



# **Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöjen vaikutus laskeumaan Kostamuksen ympäristössä ja Kainuussa**

Jarmo Poikolainen  
Harri Lippo

MUHOKSEN TUTKIMUSASEMA





# **Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöjen vaikutus laskeumaan Kostamuksen ympäristössä ja Kainuussa**

Jarmo Poikolainen  
Harri Lippo

**Poikolainen, J. & Lippo, Harri 2000.** Kostamuksen rautapellettitehtaan päästöjen vaikutus laskeumaan Kostamuksen ympäristössä ja Kainuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 759. 33 s. ISBN 951-40-1716-1, ISSN 0358-4283.

Kostamuksen rautapellettitehtaan suuret rikki päästöt aivan Suomen itärajan tuntumassa ovat vakava uhka metsien terveydentalle Kostamuksessa ja Kainuussa. Vuosina 1992-95 Metla toteutti yhteistyössä venäläisten tutkijoiden kanssa ”Karjalan metsien terveydentila”-projektin, jossa tutkittiin yhtenä osana Kostamuksen ja Kainuun alueelle tulevaa laskeumaa ja sen vaikutuksia metsien terveydentilaan. Laskeumatutkimuksia jatkettiin YM:n rahoituksella vuoteen 1998 saakka. Alunperin jatkotutkimusten tarkoituksena oli selvittää tehtaalle asennettujen suodatinlaitteiden vaikutusta laskeumaan, mutta laitteet eivät ole vielä kukaan toiminnassa.

Pellettitehtaan päästöt nostivat selvästi etenkin rikin, raudan ja kalsiumin laskeumaa, selvimmin 10-20 km:n säteellä tehtaasta, mutta jossain määrin myös Kainuussa. Rikastamon vuotuiset rikkipäästöt ovat vähentyneet 1990-luvulla 60 000 tonnista 40 000 tonniin, mikä näkyi myös rikkilaskeumassa. Se väheni vuosina 1996-98 Kainuussa keskimäärin 22 % ja Kostamuksessa 12 % vuosien 1993-1995 laskeumasta. Myös raskasmetallien laskeumissa tapahtui selvää vähenemistä. Rikki- ja raskasmetallilaskeuman väheneminen ei johdu kuitenkaan pelkästään Kostamuksen päästöjen vähenemisestä.

Tehtaan päästöt näkyivät myös erilaisissa bioindikaattoreissa ja maaperässä mm. kohonneina rikkipitoisuuksina 10-20 km:n säteellä rikastamosta. Pitoisuudet vähenivät nopeasti länteenpäin niin, että Kainuussa ei voitu erottaa enää mitään selvää laskevaa trendiä. Suurista rikkipäästöistä huolimatta vain vajoveden korkea alumiinipitoisuus lähellä tehdasta viittasi maaperän happamoitumiseen. Rikkipäästöjen supistumisesta huolimatta rikkilaskeuma on Kostamuksen ympäristössä edelleenkin niin suuri, että se aiheuttaa ajan mittaan muutoksia metsäekosysteemeissä. Savukaasujen puhdistuslaitteet pitäisi saada pikimmiten tehtaan savupiippuihin, mikä alentaisi rikkilaskeumaa laajoilla alueilla Kostamuksessa ja Kainuussa.

**Julkaisija:** Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema.

Hanke 309104. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 14.12.1999.

**Taitto:** Irene Murtovaara

**Kansikuva:** Kostamuksen rautapellettitehtaan (Karjalan Pelletti Oy) tuotantolaitoksia. Valokuva Jarmo Poikolainen.

**Painopaikka:** Mattilan kirjapaino, Oulu

**Tilaukset:** Metsäntutkimuslaitos, Kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa. Puh. (09) 8570 5580, faksi: (09) 8570 5582. Teleksi: 121298 metla fi. Sähköposti: kirjasto@metla.fi

**Kirjoittajien yhteystiedot:** Jarmo Poikolainen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos. Puh. (08) 531 2253, faksi: (08) 531 2211. Sähköposti: jarmo.poikolainen@metla.fi

Harri Lippo menehtyi liikenneonnettomuudessa 11.9.1998.

# Sisällys

<b>1 Johdanto</b> .....	<b>5</b>
1.1 Metsien merkityksestä Kainuun ja Kostamuksen alueilla .....	5
1.2 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet .....	5
<b>2 Menetelmät ja aineistot</b> .....	<b>7</b>
2.1 Kostamuksen päästöt .....	7
2.2 Päästöt Karjalan tasavallan alueella .....	8
2.3 Päästöt Kainuussa ja muualla Oulun läänissä .....	8
2.4 Muualta Kainuun ja Kostamuksen alueelle kulkeutuvat päästöt .....	9
2.5 Ilmasto-olot tutkimusalueella .....	10
2.6 Tutkimusalue .....	11
2.6.1 Näytealat .....	11
2.6.2 Laskeumamittaukset .....	13
2.6.3 Rikki- ja raskasmetallilaskeuman kartoitus sammalten avulla .....	14
2.6.4 Puuston ravinnetilan määrittäminen neulasnäytteistä .....	14
<b>3 Tulokset</b> .....	<b>15</b>
3.1 Laskeuma .....	15
3.1.1 Rikkilaskeuma .....	15
3.1.2 Typpilaskeuma .....	15
3.1.3 Hiukkaslaskeuma .....	17
3.2 Maaveden laatu .....	19
3.3 Rikki- ja raskasmetallilaskeuman kartoitus sammalten avulla .....	20
3.3.1 Sammalten rikkipitoisuus .....	20
3.3.2 Sammalten raskasmetallipitoisuus .....	21
3.4 Puiden ravinnetila neulasanalyysien perusteella .....	22
<b>4 Tulosten tarkastelua</b> .....	<b>24</b>
4.1 Rikki- ja typpilaskeuma .....	24
4.2 Raskasmetallilaskeuma .....	25
4.3 Puuston ravinnetila .....	26
<b>5 Yhteenveto</b> .....	<b>27</b>
<b>Kiitokset</b> .....	<b>28</b>
<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>28</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>31</b>



# 1 Johdanto

## 1.1 Metsien merkityksestä Kainuun ja Kostamuksen alueilla

Metsillä on Kainuussa ollut koko sen asutushistorian ajan poikkeuksellisen suuri taloudellinen merkitys. Puun lisäksi metsistä on saatu monia muita tuotteita. Kainuu on esimerkiksi tärkein metsämarjojen poiminta-alue Suomessa. Luonnontuotteiden keräykseen ja metsien virkistyskäyttöön on panostettu viime vuosina entistä enemmän. Kainuu on mielletty myös puhtaaksi ilmaansaasteista ja sen maatalous- ja luonnontuotteita on pidetty puhtaina.

Kainuuseen rajoittuvilla alueilla Karjalan tasavallan puolella on myös mittavat metsävarat. Metsät ovat pääosin mäntyvaltaisia ja niiden luonnontilaisuuden aste on korkea, sillä rajan läheisillä alueilla ei ole ollut vuosikymmeniin laajamittaisia hakkuita. Paikallinen väestö on käyttänyt monipuolisesti metsiä hyväkseen. Kuivilta mäntykankailta on kerätty mm. pihkaa teollisuudelle aivan viime vuosiin saakka. Marjoja ja sieniä on poimittu aina runsaasti omaan käyttöön. Viime vuosina luonnontuotteiden keruu on Venäjällä talouslaman myötä entisestään lisääntynyt ja mm. suomalaiset marjanvälittäjät ovat ostaneet huomattavia määriä marjoja Kostamuksesta.

Rajaseudun metsäalueet ovat luonnonsuojelullisesti arvokkaita. Varsinkin Venäjän puolella on vielä runsaasti lähes luonnontilaisia vanhoja metsiä, joissa elää monia uhanalaisia eliölajeja. Rajaseudun metsiä on pyritty suojelemaan ja tarkoituksena on muodostaa yhtenäisiä suuria suojelualueita rajan molemmin puolin. Rajaseudulla sijaitsee jo Kostamuksen luonnonpuisto, jonka pinta-ala on 47 600 ha. Suomen puolella suojelualueet ovat pienialaisempia ja

ne ovat hajallaan. Rajaseudulla on mm. Ulvinsalon luonnonpuisto, useita luonnonsuojelu- ja soidensuojelualueita mm. Eli-myssalo, Martinselkonen ja Murhinsalo.

Mittaviin metsävaroihin nähden Kainuussa ja Karjalan tasavallan pohjoisosissa on suhteellisen vähän suuria metsäteollisuusyrityksiä. Kainuussa on UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin paperitehdas, joka käyttää raaka-aineenaan kuusta. Kainuussa on myös jonkin verran sahateollisuutta. Kostamuksen alueella ei ole mainittavaa metsäteollisuutta. Etelämpänä Karjalan tasavallassa on kaksi suurta sellu- ja paperitehdasta, toinen Kontupohjassa ja toinen Segezhassa. Viime vuosina hakkuut ovat lisääntyneet voimakkaasti Kostamuksen alueella ja raakapuuta on tuotu Karjalan alueelta runsaasti Suomeen.

## 1.2 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Metsien käyttöä Kainuussa ja Kostamuksessa on viime vuosina varjostanut huoli metsien terveydentilasta. Suomen itärajan takaisten päästöjen uhka luonnolle tuli esiin laajemmassa mitassa 1980-luvun lopulla, jolloin Venäjän teollisuuslaitosten päästömääristä alettiin saada tarkempia tietoja. Ennen kaikkea esiin nousi Kuolan sulattojen valtavien rikki- ja raskasmetallipäästöjen uhka Lapin metsien terveydelle. Kuolan päästöjen vaikutusten selvittämiseksi Lapissa perustettiin laaja Itä-Lapin metsävaurioprojekti, johon osallistui tutkijoita useista valtion tutkimuslaitoksista ja yliopistoista (Tikkanen 1995). Kuolan ohella huolta aiheuttivat myös etelämpänä Suomen itärajan läheisyydessä, Leningradin, Petroskoin ja Kostamuksen alueilla sijaitsevat suuret päästölähteet. Näiltä alueilta ja Bal-



tian maista ilmaan pääsevien rikki-, typpi- ja raskasmetallipäästöjen katsottiin vaarantavan Kaakkois- ja Itä-Suomen metsien terveyttä.

Metsäntutkimuslaitos toteutti yhteistyössä venäläisten sopijaosapuolten, ”Lesprojektin” ja Karjalan tiedekeskuksen metsäinstituutin, kanssa vuosina 1992-1995 ”Karjalan metsien terveydentila” projektin, jossa tutkittiin hyvin monipuolisesti toisaalta Kaakkois-Suomen - Karjalan kannaksen alueelle ja toisaalta Kainuun - Kostamuksen alueelle tulevaa laskeumaa ja sen vaikutusta metsien terveydentilaan (Lumme 1994, Lumme ym. 1997). Hanke liittyi osana Suomen ja Venäjän luoteisosien väliseen ympäristönsuojeluyhteistyöhön. Hankkeen rahoittajina toimivat tutkimusorganisaatioiden lisäksi Suomesta Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö sekä Suomen ja Venäjän välinen tiede- ja teknologiayhteistyökomissio ja Venäjältä Venäjän Federaation metsävirasto, Leningradin alueen ympäristöhallinto ja Venäjän Tiedeakatemia.

Ympäristöministeriö on avustanut koko 1990-luvun Suomen lähialueille, Baltian maihin ja Venäjälle ilman- ja vesiensuojeluun liittyvien puhdistuslaitteiden rakentamista. Ministeriö avusti myös suodatinlaitteiden asennusta Kostamuksen rautapellettitehtaan (Karjalan Pelletti Oy) savupiippuihin tämän vuosikymmenen puolivälissä. Laitteiden asennustyöt yhteen tehtaan kolmesta piipusta olivat vuonna 1996 niin pitkällä, että laitteet olivat jo koekäytössä ja niiden oletettiin tulevan pysyvästi käyttöön vuonna 1997. Tämän perusteella päätettiin selvittää, miten suodatinlaitteet vaikuttavat laskeuman määrään Kostamuksen ja Kainuun alueilla. Hyvänä vertailupohjana tutkimuksille oli ”Karjalan metsien terveydentila”-projektissa saatu tieto Kainuun ja Kostamuksen alueille tulevasta laskeumasta vuosina 1992-1995, jolloin Kostamuksen

pellettitehtaan savukaasut pääsivät lähes puhdistamattomina ilmaan. Suodatinlaitteita ei saatu kuitenkaan toimintaan vuoden 1997 aikana eivätkä ne ole vielä tänä päivänäkään käytössä.

Laskeumatutkimusta jatkettiin Ympäristöministeriön avustuksella aina vuoden 1998 loppuun saakka olettaen, että suodatinlaitteet saadaan ongelmista huolimatta asennettua. Koska suodatinlaitteiden asennuksesta ei vuoden 1998 aikana saatu varmuutta, tutkimukset lopetettiin vuoden 1998 lopussa toistaiseksi. Pellettitehtaan savukaasujen päästömäärissä on tapahtunut tutkimusjaksolla kuitenkin siinä määrin vähennystä, että se vastaa lähes puolta yhteen piippuun asennettujen suodatinlaitteiden vaikutusta päästömääriin, mikäli tuotanto olisi pysynyt samalla tasolla kuin vuosina 1992-1995. Jatkotutkimuksissa selvitettiin sadevesistä ja lumesta Kostamuksen ja Kainuun alueille tulevan laskeuman määrää ja laatua. Lisäksi tutkittiin laskeuman vaikutusta maaveden laatuun. Raskasmetallilaskeumaa kartoitettiin sammalnäytteistä. Koska metsikkösadannassa puusto vaikuttaa merkittävästi sadeveden laatuun, jatkotutkimuksissa selvitettiin myös puiden ravinnetilaa neulasanalyysien avulla. Tässä raportissa jatkotutkimusten tulokset vuosilta 1996-1998 on pääosin esitetty siten, että niitä on verrattu ”Karjalan metsien terveydentila”-projektissa vuosina 1992-1995 saatuihin tuloksiin. Tutkimus on tehty yhteistyössä Karjalan tiedekeskuksen metsäinstituutin kanssa. Kostamuksen luonnonsuojeluyksikkö on avustanut maastotoissa ja erilaisten lupien hankinnassa.

## 2 Menetelmät ja aineistot

### 2.1 Kostamuksen päästöt

Kostamuksen kaupunki, kaivos ja rautapellettitehdas rakennettiin suomalais-venäläisenä yhteistyönä vuosina 1977-1982. Tehdas aloitti toimintansa vuonna 1982 (kuva 1). Sen savukaasut pääsevät käytännössä lähes puhdistamattomina ilmaan, vaikka sen 120 metrin korkuisissa piipuissa onkin mekaanisia puhdistuslaitteita isoimpien partikkeleiden erottamiseksi. Kostamuksen rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet 1980-luvun lopun yli 60 000 tonnista noin 40 000 tonniin vuodessa (taulukko 1). Päästöjen väheneminen johtuu pääasiassa tehtaan tuotannon supistumisesta. Päästöjen vähenemisestä huolimatta rikastamon vuotuiset

rikkipäästöt ovat vieläkin yli nelinkertaiset koko Oulun läänin rikkipäästöihin verrattuna. Tehtaan typen oksidien päästöt ovat olleet viime vuosina noin 1 200 tn/v ja hiukkaspäästöt noin 5 000 tn/v. Hiukkaspöly sisältää pääasiassa kalsiumia ja rautaa. Siinä on vähäisessä määrin myös muita raskasmetalleja, lähinnä nikkeliä, kromia, titania ja vanadiinia. Kalkin suuri määrä päästöissä johtuu siitä, että sitä käytetään pellettien valmistusprosessissa. Suomen Ympäristöministeriö on avustanut lähialueyhteistyövaroista suodatinlaitteiden asennusta pellettitehtaan piippuihin, mutta laitteiden asennus ja käyttöönotto ovat toistaiseksi kaatuneet venäläisten taloudellisiin ongelmiin.



**Kuva 1.** Vasemmalla Kostamuksen pellettitehtaan (Karjalan Pelletti Oy) tuotantolaitoksia. Oikealla avolouhos, joka tuottaa rautamalmia pellettitehtaalle.

**Taulukko 1.** Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) päästöt Kostamuksessa sekä rikkidioksidin, typen oksidien (NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten päästöt Kainuussa vuosina 1988-1997 (1000 tn).

		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Kostamus <sup>1,2</sup>	SO <sub>2</sub>	62.00	63.00	62.00	55.00	60.00	53.00	48.00	45.00	47.00	37.00
Kainuu <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub>	2.30	3.10	2.40	2.00	1.80	1.70	1.60	1.50	1.50	1.60
Kainuu <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub>	0.97	1.09	1.02	0.94	0.87	0.93	1.00	0.99	0.98	1.01
Kainuu <sup>3</sup>	Hiukkaset	0.36	0.50	0.49	0.47	0.46	0.34	0.35	0.28	0.33	0.34

Tietolähteet: Kostamuksen pellettitehdas<sup>1</sup>, Miljaev & Fetshenko (1998)<sup>2</sup> ja Kainuun ympäristökeskus<sup>3</sup>. Kainuun luvuissa ovat mukana myös liikenteen päästöt.

## 2.2 Päästöt Karjalan tasavallan alueella

Teollisuuden päästöt ovat Karjalan tasavallassa samoin kuin koko Venäjällä vähentyneet viime vuosina selvästi tuotannon supistumisesta johtuen. Karjalan tasavallan vuotuiset rikkidioksidipäästöt olivat vielä 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa noin 160 000-170 000 tonnia vuodessa, kun ne vuonna 1996 olivat enää vain noin 115 000 tn/v (Miljaev & Fetshenko 1998). Typen oksidien päästöt olivat vuonna 1996 Suomen päästöihin verrattuna yllättävän vähäiset, vain noin 10 000 tn/v, josta liikenteen osuus oli noin kolmannes.

Kostamuksen rautapellettitehdas on Karjalan tasavallan päästölähteistä selvästi suurin. Sen osuus koko alueen rikkidioksidipäästöistä on noin 40 % ja typen oksidien päästöistäkin noin 12 % (Miljaev & Fetshenko 1998). Muita huomattavia päästölähteitä Karjalan tasavallan alueella ovat

Kontupohjan sellu- ja paperitehdas (SO<sub>2</sub>-päästöt v. 1996 n. 17 000 tn/v ja NO<sub>x</sub>-päästöt 1 500 tn/v), Petroskoin lämpö- ja sähkövoimala (12 000 tn/v; 1 100 tn/v), Segezhan sellu- ja paperitehdas (6 000 tn/v; 400 tn/v) ja Nadvoitsan alumiinitehdas (1 200 tn/v; 40 tn/v).

## 2.3 Päästöt Kainuussa ja muualla Oulun läänissä

Päästöt Kainuussa ovat Kostamuksen päästöihin verrattuna vähäiset (taulukko 1). Suurimmat päästölähteet, jotka ovat lähinnä teollisuuden ja kuntien lämpövoimalaitoksia, sijaitsevat Kajaanissa ja Sotkamossa (taulukko 2). Muiden Kainuun päästölähteiden päästöt ovat pieniä eikä niillä Kainuun alueelle tulevan rikki-, typpi- ja raskasmetallilaskeuman kannalta katsoen ole kuin paikallista merkitystä. Liikenteen osuus Kainuun typen oksidien päästöistä on huomattavan korkea (Mäkelä 1997).

**Taulukko 2.** Kainuun suurimmat ilmoitusvelvolliset päästölähteet (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, hiukkaspäästöt) vuoden 1996 tietojen perusteella.

Päästölähde	Sijaintikunta	SO <sub>2</sub> tn/v	NO <sub>x</sub> tn/v	Hiukkaset tn/v
Kainuun Voima Oy	Kajaani	990.0	700.0	120.0
Mondo Minerals Oy	Sotkamo	237.0	110.0	99.0
Kainuun Osuusmeijeri	Sotkamo	136.0	46.0	39.0
UPM-Kymmene Oy	Kajaani	46.5	46.4	22.1
Rautaruukki Oy	Vuolijoki	37.4	17.0	8.5
Suomussalmen lämpökeskukset	Suomussalmi	14.2	15.0	15.6
Lemminkäinen Oy	Kajaani	3.3	1.8	0.8
Kajaanin Lämpö Oy:n laitokset	Kajaani	3.0	1.2	0.2
Kuhmon Lämpö Oy:n laitokset	Kuhmo	2.9	33.9	10.6
Sotkamon lämpökeskukset	Sotkamo	1.0	5.0	3.6
Liikenne	Kainuu	24.5	2771.0	157.0

Tietolähteet: Kainuun ympäristökeskus ja Mäkelä (1997)

Oulun läänin alueella suurimmat päästölähteet sijaitsevat Pohjanlahden rannikolla Raahessa ja Oulussa. Vuoden 1995 päästötietojen perusteella selvästi suurin päästölähde oli Rautaruukin Raahen terästehdas, jonka SO<sub>2</sub>-päästöt olivat n. 7 000 tn/v, NO<sub>x</sub>-päästöt n. 2 000 tn/v ja hiukkaspäästöt yli 2 000 tn/v. Oulussa suurimmat päästölähteet olivat Toppilan lämpövoimalaitos (SO<sub>2</sub> 1 620 tn/v; NO<sub>x</sub> 1 145 tn/v; hiukkaset 240 tn/v), Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaaita; SO<sub>2</sub> 810 tn/v; NO<sub>x</sub> 680 tn/v; hiukkaset 120 tn/v) ja Kemira Oy:n Oulun tehtaaita (SO<sub>2</sub> 860 tn/v; NO<sub>x</sub> 520 tn/v; hiukkaset 51 tn/v). Muista Oulun läänin päästölähteistä mainittakoon Fortum Service Oy:n (aiemmin IVO Oy) Haapaveden voimalaitos, jonka päästöt ovat samaa suuruusluokkaa kuin Toppilan lämpövoimalaitoksen. Oulun läänissä ilmoitusvelvollisten laitosten rikkidioksidipäästöt olivat vielä 1980-luvun loppupuolella yli 40 000 tn vuodessa, mutta päästöt ovat sen jälkeen vähentyneet voimakkaasti niin, että tällä hetkellä ne ovat noin 10 000 tn vuodessa. Sen sijaan typen oksidien päästöissä ei ole tapahtunut viimeisten kymmenen vuoden aikana suuria muutoksia päästöjen ollessa nykyisin vajaa 8 000 tn vuodessa.

## 2.4 Muualta Kainuun ja Koston alueelle kulkeutuvat päästöt

Kainuun omat rikkidioksidipäästöt ovat vain vajaa 2 % ja typen oksidien päästöt vain 1 % koko Suomen vastaavista päästöistä, joten Kainuuseen tulevasta rikki-, typpi- ja raskasmetallilaskeumasta vain osa on peräisin sen omista päästölähteistä. Rikki- ja typpiyhdisteitä sekä raskasmetalleja kulkeutuu ilmavirtausten mukana Kainuun alueelle pääasiassa muualta Suomesta, Luoteis-Venäjältä, Baltiasta, Keski-Euroopas-

ta ja Pohjoismaista. Keski-Euroopasta Suomeen kulkeutuvan rikin määrä on yllättävän suuri, lähes samaa luokkaa kuin Venäjältä Suomeen tuleva määrä (Ympäristöministeriö 1998). Tosin pohjoiseen mentäessä Keski-Euroopasta tulevan rikin määrä laskeumassa vähenee eikä se ole Kainuussa enää samaa luokkaa kuin Etelä-Suomessa. Venäjältä Kainuuseen kulkeutuu ilman epäpuhtauksia lähinnä Karjalan tasavallan, Leningradin ja Kuolan alueilta. Leningradin alueella suurimmat päästölähteet sijaitsevat Pietarissa ja Kuolan alueella Nikelissä ja Montsegorskissa. Vaikka päästöjen määrät ovat Luoteis-Venäjän alueella viime vuosina selvästi alentuneet, ne ovat edelleenkin mittavia Suomen päästöihin verrattuna. Karjalan tasavallan rikkidioksidipäästöt olivat vuonna 1996 noin 115 000 tn/v, Leningradin alueen päästöt 130 000 tn/v ja Kuolan päästöt 450 000 tn/v (Miljaev & Fetshenko 1998). Typen oksidien vuotuiset päästöt Luoteis-Venäjällä Suomen lähialueilla ovat suhteellisen pienet: vuonna 1996 Karjalan tasavallassa n. 10 000 tn/v, Leningradin alueella n. 70 000 tn/v ja Kuolan alueella 25 000 tn/v.

Arvioiden mukaan Karjalan tasavallan alueelle tulevasta rikkilaskeumasta noin kolmannes on peräisin sen omista lähteistä (Miljaev & Fetshenko 1998). Tasavallan ulkopuolelta tulevasta rikistä, jonka on arvioitu olevan vuosittain 50 000 tonnia, noin 40 % on peräisin muualta Venäjältä, pääasiassa Kuolasta ja Leningradin alueelta. Puolasta, Saksasta ja Suomesta tulee kaikista suurin piirtein sama määrä rikkiä tasavallan alueelle, yhteensä noin 29 % ulkopuolelta tulevasta rikistä. Rikkiä kulkeutuu Karjalan tasavallan omista päästölähteistä pääosin muualle Venäjän alueelle (noin 80 %), Suomeen (10 %), Vian merelle (8 %) ja Ruotsiin (3 %) (Miljaev & Fetshenko 1998).

## 2.5 Ilmasto-olot tutkimusalueella

Ilmasto-olot eivät poikenneet tutkimusalueella keskimäärin pitkäaikaisista keskiarvoista (Kolkki 1981, Ilmatieteen laitos 1991). Vuoden keskilämpötila oli tutkimusjaksolla keskimäärin noin 1.0 °C ja sademäärä noin 650 mm. Vuosien välillä ilmasto-oloissa oli kuitenkin kohtalaisen suurta vaihtelua. Vuosi 1995 oli Kainuussa selvästi keskimääräistä lämpimämpi ja vuodet 1993 ja 1998 keskimääräistä viileämpiä. Vuosi 1998 oli myös poikkeuksellisen runsasasteinen (taulukko 3). Vuosina 1994 ja 1997 talvet olivat tavanomaista kylmempiä, mutta kesät puolestaan normaalia selvästi lämpimämpiä. Sademäärissä oli näytealojen välillä vuosittain vaihtelua. Sademäärä oli useimpina vuosina hieman suurempi Kostamuksen kuin Kainuun näytealoilla.

Kostamuksen päästöjen kulkeutumisen kannalta tuulioloilla on suuri merkitys. Kainuussa tuuliolot olivat Ilmatieteen laitoksen mittaustietojen (Suomen meteorologinen vuosikirja 1992-1997) perusteella tutkimus-

jaksolla hyvin vaihtelevat. Vuosittain talvikaudella lokakuusta maaliskuuhun vallitsevia olivat lounaan-, etelän- ja lännenpuoleiset tuulet. Kesäkaudella tuulioloissa oli enemmän vaihtelua, joskin silloinkin edellämämainitut tuulet olivat yleensä vallitsevia. Idän- ja kaakonpuoleiset tuulet olivat yleisimpiä keväisin ja syksyisin. Kostamuksesta ei ollut saatavissa ilmastotietoja, mutta Kainuun itäosat ja Kostamuksen alue eivät ilmasto-oloiltaan poikkea suuresti toisistaan.

Sääolot tutkimuslinjalla (kuva 2) olivat tutkimusvuosina päästöjen kulkeutumisen ja laskeuman suhteen suhteellisen tasaiset. Läntisin näyteala poikkesi muista näytealoista siten, että se sijaitsi Kainuun vaarajakson alueella vaarojen välisessä jokilaaksoissa. Täällä sääolot, varsinkin tuuliolot, saattoivat poiketa jossain määrin muista näytealoista. Sade ja sateen olomuoto vaikuttavat päästöjen kulkeutumiseen ja laskeuman määrään. Esimerkiksi räntäsateella ilman epäpuhtauksia huuhtoutuu maahan paljon tehokkaammin kuin lumisateella.

**Taulukko 3.** Ilmastotietoja tutkimuslinjaa lähimpänä olevilta sääasemilta Ilmatieteen laitoksen mittausten mukaan (Suomen meteorologinen vuosikirja vv. 1992-1997); K = Kuhmo (P64°07'; I29°33'), H = Hyrynsalmi, Kytömäki\* (P64°50'; I28°14'), S = Suomussalmi (P64°54'; I29°01').

Vuosi	Sademäärä mm			Keskilämpötila °C								
	K	H	S	Vuosi			Tammikuu			Heinäkuu		
				K	H	S	K	H	S	K	H	S
1993	572	668	555	1.2	0.6	1.0	-8.0	-6.9	-8.3	15.1	13.9	14.5
1994	592	658	647	1.5	0.9	0.8	-11.8	-11.5	-12.6	17.4	15.6	16.1
1995	613	631	643	2.5	1.4	1.5	-6.5	-7.4	-7.0	14.1	12.5	13.3
1996	601	686	611	1.8	1.0	0.9	-7.9	-8.0	-8.3	14.0	12.8	13.2
1997	574	748	663	1.8	0.9	0.8	-11.9	-10.6	-12.1	17.8	16.6	16.6
1998	725	927	810	1.1	0.0	0.0	-7.8	-8.8	-9.4	16.5	14.9	15.6
1993-98	613	720	655	1.7	0.8	0.8	-9.0	-8.9	-9.6	15.8	14.4	14.9

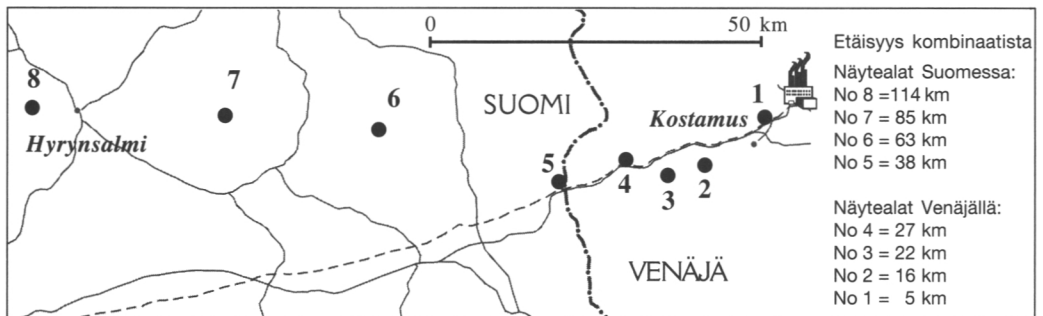


## 2.6 Tutkimusalue

### 2.6.1 Näytealat

Kostamuksen rikastamon päästöjen vaikutusten tutkimiseksi laskeumaan ja metsien terveydentilaan perustettiin elokuussa 1992 kahdeksan näytealan tutkimuslinja (kuva 2). Läntisin näyteala sijaitsi Hyrynsalmen keskustan länsipuolella runsaan 100 kilometrin päässä Kostamuksesta. Näytealoista neljä oli Karjalan tasavallan puolella ja neljä Suomen puolella.

Näytealat perustettiin kuiville tai kuivahkoille mäntykankaalle. Korkeus näytealoilla suhteessa merenpintaan vaihteli 200 metristä 240 metriin. Metsätyypiltään näytealat olivat joko variksenmarja-puolukkatyyppiä (EVT) tai variksenmarja-kanervatyyppiä (ECT) näytealaa 2 lukuunottamatta, joka luokiteltiin puolukka-mustikkatyyppiä (VMT). EVT:llä aluskasvillisuuden valtalajeja olivat variksenmarja (*Empetrum nigrum*), puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) ja seinäsammal (*Pleurozium schreberi*) ja ECT:llä variksenmarja, kanerva (*Calluna vulgaris*) ja jäkälät.



**Kuva 2.** Näytealojen sijainti Kostamuksen rautapellettitehtaasta länteen sijaitsevalla linjalla.

**Taulukko 4.** Humuskerroksen alkuainepitoisuuksia, orgaanisen aineen osuus ja C/N-suhde Kostamus - Kainuu-tutkimuslinjan näytealoilla. 1-4 = keskimäärin Kostamuksen näytealoilla; 5-8 = keskimäärin Kainuun näytealoilla; 1-8 = keskimäärin koko tutkimuslinjalla.

Näyteala	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Al	Org. aine %	C/N
	g/kg									
1	9.90	0.67	0.76	3.60	0.49	1.04	2.10	1.50	32	33
2	9.30	0.66	0.88	3.40	0.49	1.06	1.30	1.60	40	42
3	8.70	0.72	1.03	3.10	0.40	0.93	1.70	2.10	33	27
4	8.70	0.64	0.73	2.60	0.35	1.02	1.30	2.10	42	46
5	10.30	0.84	1.12	4.00	0.60	1.27	2.20	2.50	43	51
6	11.30	0.62	0.61	1.50	1.06	0.82	3.70	3.70	31	28
7	10.10	0.58	0.68	2.60	0.33	0.89	1.40	1.60	37	43
8	11.00	0.81	0.88	0.90	0.63	1.02	3.40	3.70	26	33
1-4	9.15	0.67	0.85	3.18	0.43	1.01	1.60	1.83	37	37
5-8	10.68	0.71	0.82	2.25	0.66	1.00	2.68	2.88	34	39
1-8	9.91	0.69	0.84	2.71	0.54	1.01	2.14	2.35	36	38

Alueen mäntymetsille oli tyypillistä podsolimaannos. Humuskerroksen alkuainepitoisuuksissa todettiin jonkin verran vaihtelua, mikä johtui eroista kasvupaikan rehevydessä. Humuksen N-, Mg-, Fe- ja Al-pitoisuudet olivat keskimäärin Kainuun puolella olevilla näytealoilla korkeampia ja Capitoisuus alempi kuin Kostamuksen näytealoilla (taulukko 4). Humuskerroksen orgaanisen aineen määrissä eikä C/N-suhteessa ollut Kainuun ja Kostamuksen näytealojen välillä merkittävää eroa.

Puuston ikä näytealoilla vaihteli 65 vuodesta 120 vuoteen (taulukko 5). Puuston keski-ikä oli Kostamuksen puolella jonkin verran korkeampi kuin Kainuussa johtuen siitä, että sieltä ei löytynyt nuorempia näytealavaatimukset täyttäviä metsiä. Myös metsien rakenne näytealoilla poikkesi Kostamuksen puolella jossain määrin Kainuun näytealoista metsien erilaisesta käsittelystä johtuen. Kostamuksessa metsät olivat lähes luonnontilaisia, Kainuussa puolestaan tyypillisiä talouskäytössä olleita metsiä (kuva 3).

**Taulukko 5.** Näytealojen etäisyys pellettitehtaasta ja metsätyyppi sekä metsikkö- ja puustotunnuksia.

Näyteala	Etäisyys km	Metsätyyppi	Ikä v	Tiheys kpl/ha	Läpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m <sup>3</sup> /ha
1	5	EVT	120	799	21,4	18,4	370
2	16	VMT	100	800	20,4	17,2	280
3	22	EVT	85	1533	13,8	15,0	225
4	27	ECT	100	1067	17,7	16,6	254
5	38	EVT	85	800	18,9	17,7	220
6	63	ECT	65	1433	13,2	12,6	151
7	85	EVT	105	967	15,9	15,3	186
8	114	ECT	65	966	14,0	12,7	108



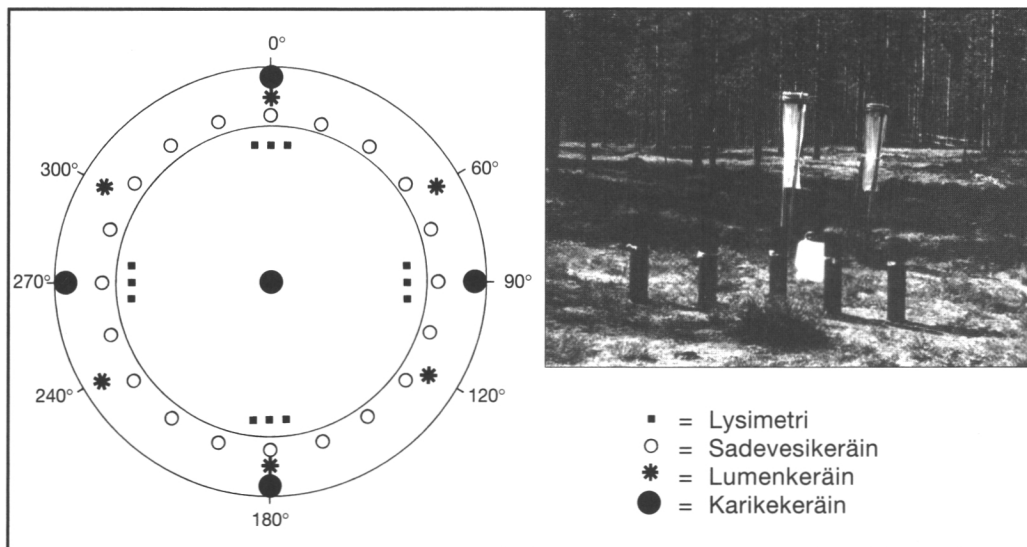
**Kuva 3.** Vasemmalla kuva metsikkönäytealalta n:o 4 Venäjän puolelta läheltä Suomen rajaa. Oikealla kuva metsikkönäytealalta n:o 6 Suomen puolelta.

## 2.6.2 Laskeumamittaukset

Ilman epäpuhtauksien laskeumaa tutkittiin sekä metsikkösadannasta että vapaasta sadannasta. Laskeumasta mitatut pitoisuudet sisälsivät märkälaskeuman ja osan kuivalaskeumasta. Metsikkösadannan mittausta varten tutkimuslinjan jokaisella näytealalla oli 20 sadevesikeräintä, kokonaispinta-alaltaan  $0,326 \text{ m}^2$  (Derome ym. 1991, Lumme ym. 1997). Sadevesikeräimet oli sijoitettu  $300 \text{ m}^2$ :n kokoisen ympyränäytealan kehäle (kuva 4). Vapaan sadannan mittausta varten jokaiseen näytealapisteeseen oli sijoitettu viisi sadevesikeräintä (kokonaispinta-ala  $0,082 \text{ m}^2$ ) metsikkönäytealan välittömään läheisyyteen sopivalle avoimelle paikalle (kuva 4). Talvella luminäytteet kerättiin metsikkönäytealalta kuudella lumikeräimellä ( $0,648 \text{ m}^2$ ) ja avoimelta alalta kahdella keräimellä ( $0,102 \text{ m}^2$ ).

Laskeuman vaikutusta maaveden laatuun tutkittiin vajovesilysimetreillä kerätyistä vesinäytteistä. Jokaisella metsikkönäytealalla oli lysimetrejä neljässä eri paikassa kolmella eri syvyydellä, 5 cm, 20 cm ja 40 cm (Derome ym. 1991, Lumme ym. 1997).

Sadevesi- tai luminäytteet kerättiin kuukausittain syyskuusta 1992 lähtien vuoden 1998 loppuun saakka. Talvella luminäytteet haettiin metsikkökeräimistä kuitenkin vain kerran eli toukokuussa. Maavesinäytteet kerättiin kuukausittain touko-syyskuun välisenä aikana. Sadevesi- ja luminäytteistä analysoitiin pH, johtoluku, kokonais- ja sulfaattirikki, ammonium- ja nitraattityppi, K, Ca, Mg, Na ja Fe. Maavesinäytteistä mitattiin edellisten lisäksi myös alumiinin pitoisuus. Näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen ja Rovaniemen tutkimusasemilla. Laskeuman ja maaveden pitoisuuksien vuosikeskiarvot laskettiin aina syyskuun ja seuraavan vuoden elokuun väliseltä ajanjaksolta.



**Kuva 4.** Kaavio metsikkönäytealalle sijoitetuista keräimistä. Valokuvassa vapaan sadannan sadevesikeräimiä (5 kpl) ja lumikeräimiä (2 kpl) näytealalla n:o 6 Suomussalmen Heikkisenvaarassa.

### 2.6.3 Rikki- ja raskasmetallilaskeuman kartoitus sammalten avulla

Rikki- ja raskasmetallilaskeumaa selvitettiin myös sammalnäytteiden avulla. Näytelajina käytettiin kerrossammalta (*Pleurozium schreberi*) tai seinäsammalta (*Hylocomium splendens*), jos ensinmainittua lajia ei löytynyt näytealan läheisyydestä. Näytteet kerättiin viitenä toistona vuosina 1992 ja 1998 metsäkuviolta, jolla näyteala sijaitsi. Sammalnäytteet kerättiin samoilla menetelmillä kuin valtakunnallisissa raskasmetallikartoituksissa (Reinikainen ym. 1985, Kubin ym. 1998).

Sammalista erotettiin analysointia varten kolme viimeisintä täyttä vuosikasvainta, esimerkiksi kesällä 1998 kerätyistä näytteistä vuosien 1995, 1996 ja 1997 kasvaimet (kuva 5). Esikäsittelyn jälkeen näytteet märkäpoltettiin typpihappo / perkloorihappoliuoksessa Muhoksen tutkimusasemalla ja analysoitiin ICP/AES-tekniikalla Metlan keskuslaboratoriossa Vantaalla. Sammalista määritettiin rikki-, kadmium-, kromi-, kupari-, lyijy-, mangaani-, nikkeli-, rauta-, titaani-, sinkki- ja vanadiinipitoisuudet. Näytealakohtaiset pitoisuudet laskettiin viiden rinnakkaisnäytteen keskiarvoina.

### 2.6.4 Puuston ravinnetilan määrittäminen neulasnäytteistä

Ilman epäpuhtauksien vaikutusta puuston ravinnetilaan ja ravinteiden huuhtoutumiseen neulasista tutkittiin neulasanalyysien avulla. Neulasnäytteet kerättiin näytealoilta tammikuussa 1993, elokuussa 1994 ja joulukuussa 1998. Näytteet otettiin jokaiselta tutkimuslinjan näytealalta kymmenestä valtapuusta elävän latvuksen ylimmästä kolmanneksestä puun eteläpuolelta (Lumme ym. 1997).



**Kuva 5.** Sammalista erotettiin analysointia varten kolme viimeisintä täyttä vuosikasvainta, jotka on kuvassa erotettu viivalla. Vasemmalla kerrossammalla (*Pleurozium schreberi*), oikealla seinäsammalla (*Hylocomium splendens*).

Keruun jälkeen näyteoksista eroteltiin neulasvuosikerrat ja neulasot kuivatettiin (60°C, 48 t). Uusimmista neulasista analysoitiin N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Fe ja Cu. Vuoden 1998 neulasnäytteistä rikkiä ei kuitenkaan määritetty. Analysoinnissa käytettiin jokaisella näytteenotokerralla samoja menetelmiä ja laitteita (LECO S, Kjeldahl-N, kuivapoltto, spektrofotometria, AAS).

## 3. Tulokset

### 3.1 Laskeuma

#### 3.1.1 Rikkilaskeuma

Rikkilaskeuma oli koko tutkimusjakson ajan suurin lähellä pellettitehdasta ja se väheni länteenpäin niin, että Kainuussa laskeumassa ei enää voitu todeta selvää laskevaa gradienttia (kuva 6). Sateen mukana maahan tullut rikki oli lähes kokonaan sulfaattirikkiä. Sulfaattirikin vuosilaskeuma oli tutkimusvuosina lähellä pellettitehdasta vapaassa sadannassa keskimäärin 276 mg/m<sup>2</sup> (vaihtelu 242-298 mg/m<sup>2</sup>) ja metsikkösadannassa 464 mg/m<sup>2</sup> (vaihtelu 378-548 mg/m<sup>2</sup>). Kainuussa rikkilaskeuma jäi vapaassa sadannassa keskimäärin noin 200 mg/m<sup>2</sup> ja metsikkösadannassa 250 mg/m<sup>2</sup>. Kainuussa korkein rikkilaskeuma mitattiin vuosittain läntisimmällä näytealalla lähellä Hyrynsalmea. Metsikkösadannassa laskeuma oli suurempi kuin vapaassa sadannassa sen vuoksi, että sateen mukana tulevan rikin lisäksi puustosta huuhtoutui sinne aiemmin kuivalaskeumana kertynyttä rikkiä.

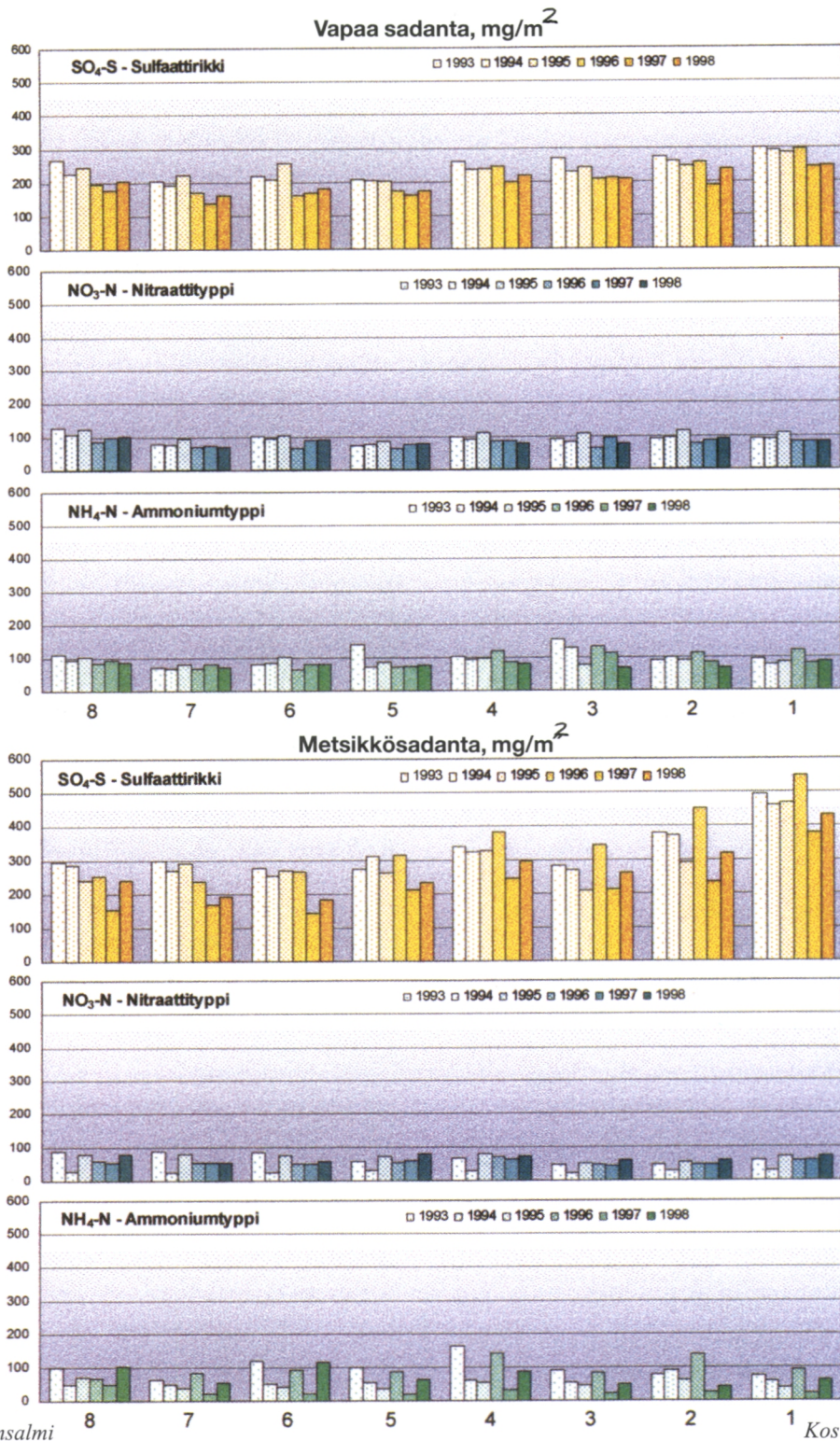
Rikkilaskeumassa tapahtui vuosina 1996-1998 vuosiin 1993-1995 verrattuna selvää laskua koko tutkimuslinjalla (liitteet 1 ja 2). Kostamuksen puolella lasku oli vapaassa sadannassa keskimäärin 12 % ja metsikkösadannassa 3 %. Vähiten rikkilaskeuma pieneni pellettitehtaan lähellä. Kainuussa lasku oli selvästi suurempi ollen sekä vapaassa sadannassa että metsikkösadannassa noin 22 %. Kainuussa laskeuma jäi vuosina 1996-1998 jo selvästi alle 200 mg/m<sup>2</sup>/v. Määrällisesti rikkilaskeuma väheni Venäjän puolella vapaassa sadannassa keskimäärin noin 30 mg/m<sup>2</sup>/v ja metsikkösadannassa keskimäärin 10 mg/m<sup>2</sup>/v, Kainuun puolella selvästi enemmän, vapaassa sadannassa noin 50 mg/m<sup>2</sup>/v ja metsikkösadannassa 60 mg/m<sup>2</sup>/v.

Rikkilaskeuma vaihteli tutkimuslinjan näytealoilla vuodesta ja kuukaudesta toiseen samansuuntaisesti, vaikka laskeuman määrässä saattoi ajoittain olla huomattavia-kin vaihteluita. Kesä- ja talvikauden laskeumassa ei ollut minään vuonna suurta eroa. Talvikaudella ei kuitenkaan havaittu laskeumassa samanlaista Kostamuksesta länteenpäin vähenevää gradienttia kuin kesäkaudella.

#### 3.1.2 Typpilaskeuma

Kokonaistyyppilaskeuma oli tutkimusalueella vähäinen. Sekä ammonium- että nitraattityppilaskeuma olivat vapaassa sadannassa keskimäärin noin 90 mg/m<sup>2</sup>/v ja metsikkösadannassa noin 60 mg/m<sup>2</sup>/v (kuva 6). Ammoniumtyppilaskeuma oli korkein kesällä ja nitraattityppilaskeuma talvella. Sekä ammonium- että nitraattityypen määrät vaihtelivat jonkin verran metsikkösadannassa vuosittain ja näytealoittain. Typpilaskeumassa ei tapahtunut kuitenkaan keskimäärin ottaen vuosien 1993-1998 kuluessa mitään selvää alenemista, vaan laskeuma pysyi vuodesta toiseen suurin piirtein samalla tasolla.





**Kuva 6.** SO<sub>4</sub>-S-, NO<sub>3</sub>-N- ja NH<sub>4</sub>-N-laskeuma Kostamus - Hyrynsalmi -tutkimuslinjalla (ks. kuva 2) vapaassa sadannassa ja metsikkösadannassa vuosina 1993-1998 (mitausvuosi syyskuusta seuraavan vuoden elokuun loppuun alkaen syyskuusta 1992).

### 3.1.3 Hiukkaslaskeuma

Kalsiumlaskeuma oli rikkilaskeuman tavoin lähellä pellettitehdasta kohtalaisen korkea vaihdellen vapaassa sadannassa 101-248 mg/m<sup>2</sup>/v ja metsikkösadannassa 252-392 mg/m<sup>2</sup>/v (kuva 7). Laskeuma väheni nopeasti länteenpäin niin, että se jäi jo runsaan 20 kilometrin päässä rikastamosta noin kolmasosaan rikastamon lähelle tulevasta laskeumasta (liite 1). Kainuussa kalsiumlaskeumassa ei ollut suuria eroja ja laskeuma jäi jonkin verran vielä Kostamuksen läntisimpiä näytealojakin alemmaksi. Kalsiumlaskeuma väheni tutkimuslinjalla vuosina 1996-1998 keskimäärin lähes 30 % vapaassa sadannassa ja 5 % metsikkösadannassa vuosien 1993-1995 keskimääräisestä laskeumasta (liite 2). Vähentymisen oli prosentuaalisesti voimakkaampaa Kainuussa kuin Kostamuksessa. Kalsiumlaskeuma väheni vapaassa sadannassa erityisesti talvikaudella.

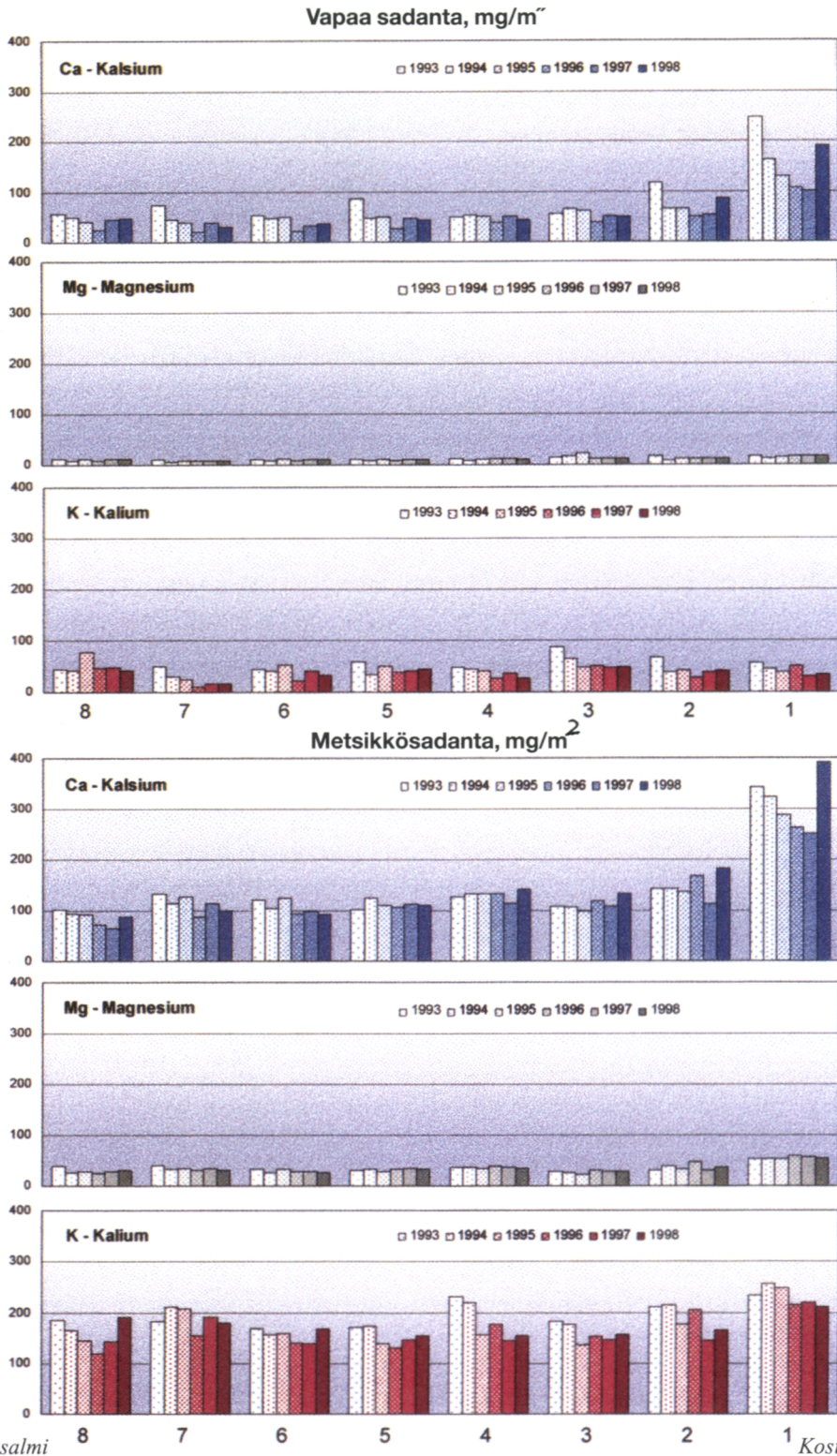
Magnesiumin, kaliumin ja natriumin määrät metsikkösadannassa kertovat mm. happaman laskeuman vaikutuksista näiden emäskationien huuhtoutumiseen puustosta. Vapaassa sadannassa magnesiumin määrä laskeumassa oli tutkimusvuosina keskimäärin noin 30 %, kaliumin määrä noin 10 % ja natriumin määrä noin 25 % suurempi Kostamuksen kuin Kainuun puolella (kuva 7). Metsikkösadannassa magnesiumin määrä oli pellettitehtaan lähellä selvästi suurempi kuin muilla näytealoilla (kuva 7). Natriumin määrä metsikkösadannassa vaihteli näytealalta toiselle eikä siinä ollut havaittavissa mitään selviä eroja Kostamuksen ja Kainuun näytealojen välillä.

Magnesiumin määrässä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia tutkimusjaksolla. (liitteet 1 ja 2). Sen sijaan kaliumin määrä laskeumassa vuosina 1996-98 sekä Kostamuksen että Kainuun puolella keskimäärin yli 25 % vapaassa sadannassa ja yli 10 % metsikkösadannassa vuosien 1993-1995 verrattuna.

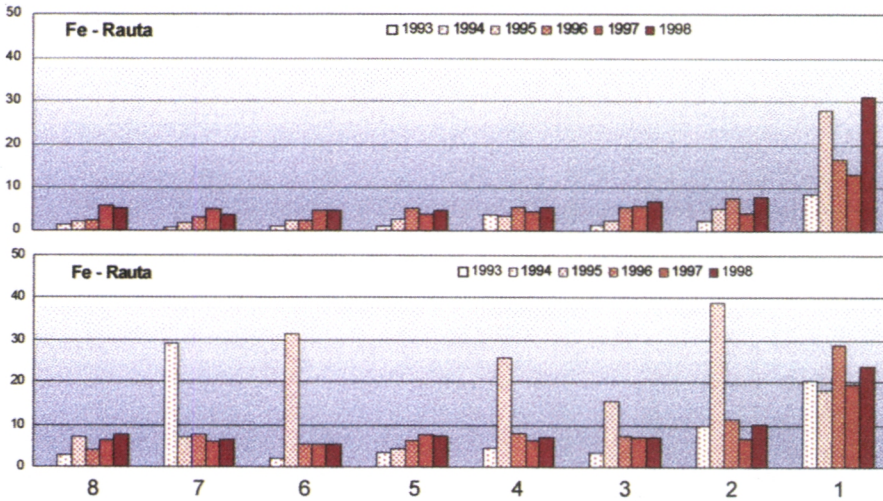
Myös natriumin määrä väheni vapaassa sadannassa tutkimuslinjalla keskimäärin yli 20 %. Metsikkösadannassa natriumin määrä väheni vain Kainuun näytealoilla, keskimäärin noin 15 %.

Raudan vuotuinen laskeuma oli tutkimusjaksolla lähellä pellettitehdasta sekä vapaassa sadannassa että metsikkösadannassa keskimäärin noin 20 mg/m<sup>2</sup>. Eri vuosien välillä laskeumassa oli kuitenkin suhteellisen suuria eroja. Vapaassa sadannassa laskeuma väheni jyrkästi Kostamuksesta länteenpäin niin, että jo 16 km:n päässä pellettitehtaasta se oli noin 5 mg/m<sup>2</sup> ja Kainuussa enää vain noin 3 mg/m<sup>2</sup> (kuva 8). Metsikkösadannassa laskeuma ei vähentynyt aivan yhtä jyrkästi kuin vapaassa sadannassa, sillä 16 km:n päässä rikastamosta rautalaskeuma oli keskimäärin vielä noin 10 mg/m<sup>2</sup> ja Kainuussa keskimäärin noin 6 mg/m<sup>2</sup>. Vuoden 1995 metsikkösadannassa sadeveden rautapitoisuudet olivat muihin mittausvuosiin verrattuna poikkeuksellisen korkeat kaikilla Kostamuksen puoleisilla näytealoilla ja yhdellä Kainuunkin näytealalla. Sadeveden rautapitoisuus nousi vapaassa sadannassa jonkin verran vuosina 1996-1998 vuosiin 1993-1995 verrattuna, mutta metsikkösadannassa pitoisuus laski vähän useimmilla näytealoilla.





**Kuva 7.** Kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin määrä (mg/m<sup>3</sup>) vapaassa sadannassa ja metsikkösadannassa Kostamus - Hyrynsalmi -tutkimuslinjalla (ks. kuva 2) vuosina 1993-1998.



**Kuva 8.** Raudan määrä, mg/m<sup>3</sup>v, Kostamus - Hyrynsalmi -tutkimuslinjalla (ks. kuva 2) vapaassa sadannassa (ylempi kuva) ja metsikkösadannassa (alempi kuva) vuosina 1993-1998.

### 3.2 Maaveden laatu

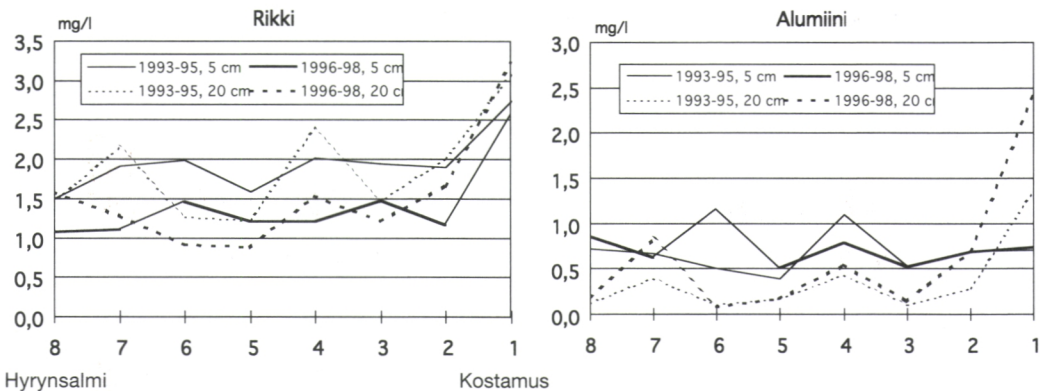
Vajoveden määrä ja laatu vaihtelivat näytealoilla kuukausittain pääasiassa sademäärien vaihtelusta johtuen. Vesinäytteitä saatiin 40 cm:n syvyydessä sijaitsevista keräimistä vain touko-kesäkuun vaihteessa ja satunnaisesti kesäkuukausina. Tältä syvyydeltä saadut analyysitulokset olivat vain suuntaa-antavia ja ne jätettiin seuraavista tarkasteluista kokonaan pois.

Maaperän happamoitumisen kannalta vajoveden rikki- ja alumiinipitoisuudet ovat tärkeitä tunnuksia. Vajoveden rikkipitoisuus oli korkein koko tutkimusjakson ajan lähimpänä pellettitehdasta sijaitsevalla näytealalla, 5 cm:n syvyydessä keskimäärin noin 2,7 mg/l ja 20 cm:n syvyydessä runsaat 3 mg/l (kuva 9). Näytealasta 2 länteenpäin 5 cm:n syvyydessä rikkipitoisuudessa ei ollut näytealojen välillä suurta eroa ja pitoisuus jäi tutkimusvuosina keskimäärin selvästi alle 2 mg:n litrassa. Rikkipitoisuus vaihteli enemmän 20 cm:n syvyydessä, mutta tässäkin tapauksessa pitoisuuksissa ei voitu todeta mitään selvää länteenpäin laskevaa

gradienttia, vaikka Kainuun näytealoilla rikkipitoisuus jäikin keskimäärin hieman pienemmäksi kuin Kostamuksen kolmella läntisimmällä näytealalla. Vajoveden rikkipitoisuus väheni 5 cm:n syvyydessä vuosina 1996-1998 vuosiin 1993-1995 verrattuna keskimäärin noin 30 % ja 20 cm:n syvyydessä noin 25 % koko tutkimuslinjalla pellettitehtaan lähellä olevaa näytealaa lukuunottamatta.

Vajoveden alumiinipitoisuus oli 5 cm:n syvyydessä keskimäärin noin 0,70 mg/l eikä Kainuun ja Kostamuksen välillä ollut pitoisuuksissa merkitsevää eroa, ei myöskään tutkimusjaksojen 1993-1995 ja 1996-1998 välillä (kuva 9). Alumiinipitoisuus oli 20 cm:n syvyydessä pellettitehtaan lähellä kohtalaisen korkea, noin 1,4 mg/l ja pitoisuus nousi selvästi, keskimäärin lähes 2,5 mg:aan litrassa, vuosina 1996-1998 vuosiin 1993-1995 verrattuna. Muilla näytealoilla pitoisuus jäi yleensä alle 0,5 mg:n litrassa eikä pitoisuuksissa tapahtunut näytealoja 2 ja 7 lukuunottamatta vuosina 1996-98 juurikaan muutosta vuosiin 1993-95 verrattuna.





**Kuva 9.** Vajoveden rikki- ja alumiinipitoisuus keskimäärin vuosina 1993-1995 ja 1996-1998 näytealoilla 5 cm:n ja 20 cm:n syvyydessä.

Vajoveden kalsiumpitoisuus oli sekä 5 cm:n että 20 cm:n syvyydessä lähellä pellettitehdasta keskimäärin noin viisinkertainen Kainuun näytealoilta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna (liite 3). Pitoisuus nousi selvästi 5 cm:n syvyydessä vuosina 1996-1998 kahta läntisintä näytealaa lukuunottamatta. Myös magnesiumipitoisuus oli lähellä pellettitehdasta varsinkin 20 cm:n syvyydessä suhteellisen korkea muihin näytealoihin verrattuna.

Vajoveden rautapitoisuudessa ei ollut 5 cm:n syvyydessä kumpanakaan ajanjaksona selvää itä-länsi suuntaista gradienttia pitoisuuden vaihdellessa näytealalta toiselle. Sen sijaan 20 cm:n syvyydessä rautapitoisuus oli lähellä pellettitehdasta noin viisinkertainen verrattuna muihin näytealoihin, joilla pitoisuus jäi selvästi alemmaksi kuin 5 cm:n syvyydessä. Rautapitoisuus väheni 5 cm:n syvyydessä keskimäärin noin 30 % ja pysyi 20 cm:n syvyydessä samalla tasolla vuosina 1996-1998 kuin vuosina 1993-1995.

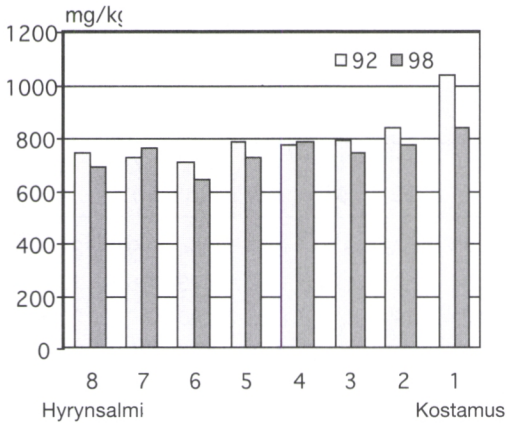
### 3.3 Rikki- ja raskasmetallilaskeuman kartoitus sammalten avulla

#### 3.3.1 Sammalten rikkipitoisuus

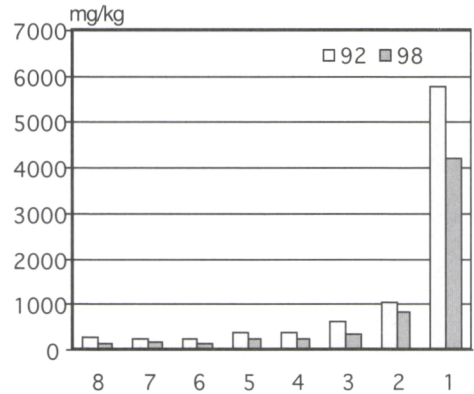
Sammalnäytteistä otettiin analyysiin mukaan kolmen keräystä edeltäneen vuoden vuosikasvaimet. Näin ollen syksyllä 1992 kerättyjen sammalten rikki- ja raskasmetallipitoisuudet antoivat tietoa vuosien 1989, 1990 ja 1991 laskeumasta ja syksyllä 1998 kerättyjen sammalten vastaavat pitoisuudet vuosien 1995, 1996 ja 1997 laskeumasta.

Sammalten rikkipitoisuus oli vuonna 1992 kerätyissä näytteissä selvästi korkein, 1 030 mg/kg, lähellä pellettitehdasta (kuva 10), mutta se laski jo 16 km:n etäisyydellä pellettitehtaasta lähelle 800 mg/kg ja edelleen vähitellen länteenpäin niin, että Kainuussa pitoisuudet jäivät alle 800 mg/kg. Vuonna 1998 sammalten rikkipitoisuus oli lähes läpi koko linjan pienempi kuin vuonna 1992. Pitoisuus väheni keskimäärin 7 %, eniten, lähes 20 %, lähellä pellettitehdasta.





**Kuva 10.** Sammalten rikkipitoisuus (mg/kg) näytealoilla vuosina 1992 ja 1998.



**Kuva 11.** Sammalten rautapitoisuus (mg/kg) näytealoilla vuosina 1992 ja 1998.

### 3.3.2 Sammalten raskasmetallipitoisuus

Pellettitehtaan suuret rautapäästöt näkyivät sammalissa molempina keräysvuosina siten, että rautapitoisuus oli pellettitehtaan lähellä yli 20-kertainen verrattuna linjan länsiosista Kainuusta mitattuihin pitoisuuksiin (kuva 11, taulukko 6). Pitoisuus väheni jyrkästi tehtaasta länteenpäin, mutta oli kuitenkin vielä Vartiuksessa Suomen puolella noin 1,5-kertainen verrattuna muualta Kainuusta mitattuihin pitoisuuksiin. Vuonna 1998 sammalten rautapitoisuudet olivat tutkimuslinjalla keskimäärin yli 30 % pienemmät kuin vuonna 1992. Määrällisesti pitoisuudet laskivat selvimmin lähellä pellettitehdasta, prosentuaalisesti selvimmin Kainuussa (keskimäärin lähes 50 %), jossa pitoisuudet olivat kuitenkin jo vuonna 1992 pieniä.

Muiden raskasmetallien pitoisuudet jäivät rautaan verrattuna alhaisiksi. Analysoiduista raskasmetalleista nikkeli-, kromi- ja titaani- pitoisuudet olivat noin kolme kertaa ja vanadiinipitoisuudet noin viisi kertaa korkeampia pellettitehtaan lähellä kuin muilla näytealoilla, joilla pitoisuuksissa ei ollut suu-

ria eroja. Kupari-, lyijy-, kadmium- ja sinkkipitoisuuksissa ei ollut näytealojen välillä merkittäviä eroja, joskin sammalten kuparipitoisuus nousi kummankin keräysvuoden näytteissä vähitellen pellettitehdasta kohti ja lyijypitoisuus oli vuoden 1992 näytteissä jonkin verran korkeampi Kainuussa kuin Kostamuksessa.

Titaania ja kuparia lukuunottamatta kaikkien em. raskasmetallien pitoisuudet olivat alempia vuonna 1998 kuin vuonna 1992 (taulukko 6). Kaikkein selvimmin laski sammalten lyijypitoisuus. Sen pitoisuus oli vuonna 1998 koko tutkimuslinjalla keskimäärin vain noin kolmannes vuoden 1992 pitoisuuksista. Nikkelipitoisuus laski puolestaan noin 30 % Kostamuksen puolella ja noin 20 % Kainuussa, vanadiinipitoisuus Kostamuksessa noin 40 % ja Kainuussa 70 % sekä sinkkipitoisuus noin 25 % Kostamuksessa ja noin 20 % Kainuussa. Myös kadmium- ja kromipitoisuudet laskivat selvästi koko tutkimuslinjalla, mutta koska pitoisuudet jäivät useimmissa tapauksissa vuonna 1998 alle ICP-analyysissä käytetyn määrittämissä rajan, selviä prosenttilukuja alenemisesta ei saatu.

**Taulukko 6.** Sarmalten raskasmetallipitoisuuksia (mg/kg) näytealoilla vuosina 1992 ja 1998. 1-4 = keskimäärin Kostamuksen näytealoilla; 5-8 = keskimäärin Kainuun näytealoilla; 1-8 = keskimäärin koko gradienttilinjalla.

Näyte- ala	Fe 92	Fe 98	Ti 92	Ti 98	V 92	V 98	Cu 92	Cu 98	Ni 92	Ni 98	Pb 92	Pb 98	Zn 92	Zn 98
1	5761	4178	34.2	34.6	15.35	11.71	3.99	4.23	4.73	3.99	6.27	2.54	29.9	22.3
2	1048	799	10.1	12.9	4.38	1.78	3.90	3.34	2.25	1.42	6.00	1.76	26.7	18.3
3	596	339	8.1	8.8	3.42	1.15	4.07	3.29	1.99	1.14	6.58	1.80	26.5	21.2
4	386	251	8.2	8.5	2.95	0.92	3.90	3.64	1.96	1.22	6.40	2.01	31.6	23.3
5	374	217	16.0	9.1	2.82	0.89	2.89	4.04	1.44	1.27	7.78	1.88	27.8	21.6
6	259	112	11.3	6.1	2.59	0.71	3.66	3.29	1.57	1.18	8.16	2.30	27.8	22.6
7	219	166	10.4	17.2	2.14	0.84	3.22	3.52	1.50	1.20	6.59	2.33	25.9	23.7
8	274	110	12.9	7.9	3.11	0.83	3.36	3.29	1.65	1.40	9.70	2.54	27.0	21.3
1-4	1948	1392	15.2	16.2	6.53	3.89	3.97	3.63	2.73	1.94	6.31	2.03	28.7	21.3
5-8	282	151	12.7	10.1	2.67	0.82	3.28	3.54	1.54	1.26	8.06	2.26	27.1	22.3
1-8	1115	772	13.9	13.1	4.60	2.35	3.62	3.58	2.14	1.60	7.19	2.15	27.9	21.8

### 3.4 Puiden ravinnetila neulas-analyysien perusteella

Puiden ravinnetilassa ei uusimpien neulas-alkuainepitoisuuksien perusteella ollut näytealojen välillä suurta eroa (taulukko 7). Selvin ero Kostamuksen ja Kainuun näytealojen välillä oli neulasen kalsiumpitoisuuksissa niiden ollessa vuosina 1993 ja 1994 Kostamuksen puolella noin 15-20 % korkeammat kuin Kainuussa. Vuonna 1998 erot näytealojen välillä tasoittuivat, kun kalsiumpitoisuus väheni vuosiin 1993 ja 1994 nähden erityisesti Kostamuksen näytealoilla. Neulasen typpi- ja fosforipitoisuudet olivat puolestaan keskimäärin jonkin verran korkeampia Kainuun kuin Kostamuksen näytealoilla. Sen sijaan magnesium- ja kaliumpitoisuuksissa ei ollut käytännössä eroa näytealojen välillä. Magnesiumpitoisuus oli kaikilla näytealoilla keruuvuosina

lähellä 1 mg/g. Kaliumpitoisuuksissa todettiin kuitenkin vuosien välillä selvä ero pitoisuuden ollessa vuosina 1994 ja 1998 keskimäärin noin 5 mg/g, mutta vuonna 1993 vain noin 4 mg/g.

Neulasen rikkipitoisuus oli vuoden 1993 näytteissä keskimäärin noin 0,80 mg/g ja vuoden 1994 näytteissä noin 0,70 mg/g. Vuoden 1998 näytteistä rikkipitoisuutta ei määritetty. Erot rikkipitoisuudessa näytealojen välillä olivat pieniä. Pellettitehtaan lähellä rikkipitoisuus oli vuonna 1994 jonkin verran muita näytealoja korkeampi.

Neulasista määritettiin raskasmetalleista vain rauta, kupari ja mangaani. Pellettitehtaan päästöt näkyivät selvästi neulasen rautapitoisuudessa, joka oli lähellä tehdasta noin 50-60 µg/g eli yli kaksinkertainen Kainuusta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Pitoisuus oli vuonna 1998 keskimääräistä korkeampi myös näytealalla 2. Vuo-

den 1998 näytteissä rautapitoisuus nousi kahdella lähimpänä pellettitehdasta sijaitsevalla näytealalla, mutta väheni kaikilla muilla näytealoilla vuosien 1993 ja 1994 näytteisiin verrattuna. Uusimpien neulasten rautapitoisuus korreloi merkitsevästi kaikkina keruuvuosina vapaan sadannan rautalas-

keuman kanssa. Neulasten kuparipitoisuus oli keskimäärin hieman korkeampi Kainuussa kuin Kostamuksessa. Mangaanipitoisuus oli keskimääräistä alempi lähellä pellettitehdasta ja Kainuussa näytealalla 6. Kuparin ja mangaanin pitoisuuksissa ei ollut vuosien välillä suurta eroa.

**Taulukko 7.** Männyn uusimpien neulasten alkuainepitoisuuksia Kostamus - Hyrynsalmi - tutkimuslinjan näytealoilla vuosina 1993, 1994 ja 1998. 1-4 = keskimäärin Kostamuksen näytealoilla; 5-8 = keskimäärin Kainuun näytealoilla; 1-8 = keskimäärin koko gradienttilinjalla.

Näyte- ala	N %			P mg/g			K mg/g			Ca mg/g		
	93	94	98	93	94	98	93	94	98	93	94	98
1	0.96	0.89	0.98	1.26	1.37	1.27	4.50	5.42	5.42	2.12	2.03	1.61
2	0.96	0.90	1.04	1.24	1.29	1.35	4.47	5.06	5.13	2.25	2.29	1.87
3	0.98	0.92	1.04	1.23	1.32	1.30	4.01	5.13	4.94	2.18	2.09	1.73
4	1.02	0.95	1.00	1.26	1.32	1.29	4.17	5.05	4.87	1.71	1.64	1.41
5	0.95	0.94	1.03	1.24	1.30	1.30	4.40	5.38	5.31	2.14	1.99	1.73
6	1.07	1.11	1.10	1.38	1.37	1.38	3.72	4.72	4.61	2.00	1.56	1.64
7	0.89	0.93	1.00	1.17	1.18	1.25	4.12	5.62	5.10	1.62	1.36	1.38
8	1.21	1.11	1.20	1.46	1.43	1.53	4.05	4.80	4.48	1.45	1.25	1.31
1-4	0.98	0.92	1.02	1.25	1.33	1.30	4.29	5.17	5.09	2.07	2.01	1.66
5-8	1.03	1.02	1.06	1.31	1.32	1.37	4.07	5.13	4.88	1.80	1.54	1.52
1-8	1.01	0.97	1.04	1.28	1.32	1.33	4.18	5.15	4.98	1.93	1.78	1.59

Näyte- ala	Mg mg/g			Mn µg/g			Fe µg/g			Cu µg/g		
	93	94	98	93	94	98	93	94	98	93	94	98
1	1.00	0.99	1.03	437	387	409	56.4	61.9	66.6	2.16	2.97	2.71
2	1.07	0.99	1.08	588	613	597	36.5	31.8	50.2	2.09	2.50	2.72
3	0.84	0.87	0.86	552	613	532	30.9	32.9	27.3	2.17	2.64	2.66
4	0.95	0.99	1.00	499	513	494	37.0	28.2	27.4	2.77	3.07	2.93
5	1.01	1.01	1.07	533	468	477	33.3	24.3	23.5	2.73	2.99	2.66
6	0.99	0.93	1.02	462	397	468	36.1	26.8	22.8	2.68	3.14	3.10
7	0.97	0.91	0.95	484	416	450	30.3	20.8	18.7	2.29	2.46	2.66
8	0.94	0.95	0.96	623	568	663	38.8	26.7	24.3	2.97	3.43	3.28
1-4	0.97	0.96	0.99	519	532	508	40.2	38.7	42.9	2.30	2.80	2.76
5-8	0.98	0.95	1.00	526	462	515	34.6	24.7	22.3	2.67	3.01	2.93
1-8	0.97	0.96	1.00	522	497	511	37.4	31.7	32.6	2.48	2.90	2.84



## 4. Tulosten tarkastelua

### 4.1 Rikki- ja typpilaskeuma

Kostamuksen rautapellettitehtaan (Karjalan Pelletti Oy) päästöistä rikki muodostaa metsäympäristön tilan kannalta suurimman uhkan. Laskeumamittausten perusteella suurin osa rikistä laskeutuu maahan 15 km:n säteellä pellettitehtaasta. Rikkilaskeuma vapaassa sadannassa pellettitehtaan välitömässä ympäristössä, lähes 300 mg/m<sup>2</sup>, on jonkin verran alempi kuin eteläisimpään Suomeen tuleva laskeuma (Leinonen 1993, 1994, 1996, 1997, 1998). Rikkilaskeumassa havaittu ero talvikauden ja kesäkauden välillä johtuu pääasiassa siitä, että kesäaikana rikkidioksidi hapettuu nopeasti sulfaattirikiksi ja tulee sateiden mukana alas pääasiassa lähelle päästölähdettä. Talvella rikkidioksidin muuttuminen sulfaattirikiksi on hidasta eikä se sitoudu kovin tehokkaasti satavaan lumeen, mistä syystä rikkiä voi kulkeutua etäämmälle päästölähteestä.

Pellettitehtaan suurista rikkipäästöistä huolimatta rikkilaskeuma Kainuussa jää suhteellisen vähäiseksi, noin 200 mg/m<sup>2</sup>, mikä on noin puolet eteläisimpään Suomeen tulevasta laskeumasta. Ilmatieteen laitoksen Vuokatin mittausasemalla sulfaattirikkilaskeuma oli tutkimusvuosina 1993-1998 samaa suuruusluokkaa kuin tutkimuslinjan Kainuun puoleisella osalla (Leinonen 1998). Läntisimmällä näytealalla Hyrynsalmella rikkilaskeuma oli Suomen puoleisista näytealoista suurin ja täällä lounaan ja lännenpuoleisten ilmavirtausten mukana tulevalla kaukokulkeumalla saattaa olla jo suurempi vaikutus kokonaisrikkilaskeumaan kuin idempänä. Toisaalta näyteala sijaitsee Kainuun vaarajaksolla jokilaaksossa, missä paikalliset sääolosuhteet saattavat vaikuttaa laskeuman määrään.

Rikkilaskeuma näytealoilla vaihteli vuodesta toiseen samansuuntaisesti. Kostamuksen pellettitehtaan päästöjen väheneminen on pienentänyt Kostamuksen ja Kainuun alueelle tulevaa rikkilaskeumaa. Laskeumamittausten perusteella ei voida kuitenkaan tarkalleen sanoa, mikä osuus pellettitehtaan päästöjen vähenemisellä on laskeumaan, sillä alueelle tulee huomattava määrä rikkiyhdisteitä ilmavirtausten mukana myös muualta Suomesta ja muista Pohjoismaista, Venäjältä ja Keski-Euroopasta. Rikkilaskeuman suurempi väheneminen Kainuun kuin Kostamuksen puolella näyttäisi viittaavan myös paikallisten rikkipäästöjen ja kaukokulkeumana muualta kuin Kostamuksesta Kainuun alueelle tulevan rikin vähenemiseen.

Kostamuksen rikkipäästöillä on ollut tähän mennessä suhteellisen vähän vaikutuksia metsäekosysteemiin ja toistaiseksi vaikutukset ovat näkyneet pääasiassa pellettitehtaan läheisyydessä, jossa rikkilaskeuma on kohtalaisen korkea. Runsaan viiden kilometrin säteellä pellettitehtaasta on todettu kohonneita rikkipitoisuuksia neulasissa, sammalissa, humuksessa ja maavedessä. Pitoisuudet ovat vähentyneet viime vuosina. Lähellä tehdaslaitoksia on todettu myös muutoksia maaperän pieneliöstössä, männyn kaarnan happamuudessa ja jäkälien solukalvojen läpäisevyydessä ja fysiologisessa aktiivisuudessa (Lumme ym. 1997, Potasheva ym. 1994). Soluvaurioiden määrä neulasissa on myös korkeampi lähellä tehdasta kuin tutkimuslinjan muilla näytealoilla (Lumme ym. 1997). Edellämainitut muutokset johtuvat osittain myös muista tekijöistä kuin rikistä, mm. pölystä. Rikkipäästöt eivät ole toistaiseksi merkittävästi vaikuttaneet männiköiden kuntoon ja kasvuun pellettitehtaan lähialueellakaan (Lumme ym. 1997).

Myöskään maaperästä mitatut tunnuks-  
set, pH, vetyionien määrä, emäskyllästys-  
aste ja kationinvaihtokapasiteetti eivät osoi-  
ta toistaiseksi mitään selviä merkkejä maa-  
perän happamoitumisesta edes Kostamuk-  
sessa (Lumme ym. 1997). Vapaan alumii-  
nin määrä maavedessä 20 cm:n syvyydes-  
sä on kuitenkin lähellä pellettitehdasta koh-  
talaisen korkea ja se on selvästi noussut  
vuosien kuluessa. Vajoveden vapaan alu-  
miinin määrä riippuu veden pH:sta. Mitä  
alempi pH, sitä enemmän vapaata alumii-  
nia on vajovedessä (Lindroos & Derome  
1998). Korkeina pitoisuuksina alumiini ai-  
heuttaa mm. juuristovaurioita kasveille.  
Suurimpana syynä siihen, ettei maaperäs-  
sä ole todettu tehtaan läheisyydessäkään  
selvää happamoitumista, ovat pellettitehtaan  
suuret kalkkipäästöt. Kalkkipöly neutraloi  
rikin happamoitettavaa vaikutusta. Kainuu-  
seen saakka kalkkia kulkeutuu Kostamuk-  
sesta kuitenkin niin vähän, ettei sillä ole siellä  
suurta merkitystä rikkilaskeuman neutra-  
loijana.

Kainuussa ei ole maaperässä, männi-  
köiden kunnossa ja kasvussa todettu mi-  
tään sellaisia muutoksia, jotka voitaisiin sel-  
västi yhdistää rikkilaskeuman vaikutuksiin  
(Lumme ym. 1997, Lindgren ym. 1998, Sa-  
lemaa ym. 1998). Myöskään rikille herk-  
kien epifyyttijäkälien, kuten naavojen ja lup-  
pojen runsaudessa ei ole voitu erottaa Kai-  
nuussa mitään selvää Kostamuksen rikki-  
päästöjen vaikutusta (Poikolainen ym.  
1998). Päinvastoin loppojen määrä näyttää  
lisääntyvän itärajan tuntumassa ja Kosta-  
muksessa Kainuun länsiosiin verrattuna  
vanhojen metsien suuremmasta määrästä  
johtuen. Vaikka Kainuussa rikkilaskeuma  
(alle 200 mg/m<sup>2</sup>) jää vain noin puoleen Ete-  
lä-Suomeen tulevasta laskeumasta, niin  
Länsi-Lapissa, joka edustaa rikkilaskeuman  
suhteen puhtainta aluetta Suomessa, las-  
keuma jää selvästi alle 100 mg/m<sup>2</sup> (Leino-  
nen 1998). Kainuussa rikkilaskeuman ai-

heuttama happamoittava laskeuma saattaa-  
kin ylittää kriittiset raja-arvot kaikkein ka-  
ruimmilla kankailla (Kämäri ym. 1992).

Laskeumamittausten perusteella Kos-  
tamuksen pellettitehdas ei lisää typpikuor-  
mitusta Kostamuksessa eikä Kainuussa.  
Ammonium- ja nitraattityppilaskeuma jää-  
vät tutkimusalueella alle puoleen Etelä-Suo-  
meen tulevasta laskeumasta (Leinonen  
1998). Typpilaskeuma on niin alhainen, että  
se sitoutuu pääosin puustoon ja aluskasvil-  
lisuuteen.

## 4.2 Raskasmetallilaskeuma

Raskasmetallilaskeuma ja erityisesti rauta-  
laskeuma (n. 20 mg/m<sup>2</sup>) on kohtalaisen  
suuri pellettitehtaan välittömässä läheisyy-  
dessä ja se on suurin piirtein samaa luok-  
kaa kuin eteläisimmässä Suomessa (Lei-  
nonen 1998). Vaikka Kostamuksen rauta-  
päästöt näkyvät laskeumassa lievästi ko-  
honneina pitoisuuksina Kainuun itäisimmis-  
sä osissa, niin rautalaskeuma jää koko Kai-  
nuussa alhaiseksi. Metsien terveydentilan  
kannalta pellettitehtaan rautapäästöt eivät  
ole niin suuri uhka kuin rikkipäästöt. Rauta  
ei suurinakaan pitoisuuksina ole kovin myr-  
kyllinen verrattuna moniin muihin raskas-  
metalleihin (Merian 1991).

Sammalten raskasmetallikartoitusten  
perusteella Kostamuksen raskasmetalli-  
päästöt laskeutuvat maahan pääosin alle 10  
kilometrin etäisyydellä päästölähteestä.  
Raskasmetalleista ainoastaan rauta näkyy  
kohonneina pitoisuuksina Kainuun puolella  
ja sielläkin vain aivan itäisimmissä osissa.  
Samanlaisia tuloksia on saatu valtakunnal-  
lissa raskasmetallikartoituksissa sanna-  
lilla vuosina 1985, 1990 ja 1995 (Kubin ym.  
1998). Vuoden 1995 kartoituksessa todet-  
tiin lievästi kohonneita rautapitoisuuksia  
vain itärajan tuntumassa kapealla vyöhyk-  
keellä Kuhmon ja Suomussalmen rajamail-



la. Sammalten raskasmetallipitoisuudet ovat Kainuussa yleisesti ottaen alhaisia ja vastaavat tausta-alueiden pitoisuuksia (Kubin ym. 1998, Rühling ym. 1996). Karjalan tasavallan puolella tehdyissä raskasmetallikartoituksissa vuonna 1995 (Rühling ym. 1996, 1998) sammalten rauta-, vanadiini- ja arseenipitoisuudet olivat Kostamuksen alueella kohtalaisen korkeita. Pitoisuudet laskivat länteenpäin, mutta olivat vielä lähellä Suomen rajaa tausta-alueiden arvoja korkeampia. Myös elohopeapitoisuudet olivat huomattavan korkeita laajalla alueella Kostamuksen itäpuolella. Syytä korkeisiin elohopeapitoisuuksiin ei ole kuitenkaan vielä pystytty selvittämään.

Sammalten raskasmetallipitoisuudet ovat vähentyneet selvästi, mikä on todettu myös valtakunnallisissa raskasmetallikartoituksissa (Kubin ym. 1998). Useimpien raskasmetallien pitoisuuksien väheneminen sammalissa johtuu muista tekijöistä kuin Kostamuksen päästöjen vähenemisestä. Esimerkiksi lyijylaskeuman huomattava alentuminen erityisesti Kainuussa johtuu siitä, että on yleisesti siirrytty lyijyttömän bensiinin käyttöön. Kostamuksen päästöjen supistuminen on vaikuttanut lähinnä rauta- ja nikkelilaskeumaan.

### 4.3 Puuston ravinnetila

Neulasanalyysien perusteella neulasten ravinnepitoisuudet eivät poikkea Kostamuksen ja Kainuun alueilla kuivien kankaiden männiköille ilmoitetuista ohjearvoista (Jukka 1988). Neulasten typpi-, fosfori-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet ovat kuitenkin selvästi alempia kuin metsien kunnan seuranta-aloilta ympäri Suomen vuosina 1987-1989 mitatut keskimääräiset uusimpien neulasten pitoisuudet (Raitio 1998). Sen sijaan Kostamuksen ympäristössä neulasten rauta- ja kalsiumpitoisuudet ovat

tausta-alueiden arvoja korkeampia. Laskeumamittausten perusteella pellettitehtaan lähellä magnesiumia ja kaliumia näyttää huuhtoutuvan neulasista normaalia enemmän, mikä viittaa happaman sateen vaikutukseen (Lindroos & Derome 1998).

Neulasten rikkipitoisuuden on todettu nousevan samalla kun ilman rikkidioksidipitoisuus ja maaperän rikkipitoisuus nousevat (Manninen & Huttunen 1995). Esimerkiksi Kuolan sulattojen läheisyydessä neulasten rikkipitoisuus ylittää 1,20 g/kg. Kostamuksen ympäristössä ei sen sijaan ole havaittavissa kovin selvää neulasten rikkipitoisuuden nousua, vaikka pellettitehtaan rikkipäästöt ovat kohtalaisen korkeat. Uusimpien neulasten rikkipitoisuus (0,64 - 0,94 g/kg) jää koko tutkimuslinjalla selvästi jopa metsien kunnan seuranta-aloilta eri puolilta Suomea mitatun keskimääräisen pitoisuuden (noin 0,90 g/kg) alle (Raitio 1998). Männyn neulasten normaalina talviaikaisena tausta-aluearvona pidetään 0,90 g/kg. Huolimatta neulasten rikkipäästöihin nähden suhteellisen alhaisesta rikkipitoisuudesta rikkidioksidin aiheuttamien neulasvaurioiden määrän on todettu kohonneen pellettitehtaan lähellä (Lumme 1997). Tässä tutkimuksessa eikä myöskään Kainuun ilmanlaadun selvityksissä vuonna 1993 (Rautio & Huttunen 1994) havaittu Kainuun itäosissa mitään selvää korrelaatiota havupuiden neulasten vaurioissa eikä rikkipitoisuudessa suhteessa etäisyyteen Kostamuksesta.

## 5. Yhteenveto

Kostamuksen rautapellettitehdas Karjalan tasavallassa lähellä Suomen itärajaa on huomattava rikin päästölähde, vaikka sen rikkipäästöt ovat vähentyneet 1990-luvulla n. 60 000 tonnista 40 000 tonniin vuodessa. Pääosa rikkipäästöistä laskeutuu maahan 15 km:n säteellä rikastamosta. Vuosina 1993-98 rikkilaskeuma oli vapaassa sadanassa rikastamon lähellä keskimäärin lähes 300 mg/m<sup>2</sup>/v väheten nopeasti länteenpäin niin, että Kainuussa se oli enää vajaa 200 mg/m<sup>2</sup>/v. Laskeuma aleni vuosina 1996-98 Kostamuksen alueella keskimäärin 12 % ja Kainuussa 22 % vuosien 1993-95 laskeumasta. Laskeuman väheneminen ei johdu pelkästään Kostamuksen päästöjen vähenemisestä, vaan sitä ovat alentaneet erityisesti Kainuussa myös Suomen omien rikkipäästöjen ja kaukokulkeumana tulevan rikin väheneminen.

Rikastamon läheltä mitattiin sammalista, humuksesta ja maavedestä selvästi tausta-aluearvoja korkeampia rikkipitoisuuksia. Pitoisuudet laskivat kuitenkin rikkilaskeuman tavoin nopeasti länteenpäin niin, että pitoisuuksissa ei voitu todeta enää Kainuussa selvää laskevaa gradienttia. Suurista rikkipäästöistä huolimatta maaperästä mitatuista tunnuksista ainoastaan vajoveden korkea alumiinipitoisuus rikastamon lähellä viittasi maaperän happamoitumiseen. Päästöillä ei ole vielä ollut vaikutusta myöskään puuston elinvoimaisuuteen muutoin kuin aivan rikastamon lähellä, jossa on jo havaittavissa merkkejä puuston kunnan alenemisesta. Se, ettei rikkipäästöillä ole toistaiseksi ollut kovin suurta vaikutusta, johtuu osittain tehtaan suurista kalkkipäästöistä, jotka neutraloivat rikin happamoittavaa vaikutusta.

Kainuussa rikkilaskeuma oli vuosina 1993-98 kohtalaisen alhainen eikä siellä havaittu mitään selviä maaperän happamoitumiseen eikä puuston elinvoimaisuuteen

viittaavia muutoksia, jotka olisivat yhdistettävissä Kostamuksen rikkipäästöihin. Happamoitumisen vaara alueella on viime vuosina vähentynyt rikkilaskeuman alenemisen myötä. Typpilaskeuma on niin pieni, että se sitoutuu pääosin puustoon ja aluskasvillisuuteen.

Rikin ja kalkin lisäksi pellettitehtaalta pääsee ilmaan raskasmetalleja, lähinnä rautaa ja jossain määrin myös nikkeliä, kromia, titaania ja vanadiinia. Rauta ei ole suurinakaan pitoisuuksina niin myrkyllistä kuin monet muut raskasmetallit. Suurin osa raudasta laskeutuu maahan alle 10 kilometrin säteellä tehtaasta. Rautaa leviää jonkin verran Kainuun itäosiin saakka, mutta laskeuma on jo niin pieni, ettei siitä ole haittaa metsäekosysteemille. Raskasmetallilaskeuma on selvästi vähentynyt 1990-luvun kuluessa. Kostamuksen päästöjen väheneminen on vaikuttanut lähinnä rauta- ja nikkelilaskeumaan. Muiden raskasmetallien, kuten lyijyn, laskeuman aleneminen johtuu muista tekijöistä kuin Kostamuksen päästöjen vähenemisestä.

Vaikka pellettitehtaan rikkipäästöjen supistuminen on vähentänyt metsämaiden happamoitusvaaraa ja metsävaurioiden syntymisen todennäköisyyttä etenkin Kainuussa, rikkilaskeuma Kostamuksen ympäristössä on edelleenkin niin suuri, että se aiheuttaa ajan mittaan muutoksia metsäekosysteemissä. Pellettitehdashan on toiminut vasta suhteellisen lyhyen ajan. Kainuussakin rikkilaskeuma saattaa ylittää kaikkein karuimmilla metsämailla kriittiset raja-arvot ja se saattaa vaikuttaa ilmansaasteille kaikkein herkimpien eliölajien olemassaoloon, ellei päästöjä saada vähennettyä. Savukaasujen puhdistuslaitteet pitäisi saada pikimmiten pellettitehtaan savupiippuihin. Sen myötä koko Karjalan rikkipäästöt vähenisivät vähintään kolmasosalla, mikä alentaisi rikkilaskeumaa myös laajoilla alueilla Kainuussa ja muualla Itä-Suomessa.



## Kiitokset

Tutkimus on tehty yhteistyössä Karjalan tiedekeskuksen metsäinstituutin kanssa, jossa tutkimusta on johtanut tri Natalia Fedorets. Kostamuksen luonnonsuojeluyksikkö on avustanut maastotöissä. Pekka Honkanen, Pekka Keränen, Kyösti Markkanen ja Reijo Seppänen Muhoksen tutkimusasemalta ovat vastanneet käytännössä näytealojen perustamisesta, näytealojen puustoon ym. liittyvistä mittauksista ja näytteiden keruusta. Näytteiden keruu ja kuljetus Venäjän puolelta Suomeen kuuden tutkimusvuoden aikana on vaatinut erityistä sopeutumista paikallisiin oloihin. Pääosa näytteistä on analysoitu Muhoksen tutkimusasemalla. Pekka Honkanen, Paula Kylmänen, Anna-Liisa Mertaniemi ja Ulla Repo Muhoksen tutkimusasemalta ovat esikäsittelleet ja analysoineet näytteet. Osa bioindikaattorinäytteistä on analysoitu Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa Vantaalla ja osa vesinäytteistä Rovaniemen tutkimusasemalla. Irene Murtovaara on viimeistellyt loppuraportin. Vuosien aikana hankkeeseen on osallistunut myös lukuisia määriä muita henkilöitä. Parhaimmat kiitokset kaikille tutkimustyöhön osallistuneille! Ympäristöministeriö on tukenut hanketta kokonaisen keston ajan.

Muhoksen tutkimusaseman laboratoriopäällikkö, kemisti Harri Lippo toimi hankkeen vetäjänä vuosina 1996-1998 lähes sen loppuun saakka. Hän vastasi myös näytteiden kemiallisista analyyseistä niin, että analyytit tehtiin huolella ja tulokset olivat luotettavia. Harri Lipon ansiokas työ jäi valitettavasti kesken, sillä hän menehtyi traagisesti liikenneonnettomuudessa Muhoksella syyskuun 11. päivänä 1998.

*Jarmo Poikolainen*

## Kirjallisuus

- Derome, J., Niska, K., Lindroos, A.-J. & Välikangas, P. 1991. Ion-balance monitoring plots and bulk deposition in Lapland during July 1989 - June 1990. Julkaisussa: Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the USSR. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373: 49-76.
- Ilmatieteen laitos 1991. Tilastoja Suomen ilmastosta 1960-1991. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 90, osa 1. Ilmatieteen laitos. 125 s.
- Jukka, L. (toim.). 1988. Metsänterveysopas. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Kubin, E., Lippo, H. & Poikolainen, J. 1998. Raskasmetallikuormitus. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 55-61.
- Kämäri, J., Forsius, M., Johansson, M. & Posch, M. 1992. Happamoittavan laskeuman kriittinen kuormitus Suomessa. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Selvitys 111. 59 s.
- Kolkkari, O. 1981. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudella 1931-1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 65, osa 1a. Ilmatieteellinen keskuslaitos.
- Leinonen, L. (toim.). 1993. Ilmanlaatumittauksia 1992. Ilmatieteen laitos. Helsinki 1993. 248 s.
- Leinonen, L. (toim.). 1994. Ilmanlaatumittauksia 1993. Ilmatieteen laitos. Helsinki 1994. 245 s.
- Leinonen, L. (toim.). 1996. Ilmanlaatumittauksia 1994. Ilmatieteen laitos. Helsinki 1996. 236 s.

- Leinonen, L. (toim.). 1997. Ilmanlaatu-  
mitauksia 1995. Ilmatieteen laitos. Helsinki  
1997. 248 s.
- Leinonen, L. (toim.). 1998. Ilmanlaatu-  
mitauksia 1996. Ilmatieteen laitos. Helsinki  
1998. 244 s.
- Lindgren, M., Salemaa, M. & Tamminen,  
P. 1998. Metsien kunto: Metsien kun-  
non riippuvuus ympäristökijöistä. Jul-  
kaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympä-  
ristömuutos ja metsien kunto. Metsien ter-  
veydentilan tutkimusohjelman loppu-  
raportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-  
antoja 691: 119-126.
- Lindroos, A.-J. & Derome, J. 1998. Met-  
säekosysteemin toiminta: Laskeuma ja  
sen vaikutus metsämaahan. Julkaisus-  
sa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristö-  
muutos ja metsien kunto. Metsien ter-  
veydentilan tutkimusohjelman loppu-  
raportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-  
antoja 691: 151-157.
- Lumme, I. (toim.). 1994. Karjalan metsien  
terveydentila – tutkimushankkeen väli-  
raportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-  
antoja 489. 42 s.
- Lumme, I., Arkhipov, V., Fedorets, N. &  
Mälkönen, E. (toim.) 1997. Männiköi-  
den kunto Karjalan kannaksen - Kaak-  
kois-Suomen ja Kostamuksen - Kainuun  
alueilla. Suomalais-venäläisen tutkimus-  
hankkeen loppuraportti. Metsäntutki-  
muslaitoksen tiedonantoja 665. 75 s.
- Manninen, S. & Huttunen, S. 1995. Scots  
pine needles as bioindicators of sulphur  
deposition. *Can.J.For.Res.* 25: 1559-  
1569.
- Miljaev, V.B. & Fetshenko, M.S. 1998.  
Karjalan tasavallan ilmapäästöt. Karja-  
lan tasavalta. Ilmansuojelun tutkimus-  
laitos. Karjalan tasavallan luonnonsuo-  
jelukomitea. Pietari 1998 (venäjänkieli-  
nen).
- Mäkelä, K. 1997. Liikenteen päästöt Kai-  
nuussa 5.8.1997. LIISA-laskentaohjel-  
ma. VTT, yhdyskuntatekniikka.
- Poikolainen, J., Kuusinen, M. & Mikkola,  
K. 1998. Metsien kunto: Puiden jäkälät  
ilmanlaadun indikaattoreina. Julkaisus-  
sa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristö-  
muutos ja metsien kunto. Metsien ter-  
veydentilan tutkimusohjelman loppu-  
raportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-  
antoja 691: 128-137.
- Potasheva, M., Kravtzenko, A. & Poiko-  
lainen, J. 1994. Jäkälät ilman epäpuh-  
tauksien indikaattoreina Kostamuksen  
männiköissä. Julkaisussa: Lumme, I.  
(toim.). Karjalan metsien terveydentila  
– tutkimushankkeen väli-  
raportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-  
antoja 489: 35-38.
- Raitio, H. 1998. Puiden ravinnetila: Neulas-  
analyysi puiden ravinnetilan kuvaajana.  
Neulasten ravinnepitoisuudet. Ravinne-  
pitoisuuksien muutokset pitkällä aikavä-  
lillä. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.).  
Ympäristömuutos ja metsien kunto. Met-  
sien terveydentilan tutkimusohjelman  
loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen  
tiedonantoja 691: 86-89.
- Rautio, P. & Huttunen, S. 1994. Kainuun  
ilmanlaadun selvitys bioindikaation avul-  
la 1993. Oulun yliopisto, Kasvitieteen  
laitos 1994. 52 s. + liitteet.
- Reinikainen, A. & Nousiainen, H. 1985.  
Biologien työohjeet VMI 8:n pysyviä  
koealoja varten. Metsäntutkimuslaitos.  
Moniste. 42 s. + liitteet.
- Rühling, Å., Steinnes, E. & Berg, T. 1996.  
Atmospheric heavy metal deposition in  
Northern Europe 1995. *Nord* 1996: 37.  
46 s.
- Rühling, Å. & Steinnes, E. 1998. Atmosphe-  
ric heavy metal deposition in Europe  
1995-1996. *Nord* 1998: 15. 66 s.

- Salemaa, M. & Lindgren, M. 1998. Metsien kunto: Latvuksen kunto. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 103-110.
- Suomen meteorologiset vuosikirjat vuosilta 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 ja 1997. Ilmatieteen laitos. Helsinki.
- Ympäristöministeriö 1998. Happamoitumistoimikunnan mietintö. Suomen ympäristö. Ympäristön suojele 2/9. 182 s.

**Liite 1.** Keskimääräinen  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$ , Ca-, Mg-, K-, Na- ja Fe-laskeuma ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) Kostamus - Hyrynsalmi -tutkimuslinjalla vapaassa sadannassa (V) ja metsikkösadannassa (M) vuosina 1993-1995 ja 1996-1998.

		Näytealat							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{SO}_4$	1993-95 V	291	261	248	245	205	230	207	248
	1996-98 V	261	228	210	221	171	170	156	192
	1993-95 M	475	348	254	330	283	267	287	273
	1996-98 M	453	336	271	306	254	198	200	217
$\text{NO}_3$	1993-95 V	96	101	95	102	78	101	85	120
	1996-98 V	82	85	79	85	73	83	72	96
	1993-95 M	53	43	41	59	54	64	65	67
	1996-98 M	64	52	51	69	65	54	55	66
$\text{NH}_4$	1993-95 V	85	92	120	98	98	90	73	102
	1996-98 V	96	88	105	96	74	75	73	88
	1993-95 M	58	76	63	92	63	71	50	74
	1996-98 M	59	69	51	86	56	77	54	73
Ca	1993-95 V	180	84	61	52	62	50	53	50
	1996-98 V	132	63	47	46	40	31	30	39
	1993-95 M	318	141	104	130	112	117	124	96
	1996-98 M	303	154	119	129	109	94	100	75
Mg	1993-95 V	14	13	17	10	9	9	8	11
	1996-98 V	16	12	13	11	10	9	8	11
	1993-95 M	53	34	26	36	31	30	36	31
	1996-98 M	57	38	30	37	33	28	32	28
K	1993-95 V	47	49	67	45	48	47	35	55
	1996-98 V	38	37	49	30	42	32	15	46
	1993-95 M	246	201	165	203	160	162	200	165
	1996-98 M	215	171	152	158	144	148	175	150
Na	1993-95 V	96	76	66	60	49	61	51	59
	1996-98 V	68	60	50	51	41	45	34	53
	1993-95 M	100	93	68	91	80	100	110	99
	1996-98 M	102	92	78	98	88	82	86	77
Fe	1993-95 V*	18	4	2	4	2	2	1	2
	1996-98 V	20	7	6	5	5	4	4	4
	1993-95 M*	20	22	10	15	4	17	8	5
	1996-98 M	24	10	7	7	7	5	7	6

\* Vuodelta 1993 ei ole tietoja; keskiarvo on laskettu vuosien 1994 ja 1995 laskeumatulosten perusteella.



**Liite 2.** Vuosien 1996-1998 keskimääräinen SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, Ca-, Mg- ja K-laskeuma %:na vuosien 1993-1995 laskeumasta (= 100) Kostamuksen (1-4), Kainuun (5-8) ja kaikilla näytealoilla (1-8).

Laskeuma, kausi	Kostamus (1-4)			Kainuu (5-8)			Koko linja (1-8)		
	93-95 mg/m <sup>2</sup>	%	96-98 %	93-95 mg/m <sup>2</sup>	%	96-98 %	93-95 mg/m <sup>2</sup>	%	96-98 %
SO <sub>4</sub> Vapaa, koko vuosi	261	100	88	223	100	77	242	100	83
SO <sub>4</sub> Vapaa, vesisade	128	100	83	91	100	77	110	100	80
SO <sub>4</sub> Vapaa, lumi	133	100	93	131	100	78	132	100	86
SO <sub>4</sub> Metsä, koko vuosi	352	100	97	277	100	78	315	100	89
SO <sub>4</sub> Metsä, vesisade	189	100	79	105	100	73	147	100	77
SO <sub>4</sub> Metsä, lumi	163	100	116	172	100	81	167	100	99
NO <sub>3</sub> Vapaa, koko vuosi	98	100	85	96	100	84	97	100	84
NO <sub>3</sub> Vapaa, vesisade	30	100	93	26	100	100	28	100	96
NO <sub>3</sub> Vapaa, lumi	69	100	80	70	100	79	69	100	80
NO <sub>3</sub> Metsä, koko vuosi	49	100	120	63	100	95	56	100	106
NO <sub>3</sub> Metsä, vesisade	14	100	94	11	100	109	13	100	97
NO <sub>3</sub> Metsä, lumi	35	100	131	52	100	93	43	100	109
NH <sub>4</sub> Vapaa, koko vuosi	99	100	97	90	100	86	94	100	92
NH <sub>4</sub> Vapaa, vesisade	52	100	101	42	100	87	47	100	95
NH <sub>4</sub> Vapaa, lumi	47	100	92	48	100	85	47	100	90
NH <sub>4</sub> Metsä, koko vuosi	72	100	92	64	100	102	68	100	96
NH <sub>4</sub> Metsä, vesisade	44	100	100	30	100	139	37	100	116
NH <sub>4</sub> Metsä, lumi	28	100	71	34	100	69	31	100	70
Ca, Vapaa, koko vuosi	94	100	77	54	100	65	74	100	72
Ca, Vapaa, vesisade	44	100	83	14	100	139	29	100	97
Ca, Vapaa, lumi	51	100	72	40	100	40	45	100	59
Ca, Metsä, koko vuosi	174	100	101	112	100	85	143	100	95
Ca, Metsä, vesisade	89	100	94	47	100	101	68	100	96
Ca, Metsä, lumi	87	100	107	66	100	72	75	100	94
Mg, Vapaa, koko vuosi	14	100	92	10	100	93	12	100	92
Mg, Vapaa, vesisade	7	100	94	3	100	144	5	100	109
Mg, Vapaa, lumi	7	100	90	6	100	83	6	100	94
Mg, Metsä, koko vuosi	37	100	109	32	100	95	34	100	104
Mg, Metsä, vesisade	20	100	97	14	100	97	17	100	97
Mg, Metsä, lumi	16	100	131	18	100	93	17	100	111
K, Vapaa, koko vuosi	52	100	74	46	100	73	49	100	73
K, Vapaa, vesisade	33	100	82	31	100	80	32	100	81
K, Vapaa, lumi	19	100	57	15	100	56	17	100	58
K, Metsä, koko vuosi	203	100	86	171	100	90	187	100	88
K, Metsä, vesisade	146	100	77	112	100	92	129	100	83
K, Metsä, lumi	57	100	110	60	100	85	58	100	98

**Liite 3.** Vajoveden S-, Mg-, Ca-, Al- ja Fe-pitoisuus (mg/l) tutkimuslinjan näytealoilla 5 cm:n ja 20 cm:n syvyydessä keskimäärin vuosina 1993-1995 ja 1996-1998.

Näyteala	S		Mg		Ca		Al		Fe	
	5 cm	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95
1	2.75	2.56	0.58	0.55	2.60	3.12	0.71	0.73	0.76	0.56
2	1.90	1.16	0.41	0.49	0.57	1.45	0.69	0.68	0.57	0.39
3	1.94	1.47	0.37	0.32	0.93	1.61	0.53	0.52	0.93	0.37
4	2.02	1.20	0.34	0.14	0.72	0.83	1.10	0.78	0.72	0.34
5	1.58	1.20	0.31	0.33	0.73	1.24	0.39	0.50	0.73	0.51
6	1.98	1.45	0.18	0.19	0.34	0.85	0.51	1.15	0.34	0.40
7	1.92	1.10	0.39	0.24	0.97	0.89	0.67	0.62	0.97	0.64
8	1.50	1.07	0.16	0.10	0.50	0.43	0.72	0.85	0.50	0.36
1-4	2.15	1.60	0.43	0.38	1.21	1.75	0.76	0.68	0.75	0.42
5-8	1.75	1.21	0.26	0.22	0.64	0.85	0.57	0.78	0.64	0.48
1-8	1.95	1.40	0.34	0.30	0.92	1.30	0.67	0.73	0.69	0.45

Näyteala	S		Mg		Ca		Al		Fe	
	20 cm	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95	96-98	93-95
1	3.06	3.20	0.86	0.84	1.99	2.42	1.34	2.39	0.54	0.52
2	2.00	1.66	0.21	0.23	0.74	0.73	0.28	0.68	0.14	0.18
3	1.45	1.20	0.20	0.22	0.62	0.93	0.10	0.14	0.02	0.05
4	2.39	1.53	0.24	0.19	0.72	0.58	0.43	0.54	0.17	0.10
5	1.22	0.88	0.20	0.21	0.49	0.43	0.17	0.16	0.09	0.05
6	1.26	0.90	0.17	0.11	0.50	0.28	0.10	0.07	0.02	0.02
7	2.15	1.28	0.25	0.25	0.48	0.44	0.39	0.82	0.15	0.25
8	1.44	1.57	0.10	0.18	0.39	0.59	0.11	0.17	0.03	0.03
1-4	2.23	1.90	0.38	0.37	1.02	1.17	0.54	0.94	0.22	0.21
5-8	1.52	1.16	0.18	0.19	0.47	0.44	0.19	0.31	0.07	0.09
1-8	1.87	1.53	0.28	0.28	0.74	0.80	0.37	0.62	0.15	0.15











**ISBN 951-40-1716-1**  
**ISSN 0358-4283**