



ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATUMITTAUKSET TORNION KESKUSTASSA JA NÄÄTSAARESSA



Kuva: Lentokuva Vallas Oy

*Mittaustulokset jaksolta
helmikuu 2011 - helmikuu 2012*

ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut 2012

**ILMANLAATUMITTAUKSET TORNION
KESKUSTASSA JA NÄÄTSAARESSA**

**Mittaustulokset jaksolta
helmikuu 2011 - helmikuu 2012**

**Birgitta Alaviippola
Risto Pesonen
Helena Saari**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	TAUSTATietoja ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	7
2.1	Hiukkaset	7
2.2	Arseeni ja metallit	9
3	ILMANLAADUN OHJE-, RAJA- JA TAVOITEARVOT	13
4	PÄÄSTÖT	16
4.1	Outokummun Tornion tehtaat	16
4.2	Tutkimusalueen muut kiinteät päästölähteet ja satamatoiminta	18
4.3	Autoliikenne	18
5	TUTKIMUKSEN SUORITUS	19
6	TUTKIMUKSEN TULOKSET	22
6.1	Hengitettävät hiukkaset	22
6.2	Hengitettävien hiukkasten sisältämät alkuaineet	26
7	TUTKIMUKSEN TULOSTEN TARKASTELU	33
7.1	Ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet	33
7.2	Raja- ja tavoitearvoihin verrattavat pitoisuudet	34
7.3	Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	35
7.4	Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	37
7.5	Vertailua Tornion vuoden 2005 ilmanlaatumittausten tuloksiin	38
7.6	Vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	41
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	43
9	SUOSITUKSIA TORNION ILMANLAADUN SEURANTAAN	46
	VIITELUETTELO	49
	LIITEKUVAT	
	LIITETAULUKOT	

1 JOHDANTO

Outokummun Tornion tehtaat tilasi muiden paikallisten, nyt raportoitavan tutkimuksen rahoitukseen osallistuneiden yritysten sekä Tornion ja Haaparannan kaupunkien puolesta Ilmatieteen laitokselta kaupunki-ilman hiukkas-, arseeni- ja metallipitoisuuksien mittaukset toteutettavaksi kahdessa mittauspisteessä Torniossa.

Mittauksia tehtiin 3.2.2011 - 14.2.2012 välisenä aikana Keskustan Länsirannan ja Näätsaaren tutkimuspisteissä. Alle 10 mikrometrin kokoisten ns. hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla hiukkasanalysaattoreilla koko mittausjakson ajan. Samoissa mittauspisteissä kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä helmi-huhtikuussa 2011 ja elo-syyskuussa 2011. Näytteistä analysoitiin arseeni- ja metallipitoisuudet Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa.

Tornion ilmanlaatumittausten tavoitteena oli kartoittaa hiukkasten pitoisuuksia ja väestön altistumista niille sekä hiukkasten sisältämille alkuaineille eri puolilla kaupunkia toisistaan poikkeavissa päästöympäristöissä. Mittauksin pyrittiin saamaan tietoa Tornion ja Haaparannan yleisestä ilmanlaadusta ja sen kehittymisestä viime vuosien aikana sekä ympäristölupavelvollisten laitosten, kuten Outokummun Tornion tehtaiden, ja liikenteen vaikutuksesta siihen. Ilmatieteen laitos on tehnyt Torniossa aiemmin vuonna 2005 samantyyppisen laajan, mittauksiin perustuneen ilmanlaatatutkimuksen (Saari *et al.*, 2006), jonka tuloksia on käytetty vertailuaineistona nyt raportoitavassa hankkeessa. Ilmatieteen laitos on mitannut Torniossa hiukkas- ja metallipitoisuuksia myös aiemmin vuonna 1998 (Saari *et al.*, 1999).

Tässä tutkimuksessa Torniossa mitattuja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia on verrattu lisäksi kotimaisiin ja ruotsalaisiin ilmanlaadun ohjearvoihin ja Suomessa ja Ruotsissa voimassa oleviin ilmanlaadun raja-arvoihin sekä eräiden Suomen kaupunkien vastaavan jakson hiukkaspitoisuuksiin. Hiukkasten sisältämien arseenin, nikkelin ja kadmiumin pitoisuuksia on verrattu ko. epäpuhtauksien tavoitearvoihin ja Lapin puhtaalla tausta-alueella mitattuihin vastaaviin pitoisuuksiin.

Tilaajan yhdyshenkilönä tutkimuksessa toimivat Outokummun Tornion tehtailta ympäristöpäällikkö Juha Kekäläinen ja laborantti Pertti Kuusela, joka hoiti hiukkaske-räinten suodatinten vaihdon ja lähetyksen Ilmatieteen laitokselle sekä osallistui muihin tutkimuksen kenttätöihin Torniossa. Tornion kaupungin yhteyshenkilönä toimivat ympäristönsuojelusihteeri Kai Virtanen ja vs. ympäristönsuojelusihteeri Minna Karhunen.

Tutkimuksen rahoitukseen osallistuivat: Outokummun Tornion tehtaat, Tornion kaupungin ympäristöpalvelut, Haaparannan kaupunki, Tornion Voima Oy ja SMA Mineral Oy.

Tutkimuksen toteutukseen ovat Ilmatieteen laitoksella osallistuneet tutkijat Birgitta Alaviippola ja Helena Saari (tulosten käsittely ja raportointi), kehittämispäällikkö Risto Pesonen (projektin suunnittelu ja johto sekä raportointi), tutkimusmestari Anne Nousiainen (näytehuolto), erikoistutkija Ulla Makkonen (analyysitulosten laskenta) sekä suunnittelija Kaj Lindgren ja tutkija Mika Vestenius (mittaustekniikka, kenttätö ja laadunvarmistus).

Selitteet raportissa käytetyille tärkeimmille yksiköille ja lyhenteille:

Yksiköt:

μm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	mikrogrammaa (=gramman miljoonasosaa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
ng/m^3	nanogrammaa (=gramman miljardisosaa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
$\mu\text{g}/\text{m}^2$	mikrogrammaa (=gramman miljoonasosaa) neliömetrille (laskeuma)
$^{\circ}$	aste (tuulen suunta)
m/s	metriä sekunnissa (tuulen nopeus)
$^{\circ}\text{C}$	Celsiusaste (lämpötila)
atm	atmosfääri, paineen yksikkö, 1 atm = normaali-ilmakehän paine
K	Kelvinaste (lämpötila), 293 K = 20 $^{\circ}\text{C}$
kPa	kilopascal, paineen yksikkö, 101,3 kPa = 1 atm

Lyhenteet:

SO_2	rikkidioksidi
NO_x	typen oksiden kokonaismäärä (typpimonoksidi+typpidioksidi)
PM_{10}	hengitettävät hiukkaset = alle 10 μm :n kokoiset hiukkaset
$\text{PM}_{2,5}$	pienhiukkaset = alle 2,5 μm :n kokoiset hiukkaset
TSP	<u>T</u> otal <u>S</u> uspended <u>P</u> articles = kokonaisleijumaan kuuluvat hiukkaset
Al	alumiini
As	arseeni
Cd	kadmium
Co	koboltti
Cr	kromi
Cu	kupari
Fe	rauta
Mn	mangaani
Ni	nikkeli
Pb	lyijy
V	vanadiini
Zn	sinkki
BaP	bentso(a)pyreeni
ICP-MS	induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometria
N	pohjoinen (tuulen suunta), kun tuulee pohjoisesta tuulen suunta on 0 $^{\circ}$ tai 360 $^{\circ}$
E	itä (tuulen suunta), kun tuulee idästä tuulen suunta on 90 $^{\circ}$
S	etelä (tuulen suunta), kun tuulee etelästä tuulen suunta on 180 $^{\circ}$
W	länsi (tuulen suunta), kun tuulee lännestä tuulen suunta on 270 $^{\circ}$

2 TAUSTATIETOJA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

2.1 Hiukkaset

Hiukkaset ovat nykyisin typen oksidien ja selluntuotantopaikkakuntien haisevien rikkiyhdisteiden ohella merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava tekijä maamme taajamissa. Hiukkaset ovat taajamissa peräisin suurelta osin liikenteen nostattamasta katupölystä eli epäsuorista päästöistä (ns. resuspensio). Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös suorat päästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista sekä autojen pakokaasuista. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia, joiden massa on varsin pieni ja lukumäärä suuri. Myös kaasumaisista yhdisteistä muodostuu ilmakehässä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja metalleja. Liikenteen pakokaasuhiukkaset ovat suurelta osin peräisin dieselajoneuvoista. Näiden hiukkasten haitallisuutta kuvaa se, että niiden on arvioitu sekä ulko- että kotimaisissa terveystutkimuksissa lisäävän syöpäriskiä ihmisissä.

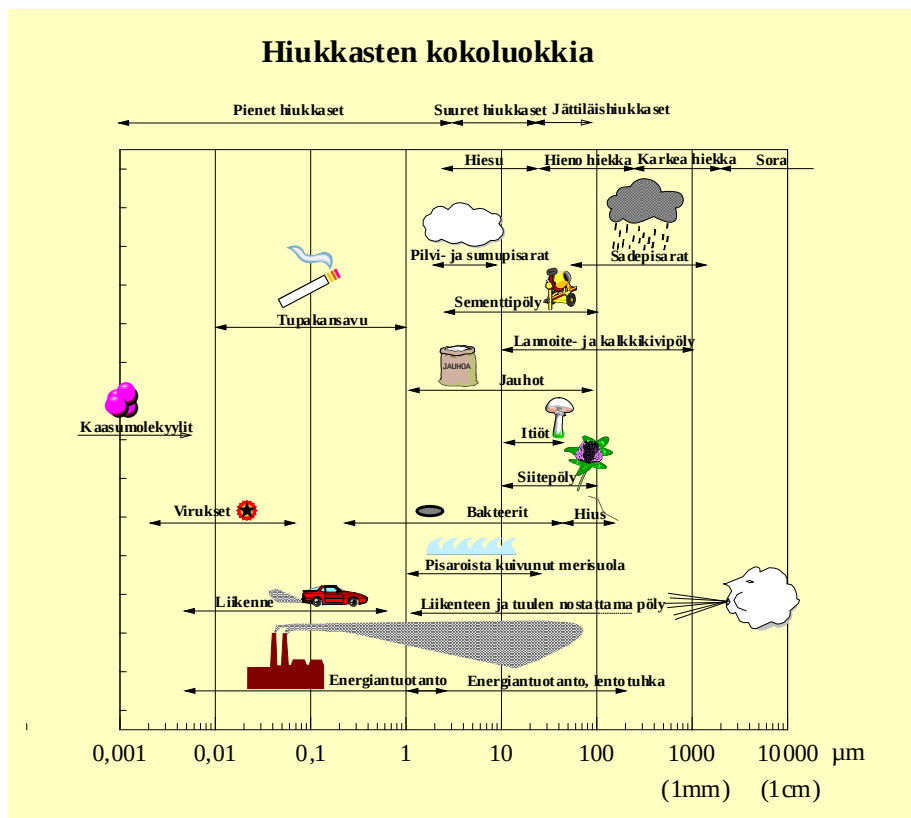
Ulkoilman hiukkasten koko on eri tavoin yhteydessä niiden terveystaikutuksiin. Kokonaisleijumalla tarkoitetaan pölyä, johon saattaa sisältyä kooltaan varsin suuriakin, halkaisijaltaan jopa kymmenien mikrometrien hiukkasia. Tällaisten hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista varsinkin keväisin, kun hiekoitushiekasta peräisin oleva katupöly nousee ilmaan. Suurin osa kokonaisleijuman hiukkasista on niin isoja, että ne jäävät ihmisten hengitysteihin ja poistuvat terveillä henkilöillä melko tehokkaasti elimistöstä. Kokonaisleijumasta käytetään lyhennettä TSP, joka tulee sanoista Total Suspended Particles.

Terveystaikutuksiltaan em. haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin: hengitettävät hiukkaset alempiin hengitysteihin eli henkitorveen ja keuhkoputkiin asti ja pienhiukkaset keuhkorakkuloihin saakka. Hengitettävälle hiukkasille, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 mikrometriä, on annettu kotimaiset ohje- ja raja-arvot. Suomessa tuli uuden ilmanlaatuasetuksen myötä 25.1.2011 voimaan vuosikeskiarvoa koskeva raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ myös aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin pienhiukkasille (*Vna 38/2011*). Hengitettävistä ja pienhiukkasista käytetään lyhenteitä PM₁₀ ja PM_{2,5} (PM = Particulate Matter).

Taajama-alueilla alle 0,1 mikrometrin kokoiset hiukkaset ovat pääosin mittauspaikan lähistöllä tapahtuvista polttoprosesseista peräisin olevaa materiaalia, esimerkiksi liikenteestä ja energiantuotannosta tulleita hiiliyhdisteitä. Kokoluokassa 0,1–1 mikrometriä hiukkaset ovat pääasiassa kaukokulkeutunutta ainesta. Nämä hiukkaset edustavat suoria hiukkaspäästöjä tai ovat syntyneet kaasuhiukkasmuuntuman seurauksena. Halkaisijaltaan yli 1 mikrometrin kokoiset hiukkaset ovat yleensä mekaanisesti syntyneitä. Ne ovat esimerkiksi nousseet maasta ilmaan tuulen tai liikenteen nostattamana. Nämä hiukkaset koostuvat lähinnä maa-aineksesta, meriaerosoleista ja orgaanisesta materiaalista, kuten kasvien osista ja siitepölyistä sekä niiden pinnalle kiinnittyneistä hiukkasista. Isoiksi hiukkasiksi luokitellaan halkaisijaltaan yli 2,5 mikrometrin kokoiset hiukkaset.

Ilmavirtausten mukana kulkeutuvia suurimpia hiukkasia kutsutaan jättiläishiukkasiksi (engl. giant particles). Kirjallisuudessa suurten ja jättiläishiukkasten välinen raja

on hiukan häilyvä, mutta hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on yli 15–25 mikrometriä voitaneen kutsua jättiläishiukkasiksi. Ylärajana hiukkasille pidetään tavallisesti 100 mikrometriä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Palamisprosesseista peräisin olevat hiukkaset saattavat olla rikastuneita jonkun tietyn alkuaineen tai muun merkkiaineen suhteen. Esimerkiksi vanadiinia ja nikkeliä tulee ilmakehään öljynpoltosta, kaliumia orgaanisen materiaalin poltosta ja arseenia, molybdeenä, seleeniä sekä rikkiä hiilen poltosta. Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten arseeni, kadmium, nikkeli ja lyijy. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista. Tyypillisiä maaperästä tulevia alkuaineita ovat alumiini, barium, kalsium, rauta, rubidium, pii, strontium sekä titaani, jotka esiintyvät enimmäkseen isoissa hiukkasissa.

Hiukkasista aiheutuvat merkittävimmät terveyshaitat lapsille, vanhuksille sekä astmaa, pitkäaikaista keuhkoputkentulehdusta ja sydäntauteja sairastaville. Hiukkaspitoisuuden kohoaminen lisää astma- ja hengitystietulehduksia sekä heikentää keuhkojen toimintakykyä. Ulko- ja kotimaisissa terveysvaikutustutkimuksissa on lisäksi todettu, että hiukkaspitoisuuden kohotessa myös kuolleisuus ja sairaalahoitotarpeen määrä saattavat lisääntyä. Pitkäaikaisella liiallisella keuhkojen hiukkaskuormituksella voi olla yhteys keuhkosyövän syntyyn. Tähän voivat olla syynä itse hiukkasaltistuksen lisäksi useat hiukkasten sisältämät haitalliset aineet.

Suomen taajamien hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa tuulen ja liikenteen nostaman katupölyn vaikutuksesta maanpinnan kuivuessa, mutta pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa usein myös syys-marraskuussa. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaupunkien keskustojen ulkopuolellakin pitoisuudet ovat olleet yli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosikeskiarvoina (*ILSE, 2010*).

Korkeimmat mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet ovat olleet useiden maamme kaupunkien keskustojen liikenneympäristöissä yli $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja esikaupunkialueillakin yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettua raja-arvoa ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sallittu 35 ylitystä/vuosi) ei kuitenkaan ole tähän mennessä mittaustulosten mukaan ylitetty Suomessa kuin Helsingin Runeberginkadulla vuonna 2003, Helsingin Mannerheimintien ja Hämeentien mittausasemilla ja Riihimäen keskustassa Hämeenkadulla vuonna 2005 sekä Helsingin Mannerheimintiellä ja Töölöntullissa vuonna 2006. Sen sijaan vuorokausipitoisuuden raja-arvon numeroarvo eli raja-arvoa vastaava pitoisuustaso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyy vuosittain yleisesti maamme kaupungeissa lähinnä keväisin. Suomen kuntien ilmanlaadun mittaustulosten vuosien 2008 ja 2009 tuloksista tehdyssä tarkastelussa tällaisia ylityksiä voi esiintyä nykyisin vuosittain noin 300–500 (*Ilmanlaatuportaali, 2010*).

Ilmatieteen laitos on seurannut hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia maamme puhtailla tausta-alueilla muun muassa Virolahdella ja Pallaksella. Viime vuosina vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Virolahdella noin $10\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pallaksella noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Edellä esitetyssä tarkastelussa ovat mukana kaukokulkeutuneista päästöistä aiheutuneet, normaalista kohonneiden hiukkaspitoisuuksien tilanteet. Vuorokausiraja-arvotason ylittymiseen mahdollisesti vaikuttavia kaukokulkeumaepisodeja esiintyy yleisesti lähes vuosittain maaliskuussa ja satunnaisemmin tammi-helmikuussa ja elo-lokakuussa. Yhden episodin kesto voi vaihdella sen vaikutusalueella alle tunnista useisiin päiviin. Arviolta noin puolet viime vuosien episodeista on johtunut Itä-Euroopan kulutuksista sekä maasto- ja metsäpaloista, joiden päästöt kohottavat hiukkaspitoisuuksia normaalista kaukokulkeumasta poikkeavalla tavalla. Tämänlaisia tilanteita on esiintynyt viime vuosina useasti, esimerkiksi Etelä-Suomessa heinäkuussa 2006 ja heinä-elokuussa 2010, jolloin Venäjän metsäpalojen savuja kulkeutui Suomeen useiden viikkojen aikana. Pääasiallisin syy hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason ylityksiin maassamme on kuitenkin liikenteen ja tuulen nostattama katupöly, josta aiheutuva hiukkaspitoisuustilanne on huonoin keväisin.

2.2 Arseeni ja metallit

Arseenia ja metalleja pääsee ulkoilmaan sekä kaasuina että hiukkasiin sitoutuneina pääasiassa erilaisista metalliteollisuusprosesseista, energiantuotannosta, jätteenpoltosta ja liikenteestä sekä myös luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tuulieroosion ja tulivuorten purkausten vaikutuksesta.

Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten arseeni, kadmium, nikkeli ja lyijy. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista.

Liikenteen metallipäästöistä oli Suomessa aiemmin tärkein lyijy, mutta lyijyllisen bensiinin myynnin loputtua sen aiheuttamat ilmanlaatuongelmat ovat väistyneet maassamme. Tästä syystä lyijyn tarkastelu tässä yhteydessä sivuutetaan. Lyijystä löytyy tarvittaessa runsaasti tietoa lähdekirjallisuudesta. Ulkoilman lyijypitoisuudelle on annettu kotimainen raja-arvo, joka koskee vuosikeskiarvoja. Tämä raja-arvo alituu selkeästi kaikkialla Suomessa, eikä lyijy ole enää keskeinen ilmanlaatutekijä maassamme.

Seuraavassa käsitellään Tornion hiukkasnäytteistä analysoiduista alkuaineista kadmiumia, nikkeliä ja arseenia, joiden vuosikeskiarvopitoisuuksille on Suomessa säädetty tavoitearvot, ja jotka ovat tässä tutkimuksessa hiukkasnäytteistä määritettyistä terveys- ja ympäristövaikutuksiltaan merkittävimmät aineet. Myös kromista on esitetty seuraavassa lyhyt katsaus, koska ko. aine on keskeinen Outokummun Tornion tehtaiden teräksen valmistuksessa. Ulkoilman kromipitoisuuksille ei ole olemassa kotimaisia ohjearvoja eikä EU:n määrittelemiä raja- tai tavoitearvoja. Muiden mitattujen alkuaineiden ominaisuuksista löytyy tietoa kemian alan käsikirjoista ja internetistä.

Euroopan unionin metallidirektiivin tausta-aineistoksi koottiin tietoja arseenin, kadmiumin ja nikkelin pitoisuuksista eri puolilla Eurooppaa, mutta ne edustavat 1990-luvun puolenvälin ja loppupuolen tilannetta. Näitä tietoja on esitetty julkaisussa *EU, 2000*. Tässä Tornion mittauksia koskevassa raportissa verrataan arseenin ja metallien pitoisuuksia Ilmatieteen laitoksen Pallaksen Matorovan puhtaan ilman taustaseaman vastaaviin arvoihin. Em. eurooppalaisiin pitoisuustietoihin viitataan vain suuntaa-antavasti seuraavassa tarkastelussa.

Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumoksidiksi. Monet epäorgaaniset kadmiumyhdisteet liukenevat hyvin veteen. Kadmium rikastuu pääasiassa ulkoilman pieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 mikrometri tai sitä pienempiä. Tämä on merkittävä seikka ulkoilman laadusta johtuvien terveysvaikutusten kannalta: em. hiukkasjake tunkeutuu tehokkaasti syvälle hengitysteihin.

Suomen kiinteiden päästölähteiden kadmiumyhdisteiden päästöt ovat 2000-luvun alkuvuosina vaihdelleet välillä noin 1,2–1,7 tonnia, josta suurin osa muodostui tehtyjen arvioiden mukaan metalliteollisuudessa ja teollisuuden voimantuotannossa ja loput muussa sähkön ja lämmöntuotannossa. Em. päästölähteiden kadmiumpäästöt ovat pienentyneet selvästi 1990-luvun alkuvuosien tasosta. Vuonna 2010 Suomen kadmiumpäästöjen määrä oli maamme ympäristöhallinnon tilastojen mukaan 1,4 tonnia (YH, 2012). Liikenteen kadmiumpäästöistä ei ole Suomessa tehty asianmukaisia arvioita. Tyypillinen ulkoilman hiukkasten sisältämä kadmiumipitoisuus voi olla Euroopassa tausta-alueilla noin 0,1–0,5 ng/m³ vuosikeskiarvoina ja vastaavasti korkeimmillaan noin 50 ng/m³ lähellä teollisuuden päästölähteitä.

Ihmiset altistuvat kadmiumille hengitysilman, juomaveden ja ravinnon kautta. Koska kadmiumyhdisteet imeytyvät ruoansulatuskanavaan melko huonosti, on hengityselinten kautta saatu altistus terveysvaikutusten kannalta tärkeä, mutta nykyisin arvioidaan ravinnon ja juomaveden olevan merkittävin altistustie keskimääräisissä oloissa ainakin tupakoimattomille henkilöille. Tupakointi lisää merkittävästi kadmiumin altistusannosta. Juomaveden ja ravinnon mahdollinen kadmiumkuormitus huomioitiin Euroopan unionin raskasmetallien ja arseenin ilmanlaatuseurannan valmistelussa niin, että kadmiumlaskeumalle ehdotettiin tavoitearvoa. Alustavissa suunnitelmissa esiintyi vaihteluväli 2,5–5 mikrogrammaa neliömetrille päivässä, mikä vastaa noin 900–1 800 mikrogramman neliömetrin alalle vuodessa tulevaa laskeumaa. Tätä ehdotusta ei kuitenkaan sisällytetty ns. metallidirektiiviin. Suomen puhtailla tausta-alueilla kadmiumlaskeuman määrä on vuosittain keskimäärin noin 1–5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Työympäristöjä koskeneissa terveysvaikutustutkimuksissa on aiemmin havaittu, että pitkäaikaiselle kadmiumille, ja erityisesti kadmiumoksidille, altistumiseen liittyy eturauhasen sekä ylähengitysteiden ja keuhkojen syöpien lisääntyminen. Korkeilla, pitkäaikaisilla työperäisillä kadmiumpitoisuuksilla on havaittu olevan yhteyttä myös krooniselle keuhkotulehdukselle ominaisiin oireisiin ja löydöksiin. Kadmium kertyy maksaan ja munuaisiin, joista se poistuu vasta vuosikymmenien kuluessa. Munuaisiin kertymiseen voi myös liittyä ko. elinten vajaatoimintaa. Kansainvälinen syöpätutkimuskeskus, IARC, on luokitellut kadmiumin ihmisille syöpävaaralliseksi. Myös Euroopan unionin luokittelun mukaan kadmium ja sen monet yhdisteet katsotaan syöpää aiheuttaviksi, mutta kadmiumin merkitystä eurooppalaisissa ulkoilmapitoisuuksissa syöpää aiheuttavana tekijänä ei ole yleisesti hyväksytty. Maailman terveysjärjestö, WHO, määrittelee kadmiumin pitkäaikaisvaikutuksien rajoittamista varten viimeksi esittämänsä ohjearvon lähtien kadmiumin väestölle aiheuttamista munuaisiin kohdistuvista haitoista.

Nikkeli

Nikkeli on hopeanvalkoinen, kova metalli, joka esiintyy pääasiassa kaksiarvoisena sekä orgaanisissa että epäorgaanisissa yhdisteissä. Osa nikkeliyhdisteistä liukenee veteen ja osa on käytännössä veteen liukenemattomia. Nikkeliä esiintyy yleisesti maaperässä ja sitä on rikastuneena raakaöljyyn. Nikkeliä käytetään runsaasti teräksen ja metallisekoitteiden tuotannossa. Muita käyttöalueita ovat muun muassa keramiikka, paristot, elektroniikka sekä lasin ja muovien värjäys. Toisin kuin kadmiumia nikkeliä esiintyy ulkoilmassa melko runsaasti myös ns. karkeissa hiukkasisä, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin.

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi, joita syntyy esimerkiksi energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät em. lisäksi myös monimutkaisia metallioksideja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Suomen kiinteiden päästölähteiden nikkeliyhdisteiden päästöt olivat 2000-luvun puolivälissä noin 25 tonnia, josta suurin osa muodostui metalliteollisuudessa ja teollisuuden voimantuotannossa ja loput muussa sähkön ja lämmöntuotannossa. Myös nikkelillä on tapahtunut kadmiumin tapaan päästöjen selvää pienenemistä viime vuosikymmenien aikana. Vuodelle 2010 arvioitu Suomen nikkelin kokonaispäästö on 22 tonnia (YH, 2012). Liikenteen nikkeliipäästöistä ei Suomessa ole tehty asianmukaisia arvioita.

Tyypillinen ulkoilman hiukkasten sisältämä nikkeliipitoisuus on Euroopan puhtailla tausta-alueilla noin $0,2\text{--}2\text{ ng/m}^3$ vuosikeskiarvoina ja vastaavasti korkeimmillaan noin 50 ng/m^3 lähellä teollisuuden päästölähteitä.

Euroopan unionin luokittelun mukaan useat nikkeliyhdisteet on todettu syöpää aiheuttaviksi ja monet nikkeliyhdisteet arvioitu mahdollisiksi karsinogeeneiksi. Lukuun ottamatta metallista nikkeliä, myös Kansainvälinen syöpätutkimuskeskus, IARC, on luokitellut nikkeliyhdisteet ihmisille syöpävaarallisiksi. Maailman terveysjärjestö, WHO, määrittelee viimeksi esittämänsä nikkelin ohjearvon lähtien nikkelin ihmisille aiheuttamasta keuhkosityöpäriskistä. Kun otetaan huomioon ulkoilman nikkeliipitoisuuksien taso, merkittävin nikkeli-altistus saadaan Suomessa ja koko Euroopassa yleensä ruoan välityksellä. Keuhkoihin kohdistuvassa altistuksessa tupakoinnilla on erittäin suuri merkitys: tupakoitsijan saama annos voi olla jopa monikymmenkertainen tupakoimattoman henkilön saamaan nähden. Nikkelin aiheuttamia yleisiä terveyshaittoja ovat myös allergiset kontakti-ihottumat, hengitysteihin kohdistuvat vaikutukset, limakalvojen ärsytys sekä elimistön immuuni- ja puolustusjärjestelmään kohdistuvat vaikutukset.

Arseeni

Arseeni esiintyy ympäristössä kolmi- tai viisiarvoisina epäorgaanisina, vesiliukoisina ja heikosti vesiliukoisina suoloina sekä kaasumaisina epäorgaanisina ja orgaanisina arseeniyhdisteinä. Luonnossa arseeni on sulfidina monien kaivannaismetallien sulfidien yhteydessä. Arseeni esiintyy kadmiumin tapaan pääasiassa ulkoilman pienissä hiukkasissa, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 mikrometri tai sitä pienempiä.

Arseenin keskeisiä päästölähteitä ovat metallien sulatus ja energiantuotanto, lähinnä hiilivoimalat. Suomen kiinteiden päästölähteiden arseeniyhdisteiden päästöiksi on arvioitu 2000-luvun alkupuolella noin 1–4 tonnia vuodessa, josta pääosa muodostui metalliteollisuudessa ja teollisuuden voimantuotannossa ja loput muussa sähkön ja lämmöntuotannossa. Arseenin aiempien vuosien päästöarvioihin sisältyy runsaasti epävarmuustekijöitä, mutta voitaneen ehkä todeta, että arseenin päästöt ovat vähentyneet maassamme viime vuosikymmenien aikana voimakkaammin kuin kadmium- ja nikkeli-päästöt. Vuoden 2010 kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 3,7 tonnia (YH, 2012). Liikenteen arseenipäästöistä ei Suomessa ole tehty asianmukaisia arvioita.

Ulkoilman hiukkasten sisältämän arseenipitoisuuden on arvioitu olevan Euroopan puhtailla tausta-alueilla noin $0,2\text{--}1,5\text{ ng/m}^3$ vuosikeskiarvoina ja vastaavasti noin $0,5\text{--}3\text{ ng/m}^3$ kaupunkitausta- ja liikennealueilla sekä teollisuuden päästöympäristöissä korkeimmillaan noin 50 ng/m^3 .

Arseenille altistutaan pääasiallisesti ruoansulatuskanavan kautta ruoan ja juomaveden välityksellä. Eurooppalaisissa arvioissa on esitetty, että vain alle 1 % kokonaisannoksesta saataisiin normaalioloissa hengitysilmaasta. Työperäisissä altistuksissa, joissa arseenipitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia kuin ulkoilmassa, on arseenin todettu lisäävän sydänkuoleman riskiä, aiheuttavan maksasairauksia, ruoansulatuskanavan, keskus- ja ääreishermoston oireita, allergisia ja muita iho-oireita sekä vaikuttavan verisolujen muodostumiseen luuytimessä. On riittävä näyttö siitä, että epäorgaaniset arseeniyhdisteet ovat ihmisille iho- ja keuhkosityöpää aiheuttavia aineita. Tämä on todettu muun muassa Kansainvälinen syöpätutkimuskeskuksen, IARC:n ja Maailman terveysjärjestön, WHO:n luokituksissa. Hengitysteitse saatavi-

en arseeniannosten kannalta keuhkosityöpä on em. merkittävin pitkäaikaisen altistumisen lopputila.

Kromi

Kromi on harmaa, kova metalli, joka esiintyy luonnossa useimmiten kolmiarvoisena. Kromia tuotetaan ferrokromina, kaliumkromaattina sekä natriumkromaattina ja -dikromaattina, joita käytetään muun muassa kromiväriaineiden tuotannossa, nahan parkitsemisessa ja ruostumisen estossa.

Kromia vapautuu ulkoilmaan maaperästä joko luonnostaan tai kaivostoiminnan seurauksena sekä erityisesti kromia tuottavista teollisuuslaitoksista. Kromi esiintyy hiukkasissa, joiden koko on useimmiten alle 2 mikrometriä. Hengitysteiden kautta tapahtuvassa altistumisessa ja haitallisten vaikutusten kannalta tärkein kromiyhdiste on kuusiarvoinen kromi (VI). Sille altistuminen on ollut merkittävintä kromin tuotannossa, hitsauksessa sekä kromia sisältävistä tuotteista tapahtuvan höyrystymisen yhteydessä. Kolmiarvoista kromia (III) pidetään ihmisille ja eläimille hyödyllisenä hivenaineena.

Työympäristöjä koskevissa tutkimuksissa on havaittu, että pitkäaikaiseen korkeiden pitoisuuksien kromi (VI) -altistukseen liittyy keuhkosityövän ja nenän sivuonteloiden syövän lisääntyminen. Suurissa työpaikkapitoisuuksissa kromi (VI) on todettu hengitysteitä ja ihoa ärsyttäväksi. Samoin kromi (VI) voi aiheuttaa allergista kontakti-ihottumaa ja astmaa. Kromi (III) on selvästi kromi (VI):ta vähemmän ärsyttävä, eikä esimerkiksi sille altistuvilla ferrokromitehtaiden työntekijöillä ole osoitettu keuhkosityövän lisääntymistä. Eläimillä tehdyissä hengitystiealtistuksissa kromi (VI) on aiheuttanut keuhkokasvaimia, kun taas kromi (III) ja kromimetalli eivät ole ilmenneet eläinkokeissa syöpää aiheuttaviksi.

Kansainvälisen syöpätutkimuskeskuksen, IARC:n, mukaan kromi (VI) on korkeina pitoisuuksina tunnettu syövän aiheuttaja ihmisessä, mutta näyttö kromi (III) -yhdisteiden ja kromimetallin syöpävaarallisuudesta ihmisessä on riittämätön. Outokummun Tornion tehtaat on selvittänyt aiemmin ja nyt raportoitavan tutkimuksenkin yhteydessä, että tehtaan ferrokromi- ja ruostumattoman terästuotannon päästöissä kromi olisi merkittävältä osaltaan haitattomassa tai vähemmän haitallisessa kolmiarvoisessa muodossa.

3 ILMANLAADUN OHJE-, RAJA- JA TAVOITEARVOT

*Ohje*arvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteenä. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määriteltä valtioneuvoiston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (Vnp 480/1996, ks. taulukko 1).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty vuoden 2011 alussa voimaan tullessa ilmanlaatuasetuksessa (Vna 38/2011, ks. taulukko 2).

Ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammissa pitoisuuksissa jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä ja jota alemmissa pitoisuuksissa jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja ilmanlaadun arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää.

Alemmalla arviointikynnyksellä tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ilmanlaadun arvioimiseksi riittää, että seuranta-alueella käytetään yksinomaan mallintamista tai muita menetelmiä kuten päästökartoituksia.

Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Arviointikynnykset on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (Vna 38/2011).

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Tässä työssä tutkituista aineista arseenin, nikkelin ja kadmiumin tavoitearvo määritellään ilmassa olevan pitoisuuden vuosittaisena keskiarvona hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) näytteissä. Em. aineiden tavoitearvot on määritelty valtioneuvoston asetuksessa (Vna 164/2007, ks. taulukko 3).

Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja ei sovelleta työpaikoilla eikä tehdasalueilla, sillä työpaikka-alueilla sovelletaan omia työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä. Raja-arvojen noudattamista ei myöskään arvioida liikenneväylillä eikä alueilla, jonne yleisöllä ei ole vapaata pääsyä ja joilla ei ole pysyvää asutusta.

Kun tutkimuksen osarahoittajana oli Haaparannan kaupunki, huomioidaan ohje-, raja- ja tavoitearvotarkasteluissa myös tilanne em. ilmanlaatukriteerien suhteen Ruotsin lainsäädännössä. Ruotsin ilmanlaatua hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien suhteen säätelevät maan ohjearvot, jotka ovat samat kuin Suomen alueella sovellettavat EU-raja-arvot (ks. taulukko 2). Hiukkaspitoisuuden raja-arvot ovat samat sekä Suomessa että Ruotsissa. Sama koskee myös arseenin, kadmiumin ja nikkelin pitoisuuksia koskevia Euroopan unionin direktiivin mukaisia tavoitearvoja: samat tavoitearvot ja arviointikynnykset ovat voimassa molempien maiden lainsäädännössä. Tämä tarkoittaa, että seuraavassa esitetyt arviot Tornion ilmanlaatumittausten tuloksista suhteessa ilmanlaatukriteereihin soveltuvat sekä Suomen että Ruotsin puolen alueiden ilmanlaadusta tehtävien päätelmien tekoon.

Taulukko 1. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vnp 480/1996).

Epäpuhtaus	Ohjearvo (20 °C, 1 atm)	Tilastollinen määrittely
Hiilimonoksidi (CO)	20 mg/m ³ 8 mg/m ³	Tuntiarvo Tuntiarvojen liukuva 8 tunnin keskiarvo
Typpidioksidi (NO ₂)	150 µg/m ³ 70 µg/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO ₂)	250 µg/m ³ 80 µg/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Kokonaisleijuma (TSP)	120 µg/m ³ 50 µg/m ³	Vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste Vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	70 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä (TRS)	10 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo, TRS ilmoitetaan rikkinä

Taulukko 2. Ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vna 38/2011).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo ¹⁾ µg/m ³	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)	Ajankohta, josta lähtien raja-arvot ovat olleet voimassa
Rikkidioksidi (SO ₂)	1 tunti	350	24	1.1.2005
	24 tuntia	125	3	1.1.2005
Typpidioksidi (NO ₂)	1 tunti	200	18	1.1.2010
	kalenterivuosi	40	-	1.1.2010
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	24 tuntia	50	35	1.1.2005
	kalenterivuosi	40	-	1.1.2005
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	kalenterivuosi	25	-	1.1.2010
Lyijy (Pb)	kalenterivuosi	0,5	-	15.8.2001
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia ²⁾	10 000	-	1.1.2005
Bentseeni (C ₆ H ₆)	kalenterivuosi	5	-	1.1.2010

1) Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

2) Vuorokauden korkein 8 tunnin keskiarvo, joka valitaan tarkastelemalla 8 tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin kahdeksan tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.

Taulukko 3. Arseenin (As), kadmiumin (Cd), nikkelin (Ni) ja bentso(a)pyreenin (BaP) tavoitearvot ja arviointikynnykset pitoisuuksien vuosikeskiarvoille (Vna 164/2007).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo (ng/m ³)	Alempi arviointikynnys (ng/m ³)	Ylempi arviointikynnys (ng/m ³)	Ajankohta, jolloin tavoitearvot tulevat voimaan
As	kalenterivuosi	6	2,4	3,6	31.12.2012
Cd	kalenterivuosi	5	2	3	31.12.2012
Ni	kalenterivuosi	20	10	14	31.12.2012
BaP	kalenterivuosi	1	0,4	0,6	31.12.2012

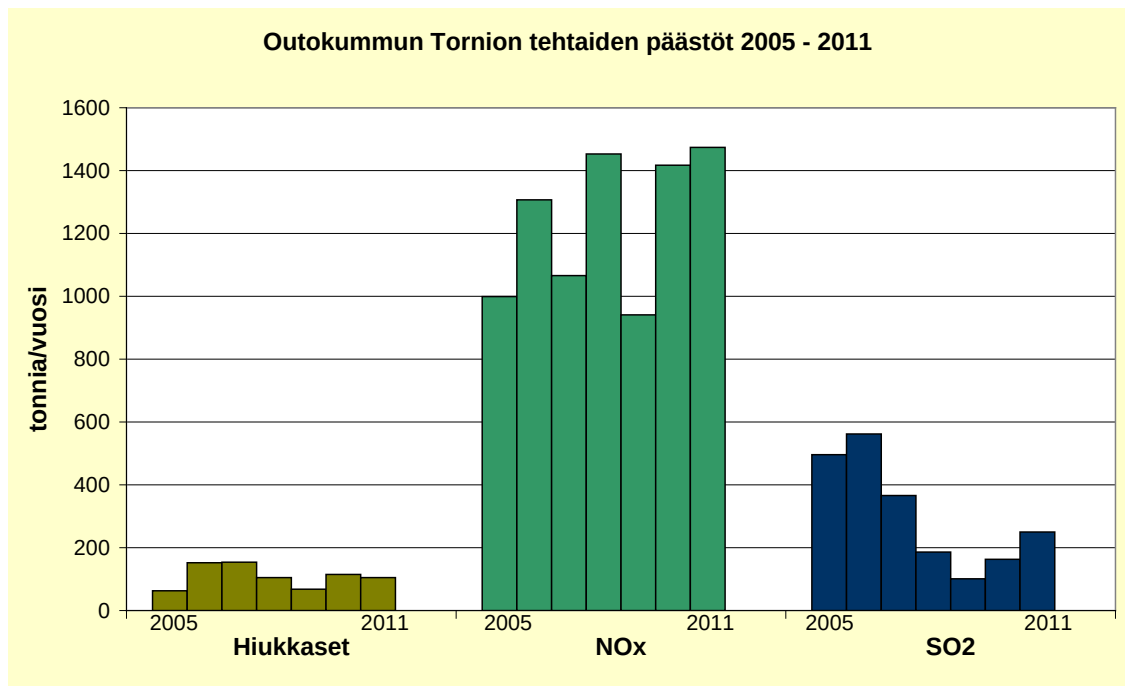
Ylemmän arviointikynnyksen ylittyessä jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä, alemmissa pitoisuuksissa jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja ilmanlaadun arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. Alemman arviointikynnyksen alittuessa ei mittauksia tarvitse tehdä välttämättä ollenkaan, mutta ilmanlaatu tulee arvioida muilla keinoilla, kuten leviämislaskelmilla.

4 PÄÄSTÖT

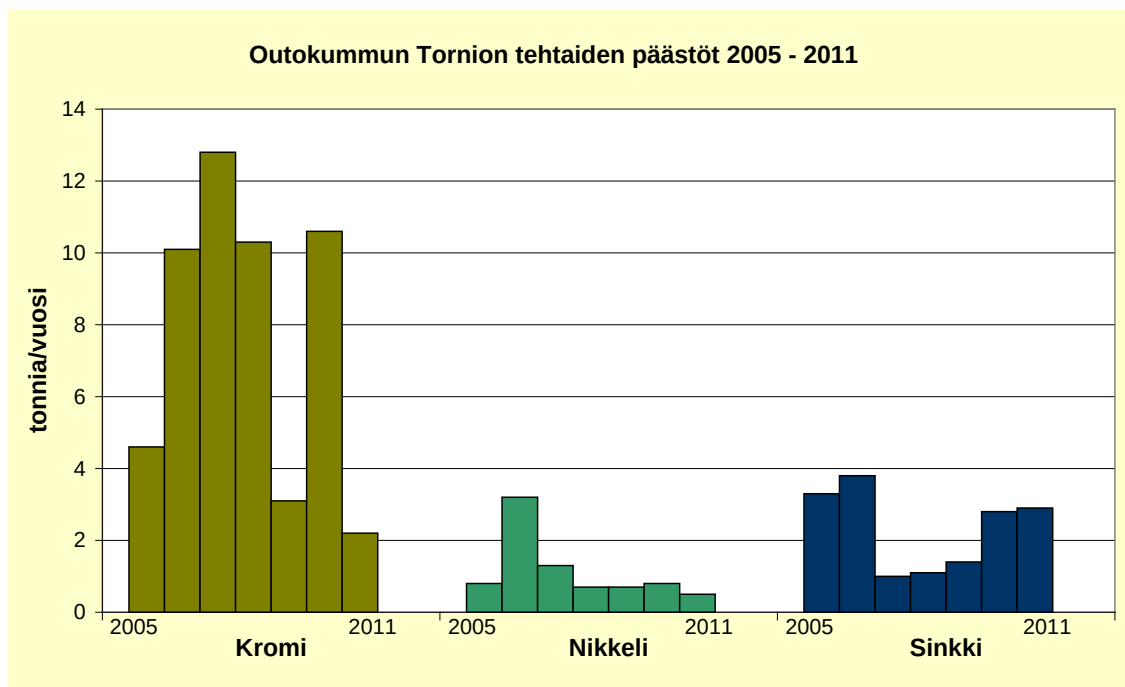
4.1 Outokummun Tornion tehtaat

Outokummun Tornion tehtaiden päästöt olivat vuonna 2011: rikkidioksidi 250 tonnia, typen oksidit 1 474 tonnia ja hiukkaset 105 tonnia. Lisäksi Tornion tehtailla muodostui vuonna 2011 noin 2,2 tonnia kromipäästöjä, 0,5 tonnia nikkelpäästöjä ja 2,9 tonnia sinkkipäästöjä.

Vuonna 2005, jolloin Ilmatieteen laitos edellisen kerran mittasi ilmanlaatua Torniossa, Outokummun Tornion tehtaiden päästöt olivat: rikkidioksidi 496 tonnia, typen oksidit 999 tonnia ja hiukkaset 63 tonnia. Vuoden 2005 metallipäästöt olivat: kromi 4,6 tonnia, nikkeli 0,8 tonnia ja sinkki 3,3 tonnia. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty Outokummun Tornion tehtaiden päästöjen kehitys vuosina 2005–2011.



Kuva 2. Outokummun Tornion tehtaiden hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt vuosina 2005 - 2011. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.



Kuva 3. Outokummun Tornion tehtaiden kromi-, nikkeli- ja sinkkipäästöt vuosina 2005 - 2011. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.

4.2 Tutkimusalueen muut kiinteät päästölähteet ja satamatoiminta

Taulukkoon 4 on koottu Tornion ympäristölupavelvollisten laitosten rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöt vuodelta 2011. Typenoksidipäästöt on ilmoitettu taulukossa typpidioksidina.

Taulukko 4. Ympäristölupavelvollisten laitosten päästöt Torniossa vuonna 2011. Tiedot ovat osin tarkistamattomia.

Päästölähde	SO ₂ t/v	NO _x t/v	Hiukkaset t/v
Tornion Voima Oy, Lohelankadun lämpökeskus		18,32	0,32
Tornion Energia Oy, Kulleronkadun lämpökeskus	0,026	0,0107	0,0048
Tornion Energia Oy, Lukiokadun lämpökeskus	8,26	3,36	1,51
Tornion Energia Oy, Aukiokadun lämpökeskus	13,08	5,33	2,40
Tornion Voima Oy, voimalaitos	111	180	20,1
Outokummun Tornion tehtaات	250	1474	105
SMA Mineral Oy	7,41	37,72	0,10
Tapojärvi Oy			29
Rafelco Oy			0,3
Norex Oy			12,6
YHTEENSÄ	389,8	1718,7	171,3

Tutkimusalueen ilmanlaatuun vaikuttivat mittausjaksolla Tornion ympäristölupavelvollisten laitosten lisäksi myös seuraavat päästöt:

Röyttän satama:

- laivat: rikkidioksidi 3,5 tonnia, typen oksidit 56,9 tonnia, hiukkaset 0,4 tonnia
- maaliikenne: rikkidioksidi 1,8 tonnia, typen oksidit 29,5 tonnia, hiukkaset 2,4 tonnia

Yhteensä: rikkidioksidi 5,3 tonnia, typen oksidit 86,4 tonnia, hiukkaset 2,8 tonnia

Haparanda Värmeverk:

- rikkidioksidi 5,2 tonnia, typen oksidit 10,7 tonnia, hiukkaset 1,5 tonnia

Tornion kaikkien ympäristölupavelvollisten laitosten ja Röyttän sataman vuoden 2011 yhteenlasketut päästöt olivat seuraavat: rikkidioksidi noin 388 tonnia, typen oksidit noin 1 767 tonnia ja hiukkaset noin 174 tonnia.

4.3 Autoliikenne

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen, VTT:n, LIISA 2010 -laskentajärjestelmän mukaan Tornion kaupungin autoliikenteen vuoden 2010 päästöt olivat: rikkidioksidi

0,3 tonnia, typen oksidit 186 tonnia, hiukkaset 11 tonnia. VTT arvioi autoliikenteen vuoden 2005 päästöiksi: rikkidioksidi 0,3 tonnia, typen oksidit 251 tonnia ja hiukkaset 13 tonnia. Edellä esitetty autoliikenteen hiukkaspäästöt eivät sisällä välillisiä pölyämisestä aiheutuvia päästöjä, vaan ainoastaan pakokaasuista peräisin olevat suorat hiukkaspäästöt. Tornion vuoden 2011 autoliikenteen päästöjä ei ollut arvioitu ennen tämän raportin valmistumista, mutta ne lienevät olleet em. vuoden 2010 päästöjen tasolla.

5 TUTKIMUKSEN SUORITUS

Ilmanlaatumittauksia tehtiin Torniossa 3.2.2011 - 14.2.2012 välisenä aikana Keskustan Länsirannan ja Näätsaaren tutkimuspisteissä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla hiukkasanalysointilaitteilla koko mittausjakson ajan. Samoissa mittauspisteissä kerättiin aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin kokoisten ns. hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteitä pientehokeräimillä helmi-huhtikuussa 2011 ja elo-syyskuussa 2011 hiukkasten alkuainekoostumuksen määrittämistä varten referenssimenetelmän EN 12341:1999 mukaisesti. Käytetty menetelmä on ns. vertailu- eli referenssimenetelmä hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksissa ja sillä tulee kerätä myös arseenin, kadmiumin, nikkelin ja PAH -yhdisteiden määrittämistä varten otettavat hengitettävien hiukkasten näytteet ns. metallidirektiivin (2004/107/EY) mukaan. Ko. direktiivi on saatettu voimaan Suomen lainsäädäntöön asetuksella helmikuussa 2007 (Vna 164/2007). Näytteistä analysoitiin arseeni- ja metallipitoisuudet ICP-MS -tekniikalla Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa.

Keskustan ilmanlaadun tarkkailupisteessä mitattiin myös tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta noin 5 metrin korkeudelta maanpinnasta. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimisten pitoisuusmittauksen näytteenotto tapahtui mittauskopin katolta noin 4–5 metrin korkeudelta maanpinnasta.

Keräimillä tehdyissä hengitettävien hiukkasten näytteiden otoissa suodatinnäytteiden keräys kesti vuorokauden (klo 0.00 - klo 24.00) ja näytteitä otettiin joka kolmas päivä. Näytteistä määritettiin arseeni, kadmium, nikkeli, kromi, lyijy, sinkki, alumiini, koboltti, kupari, rauta, mangaani ja vanadiini Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratoriossa. Hiukkasnäytteille tehtiin ennen analyysiä ns. totaalihajotus. Analyysit tehtiin SFS-EN 14 902:2006 -standardin mukaan, joka on Euroopan komission antaman metallidirektiivin mukainen menetelmä arseenille, kadmiumille ja nikkelille. Menetelmä sisältää näytteiden typpihappohajotuksen mikroaaltouunissa. Menetelmällä päästään erittäin pieniin pitoisuuksiin.

Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratorion laatujärjestelmä on standardin EN ISO/IEC 17025:2005 mukainen ja sen arseeni- ja metallianalyysit on akkreditoitu vesinäytteille. Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratorio on Mittatekniikan keskuksen (FINAS) akkreditoima testauslaboratorio T003. Analysoidut alkuaineet, mittausalueet ja mittausepävarmuudet on esitetty liitetaulukossa 1.

Tornion ilmanlaatumittauksissa käytetyt jatkuvatoimiset mittausmenetelmät ja laitteet sekä keräys- ja analyysimenetelmät on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5. Tornion jatkuvatoimiset ilmanlaadun ja sään mittausmenetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Hengitettävät hiukkaset Tuulen suunta ja nopeus	β -säteilyn absorptio	Thermo Model 5030 SHARP Vaisala WXT

Hengitettävät hiukkaset (PM_{10}):

Mittaukset tehtiin seuraavan standardin mukaisesti: ISO 10473:2000 Ambient air – Measurement of the mass of particulate matter on filter medium – Beta-ray absorption method.

Taulukko 6. Tornion ilmanlaatumittausten keräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattava komponentti	Keräysmenetelmä	Keräys-aika	Analyysimenetelmä
Arseeni ja metallit hengitettävissä hiukkasissa*	Pientehokeräin, esierotin (10 μ m) Suodatin	1 vrk	ICP-MS

*) Hengitettävien hiukkasten näytteet kerättiin EN 12341-standardin mukaisella vertailumenetelmällä.

Keskustan mittauspiste sijaitsi lähellä Länsirannan ja Lukiokadun risteystä suhteellisen avoimella paikalla (ks. kuva 4). Risteysalue sijaitsee mittauspisteen lounaispuolella noin 25 m etäisyydellä. Valtatie 29:n ja Länsirannan risteysalue sijoittuu mittauspisteen etelä-kaakkoispuolelle noin 50 m etäisyydelle.

Näätsaaren mittauspiste sijaitsi Näätsaaren koulun pihassa (ks. kuva 5). Piha-alue on osittain nurmipäällysteinen ja osittain hiekkakenttää. Näätsaarentie kulkee mittauspisteen länsipuolella noin 25 m etäisyydellä. Tornion Outokummun tehtaat sijaitsevat noin 4 km mittauspisteestä etelään.

Mittauspisteiden sijainti kartalla käy ilmi kuvasta 6.



Kuva 4. Keskustan Länsirannan mittauspiste lounaasta nähtynä.



Kuva 5. Näätsaaren mittauspiste Näätsaaren koulun pihassa.

Maastokartta 1 : 80 000

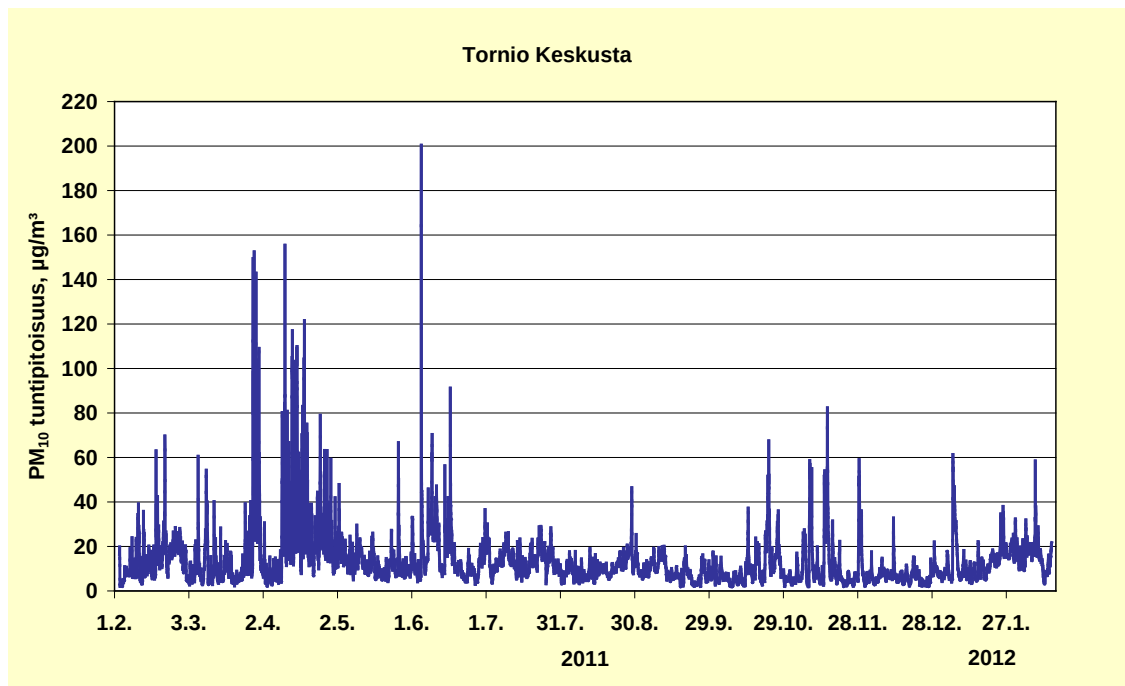


Kuva 6. Keskustan ja Näätisaaren mittauspisteiden sijainnit. Keskustan mittauspiste sijaitsi Outokummun Tornion tehtaiden alueesta noin 8 km pohjoisluoteeseen ja Näätisaaren mittauspiste noin 4 km pohjoiseen. © Maanmittauslaitos, lupa nro 761/MML/11

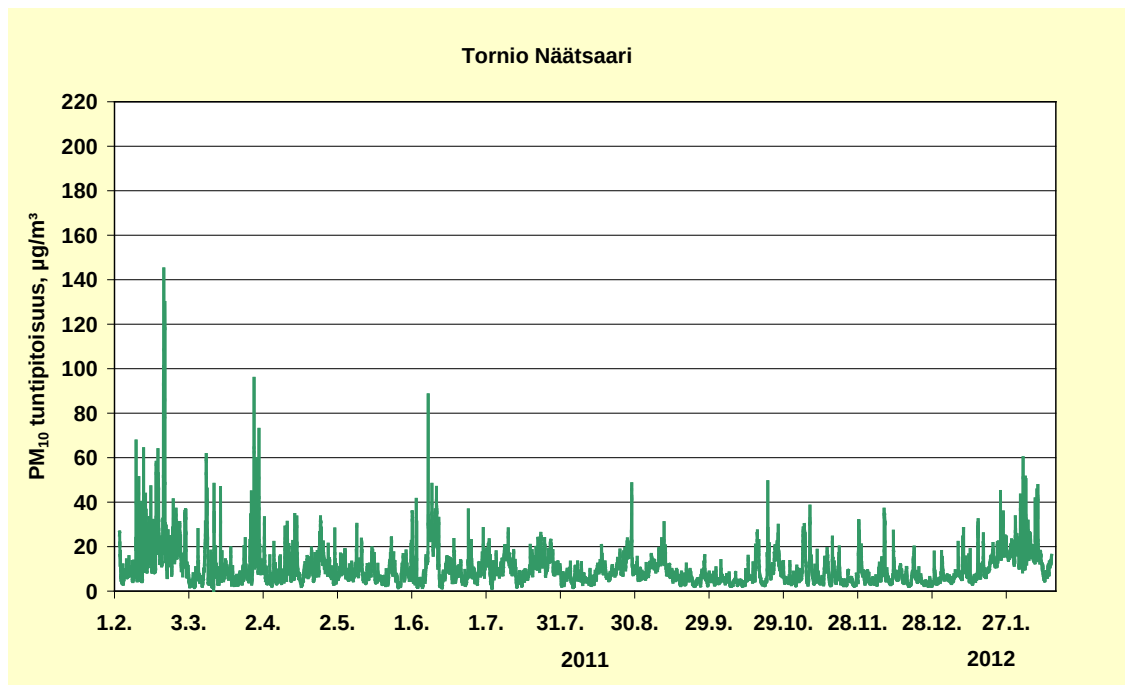
6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

6.1 Hengitettävät hiukkaset

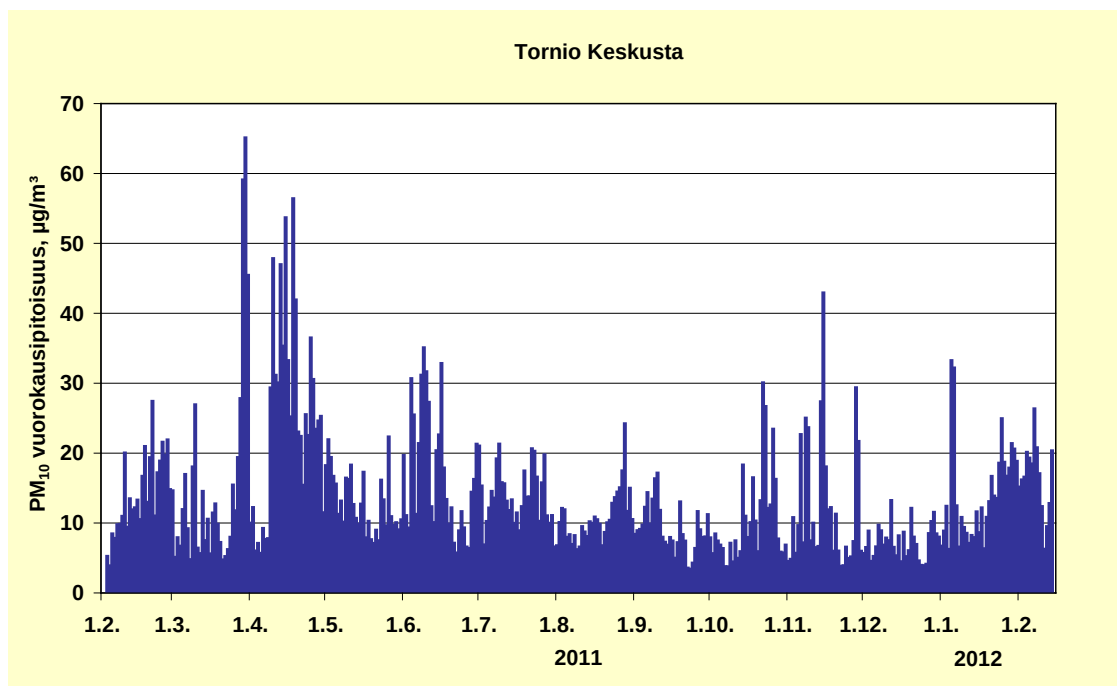
Tornion Keskustan ja Näätisaaren mittauspisteissä jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012 mitatut hengitettävien hiukkasten tunti- ja vuorokausipitoisuudet on esitetty kuvissa 7–10. Taulukoissa 7–8 tulokset on esitetty kuukausittaisina tunti- ja vuorokausipitoisuuksien tilastosuureina. Tuulen suunnan ja nopeuden sekä ulkoilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja ilmanpaineen tunti- ja vuorokausiarvot on esitetty liitekuvin 1–5.



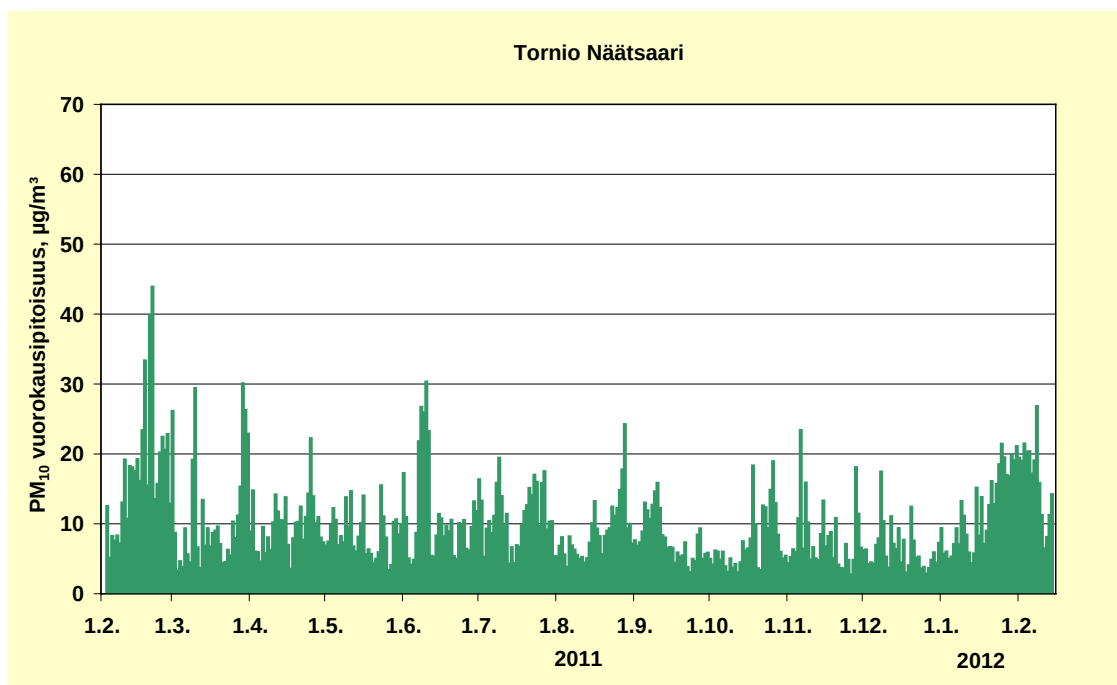
Kuva 7. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet Tornion Keskustan mittauspisteessä jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Kuva 8. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet Tornion Näätsaaren mittauspisteessä jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Kuva 9. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet Tornion Keskustan mittauspisteessä jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Kuva 10. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet Tornion Näätsaaren mittauspisteessä jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.

Taulukko 7. Tornion Keskustan mittauspisteessä mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.

2011												2012	
PM ₁₀	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
TUNTIARVOJEN													
lukumäärä	624	739	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	321
määrä (%)	92,9	99,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	46,1
keskiarvo (µg/m ³)	14	16	25	13	17	14	11	9	10	12	7	14	-
99. % -piste (µg/m ³)	39	108	103	36	62	27	26	19	44	55	19	46	-
korkein arvo (µg/m ³)	70	153	156	67	201	30	47	20	68	83	33	62	59
VRK-ARVOJEN													
lukumäärä	26	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	13
2. korkein arvo (µg/m ³)	22	59	54	22	33	21	17	16	27	29	12	32	21
korkein arvo (µg/m ³)	27	65	56	22	35	21	24	17	30	43	13	33	26

Taulukko 8. Tornion Näätsaaren mittauspisteessä mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet jaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.

2011												2012	
PM ₁₀	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
TUNTIARVOJEN													
lukumäärä	623	743	720	744	720	744	744	720	744	714	744	741	321
määrä (%)	92,7	99,9	100	100	100	100	100	100	100	99,2	100	99,6	46,1
keskiarvo (µg/m ³)	18	11	10	9	11	11	9	8	7	8	6	12	-
99. % -piste (µg/m ³)	92	58	31	22	38	24	23	18	25	30	32	31	-
korkein arvo (µg/m ³)	145	96	34	30	88	28	48	31	49	38	37	45	60
VRK-ARVOJEN													
lukumäärä	26	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	13
2. korkein arvo (µg/m ³)	40	29	15	15	27	17	18	15	18	18	12	21	21
korkein arvo (µg/m ³)	44	30	22	15	30	19	24	16	19	23	17	21	27

6.2 Hengitettävien hiukkasten sisältämät alkuaineet

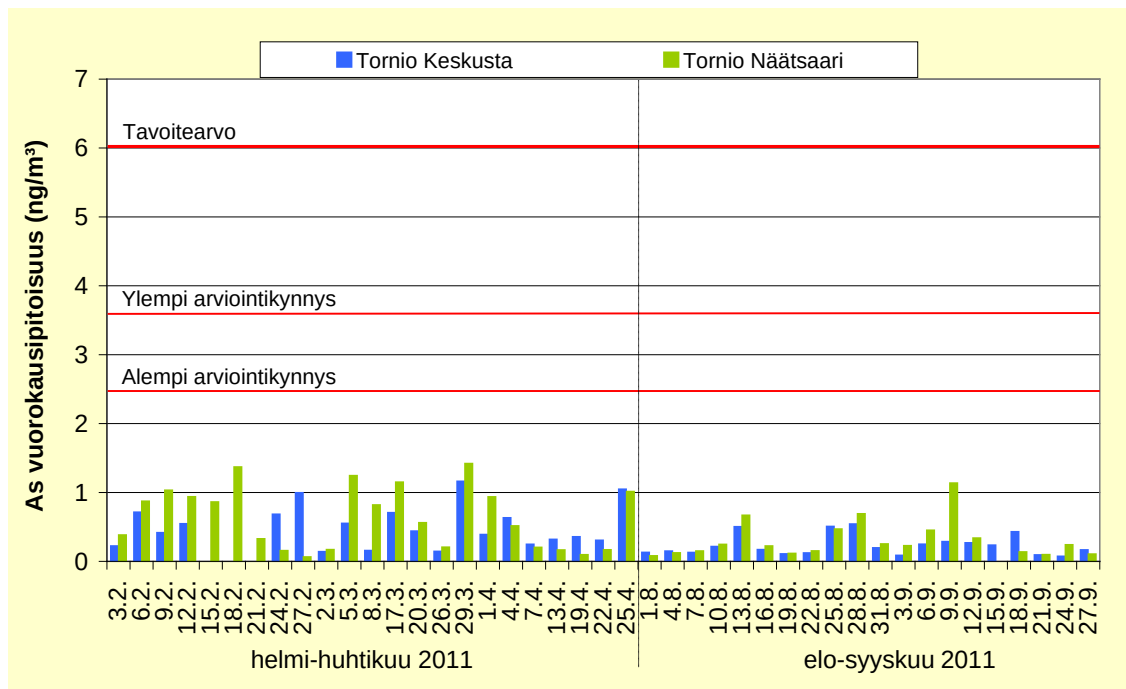
Helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011 Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä oli samanaikaisesti hiukkaskeräimet, joilla kerättiin hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteitä joka kolmas päivä. Näytteistä analysoitiin arseeni- ja metallipitoisuudet ICP-MS -tekniikalla Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa. Näytteistä analysoitiin arseeni-, kadmium-, kromi-, nikkeli-, lyijy-, sinkki-, alumiini-, koboltti-, kupari-, rauta-, mangaani- ja vanadiumpitoisuudet. Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin tulokset on esitetty taulukoissa 9–10, joihin on koottu mittausjakson keskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta. Kaikkien analysoitujen metallien pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin liitetaulukoissa 2–3 ja kuvissa 11–22.

Taulukko 9. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet Keskustan tutkimuspisteessä helmi-huhtikuun ja elo-syyskuun 2011 vuorokausinäytteissä.

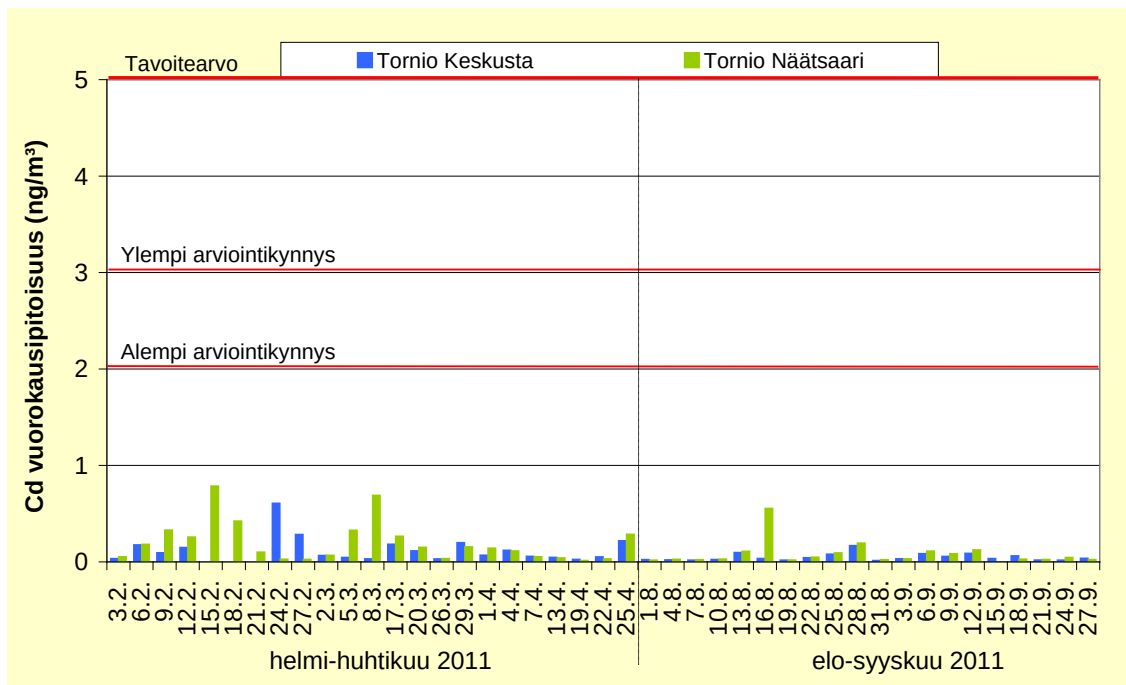
PM ₁₀ Keskusta	As ng/m ³	Cd ng/m ³	Cr ng/m ³	Ni ng/m ³	Pb ng/m ³	Zn ng/m ³
Keskiarvo	0,36	0,082	6,2	2,8	2,7	19,5
Minimi	0,064	<0,020	<0,20	0,14	0,32	1,6
Maksimi	1,2	0,60	48	25	9,6	101
Hajonta	0,27	0,11	10,3	4,3	2,6	21,3

Taulukko 10. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet Näätsaaren tutkimuspisteessä helmi-huhtikuun ja elo-syyskuun 2011 vuorokausinäytteissä.

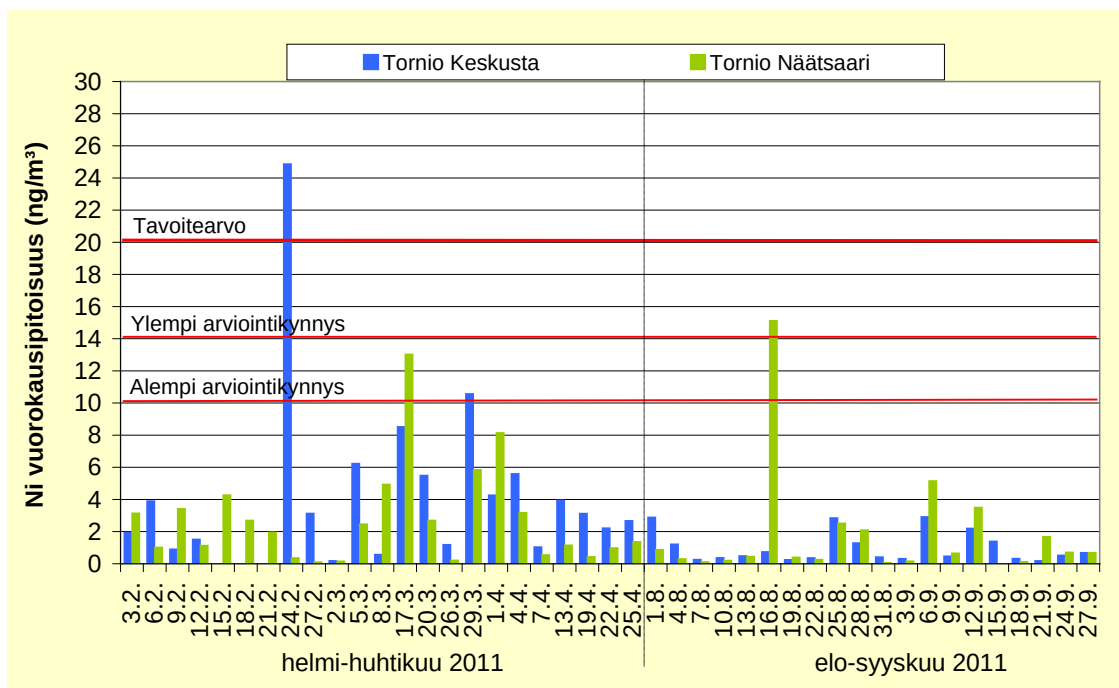
PM ₁₀ Näätsaari	As ng/m ³	Cd ng/m ³	Cr ng/m ³	Ni ng/m ³	Pb ng/m ³	Zn ng/m ³
Keskiarvo	0,48	0,14	3,3	2,3	3,7	25,7
Minimi	0,054	<0,020	<0,20	<0,1	0,23	1,8
Maksimi	1,4	0,78	20,9	15,1	20,7	125
Hajonta	0,41	0,18	5,0	3,2	4,5	28,0



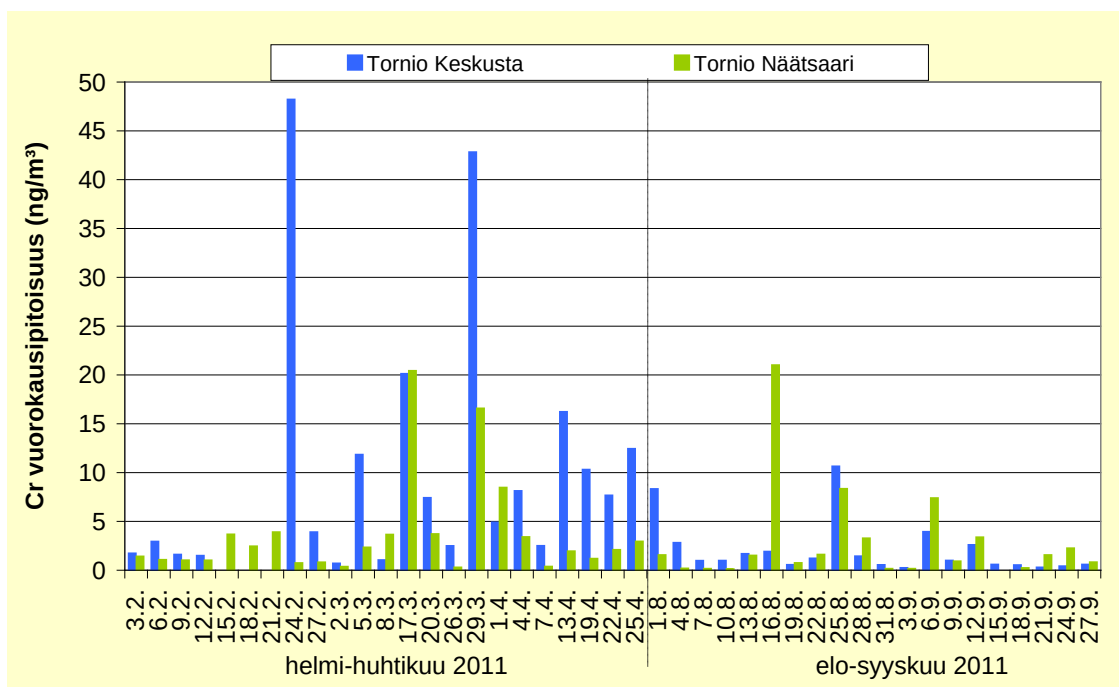
Kuva 11. Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt arseenipitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



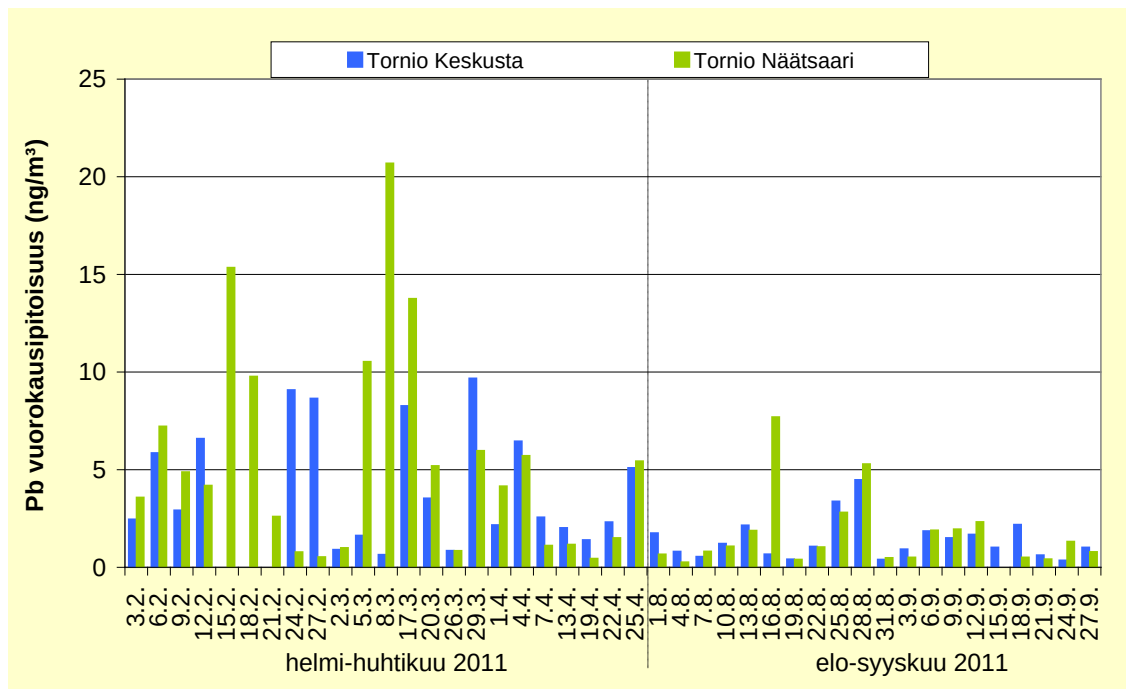
Kuva 12. Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt kadmiumpitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



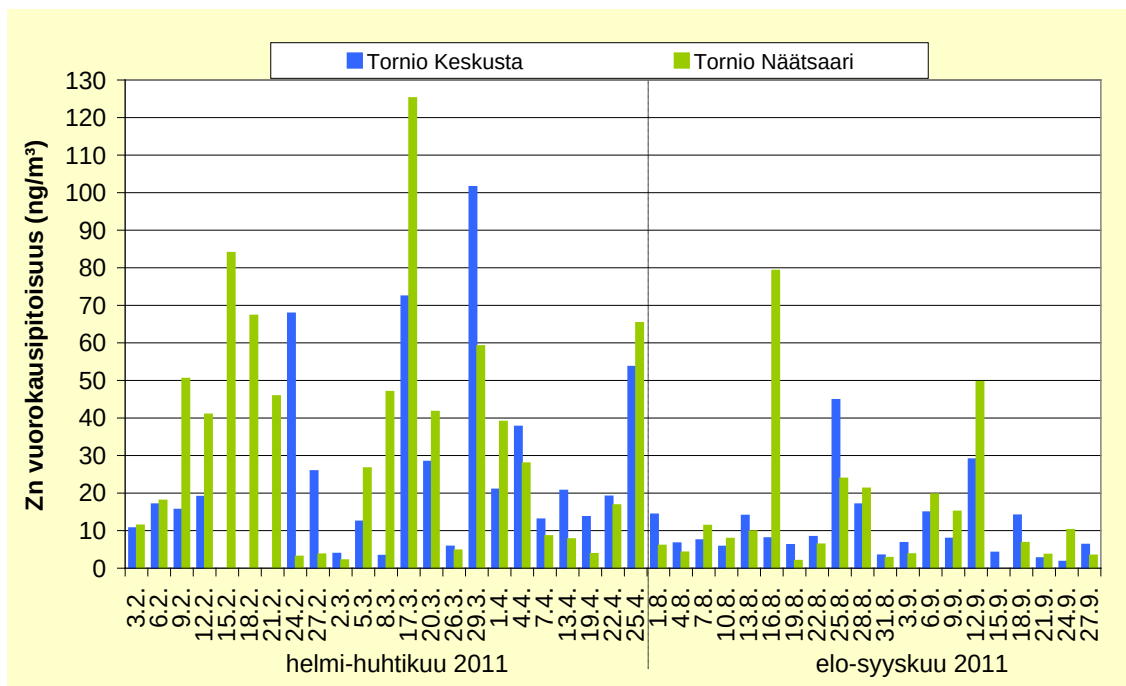
Kuva 13. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt nikkelpitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



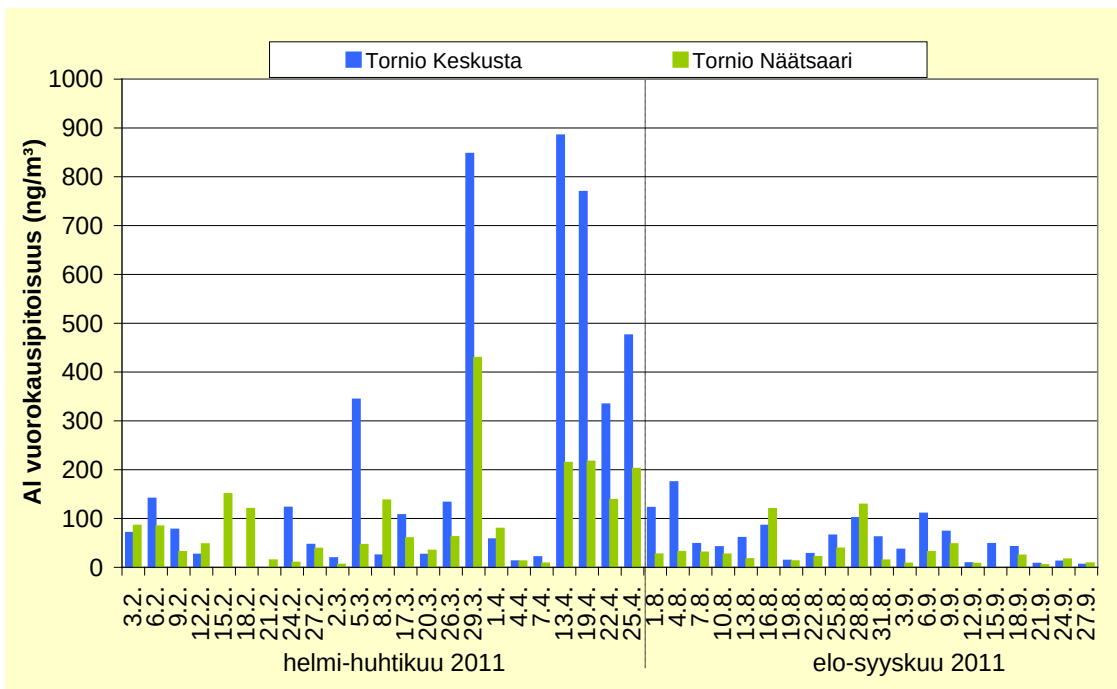
Kuva 14. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt kromipitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



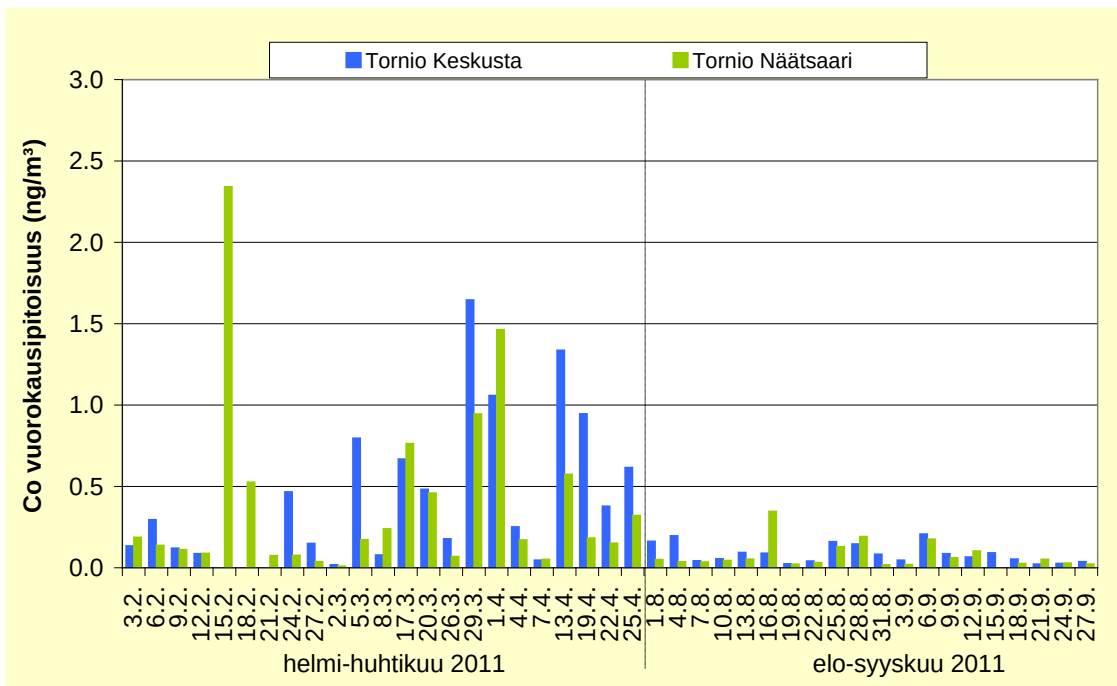
Kuva 15. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt lyijypitoisuudet Tornion tutkimuspaikissa helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011. Lyijyn raja-arvo vuosikeskiarvolle on 0,5 µg/m³ = 500 ng/m³.



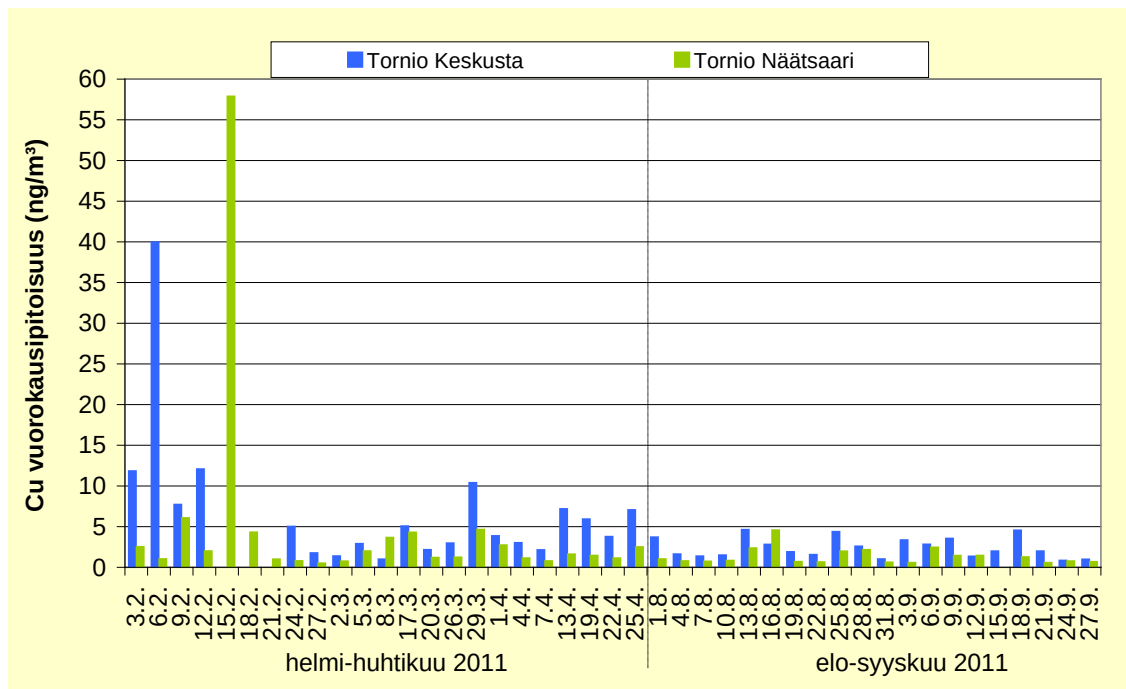
Kuva 16. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt sinkkipitoisuudet Tornion tutkimuspaikissa helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



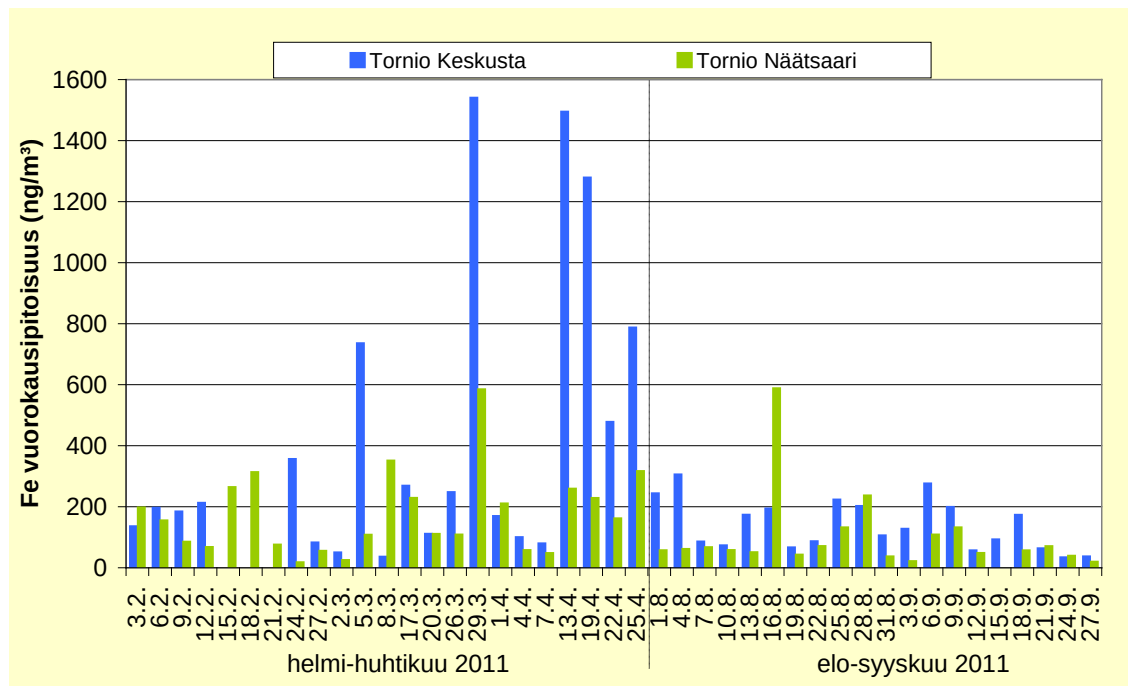
Kuva 17. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt alumiinipitoisuudet Tornion tutkimus-
pisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



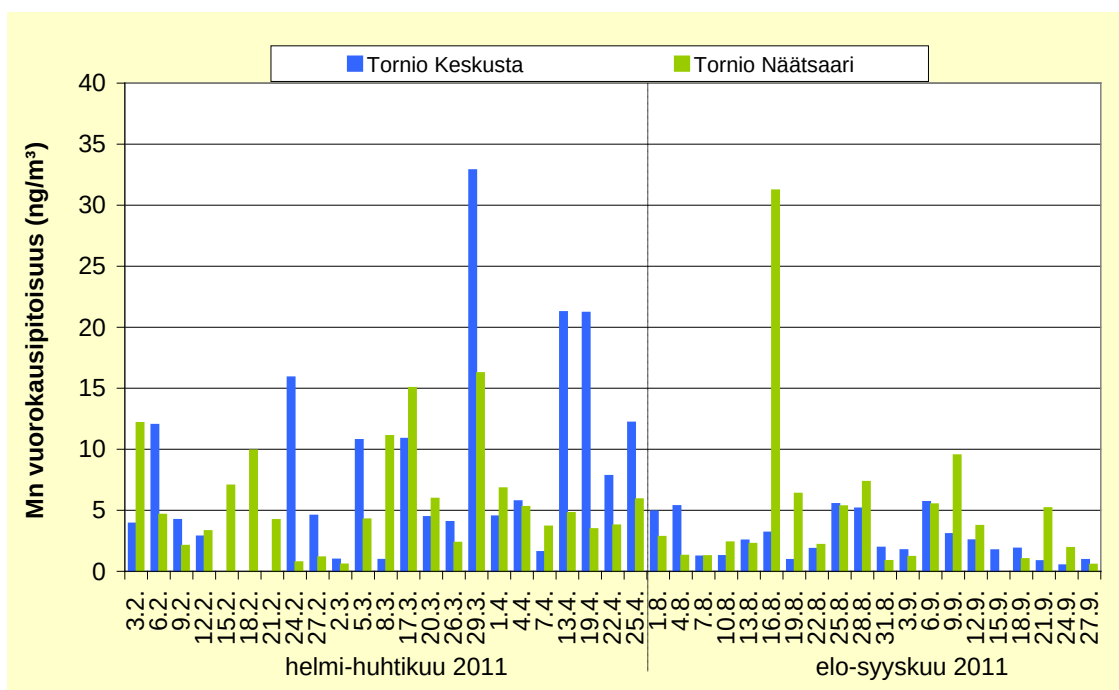
Kuva 18. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt kobolttipitoisuudet Tornion tutkimus-
pisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



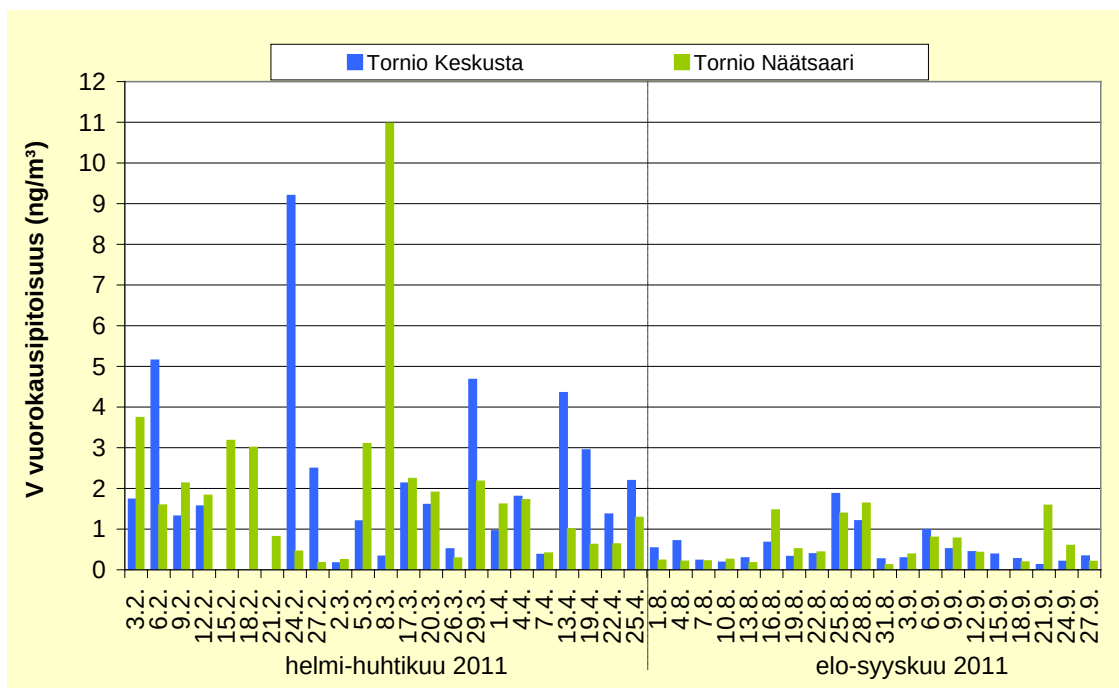
Kuva 19. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt kuparipitoisuudet Tornion tutkimuspiisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



Kuva 20. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt rautapitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



Kuva 21. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt mangaanipitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.



Kuva 22. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt vanadiinipitoisuudet Tornion tutkimuspisteissä helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011.

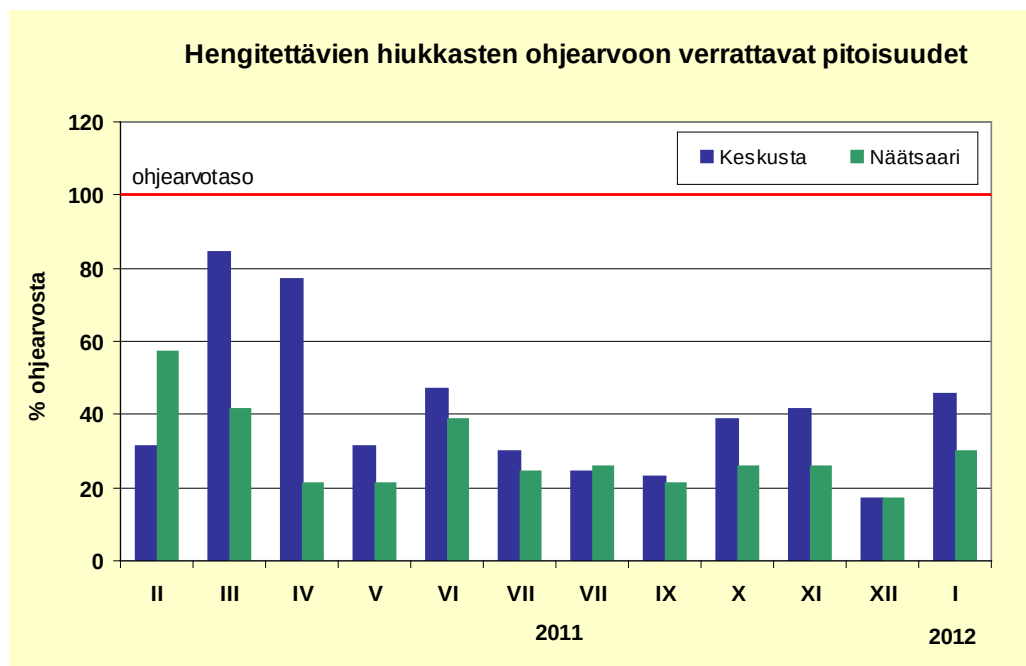
7 TUTKIMUKSEN TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet

Tornion Keskustassa ja Näätsaassa mitattuja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia on verrattu kotimaiseen ohjearvoon kalenterikuukausittain jaksolla helmikuu 2011 - tammikuu 2012 taulukossa 11 ja kuvassa 23. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annettu vuorokausiohjearvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittui Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä koko mittausjaksolla.

Taulukko 11. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet Torniossa mittausjaksolla helmikuu 2011 - tammikuu 2012.

	PM₁₀	
	Keskusta $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Näätsaari $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Helmikuu 2011	22	40
Maaliskuu 2011	59	29
Huhtikuu 2011	54	15
Toukokuu 2011	22	15
Kesäkuu 2011	33	27
Heinäkuu 2011	21	17
Elokuu 2011	17	18
Syyskuu 2011	16	15
Lokakuu 2011	27	18
Marraskuu 2011	29	18
Joulukuu 2011	12	12
Tammikuu 2012	32	21
Ohjearvo	70	70



Kuva 23. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet Tornion Keskustassa ja Näätsaassa jaksolla helmikuu 2011 - tammikuu 2012.

7.2 Raja- ja tavoitearvoihin verrattavat pitoisuudet

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden raja-arvot eivät ylittyneet Torniossa. Keskustan mittauspisteen mittausjakson keskiarvo oli $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Näätsaaren $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun vastaava vuosiraja-arvo on $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle on asetettu vuorokausiraja-arvo $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Raja-arvo katsotaan ylittyneeksi, jos tätä korkeampia vuorokausikeskiarvoja esiintyy yli 35 kpl kalenterivuoden aikana. Tornion Keskustassa yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n pitoisuuksia mitattiin 4 kpl. Raja-arvotasoa suuremmat pitoisuudet esiintyivät maaliskuuhuhtikuussa. Näätsaaren mittauspisteessä raja-arvotaso ei ylittynyt kertaakaan. 36. suurin vuorokausikeskiarvo oli Keskustassa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Näätsaassa $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämän tarkastelun tulokset ovat pitäviä myös suhteutettuina ruotsalaisiin raja-arvoihin, jotka ovat samat kuin Suomessakin.

Hengitettävälle hiukkasille on annettu ilmanlaatuasetuksessa 38/2011 terveyshaittojen ehkäisemiseksi seuraavat arviointikynnykset, jotka määrittelevät ilmanlaadun seurannan tasoa ja tarvetta (jatkuvat mittaukset/suuntaa-antavat mittaukset/ muut menetelmät) tarkasteltavassa kohteessa tai paikkakunnalla:

Ylempi arviointikynnys: $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausikeskiarvona, saa ylittyä 35 kertaa kalenterivuodessa ja $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arviointikynnys vuosikeskiarvoille. Alempi arviointikynnys: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausikeskiarvona, saa ylittyä 35 kertaa kalenterivuodessa ja $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arviointikynnys vuosikeskiarvoille.

Sekä Tornion Keskustan että Näätsaaren mittauspisteissä tässä tutkimuksessa havaitut hengitettävien hiukkasten vuorokausi- ja vuosikeskiarvopitoisuudet jäivät alle alemman arviointikynnyksen. Tämän tarkastelun tulokset on otettu osaltaan huomioon esityksissä Tornion mahdollisista tulevien vuosien ilmanlaatumittauksista (ks. raportin luku 9).

Hengitettävistä hiukkasista määritetyt lyijypitoisuudet olivat hyvin pieniä ja jäivät kauas raja-arvotasosta (alle 1 %). Arseenin, nikkelin ja kadmiumin vuosikeskiarvopitoisuuksille annetut tavoitearvot eivät ylittyneet. Helmi-huhtikuun ja elo-syyskuun 2011 mittausjaksojen keskiarvopitoisuudet olivat Tornion Keskustassa arseenille 6 %, kadmiumille 2 % ja nikkelille 14 % vastaavista tavoitearvoista. Näätsaassa arseenipitoisuudet olivat 8 %, kadmiumipitoisuudet 3 % ja nikkelipitoisuudet 11 % tavoitearvoista. Asianmukainen vertaaminen tavoitearvoihin edellyttäisi näytteiden satunnaisotantaa läpi kalenterivuoden. Pitoisuusvertailussa käytetyt tavoitearvot ovat samat sekä Suomessa että Ruotsissa.

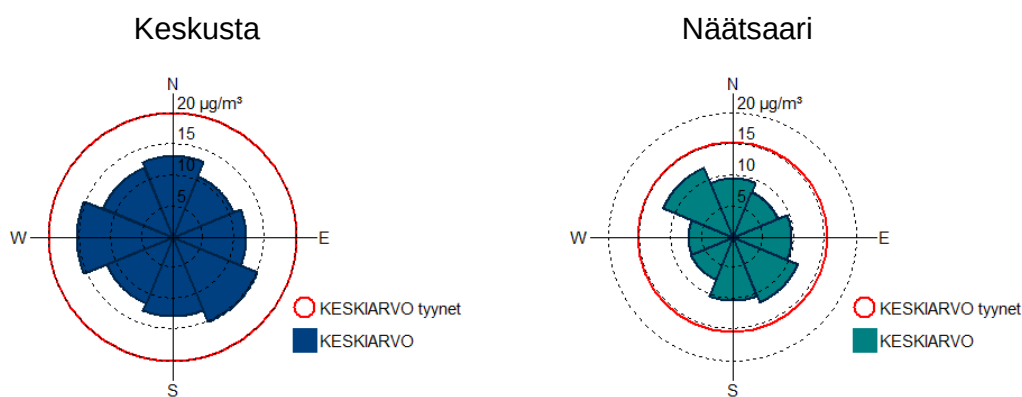
Kaikilla tutkimuksessa tarkastelluilla hiukkasten sisältämällä alkuaineilla esiintyi ajoittain muun muassa säätilanteesta riippuen yksittäisiä normaalista pitoisuustasosta poikkeavia korkeampia vuorokausiarvoja. Keskustassa esiintyi helmikuussa yksittäisenä päivänä vuorokausiarvona nikkelipitoisuuden vuosikeskiarvoa koskevan tavoitearvotason ylitys. Lisäksi Keskustassa esiintyi yksi alemman arviointikynnyksen ylittävä ja Näätsaassa yksi alemman ja yksi ylemmän arviointikynnyksen ylittävä nikkelin vuorokausipitoisuus. Hiukkasten arseeni- ja kadmiumipitoisuudet olivat mittauspisteissä hyvin matalia. Kaikki arseenin ja kadmiumin vuorokausipitoisuudet alittivat tavoitearvotason ja ylemmän ja alemman arviointikynnyksen tasot. HUOM! Edellä esitetyissä vertailuissa on tarkasteltu yksittäisten nikkelin, arseenin ja kadmiumin mittausjaksojen korkeimpien vuorokausipitoisuuksien suhdetta tavoitearvojen, alemmien ja ylemmien arviointikynnysten tasoihin, jotka on määritelty kohteiden vuosikeskiarvopitoisuuksille.

Koko mittausjakson helmi-huhtikuu ja elo-syyskuu 2011 keskiarvoina arseenin, kadmiumin ja nikkelin pitoisuudet alittivat sekä ko. aineille annetut tavoitearvojen tasot kuten myös alempien arviointikynnysten tasot. Kromin pitoisuudet hiukkasissa olivat hyvin alhaisia Euroopassa teollisuuslaitosten ympäristössä mitattuihin keskiarvopitoisuuksiin verrattuina. Hiukkasten kromipitoisuudelle ei ole annettu ohje-, raja- tai tavoitearvoja.

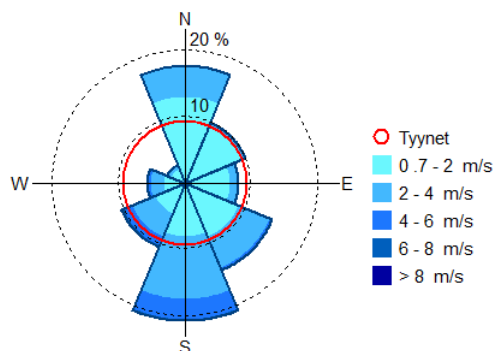
7.3 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 24 on havainnollistettu hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien riippuvuutta tuulensuunnasta Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä ns. pitoisuusruusujen avulla. Pitoisuusruusu kuvaa tuntipitoisuuksien arvoa eri tuulensuunnilla. Pitoisuusruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien arvoa ko. tuulisektorissa. Tyynellä säällä havaittujen tuntipitoisuuksien arvo on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa pitoisuuden arvoa. Keskustan ja Näätsaaren pitoisuusruusujen tuulihavaintoina on käytetty Tornion Keskustan mittauspisteen tuulilainetta.

Tuuliruusu Tornion Keskustan mittauspisteen tuulista jaksolta 3.2.2011 - 14.2.2012 on esitetty kuvassa 25. Tuulet on luokiteltu kahdeksaan tuulisektoriin sen mukaan, mistä päin on tuullut. Tuuliruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa ko. tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon. Myös kuvassa 26 on esitetty Tornion mittaustulosten riippuvuutta tuulen suunnasta.



Kuva 24. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain Keskustan ja Näätsaaren tutkimuspisteissä. Outokummun Tornion tehtaat sijaitsevat Keskustan tutkimuspisteeseen nähden noin 8 km eteläkaakkoon. Länsirantakatu sijaitsee tutkimuspisteestä noin 25 m lounaaseen, Länsirannan ja Lukiokadun risteys noin 25 m länteen ja valtatie 29 noin 50 m kaakkoon. Outokummun Tornion tehtaat sijaitsevat Näätsaaren tutkimuspisteeseen nähden noin 4 km eteläkaakkoon. Näätsaarentie sijaitsee noin 25 m Näätsaaren tutkimuspisteestä länteen.

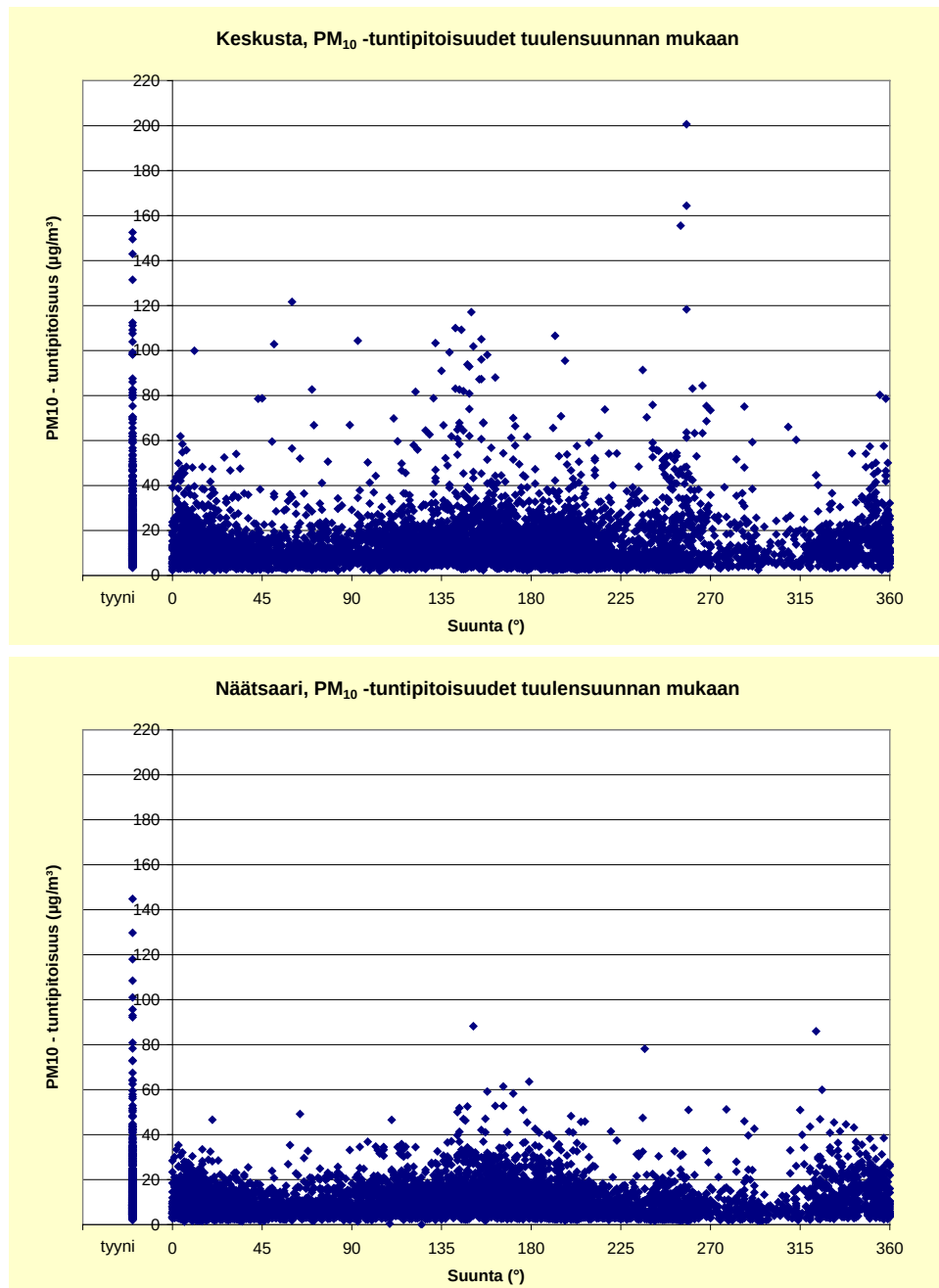


Kuva 25. Tuuliruusu Tornion Keskustan mittauspisteessä 3.2.2011 - 14.2.2012 mitatuista tuulista.

Ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat sekä kiinteiden pistelähteiden päästöt että liikenteen päästöt. Liikenneväylien läheisyydessä liikenteen päästöt hallitsevat, sillä pistelähteiden päästöt vapautuvat korkeista piipuista ja ehtivät sekoittua ja laimentua ennen maanpintatasoa, kun taas liikenteen päästöt vapautuvat maanpinnan läheisyydestä ja usein myös sekoittumisympäristö on katuja reunustavien rakennusten vuoksi rajoitettu. Tällaisissa olosuhteissa liikenteestä aiheutuvien epäpuhtauksien pitoisuudet nousevat korkeiksi tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa ilmakehän pystysuuntaisen lämpötilajakauma estäessä tai rajoittaessa epäpuhtauksien laimenemista myös pystysuunnassa.

Yksittäisen lähteen vaikutusta hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on yleensä vaikea erottaa. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeumat, maan pinnasta tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta nousevat päästöt ja meteorologiset tekijät vaikuttavat pitoisuuksiin voimakkaasti. Tornion Keskustan mittauspisteessä hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan tyynellä säällä. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvo oli tyynellä säällä $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja lännenpuoleisilla (Lukiokadun ja Länsirannan risteysalue) sekä kaakonpuoleisilla (Valtatie 29) tuulilla noin $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurimmat yksittäiset tuntiarvot esiintyivät tyynellä säällä tai tuulen käydessä lännestä (ks. kuva 20). Korkeimmat hiukkaspitoisuudet aiheutti lähiliikenne ja keväinen katupöly.

Näätasaressa hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan tyynellä säällä. Yksittäiset korkeimmat pitoisuudet muodostuivat helmikuussa kovien pakkasten aikaan sään ollessa tyyni. Hiukkasten päästölähteenä on silloin todennäköisesti ollut lähimmän asutuksen lämmitys. Sekä Keskustassa että Näätasaressa esiintyi etelän ja kaakon puoleisilla tuulilla kohonneita hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, joista osa voi olla peräisin Outokummun tehdasalueelta (ks. kuva 20).



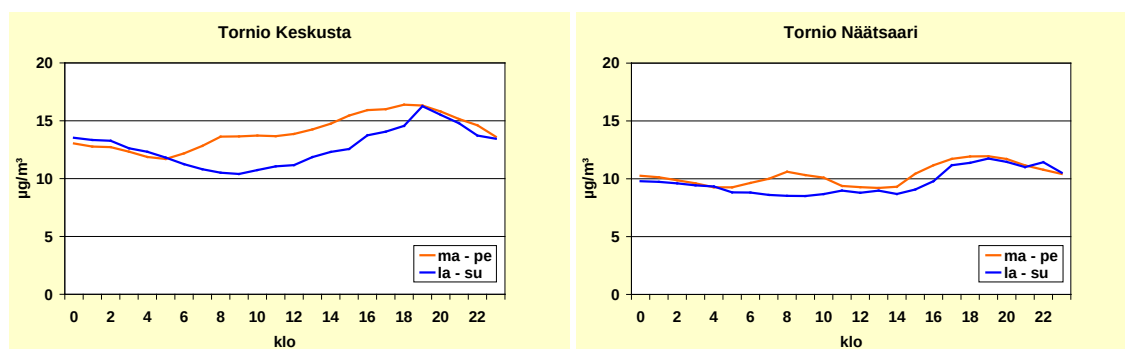
Kuva 26. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet tuulensuunnan mukaan Tornion Keskustan ja Näätsaaren tutkimuspisteissä.

Vuorokausina, jolloin mitattiin korkeimmat kromi-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteessä, oli tuuli pääasiassa kaakon puoleinen. Korkeimmat metallipitoisuudet mitattiin 24.2., 17.3., 29.3. ja 16.8.2011.

7.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

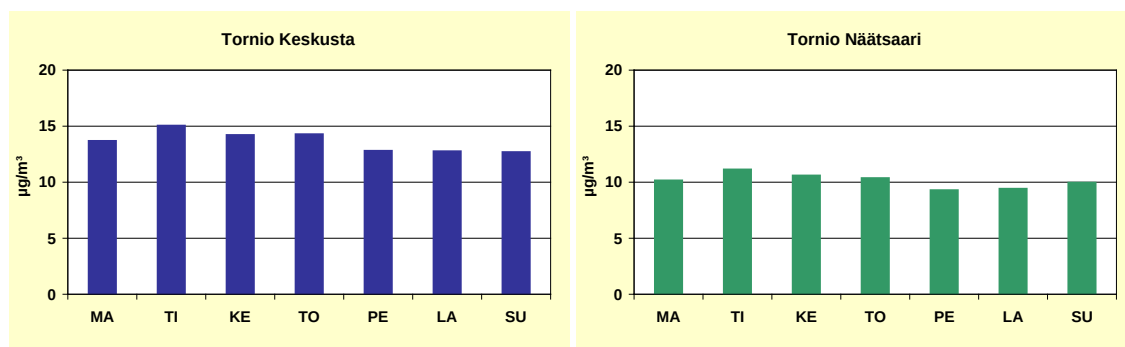
Kuvassa 27 on esitetty hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokauden sisäinen vaihtelu arkipäivisin ja viikonloppuisin. Keskustassa hiukkaspitoisuudet

kohoavat arkisin keskipäivällä jonkin verran viikonlopun tasoa korkeammalle liikenteen ollessa vilkkaampaa. Korkeimmillaan hiukkaspitoisuudet ovat arkisin alkuillasta ja matalimmillaan aamuyöstä. Näätsaarella hiukkaspitoisuudet ovat arkisin vain hiukan korkeampia kuin viikonloppuisin ja vuorokauden sisäinen vaihtelu on vähäisempää kuin kaupungin keskustassa. Keskustan hiukkasmittaustuloksissa ei näy arkipäivinä kaupunkikeskustoille ominaista, autoliikenteen syklistä johtuvaa selvää pitoisuuksien kohoamista aamulla, keskipäivällä ja iltaruuhkan aikaan. Länsirannan mittauspiste sijaitsi sen verran kaukana vilkkaista liikenneväylistä, että hiukkaspitoisuuden keskimääräiset vuorokauden sisäiset vaihtelut jäivät pieniksi.



Kuva 27. Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteen hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien vaihtelu kelloajan mukaan.

Kuvassa 28 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vaihtelu viikonpäivien mukaan. Keskustassa arkipäivien hiukkaspitoisuudet olivat vähän korkeampia kuin viikonloppuisin. Näätsaarella ero arkipäivien ja viikonlopun välillä oli pienempi.

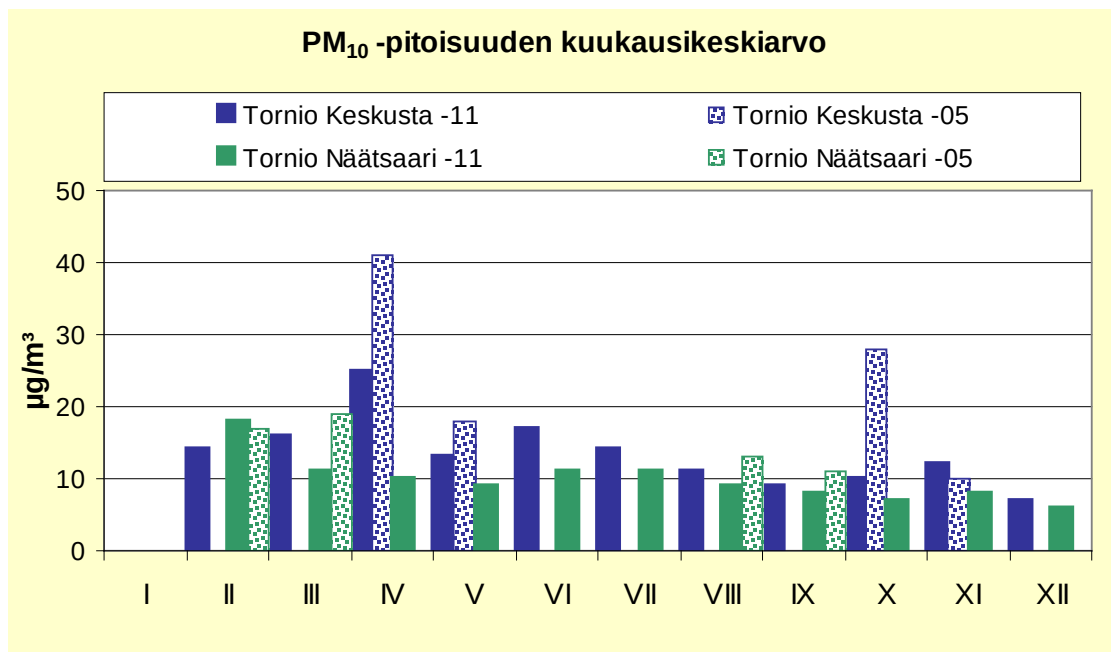


Kuva 28. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vaihtelu viikonpäivien mukaan.

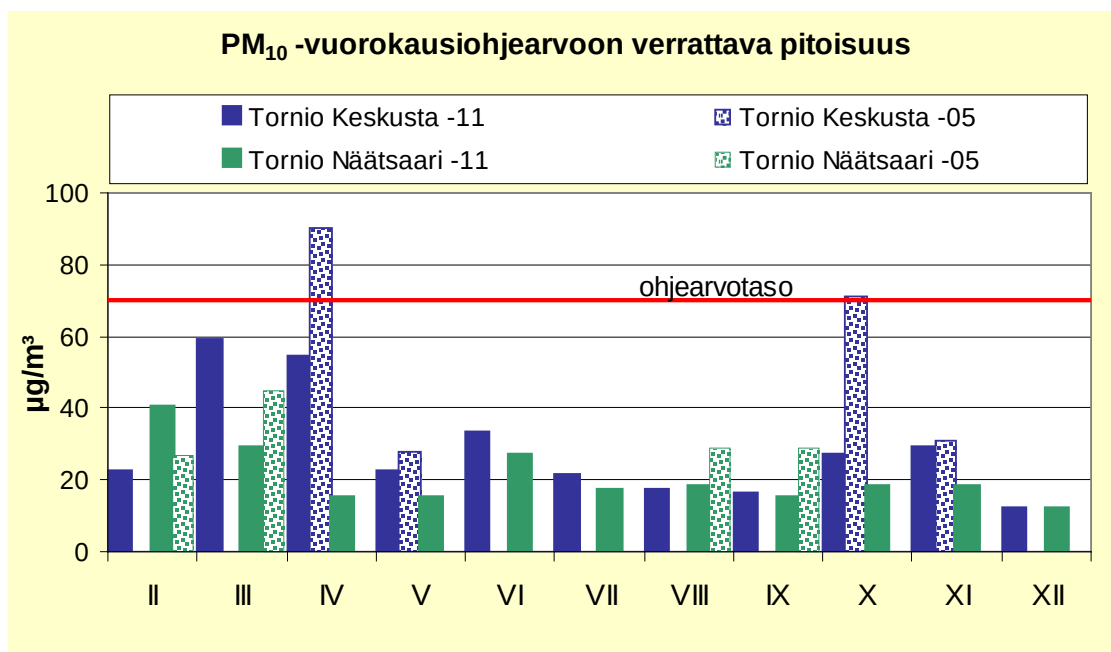
7.5 Vertailua Tornion vuoden 2005 ilmanlaatumittausten tuloksiin

Ilmatieteen laitos mittasi vuonna 2005 hiukkas-, arseeni- ja metallipitoisuuksia kolmessa mittauspisteessä Torniossa (*Saari et al., 2006*). Keskustan ja Näätsaaren mittausasemat sijaitsivat samoilla paikoilla kuin tässäkin tutkimuksessa. Lisäksi ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia mitattiin Puuluodossa noin 2,5 km koilliseen Tornion Outokummun tehtaista.

Kuvissa 29 ja 30 on verrattu vuonna 2011 Torniossa mitattuja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia vuonna 2005 mitattuihin. Vuonna 2005 hiukkaspitoisuudet olivat sekä kuukausikeskiarvoina että ohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina pääosin korkeampia kuin vuonna 2011. Vuonna 2005 hengitettävien hiukkasten ohjearvo ylittyi Keskustassa huhti- ja lokakuussa kun taas vuonna 2011 ohjearvotaso alittui kaikkina kuukausina.



Kuva 29. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Tornion Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuosina 2011 ja 2005.



Kuva 30. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet Tornion Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuosina 2011 ja 2005.

Taulukossa 12 on esitetty vuosina 2005 ja 2011 analysoitujen metallipitoisuuksien keskiarvoja. Tornion Keskustassa sinkkipitoisuudet ovat vuoden 2011 mittauksen mukaan hieman suurempia kuin vuonna 2005. Nikkeli-, kromi- ja lyijypitoisuudet ovat pysyneet ennallaan. Näätsaassa sinkin keskiarvopitoisuus on yli kaksinkertaistunut vuoteen 2005 verrattuna. Nikkeli- ja lyijypitoisuudet ovat säilyneet samalla tasolla ja kromipitoisuudet ovat vähän pienentyneet.

Taulukko 12. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) näytteistä analysoitujen kromin, nikkelin, sinkin ja lyijyn pitoisuuskeskiarvot Tornion mittauspisteissä tämän tutkimuksen mittausjaksoilla vuonna 2011 sekä vuonna 2005.

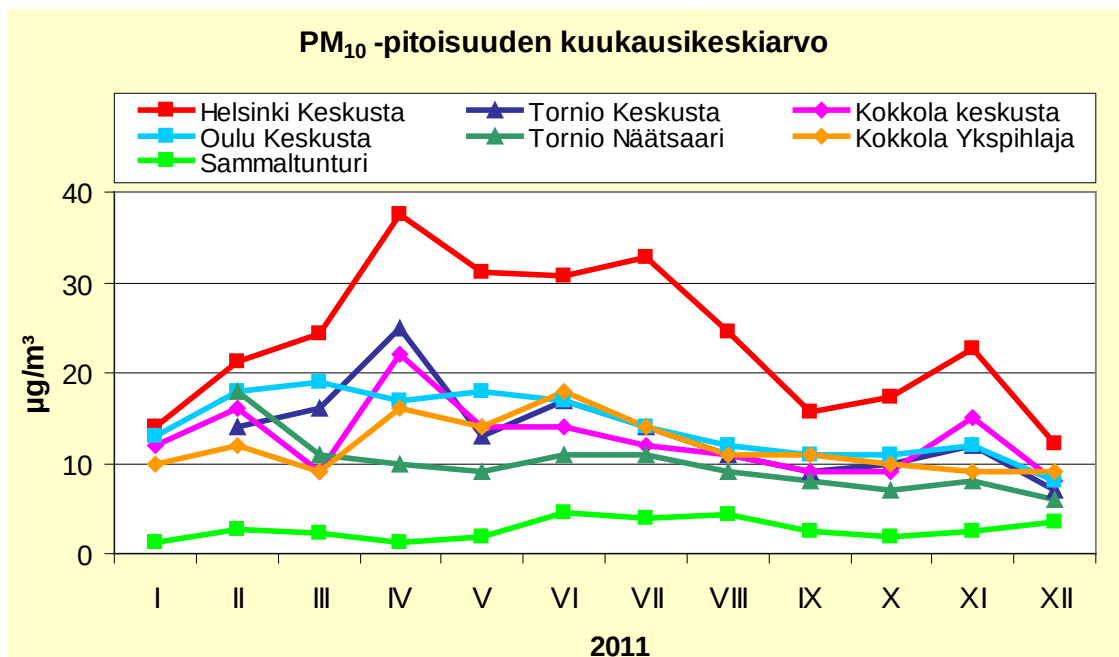
	2011		2005	
	Keskusta ng/m ³	Näätsaari ng/m ³	Keskusta ng/m ³	Näätsaari ng/m ³
Kromi	6	3	6	5
Nikkeli	3	2	3	2
Sinkki	19	26	15	12
Lyijy	3	4	4	3

Näätsaaren mittauspisteessä havaitut hiukkasten sinkkipitoisuudet olivat helmikuuhun ja elokuuhun 2011 vuorokausinäytteissä suurimpina arvoina pääosin jopa selkeästi korkeampia kuin Tornion keskustan mittauspisteessä. Näätsaaren sinkin keskiarvopitoisuuden kohoaminen vuodesta 2005 aiheutui pääasiassa muutamasta selvästi normaalitasosta poikkeavasta vuorokausipitoisuudesta tämän tutkimuksen mittausjaksojen aikana. Vuonna 2005 ei vastaavan suuruisia poikkeavia sinkkipitoisuuden vuorokausiarvoja havaittu. Sinkin pitoisuuksille ulkoilmassa ei ole annettu raja- tai tavoitearvoja kuten ihmisen terveyden kannalta haitallisille aineille arseenille, kadmiumille, nikkelille ja lyijylle.

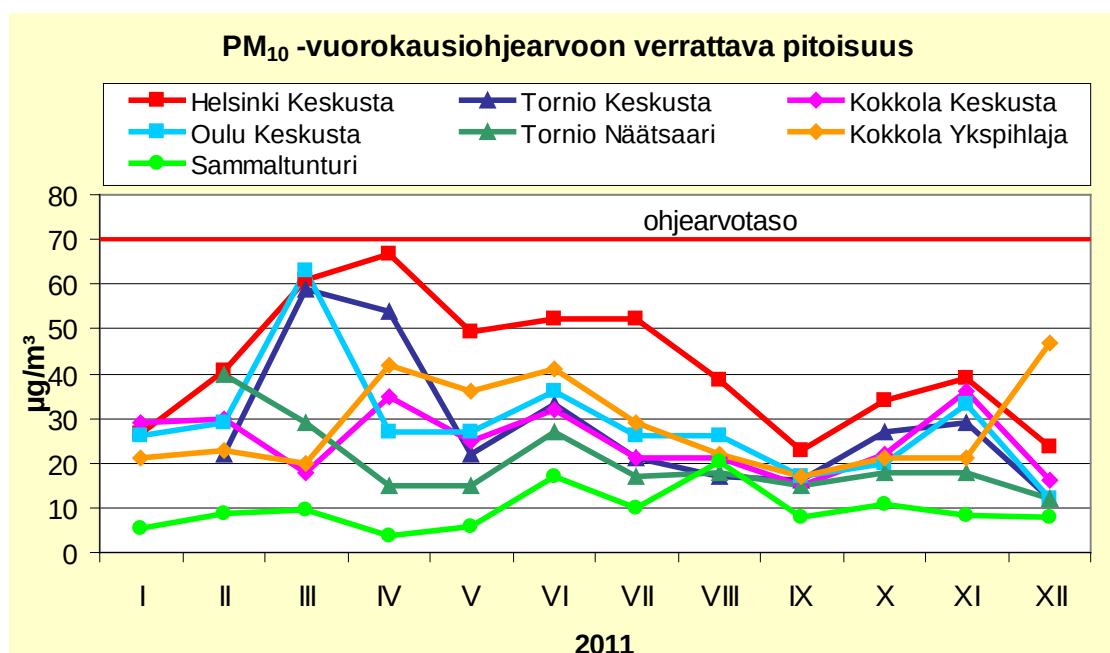
Samanlaisia yksittäisiä perustasosta poikkeavia hiukkasten sisältämien aineiden vuorokausipitoisuuksia havaittiin vuoden 2011 mittausjaksoilla sää- ja päästötekijöistä johtuen kaikilla hiukkasista analysoiduilla aineilla sekä Keskustan että Näätsaaren mittauspisteissä. Yksittäisistä pitoisuushuipuista voisi mainita esimerkiksi 24.2.2011 mitatut nikkelin ja kromin vuorokausipitoisuusarvot Keskustassa (ks. kuvat 13 ja 14). Pitoisuudet ovat aiheutuneet terästehtaan suunnalta kulkeutuneista, noin 20 pakkasasteiseen ulkoilmaan ilmasein korkeapainetilanteessa purkautuneista hiukkaspäästöistä, jotka ovat päästön ja ulkoilman suuren lämpötilaeron johdosta kulkeutuneet korkealla ilmassa kauas lähtöpaikastaan. Kromilla esiintyi vastaavanlainen vuorokausipitoisuuspiikki kaupungin keskustassa myös 29.3. (ks. kuva 14). Tässä tapauksessa lienee kyse ns. kevätpölytilanteeseen liittyvästä ilmiöstä, jossa pitkän ajan kuluessa maanpintaan kertyneet terästehtaan metallipäästöt nousevat ilmaan hiukkasten mukana maanpinnan kuivuessa talven jälkeen. 29.3.2011 oli Torniossa aamulla yli 10 astetta pakkasta ja koko päivän aikana kuivaa, jolloin talven aikaisen, ajoneuvojen pyörien alla jauhautuneen hiekoitushiekan mukana ilmaan nousi hiukkasia ja niihin sitoutuneena myös kromia. Kaiken kaikkiaan Tornion keskustassa tai Näätsaassa havaitut kaikkien hiukkasista analysoitujen eri aineiden pitoisuudet olivat em. korkeimpinakin vuorokausikeskiarvoina hyvin alhaisella tasolla.

7.6 Vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvissa 31 ja 32 on verrattu hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvoja ja vuorokausiohjeeseen verrattavia pitoisuuksia Torniossa, eräissä maamme muissa kaupungeissa ja Suomen puhtaalla tausta-alueella vuonna 2011. Sammaltunturin pitoisuudet edustavat Lapin taustailman laatua ja Kokkolan Ykspihlajan pitoisuudet teollisuusaluetta. Oulun ja Kokkolan tulokset ovat kaupunkien keskusta. Helsingin pitoisuudet edustavat Suomen vilkasliikenteisimpiä päästöympäristöjä. Tornion Keskustan hiukkaspitoisuudet olivat vuonna 2011 kuukausikeskiarvoina ja ohjeeseen verrattavina pitoisuuksina pääosin samaa suuruusluokkaa kuin Oulun ja Kokkolan keskustoissa. Kuitenkin huhtikuussa katupölyaikaan Tornion Keskustan hiukkaspitoisuudet olivat korkeampia kuin Oulussa ja Kokkolassa. Näätsaaren hiukkaspitoisuudet ovat pääosin alhaisempia kuin verratuilla kaupunkialueilla, mutta kuitenkin selvästi suurempia kuin puhtaalla tausta-alueella Lapissa. Tiedot pitoisuusvertailuihin on saatu seuraavista lähteistä: HSY, 2012, OUKA, 2012, Kokkolan kaupunki, 2012.



Kuva 31. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvoja Suomen eri kaupungeissa ja puhtaalla tausta-alueella vuonna 2011.



Kuva 32. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjeeseen verrattavia pitoisuuksia Suomen eri kaupungeissa ja puhtaalla tausta-alueella vuonna 2011.

Torniossa mitattuja arseeni- ja metallipitoisuuksia on verrattu puhdasta tausta-alueen edustavan, Pallaksella sijaitsevan, Ilmatieteen laitoksen Matorovan tausta-aseman pitoisuuksiin. Taulukossa 13 on esitetty Pallaksella helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011 Tornion metallimittauksen aikaan kerätyistä hengitettävien hiukkasten viikkonäytteistä (22 kpl) analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet (*Ilmatieteen laitos*, 2012). Tornion Keskustan näytteiden keskimääräinen kromipitoisuus, $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on 35-kertainen ja Näätsaaren kromipitoisuus, $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on noin 20-kertainen vastaavaan Pallaksella havaittuun keskiarvoon nähden. Keskustan näytteiden keskimääräinen nikkelipitoisuus, $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on noin 8-kertainen ja Näätsaaren nikkelipitoisuus, $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on 7-kertainen vastaavaan Pallaksella havaittuun keskiarvoon nähden (taulukko 13).

Taulukko 13. Ilmatieteen laitoksen Matorovan tausta-asemalla Pallaksella jaksoilla 31.1.-1.5.2011 sekä 1.8.-2.10.2011 havaitut arseenin ja metallien pitoisuudet.

Pallas Matorova	As ng/m ³	Cd ng/m ³	Cr ng/m ³	Ni ng/m ³	Pb ng/m ³	Zn ng/m ³
Keskiarvo	0,13	0,030	0,18	0,34	0,67	2,1
Minimi	0,025	0,0019	0,013	0,019	0,13	0,41
Maksimi	0,40	0,15	0,44	1,3	3,4	12,1

Torniossa mitattuja arseeni- ja metallipitoisuuksia on verrattu vain Suomen Lapin puhtaaseen alueen taustapitoisuuksiin, sillä päästöominaisuuksiltaan toisistaan poikkeavien metalliteollisuuspaikkakuntien ilman epäpuhtauspitoisuuksien vertaaminen toisiinsa ei ole yksikäsitteistä. Tornion terästeollisuuden päästöt, joissa on merkittävässä määrin kromia, poikkeavat selvästi esimerkiksi Raahan ja Kokkolan metalliteollisuuden vastaavista päästöistä. Tehtaiden ympäristössä esiintyviin hiukkasten

sisältämien metallien pitoisuustasoihin vaikuttaa olennaisesti niiden lähteiden päästökorkeus, joista metallipäästöjä tulee ulkoilmaan samoin kuin kuonakasojen ja tehtaiden piha-alueiden pölyäminen ja muut hajapäästölähteet. Viimeksi mainittujen päästölähteiden merkittävimmät pitoisuusvaikutukset esiintyvät laitosten lähistöllä, joten mittauspaikan sijainti päästölähteisiin nähden vaikuttaa olennaisesti havaittaisiin metallien pitoisuustasoihin. Myöskään pelkkien päästömäärien perusteella ei voida arvioida em. ilmanlaatuun liittyviä seikkoja.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Outokummun Tornion tehtaas tilasi muiden paikallisten, nyt raportoitavan tutkimuksen rahoitukseen osallistuneiden yritysten sekä Tornion ja Haaparannan kaupunkien puolesta Ilmatieteen laitokselta kaupunki-ilman hiukkas-, arseeni- ja metallipitoisuuksien mittaukset toteutettavaksi kahdessa mittauspisteessä Torniossa.

Mittauksia tehtiin 3.2.2011 - 14.2.2012 välisenä aikana Keskustan Länsirannan ja Näätsaaren tutkimuspisteissä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatilaisilla hiukkanalyysilaitteilla koko mittausjakson ajan. Samoissa mittauspisteissä kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä helmikuussa 2011 ja elokuussa 2011. Näytteistä analysoitiin arseeni- ja metallipitoisuudet Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa.

Tornion ilmanlaatumittausten tavoitteena oli kartoittaa hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuuksia ja väestön altistumista näille ilman epäpuhtauksille eri puolilla kaupunkia toisistaan poikkeavissa päästöympäristöissä. Mittauksin pyrittiin saamaan tietoa Tornion ja Haaparannan yleisestä ilmanlaadusta ja sen kehittymisestä viime vuosien aikana sekä ympäristölupavelvollisten laitosten, kuten Outokummun Tornion tehtaiden, ja liikenteen vaikutuksesta siihen.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annettu kotimainen vuorokausiohjearvo alittui Tornion Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä mittausjakson kaikkina kuukausina. Hiukkaspitoisuudet olivat Keskustassa korkeimmillaan maaliskuussa 2011 katupölyaikaan, jolloin pitoisuudet olivat 77–84 % ohjearvosta. Näätsaassa hiukkaspitoisuudet olivat pääosin alhaisempia kuin Keskustassa. Hiukkaspitoisuudet olivat Näätsaassa korkeimmillaan vuoden 2011 helmikuussa 57 % ohjearvosta. Korkeimpien pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttivat Näätsaassa merkittävästi mittauspisteen lähialueen asutuksen lämmitys helmikuussa 2011 kovan pakkasjakson ja heikkotuulisten inversiotilanteiden aikana.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille annetut raja-arvot eivät ylittyneet Torniossa mittausjaksolla. Keskustan mittauspisteen mittausjakson keskiarvo oli $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Näätsaaren $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosiraja-arvon ollessa $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja se katsotaan ylittyneeksi, jos taso ylittyy yli 35 vuorokautena kalenterivuoden aikana. Tornion Keskustassa raja-arvotaso ylittyi mittausjaksolla 4 vuorokautena; Näätsaassa ei kertaakaan. Tornion Keskustassa suurin vuorokausikeskiarvo oli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Näätsaassa $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuonna 2011. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin Keskustassa maaliskuussa 2011 katujen pölyämisen vuoksi. Em. referenssiarvot ovat voimassa myös Ruotsissa sekä ohje- että raja-arvoina, joten pitoisuusvertailua voidaan soveltaa ainakin suuntaa-antavasti myös Haaparannan ilmanlaadun arviointiin.

Torniossa vuonna 2011 hengitettävistä hiukkasista analysoitujen arseenin, nikkelin ja kadmiumin pitoisuuskeskiarvot eivät ylittäneet vuosikeskiarvoille annettuja tavoitearvoja. Jotta pitoisuuksia voisi asianmukaisesti verrata tavoitearvoihin, tulisi näytteitä ottaa satunnaisotannalla läpi vuoden. Torniossa metallipitoisuuksia mitattiin helmi-huhtikuussa ja elo-syyskuussa 2011. Näiden mittausjaksojen keskiarvopitoisuudet olivat Tornion Keskustassa arseenille 6 %, kadmiumille 2 % ja nikkelimille 14 % vastaavista tavoitearvoista. Näätsaassa arseenipitoisuudet olivat 8 %, kadmiumipitoisuudet 3 % ja nikkeli-pitoisuudet 11 % tavoitearvoista. Ns. metalliasetuksen (164/2007) tavoitteena on em. tavoitearvojen ylittymisen ehkäiseminen vuoden 2012 loppuun mennessä. Hengitettävistä hiukkasista määritetyt lyijypitoisuudet olivat hyvin pieniä ja jäivät kauas raja-arvotasosta. Mittausjaksojen keskiarvopitoisuudet olivat kummassakin mittauspisteessä alle 1 % raja-arvosta. Pitoisuusvertailussa käytetyt tavoitearvot ja lyijypitoisuuden raja-arvo ovat samat sekä Suomessa että Ruotsissa.

Kaikilla tutkimuksessa tarkastelluilla hiukkasten sisältämällä alkuaineilla esiintyi ajoittain muun muassa säätilanteesta riippuen yksittäisiä normaalista pitoisuustasosta poikkeavia korkeampia vuorokausiarvoja. Keskustassa esiintyi helmikuussa yksittäisenä päivänä vuorokausiarvona nikkeli-pitoisuuden vuosikeskiarvoa koskevan tavoitearvotason ylitys. Lisäksi Keskustassa esiintyi yksi alemman arviointikynnyksen ylittävä ja Näätsaassa yksi alemman ja yksi ylemmän arviointikynnyksen ylittävä nikkelin vuorokausipitoisuus. Hiukkasten arseeni- ja kadmiumipitoisuudet olivat mittauspisteissä hyvin matalia. Kaikki arseenin ja kadmiumin vuorokausipitoisuudet alittivat tavoitearvotason ja ylemmän ja alemman arviointikynnyksen tasot. HUOM! Edellä esitetyissä vertailuissa on tarkasteltu yksittäisten nikkelin, arseenin ja kadmiumin mittausjaksojen korkeimpien vuorokausipitoisuuksien suhdetta tavoitearvojen, alemmien ja ylemmien arviointikynnysten tasoihin, jotka on määritetty ko. aineiden vuosikeskiarvopitoisuuksille. Vuorokausina, jolloin mitattiin korkeimmat kromi-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteessä, oli tuuli pääasiassa kaakon puoleinen. Kromin pitoisuudet hiukkasissa olivat hyvin alhaisia verrattuina Euroopassa teollisuuslaitosten ympäristössä mitattuihin keskiarvopitoisuuksiin nähden.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet noudattelivat Tornion Keskustassa autoliikenteen rytmiä. Hiukkaspitoisuudet olivat arkipäivisin korkeampia kuin viikonloppuisin. Näätsaassa pitoisuuksien vuorokauden sisäinen ja viikonpäivittäinen vaihtelu oli vähäisempää. Hiukkaspitoisuudet olivat Torniossa korkeimmillaan tyynellä säällä.

Nyt raportoitavan tutkimuksen tulosten perusteella voidaan arvioida, että Tornio ei juurikaan poikkea ilmanlaadultaan hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien suhteen muista suomalaisista pienistä tai keskisuurista kaupungeista. Hiukkaspitoisuuden korkeimmat arvot havaitaan tyypillisesti ns. kevätpölyjaksolla vuosittain vaihtelevista sääoloista riippuen maaliskuu-toukokuussa. Tutkimuksen mittauksen perusteella Tornion Keskustan hiukkaspitoisuudet olivat suurimman osan vuotta samalla tasolla kuin Oulussa ja Kokkolassa. Kuitenkin huhtikuussa 2011 katupölyaikaan Tornion Keskustan hiukkaspitoisuudet olivat korkeampia kuin em. vertailukaupungeissa. Näätsaaren hiukkaspitoisuudet olivat pääosin alhaisempia kuin verratuilla kaupunkialueilla, mutta kuitenkin selvästi suurempia kuin puhtaalla tausta-alueella Lapissa.

Ilmatieteen laitos mittasi hiukas- ja metallipitoisuuksia Torniossa samoissa tutkimuspisteissä ja samantyyppisin menetelmin kuin vuonna 2011 edellisen kerran vuonna 2005. Vuonna 2005 hiukkaspitoisuudet olivat sekä kuukausikeskiarvoina

että ohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina pääosin korkeampia kuin vuonna 2011. Vuonna 2005 hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo ylittyi Keskustassa huhti- ja lokakuussa kun taas vuonna 2011 ohjearvotaso alittui kaikkina kuukausina. Ero johtunee päästökijöiden lisäksi myös säätekijöistä, jotka vaihtelevat vuosittain. Ilman ja maaperän/hiekan kosteus ja tuulisuus vaikuttavat pölytilanteiden muodostumiseen katujen kuivaessa lumien sulettua sekä talviajan hiekoitushiekan poiston aikaan.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotaso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyi Tornion keskustassa vuoden 2011 kevätpölyjaksolla neljänä päivänä. Vuonna 2005 raja-arvotason ylityksiä oli yhteensä 11 kappaletta. Vuonna 2011 korkeimmat yksittäiset tuntipitoisuudet olivat noin $100\text{--}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuonna 2005 havaitut korkeimmat lyhytaikaiskeskiarvot olivat noin $300\text{--}450 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä muutos ja keväinen ilmanlaadun paraneminen Tornion keskusta-alueella hiukkasten suhteen johtuu osittain mahdollisesti em. säätekijöistä, mutta ehkä myös siitä, että kaupungin keskustan talviajan hiekoitushiekan poistoon käytettäviin menetelmiin ja toimintatapoihin on kiinnitetty enenevässä määrin huomiota. Koska Tornion Keskustan Länsirannan hiukkasmittauspiste ei sijainnut aivan katujen tai teiden varrella on arvioitavissa, että kaupungissa on voinut esiintyä mittausjaksolla nyt raportoituja korkeampia hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia kevätpölyaikaan maaliskuun huhtikuussa 2011 vilkkaimpien autoliikenteen väylien ja risteysalueiden lähistöllä.

Tornion ilmanlaadun kannalta kiinnostavimmat ja keskeisimmät Outokummun Tornion tehtaiden päästöissä esiintyvät metallit ovat kromi, sinkki ja nikkeli. Tornion Keskustassa kromi- ja nikkelpitoisuudet olivat vuonna 2011 samalla tasolla kuin vuonna 2005 ja sinkkipitoisuudet olivat vuoden 2011 mittauksen mukaan keskiarvoina suurempia kuin vuonna 2005. Näätsaassa sinkkipitoisuuksien keskiarvopitoisuus on yli kaksinkertaistunut vuoteen 2005 verrattuna. Nikkelpitoisuudet olivat keskiarvona Näätsaassa vuoden 2005 tasolla ja kromipitoisuudet olivat vähän pienentyneet.

Lapin Pallaksen puhtaan alueen taustapitoisuuksiin verrattuna kromipitoisuuksien keskiarvot ovat Tornion Keskustassa noin 35-kertaisia ja Näätsaassa noin 20-kertaisia. Keskimääräinen nikkelpitoisuus on Keskustassa noin 8-kertainen ja Näätsaassa 7-kertainen Pallaksen pitoisuuksiin nähden. Tämä vertailu Tornion kromin ja nikkelin pitoisuuksien tasosta kertoo siitä, kuinka paljon suurempaa ilmanlaatukuormitus voi olla suuren metalliteollisuuden päästölähteen ympäristössä verrattuna ilmanlaadultaan Suomen puhtaimpiin kuuluvan alueen tilanteeseen nähden.

Näätsaaren mittauspisteessä havaitut hiukkasten sinkkipitoisuudet olivat helmikuun ja elokuun 2011 vuorokausinäytteissä suurimpina arvoina pääosin jopa selkeästi korkeampia kuin Tornion keskustan mittauspisteessä. Näätsaaren sinkin keskiarvopitoisuuden selvä kohoaminen vuodesta 2005 aiheutui pääasiassa muutamasta selvästi normaalitasosta poikkeavasta vuorokausipitoisuudesta tämän tutkimuksen mittausjaksojen aikana. Vuonna 2005 ei vastaavan suuruisia poikkeavia sinkkipitoisuuden vuorokausiarvoja havaittu. Sinkin pitoisuuksille ulkoilmassa ei ole annettu raja- tai tavoitearvoja kuten ihmisen terveyden kannalta haitallisemmille aineille arseenille, kadmiumille, nikkelille ja lyijylle.

Kohonneita hiukkasten arseeni- ja metallipitoisuuksia voi muodostua Outokummun tehtaiden suorien päästövaikutusten lisäksi myös muun muassa tuulen ja liikenteen

maasta ja ajoradoilta nostattamasta pölystä tai myös esimerkiksi Näätsaassa lämmityksen päästöistä ja puun pienpoltosta. Outokummun Tornion tehtaiden metallipäästöt voivat kertyä tutkimusalueella maanpintaan ja olla osaltaan vaikuttamassa hiukkasten sisältämien aineiden pitoisuuksiin varsinkin kevätpölyjaksolla tai muulloin vuoden aikana tuulen nopeuden ollessa kohtalainen tai maaperän pölytessä liikenteen vuoksi.

Torniossa havaittiin tutkimuksessa edellä tarkasteltujen aineiden lisäksi normaalista pitoisuustasosta kohonneita vuorokausiarvoja myös esimerkiksi hiukkasten sisältämällä alumiinilla, raudalla ja mangaanilla. Kaikki em. aineet esiintyvät merkittävässä määrin luontaisesti maaperässä ja esimerkiksi hiekoitushiekassa. Tuuli nostattaa em. lähteistä pölyä ilmaan ja saa myös ko. metallien pitoisuusarvot kohoamaan. Muina em. aineiden pitoisuustasojen kohoamiseen vaikuttavina tekijöinä on otettava huomioon myös sademäärän ja maanpinnan kosteuden vaihtelut.

Tornion ilmanlaatua ei ole mahdollista vakuuttavasti tai yksikäsitteisesti verrata hiukkasten sisältämien arseenin ja metallien osalta muiden Suomen teollisuuspaikkakuntien vastaavaan pitoisuustilanteeseen eri tyyppisille metalliteollisuuslaitoksille tyypillisten päästöjen ominaispiirteistä johtuen.

Tornion Keskustan mittauspisteen tuloksista tehdyt päätelmät pätevät sellaisinaan myös Haaparannan ilmanlaadun arvioinnissa. Koska kaupunkien keskustat sijaitsevat yhtä etäällä Outokummun Tornion tehtailta, tilanne hiukkasten sisältämien arseenin ja metallien suhteen on sama sekä Torniossa että Haaparannassa. Myöskään hengitettävien hiukkasten pitoisuustasoissa ei kaupunkien keskustojen välillä liene kuin pienipiirteisiä, lähinnä rakennetusta ympäristöstä, alueiden toiminnoista ja katuverkosta johtuvia ilmanlaadun eroja.

Nyt raportoitavassa tutkimuksessa ei voitu selvittää Torniossa hiukkasista analysoidujen metallien olomuotoja, jotka ovat ihmisten ja ympäristön riskien ja vaikutusten kannalta oleellisia. Ferrokromi- ja ruostumattoman terästeollisuuden päästöistä kuitenkin tiedetään, että kromi on tyypillisesti merkittävältä osalta haitattomassa tai vähemmän haitallisessa kolmiarvoisessa muodossa ja nikkeli metallisessa, haitattomassa olomuodossa, kuten ruostumattomassa teräksessä. Outokummun Tornion tehtaat on selvittänyt tätä asiaa kromin osalta jo aiemmin ja omana hankkeenaan tämän tutkimuksen ohessa kerätyistä tehdasalueen hiukkasnäytteistä.

9 SUOSITUKSIA TORNION ILMANLAADUN SEURANTAAN

Sekä Tornion Keskustan että Näätsaaren mittauspisteissä tässä tutkimuksessa havaitut hengitettävien hiukkasten vuorokausi- ja vuosikeskiarvopitoisuudet jäivät alle ilmanlaatuasetuksen (Vna 38/2011) mukaisten alempien arviointikynnysten. Tämä indikoi sitä, että jatkuvat vuosittaiset hiukkasmittaukset eivät ole Torniossa tarpeellisia, vaan kevyemmät hiukkaspitoisuuksien arviointikeinot ovat riittäviä. Ts. nykyisen kaltainen menettely, jossa Tornion hiukkaspitoisuuksia seurataan määrävälein yksittäisinä vuoden jaksoina riittäisi ilmanlaatuasetuksen tavoitteet huomioiden. Asianmukainen mittauksien vertaaminen ilmanlaadun arviointikynnyksiin tulee tehdä viiden vuoden jaksoilta, mutta nyt raportoitavan tutkimuksen ja aiemman vuonna 2005 tehdyn vastaavan mittaushankkeen tulokset osoittavat samaa hiukkasten mittaustarpeesta.

Torniossa ei ole ollut kyseessä Ilmatieteen laitoksen tekemissä vuosien 1998, 2005 ja nyt raportoitavissa jakson helmikuu 2011 - helmikuu 2012 ilmanlaatututkimuksissa pelkästään normaali yhden taajaman/kaupungin ilmanlaatuaseuranta vaan pitkälti Outokummun Tornion tehtaiden ympäristölupaan liittyvä velvoitetarkkailu Tornio-Haaparanta -alueella. Outokummun Tornion tehtaille on valmisteilla toiminnan laajennuksena uusi ferrokromin valmistuslinja sintraamoinen ja sulattamoinen. Tämä asettaa tehtaiden päästöjen kasvaessa uusia tavoitteita ja reunaehtoja Tornion tulevien vuosien ilmanlaadun seurantaan.

Ilmatieteen laitos suosittelee nyt raportoitavan tutkimuksen tulokset huomioiden, että Tornion ilmanlaatua mitattaisiin määrävlein myös jatkossa. Suositeltava väli tutkimuksille voisi olla noin viisi vuotta. Tämä on sopusoinnussa ilmanlaatuasetuksen (Vna 38/2011) ja arseenia, kadmiumia, nikkeliä, elohopeaa ja PAH-yhdisteitä koskevan valtioneuvoston asetuksen (Vna 164/2007) hengen kanssa. Näissä todetaan, että ilmanlaadun seurannan riittävyys, ts. esimerkiksi ilman epäpuhtauspitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin, tulee tarkistaa *ainakin viiden vuoden* välein. Pitoisuuksien suhde arviointikynnyksiin määrää kunkin epäpuhtauden seurannan riittävyyden ja tason (jatkuvat tai suuntaa-antavat mittaukset, muut seurantamenetelmät kuten leviämismallilaskelmat).

Tornion ilmanlaatumittauksissa tulisi jatkossa keskittyä samaan tapaan kuin tässä tutkimuksessa hiukkasten ja niiden sisältämien alkuaineiden pitoisuusseurantaan. Seuranta sisältäisi hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuusmittauksia, jotka suositellaan tehtäviksi jatkuvatoimisella menetelmällä samaan tapaan kuin vuosina 2005 ja 2011. Näin saadaan asianmukaiset tulokset ohje- ja raja-arvovertailuihin sekä tietoa myös lyhytaikaispitoisuuksista ja niiden vaihtelusta sekä pitoisuustasojen kehittymisestä, jotka ovat tärkeitä tietoja paikallisen teollisuuden päästövaikutusten valvonnan sekä ilmanlaadun arvioinnin ja mittaustulosten tulokinnan kannalta.

Ilmatieteen laitos suosittelee, että Torniossa toteutettaisiin jatkossa samaan tapaan kuin vuosina 2005 ja 2011 hiukkasten sisältämien metallien pitoisuusmittaukset keräämällä hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä pientehokeräimillä ilmanlaatuasetuksen mukaista vertailumenetelmää käyttäen. Näin varmistettaisiin tulevien tutkimusten tulosten vertailukelpoisuus aikaisempien mittausten vastaaviin arvoihin. Tärkeimmät hiukkasnäytteistä analysoitavat metallit olisivat kromi, sinkki ja nikkeli. Käyttämällä samaa analyysitekniikkaa kuin nyt raportoitavassa tutkimuksessa, hiukkasnäytteistä saadaan samassa analyysissä pitoisuustiedot myös muun muassa arseenille ja kadmiumille ja useille muille alkuaineille, joita Tornion terästehtaan päästöissä esiintyy.

Vuonna 2011 arseeni- ja metallianalyysit tehtiin helmi-huhtikuun ja elo-syyskuun hiukkasnäytteille niin, että molempien tarkkailupisteiden näytteitä tuli analyysiin molemmilta mittausjaksoilta noin 20 kpl. Metalliasetuksen mukainen arseenin, kadmiumin ja nikkelin pitoisuuksien vertailujakso on yksi kalenterivuosi ja hiukkasnäytteitä tulisi ottaa satunnaisotannalla läpi vuoden toisin kuin vuoden 2011 mittauksissa tehtiin, jos pitoisuuksia haluttaisiin verrata arseeni- ja metallipitoisuuksien tavoitearvoihin asianmukaisesti. Tämä kriteeri koskee ns. jatkuvaa ilmanlaadun seurantaa. Tornion ilmanlaadun seurannassa suuntaa-antavat arseenin ja metallien mittaukset ovat jatkossakin riittäviä ja niihin voidaan soveltaa löysempiä ajallisen edustavuuden kriteerejä kuin jatkuviin mittauksiin. Näin ollen Tornion tulevien vuosien metallimittaukset voitaisiin toteuttaa yhtä kalenterivuotta lyhemmillä mittausjaksoilla ja vuoden 2011 tasoisilla arseenin ja metallien näytemäärillä. Nämä olisivat ko. mit-

tausten tavoitteenasettelun kannalta riittäviä, kun tulevissakin tutkimuksessa keskeisessä asemassa on Outokummun Tornion tehtaiden päästövaikutusten seuranta ja ilman epäpuhtauspitoisuuksien kehityksen arviointi, eikä niinkään jatkuva, vuosikautia kestävä pitoisuuksien valvonta tutkimusalueella.

Edellä kuvattujen, Tornion tulevien ilmanlaatumittausten tarkkailupisteet olisi suositeltavaa valita kaupungin keskustasta ja Outokummun Tornion tehtaiden ympäristöstä samoilta alueilta kuin vuosien 2005 ja 2011 mittauksissa niin, että jatkotutkimuksissa saatavat tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia aikaisempiin tuloksiin nähden muun muassa hiukkasten ja niiden sisältämien metallien pitoisuuskehityksen arviointia varten. Aiemmissa vastaavissa mittausprojekteissa käytetty kahden (tai kolmen) tarkkailupisteen määrä on jatkossakin riittävä.

Kustannuksiltaan edullinen tapa Outokummun Tornion tehtaiden arseenin ja metallien päästövaikutusten seurantaan pitkällä aikajänteellä olisivat ko. aineiden laskeumamittaukset muutamassa valitussa toisistaan eri etäisyyksillä olevassa mittauspisteessä tehtaan ympäristössä ja hieman pidemmälläkin ns. taustan tasojen määrittystä varten. Näillä mittauksilla kyetään kartoittamaan tehtaan päästöjen vaikutuspotentiaalia muun muassa tehtaan ympäristön maaperään, luontoon ja vesistöihin. Ihmisille aiheutuvia suoria terveys- tai viihtyvyyshaittoja ei sen sijaan ko. mittauksilla voida arvioida, mutta mittauksien tulokset antavat, jos niitä tehdään tarpeeksi pitkään, tarpeeksi herkillä analyysimenetelmillä ja oikein tulkiten, olennaista tietoa Tornion-Haaparannan alueen ilmanlaadun tilasta ja siihen vaikuttavien Tornion tehtaiden päästömuutosten seurauksista.

Laskeumaa kerättäisiin kuukausinäyttein ko. tarkoitusta varten suunniteltuihin ylhäältä avoimiin keräimiin (laskeumapönttöihin). Laskeumanäytteistä määritettäisiin ainakin arseenin, kadmiumin, nikkelin, kromin ja sinkin pitoisuudet. Sopivalla analyysitekniikalla saadaan samoissa määrittelyissä tarvittaessa tiedot myös muista laskeuman sisältämistä aineista. Alkuainemääritykset tulee tehdä niin herkin menetelmin, että ko. aineiden pienetkin määrät laskeumassa saadaan luotettavasti selville.

Laskeuman tarkkailupisteet esitetään sijoitettavaksi Outokummun tehdasalueelta etääntyviin näytteenottokohtiin sopivin välimatkoin niin, että laskeumanäytteistä analysoitaville aineille voidaan muodostaa laskeuman määrää ja metallien leviämistä tehdasalueelta mitatun etäisyyden funktiona kuvaavat profiilit. Tällä näytteenoton suhteen standardoidulla menetelmällä ja akkreditoituilla analyysimenetelmillä voitaisiin korvata Tornion tehtaiden ympäristössä biologisista näytteistä tehtävät arseeni- ja metallipitoisuuksien seurannat. Tämä Ilmatieteen laitoksen esitys koskee vain arseenia ja metalleja. Ilmatieteen laitos ei suosittele pelkän hiukkaslaskeuman seurantaa ja hiukkasista tehtävien muiden kuin arseenin ja metallien määrittämiä Tornion tehtaiden ympäristöön tuleville vuosille.

VIITELUETTELO

EU, 2000. Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position paper. Prepared by the ad-hoc working group on arsenic, cadmium and nickel compounds. June 2000. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen.

HSY, 2012. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Seututieto. Tiedot Helsingin Mannerheimintien hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista vuonna 2011.

ILMANLAATUPORTAALI, 2010. Ilmanlaatatiedon valtakunnallinen, reaaliaikainen verkkopalvelu (Ylläpito: Ilmatieteen laitos). www.ilmanlaatu.fi

ILMATIETEEN LAITOS, 2012. Ilmatieteen laitoksen ilmakemian laboratoriot. Matrovan tausta-asemalla mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet.

ILSE, 2010. Ilmanlaadun seurannan valtakunnallinen tietojärjestelmä (Ylläpito: Ilmatieteen laitos).

KOKKOLAN KAUPUNKI, 2012. Kokkolan kaupungin ympäristöpalvelut. Tiedot Kokkolan keskustan ja Ykspihlajan hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista vuonna 2011.

OUKA, 2012. Oulun seudun ympäristötoimi. Tiedot Oulun keskustan hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista vuonna 2011.

SAARI, H., KARTASTENPÄÄ, R. ja LINDGREN, K., 1999. Hiukkasmittaukset Torniossa. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Helsinki. 43 s. + 5 liites.

SAARI, H., HAAPARANTA, S. ja PESONEN, R., 2006. Ilmanlaatumittaukset Torniossa vuonna 2005. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 60 s. + 10 liites.

Vna 164/2007. Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 8.2.2007.

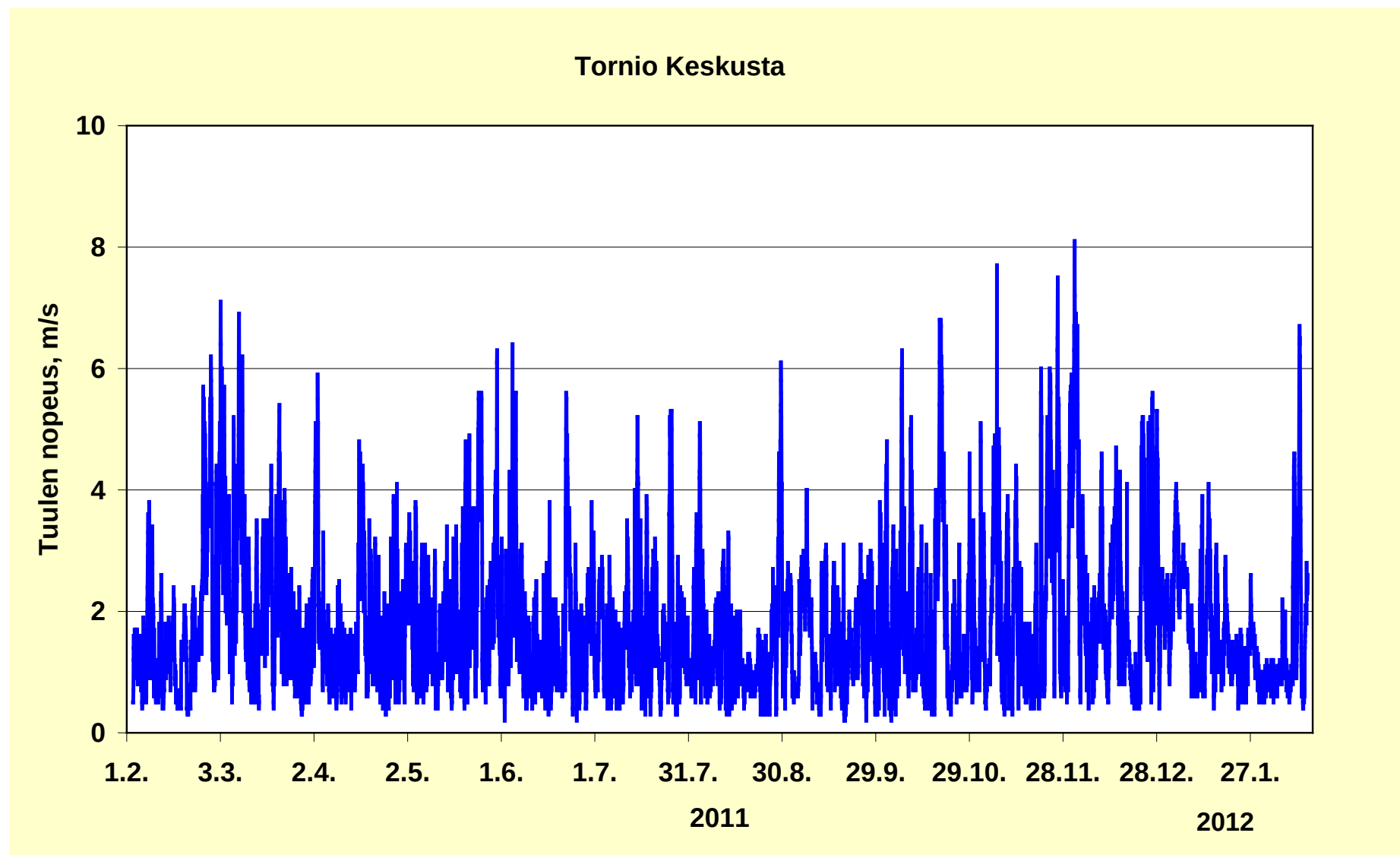
Vna 38/2011. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 20.1.2011.

Vnp 480/96. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. Annettu Helsingissä 19.6.1996.

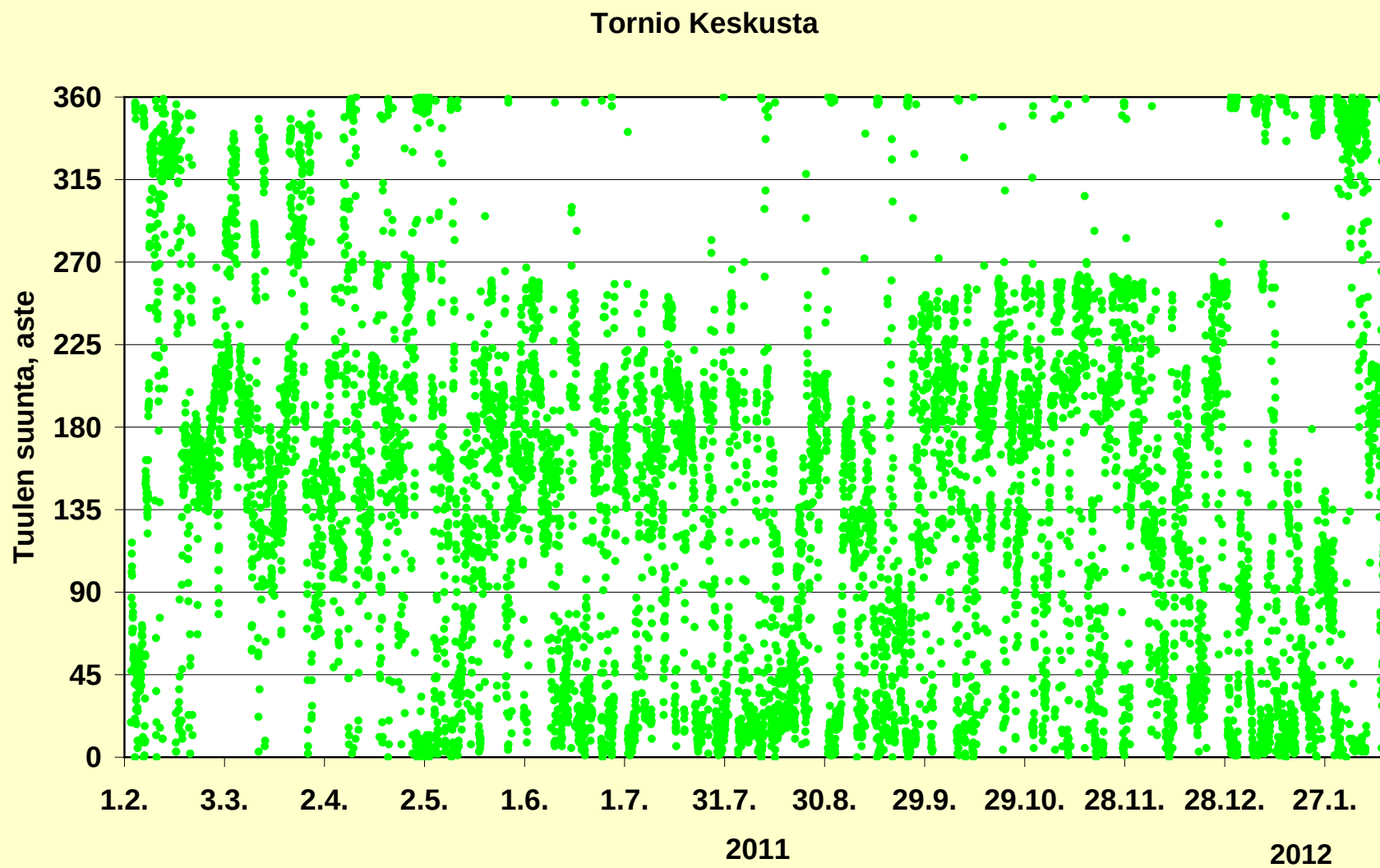
YH, 2012. Maamme raskasmetallien päästöt vuosina 1990–2010. Suomen ympäristöhallinnon internet-sivut: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6323&lan=fi>

2004/107/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu 15.12.2004.

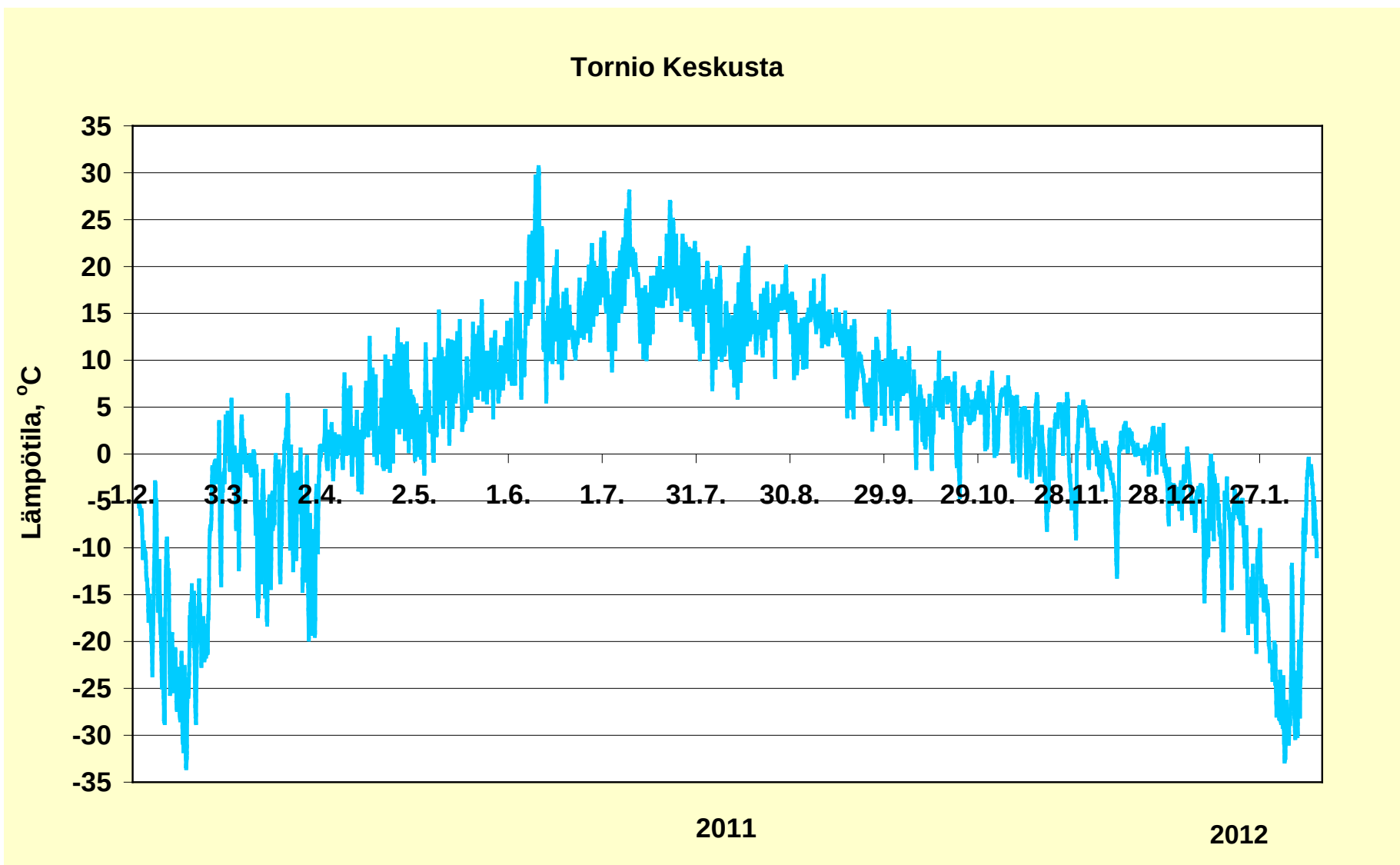
LIITEKUVAT



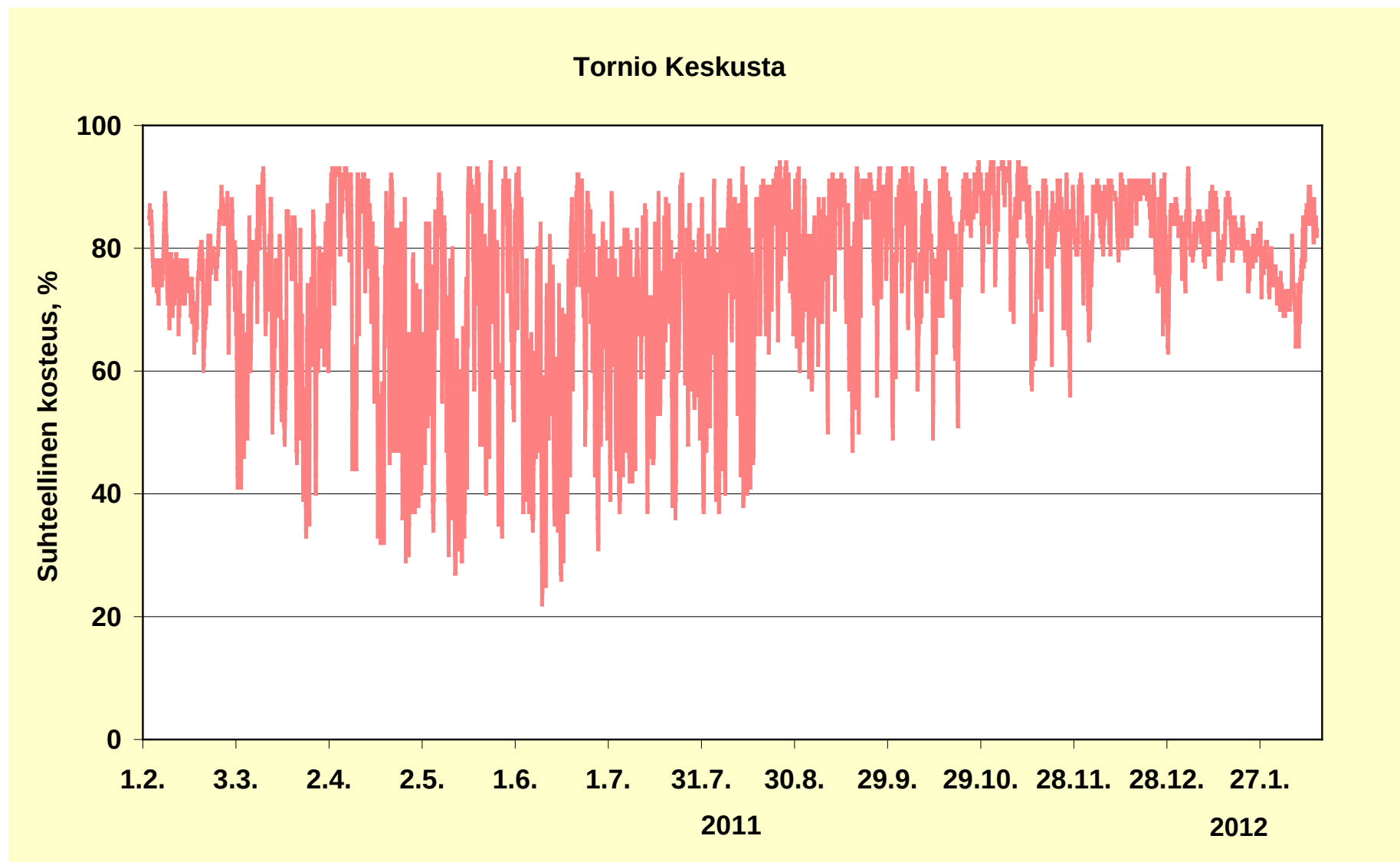
Liitekuva 1. Tuulen nopeus Tornion keskustassa mittausjaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



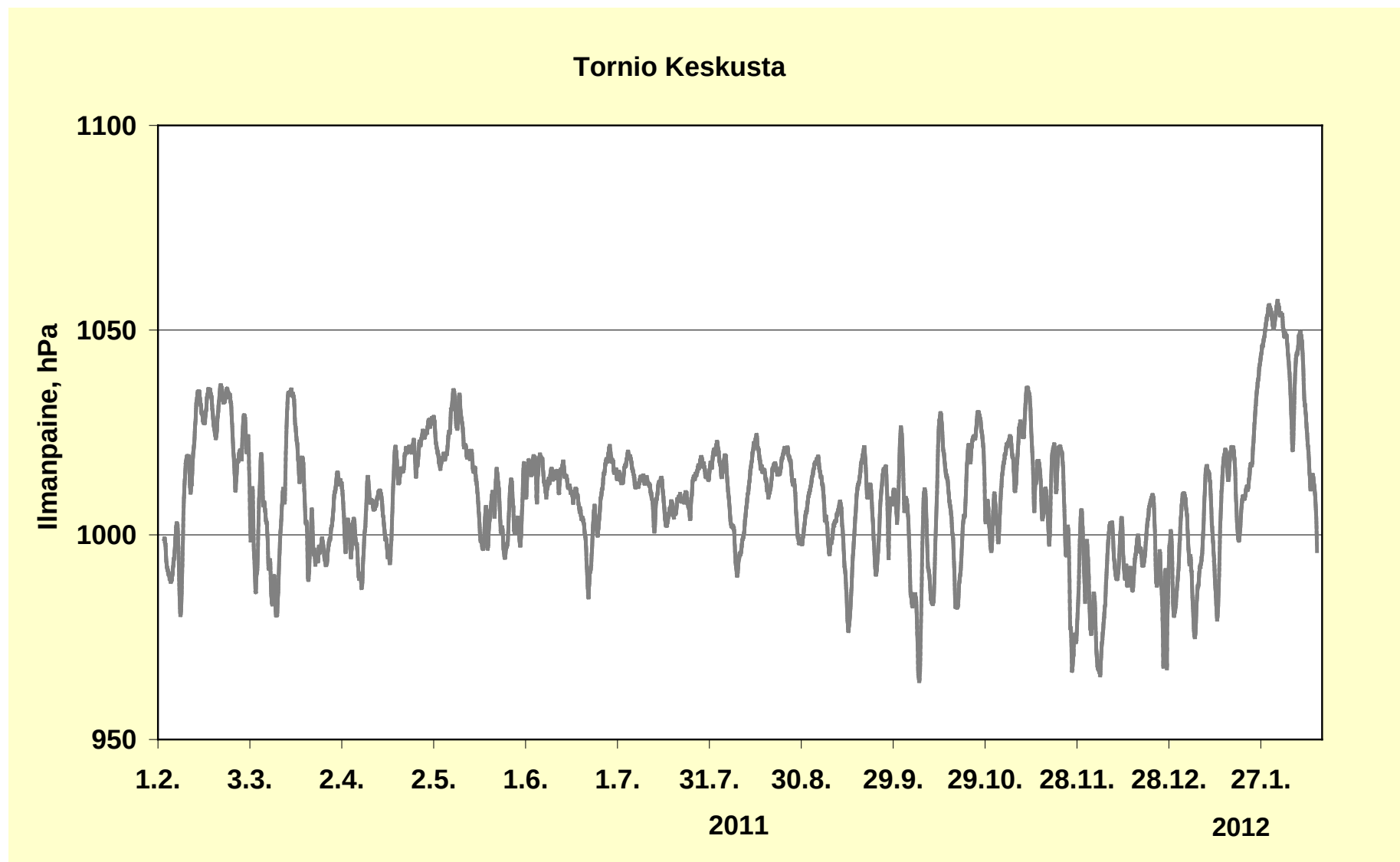
Liitekuva 2. Tuulen suunta Tornion keskustassa mittausjaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Liitekuva 3. Ulkoilman lämpötila Tornion keskustassa mittausjaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Liitekuva 4. Ulkoilman suhteellinen kosteus Tornion keskustassa mittausjaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.



Liitekuva 5. Ilmanpaine Tornion keskustassa mittausjaksolla 3.2.2011 - 14.2.2012.

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Analysoidut alkuaineet, analyysin toteamis- ja määrittämisrajat, pitoisuusalueet sekä laajennetut mittausepävarmuudet.

Menetelmä/vastuuhenkilö Standardi/tekniikka	Määrittäminen	Matriisi	Toteamis- raja* (µg/l)	Määrittämis- raja** (µg/l)	Pitoisuusalue	Laajennettu mittausepä- varmuus***
K206 /TSA sisäinen menetelmä/ICP-MS ISO 17294-1:2004 ISO 17294-2:2003 K208 /TSA Mikroaaltoavusteinen happouutto (HNO ₃ + H ₂ O ₂) SFS-EN 14902 + AC	Al ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.3	1	0,3-1,0 µg/l 1,0-5,0 µg/l 5,0-50,0 µg/l >50,0 µg/l	1,0 µg/l 20 % 15 %
	As ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.02	0.05	0,02-0,05 µg/l 0,05-0,20 µg/l 0,20-2,0 µg/l >2,0 µg/l	0,04 µg/l 20 % 10 %
	Cd ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.01	0.02	0,01-0,02 µg/l 0,02-0,10 µg/l 0,10-1,0 µg/l >1,0 µg/l	0,02 µg/l 20 % 15 %
	Co ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.01	0.02	0,01-0,02 µg/l 0,02-0,10 µg/l 0,10-1,0 µg/l >1,0 µg/l	0,02 µg/l 20 % 15 %
	Cr ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.1	0.3	0,1-0,3 µg/l 0,3-1,0 µg/l 1,0-10,0 µg/l >10,0 µg/l	0,2 µg/l 20 % 15 %
	Cu ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.03	0.1	0,03-0,1 µg/l 0,1-0,5 µg/l 0,5-10,0 µg/l >10,0 µg/l	0,1 µg/l 20 % 10 %
	Fe ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	3	10	3-10 µg/l 10-40 µg/l >40,0 µg/l	5,0 µg/l 20 %
	Mn ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.02	0.05	0,02-0,05 µg/l 0,05-0,20 µg/l 0,20-2,0 µg/l >2,0 µg/l	0,04 µg/l 20 % 10 %
	Ni ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.03	0.1	0,03-0,1 µg/l 0,1-0,5 µg/l 0,5-10,0 µg/l >10,0 µg/l	0,1 µg/l 20 % 10 %
	Pb ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.01	0.02	0,01-0,02 µg/l 0,02-0,10 µg/l 0,10-1,0 µg/l >1,0 µg/l	0,02 µg/l 20 % 15 %
	V ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.01	0.03	0,01-0,03 µg/l 0,03-0,10 µg/l 0,10-1,0 µg/l >1,0 µg/l	0,02 µg/l 20 % 15 %
	Zn ei akkr.	Suodattimet happouuton jälkeen	0.03	0.1	0,03-0,1 µg/l 0,1-0,5 µg/l 0,5-10,0 µg/l >10,0 µg/l	0,1 µg/l 20 % 10 %

*Toteamisraja = 3 * kymmenen nollanäytteen keskihajonta

**Määrittämisraja = 10 * kymmenen nollanäytteen keskihajonta

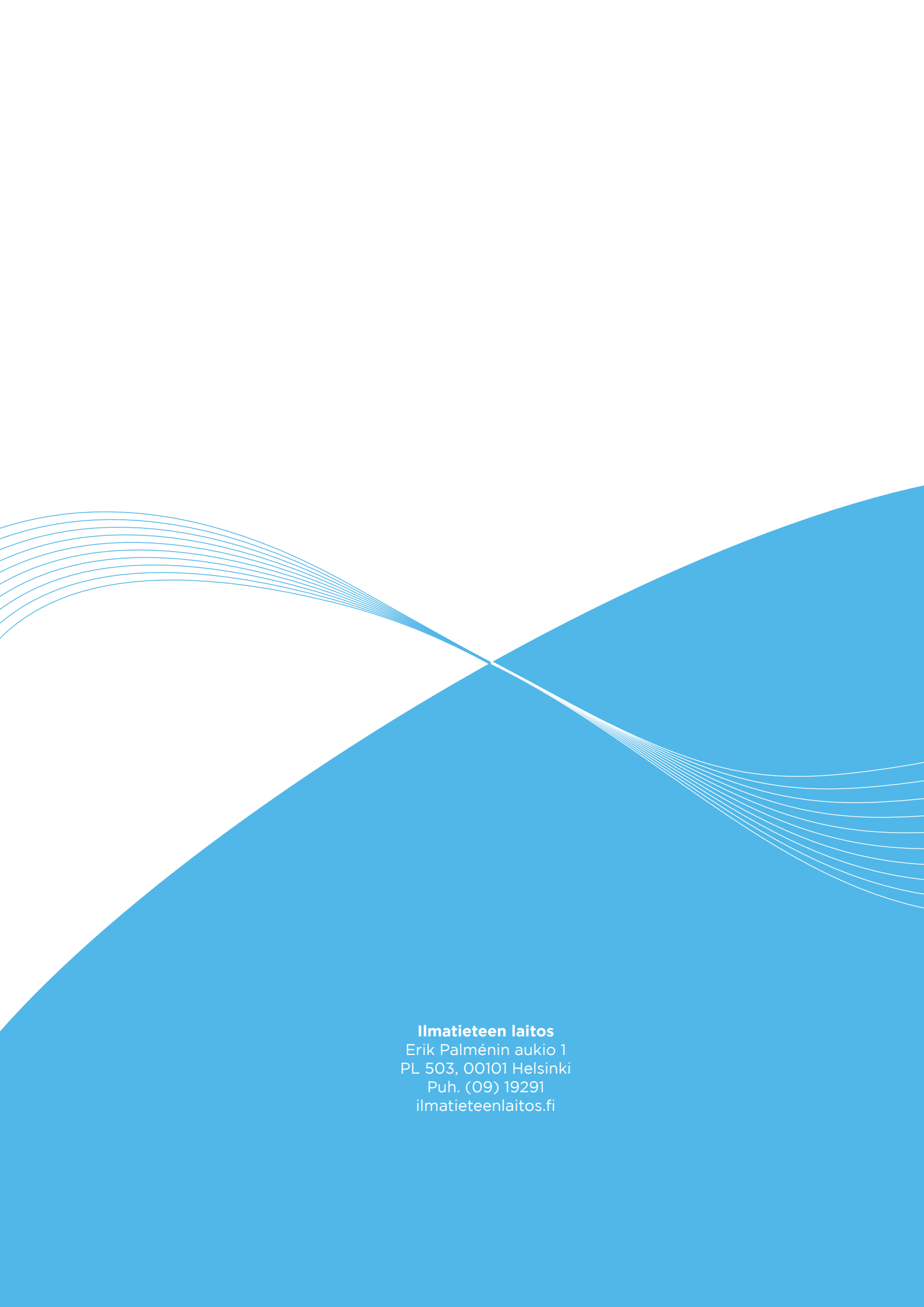
*** Toteamisrajan ja määrittämisrajan väliselle pitoisuusalueelle ei ilmoiteta mittausepävarmuutta

Liitetaulukko 2. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) arseeni- ja metallipitoisuudet (ng/m³) Tornion Keskustan tutkimuspisteen näytteissä vuonna 2011.

Keskusta	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
3.2.2011	70	0.21	0.03	0.13	1.7	11.8	134	3.9	1.9	2.4	1.7	10.5
6.2.2011	140	0.70	0.17	0.29	2.9	39.9	195	12.0	3.9	5.8	5.1	16.9
9.2.2011	76	0.41	0.09	0.12	1.5	7.6	183	4.2	0.9	2.9	1.3	15.4
12.2.2011	25	0.54	0.14	0.08	1.4	12.0	211	2.8	1.5	6.6	1.5	18.9
24.2.2011	121	0.67	0.60	0.46	48.1	4.9	355	15.8	24.8	9.0	9.2	67.7
27.2.2011	45	0.99	0.28	0.15	3.8	1.7	81	4.5	3.1	8.6	2.5	25.7
2.3.2011	18	0.13	0.06	<0.02	0.6	1.3	49	0.9	0.1	0.9	0.1	3.7
5.3.2011	343	0.54	0.04	0.79	11.8	2.8	734	10.7	6.2	1.6	1.2	12.3
8.3.2011	23	0.15	0.02	0.07	1.0	0.9	35	0.9	0.5	0.6	0.3	3.2
17.3.2011	106	0.70	0.18	0.66	20.1	5.0	268	10.8	8.5	8.2	2.1	72.2
20.3.2011	25	0.43	0.11	0.48	7.4	2.1	110	4.4	5.4	3.5	1.6	28.2
26.3.2011	132	0.13	0.02	0.17	2.4	2.9	246	4.0	1.1	0.8	0.5	5.6
29.3.2011	846	1.15	0.19	1.64	42.8	10.3	1539	32.8	10.5	9.6	4.7	101.4
1.4.2011	56	0.38	0.06	1.05	4.8	3.8	168	4.5	4.2	2.1	0.9	20.8
4.4.2011	11	0.62	0.11	0.25	8.1	2.9	99	5.7	5.6	6.4	1.8	37.6
7.4.2011	20	0.24	0.05	0.04	2.4	2.1	78	1.5	1.0	2.5	0.4	12.9
13.4.2011	884	0.31	0.04	1.33	16.2	7.1	1493	21.2	3.9	2.0	4.3	20.5
19.4.2011	768	0.35	<0.02	0.94	10.2	5.8	1278	21.1	3.1	1.4	2.9	13.5
22.4.2011	333	0.30	0.04	0.37	7.6	3.7	477	7.8	2.2	2.3	1.3	19.0
25.4.2011	474	1.04	0.21	0.61	12.4	7.0	786	12.1	2.6	5.1	2.2	53.5
1.8.2011	121	0.12	<0.02	0.16	8.3	3.6	242	4.9	2.8	1.7	0.5	14.2
4.8.2011	173	0.14	<0.02	0.19	2.8	1.5	304	5.3	1.2	0.8	0.7	6.5
7.8.2011	47	0.12	<0.02	0.04	0.9	1.3	85	1.2	0.2	0.5	0.2	7.3
10.8.2011	40	0.20	<0.02	0.05	0.9	1.4	72	1.2	0.3	1.2	0.2	5.6
13.8.2011	59	0.49	0.09	0.09	1.6	4.6	172	2.5	0.4	2.1	0.3	13.9
16.8.2011	84	0.16	0.03	0.08	1.9	2.7	193	3.1	0.7	0.6	0.7	7.8
19.8.2011	13	0.10	<0.02	0.02	0.5	1.8	65	0.9	0.2	0.4	0.3	6.0
22.8.2011	26	0.11	0.04	0.04	1.1	1.5	85	1.8	0.3	1.0	0.4	8.2
25.8.2011	64	0.50	0.07	0.16	10.6	4.3	222	5.5	2.8	3.3	1.9	44.7
28.8.2011	100	0.53	0.16	0.14	1.4	2.5	201	5.1	1.2	4.4	1.2	16.9
31.8.2011	61	0.19	<0.02	0.08	0.5	0.9	105	1.9	0.4	0.4	0.2	3.3
3.9.2011	35	0.08	0.03	0.04	<0.20	3.3	126	1.7	0.3	0.9	0.3	6.6
6.9.2011	109	0.24	0.08	0.20	3.9	2.7	275	5.6	2.9	1.8	1.0	14.7
9.9.2011	72	0.28	0.05	0.08	0.9	3.5	198	3.0	0.4	1.5	0.5	7.7
12.9.2011	7	0.26	0.08	0.06	2.5	1.3	55	2.5	2.2	1.6	0.4	28.9
15.9.2011	47	0.23	0.03	0.09	0.5	1.9	92	1.7	1.3	1.0	0.4	4.0
18.9.2011	41	0.42	0.05	0.05	0.5	4.5	172	1.8	0.3	2.2	0.3	13.9
21.9.2011	6	0.08	<0.02	<0.02	0.2	1.9	62	0.8	0.1	0.6	0.1	2.5
24.9.2011	11	0.06	<0.02	0.02	0.3	0.8	33	0.5	0.5	0.3	0.2	1.6
27.9.2011	4	0.16	0.03	0.03	0.5	0.9	36	0.9	0.6	1.0	0.3	6.1

Liitetaulukko 3. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) arseeni- ja metallipitoisuudet (ng/m³) Tornion Näätsaaren tutkimuspisteen näytteissä vuonna 2011.

Näätsaari	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
3.2.2011	84	0.37	0.04	0.18	1.4	2.4	196	12.1	3.1	3.5	3.7	11.2
6.2.2011	83	0.86	0.17	0.13	1.0	0.9	154	4.6	1.0	7.2	1.6	17.9
9.2.2011	31	1.02	0.32	0.11	1.0	6.0	84	2.0	3.4	4.8	2.1	50.3
12.2.2011	46	0.93	0.25	0.08	0.9	1.9	66	3.3	1.1	4.2	1.8	40.8
15.2.2011	149	0.85	0.78	2.34	3.6	57.8	263	7.0	4.2	15.3	3.2	83.8
18.2.2011	119	1.36	0.42	0.52	2.4	4.2	312	9.9	2.7	9.7	3.0	67.1
21.2.2011	13	0.32	0.09	0.07	3.8	0.9	74	4.2	1.9	2.6	0.8	45.7
24.2.2011	9	0.15	0.02	0.07	0.7	0.7	17	0.7	0.3	0.7	0.4	3.0
27.2.2011	37	0.05	<0.02	0.03	0.8	0.4	54	1.1	<0.05	0.5	0.2	3.5
2.3.2011	4	0.16	0.06	<0.02	0.3	0.7	24	0.5	0.1	1.0	0.2	2.0
5.3.2011	45	1.23	0.32	0.17	2.3	1.9	107	4.2	2.4	10.5	3.1	26.5
8.3.2011	136	0.81	0.68	0.23	3.6	3.6	350	11.0	4.9	20.7	11.0	46.8
17.3.2011	59	1.14	0.26	0.76	20.4	4.2	227	15.0	13.0	13.7	2.2	125.0
20.3.2011	33	0.55	0.14	0.45	3.7	1.1	110	5.9	2.6	5.2	1.9	41.5
26.3.2011	61	0.20	0.03	0.06	0.2	1.2	107	2.3	0.2	0.8	0.3	4.6
29.3.2011	428	1.41	0.15	0.94	16.5	4.6	583	16.2	5.8	5.9	2.2	59.0
1.4.2011	78	0.93	0.13	1.46	8.4	2.7	209	6.8	8.1	4.1	1.6	38.9
4.4.2011	11	0.51	0.11	0.17	3.3	1.0	56	5.2	3.1	5.7	1.7	27.8
7.4.2011	7	0.19	0.05	0.05	0.3	0.7	47	3.6	0.5	1.1	0.4	8.4
13.4.2011	213	0.16	0.03	0.57	1.9	1.5	258	4.7	1.1	1.1	1.0	7.6
19.4.2011	216	0.09	<0.02	0.18	1.1	1.4	227	3.4	0.4	0.4	0.6	3.7
22.4.2011	137	0.16	0.02	0.15	2.0	1.1	160	3.7	0.9	1.5	0.6	16.7
25.4.2011	201	1.00	0.28	0.32	2.9	2.4	315	5.9	1.3	5.4	1.3	65.2
1.8.2011	26	0.07	<0.02	0.05	1.5	0.9	56	2.8	0.8	0.6	0.2	5.9
4.8.2011	30	0.11	<0.02	0.03	<0.2	0.7	60	1.2	0.3	0.2	0.2	4.1
7.8.2011	29	0.14	<0.02	0.03	<0.2	0.7	66	1.2	<0.05	0.8	0.2	11.2
10.8.2011	25	0.24	0.02	0.04	<0.2	0.8	56	2.3	0.2	1.0	0.2	7.7
13.8.2011	16	0.66	0.10	0.05	1.4	2.3	49	2.2	0.4	1.8	0.2	9.7
16.8.2011	118	0.21	0.55	0.34	20.9	4.5	587	31.2	15.1	7.7	1.4	79.1
19.8.2011	11	0.11	<0.02	<0.02	0.7	0.6	42	6.3	0.4	0.4	0.5	1.8
22.8.2011	20	0.14	0.04	0.03	1.5	0.6	70	2.1	0.2	1.0	0.4	6.2
25.8.2011	38	0.46	0.09	0.13	8.3	1.9	131	5.3	2.5	2.8	1.4	23.7
28.8.2011	127	0.68	0.19	0.19	3.2	2.1	235	7.3	2.0	5.3	1.6	21.1
31.8.2011	13	0.24	<0.02	<0.02	<0.2	0.5	36	0.8	<0.05	0.5	0.1	2.6
3.9.2011	7	0.22	0.02	<0.02	<0.2	0.5	20	1.1	0.1	0.5	0.4	3.6
6.9.2011	30	0.44	0.10	0.17	7.3	2.4	107	5.4	5.1	1.9	0.8	19.5
9.9.2011	47	1.13	0.08	0.06	0.9	1.4	131	9.5	0.6	1.9	0.8	15.0
12.9.2011	6	0.33	0.12	0.10	3.3	1.4	47	3.7	3.5	2.3	0.4	49.5
18.9.2011	23	0.13	0.02	0.02	<0.2	1.2	55	1.0	<0.05	0.5	0.2	6.6
21.9.2011	4	0.09	<0.02	0.05	1.5	0.5	69	5.1	1.6	0.4	1.6	3.5
24.9.2011	15	0.23	0.04	0.02	2.2	0.7	38	1.9	0.7	1.3	0.6	10.1
27.9.2011	7	0.10	<0.02	<0.02	0.8	0.6	18	0.5	0.6	0.8	0.2	3.3

The background of the page features a large, solid blue area at the bottom, which transitions into a white area at the top. A series of thin, blue, wavy lines curve across the middle of the page, creating a sense of movement and flow. These lines start from the left, curve upwards and to the right, then curve downwards and to the left, and finally curve upwards and to the right again, ending near the top right corner.

Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1
PL 503, 00101 Helsinki
Puh. (09) 19291
ilmatieteenlaitos.fi