekä kuusen (*Picea abies*) neulasat ovat osoittautuneet hyviksi ilmanlaadun indikaattoreiksi erityisesti rikin ja raskasmetallien osalta. Männyn ja kuusen neulasat ovatkin Suomessa yleisesti käytettyjä bioindikaattoreita selvittäessä pistelähteiden (mm. voimalaitokset) läheisyyksien rikin ja raskasmetallien vaikutuksia kasvillisuuteen. /36, s. 17-18./ Ilman epäpuhtauksien leviämisen lisäksi neulasten alkuainepitoisuuksien perusteella voidaan arvioida ravinteiden puutosta ja haitallisten aineiden kasvillisuudelle mahdollisesti aiheuttamia myrkytystiloja. Näiden perusteella voidaan myös suunnitella tarvittavia toimenpiteitä puiden ravinnetilan korjaamiseksi metsänhoidon kannalta. Neulasten alkuainepitoisuuksiin vaikuttavat muun muassa puulaji, kasvupaikka, lämpötilan ja sademäärän vuosittainen vaihtelu, vuodenaika, neulasten ja puun ikä sekä puun terveydentila. Näiden tekijöiden vuoksi tulee kiinnittää erityistä huomiota näytteiden keräykseen ja analyysimenetelmiin. Standardien ja muiden ohjeiden avulla tuloksista saadaan vertailukelpoisia niin ajallisesti kuin alueellisestikin. Ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat neulasiin sekä suoraan ilmasta että maaperän ja juuriston kautta. /35, s. 24-25./ Neulasten kemiallisen analyysin yhteydessä tutkitaan usein myös neulasten mahdolliset vauriot, kuten keltäkärkisyyys ja kloroosi eli viherkato.

4.1.1 Neulasten rikkipitoisuus

Nykyään rikkiyhdisteiden uskotaan olevan yksi kasveille haitallisimmista ilmansaasteista. Rikkiyhdisteiden vaikutuksia kasveihin on tutkittu paljon ja kasveja vaurioittavana ilman rikkidioksidimääränä pidetään vuosittaista noin $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n pitoisuutta. /10, s. 20./ Etelä-Suomessa männynneulasten rikkipitoisuus on puhtaalla alueella noin $900 \text{ mg}/\text{kg}$ ja voimakkaasti kuormitetulla alueella se voi olla noin $1500 \text{ mg}/\text{kg}$. /35, s. 24./ Neulasten vanhetessa niiden rikkipitoisuus muuttuu kuormituksesta riippuen: puhtailla alueilla pitoisuus vähenee, kun taas kuormitetuilla alueilla pitoisuus kasvaa /37, s. 28/. YK/ECE:n (Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomissio) luokittelun mukaan matalan rikkipitoisuuden raja-arvo neulasissa on $1100 \text{ mg}/\text{kg}$ ja puolestaan korkean pitoisuuden raja-arvona pidetään $1800 \text{ mg}/\text{kg}$ /35, s. 25/.

Kaasumainen rikkidioksidi pääsee kasveihin lähinnä ilmarakojen kautta. Lehden tai neulasen sisäisestä ilmakehästä liukenee rikkidioksidia soluseinien veteen, jolloin lehden sisäisen ilman ja ulkopuolella olevan ilman välille syntyy pitoisuusero. Diffuusio kuljettaa rikkidioksidimolekyyliä kohti alemmaa pitoisuutta. Rikkidioksidin siirtymiseen vaikuttaa ilmarakon vastus, joka on suurimmillaan ilmaraon huulisolujen ollessa kiinni esim. pimeässä. Soluseinän vedestä aineen pääsy kasvin sisälle riippuu aineen vesiliukoisuudesta ja reagoivuudesta. /38./

Neulasten pinnalle tulevat hiukkaset voivat kostua sumun vaikutuksesta. Sumupisaran sisältämä rikkihappo voi aiheuttaa neulasen pinnalle laskeutuneiden hiukkasten kanssa korkean ioniväkevyyden. Tutkimuksissa on havaittu eroja männyn ja kuusen neulasten pinnalle kertyvien ionien määrässä ja tämän on arveltu johtuvan neulasten pinnan epätasaisuudesta. Pääasiassa sulfaattina maahan laskeutuva rikki kulkeutuu ravinteiden oton mukana myös puun neulasiin. Näin ollen varsinkin korkean rikkilaskeuman alueella osa neulasten rikkipitoisuudesta on joutunut niihin epäsuorasti. Selvät neulasvauriot johtuvat kuitenkin yleensä suoraan ilmasta neulasiin tulleiden rikkiyhdisteiden vaikutuksesta. /38./ Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tutkija Ilkka Niskasen mukaan ilman rikkipitoisuuden ja neulasten rikkipitoisuuden välillä ei voida osoittaa olevan selvää määrällistä yhteyttä, sillä sellaisia ilmanlaatutietoja, joita voitaisiin käyttää mm. bioindikaattorien selittävinä tekijöinä, on valitettavan vähän /39/.

Tuleekin siis muistaa, että bioindikaattoreilla on tarkoitus selvittää ympäristön muutosten vaikutuksia epäpuhtauksien pitoisuuksien sijaan.

4.1.2 Neulasten typpipitoisuus

Typpi on tärkeä kasvinravinne ja männyn katsotaankin kärsivän typen puutteesta, jos neulasten typpipitoisuus alittaa 11 mg/g:n pitoisuuden. /37, s. 28./ Kasvien elintoiminnot kärsivät liiallisesta liukoisesta tyyppistä /10, s. 20/. Typpidioksidi tunkeutuu kasviin ilmarakojen kautta, kuten rikkidioksidikin. Pitoisuuseron aiheuttaman diffuusion avulla typpidioksidi pääsee kasvin sisään, mutta sen vesiliukoisuus on kuitenkin rikkidioksidia pienempi, jolloin typpidioksidin virta ulkoisesta pitoisuudesta on rikkidioksidin virtaa hitaampaa. /38./

Erityisesti voimakkaan eläintuotannon läheisyydessä ilmassa voi olla huomattavia määriä ammoniakkia, joka muiden kaasujen tavoin pääsee neulasiin ilmarakojen kautta. Joissakin tutkimuksissa ammoniakkin ja talvistressin yhteisiä suoria puustovaurioita on havaittu turkistarhojen ja sikaloiden läheisyydessä. /38./

YK/ECE:n luokittelun mukaan korkean typpipitoisuuden raja-arvo neulasissa on 17 mg/g ja puolestaan matalan pitoisuuden raja-arvona pidetään 12 mg/g. Nämä raja-arvot on laadittu Keski-Euroopan olosuhteisiin sopiviksi. /35, s. 25/. Itä-Uudellamaalla, Päijät-Hämeessä, Kymilaaksossa ja osassa Keski-Suomen kuntia tehdyn tutkimuksen mukaan neulasten typpipitoisuus korreloi parhaiten yhdistetyn ammonium- ja oksiditypen laskeuman kanssa sekä myös neulasten rikkipitoisuuden kanssa. /9, s. 56./ Ilman maaperän typpipitoisuuden analysointia on vaikea arvioida, kuinka suuri osuus neulasten typpipitoisuudesta on ilmasta peräisin.

4.2 Havupuiden latvusten kunto

Suhteellinen neulaskato eli harsuuntuminen muuttaa puun latvuksen vähäneulasiseksi. Harsuuntuminen voi johtua puiden ikääntymisestä, kasvupaikan ominaisuuksista, ilmastosta, säästä, sieni- ja hyönteistuhousta tai ihmisen toiminnan vaikutuksesta, esimerkiksi ilmansaasteista. Harsuuntumista pidetäänkin hyvänä puiden yleisen terveydentilan kuvaajana. /10, s. 77-78./ Metsien vaurioitumisessa on usein kyse ympäristötekijöiden ja tuhonaiheuttajien yhteisvaikutuksesta /40/. Havupuiden neulaset indikoivat hyvin ympäristön tilaa, sillä ne altistuvat ilmansaasteille useiden vuosien ajan ympäri vuoden. Harsuuntuessaan neulaset varisevat ja oksat katkeilevat ja kuolevat, jolloin latvus muuttuu helposti valoa läpäiseväksi. Männyn harsuuntumisessa voidaan havaita viittä erilaista tyyppiä: alalavusharsuuntuminen, oksittain harsuuntuminen, tasainen harsuuntuminen, latvasta harsuuntuminen ja oksankärkiharsuuntuminen. /10, s. 77-79./ Eurooppalaisen puiden latvusten kunnan seurantajärjestelmässä puu luokitellaan vaurioituneeksi, kun sen lehti- tai neulaskato suhteessa harsuuntumattomaan vertailupuuhun on yli 25 % /40/.

Metsäntutkimuslaitos on seurannut vuosittain samojen puiden harsuuntumista 450 koealalla /10, s. 106/. Tässä seurannassa havaittiin harsuuntumisen lisääntyneen seurantajakson alussa vuoteen 1993 saakka, mutta siitä lähtien harsuuntuminen on pysynyt melko vakaana. Vuonna 2000 kangasmetsien vallitsevassa latvuserroksessa harsuuntuneita mäntyjä oli 3 % ja jakson 1986-2000 aikana männyn harsuuntuneisuus lisääntyi yhdellä prosenttiyksiköllä. Suomen metsien harsuuntuneisuus on ollut lievää muuhun Eurooppaan verrattuna. Vuonna 2000 noin 25 % kaikista Euroopassa arvioiduista koepuista luokiteltiin harsuuntuneiksi. /40/.

4.3 Jäkäläkartoitukset

Kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden vaikutuksia ekosysteemeihin seurataan Suomessa kansainvälisen ohjelman, ympäristön yhdenmisen seurannan (YY5), mukaisesti. Ohjelmassa on mukana 22 valtiota ja sen seurantatiedot toimitetaan kansainväliseen rekisteriin. Suomessa seuranta-alueita on neljä: Valkea-Kotisen alue Lammilla, Hietajärven alue Lieksassa, Pesojärven alue Kuusamossa ja Vuoskojärven alue Utsjoella. Alueet sijaitsevat mahdollisimman kaukana paikallisten päästölähteiden vaikutuspiiristä. Seurannassa on tutkittu mäntyjen rungoilla esiintyviä jäkälälajeja sekä jäkäläpeittävyyttä. Jäkälälajien ilmansaasteherkkyydet tiedetään melko hyvin ja näiden perusteella on annettu herkkyyksiarvoja ja -luokkia. Erilaisia ilmansaasteindeksejä on kehitetty lajien esiintymisen, niiden runsauden ja herkkyyksiarvojen perusteella. /41, s. 5-6./ Jäkälät sopivat hyvin indikaattorilajeiksi, sillä ne ovat pitkäikäisiä, ne saavat veden ja ravinteet suoraan ilmasta, sadevedestä tai runkoa pitkin valuvasta vedestä sekä niiltä puuttuvat korkeammille kasveille tyypilliset ulkoisilta vaikutuksilta suojaavat tiiviit pintasolukerrokset /35, s. 21/.

4.4 Sammalten, kaarnan ja maaperän kemiallinen analyysi

Sammalista analysoidaan niiden sisältämiä raskasmetallipitoisuuksia. Käytettäviä sammalia ovat sekä suo- että metsäsammalet, joista jälkimmäistä käytetään laajasti Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa. Sammalet soveltuvat raskasmetallien seurantaan hyvin, koska ne ottavat tarvitsemansa alkuaineet sadevedestä solukkoihinsa. Jos sammalmatto on tiheää, pidättää se lähes kaiken hiukkaslaskeuman. Metsäsammalien analyysitulokset kertovat suhteellisen kokonaiskuormituksen kolmen edellisen vuoden ajalta. /35, s. 25-26./

Kaarnanäytteistä voidaan tutkia rikin ja ravinteiden pitoisuuksia, kuten neulasistakin. Kaarnanäytteet soveltuvat myös raskasmetallien tutkimiseen. Kaarnan analysoinnilla saadaan tulokset, jotka kertovat yli kymmenen vuoden ajan kertymää eli niiden avulla voidaan arvioida muutoksia hyvinkin pitkällä aikavälillä. /35, s. 28./

Maaperän kemiallisessa analyysissä näyte otetaan useimmiten humuskerroksesta tai pintamaasta, sillä happamoitumisen kannalta paremman seurannan kohteen, kivennäismaan, näytteenotto on työläämpää. Analyysit voidaan tehdä monin eri tavoin ja niillä tutkitaan maaperän happamoitumista ja sen happamoitumisherkkyttä. Koska maaperän ominaisuuksien paikallinen vaihtelu on suurta, soveltuu menetelmä parhaiten valtakunnallisiin tai alueellisiin (usean kunnan alue) seurantoihin. Luontaisten syiden vuoksi tuloksissa ilmenee vaihtelua, jota ei voida erottaa happamoitumisen vaikutuksista. /35, s. 26-27./

4.5 Muut menetelmät

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi käytössä on myös muita bioindikaatioon perustuvia tutkimusmenetelmiä. Sammalpallomenetelmälle on oma standardi (SFS 5794), jonka mukaan indikaattorina käytetään maastoon ripustettavia, rahkasammalesta valmistettuja sammalpalloja. Menetelmää käytetään ilman hiukkas- ja joidenkin kaasumaisten epäpuhtauksien, pääasiassa raskasmetallien lyhytaikaisen (noin kaksi kuukautta), leviämisen tutkimiseen. Menetelmä perustuu kuormitetun ja puhtaampien alueiden sammalpallojen keräämien epäpuhtauksien vertailuun. Tuuliolosuhteiden ja ilman kosteuden vaikutus on merkittävä, minkä vuoksi eri aikoina saatuja tuloksia ei voida verrata keskenään. Talvisin menetelmän käyttö ei ole luotettava jäätymisen ja palloihin kertyvän lumen vuoksi ja suositeltavaa onkin tehdä tutkimus syksyllä tai alkukevällä, jolloin puissa ei ole lehtiä. /42, s. 1-2./

Lisäksi bioindikaatiotutkimuksissa voidaan hyödyntää perhosten ja kovakuoriaisten melanismia, hyönteisryhmien yleisyyttä, muurahaisia, kotiloita, matoja ym. maaperäeliöitä sekä pikkunisäkkäitä, nisäkkäitä ja lintuja /35, s. 28/.

5. Muiden alueiden tutkimuksia Suomessa

Vuosina 1999 - 2000 tehty ilman epäpuhtauksien leviämisen- ja vaikutustutkimus Itä-Uudenmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson ja Järvi-Suomen kuntien alueella ulottui silloisen Mikkelin maalaiskunnan, nykyisen Mikkelin alueelle. Tutkimus käsitteli mäntymetsien kuntoa laajalla alueella (39 kuntaa, 16 520 km²), joka on Etelä-Suomen kuormitettuinta aluetta. Alueella on tehty kattavia selvityksiä jo 1970-luvulta lähtien ja kyseinen tutkimus toistaa vuosina 1989 - 90 sekä 1994 - 95 tehtyjen tutkimusten ohjelmaa. Tutkimus sisälsi harsuuntumis- ja jäkälähavainnoinnin sekä sammal- ja humusnäytteiden keräyksen kesällä 1999. Neulasnäytteet kerättiin puolestaan talvinäytteinä vuoden 2000 alussa. /9, s. 1./ Näytealoja tutkimuksessa oli kaikkiaan noin 550 kappaletta /9, liite 5/. Neulasten rikkipitoisuus määritettiin ICP-AES -menetelmällä ja typpimääritys tehtiin Leco CHN -analysointilaitteella. Määritykset tehtiin toisen vuoden neulasista. /9, s. 23./ Näiden selvitysten tuloksia käsitellään tulosten arvioinnin yhteydessä kappaleessa 9.

Kemi - Tornio -alueella selvitetiin vuosina 1998 - 2002 bioindikaatiotutkimuksen avulla massa- ja paperiteollisuuden päästöjen vaikutusta neulasten ja sammalten kemialliseen koostumukseen. Kaksi näytealaa toimi ns. taustapisteinä ja 29 pistettä sijaitsi teollisuusalueen läheisyydessä. Neulasten rikkipitoisuutta tutkittiin sekä ensimmäisen (C) että toisen (C+1) vuoden neulasista ICP-AES-menetelmällä. Rikin lisäksi niistä tutkittiin myös rauta-, sinkki-, kalsium-, vanadium- ja lyijypitoisuuksia. Sammalista määritettiin FAAS -menetelmällä kromi-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet. /36, s. 32./

Turun seudun ja Paraisten alueen ilman laatua on seurattu viimeksi vuosina 2000 - 2001. Tutkimus on jatkoa Turun seudun kuormitetun alueen metsien bioindikaattoriseurannalle, joka aloitettiin vuosina 1990 - 1991 sekä Paraisten alueen seurannalle, joka aloitettiin vuosina 1991 - 1992. Kuormitetulla alueella tutkimus toistettiin vuosien 1995 - 1996 aikana ja tällöin aloitettiin seuranta myös ns. tausta-alueella. Uusimmassa tutkimuksessa seuranta toteutettiin kaikilla aikaisemmin tutkituilla alueilla ja samalla tausta-alueella laajennettiin niin, että kaiken kaikkiaan tutkimusalueelta tutkittiin 145 mänty- ja 62 kuusinäytealaa. Tutkimuksessa selvitetään mäntyjen ja kuusien harsuuntumista, neulasten alkuainepitoisuuksia (rikki, typpi, magnesium, fosfori, alumiini, kalsium, mangaani, kalium), jäkäläsiintymistä,

alueen ilmanpuhtausindeksi sekä humuksen pH. Neulasten rikkipitoisuus määritettiin ICP-AES –tekniikalla ja kokonaistyyppipitoisuus määritettiin CHN-menetelmällä. /43, s. 14-24./

Yleiseurooppalaisen standardin mukaan neulasten kemiallinen määrittäminen tulisi tehdä märkäpoltetuista näytteistä ICP-AES –tekniikalla. Tyyppipitoisuus voidaan määrittää Kjeldahl-menetelmällä tai Leco CHN-analysaattorilla. Aikaisemmin, erityisesti 1980- ja 1990-luvuilla, paljon käytetty röntgenfluoresenssimenetelmä antaa eräissä menetelmävertailuissa /9, liite 7/ rikkipitoisuudeksi jonkin verran (n. 200 mg/kg) korkeampia pitoisuuksia kuin nykyisin käytettävä ICP-emissiospektrometria. Tämän vuoksi muutamissa seurantahankkeissa, joissa on siirrytty ICP-AES-menetelmään on laskennallisesti vähennetty 200 mg/kg vanhoista tuloksista. /9, liite 7./ Tasokorjauksiin pitäisi kuitenkin suhtautua varauksella, sillä esim. laajassa eurooppalaisessa laboratoriovertailussa ei löydetty systemaattista eroa ICP- ja röntgenmenetelmien välillä. Kyseisessä tutkimuksessa laboratorioiden välinen hajonta oli huomattava. /44./ Analyysimenetelmien perusteella tehty korjaus voi siis johtaa harhaan, sillä vaihtelua voi johtua myös laboratorioista ja jopa analyysieristä /9, s. 47/.

6. Tutkimusalue

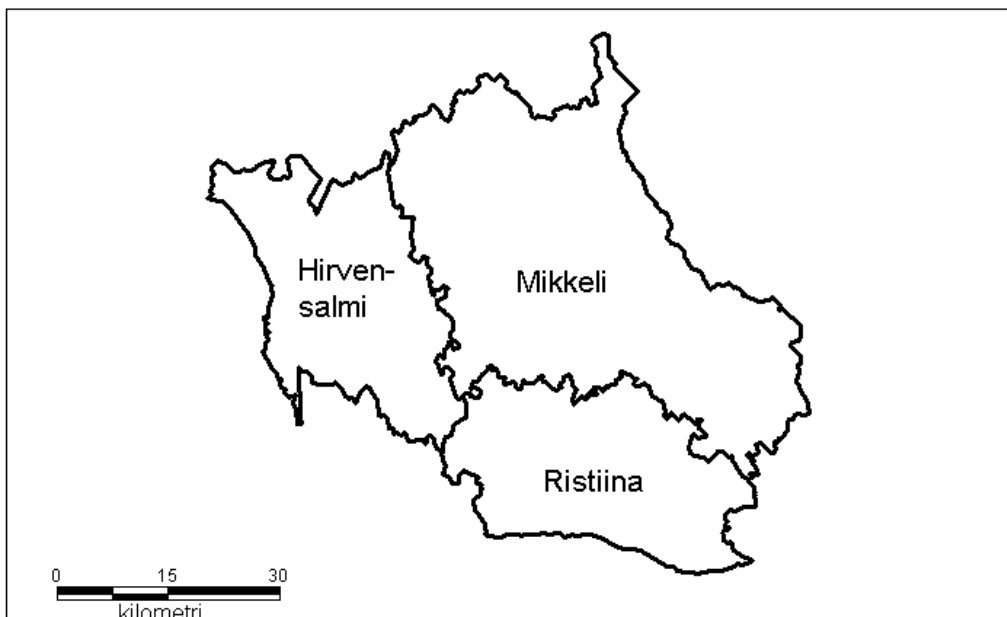
Etelä-Savon maakunnassa sijaitsevien Hirvensalmen, Mikkelin ja Ristiinan kuntien yhteenlaskettu pinta-ala on 3 110 km², josta vesistöä on 746 km² /45/. Kokonaispinta-ala jakautuu kuntiin seuraavalla tavalla:

- Hirvensalmi 745 km²
- Mikkeli 1 622 km²
- Ristiina 743 km²

Alueen kartta näkyy kuvassa 3 sekä tarkemmin liitteessä. (LIITE 1) Asukkaita alueella on noin 54 300 /46/. ja lisäksi loma-asunnot, yhteensä 9 760, tuovat alueelle suuren määrän asukkaita erityisesti kesäaikaan. /47; 48; 49./

Tilastokeskuksen mukaan asukasmäärät (31.12.2002) jakautuvat alueen kuntiin seuraavalla tavalla

- Hirvensalmi 2 600 asukasta
- Mikkeli 46 531 asukasta
- Ristiina 5 144 asukasta /50/.



KUVA 3. Tutkimusalueen kartta

Etelä-Savon maakunnan maa-alasta metsien peitossa on 83 %, jossa puuta on keskimäärin 138 m³ hehtaaria kohden. Metsistä lähes 80 % on luontaisesti syntyneitä ja metsää on alueen jokaista asukasta kohden noin 6,6 hehtaaria. Etelä-Savossa maatalous perustuu peltoalaltaan suhteellisen pieniin maatiloihin: aktiivituloilla peltoa on keskimäärin 15,3 ha, kun koko maan keskiarvo on 22,3 ha. Alueen peltoala on ollut laajimmillaan 1950 - 60 –lukujen vaihteessa, jolloin viljelyksessä oli noin 115 000 ha peltoa. Luku on vähentynyt tästä noin 40 % ja vähenee vuosittain lähes 2 000 hehtaaria. /51/.

Hirvensalmen, Mikkelin ja Ristiinan kuntien alueella on metsätalousmaata yhteensä noin 177 000 ha eli noin 60 % kuntien kokonaisalasta ja 79 % kuntien maa-alasta. Hirvensalmi on hyvin mäntyvaltainen kunta, sillä sen metsistä noin puolet (n. 17 500 ha) on mäntyvaltaisia metsiä /52, s. 11/. Ristiina on puolestaan Etelä-Savon lehtipuuvaltaisimpia kuntia /53, s. 8/. Viljeltyä peltopinta-alaa seuranta-alueen kunnissa oli vuoden 2001 lopulla noin 12 000 ha /54/.

Tutkimusalueen kallioperä on pääosin kiillerikasta gneissia, joka sisältää runsaasti kvartseja ja maasälpää /55, s. 6/. Alueella on myös lukuisia graniittialueita. /56./ Mikkelin seudun gneissit ovat tyypillisesti happamia ja sisältävät vähän rapautuvia kalsiumpitoisia mineraaleja /55, s. 6/. Mikkeliin nykyisin kuuluvassa Anttolassa tavataan graniitin sekä kiille- ja suonigneissin lisäksi granaattia ja kordieriittia. Lisäksi tavataan vyöhykkeinä kvartsidioriittia, tonaliittia ja granodioriittia. Anttolan maaperä on pääosin kalliomaata tai moreenikerrosten peitossa. Alueella on runsaasti mannerjäätikön suuntaisia ja pohjamoreenista kerrostuneita selänteitä eli drumliineja sekä yksi harjujakso. Hienojakoisia kerrostumia esiintyy ainoastaan lahtien poukamissa ja matalissa painanteissa. /57, s. 8./ Etelä-Savon ympäristöohjelman mukaan happamoittavan laskeuman määrä ylittää maaperän ja vesien sietokyvyn /51/.

Mikkelissä pääkivilajina ovat kiillerikkaat gneissit, jotka sisältävät runsaasti kvartseja ja maasälpää. Yleisiä ovat myös alumiinirikkaat graniittia, kordieriittia ja sillimaniittia sisältävät gneissit, kiillegneissi ja siitä muodostunut suonigneissi sekä kvartsidioriittimuodostumat. Tällainen kallioperä ei ole vähäisen kalkkivaikutuksensa vuoksi kasvillisuuden kannalta kovin edullinen, sillä kalkki on kasveille tärkeä ravinne. Maaperä on pääasiassa mannerjäätikön kerrostamaa sekalajitteista moreenia ja hiesuja ja savia esiintyy hyvin niukasti. /55, s. 6./

Hirvensalmella kallioperä on pääosin granodioriittia. Lisäksi alueella on yhtenäisiä kiilleliuske- ja suonigneissijaksoja. Maaperä on moreenia sekä lisäksi alueella on yksi laajempi harjualue ja yksittäisiä pieniä turvealueita. /58, s. 9./

Ristiinassa kallioperä on valtaosin happamia kivilajeja, kuten kiillegneissia, jossa kulkee graniittijuonia. Länsiosissa päälajina esiintyy granodioriittia sekä lisäksi alueella löytyy pieniä esiintymiä emäksisempiä kivilajeja, kuten amfiboliittia, gabroa ja dioriittia. Maaperä on pääosin moreenia. Ristiinan halki kulkee kolme pitkittäisharjujaksoa sekä niiden yhteydessä hiekka- ja hietamaata. Turvemaata esiintyy vain parilla paikalla. /30, s. 7./

Vuoden keskilämpötila Mikkelin alueella on +3 – +4°C heinäkuun keskilämpötilan ollessa +17°C ja helmikuun -9°C. Vuotuinen sademäärä on 550 – 650 mm ja lumipeitteen keskimääräinen paksuus maaliskuussa on 50 cm. /58./

6.1 Päästölähteet

Päästötiedot rekisteröidään ympäristöhallinnon valvonta- ja kuormitustietojärjestelmään eli VAHTI-tietojärjestelmään, jonka avulla alueelliset ympäristökeskukset suorittavat lainsäädäntöön (YSL 27 §, 46 §) perustuvaa lupavelvollisten laitosten toiminnan seuranta. /30, s. 9./ Liikenteen osalta päästötiedot löytyvät VTT:n LIISA-laskentajärjestelmästä, joka laskee tieliikenteen pakokaasupäästöjen määrän kunnissa, lääneissä ja koko maassa /59./ Taulukoista 2 ja 3 nähdään yksittäisten pistelähteiden rikki- ja tyypipäästöjen suuruus vuosittain. Mikkelissä on aiemmin selvitetty rikin päästölähteet vuonna 1993, jolloin rikkioksidipäästöt olivat pistelähteistä noin 400 tonnia /4/.

TAULUKKO 2. Mikkelin seudun pistelähteiden rikkidioksidipäästöt /59/

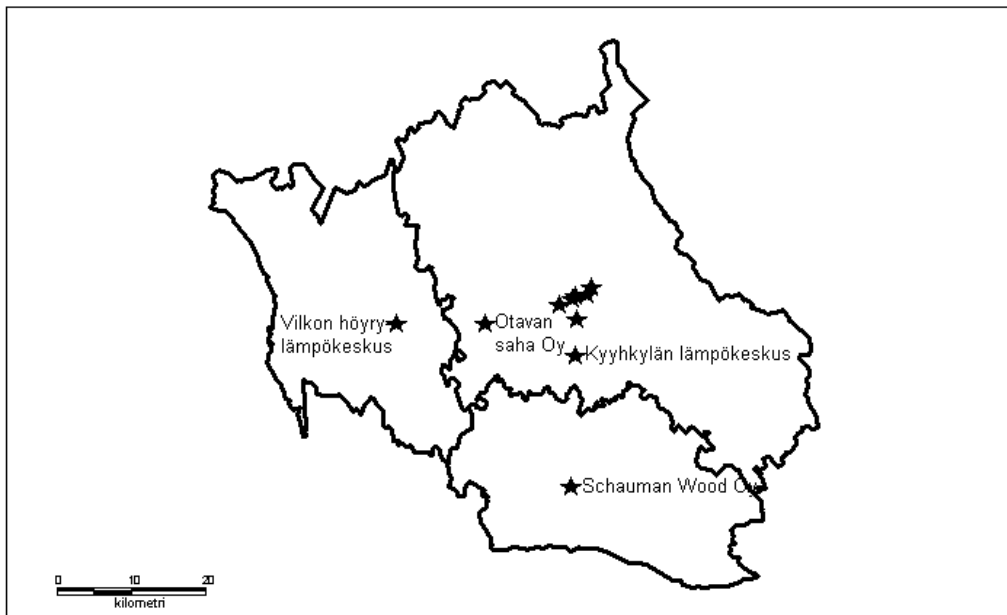
RIKKIDIOKSIDIPÄÄSTÖT (t/a)					
	1997	1998	1999	2000	2001
Osuusteurastamo Karjaportti	20,4	16,0	20,4	21,6	19,8
ESE/Pursialan lämmitysvoimalaitos	287	265	279	111	120
ESE/Pursialan lämpökeskus	13,5	26,4	27,0	17,1	57,8
ESE/Kyyhkylän lämpökeskus	6,3	5,6	5,0	4,5	5,0
ESE/Oravinmäen lämpökeskus	2,1	0,9	0,9	1,4	1,6
ESE/Siekkilän lämpökeskus	4,1	5,9	6,8	6,2	4,6
Helprint Quebecor Oy	26,3	29,4	30,5	29,8	36,0
Fortum Lämpö Oy/PLM Mikkelä	7,9	7,3	6,7	7,1	7,7 (2002)
Lemminkäinen Oyj/Asfaltiasema	2,0	2,6	2,6	2,5	2,1
Otavan saha Oy	5,3	6,6	6,0	3,9	1,2
Schauman Wood Oy	70,0	75,0	108	106	109
Yhteensä	444,7	440,7	493,1	311,0	357,1

Vuonna 1993 alueen pistelähteiden typenoksidipäästöt olivat yhteensä noin 240 tonnia /4/. Taulukosta 3 nähdään, että päästö määrä on ollut kasvussa.

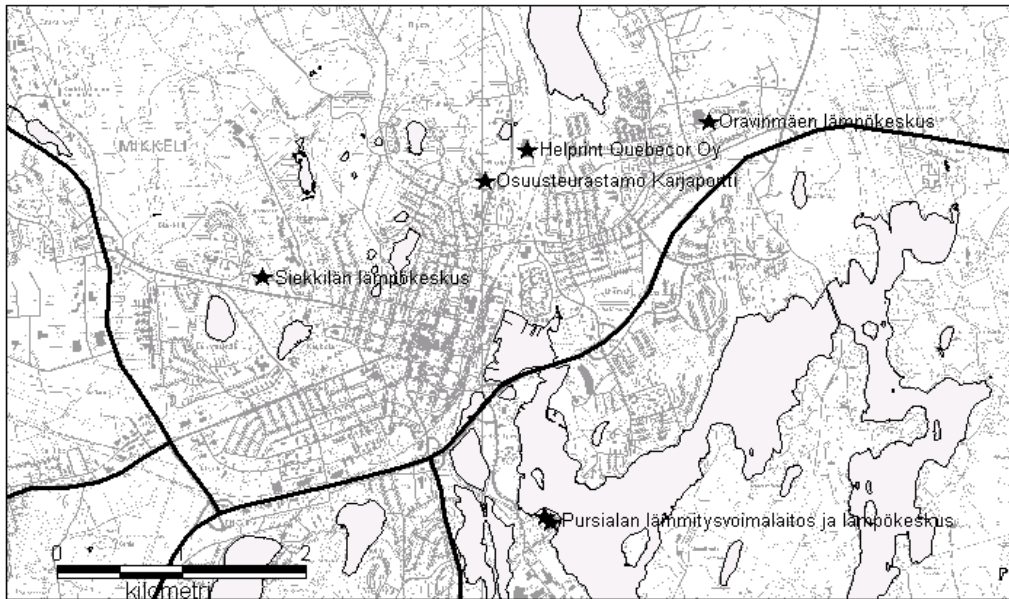
TAULUKKO 3. Pistelähteiden typenoksidipäästöt /59/

TYPENOKSIDIPÄÄSTÖT NO ₂ :na (t/a)					
	1997	1998	1999	2000	2001
Osuusteurastamo Karjaportti	5,6	5,9	5,8	7,6	7,0
ESE/Pursialan lämmitysvoimalaitos	258	241	254	248	269
ESE/Pursialan lämpökeskus	9,3	26,4	27,0	17,7	28,0
ESE/Vilkon höyrylämpökeskus	0	0	0	1,3	6,1
ESE/Kyyhkylän lämpökeskus	2,3	2,4	2,2	1,4	1,6
ESE/Oravinmäen lämpökeskus	0,9	0,4	0,4	0,6	0,7
ESE/Siekkilän lämpökeskus	1,7	2,5	1,7	2,6	2,1
Helprint Quebecor Oy	11,3	12,6	13,0	12,7	15,4
Fortum Lämpö Oy/PLM Mikkeli	3,1	2,9	2,5	2,6	2,9 (2002)
Lemminkäinen Oyj/Asfalttiasema	3,0	3,9	3,8	3,7	3,2
Otavan saha Oy	22,2	35,0	30,0	17,1	32,8
Schauman Wood Oy	32,0	34,0	105	103	90,0
Yhteensä	349,4	367,0	445,3	418,4	455,9

Kuvista 4 ja 5 nähdään taulukoissa 2 ja 3 esitettyjen pistelähteiden sijainnit tutkimusalueella.



KUVA 4. Tutkimusalueella sijaitsevat pistelähteet



KUVA 5. Tutkimusalueella Mikkelin keskustan alueella sijaitsevat pistelähteet

Vuonna 1993 liikenteen rikkidioksidipäästöt olivat Mikkelissä noin 20 tonnia. Vuoden 2001 päästöt, jotka näkyvät taulukossa 4, ovat vain kymmenesosa tästä. Typenoksidipäästöt olivat vuonna 1993 puolestaan noin 400 tonnia ja vuonna 2001 noin 670 tonnia. /4./

TAULUKKO 4. Tutkimusalueen kuntien liikenteen typpi- ja rikkipäästöt vuonna 2001 /60/

Kuntakohtaiset liikennepäästöt vuonna 2001 (t/a)		
	SO ₂	NO _x
Hirvensalmi	0,2	78,5
Mikkeli	2,0	668,6
Ristiina	0,3	117,1
Yhteensä	2,5	864,2

Mikkelin seudun rikkidioksidipäästöt olivat vuonna 1993 noin 420 tonnia, kun ne vuonna 2001 olivat noin 310 tonnia. Typenoksidipäästöt olivat vuonna 1993 noin 640 tonnia ja vuonna 2001 ne olivat lähes 1 300 tonnia. /4; 60./

TAULUKKO 5. Tutkimusalueen kuntien omat rikkidioksidipäästöt ja typenoksidipäästöt ilmaan vuonna 2001. Lukuihin sisältyy pistelähteiden ja liikenteen päästöt /59; 60/.

Kuntakohtaiset kokonaispäästöt vuonna 2001 (t/a)		
	SO ₂	NO _x
Hirvensalmi	0,2	78,5
Mikkeli	250,1	1 034,5
Ristiina	109,3	207,1
Yhteensä	359,6	1 320,1

Muiden kuin pistelähteiden ja liikenteen päästöjen suuruutta on vaikea arvioida, joten ne jätetään tässä tapauksessa huomioimatta.

6.2 Aikaisemmat tutkimukset

Kahdenkymmenen vuoden aikana Mikkelin alueella on tutkittu ilmanlaatua monin eri tutkimuksin ja monin eri menetelmin. Bioindikaatiotutkimusten lisäksi on selvitetty mm. yksittäisten pistelähteiden savukaasujen leviämistä ja kaupungin ilmanlaatua. Mikkelin keskustan tuntumassa Kirkkopuiston mittausasemalla on mitattu 1990-luvun alusta lähtien kokonaisleijumaa ja vuodesta 1993 lähtien hengitettävien hiukkasten, < 10 µm, pitoisuutta. Taulukkoon 6 on koottu 20 viime vuoden aikana tehdyt ilmanlaadun selvitykset Mikkelissä.

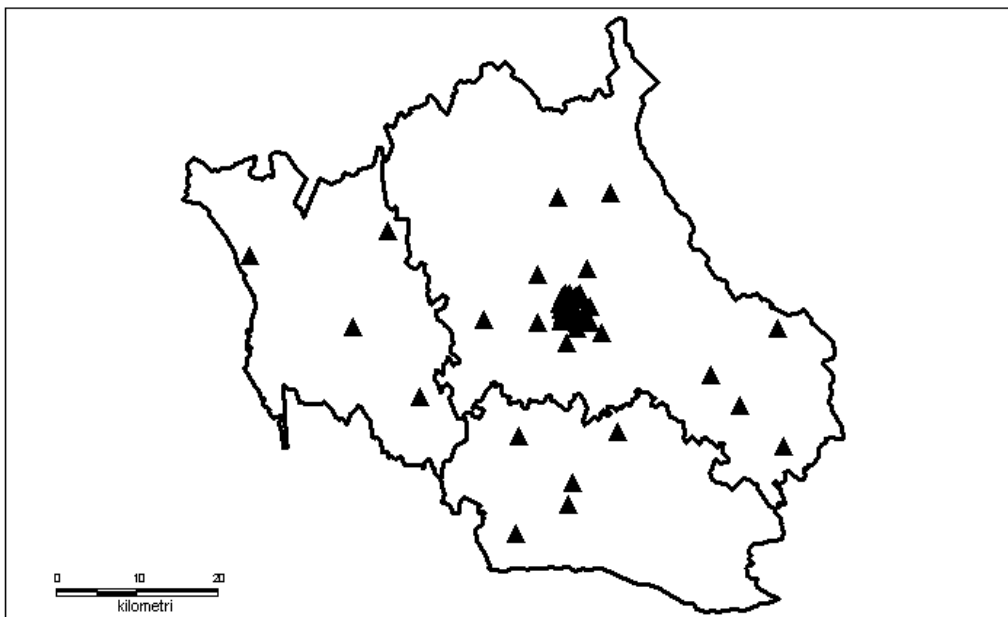
TAULUKKO 6. Ilmanlaadun tutkimukset Mikkelissä 1982 - 2002

ILMANLAADUN TUTKIMUKSET MIKKELISSÄ v. 1982-2002		
vuosi	aihe	tekijä
1982	Selvitys Mikkelin energialaitoksen Pursialan lämpökeskuksen savukaasujen leviämisestä: rikkidioksidi, pöly	Ilmatieteen laitos
1984	Vuorikadun lämpökeskuksen savukaasujen leviämisseelvitys	Ilmatieteen laitos
1985	Ohikulkutien vaikutus ilman laatuun Mikkelissä: hiilimonoksidi, leijuma, lyijy	Ilmatieteen laitos
1986	Mikkelin Siekkilän ja Vuorikadun lämpökeskusten savukaasujen leviämisseelvitys: rikkidioksidi, typpidioksidi, hiukkaset (kok.leijuma)	Ilmatieteen laitos
1986	Selvitys Mikkelin seudun huomattavista rikkipäästöistä ilmaan: ilmansuojeluilmoituksiin perustuva mallitarkastelu	KTT:n kl/valvontaosasto
1986	Ulkoilman epäpuhtaudet Kirkkopuiston mittausasemalla Mikkelissä vuosina 1985-1986: rikkidioksidi, leijuva pöly	KTT:n kl/valvontaosasto
1986	Lumimenetelmällä tehty selvitys ulkoilman epäpuhtauksien aiheuttamista laskeumista Mikkelin seudulla: vesianalyysi/aas/fotometri	KTT:n kl/valvontaosasto
1987	Mikkelin Osuusmeijerin, Osuusteurastamo Karjaportin ja Helprint Oy:n savukaasujen leviämisseelvitys	Ilmatieteen laitos
1987	Pursialan teollisuusalueen voimalaitoksen ja lämpökeskuksen savukaasujen leviämisseelvitys: rikkidioksidi, typpidioksidi, hiukkaset	Ilmatieteen laitos
1987	Mikkelin jäkälä- ja mäntyvauriokartoitus: jäkäläkartoitus, männyn vauriokartoitus, neulasnäytteet	Mikkelin kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta
1988	Männynneulasten rikkipitoisuus Mikkelissä talvella 1988 (jatkotutkimus)	Mikkelin kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta
1989	Männynneulasten rikkipitoisuus Mikkelissä talvella 1989 (jatkotutkimus)	Mikkelin kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta
1990	Mikkelin kaupungin ilman laadun mittaus: rikkidioksidi, typpioksidi, otsoni, tolueni	ins. toimisto Paavo Ristola
1990	Typen oksidit	Jari Kauppinen (teknikkotyö)
1990	Lyijyn määrittäminen sammalpallo menetelmällä	Teijo Jokinen (teknikkotyö)
1991	Helprint Oy:n Mikkelin tehtaan toluenin leviämisseelvitys	Ilmatieteen laitos
1994	Ilmanlaadun bioindikaattitutkimukset Mikkelin seudulla 1993-94	Mikkelin seudun ympäristökeskus
1995	Kirkkopuiston hiukkasmittaukset 1994-1995	Mikkelin seudun ympäristökeskus
1997	Ilman laadun mittaukset Mikkelissä 1996	Mikkelin seudun ympäristökeskus
1999	Leijumamittausten tulokset Mikkelissä 1998	Mikkelin seudun ympäristökeskus
2000	Leijumamittausten tulokset Mikkelissä 1999	Mikkelin seudun ympäristökeskus
2001	Leijumamittausten tulokset Mikkelissä 2000	Mikkelin kaupunki Ympäristöpalvelut
2001	Leijumamittausten tulokset Mikkelissä 2001	Mikkelin kaupunki Ympäristöpalvelut
2002	Leijumamittausten tulokset Mikkelissä 2002	Mikkelin kaupunki Ympäristöpalvelut

Vuonna 1996 Mikkelin keskustassa mitattiin ilman häkä-, rikkidioksidi-, typpioksidi-, typpidioksidi- ja otsonipitoisuuksia. Verrattaessa saatuja rikki- ja typpidioksidien tuloksia valtioneuvoston päätöksen N:o 480/1996 ohjearvoihin, rikkidioksidin tuntiarvojen pitoisuudet olivat korkeimmillaan 5 % ohjearvosta ja vuorokausiarvojen pitoisuudet olivat 6 % ohjearvosta. Typpidioksidin tuntiarvot vaihtelivat loka-, marras- ja joulukuun aikana 23 %:n ja 39 %:n välillä. Vuorokausiarvot vaihtelivat puolestaan 20 %:n ja 39 %:n välillä. /7, osa 2, s. 6./

7. Aineisto ja menetelmät

Havaintopisteiksi valittiin samat alueet, joita oli käytetty vuonna 1994 tehdyssä tutkimuksessa. Kuitenkin kaksi havaintopistettä päätettiin jättää tutkimuksesta pois, sillä ne sijaitsivat hyvin lähellä jotakin toista pistettä. Varsinkin taajama-alueiden havaintoalueiden paikallistaminen oli helppoa, sillä pisteistä oli otettu valokuvia. Taajaman ulkopuolella alueet eivät välttämättä ole aivan samat kuin aikaisemmassa tutkimuksessa. Tähän voi olla useita eri syitä, esimerkiksi aikaisemmin käytetyssä havaintoalueessa ei enää kasvanut mäntyjä puun korjuun tai rakentamisen vuoksi tai alueen kuvaus oli epätarkka. Havaintopisteiden sijainnit nähdään kuvasta 6, josta voidaan huomata, että suuri osa pisteistä sijaitsee Mikkelin keskustan lähietaisyydellä. Taajaman ulkopuolella sijaitsevat havaintopisteet pistenumeroineen näkyvät tarkemmin liitteestä (LIITE 2).



KUVA 6. Havaintopisteiden sijainti tutkimusalueella

7.1 Näytteenotto

Neulasnäytteet kerättiin 9.1. - 30.1.2003 standardin SFS 5669 mukaisesti. Näytteenottoa edelsi pitkä kylmä jakso, mutta näytteenottopäivinä säätila vaihteli huomattavasti. Ajanjakson aikana oli koviakin pakkasia (noin -20°C) sekä suojakelejä. Lumisateita ja koviakin tuulia ajoittui näytteenoton ajanjaksolle.

Näytteenotossa käytettiin pitkävärtistä (noin viisi metriä) oksasahaa, jonka avulla näytteet otettiin mahdollisimman korkealta. Standardin mukaan neulaset tulisi ottaa latvuksen keskikolmanneksesta, mutta usein jouduttiin ottamaan näytteet latvuksen alemmista osista. Jokainen havaintoalue koostui viidestä männystä, joista jokaisesta otettiin kolme oksaa. Oksat pyrittiin ottamaan eri puolilta puuta, mutta joissakin tapauksissa oksat olivat kasvaneet ainoastaan puiden toiselle puolelle. Näytepuiksi pyrittiin valitsemaan puuta, joiden ikä on kolmenkymmenen ja kahdeksankymmenen vuoden välillä, monet puut olivat kuitenkin tätä nuorempia. Näytteet kerättiin mahdollisimman lyhyenä ajanjaksona. Näytteet pyrittiin ottamaan samoista puista, kuin edellisessä tutkimuksessa, mutta bioindikaattoriseurannassa on varauduttava siihen, että näytealat vaihtuvat ajan myötä. Koska puuta ei oltu merkitty, oli joissakin havaintopisteissä samojen puiden löytäminen mahdotonta. Katkaistut oksat vietiin muovipussissa sisätiloihin oirekuvausta varten niin, että yhdessä pussissa oli ainoastaan yhden puun oksia. Näin jokaisen havaintoalueen neulasia oli viidessä eri näytepussissa.

7.2 Näytteiden analysointi

Näyteoksista tehtiin suppea oirekuvaus, johon kuului neulasten vuosikertojen lukumäärän selvitys, värivirheiden esiintyvyys sekä hyönteisten ja sienten aiheuttamat vauriot. Standardista poikettiin niin, että neulasten irrottaminen rangasta tehtiin ennen laboratorioon vientiä. Ruskeita ja kuolleita neulasia lukuun ottamatta kaikki viimeistä edellisen kasvukauden (II vuosikerta eli vuoden 2001) neulaset otettiin analysoitavaan näytteeseen. Jokaisen puun neulaset vietiin omassa paperipussissa laboratorioon kuivattavaksi.

Näytteiden esikäsittelyn ja mittauksen suoritti mikkililäinen Viljavuuspalvelu Oy. Esikäsittelyssä neulaset kuivattiin 60 C°:ssa, kunnes neulasten paino ei enää muuttunut. Tämän jälkeen neulaset jauhettiin ja osanäytteet sekoitettiin tasaiseksi näytteeksi.

Rikkipitoisuuden määrittämisessä käytettiin laboratorion omaa menetelmää, joka on laadittu standardin SFS 5781 (Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen ICP-emissiospektrollä.) pohjalta. Rikin analysoinnissa näytettä punnittiin noin 1 g ja siihen lisättiin 20 ml 1:1 laimennettua typpihappoa (HNO₃). Tunnin autoklavoinnin jälkeen näytteet jäädytettiin huoneenlämpöön ja suodatettiin valkonauhasuodatinpaperin läpi 100 ml:n mittapulloon. Mittapullo täytettiin tislattulla vedellä merkkiin asti. Liuoksen rikkipitoisuus määritettiin ICP-vakuumi-emissiospektrometrillä, jonka periaate perustuu emissioon. Korkeassa lämpötilassa (8 000 - 10 000 K) pysyvimmätkin aineet dissosioituvat ja hajoavat atomeiksi sekä virittyvät. Tämä viritystila ei ole pysyvä ja atomi tai ioni emittoi ylimääräisen energiansa kullekin alkuaineelle ominaisena säteilynä, joka koostuu useasta eri aallonpituudesta. Valo jaetaan mono- tai polykromaattorilla spektriiksi, josta rekisteröidään halutut aallonpituudet. Saadun viivaspektrin viivojen intensiteettien avulla voidaan määrittää alkuaineiden pitoisuudet näytteessä. /62./ Analysoinnissa käytettiin Thermo Jarrell Ash IRIS -analysointia.

Typen määrittäminen suoritettiin Kjeldahl-menetelmällä standardin SFS 5505 mukaisesti. Tutkittavalle näytteelle tehtiin ensin märkäpoltto kuumentamalla sitä rikkihakossa. Analysoinnissa käytettiin Gerhard VAP 60 -analysointia.

8. Tulokset

Tammikuussa 2003 kerätyistä männyn oksista tehtiin vauriotarkastelu ennen laboratorioon vientiä. Taulukossa 7 on esitetty jokaisen havaintopisteen pistenumero, sijaintikunta, pisteen nimi sekä tulokset neulasten rikki- ja typpipitoisuuden osalta. Sekä tämän tutkimuksen että vuoden 1993 tutkimusten tulokset näkyvät liitteessä (LIITE 3). Tulosten havainnollistamisessa käytettiin MapInfo Professional -tietokoneohjelmaa, jonka avulla tulokset linkitettiin kartoille.

TAULUKKO 7. Neulasanalyysin tulokset havaintopisteittäin vuonna 2003

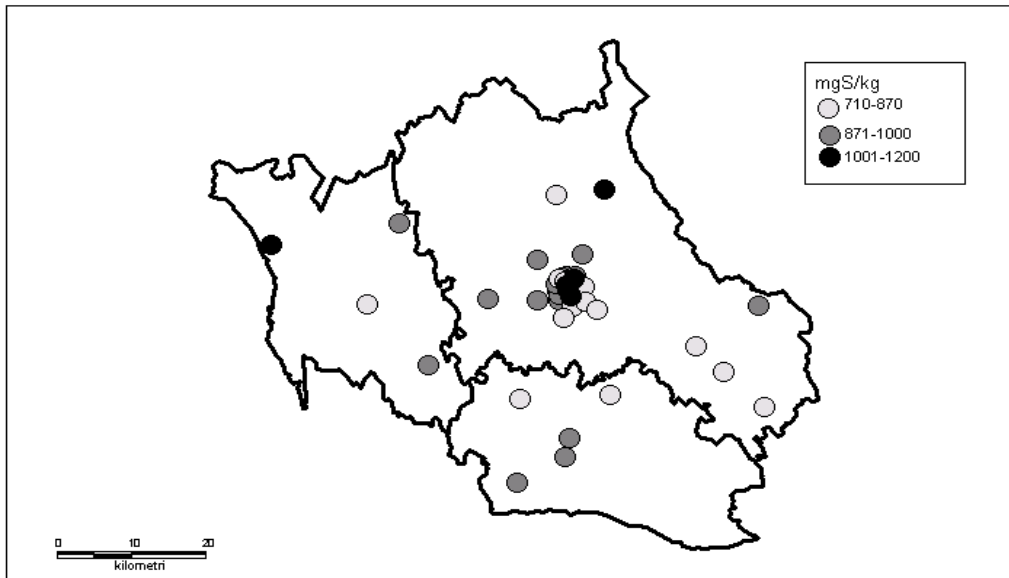
Piste	Kunta	Sijainti	mgS/kg	mgN/g
1	491	Anttola, Neitvuori	880	14,1
2	491	Anttola, Kääriälä	710	
3	491	Anttola, kirkonkylä	790	
4	491	Anttola, Maljala	770	
5	491	Mikkelin mlk, Ihastjärvi	870	12,7
6	491	Mikkelin mlk, Hiirola	1100	
7	491	Mikkelin mlk, Rantakylä	970	13,5
8	491	Mikkelin mlk, Akkala	940	
9	491	Neuvola, Jyväskylän tie	1000	
11	491	Siekkilä, Vanamonkuja	950	
12	491	Pitkäjärvi, pohjoispää	970	15,9
13	491	Kalevankangas, Hanhijoki	890	
14	491	Kalevankangas, Raviradantie	860	
15	491	Siekkilä, Pohjolankatu	910	

16	491	Siekkilä, Boråsinkadun pää	930	14,4
18	491	Siekkilä, Savilahdenkatu	920	
19	491	Lehmuskylä, Jalavak. pää	910	14,3
20	491	Kirjala, Hevosmiehenk. pää	880	
21	491	Silvasti, Kaituenlampi	750	
22	491	Rouhiala, Ahvenlampi	900	13,4
23	491	Emola, Riihimäenk. pää	960	
24	491	Emola, Revonkadun pää	960	
25	491	Kalevank., Hanhikankaankatu	860	
Piste	Kunta	Sijainti	mgS/kg	mgN/g
26	491	Myrkkylampi	1100	16,3
27	491	Keskusta, Naisvuori	920	
28	491	Keskusta, urheilupuisto	1100	16,3
29	491	Kaihunharju	1100	
30	491	Savisilta, Porrassalmenkatu	980	14,5
31	491	Rokkala, Porrassalmenkatu	1200	
32	491	Lähemäki, Dunckerinkatu	1000	
33	491	Tuppurala, Rauhaniemi	900	13,8
34	491	Tuppurala, Pohjankaari	970	
35	491	Pursiala / Kaihun uimaranta	1000	13,7
36	491	Pursiala, Saimaankatu	850	
37	491	Suonsaari	970	
38	491	Launiala, Kehrääjänkatu	860	13,2
39	491	Salosaari, Metsäkoulu	800	
40	491	Tornimäki	870	
41	097	Hirvensalmi, Väisälänsaari	920	14,5
42	097	Hirvensalmi, Kuitula	1100	
43	097	Hirvensalmi, Etuniemen th	850	
44	097	Hirvensalmi, Merrasmäki	910	
45	696	Ristiina, Pellosniemi	910	14,7
46	696	Ristiina, Kuomiokoski	880	
47	696	Ristiina, Koivakkala	810	
48	696	Ristiina, Brahenlinna	910	
49	696	Ristiina, Hangastenmaa	780	

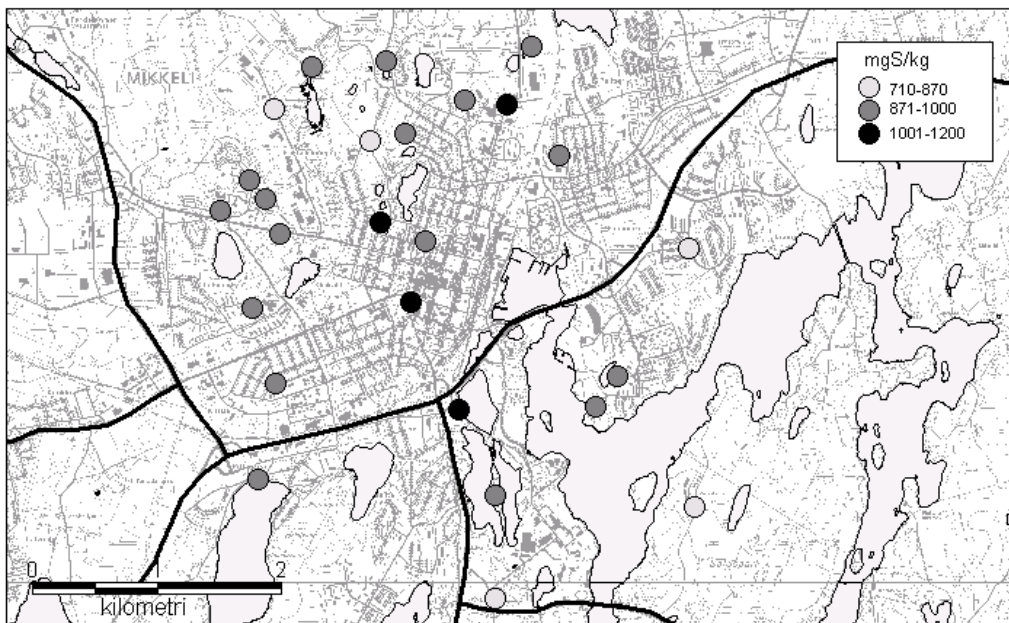
8.1 Neulasten rikkipitoisuus

Männyn neulasten luonnollisena rikkipitoisuutena pidetään Etelä-Suomessa noin 900 mg/kg:n pitoisuutta /35, s. 24/. Puiden ja eri metsiköiden välillä on mm. maan ravinnetilasta johtuvaa luonnollista hajontaa rikkipitoisuudessa, joka kuitenkin tasaantuu aineiston ollessa tarpeeksi laaja /9, s. 43/.

Oheisissa kuvissa (kuvat 7 ja 8) näkyy havaintopisteiden rikkipitoisuudet kolmeen eri luokkaan jaettuna. Pienimpään luokkaan (710 – 870 mg/kg) kuuluu 14 havaintopistettä, keskimmäiseen luokkaan (871 – 1000 mg/kg) kuuluu 27 havaintopistettä ja suurimpaan luokkaan (1001 - 1200 mg/kg) kuuluu kuusi havaintopistettä. Keskustan alueen tulokset näkyvät tarkemmin kuvasta 8.

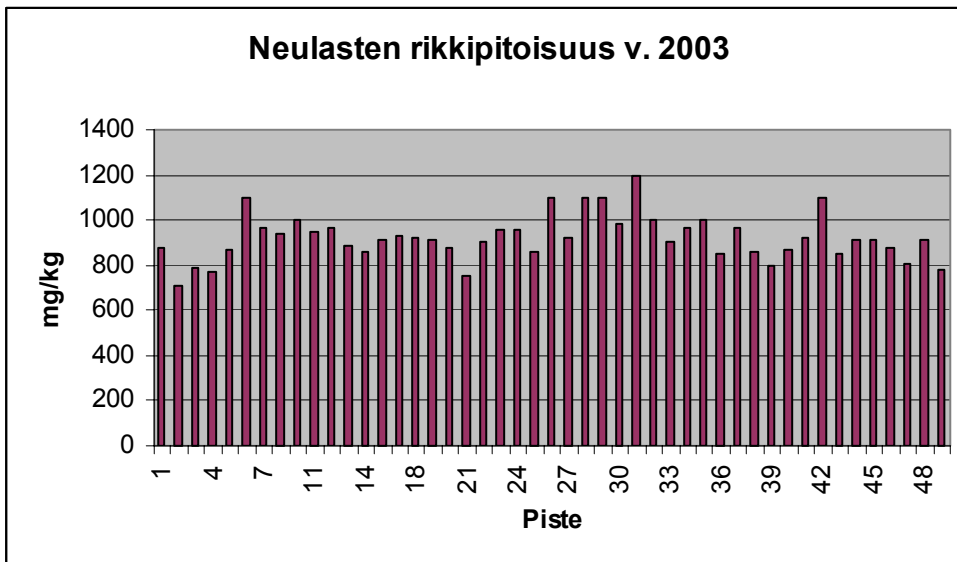


KUVA 7. Mäntyneulasten (II vuosikerta) rikkipitoisuus tutkituissa havaintopisteissä koko tutkimusalueella



KUVA 8. Mäntyneulasten (II vuosikerta) rikkipitoisuus tutkituissa havaintopisteissä Mikkelin keskustan alueella

Diagrammista kuvassa 9 nähdään, että rikkipitoisuuden vaihtelu ei ole kovin suurta, ja että hyvin pieniä tai hyvin suuria pitoisuuksia on melko vähän.



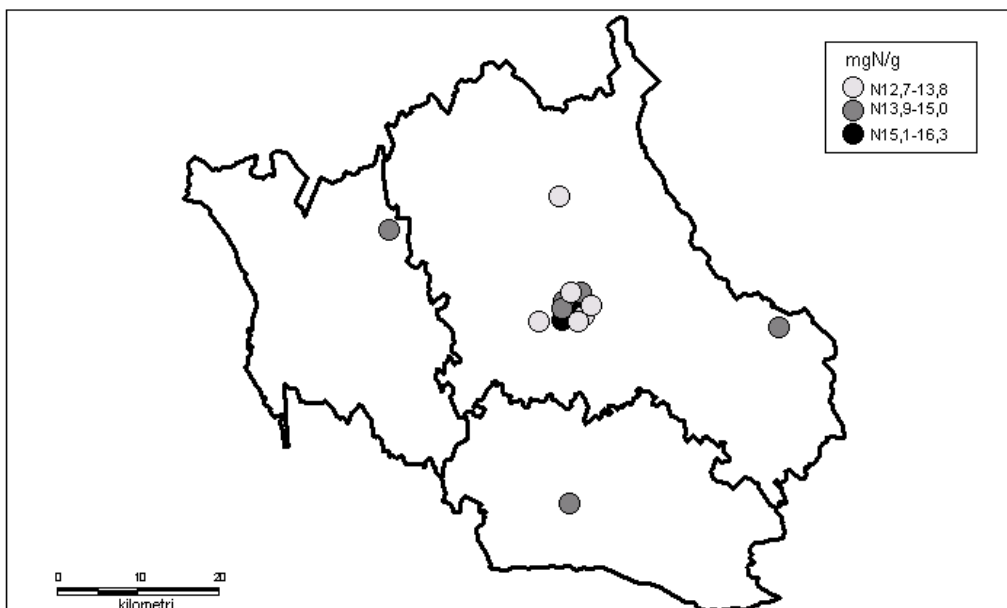
KUVA 9. Neulasten rikkipitoisuus kussakin havaintopisteessä

Neulasten rikkipitoisuudelle korkein arvo, 1 200 mg/kg, saatiin Rokkalan kaupunginosassa (piste 31). Matalin pitoisuus, 710 mg/kg, oli Anttolassa Kääriälän kylän läheisyydessä (piste 2). Rikkipitoisuuksien keskiarvo oli 920 mg/kg ja keskihajonta 100,9. Hirvensalmen, Mikkelin ja Ristiinan kuntien alueella havaintopisteitä oli seuraavasti: Hirvensalmella neljä, Mikkelissä 38 ja Ristiinassa viisi. Kuntien pisteiden rikkipitoisuuksien keskiarvoissa oli eroa niin, että Ristiinassa arvo oli pienin, 858 mg/kg, Mikkelissä 929 mg/kg ja Hirvensalmella 945 mg/kg.

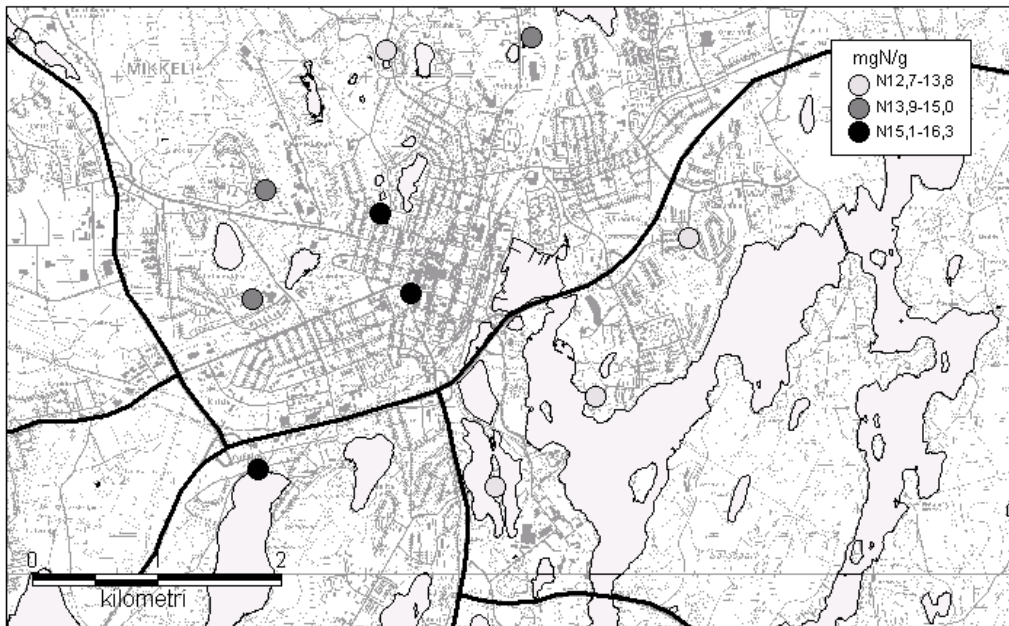
8.2 Neulasten typpipitoisuus

Kuten aikaisemmin todettiin, YK/ECE:n luokittelun mukaan korkean typpipitoisuuden raja-arvo neulasissa on 17 mg/g ja puolestaan matalan pitoisuuden raja-arvona pidetään 12 mg/g. /35, s. 25/. Tutkimusalueella kaikkien tutkittujen neulasten (15 havaintopistettä) typpipitoisuudet olivat yli 12 mg/g, mutta alle 17 mg/kg.

Oheisissa kuvissa (kuvat 10 ja 11) näkyy havaintopisteiden typpipitoisuudet kolmeen eri luokkaan jaettuna. Pienimpään luokkaan (12,7 – 13,8 mg/g) kuuluu kuusi havaintopistettä, keskimmäiseen luokkaan (13,9 – 15,0 mg/g) myös kuusi havaintopistettä ja suurimpaan luokkaan (15,1 – 16,3 mg/g) kolme havaintopistettä. Keskustan alueen tulokset näkyvät tarkemmin kuvasta 11.

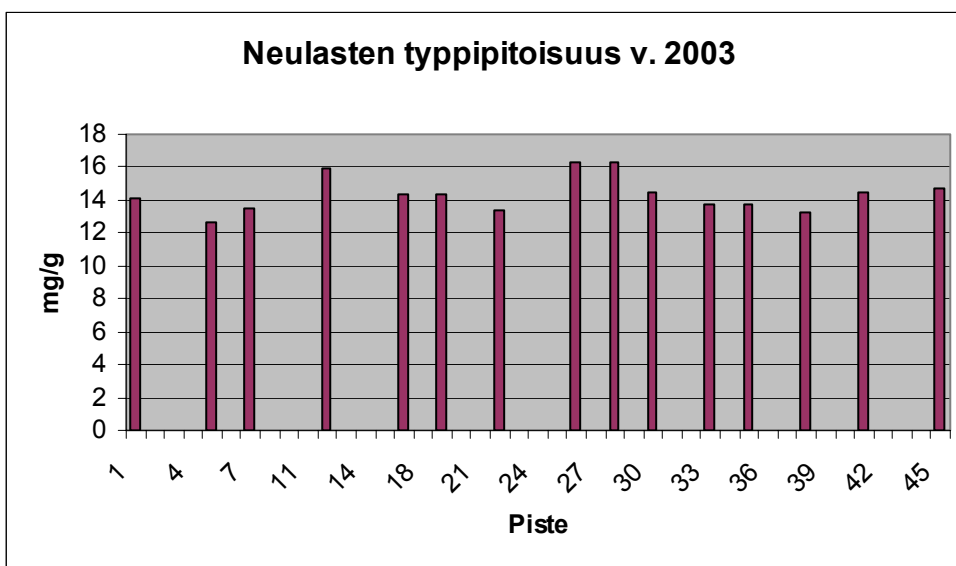


KUVA 10. Männyn neulasten (II vuosikerta) typpipitoisuus tutkituissa havaintopisteissä koko tutkimusalueella



KUVA 11. Männyn neulasten (II vuosikerta) typpipitoisuus tutkituissa havaintopisteissä Mikkelin keskustan alueella

Diagrammista kuvassa 12 nähdään, että typpipitoisuuden vaihtelut ovat kovin pienet. Tämä johtuu suurelta osin luontaisista tekijöistä.



KUVA 12. Neulasten typpipitoisuus kussakin havaintopisteessä

Neulasten typpipitoisuudelle korkein arvo, 16,3 mg/g, saatiin kahdesta pisteestä, joista molemmat sijaitsivat Mikkelin keskustan tuntumassa. Toinen pisteistä sijaitsi Myrkkylammen rannalla (piste 26) ja toinen aivan keskustassa, Urheilupuiston reunalla (piste 28). Matalin pitoisuus, 12,7 mg/g oli Mikkeliissä (entisen Mikkelin maalaiskunnan alueella) Valkeajärven rannalla (piste 5). Typpipitoisuuksien keskiarvo oli 14,4 mg/g ja keskihajonta 1,09. Hirvensalmen, Mikkelin ja Ristiinan kuntien alueella havaintopisteitä oli seuraavasti: Hirvensalmella yksi, Mikkeliissä 13 ja Ristiinassa yksi.

8.3 Neulasten vauriot

Neulasten vaurioista huomioitiin keltakärkisyyys ja kloroosin esiintyminen eli keltaiset pilkut ja laikut. Lisäksi huomioitiin neulasissa mahdollisesti esiintyvät muut vauriot. Keltakärkisyyttä ja kloroosia arvioitiin yhdessä jakaen näytteet neljään eri luokkaan (-, +, ++ ja +++) vaurioiden esiintymisen mukaan. Lieviä, maasta huomaamattomia neulasten värikoja, keltakärkisyyttä, keltaisia pilkkuja jne. pidetään melko yleisinä ja epäspesifisinä oireina. Kuitenkin

selvästi kuormitetuilla alueilla voidaan saada realistinen kuva ilmansaasteiden vaikutuksista puihin neulasnäytteiden tarkkan vaurioanalyysin avulla /9, s. 43/.

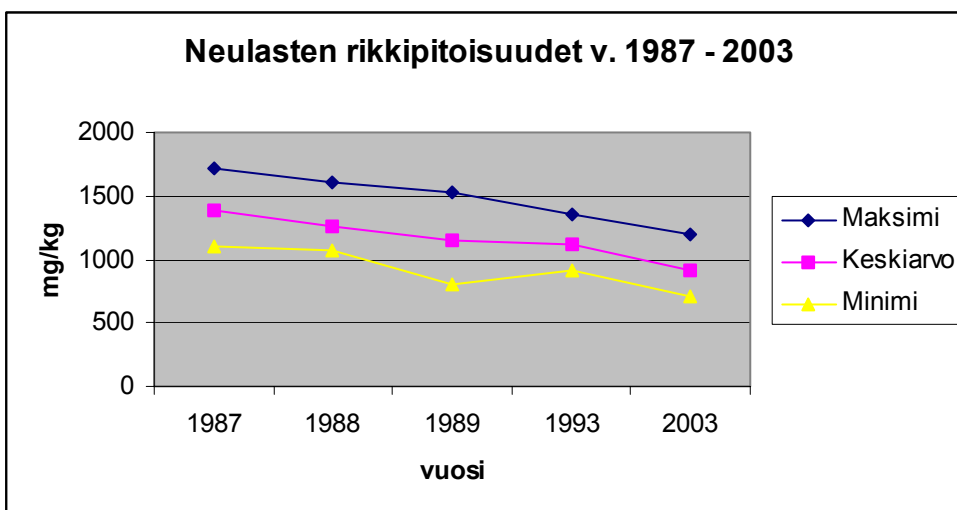
Kerätyissä neulasissa alle 1 - 2 mm neulasen kärjestä ulottuvaa keltakärkisyyttä esiintyi yleisesti. Keskimääräistä enemmän keltaisia pilkkuja ja laikkuja (kloroosia) esiintyi satunnaisesti koko tutkimusalueella. Tuloksissa kloroottisten neulasten ja korkean rikki- ja typpipitoisuuden välillä ei ole selvää yhteyttä.

9. Tulosten arviointi

Taulukosta 8 ja kuvasta 13 nähdään, että rikkipitoisuuden korkein pitoisuus on laskenut edelleen. Myös pienin pitoisuus ja keskiarvo ovat molemmat pienempiä kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Kuitenkin verrattaessa tuloksia vanhoihin tutkimuksiin, on huomioitava, että aikaisemmin tehtyjen tutkimusten analysoinnissa käytetty röntgenfluoresenssimenetelmä ei välttämättä anna tuloksia, joita voidaan verrata suoraan ICP-AES-tekniikalla analysoituihin neulasiin (katso kohta 5). Mikkelin seudulla vuosien 1993 ja 2003 analysoinnit on tehty ICP-AES – tekniikalla ja vuosien 1987, 1988 ja 1989 analysoinnit röntgenfluoresenssitekniikalla. Tuloksiin voi vaikuttaa myös näytteenoton ajankohta. Tässä tutkimuksessa näytteet otettiin tammikuussa ja edellisessä tutkimuksessa noin kahta kuukautta myöhemmin maaliskuussa. Näin ollen tässä tutkimuksessa neulaset olivat olleet puissa hieman lyhyemmän aikaa kuin edellisessä tutkimuksessa.

TAULUKKO 8. Neulasten rikkipitoisuuksien maksimi-, minimi- ja keskiarvoja viideltä eri vuodelta /4, s. 12/. * Analysoinnissa käytetty röntgenfluoresenssimenetelmää.

NEULASTEN RIKKIPITOISUUDET V. 1987 – 2003					
	1987*	1988*	1989*	1993	2003
Maksimi (mg/kg)	1711	1607	1530	1354	1200
Minimi (mg/kg)	1106	1076	800	918	710
Keskiarvo (mg/kg)	1380	1263	1153	1116	920



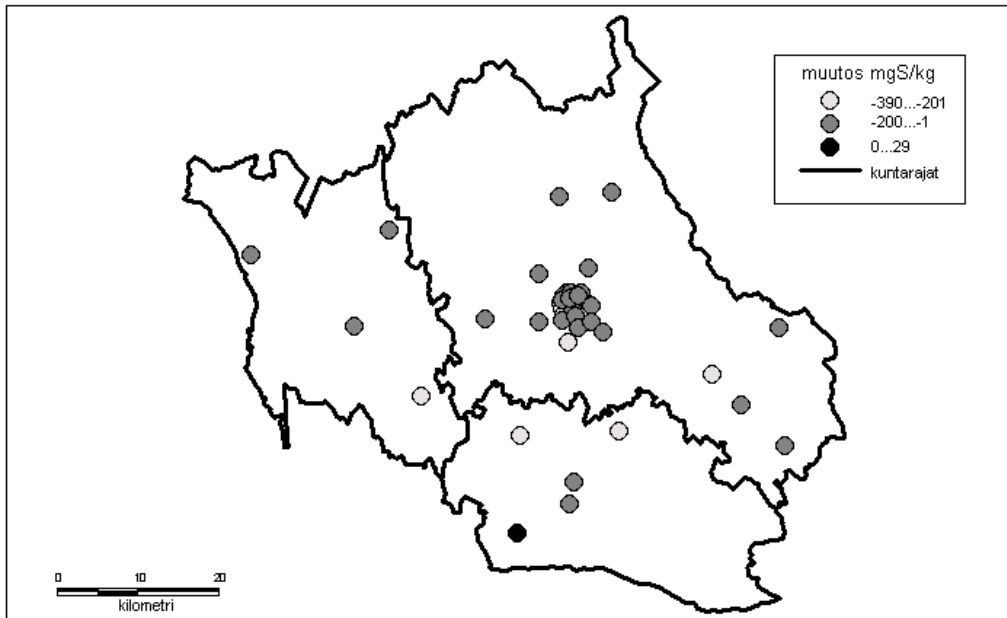
KUVA 13. Neulasten rikkipitoisuuden keskiarvo sekä minimi- ja maksimipitoisuudet vuosina 1987, 1988, 1989, 1993 ja 2003

Neulasten rikkipitoisuuksien keskihajonta oli vuoden 1993 tutkimuksessa 119,6 ja tässä tutkimuksessa keskihajonta oli 100,9. Keskihajonnan arvon pieneneminen tukee sitä ajatusta, että paikallistenpistelähteiden vaikutus neulasten rikkipitoisuuksiin on vähentynyt. Niin sanottujen taustapisteiden tulokset ovat pääsääntöisesti melko vähän pienempiä kuin taajamissa ja päästölähteiden läheisyydessä.

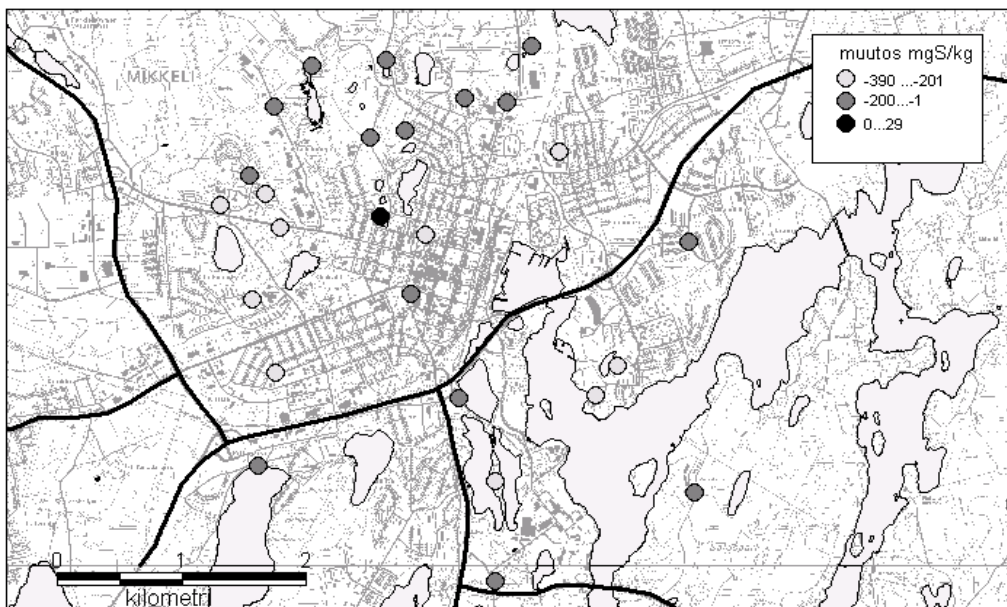
YK/ECE:n luokittelun mukaan matalan rikkipitoisuuden raja-arvo neulasissa on 1 100 mg/kg. Tässä tutkimuksessa ainoastaan yhdessä havaintopisteessä (piste 31) tämä arvo ylittyy. Kyseistä luokitusta käytettäessä neulasten

rikkipitoisuuden osalta tulokset ovat hyvät. Turun seudun ja Paraisten alueen ilman laadun seurannassa vuonna 2000 - 2001 neulasten rikkipitoisuudet olivat kuormitetulla alueella keskiarvoltaan 1 002 mg/kg, tausta-alueella 975 mg/kg ja Paraisten alueella 956 mg/kg /43, s. 32/.

Kuvista 14 ja 15 nähdään, että kahta pistettä (pisteet 26 ja 46) lukuun ottamatta jokaisen havaintopisteen rikkipitoisuus on pienentynyt edellisestä tutkimuksesta.



KUVA 14. Mäntynen neulasten (II vuosikerta) rikkipitoisuuden muutos vuosina 1993-2003 (- = muutos parempaan, + = muutos huonompaan)



KUVA 15. Mäntynen neulasten (II vuosikerta) rikkipitoisuuden muutos vuosina 1993-2003 Mikkelin keskustan alueella (- = muutos parempaan, + = muutos huonompaan)

Neulasten typpipitoisuuksia tutkittiin ensimmäistä kertaa kyseisellä alueella, joten tuloksia voidaan verrata ainoastaan muiden alueiden tutkimusten tuloksiin. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys selvitti vuoden 1995 tutkimuksessa myös yhden Hirvensalmen ja kahden silloisen Mikkelin maalaiskunnan pisteen mäntyjen neulasten rikki- ja typpipitoisuutta. Hirvensalmen osalta rikkipitoisuus oli 1220 mg/kg ja typpipitoisuus 1,67 % (=16,7 mg/g). Mikkelin maalaiskunnan pisteiden rikkipitoisuudet olivat 1200 mg/kg ja 1080 mg/kg sekä typpipitoisuudet 1,38 % (=13,8 mg/g) ja 1,37 % (=13,7 mg/g). /61./ Jos nyt tehdystä selvityksestä valitaan vuonna 1995 käytettyjä pisteitä lähinnä olevat havaintopisteet ja verrataan niiden tuloksia rikkipitoisuuden osalta, voidaan todeta, että kaikissa pitoisuus on laskenut.

Turun seudun ja Paraisten alueen ilman laadun seurannassa vuonna 2000 - 2001 neulasten typpipitoisuudet olivat kuormitetulla alueella keskiarvoltaan 14,0 mg/g, tausta-alueella 14,2 mg/g ja Paraisten alueella 13,7 mg/g /43, s. 32/. Itä-Uudenmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson ja osan Keski-Suomen alueen tutkimuksessa koko alueen keskiarvo typpipitoisuudelle oli 14,4 mg/g. Tutkimuksessa oli kaksi havaintopistettä silloisen Mikkelin maalaiskunnan alueella, joista eteläisen typpipitoisuus oli 12,3 mg/g ja pohjoisen pitoisuus 13,6 mg/g. Tutkimuksessa oli myös yksi piste Hirvensalmen alueella, jossa tulokseksi oli saatu 14,2 mg/g.

Neulasten typpipitoisuuksista havaitaan, että vilkkaasti liikennöityjen teiden läheisyydessä arvot ovat keskiarvoa korkeammat. Myös pistelähteiden vaikutus erottuu joissakin havaintopisteissä. Joidenkin tutkimusten mukaan neulasten typpipitoisuus korreloi sekä typpi- ja rikkilaskemien kanssa että neulasten rikkipitoisuuden kanssa /9, s. 56/. Tämän tutkimuksen tuloksista korrelaatiota ei kovin selkeästi huomaa, sillä typpipitoisuutta tutkittiin ainoastaan viidestätoista havaintopisteestä.

Kuivien, ruskeiden neulasten määrään on todennäköisesti vaikuttanut kuiva syksy ja aikaisin alkanut talvi. Näiden tekijöiden myötä kuivia neulasia esiintyi näytteenoton ajankohtana keskimääräistä enemmän.

10. Johtopäätökset

Bioindikaatiotutkimuksen avulla selvitetään ilman laatua pitkällä aikavälillä. Tämän tutkimuksen tulokset kertovat viimeisten kahden vuoden ajan neulasiin kertyneiden rikki- ja typpiepäpuhtauksien määrästä. Saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että Mikkelin seudun ilman laatu on parantunut ja epäpuhtauksien vaikutukset kasvillisuuteen ovat vähentyneet. Vertailuna voidaan käyttää 1980- ja 1990-luvulla tehtyjä tutkimuksia.

Rikkipitoisuuksien keskiarvo on laskenut edellisestä tutkimuksesta, mutta vähintään yhtä merkittävänä voidaan pitää keskihajonnan pienenemistä. Taustapisteiden ja kuormitetujen pisteiden välillä ei enää ole niin suuria eroja kuin aikaisemmin on ollut. Näin ollen luontaisten pitoisuuksien suhteellinen osuus on kasvanut edellisestä tutkimuksesta, eivätkä Mikkelin seudun pistelähteiden rikkipäästöt aiheuta huomattavaa kuormitusta alueen kasvillisuudelle. Tähän vaikuttaa oleellisesti alueen kuormittavan teollisuuden vähäisyys sekä erityisesti öljyä käyttävien voimalaitosten vuosittaisen käyttötuntimäärän olennainen pienentyminen viimeisen vuosikymmenen aikana.

Neulasten rikkipitoisuudet ovat olleet laskussa niin Mikkelin seudulla kuin muuallakin. Tämä on ollut odotettavissa, sillä rikkipäästöt ovat pienentyneet viime vuosina. Tärkeimpänä päästöjä vähentävänä tekijänä on ollut polttoaineiden rikkipitoisuuden huomattava lasku.

Typpipitoisuuden osalta tulokset olivat odotetun mukaiset eli kaikki pitoisuudet asettuivat korkean (17 mg/g) ja matalan (12 mg/g) raja-arvon välille. Liikenteen vaikutus erottui erityisesti kahdessa keskustan tuntumassa sijaitsevassa havaintopisteessä. Typpipitoisuus on suuruudeltaan samaa luokkaa muiden alueiden tutkimustulosten kanssa. Ennen tätä tutkimusta Mikkelin seudulla männyn neulasten typpipitoisuuksia on tutkittu ainoastaan kolmesta havaintopisteestä.

Monien alueiden tutkimuksissa on selvitetty neulasista rikin ja typen lisäksi myös raskasmetalleja sekä muita alkuaineita. Mikkelin seudulla sellaista laajaa tutkimusta ei ole tehty. Kymmenen vuoden kuluttua, jolloin seuranta tutkimus on jälleen ajankohtainen, tulee tutkimuksen toteuttamistapaa harkita, sillä siihen mennessä jokin muu voi nousta rikkiä tärkeämmäksi seurattavaksi tekijäksi. Myös typen määrittystä ja siihen käytettävien pisteiden määrää tulee pohtia. Rikin seurannan tärkeys voi vähentyä erityisesti, jos rikkipäästöjen pieneneminen jatkuu edelleen. Arvion mukaan Suomen rikkidioksidipäästöt vähenevät vuoteen 2010 mennessä noin 10 000 tonnia /15/.

Bioindikaatiotutkimukset ovat olleet käytössä jo vuosikymmeniä, mutta ne ovat edelleen suosittuja ilman laadun seurannassa. Uusia menetelmiä ilman laadun seurantaan on tullut ja todennäköisesti tulee jatkuvasti, mutta bioindikaation etuna on menetelmän edullisuus ja tulosten nopea saatavuus. Bioindikaattoriseuranta edellyttää kuitenkin melko muuttumatonta ympäristöä, jotta tulokset olisivat luotettavia. Menetelmän etuna on kuitenkin se, että tulokset kertovat suoraan ympäristömuutosten aiheuttamista vaikutuksista. Bioindikaattoriseurannan heikkouksina muihin menetelmiin verrattuna on menetelmien kirjavuus. Saastuneilla alueilla bioindikaattorilajien puuttuminen voi myös estää menetelmän käytön. Tulosten tulkinnassa on myös varmistettava, että tulokset kertovat juuri siitä muutoksesta, jota on haluttu tutkia. Eri alueiden tuloksia vertailtaessa on huomioitava muiden vaikuttavien tekijöiden, esimerkiksi maaperän osuus. Näiden kaikkien tekijöiden johdosta bioindikaattoriseurannan suorittaminen vaatii huolellista perehtymistä menetelmään. Kuitenkin uskon, että se säilyttää suosionsa alueellisessa ilman laadun seurannassa.

11. LÄHTEET

- 1 Mikkelin seudun terveydenhuollon kuntayhtymän ympäristölautakunta - Mikkelin seudun ympäristökeskus. Mikkelin seutu 21 – Kestävää kehitystä elinvoimaisessa ympäristössä. 1997. ISBN 952-9861-31-1.
- 2 Mikkelin kaupunki. Agenda 21. WWW-dokumentti. <http://www.mikkeli.fi/ymparisto/agenmise.html>. Ei päivytystietoa. Viitattu 24.10.2002.
- 3 Mikkelin kaupunki. Agenda 21. WWW-dokumentti. <http://www.mikkeli.fi/ymparisto/mittarilue.html>. Ei päivytystietoa. Viitattu 24.10.2002.
- 4 Savo, Marita. Ilmanlaadun bioindikaatiotutkimukset Mikkelin seudulla 1993-94. Mikkelin seudun ympäristökeskus. 1994.
- 5 Valtioneuvosto. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. N:o 711 9.8.2001.
- 6 Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Ympäristön tila. WWW-dokumentti. http://www.hel.fi/ymparistotila/katsaus_ympariston_tilaan/f_ympariston_ilmanlaatu.htm. Ei päivytystietoa. Viitattu 7.1.2003.
- 7 Savo, Marita. Ilman laadun mittaukset Mikkeliissä 1996. Mikkelin seudun ympäristökeskus. 1997.
- 8 Hämälä, Sirpa & Laine, Jouko & Vesa, Paula. Ilmansuojelutekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 1992. ISBN 951-9004-44-0.
- 9 Pihlström, Mikael & Myllyvirta, Tero. Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja vaikutustutkimus 1999-2000. Porvoo: Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry.
- 10 Hyvärinen, Arja & Jukola-Sulonen, Eeva-Liisa & Mikkeli, Heli & Nieminen, Tiina. Metsäluonto ja ilmansaasteet. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. ISBN 951-40-1270-4.
- 11 Tilastokeskus. Ympäristö ja energia. WWW-dokumentti. http://www.tilastokeskus.fi/tk/tp/tasku/taskus_energia.html. Päivitetty 9.8.2002. Viitattu 23.12.2002.
- 12 Happamoitumistoimikunnan mietintö. Helsinki: Ympäristöministeriö, 1998. Suomen ympäristö 219. ISBN 952-11-0303-5. ISSN 1238-7312.
- 13 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). LIISA 2001.1. WWW-dokumentti. <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/so2s.htm>. Ei päivytystietoja. Viitattu 29.11.2002.
- 14 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). LIISA 2001.1. WWW-dokumentti. <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/noxs.htm>. Ei päivytystietoja. Viitattu 29.11.2002.
- 15 Hakala, Harri & Välimäki, Jari. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Helsinki. 2003. Suomen ympäristökeskus. ISBN 951-662-875-3.
- 16 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). VTT tiedotteita 2177. WWW-julkaisu. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2177.pdf>. Ei päivytystietoja. Viitattu 27.3.2003.
- 17 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). LIPASTO 2002 laskentajärjestelmä. WWW-dokumentti. <http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto/paasto02.htm>. Päivitetty 27.3.2003. Viitattu 15.4.2003.
- 18 Tilastokeskus. Ympäristö ja energia. WWW-dokumentti. <http://www.tilastokeskus.fi/tk/yr/yesox.html>. Päivitetty 9.8.2002. Viitattu 19.12.2002.
- 19 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristönsuojelu. WWW-dokumentti. <http://www.vyh.fi/ympsuo/ilma/happa/kvsop.htm>. Päivitetty 16.1.2001. Viitattu 11.3.2003.
- 20 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristön tila. WWW-dokumentti. <http://www.vyh.fi/tila/psa/tila90/ilma/laskeuma.htm>. Päivitetty 23.8.1999. Viitattu 12.3.2003.
- 21 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristötutkimus. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/tutkimus/seuranta/laskeuma/laskeuma.htm>. Päivitetty 16.12.2002. Viitattu 6.2.2003.
- 22 Valtioneuvosto. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. N:o 480 19.6.1996.
- 23 Tilastokeskus. Ympäristö ja energia. WWW-dokumentti. <http://www.tilastokeskus.fi/tk/yr/yenox.html>. Päivitetty 9.8.2002. Viitattu 19.12.2002.
- 24 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristön tila. WWW-dokumentti. <http://www.vyh.fi/tila/happam/happam.htm>. Päivitetty 13.12.2000. Viitattu 29.11.2002.
- 25 Adato Energia Oy & Energia-alan työnantajayhdistys ry & Energia-alan Keskusliitto ry & Sähköenergialiitto ry & Suomen kaukolämpö ry. Ympäristö ja energiansäästö. WWW-dokumentti. <http://www.energia.fi/page.asp?Section=172>. Ei päivytystietoja. Viitattu 19.12.2002.
- 26 Kangas, Leena. Rikki- ja typpiyhdisteiden pitoisuudet Suomessa – Malli- ja mittaustulosten vertailu. Teknillinen korkeakoulu. <http://www.sal.hut.fi/Publications/pdf-files/tkan99.pdf>. Ei päivytystietoja. Viitattu 27.3.2003.
- 27 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristön tila. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/tila/ilma/paastot/paastot.htm>. Päivitetty 11.2.2003. Viitattu 27.3.2003.
- 28 Silvo, Kimmo & Melanen, Matti & Gynther, Lea & Torkkeli, Sirpa & Seppälä, Jyri & Kärmeniemi, Tellervo & Pesari, Juha. Yhtenäinen päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi – Lähestymistapoja ympäristöprosessin

- tueksi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 2000. Suomen ympäristö 373. ISBN 952-11-0630-1. ISSN 1238-7312.
- 29 Melanen, Matti & Ekqvist, Marko (toim.). Suomen ilmapäästöt ja niiden skenaariot (SIPS-projekti) - Tietojärjestelmän tietopohja ja alustavia tuloksia. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 1997. Suomen ympäristö 131. ISBN 952-11-0594-1. ISSN 1238-7312.
- 30 Ilmatieteenlaitos. Ilmanlaatu. WWW-dokumentti. http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu/ilatutki_2.html. Ei päivitystietoja. Viitattu 27.12.2002.
- 31 Ilmatieteenlaitos. Ilmanlaatu. WWW-dokumentti. <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu/ilatausta.html>. Ei päivitystietoja. Viitattu 19.12.2002.
- 32 Valtion ympäristöhallinto. Ympäristönsuojelu. WWW-dokumentti. <http://www.vyh.fi/ympsuo/ilma/happa/happamoi.htm>. Päivitetty 30.6.2000. Viitattu 29.11.2002.
- 33 Ilmatieteenlaitos. Ilmanlaatu. WWW-dokumentti. http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu/ilakaupu_3.html. Ei päivitystietoja. Viitattu 20.12.2002.
- 34 Jussila, Ilkka & Joensuu, Elina & Laihonon, Pasi. Ilman laadun bioindikaattorisuranta metsäympäristössä. Helsinki: Ympäristöministeriö, 1999. Ympäristöopas 59. ISBN 952-11-0458-9. ISSN 1238-8602.
- 35 Pöykiö, Risto. Assessing industrial pollution by means of environmental samples in the Kemi-Tornio region. Oulu: 2002. Department of Chemistry, University of Oulu.
- 36 Niskanen, Ilkka & Ellonen, Tuomo & Nousiainen, Olli. uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2000 ja 2001. Helsinki: Uudenmaan ympäristökeskus, 2001. Alueelliset ympäristöjulkaisut 238. ISBN 952-11-0999-8. ISSN 1238-8610.
- 37 Kuopion Luonnon Ystävien Yhdistys ry. Maaekosysteemit vaarassa – uhkat ilmakehästä. Kuopion yliopisto. WWW-dokumentti. http://www.uku.fi/laitokset/ekolog/uhkat/kolmena_osana/uhka01.htm. Ei päivitystietoja. Viitattu 11.2.2003.
- 38 Niskanen, Ilkka. Henkilökohtainen tiedonanto. 18.2.2003.
- 39 Metsätutkimuslaitos. Metsien kunto ja monimuotoisuus. WWW-julkaisu. http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinenvsk/2001/vsk01_02.pdf. Ei päivitystietoja. Viitattu 3.1.2003.
- 40 Kokko, Aira & Mäkelä, Katariina & Tuominen, Seppo. Runkoepifyttiseuranta Suomen ympäristön yhdenntyn seurannan alueilla vuosina 1988-1998. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 2001. Suomen ympäristö 476. ISBN 952-11-0881-9. ISSN 1238-7312.
- 41 Suomen Standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS 5794. Painokartano Ky. Helsinki.
- 42 Jussila, Ilkka & Ojanen, Mikko. Turun seudun ja Paraisten alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 2000-2001. Turun yliopisto - Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. 2002. Sykesarja B 14. ISBN 951-29-2262-2. ISSN 0788-6160.
- 43 Bartels, U. ICP-forests. Results, 3rd needle/leaf interlaboratory test 1997/98. 1998. UN/ECE-EC. 81 s.
- 44 Maanmittauslaitos. Kartat & kuvapalvelut. WWW-dokumentti. <http://www.nls.fi/kartta/julkaisu/alat2001.html>. Päivitetty 7.3.2001. Viitattu 6.2.2003.
- 45 Väestörekisterikeskus. Tilastot. WWW-dokumentti. [http://www.vaestorekisterikeskus.fi/vrk/home.nsf/pages/9C9C3D5C2A96163BC2256CAF0053543B/\\$file/2002-2003.xls](http://www.vaestorekisterikeskus.fi/vrk/home.nsf/pages/9C9C3D5C2A96163BC2256CAF0053543B/$file/2002-2003.xls). Ei päivitystietoja. Viitattu 2.4.2003.
- 46 Hirvensalmen kunta. Matkailu. WWW-dokumentti. <http://www.hirvensalmi.fi/yleis.htm>. Ei päivitystietoja. Viitattu 8.11.2002.
- 47 Ristiinan kunta. Perustietoa Ristiinasta. WWW-dokumentti. <http://www.ristiina.fi>. Ei päivitystietoja. Viitattu 8.11.2002.
- 48 Mikkelin kaupunki. Tilastokirja 2002. WWW-dokumentti. http://www.mikkeli.fi/perustiedot/Tilastot_200.../rakennukset_kayttotarkoituk-sen_m.html. Ei päivitystietoja. Viitattu 15.11.2002.
- 49 Tilastokeskus. Suomi lukuina. WWW-dokumentti. http://tilastokeskus.fi/tk/he/vaesto_vakilukuvarvio.xls. Ei päivitystietoja. Viitattu 14.2.2003.
- 50 Valtion ympäristöhallinto. Etelä-Savon ympäristöohjelma. Etelä-Savon ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/poltavo/ohjelma/esa/yohj.htm>. Päivitetty 15.3.2001. Viitattu 12.2.2003.
- 51 Tikkanen, Olli-Pekka. Hirvensalmen luonto ja arvokkaat luontokohteet. 1994. Mikkelin seudun ympäristökeskus. ISBN 952-9861-10-9.
- 52 Autio, Saara. Ristiinan luonto ja arvokkaat luontokohteet. 1995. Mikkelin seudun ympäristökeskus. ISBN 952-9861-21-4.
- 53 Etelä-Savon metsäkeskus. Henkilökohtainen tiedonanto. 2003.
- 54 Mustonen, Tiina. Mikkelin maalaiskunnan luonto ja arvokkaat luontokohteet. 1997. Mikkelin seudun ympäristökeskus. ISBN 952-9861-36-2.
- 55 Geologinen tutkimuslaitos. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Sheet 3142 Mikkeli. 1980. Maanmittaushallitus.
- 56 Ympäristösuunnittelu Enviro Oy. Anttolan luonto ja arvokkaat luontokohteet. 1998. Mikkelin seudun ympäristökeskus. ISBN 952-9861-39-7.
- 57 Mikkelin kaupunki. Luonto- ja luonnonsuojelu. WWW-dokumentti. <http://www.mikkeli.fi/ymparisto/Mikkelinluonto.html>. Ei päivitystietoja. Viitattu 15.11.2002.
- 58 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). LIISA 2001.1. <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/index.htm>. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoja. Viitattu 13.12.2002.

- 59 VAHTI-tietojärjestelmä. Valtion ympäristöhallinnon tietojärjestelmä.
- 60 Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). LIISA 2001.1. WWW-dokumentti.
<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/itasuomi.xls>. Ei päivitystietoja. Viitattu 13.12.2002.
- 61 Pihlström, Mikael & Myllyvirta, Tero. Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja vaikutustutkimus Itä-Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Porvoo: Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry.
- 62 Holopainen, Toini. Maaekosysteemit vaarassa – uhkat ilmacehstä. Ekologisen ympäristötieteen laitos, Kuopion yliopisto. Kuopion Luonnon Ystävien Yhdistys ry. WWW-dokumentti.
<http://www.uku.fi/departments/ecolenvsci/uhkat/6Yhteiso/Vuorovai/mykouhka.htm>. Ei päivitystietoja. Viitattu 3.4.2003.