



Juhani Jokinen
Jatta Karonen

Helsinki–Turku -moottoritien ilmanlaatuvaikutukset Paimion ja Piikkiön tutkimuskohteissa



Juhani Jokinen
Jatta Karonen

Helsinki–Turku -moottoritien ilmanlaatuvaikutukset Paimion ja Piikkiön tutkimuskohteissa

Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 36/2001

Tiehallinto

Helsinki 2001

ISSN 1457-991X
TIEH 4000301

Oy Edita Ab
Helsinki 2001

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
S-posti julkaisumyynti@Tiehallinto.fi
www.Tiehallinto.fi/julk2.htm

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

Asiasanat: ennen–jälkeen -tutkimukset, ilmansuojelu, päästöt, seuranta, tieympäristö

TIIVISTELMÄ

Tämän seurantatutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää vuonna 1994 valmistuneen ja käyttöön otetun Helsinki–Turku -moottoritien (valtatie 1) vaikutuksia ympäristön tilaan Paimion ja Piikkiön alueilla. Keväällä 2001 tehdyssä tutkimuksessa jatkettiin bioindikaattoriseurantaa, jota oli tehty alueilla jo vuosina 1989–1990, 1992, 1993 ja 1995. Ympäristövaikutusten arviointiin käytettiin jäkäläkartoitusta sekä mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vaurioluokitusta. Kartoitukset suoritettiin yhteensä 36 havaintoalueelta, jotka sijaitsivat kahdella tien ylittävällä tutkimuslinjalla. Lisäksi Ilmatieteen laitoksessa kehitetyillä leviämismalleilla arvioitiin liikenteen päästöjen aiheuttamia typen oksidien ja hiukkasten pitoisuuksia biologisten tutkimusten havainto-alueilla.

Jäkäläkartoituksen vuoden 2001 tuloksissa sormipaisukarpeen yleisyyttä kuvaavat pistefrekvenssit olivat pieniä moottoritien läheisyydessä kasvaen suuremmiksi etäämmällä tiestä. Paikoitellen frekvenssit kuitenkin laskivat hyvin pieniksi kaukanakin moottoritiestä. Täten moottoritien vaikutusetsyyksien arviointiin sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssien perusteella on näillä tutkimuslinjoilla suhtauduttava erittäin suurin varauksin. Tilastollisesti faktorianalyysillä testattujen bioindikaattorien joukosta kuitenkin löytyi riippuvuutta kuvaava tulkinta sormipaisukarpeen vasta- ja suojapuolen pistefrekvenssien sekä moottoritien etäisyyden väliltä. Samasta faktorista löytyi myös etäisyyden ja jäkälälajien lukumäärän välinen heikompi riippuvuus.

Harsuuntuneisuus ja mäntyjen neulasten ennenaikainen variseminen olivat vähäistä kaikilla havaintoalueilla vuoden 2001 tutkimuksissa. Liikenteen päästöt saattavat olla vaikuttamassa sekä Paimiossa että Piikkiössä moottoritien läheisyydessä havaittuihin ympäristöstään poikkeaviin korkeampiin harsuuntuneisuus- ja vaurioluokka-arvoihin, mutta luontaisten tekijöiden vaihtelulla lienee näissäkin tapauksissa suurempi merkitys puuston vaurioitumisen kannalta.

Vertailtaessa eri vuosina tehtyjä jäkäläkartoituksen tuloksia havaittiin jäkälien lajilukumäärän vähentyneen ja jäkälien yleisen vaurioasteen sekä sormipaisukarpeen vaurioasteen kasvaneen vertailujakson aikana. Lisäksi tietä lähellä olevissa pisteissä sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssien arvot pienenivät ja tiestä etäällä olevissa pisteissä kasvoivat jakson aikana. Täten tulokset osoittaisivat moottoritien rakentamisella ja liikenteen pitkäaikaisilla päästöillä olleen vaikutusta tutkimusalueen jäkälälajistoon. Mäntypuuston harsuuntuneisuuskartoituksen tuloksissa ei kuitenkaan voitu havaita selkeää muutostrendiä vertailujakson aikana. Lisäksi vertailuaineisto oli melko pieni johtopäätösten tekemiseen. Vaurioluokissa näytti tapahtuvan yhden vaurioluokan verran muutosta huonompaan vertailujakson aikana, mutta trendi ei ollut kovin selkeä. Täten moottoritiellä ei näyttäisi olleen merkittävää, luontaisesta taustasta erottuvaa vaikutusta mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vaurioluokka-arvoihin.

ESIPUHE

Tieliikenteen päästöjen ja päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien vaikutuksia on selvitetty bioindikaattoriseurannan avulla valtatie 1 varressa Paimiossa ja Piikkiössä vuosina 1989–1990, 1992, 1993, 1995 ja 2001. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut seurata moottoritien liikenteen vaikutuksia ilmanlaatuun lähiympäristössä. Seurannan tavoitteena on ollut selvittää moottoritien ympäristövaikutuksia seuraavasti:

- ennen moottoritien rakentamista tehdyt tutkimukset
- rakentamisen aikaiset tutkimukset
- moottoritien käyttöönoton jälkeiset tutkimukset

Tutkimuksissa on pyritty selvittämään valtatie 1 liikenteen päästövaikutuksia ympäristöön siten, että samalla saadaan tietoa parhaista käyttöön soveltuvista seurantamenetelmistä tulevia seurantahankkeita ajatellen.

Vuoden 2001 seurantatutkimus ja aiempien tutkimusvuosien antamien tulosten yhteenveto on tehty Ilmatieteen laitoksella Ilmanlaadun tutkimuksessa. Seurantatutkimuksen ja yhteenvedon tekijöinä ovat erikoistutkija Juhani Jokinen ja tutkija Jatta Karonen. Tiehallinnosta yhteenvedon laadintaa ovat ohjanneet Mervi Karhula ja Raija Merivirta.

Helsinki, joulukuu 2001

Tiehallinto
Tie- ja liikennetekniikka

Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
ESIPUHE	5
1 JOHDANTO	8
2 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	9
2.1 Havaintoalueet	9
2.2 Jäkäläkartoitus	9
2.3 Harsuuntuneisuusluokitus ja männyn näkyvien vaurioiden arviointi	10
2.4 Liikenteen päästöjen leviämismalli	12
3 TULOKSET	13
3.1 Jäkäläkartoitus	13
3.2 Harsuuntuneisuus ja männyn näkyvät vauriot	14
3.3 Typpidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspitoisuudet	15
4 TULOSTEN TARKASTELU	18
4.1 Jäkäläkartoitus	18
4.2 Harsuuntuneisuus ja männyn näkyvät vauriot	19
4.3 Tilastolliset käsittelyt	20
5 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	22
5.1 Jäkäläkartoitustulosten vertailua	22
5.2 Harsuuntuneisuuden ja mäntypuiden vaurioluokkien vertailua	22
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	23
VIITELUETTELO	25
KARTTAKUVAT	27
LIITTEET	1

1 JOHDANTO

Ilmatieteen laitos on aikaisemmin suorittanut bioindikaattoritutkimuksia Paimion ja Piikkiön alueilla vuosina 1989–1990, 1992, 1993 ja 1995. Tutkimusten tarkoituksena on ollut seurata Helsinki–Turku -moottoritien (valtatie 1) rakentamisen ja liikennöinnin aiheuttamia ilmanlaadun muutosten vaikutuksia ympäristöön. Liikennöinti kyseisellä moottoritieosuudella on aloitettu loppuvuodesta 1994. Tutkimuksissa on arvioitu ilmanlaatua selvittämällä mäntypuuston harsuuntumista, puiden neulasvuosikertojen määrää, tuholaisien ja tautien aiheuttamia vaurioita sekä tarkastelemalla mäntyjen rungoilla kasvavaa jäkälälajistoa ja sen kuntoa. Lisäksi on kerätty neulas-, sammal- ja humusnäytteitä kemiallisiin analyyseihin sekä suoritettu rikkidioksidin, typenoksidien, hiilimonoksidin, otsonin ja hiukkasten pitoisuusmittauksia (HEIKKILÄ, ym. 1992; LAINE, 1992; LAINE & MEINANDER 1993; MEINANDER, 1992; MÄKINEN, 1996).

Keväällä 2001 tehdyssä tutkimuksessa oli tarkoituksena jatkaa bioindikaattoriseurantaa alueella liikennöinnin jatkuttua tiellä useita vuosia. Alueella suoritettiin mäntypuiden vaurio- ja harsuuntuneisuuskartoitus, puiden runkojäkälien kartoitus sekä havupuiden oksien viherleväpeitteen kartoitus. Näiden tutkimustulosten tulkintaa varten suoritettiin lisäksi leviämismallilaskelmat liikenteen päästöjen aiheuttamista typen oksidien (typpidioksidi ja typenoksidien kokonaispitoisuus) ja hiukkasten pitoisuuksista biologisten tutkimusten näytealoille. Typenoksidipäästöjen leviämistä kuvattiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä viivalähdemallilla, jossa huomioidaan typenoksidien ilmakemiallinen muutunta päästöjen kulkeutumisen aikana ja hiukkaskuormitusta (PM_{10}) arvioitiin typenoksidien kokonaispitoisuuksiin perustuvalla regressiomallilla. Tutkimuksen tuloksia tarkasteltiin tilastollisesti faktori-analyysillä, jolla selvitettiin biologisten ja ei-biologisten tekijöiden välisiä riippuvuuksia ja pyrittiin löytämään niitä tekijöitä, jotka aiheuttavat tutkimusalueella elollisen luonnon muutoksia ja vaurioita.

Alueella eri vuosina tehtyjen tutkimusten tuloksia pyrittiin vertailemaan keskenään niiltä osin kuin se oli mahdollista. Lähinnä tämä koski jäkäläkartoituksen sekä mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vauriokartoituksen tuloksia.

2 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Havaintoalueet

Vuosien 1989–1990, 1992, 1993 ja 1995. tutkimukset toteutettiin kahdella linjalla, jotka oli muodostettu Tielaitoksen toimeksiannosta vuonna 1989. Havaintoalueiden valinta linjoilta suoritettiin käyttäen systemaattista otantaa (HEIKKILÄ ym., 1992). Ensimmäinen linja sijaitsi Paimiossa, noin 30 km Turusta Helsinkiin päin, maantie 110:n molemmin puolin kohtisuoraan tiehen nähden. Toinen linja sijaitsi Piikkiössä rakenteilla olevan moottoritielinjauksen varrella, noin 20 km Turusta Helsinkiin päin. Paimiossa havaintoalueet sijaitsivat linjalla noin 40 metrin välein toisistaan ulottuen maantie 110:n molemmilla puolilla yli 400 metrin etäisyydelle saakka ja ylittivät rakenteilla olevan moottoritielinjauksen pohjoista kohden kuljettaessa. Piikkiössä havaintoalueet sijaitsivat noin 50 metrin välein uuden moottoritielinjauksen molemmin puolin siten, että linjauksen pohjoispuolella havaintoalueita oli hieman yli 300 metrin etäisyydelle ja eteläpuolella noin 800 metrin etäisyydelle saakka.

Vuonna 2001 suoritetussa tutkimuksessa Piikkiön havaintoalueiden linja oli aiemmin käytetyn mukainen. Paimiossa moottoritien (valtatie 1) pohjoispuolella linjaa siirrettiin keskimäärin 200 metriä itään, koska linjan varrella sijaitsevan Naskarlan keskuslaitoksen päästöjen oli arveltu vaikuttaneen kartoitusten tuloksiin aikaisemmissa tutkimuksissa. Molemmilla linjauksilla jouduttiin lisäksi jonkin verran siirtämään havaintoalueiden paikkoja parempiin otantakohteisiin olosuhteiden muututtua aiemmasta (esim. metsähakkuut). Paimiossa linja ulottui noin 700 metrin etäisyydelle ja Piikkiössä noin 400 metrin etäisyydelle moottoritien pohjoispuolelle. Moottoritien eteläpuoleisilla linjoilla vastaavat etäisyydet olivat Paimiossa noin 700 metriä ja Piikkiössä lähes 900 metriä. Paimiossa sijaitsi yhteensä 13 havaintoaluetta, joista 5 oli tien pohjoispuolella ja 8 eteläpuolella. Piikkiössä havaintoalueita oli 9 tien pohjoispuolella ja 14 eteläpuolella. Havaintoalueiden keskipisteiden sijainti määritettiin satelliittipaikantimen avulla (differentiaalikorjattu GPS-laitteisto) yhden metrin tarkkuudella. Havaintoalueet on esitetty raportin lopussa olevissa karttakuvissa 1 ja 2 ja havaintoalueiden koordinaatit sekä niiden etäisyydet moottoritien keskilinjauksesta on esitetty liitteessä 1.

2.2 Jäkäläkartoitus

Puiden runkojäkäläkartoitus tehtiin 2.–8.5.2001 välisenä aikana standardin SFS 5670 (SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO, 1990) mukaisesti kummaltakin havaintoalueiden linjalta. Lisäksi havaintoalueilta kirjattiin ylös näytepuiden ikä, pituus ja paksuus rinnankorkeudelta sekä alueen metsätyyppi. Kenttätyön suoritti tutkija Jatta Karonen Ilmatieteen laitokselta.

Kullakin ympyränmuotoisella havaintoalueella, jonka säde oli 8 metriä, tehtiin runkojäkäläkartoitus satunnaisesti valituista viidestä näytepuusta. Kartoitus käsitti kaikkien lajien esiintymisen havainnoinnin, sormipaisukarpeen pistefrekvenssilaskennan sekä jäkäliden vaurioarvioinnin.

Tutkimuksessa havainnoidut lajit olivat:

<i>Hypogymnia physodes</i>	sormipaisukarve
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	keltatyvikarve
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	harmaatyvikarve
<i>Imshaugia aleurites</i>	tuhkararve
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	seinäsuomujäkälä
<i>Bryoria spp.</i>	lupot
<i>Usnea spp.</i>	naavat
<i>Platismatia glauca</i>	harmaaröyhelö
<i>Cetraria pinastri</i>	keltaröyhelö
<i>Cetraria chlorophylla</i>	ruskoröyhelö
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	hankakarve
<i>Parmelia sulcata</i>	raidanisokarve
<i>Algae + Scoliciosporum</i>	leväpeite

Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) runsaus laskettiin standardin mukaisella pistefrekvenssimenetelmällä sekä männyn suojapuolelta (tiestä pois päin) että vastapuolelta (tiehen päin). Näiden yhteenlasketusta arvosta saatiin sormipaisukarpeen kokonaispistefrekvenssi (esiintymisfrekvenssi) havaintoalueella. Sormipaisukarpeen vaurioaste arvioitiin luokittelevalla asteikolla seuraavasti:

I	normaali	jäkälät terveitä tai lähes terveitä
II	lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia
III	selvä vaurio	kitukasvuisia ja vihertyneitä ja/tai tummuneita
IV	paha vaurio	pieniä, ryppyisiä ja vihertyneitä ja/tai tummuneita
V	kuollut tai puuttuu	

Lisäksi ylimääräisenä tietona havainnoitiin kaikista jäkälistä niin sanottu yleinen vaurioaste asteikolla I (normaalit) – V (kuollut tai puuttuu).

2.3 Harsuuntuneisuusluokitus ja männyn näkyvien vaurioiden arviointi

Kummaltakin havaintoalueiden linjalta suoritettiin männyn (*Pinus Sylvestris L.*) visuaalisten vaurioiden kartoitus Jokisen (1972) mukaan, sekä harsuuntuneisuusluokitus Metsätutkimuslaitoksen ohjeiden (JUKOLA-SULONEN ym., 1991) mukaan. Lisäksi havaintoalueilta kirjattiin mäntyjen taudit, hyönteistuhot, puuston keski-ikä ja keskipituus, latvuspeittävyys sekä metsätyyppi. Kenttätyön suoritti erikoistutkija Juhani Jokinen Ilmatieteen laitokselta 2.–8.5.2001 välisenä aikana.

Männyt luokiteltiin viiteen vaurioluokkaan (1–5) puissa tallella olevien neulasvuosikertojen lukumäärän perusteella. Arvio tehtiin kultakin havaintoalueelta vähintään kymmenestä puusta. Kutakin havaintoaluetta edustava vaurioluokka määritettiin eri vaurioluokkiin kuuluvien puiden osuuksien painotettuna keskiarvona ja pyöristettiin lähimpään kokonaislukuun. Tällöin havaintoalueen puusto kuuluu tiettyyn vaurioluokkaan, mikäli yli puolet alueen puustosta täyttää vaurioluokan kriteerit. Esimerkiksi ensimmäisen vaurioluokan alueella, joka edustaa niin sanottua taustaa, vähintään puolet puista on kokonaan vailla näkyviä neulasvaurioita. Mäntyjen vaurioluokitus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Näkyvien mäntyvaurioiden luokitteluperusteet (JOKINEN, 1972).

Luokka	Yleinen vauriokuva		Neulasten vauriokuva	
	Vaurion laatu	Oksasto	Kärjen väri	Neulasvuosikertoja
1	ei näkyvä	normaali, vihreä	vihreä	4
2	lievä	usein pienessä osassa latvaa kuivumista	vaalea, keltainen	3
3	selvä	usein suuressa osassa latvaa kuivumista	keltainen, vaalean ruskea	2
4	voimakas	kuivumista läpi koko oksaston	keltainen, vaalean ruskea	1
5	kuollut	kuivunut	karisseet tai kauttaaltaan ruskeita	0 (ei elossa olevia)

Puuston harsuuntuneisuus määritettiin arvioimalla neulasbiomassan prosentuaalista vähentymistä sellaiseen samanikäiseen terveeseen puuhun nähden, joka kasvaisi kyseisen metsätyyppin metsässä kyseisellä kasvupaikalla. Harsuuntuneisuusluokkia oli kymmenen (0–9) ja niiden luokkaväli oli 10 %. Alle 20 % harsuuntuneen männyn (luokat 0–1) katsottiin vielä olevan terve tai lähes vaurioitumaton (JUKOLA-SULONEN ym., 1991). Harsuuntuneisuusluokitus tehtiin kymmenestä männystä kultakin havaintoalueelta ja koko havaintoalueen harsuuntuneisuusluokaksi valittiin näiden luokkien moodi eli yleisin luokka.

Puuston keski-ikä arvioitiin laskemalla vuosikasvaimien oksakiehkurat. Yli 30-vuotiaista puista osa alaoksista oli jo karissut pois, jolloin laskenta pyrittiin suorittamaan rungoilla esiintyvien oksatyvien perusteella tai havainnoimalla entisten oksakiehkuroiden sijaintikohdat runkojäkälien runsaamman esiintymisen avulla. Havaintopuiden keskipituus arvioitiin kaltevuusmittarin avulla, mittaamalla 10 metrin etäisyydeltä kaltevuuskulmat puiden latvukseen ja tyveen. Kulmien ja etäisyyden avulla laskettiin puiden pituus. Päävaltapuiden keskimääräisen pituuden perusteella arvioitiin havaintometsiköiden puuston keskipituus. Tutkimuksen havaintoalueilla puusto oli pääsääntöisesti samanpituista, mikä paransi arvion luotettavuutta. Latvuspeittävyys arvioitiin silmämääräisesti latvuksien peittämän maa-alan prosentuaalisena osuutena koko havaintoalueen maa-alasta.

2.4 Liikenteen päästöjen leviämismalli

Liikenteen päästöjen leviämisen arviointiin käytettiin Ilmatieteen laitoksessa kehitettyä viivalähdemallia, joka soveltuu liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen paikallisessa mittakaavassa eli alle 30 km:n etäisyydelle päästölähteestä. Viivalähdemallilla voidaan laskea mm. typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typenoksidien (NO_x), rikkidioksidin (SO₂) ja hiilimonoksidin (CO) pitoisuudet haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemallissa on otettu huomioon typen oksidien ilmakemiallinen muutunta päästöjen kulkeutumisen aikana sekä maaston korkeuserot ja leviämisalustan laatu. Mallin lähtötiedoiksi tarvitaan liikennemäärien ja liikenteen päästötietojen lisäksi alueen ilmastollisia oloja kuvaava meteorologinen aineisto sekä otsonin ja typenoksidien taustapitoisuudet alueella. Mallin tarkempi kuvaus löytyy julkaisuista KARPPINEN ym. 2000 a ja 2000 b.

Päästöjen leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän alimman kerroksen stabiilisuus sekä sekoituskorkeus. Viivalähdemallissa käytetään perusaineistona näiden parametrien 1–3 vuoden mittaista tunnitaiten arvojen aikasarjaa. Tutkimusalueelle tehtyjä leviämislaskelmia varten auringon säteilytiedot muodostettiin Turun lentosääaseman vuoden 1999 mittaustuloksista ja tuulitietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto Turun lentosääasemalta ja Jokioisten sääasemalta saaduista vuoden 1999 havainnoista. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten luotausaseman vuoden 1999 mittausaineistoa. Typenoksidipäästöjen ilmakemiamallissa käytetyt taustaa edustavat otsonin ja typenoksidien pitoisuustiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen Ähtärin taustahavaintoaseman vuoden 1999 tuloksista.

Tutkimusalueen autoliikenteen vuoden 2000 typenoksidipäästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin viivalähdemallilla kahden metrin korkeuteen maanpintatasosta kaikille 36:lle biologisten tutkimusten havaintoalueelle. Autoliikenteen päästöt käsiteltiin mallissa 52:na erillisenä viivalähteenä, jotka on muodostettu ottamalla mukaan kaikki yleiset tiet 13 × 6 kilometrin kokoiselta alueelta biologisten tutkimusten havaintoalueiden ympäristöstä. Viivalähteiden liikennetiedot saatiin Tielaitoksen ylläpitämän tierekisterin tiedoista sekä liikenteen automaattisen mittausjärjestelmän (LAM) pisteistä 202 (Piikkiö), 227 (Kirismäki) ja 228 (Kevola). Kyseisellä moottoritieosuudella liikenteen nopeus on 120 km/h ja keskimääräinen vuorokausiliikenne on noin 15500 autoa. Maantiellä 110 nopeus on 80 km/h ja keskimääräinen vuorokausiliikenne noin 4000 autoa. Viivalähdekohtaiset autoliikenteen päästöt laskettiin tieosittaisista liikennemääristä käyttäen Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) LIISA-mallin nopeusriippuvia päästökertoimia vuodelle 2000 (MÄKELÄ 2000). Päästöjen laskentamenetelmä on kuvattu julkaisussa MÄKELÄ ym. 1996.

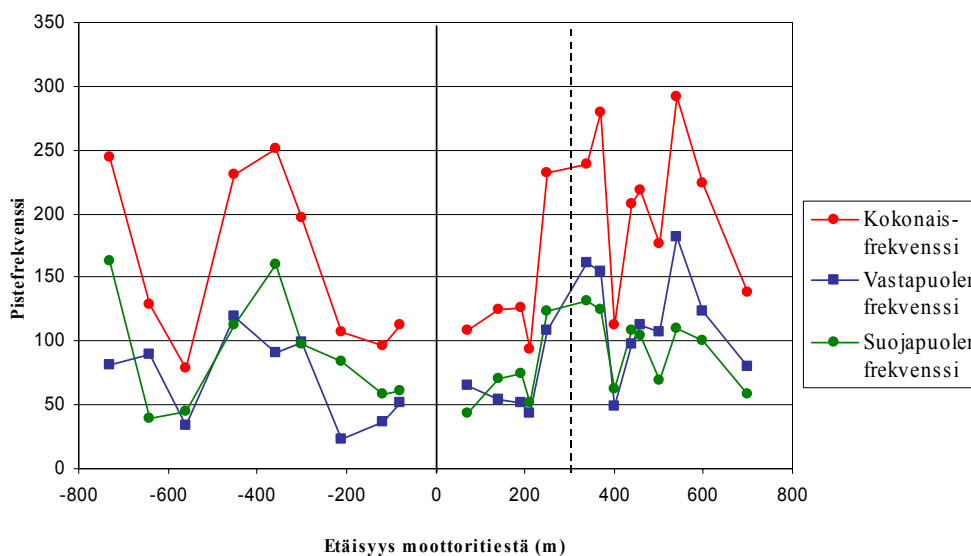
Hiukkaspitoisuuksia ei arvioitu tässä työssä varsinaisesti leviämislaskelmin, koska kaikkia hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ei voida nykyisin käytössä olevilla malleilla ottaa luotettavasti huomioon. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksia arvioitiin lasketuista typenoksidipitoisuuksista varsin yksinkertaisella regressiomallilla, jota on kuvattu mm. julkaisussa KUKKONEN ym., 2001.

3 TULOKSET

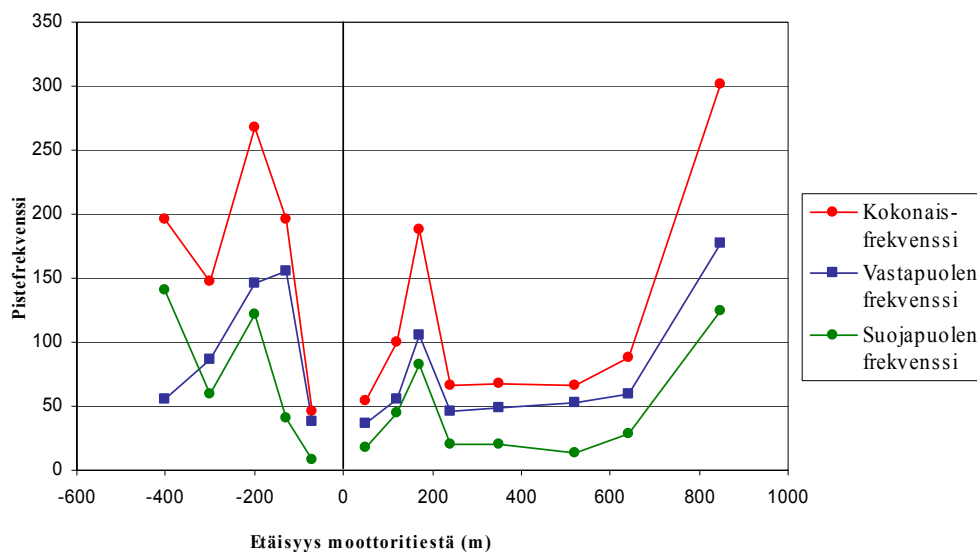
3.1 Jäkäläkartoitus

Yhteenveto jäkäläkartoituksen havaintolomakkeille kerätyistä ja niistä edelleen lasketuista tiedoista on esitetty havaintolinjakohtaisesti liitteissä 2 ja 3. Havainnot on esitetty etäisyyden mukaisesti, edeten moottoritien keskipisteestä joko pohjois- tai eteläsuuntaan. Havaintoalueilla esiintyneitä jäkälälajeja olivat sormipaisukarve, naavat, keltaröyhelö, harmaaröyhelö, hankakarve sekä oksiston viherleväpeite. Koska loppuja ei esiintynyt millään havaintoalueella, ei niille voitu laskea standardin edellyttämää esiintymisfrekvenssiä. Jäkäläien yleinen vaurioaste noudatti täysin sormipaisukarpeen vaurioastetta, joten sitä ei ole taulukossa esitetty erikseen.

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssi ja puiden vasta- ja suojapuolien pistefrekvenssit havaintolinjakohtaisesti. Kuvan vaak akselilla vasemmalla on pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja Paimiossa maantie 110:n sijainti on esitetty kuvissa pystyviivoina.



Kuva 1. Paimion havaintoalueille lasketut sormipaisukarpeen kokonaispistefrekvenssi (maksimi = 1000) sekä puiden vasta- ja suojapuolien pistefrekvenssit (maksimi = 500). Kuvan vaak akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja maantie 110:n sijainti on esitetty kuvassa pystyviivoina.

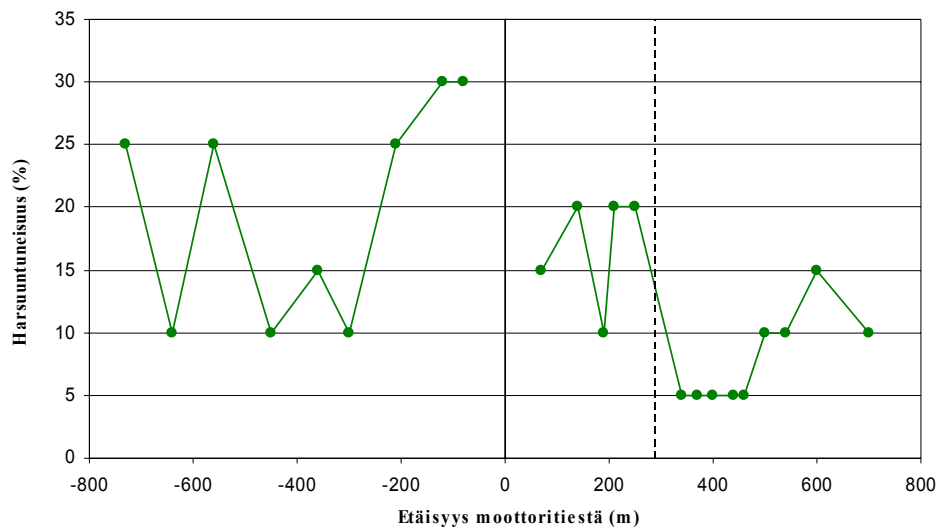


Kuva 2. Piikkiön havaintoalueille lasketut sormipaisukarpeen kokonaispistefrekvenssi (maksimi = 1000) sekä puiden vasta- ja suojapuolien pistefrekvenssit (maksimi = 500). Kuvan vaak akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien sijainti on esitetty kuvassa pystyviivana.

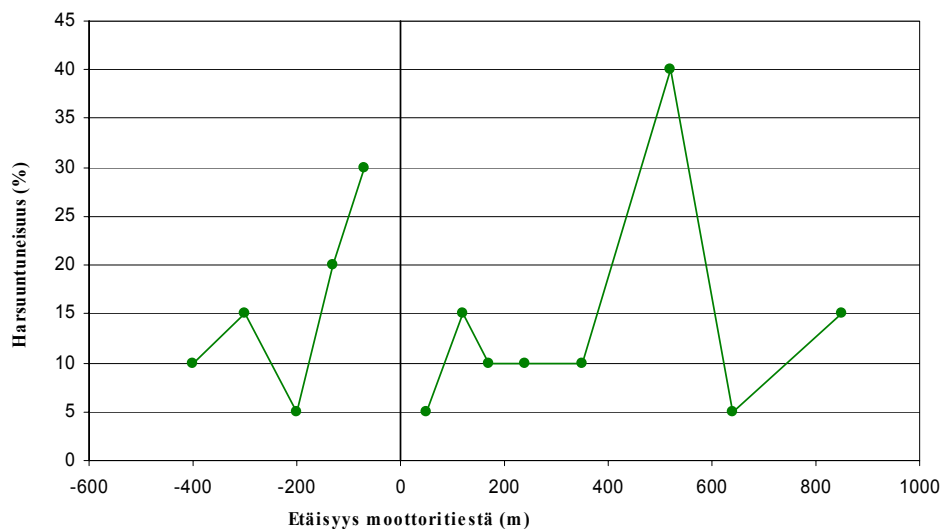
3.2 Harsuuntuneisuus ja männyn näkyvät vauriot

Yhteenveto mäntypuuston harsuuntuneisuuden ja näkyvien vaurioiden kar-toituksessa saaduista tiedoista on esitetty havaintolinjakohtaisesti liitteissä 4 ja 5. Havainnot on esitetty etäisyyden mukaisesti, edeten moottoritien keskipisteestä joko pohjois- tai eteläsuuntaan. Paimion havaintoalueiden linjalla mäntypuut kuuluivat harsuuntuneisuusluokkiin 0–2 ja Piikkiön havaintoalueiden linjalla luokkiin 0–3. Kummallakin linjalla puut kuuluivat vaurioluokkiin 2–3. Mäntypuiden harsuuntuneisuus on esitetty havaintolinjakohtaisesti kuvissa 3 ja 4. Kuvan vaak akselilla vasemmalla on pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja Paimiossa maantie 110:n sijainti on esitetty kuvissa pystyviivoina.

TULOKSET



Kuva 3. Paimion havaintoalueilta arvioitu puuston harsuuntuneisuus (%). Kuvan vaaka-akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja maantie 110:n sijainnit on esitetty kuvassa pystyviivoina.

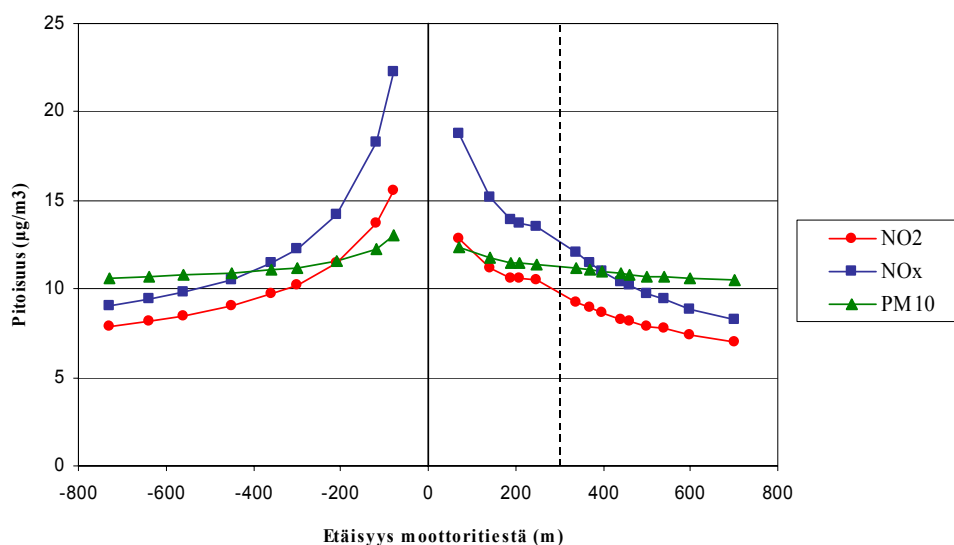


Kuva 4. Piikkiön havaintoalueilta arvioitu puuston harsuuntuneisuus (%). Kuvan vaaka-akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien sijainti on esitetty kuvassa pystyviivana.

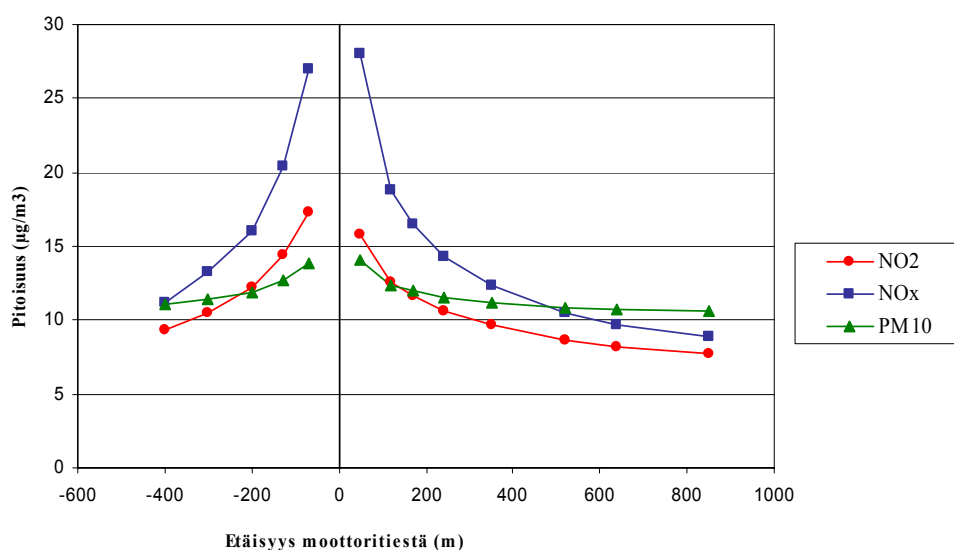
3.3 Typpidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspitoisuudet

Viivalähdemallilla lasketut typpidioksidin (NO_2), typenoksidien (NO_x) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien vuosikeskiarvot sekä typpidioksidin ja typenoksidien korkeimmat tuntikeskiarvot on esitetty kuvissa 5–8. Kuvien vaaka-akselilla vasemmalla on pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja Paimiossa maantie 110:n sijainti on esitetty kuvissa pystyviivoina. Pitoisuudet ovat suurimmillaan aivan moottoritien välittömässä läheisyydessä ja myös maantie 110:n vaikutus pitoisuuksiin on havaittavissa. Typenoksidien

pitoisuuksissa on mukana alueellinen taustapitoisuus. Typenoksidien vuosipitoisuudet eivät millään havaintoalueella ylitä Suomessa voimassa olevaa kasvillisuuden suojelemiseksi asetettua raja-arvoa, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mutta aivan tien vieressä raja-arvo voi ylittyä. Havaintoalueilla kaikkein korkeimmatkin typenoksidien vuosipitoisuudet ovat alle 70 % terveyden suojelemiseksi asetetusta raja-arvosta $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Typpidioksidin korkeimmat tuntikeskiarvot alittavat myös selvästi typpidioksidin tuntipitoisuudelle asetetun raja-arvon $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kaikilla havaintoalueilla.

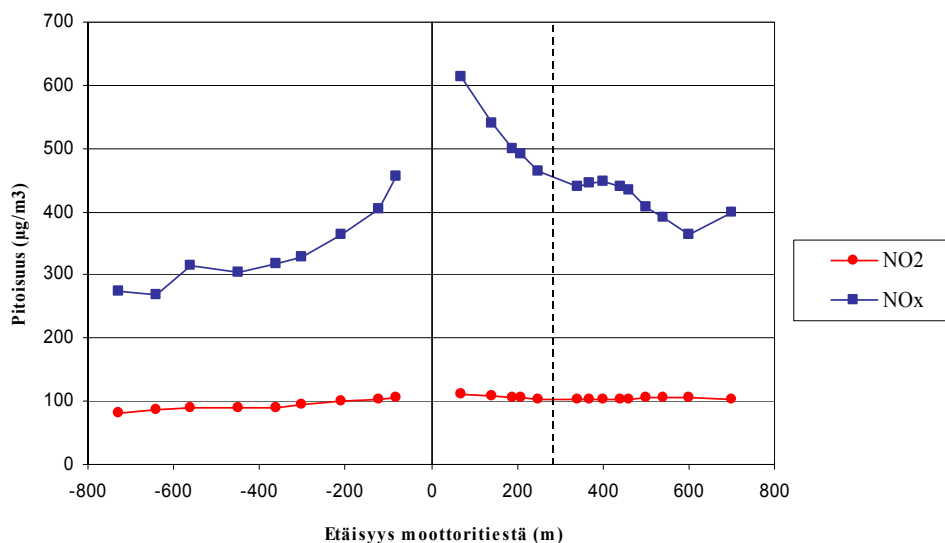


Kuva 5. Paimion havaintoalueille viivalähdemallilla lasketut typpidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvot. Kuvan vaak akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja maantie 110:n sijainnit on esitetty kuvassa pystyviivoina.

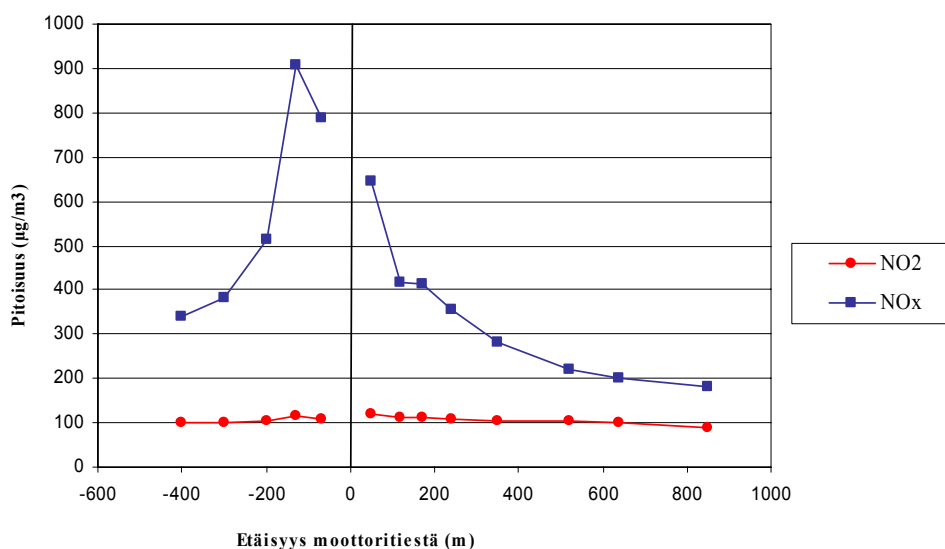


Kuva 6. Piikkiön havaintoalueille viivalähdemallilla lasketut typpidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvot. Kuvan vaak akselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien sijainti on esitetty kuvassa pystyviivana.

TULOKSET



Kuva 7. Paimion havaintoalueille viivalähdemallilla lasketut typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksien korkeimmat tuntikeskiarvot. Kuvan vaakakselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien ja maantie 110:n sijainnit on esitetty kuvassa pystyviivoina.



Kuva 8. Piikkiön havaintoalueille viivalähdemallilla lasketut typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksien korkeimmat tuntikeskiarvot. Kuvan vaakakselilla vasemmalla pohjoinen ja oikealla etelä. Moottoritien sijainti on esitetty kuvassa pystyviivana.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Jäkäläkartoitus

Standardin mukaisesti havainnoitavista frekvenssilajeista sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*) löytyi jokaisen Paimiossa ja Piikkiössä tutkitun 180 puun rungolta. Laji on todettu yhdeksi yleisimmistä jäkälälajeista koko maassa (KUUSINEN ym., 1990) ja se on luokiteltu melko kestäväksi ilman epäpuhtauksien vaikutuksille (HYVÄRINEN ym. 1993).

Naavat (*Usnea spp.*) ja lupot (*Bryoria spp.*) ovat lajeja, jotka on luokiteltu erityisen herkiksi ilman epäpuhtauksille (HYVÄRINEN ym. 1993). Luppoja ei havaittu millään näytealoista, mutta naavoja havaittiin yksittäisillä näytealoilla seuraavasti:

Paimio

- moottoritien pohjoispuolelta 120 etäisyydeltä tien keskipisteestä yhdestä puusta
- moottoritien eteläpuolelta 190 m etäisyydeltä yhdestä puusta, 500 m etäisyydeltä kolmesta puusta, 540 m etäisyydeltä yhdestä puusta sekä 700 m etäisyydeltä kolmesta puusta

Piikkiö

- moottoritien pohjoispuolelta 300 m etäisyydeltä kahdesta puusta ja 400 m etäisyydeltä yhdestä puusta
- moottoritien eteläpuolelta 350 m etäisyydeltä yhdestä puusta, 520 m etäisyydeltä viidestä puusta ja 640 m etäisyydeltä kolmesta puusta

Muista näytealoilla havaituista jäkälälajeista keltaröyhelö (*Cetraria pinastri*) on luokiteltu melko kestäväksi ilman epäpuhtauksille ja harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ja hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) melko herkiksi (HYVÄRINEN ym. 1993). Harmaaröyhelöä ja hankakarvetta ei esiintynyt moottoritien läheisyydessä noin 200 metrin etäisyydelle saakka kuin aivan yksittäisissä puissa. Oksiston viherleväpeitteen on puolestaan todettu yleistyvän ilman epäpuhtauksien takia, erityisesti typpikuormituksen lisääntyessä (HYVÄRINEN ym. 1993). Viherleväpeitettä esiintyi moottoritien läheisyydessä kaikilla havaintoalueilla noin 400–500 metrin etäisyydelle saakka. Paimiossa moottoritien pohjoispuolella viherleväpeitettä esiintyi kaikilla tutkituilla havaintoalueilla, mihin voi olla syynä linjan varrella sijaitsevan Naskarlan keskuslaitoksen alueen päästöt sekä asutuksen ja peltojen läheisyys.

Sormipaisukarpeen kokonaispistefrekvenssit sekä vasta- ja suojapuolien pistefrekvenssit osoittavat sekä Paimiossa että Piikkiössä mahdollisesti useidenkin eri ympäristötekijöiden vaikutuksia. Arvojen vaihteluun johtaneista syistä voidaankin siitä syystä esittää vain arvioita. Paimiossa (kuva 1) moottoritien pohjoispuolella havaintoalueiden kokonaispistefrekvenssit ja vastapuolen frekvenssit kääntyvät voimakkaaseen kasvuun noin 200 metrin kohdalla sijaitsevan havaintoalueen jälkeen. Suojapuolen frekvenssit kasvavat vähäisessä määrin jo 120 metrin etäisyydellä tiestä sijaitsevan havaintoalueen jälkeen. Frekvenssien kasvu jatkuu noin 400 metrin etäisyydelle saakka, mikä saattaa kuvata moottoritien vaikutusta. Noin 450 metristä lähtien frekvenssit pienenevät aina noin 600 metriin saakka, arvoiltaan jopa pienemmiksi kuin moottoritien läheisyydessä. Tämä voi johtua alueen muista päästölähteistä kuin moottoritien vaikutuksesta. Viimeisessä kahdessa pis

teessä mäntypuusto oli nuorta, alle 30–vuotiasta, millä myös lienee vaikutusta vaihteleviin frekvenssiarvoihin.

Paimiossa moottoritien eteläpuolella sormipaisukarpeen frekvenssien voimakas kasvu alkaa noin 200 metrin etäisyydellä moottoritiestä. Moottoritiestä etelään noin 300 metrin päässä sijaitsevan maantie 110:n molemmin puolin sormipaisukarpeen kasvusto näyttää hyötyneen pitkään jatkuneesta liikenteen päästöjen vaikutuksesta (mahdollisesti tyyppiyhdisteistä), sillä sen kasvusto on ilmeisesti vallannut alaa muilta lajeilta ja esiintyminen on melko runsasta noin 50–100 metrin etäisyydelle maantiestä. Toisaalta sormipaisukarpeen vaurioluokka on korkea varsinkin moottoritien ja maantien välisellä alueella. Yli 400 metrin päässä moottoritiestä sijaitsevilla havaintoalueilla sormipaisukarpeen pistefrekvenssit vaihtelevat suuresti. Vaihtelu voi aiheutua luontaisesta kasvupaikkojen erilaisuudesta.

Piikkiössä (kuva 2) moottoritien läheisimpien havaintoalueiden pistefrekvenssit ovat hyvin alhaiset, mutta arvot nousevat jyrkästi tiestä noin 200 metrin etäisyydelle saakka sekä tien etelä- että pohjoispuolella. Moottoritien pohjoispuolella frekvenssien vaihtelu kuvaa todennäköisesti sormipaisukarpeen esiintymisen luontaista vaihtelua. Moottoritien eteläpuolella frekvenssien alhaiset arvot noin 200–650 metrin etäisyydellä moottoritiestä aiheutuvat todennäköisesti alueella suoritetuista voimakkaista metsänhoitotoimenpiteistä.

4.2 Harsuuntuneisuus ja männyn näkyvät vauriot

Paimion tutkimuslinjan mäntypuuston vaurioluokka-arvoissa (liite 4) esiintyi sekä moottoritien etelä- että pohjoispuolella kolmannen vaurioluokan arvoja, jotka merkitsevät selvää vaurioitumista. Vasta noin 350 metrin etäisyydellä tiestä mäntypuusto on lievästi vaurioitunutta eli kuuluu luokkaan kaksi. Moottoritien pohjoispuolen etäisemmällä havaintoalueilla vaurioluokka-arvot ovat jälleen korkeampia, mikä voi johtua alueen muiden päästölähteiden kuin moottoritien vaikutuksesta. Oma vaikutuksensa vaihteleviin luokkarvoihin voi myös olla alueen puuston nuorella iällä. Myös moottoritien eteläpuolella vaurioluokka kasvaa jälleen kolmanteen luokkaan 540 metrin etäisyydellä tiestä. Syynä tähän saattaa olla metsän luontainen herkyys vaurioille avoimemman puustotiheyden aiheuttaman reunavaikutuksen vuoksi.

Piikkiön tutkimuslinjalla (liite 5) ei havaita moottoritien läheisyydessä samanlaista kohonneiden vaurioluokkien vyöhykettä kuin Paimiossa, sillä ainoastaan pohjoispuolen havaintoalueet ovat selvästi vaurioituneita (luokka 3). Moottoritien eteläpuolella vaurioluokissa esiintyvä vaihtelu aiheutuu todennäköisesti alueella suoritetuista metsänhoitotoimenpiteistä sekä luontaisista kasvupaikkatekijöistä. Luontaiset tekijät voivat aiheuttaa taustan, jonka vaikutuksesta vaurioluokka voi vaihdella luokasta 0 aina luokkaan 2,5 saakka (MÄLKÖNEN, 1998).

Kuvissa 3 ja 4 esitetty havaintoalueiden puuston harsuuntuneisuus ilmenee mäntypuuston vaurioitumisessa samanlaista tilannetta kuin vaurioluokat. Myös tulkinta mahdollisista vaikutussyistä on samankaltainen. Liikenteen päästöt saattavat olla vaikuttamassa sekä Paimiossa että Piikkiössä moottoritien läheisyydessä havaittuihin ympäristöstään poikkeaviin korkeampiin

harsuuntuneisuusarvoihin, mutta on otettava huomioon, että muilla luontaisilla tekijöillä, kuten puiden iällä ja metsätyyppillä, lienee näissä tapauksissa suurempi merkitys puuston vaurioitumisen kannalta. Moottoritiellä ei siis näyttäisi olevan luontaisesta vaihtelusta selkeästi erottuvaa vaikutusta mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vaurioluokka-arvoihin.

4.3 Tilastolliset käsittelyt

Eri tekijöiden merkityksen kuvaaminen liikenneympäristössä ja merkitysten erottaminen toisistaan vaatii tilastollisia menetelmiä, joista yhtenä tehokkaimmista on faktorianalyysi. Faktorianalyysillä pyritään kuvaamaan alkupe- räismuuttujien riippuvuutta toisistaan pienimmällä määrällä uusia, alkuperäisistä muuttujista muodostettuja lineaarisia lausekkeita eli muuttujaryhmiä. Näitä erillisiä muuttujaryhmiä kutsutaan faktoreiksi. Mikäli alkuperäiset muuttujat korreloivat vain heikosti keskenään, ei faktorianalyysin suorittamisessa ole mieltä. Faktorien sisältö selvitetään faktorilatausten suuruuden avulla. Faktorilatausten itseisarvot ovat suurempia kuin 0 ja pienempiä kuin 1, ja vain ne faktorit, joiden latauksen itseisarvo on yli 0,3 otetaan huomioon faktorien tulkin- nassa. Suuret lataukset merkitsevät sitä, että vastaava muuttuja on tärkeä kyseisen faktorin muodostumisessa. Faktorianalyysin kokonaisselitysaste kertoo montako prosenttia aineistosta selittyy kyseisillä fakto- reilla. Kokonaisselitysasteen nousu yli 80 %:n ei enää lisää faktorien tulkin- tamahdollisuuksia (RANTA ym., 1991).

Faktorianalyysiin parhaiten sopiva havaintoaluelinja oli Paimion linja mootto- ritien eteläpuolelta, koska linjalla sijaitti riittävä määrä havaintoalueita, joiden tekijöiden välillä oli riittävästi vaihtelua. Analyysiin voitiin ottaa mukaan seu- raavat muuttujat:

- etäisyys moottoritiestä
- jäkälähavaintopuiden keskimääräinen pituus
- jäkälähavaintopuiden keskimääräinen rinnankorkeuden ympärysmitta
- sormipaisukarpeen puiden vastapuolen pistefrekvenssi
- sormipaisukarpeen puiden suojapuolen pistefrekvenssi
- jäkälälajien lukumäärä havaintoalalla
- jäkälälajien lukumäärän keskiarvo havaintoalalta
- mäntyjen harsuuntuneisuus
- mäntyjen vaurioluokka-arvio (neulasvuosikertojen väheneminen)
- mäntypuuston arvioinneissa käytettyjen puiden keskimääräinen pituus
- mäntypuuston arvioinneissa käytettyjen puiden keskimääräinen ikä
- mäntyjen latvuspeittävyys
- metsätyyppi

Biologisten muuttujien faktorianalyysissä saatiin neljän faktorin ratkaisu, jon- ka kokonaisselitysaste oli noin 80 %, eli neljän faktorin avulla aineisto pys- tyttiin saattamaan koko aineiston selittäviin faktoriryhmiin:

1. puuston ominaisuuksia kuvaava faktori (Puiden keskimääräinen korkeus, rinnanympäryspaksuus, puiden ikä ja metsätyyppi riippuvat toisistaan.)
2. jäkälälajien esiintymisen monimuotoisuusfaktori (Jäkälälajien runsaus ja puuston latvuspeittävyys riippuvat toisistaan. Osaltaan jäkälälajien run

saus näyttää riippuvan myös etäisyydestä päästölähteestä, mutta riippuvuus ei ole voimakasta.)

3. mäntypuuston vaurio- ja harsuuntuneisuusfaktori (Puuston näkyvät vauriot ja harsuuntuneisuus riippuvat toisistaan sekä heikosti myös puuston iästä. Negatiivista riippuvuutta oli sormipaisukarpeen esiintymisrunsau-della ja puuston latvuspeittävydellä.)
4. tien vaikutusfaktori (Sormipaisukarpeen pistefrekvenssit, havaintoalueiden etäisyys tiestä, puuston latvuspeittävyys sekä metsätyyppi riippuvat toisistaan.)

Biologisista tekijöistä suoritettu faktorianalyysi antoi viitteitä siitä, että tämän aineiston perusteella paras liikenneympäristön ilmanlaatuvaikutusten kuvaaja on sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssi, joka ryhmittyy etäisyyden kanssa samaan faktoriin suurin faktorilatauksin. Myös muiden havaintolinjojen kohdalla saatiin faktorianalyysillä edellä esitetyn kaltaisia tuloksia. Muissa havaintolinjoissa jouduttiin kuitenkin turvautumaan vähäisempään määrään muuttujia, koska useiden eri muuttujien kohdalla eri havaintoalueiden välillä ei ollut vaihtelua.

Tarkasteltaessa biologisten muuttujien riippuvuutta leviämismallilla saaduista pitoisuustuloksista, otettiin faktorianalyysiin mukaan seuraavat muuttujat:

- typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuosikeskiarvo
- typpidioksidipitoisuuden korkein tuntikeskiarvo
- typenoksidipitoisuuden (NO_x) vuosikeskiarvo
- typenoksidipitoisuuden korkein tuntikeskiarvo
- hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuden vuosikeskiarvo

Lisäämällä alkuperäisten biologisten muuttujien joukkoon leviämismallilla lasketut typenoksidien ja hiukkasten pitoisuudet yksi muuttujaryhmä kerrallaan pyrittiin selvittämään mikä bioindikaattori parhaiten kuvasi epäpuhtauden leviämistä ja altistusvaikutusta paikallisessa liikenneympäristössä.

- typpidioksidin vuosipitoisuuden osuutta liikennevaikutusten indikaattorina selitti parhaiten sormipaisukarpeen tienpuoleisen esiintymisen frekvenssi
- typpidioksidin korkeita tuntipitoisuuksia tutkimusalueella näytti parhaiten kuvaavan mäntyjen neulasten ennen aikainen variseminen eli mäntypuuston vaurioluokka
- typenoksidien vuosipitoisuutta kyseisissä tutkimusolosuhteissa indikoi lähes yhtä suurilla faktorilatauksilla sormipaisukarpeen tienpuoleinen esiintymisfrekvenssi ja jäkälälajien lukumäärä
- typenoksidien tuntipitoisuutta kyseisissä tutkimusolosuhteissa indikoi parhaiten sormipaisukarpeen tienpuoleinen esiintymisfrekvenssi
- hiukkasten vuosipitoisuuden parhaita indikaattoreita olivat sormipaisukarpeen tienpuoleinen esiintymisfrekvenssi ja jäkälälajien yleisyys

5 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

5.1 Jäkäläkartoitustulosten vertailua

Jäkäläkartoitusten tulokset eri vuosilta on koottu liitteisiin 6 ja 7 niiltä osin, joilta havaintoalueet olivat yhteneväisiä. Aikaisempina tutkimusvuosina etäisyydet tiestä olivat silmämääräisiä arvioita, eivätkä ne siten täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksissa käytettyjä tarkkoja etäisyysmittauksia. Paimiosta moottoritien pohjoispuolelta eri vuosien tuloksia ei voida vertailla, koska havaintoalueiden linjaa jouduttiin siirtämään eri kohtaan vuonna 2001. Taulukoissa on esitetty sormipaisukarpeen kokonaispistefrekvenssi, puiden vasta- ja suojapuolien pistefrekvenssit, sormipaisukarpeen ja muiden jäkälälajien vaurioluokka sekä näytealalla havaittujen jäkälälajien lukumäärän keskiarvo.

Jäkälälajien esiintymisessä eri vuosina on havaittavissa selkeitä muutostrendejä jopa näin pienessä havaintoaineistossa. Lajilukumäärä näytealoilla vähenee ja jäkälän yleinen vaurioaste sekä sormipaisukarpeen vaurioaste kasvavat vertailujakson aikana. Tietä lähellä olevissa pisteissä sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssien arvot näyttävät pienenevän ja vastaavasti tiestä etäällä olevissa pisteissä kasvavan jakson aikana. Tarkastelujakson lopulla jäkälät siis voivat huonommin ja niitä on aiempaa vähemmän. Täten tulokset antavat aiheutta olettaa moottoritien rakentamisella ja liikennöinnillä olleen vaikutusta tutkimusalueen jäkälälajistoon.

Jäkäläkartoituksen tulokset moottoritien liikennöinnin aloitusvaiheesta vuodelta 1995 sekä pitempään jatkuneen liikennöinnin ajalta vuodelta 2001 antavat samansuuntaisia viitteitä tien vaikutuksesta kuin rakennusvaiheen aikaiset tutkimukset. Nämä vaikutukset näyttäisivät kuitenkin jonkin verran voimistuneen, joten tien liikennöinnillä voidaan olettaa olevan merkittävämpi vaikutus jäkälälajistoon kuin tien rakennusvaiheella.

Puiden runkojäkäliin vaikuttavat useat ilman epäpuhtaudet joko erillisinä tai yhteisvaikutuksen kautta (JOKINEN, 1993). Tutkimusalueiden jäkälät ovat jo ennen moottoritien rakentamista sekä rakentamisen aikana altistuneet eri epäpuhtauksien (kuten rikkidioksidi, typen oksidit, otsoni, hiilivedyt ja hiukaset) summavaikutuksille, jolloin jäkälät ovat mahdollisesti saaneet alustavia vaurioita. Tieliikenteen alettua syntyneet pienetkin lisäaltistukset (mm. typenoksidien pitoisuuksien kasvu) saattavat aiheuttaa yhteisvaikutusten kautta havaittavia muutoksia runkojäkälien lajimäärässä ja vaurioasteessa.

5.2 Harsuuntuneisuuden ja mäntypuiden vaurioluokkien vertailua

Liitteisiin 8 ja 9 on koottu männyn harsuuntuneisuuden ja vaurioluokkarvioiden tulokset eri vuosilta niiltä osin, joilta havaintoalueet olivat yhteneväisiä. Aikaisempina tutkimusvuosina etäisyydet tiestä olivat silmämääräisiä arvioita, eivätkä ne siten täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksissa käytettyjä tarkkoja etäisyysmittauksia. Harsuuntuneisuusarvojen (liite 8) vähäiset muutokset (korkeintaan kaksi luokkaa) viittaavat luontaisten tekijöiden vaikutukseen.

den aiheuttamiin vaihteluihin (MÄLKÖNEN, 1998), eikä niissä ole havaittavissa selkeää muutostrendiä vertailujakson aikana. Lisäksi alle 20 % harsuuntuneen männyn (luokat 0–1) katsotaan vielä olevan terve tai lähes vaurioitumaton (JUKOLA-SULONEN ym., 1991). Vuosien 1992 ja 1993 tutkimuksissa harsuuntuneisuutta oli tarkasteltu myös kuusista. Näitä tuloksia ei voitu verrata vuoden 1995 ja 2001 tutkimuksiin, jotka oli tehty pelkästään männystä. Harsuuntuneisuustarkasteluja oli vuonna 1992 tehty niin vähän (6 havaintoalaa), että vertailut eivät näiltä osin ole kovin luotettavia.

Vaurioluokitusvertailujen tekemistä varten havaintoaloja oli eri vuosilta riittävästi (liite 9). Vaurioluokissa näyttäisi tapahtuvan muutos huonompaan suuntaan yhden vaurioluokan verran, kun liikennöintiä on jatkunut useiden vuosien ajan. Trendi ei kuitenkaan ole kovin selkeä. On kuitenkin huomattava, että yhden vaurioluokan muutos on yleistä myös luonnon omienkin stressitekijöiden (esim. puuston iän ja säätekijöiden) vaikutuksesta, varsinkin koskien luokka-arvoja 1–3 (MÄLKÖNEN, 1998). Täten kummankaan edellä tarkastellun tekijän perusteella moottoritien rakentamisella ja liikennöinnillä ei näyttäisi olleen merkittävämpää vaikutusta tutkimusalueen mäntypuustoon kuin luontaisilla lieviä muutoksia aiheuttavilla tekijöillä. Liikenteen typenoksidien päästöillä saattaa olla merkitystä mäntyjen vaurioitumiseen lähinnä eri epäpuhtauksien yhteisvaikutusten kautta (JOKINEN 1993).

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Seurantatutkimuksen tavoitteena oli selvittää valmistuneen ja käyttöön otetun Helsinki–Turku -moottoritien vaikutuksia ympäristöön tutkimalla ympäristön tilaa biologisten indikaattorien avulla. Ympäristövaikutusten arviointiin käytettiin jäkäläkartoitusta sekä mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vaurioluokitusta. Liikenteen päästöistä peräisin olevien epäpuhtauksien leviämistä arvioitiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyillä leviämismalleilla.

Jäkäläkartoituksen vuoden 2001 tuloksissa sormipaisukarpeen yleisyyttä kuvaavat pistefrekvenssit olivat alhaisia moottoritien läheisyydessä, mutta paikoin frekvenssit laskivat yhtä alhaisiksi kaukanakin moottoritiestä. Esimerkiksi Paimion tutkimuslinjan pohjoisimpien havaintoalueiden frekvensseihin vaikuttavat sekä puuston ikä (nuoria mäntyjä) että alueen muut päästölähteet kuin moottoritie. Saman linjan moottoritien eteläpuoleisilla havaintoalueilla frekvensseihin vaikuttavat myös maantie 110:n liikenteen päästöt sekä luontaisten tekijöiden vaihtelu. Piikkiössä moottoritien eteläpuolella frekvensseihin todennäköisesti vaikuttavat alueella suoritettavat laajat metsänhoitotoimenpiteet. Täten moottoritien vaikutusnäkökohtien arviointiin sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssien perusteella on näillä tutkimuslinjoilla suhtauduttava erittäin suurin varauksin.

Naavoja, jotka on luokiteltu erityisen herkiksi ilman epäpuhtauksille, tavattiin Paimiossa sekä moottoritien etelä- että pohjoispuolelta harvinaisina esiintyminä aivan tien läheisyydestä. Runsaammin naavoja esiintyi sekä Paimiossa että Piikkiössä vasta noin 500 metrin etäisyydellä moottoritiestä. Harmaaröyhelöä ja hankakarvetta, jotka on luokiteltu melko herkiksi ilman epäpuhtauksille, ei esiintynyt moottoritien läheisyydessä noin 200 metrin etäisyydelle asti kuin yksittäisissä puissa. Viherleväpeitettä, jonka on todettu yleis-

tyvän puiden oksistossa erityisesti typpikuormituksen takia, esiintyi moottoritiestä noin 400–500 metrin etäisyydelle saakka kaikilla havaintoalueilla.

Tilastollisesti faktorianalyysillä testattujen bioindikaattorien joukosta löytyi riippuvuutta kuvaava tulkinta sormipaisukarpeen vasta- ja suojapuolen pistefrekvenssien sekä moottoritien etäisyyden väliltä. Samasta faktorista löytyi myös etäisyyden ja jäkälälajien lukumäärän välinen heikompi riippuvuus.

Vertailtaessa eri vuosina tehtyjä jäkäläkartoituksen tuloksia havaittiin jäkälien lajilukumäärän vähentyneen ja jäkälien yleisen vaurioasteen sekä sormipaisukarpeen vaurioasteen kasvaneen vertailujakson aikana. Lisäksi tietä lähellä olevissa pisteissä sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssien arvot pienenivät ja tiestä etäällä olevissa pisteissä kasvoivat jakson aikana. Täten tulokset osoittaisivat moottoritien rakentamisella ja varsinkin liikenteen pitkäaikaisilla päästöillä olleen vaikutusta tutkimusalueen jäkälälajistoon.

Moottoritiellä ei kuitenkaan näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan selvää, luontaisesta taustasta erottuvaa vaikutusta mäntypuuston harsuuntuneisuus- ja vaurioluokka-arvoihin. Liikenteen päästöt saattavat olla vaikuttamassa sekä Paimiossa että Piikkiössä moottoritien läheisyydessä havaittuihin ympäristöstään poikkeaviin korkeampiin harsuuntuneisuus- ja vaurioluokka-arvoihin vuoden 2001 tutkimuksessa, mutta luontaisten tekijöiden vaihtelulla lienee näissäkin tapauksissa suurempi merkitys puuston vaurioitumisen kannalta. Kaikkiaan harsuuntuneisuus ja mäntyjen neulasten enenaikainen variseminen olivat vähäistä havaintoalueilla. Faktorianalyysin tulosten perusteella vain typpidioksidin korkeilla lyhytaikaispitoisuuksilla saattaa olla vaikutusta mäntypuuston vaurioitumiseen, todennäköisesti useamman epäpuhtauden yhteisvaikutuksen seurauksena.

Vertailtaessa eri vuosina tehtyjä harsuuntuneisuuskartoituksen tuloksia, ei niissä voitu havaita selkeää muutostrendiä vertailujakson aikana. Lisäksi vertailuaineisto oli liian pieni johtopäätösten tekemiseen. Vaurioluokissa näytti tapahtuvan yhden vaurioluokan verran muutosta huonompaan vertailujakson aikana, mutta trendi ei ollut kovin selkeä. Täten moottoritiellä ei näyttäisi olleen merkittävää vaikutusta tutkimusalueen mäntypuustoon.

VIITELUETTELO

HEIKKILÄ, O., JOKINEN, J., KARTASTENPÄÄ, R., LAINE, E., LUMME, A., POHJOLA, V. & VOLTITI, U. 1992. Liikenteen epäpuhtauksien vaikutukset ympäristöön. Paimion ja Piikkiön loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki.

HYVÄRINEN, A., JUKOLA-SULONEN, E.-L., MIKKELÄ, H. & NIEMINEN, T. (toim.) 1993. Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki.

JOKINEN, J. 1972. Kaupunkiyhdyskunta puustovaurioiden aiheuttajana. Helsingin ilman epäpuhtausluonnehdintaa havupuustoselvittelyjen valossa. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 74.

JOKINEN, J. 1993. Estimating of two different kinds of forest damage mechanisms in southeastern Finland. Part I: The nitrogen–sulfur-hypothesis. *Forstw. Cbl.* 112, s.27–35.

JUKOLA-SULONEN, E.-L., LINDGREN, M. & SALEMAA, M. 1991. Metsäpuiden elinvoimaisuuden seuranta. Maasto-ohjeet ekstensiivitason ja Itä-Lapin metsävaurioprojektin koealoille v. 1991. Metsäntutkimuslaitos, Metsien terveydentilan tutkimusohjelma, Helsinki.

KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., ELOLÄHDE, T., KONTTINEN, M., KOSKENTALO, T. & RANTAKRANS, E., 2000 a. A modelling system for prediction urban air pollution: model description and applications in the Helsinki metropolitan area. *Atmos. Environ.* 34:22, s. 3723–3733.

KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., ELOLÄHDE, T., KONTTINEN, M. & KOSKENTALO, T., 2000 b. A modelling system for prediction urban air pollution: comparison of model predictions with the data of an urban measurement network in Helsinki. *Atmos. Environ.* 34:22, s. 3735–3743.

KUKKONEN, J., HÄRKÖNEN, J., KARPPINEN, A., POHJOLA, M., PIETARILA, H. & KOSKENTALO, T., 2001. A semi-empirical model for urban PM₁₀ concentrations, and its evaluation against data from an urban measurement network. *Atmos. Environ.* 35, s. 4433–4442.

KUUSINEN, M., MIKKOLA, K. & JUKOLA-SULONEN, E.-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960's to 1980's in Finland. Teoksessa: KAUPPI, P., ANTTILA, P. & KENTTÄMIES, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, s. 397–420.

LAINE, E. 1992. Liikenneympäristön kasvillisuuskartoitus, mäntyjen näkyvät vauriot ja harsuuntuminen sekä kuusten jäkälä- ja leväkasvustot. Paimio-Piikkiö v. 1992. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki.

LAINE, E. & MEINANDER, O. 1993. Liikenneympäristön mäntyjen harsuuntuneisuus, kuusten jäkälä- ja leväpeitteet ja runkojäkäläkartoitus. Paimio-Piikkiö v. 1993. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki.

MEINANDER, O. 1992. Liikenneympäristön sammal- ja jäkälätutkimus. Paimio–Piikkiö v. 1992. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki.

MÄKELÄ, K., KANNER, H. & LAURIKKO, J. 1996. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 95 –laskentajärjestelmä. VTT tiedotteita 1772, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo

MÄKELÄ, K. 2000. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. LIISA 1999 tulokset. VTT Yhdyskuntatekniikka, Espoo.

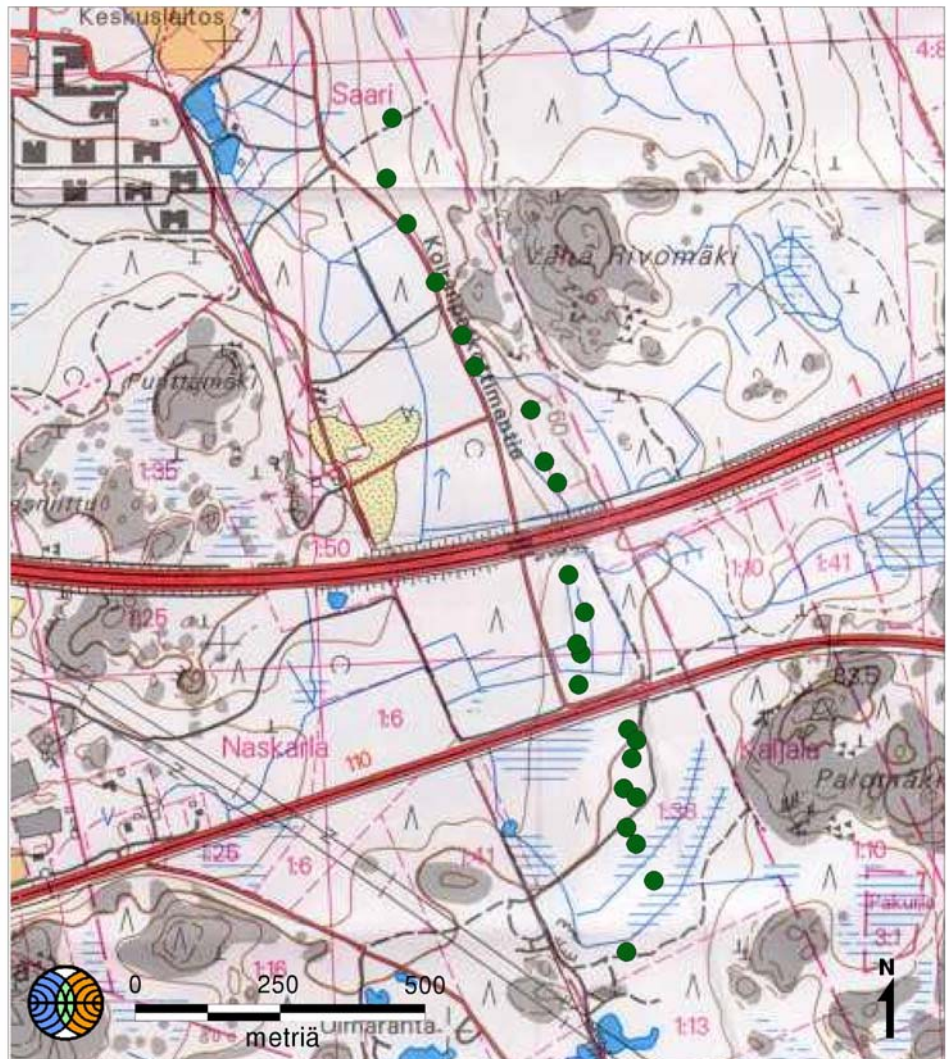
MÄKINEN, E. 1996: Paimio–Piikkiö -moottoritieosuuden ympäristövaikutusten arviointi, vuoden 1995 seurantatulokset. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki. Julkaisematon luonnos.

MÄLKÖNEN, E. (toim.) 1998. Ympäristömuutos ja metsien kunto, Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691, Vantaan tutkimuskeskus.

RANTA, E., RITA, H. & KOUKI, J. 1991. Biometria, Tilastotiedettä ekologeille. 3. painos. Yliopistopaino, Helsinki.

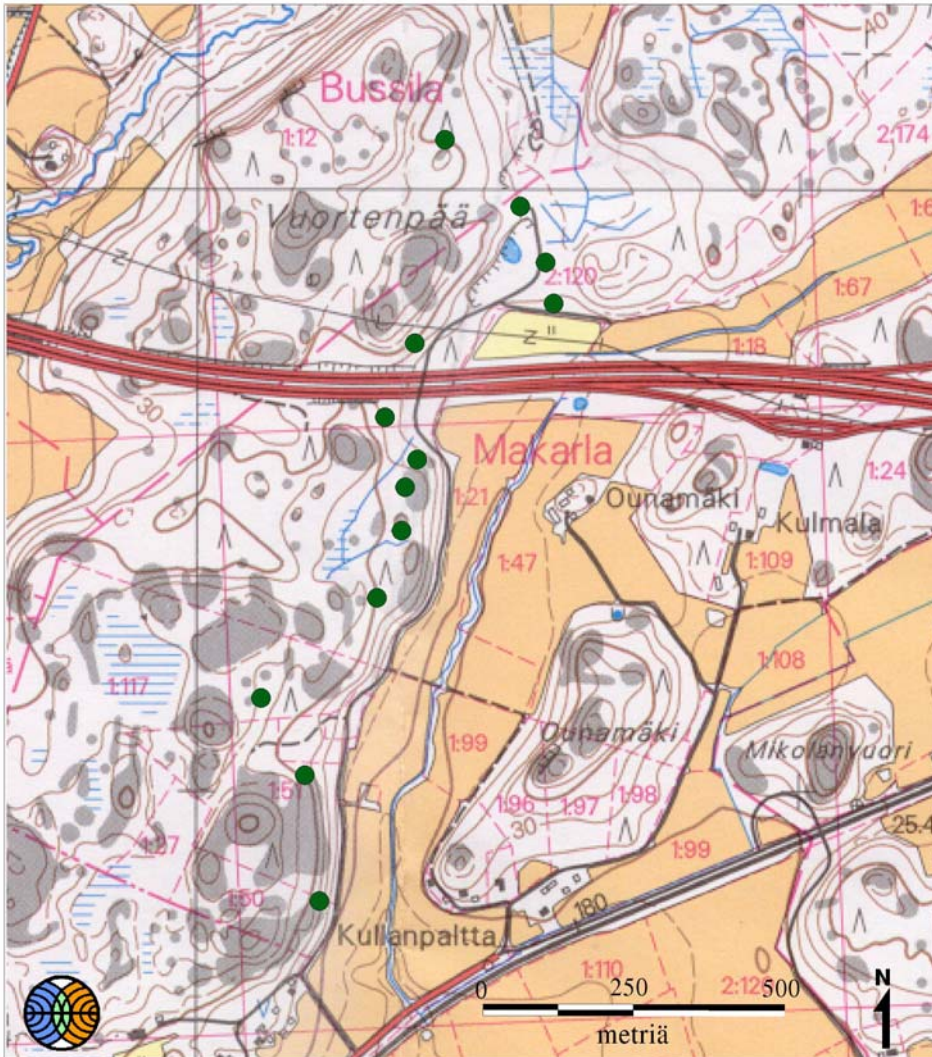
SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO 1990. SFS 5670 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus.

KARTTAKUVAT



Ilmatieteen laitos 2001
© Karttakeskus

Karttakuva 1. Vuoden 2001 tutkimuksessa käytetyt havaintoalat Paimiossa. Peruskarttalehti 2021 03.



Ilmatieteen laitos 2001
© Karttakeskus

Karttakuva 2. Vuoden 2001 tutkimuksessa käytetyt havaintoalat Piikkiössä. Peruskarttalehti 2021 03.

LIITTEET

LIITTEET

Taulukko 2. Havaintoalueiden etäisyydet moottoritien keskikohdasta pyöristettynä 10 metrin tarkkuuteen sekä kunkin havaintoalueen keskipisteen koordinaatit (peruskoordinaatisto, KKJ2). (* Moottoritien ja maantie 110:n välinen alue.

	Etäisyys (m) moottoritiestä	X-koordinaatti	Y-koordinaatti	
PAIMIO	pohjoiseen			
	80	2428553	6702266	
	120	2428532	6702301	
	210	2428509	6702387	
	300	2428416	6702459	
	360	2428395	6702510	
	450	2428351	6702598	
	560	2428303	6702695	
	640	2428270	6702770	
	730	2428279	6702870	
	etelään			
	70 (*)	2428572	6702114	
	140 (*)	2428599	6702052	
	190 (*)	2428588	6701994	
	210 (*)	2428593	6701983	
	250 (*)	2428589	6701932	
	340	2428671	6701858	
	370	2428685	6701840	
	400	2428677	6701810	
	440	2428664	6701760	
	460	2428685	6701745	
	500	2428669	6701695	
	540	2428685	6701668	
	600	2428714	6701607	
	700	2428669	6701489	
	PIIKKIÖ	pohjoiseen		
		70	2420 363	6704 743
130		2420 593	6704 810	
200		2420 579	6704 878	
300		2420 537	6704 971	
400		2420 412	6705 082	
etelään				
50		2420314	6704620	
120		2420368	6704550	
170		2420348	6704504	
240		2420342	6704432	
350		2420302	6704320	
520		2420110	6704153	
640		2420183	6704025	
850		2420208	6703816	

Taulukko 3. Jäkäläkartoituksen tulosten yhteenveto moottoritiestä pohjois- ja eteläsuuntiin edettäessä Paimion havaintoalueiden linjalla. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssin maksimiarvo = 1000, puiden vasta- ja suoja puolta esiintymisfrekvenssien maksimiarvo = 500 ja vaurioaste = mediaaniluokka välillä I–V. (* Moottoritien ja maantie 110:n välinen alue.

Sormipaisukarpeen (<i>Hypogymnia physodes</i>)						
Etäisyys moottoritiestä (m)	esiintymisfrekvenssi	vastapuolen esiintymisfrekvenssi	suoja puolta esiintymisfrekvenssi	vaurioaste	Jäkälälajeja yhteensä havainto-alueella	Lajilkm:n keskiarvo havainto-alueella
pohjoiseen						
80	112	51	61	IV	6	3,6
120	96	37	59	III	4	3,6
210	107	23	84	III	5	3,4
300	197	99	98	III	3	2,6
360	251	91	160	III	5	3,4
450	231	119	112	III	5	3,0
560	79	34	45	III	3	2,2
640	129	89	40	III	3	2,2
730	244	81	163	III	3	3,0
etelään						
70 (*)	108	65	43	IV	3	2,0
140 (*)	125	54	71	IV	4	3,0
190 (*)	126	52	74	IV	3	2,6
210 (*)	94	43	51	IV	2	2,0
250 (*)	232	108	124	IV	3	2,8
340	293	162	131	III	4	3,0
370	280	155	125	III	4	3,2
400	112	49	63	III	4	3,0
440	207	98	109	III	5	3,6
460	218	113	105	III	3	1,8
500	176	107	69	III	4	3,6
540	292	182	110	III	4	1,8
600	224	124	100	III	3	1,6
700	138	80	58	III	5	3,4

LIITTEET

Taulukko 4. Jäkäläkartoituksen tulosten yhteenvedo moottoritiestä pohjois- ja eteläsuuntiin edettäessä Piikkiön havaintoalueiden linjalla. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssin maksimiarvo = 1000, puiden vasta- ja suojapuolten esiintymisfrekvenssien maksimiarvo = 500 ja vaurioluokka = mediaaniluokka välillä I–V.

Sormipaisukarpeen (<i>Hypogymnia physodes</i>)						
Etäisyys moottoritiestä (m)	esiintymisfrekvenssi	vastapuolen esiintymisfrekvenssi	suojapuolen esiintymisfrekvenssi	vaurioaste	Jäkälälajeja yhteensä havainto-alueella	Lajilkm:n keskiarvo havainto-alueella
pohjoiseen						
70	46	38	8	III	3	2,2
130	196	156	40	III	3	2,6
200	268	146	122	III	5	3,0
300	147	87	60	III	6	4,4
400	196	56	140	III	5	3,0
etelään						
50	54	36	18	III	4	2,4
120	100	56	44	III	3	2,4
170	188	106	82	III	4	2,6
240	66	46	20	II	4	3,4
350	68	48	20	II	4	3,2
520	66	53	13	II	4	4,0
640	88	60	28	II	5	4,0
850	302	177	125	III	5	3,4

Taulukko 5. Mäntypuuston harsuuntuneisuuden ja näkyvien vaurioiden kartoituksen tulosten yhteenvedo moottoritiestä pohjois- ja eteläsuuntiin edetäessä Paimion havaintoalueiden linjalla. Lisäksi taulukossa on esitetty kunkin havaintoalueen metsätyyppi (VT = puolukkatyyppin kangasmetsä, MT = mustikkatyyppin kangasmetsä, CT = kanervatyyppin kangasmetsä) sekä kasvitautien (TR = tervaroso, NK = neulaskariste) ja hyönteistuhojen (MP = mäntypistiäinen) esiintyminen sekä puuston keskimääräinen ikä ja latvuspeittävyys. (* Moottoritien ja maantie 110:n välinen alue.

Mäntypuuston							
Etäisyys moottoritiestä (m)	harsuuntuneisuus (%/luokka)	vaurioarvio (luokka/pyöristys)	Metsätyyppi	Kasvi- taudit	Hyönteistuhot	Puuston ikä (vuotta)	Puuston latvuspeittävyys (%)
pohjoiseen							
80	30/2	3,0/3	VT	–	MP	63	30
120	30/2	3,0/3	MT	–	MP	63	10
210	25/2	3,0/3	VT	–	–	54	40
300	10/0	2,5/3	MT	–	–	52	45
360	15/1	2,6/3	MT	–	MP	52	50
450	10/0	2,2/2	VT	TR	MP	51	40
560	25/2	3,0/3	MT	–	MP	31	50
640	10/0	2,0/2	VT	–	–	25	30
730	25/2	3,0/3	VT	NK	–	20	30
etelään							
70 [*]	15/1	2,6/3	VT	–	–	48	20
140 [*]	20/1	2,6/3	VT	–	MP	52	40
190 [*]	10/0	2,5/3	CT	–	–	52	15
210 [*]	20/1	3,0/3	CT	–	–	45	20
250 [*]	20/1	2,8/3	CT	–	MP	42	20
340	5/0	2,0/2	VT	–	–	38	50
370	5/0	2,0/2	VT	–	–	45	50
400	5/0	2,0/2	VT	–	–	45	40
440	5/0	2,0/2	VT	–	–	45	50
460	5/0	2,0/2	VT	–	–	45	40
500	10/0	2,2/2	VT	–	MP	52	40
540	10/0	2,5/3	MT	–	MP	52	40
600	15/1	2,6/3	VT	–	MP	52	20
700	10/0	3,0/3	VT	–	–	49	40

LIITTEET

Taulukko 6. Mäntypuuston harsuuntuneisuuden ja näkyvien vaurioiden kartoituksen tulosten yhteenveto moottoritiestä pohjois- ja eteläsuuntiin edetäessä Piikkiön havaintoalueiden linjalla. Lisäksi taulukossa on esitetty kunkin havaintoalueen metsätyyppi (VT = puolukkatyyppin kangasmetsä, MT = mustikkatyyppin kangasmetsä, CT = kanervatyyppin kangasmetsä, CIT = jäkäläkangas) sekä kasvitautien (HK = harmaakariste) ja hyönteistuhojen (MP = mäntypistiäinen) esiintyminen sekä puuston keskimääräinen ikä ja latvuspeittävyys.

Mäntypuuston							
Etäisyys moottoritiestä (m)	harsuuntuneisuus (%/luokka)	vaurioarvio (luokka/pyöritys)	Metsätyyppi	Kasvitaudit	Hyönteistuhot	Puuston ikä (vuotta)	Puuston latvuspeittävyys (%)
pohjoiseen							
70	30/2	3,0/3	VT	HK	MP	30	20
130	20/1	2,7/3	VT	HK	MP	43	30
200	5/0	2,2/2	MT	–	–	47	30
300	15/1	2,6/3	VT	HK	–	60	15
400	10/0	2,5/3	VT	–	MP	55	30
etelään							
50	5/0	2,0/2	VT	HK	–	40	25
120	15/1	2,0/2	CIT	HK	MP	25	25
170	10/0	2,1/2	CT	HK	MP	28	40
240	10/0	2,5/3	VT	HK	MP	68	30
350	10/0	3,0/3	VT	–	–	65	40
520	40/3	2,2/2	VT	HK	–	90	30
640	5/0	2,0/2	CT	HK	–	46	10
850	15/1	2,2/2	VT	HK	MP	40	20

Taulukko 7. Jäkäläkartoituksen tulokset eri vuosilta Paimion havaintoalueilla niistä pisteistä, jotka ovat keskenään vertailukelpoisia. Vuosien 1992, 1993 ja 1995 tutkimuksissa etäisyydet tiestä perustuvat havaintoalojen arvioituun sijaintiin, eivätkä ne täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksessa käytettyjä tarkkoja etäisyysmittauksia. Moottoritien pohjoispuolelta tuloksia ei voida verrata, koska havaintoalueiden linjaa jouduttiin siirtämään eri kohtaan vuonna 2001.

Etäisyys moottoritien keskikohdas- ta etelään	Sormipaisukarpeen kokonaispiste- frekvenssi				Puiden vastapuolen pistefrekvenssi				Puiden suojapuolen pistefrekvenssi				Sormipaisukarpeen vaurioaste				Yleinen jäkälien vaurioaste				Lajiluvun keskiarvo			
	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01
70 m	156	151	113	108	74	66	47	65	82	85	66	43	II	III	II	IV	III	III	-	IV	2.8	3.2	4.6	2.0
190 m	118	96	93	126	50	58	45	52	68	38	48	74	II	III	II-III	IV	III	III	-	IV	3.4	3.8	4.4	2.6
250 m	96	128	121	232	50	88	53	108	46	40	68	124	II	II	II	IV	III	III	-	IV	3.2	3.4	3.4	2.8
340 m	84	179	147	293	54	102	91	162	30	77	56	131	II	II-III	II-III	III	III	III	-	III	3.2	4.2	4.2	3.0
600 m	214	288	166	224	104	140	68	124	140	148	98	100	II	II	I	III	II	II-III	-	III	5.8	6.6	6.2	1.6

Taulukko 8. Jäkäläkartoituksen tulokset eri vuosilta Piikkiön havaintoalueilla niistä pisteistä, jotka ovat keskenään vertailukelpoisia. Vuosien 1992, 1993 ja 1995 tutkimuksissa etäisyydet tiestä perustuvat havaintoalojen arvioituun sijaintiin, eivätkä ne täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksissa käytettyjä tarkkoja etäisyysmittauksia.

Etäisyys moottorin keski- kohdasta	Sormipaisukarpeen kokonaispiste- frekvenssi				Puiden vastapuolen pistefrekvenssi				Puiden suojapuolen pistefrekvenssi				Sormipaisukarpeen vaurioaste				Yleinen jäkälien vaurioaste				Lajiluvun keskiarvo			
	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01	-92	-93	-95	-01
pohjoiseen																								
70 m	276	96	134	46	137	25	45	38	139	71	89	8	I	II	II	III	II	II-III	-	III	3.8	3.6	4.0	2.2
130 m	176	240	55	196	82	87	33	156	94	153	22	40	I	I	I	III	I	I	-	III	6.4	6.0	6.4	2.6
300 m	378	283	233	268	214	188	182	146	164	95	51	122	I	I	I	III	I	I	-	III	6.4	5.6	6.4	3.6
etelään																								
240 m	36	53	37	66	13	26	9	46	23	27	28	20	II	I	II	II	II	I	-	II	3.6	3.8	5.0	3.4
350 m	46	13	66	68	19	9	26	48	27	4	40	20	I	III	I	II	I	III	-	II	4.8	4.8	5.0	3.2
520 m	9	15	19	66	5	5	9	53	4	10	10	13	III	I-II	III	II	IV	I-II	-	II	2.8	4.4	4.8	4.0

Taulukko 9. Mäntytuuston harsuuntuneisuusluokat (0–9) eri vuosina Paimion ja Piikkiön havaintoalueilla niistä pisteistä, jotka ovat keskenään vertailukelpoisia. Vuosien 1992, 1993 ja 1995 tutkimuksissa etäisyydet tiestä perustuvat havaintoalueiden arvioituun sijaintiin, eivätkä ne täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksissa käytettyjä tarkkoja etäisyyksmittauksia.

	Etäisyys (m) moottoritiestä	Harsuuntuneisuusluokka eri vuosina				
		1992	1993	1995	2001	
PAIMIO	pohjoiseen					
	50	–	–	1	–	
	120	–	–	1	2	
	180	–	–	0	–	
	210	–	0	2	2	
	300	–	–	2	0	
	360	–	1	2	1	
	450	–	2	1	0	
	480	–	–	2	–	
		etelään				
	70	2	2	–	1	
	190	2	2	2	0	
	250	1	1	1	1	
	340	2	1	1	0	
	370	–	0	1	0	
	400	–	1	1	0	
	440	–	2	2	0	
	460	–	1	1	0	
	500	–	0	1	0	
	540	2	1	1	0	
600	–	2	2	1		
PIIKKIÖ	pohjoiseen					
	70	1	0	0	2	
	130	–	1	0	1	
	300	2	0	1	1	
		etelään				
	50	–	0	0	0	
	120	–	0	1	1	
	240	–	1	2	0	
	350	–	1	1	0	
	450	–	1	1	–	
	520	–	1	2	3	
	540	–	2	–	–	

LIITTEET

Taulukko 10. Mäntypuuston vaurioarvioluokat (1–5) eri vuosina Paimion ja Piikkiön havaintoalueilla niistä pisteistä, jotka ovat keskenään vertailukelpoisia. Vuosien 1992, 1993 ja 1995 tutkimuksissa etäisyydet tiestä perustuvat havaintoalueiden arvioituun sijaintiin, eivätkä ne täsmälleen vastaa vuoden 2001 tutkimuksissa käytettyjä tarkkoja etäisyyksmittauksia.

	Etäisyys (m) moottoritiestä	Vaurioluokka eri vuosina				
		1992	1993	1995	2001	
PAIMIO	pohjoiseen					
	50	2	2	2	–	
	80	2	2	2	3	
	120	2	–	2	3	
	180	2	2	2	–	
	210	2	–	2	3	
	300	3	–	2	3	
	360	3	1	2	3	
	420	3	3	2	–	
	450	3	3	3	2	
	480	3	3	3	–	
		etelään				
	40	2	2	2	–	
	70	2	2	2	3	
	140	2	–	2	3	
	190	2	–	2	3	
	210	2	2	2	3	
	250	2	–	2	3	
	340	2	3	2	2	
	370	2	2	2	2	
	400	2	2	2	2	
	440	3	2	2	2	
	460	3	2	2	2	
	500	3	2	2	2	
	540	3	3	2	3	
PIIKKIÖ	pohjoiseen					
	70	2	2	2	3	
	130	2	2	2	3	
	300	2	2	2	3	
		etelään				
	50	2	1	2	2	
	170	2	1	2	2	
	240	2	2	2	3	
	350	2	2	2	3	
	450	2	2	3	–	
	520	2	2	3	2	
	540	3	3	–	–	

