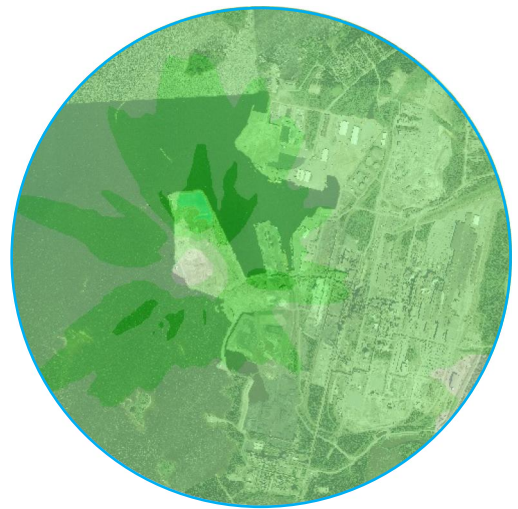




ILMANLAATUSELVITYS

RAAHEN MUSTAVAARAN KAIVOS OY:N METALLITUOTETEHTAAN PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLISELVITYS



ILMANLAATUSELVITYS

**RAAHEN MUSTAVAARAN KAIVOS OY:N METALLITUOTETEHTAAN
PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLISELVITYS**

**Jenni Latikka
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA
Helsinki 21.6.2016**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA	3
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät	3
2.2	Rikkidioksidi	4
2.3	Typpidioksidi	4
2.4	Hiukkaset	5
2.5	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot	6
3	MENETELMÄT	8
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus	8
3.2	Leviämismallilaskelmien lähtötiedot	10
4	TULOKSET	13
4.1	Rikkidioksidipitoisuudet	14
4.2	Typpidioksidipitoisuudet	15
4.3	Hiukkaspitoisuudet	16
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	18
6	VIITELUETTELO	19
	LIITTEET	20

1 JOHDANTO

Tässä työssä selvitettiin Mustavaaran Kaivos Oy:n suunnitteilla olevan metallituote-
tehtaan päästöjen aiheuttamia ilman epäpuhtauspitoisuuksia laitoksen ympäristös-
sä Raahessa. Leviämismallilaskelmat tehtiin laitoksen rikkidioksidi-, typenoksidi- ja
hiukkaspäästöille. Leviämismallilaskelmien tuloksena saatiin pitoisuudet tutkimus-
alueelle maanpinnan tasolla ja niitä verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

Työn tilasi Pöyry Finland Oy. Leviämismallilaskelmissa tarvittavista päästöihin ja
tekniisiin tietoihin liittyvistä lähtötiedoista vastasi työn tilaaja. Leviämismallilaskelmat
tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

2 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilmansaasteiden suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat
liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu
Suomeen myös kaukokulkeutena maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden
päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan
rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja
ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmamasso-
jen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat
reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen
uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälas-
keuma), kuivalaskeutena erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimassa osassa,
rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta
varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen
korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus
määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen
tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta
rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittä-
västi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumi-
sen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen
suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuus-
della tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen jonka
määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi
eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

Ilmakehän stabiiliustilanteista erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi
paikallisesti huonontua nopeasti. Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän
lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen
lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan
lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan
yläpuolelleen olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike

estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikeneruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Rikkidioksidi

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena taajama-alueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti häiriöpäästötilanteissa. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet noin 1–2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3 Typpidioksidi

Typhen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typhen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO_2). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi. Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidille herkimpiä väestöryhmiä ovat lapset ja astmaatikot, joiden hengitysoireita kohonneet pitoisuudet voivat lisätä suhteellisen nopeasti. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmaatikolle, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta ja yskää.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 20–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuusilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014a). Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa (Ilmanlaatuportaali, 2015). Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (ns. resuspensio) eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös ihmisperäiset suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja.

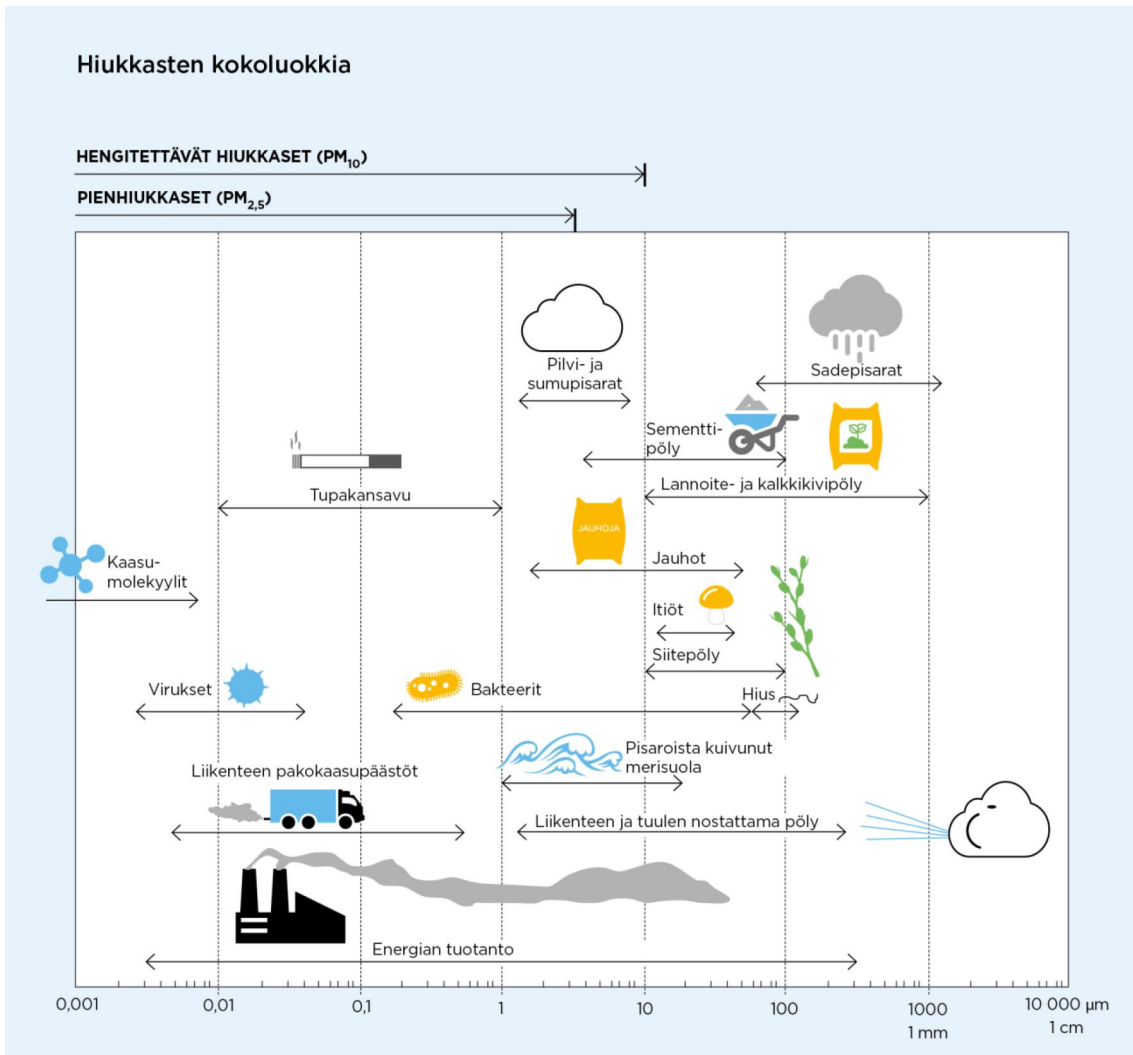
Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettäville hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitus-hiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Pienhiukkaspitoisuudelle on annettu vuosiraja-arvo. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 1.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskus-toissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhuhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettäville hiukkasille annettu vuorokausiohje-arvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa samoin kuin vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla kullakin asemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa (viimeisin raja-arvon ylitys oli vuonna 2006). Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on alittunut Suomessa. Pääkaupunkiseudulla mitatut hengitettävät hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet suurimmillaan tasoa $25\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014a). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pienhiukkaspitoisuuden ($PM_{2,5}$) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin $12\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaseututausta-

alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin $7\text{--}10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, Keski-Suomessa noin $4\text{--}7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin $3\text{--}4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkitausta-alueilla noin $1\text{--}2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (Alaviipola ja Pietarila, 2011).



Kuva 1. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. $1\ \mu\text{m}$ on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa

2.5 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi

teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 1 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi on rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksille annettu kriittinen taso $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja typen oksidien (NO_x) vuosikeskiarvopitoisuuksille kriittinen taso $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Näitä tasoja sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla alueilla, kuten luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla ja laajoilla maa- ja metsätalousalueilla.

Taulukko 1. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 38/2011).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350 ¹⁾	24
	24 tuntia	125 ¹⁾	3
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50 ²⁾	35
	kalenterivuosi	40 ²⁾	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 ²⁾	–

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ennakolta ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin, pelkistyneiden rikkidihydroksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (Vnp 480/1996).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Rikkidioksidi (SO_2)	250	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Typpidioksidi (NO_2)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

3 MENETELMÄT

3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

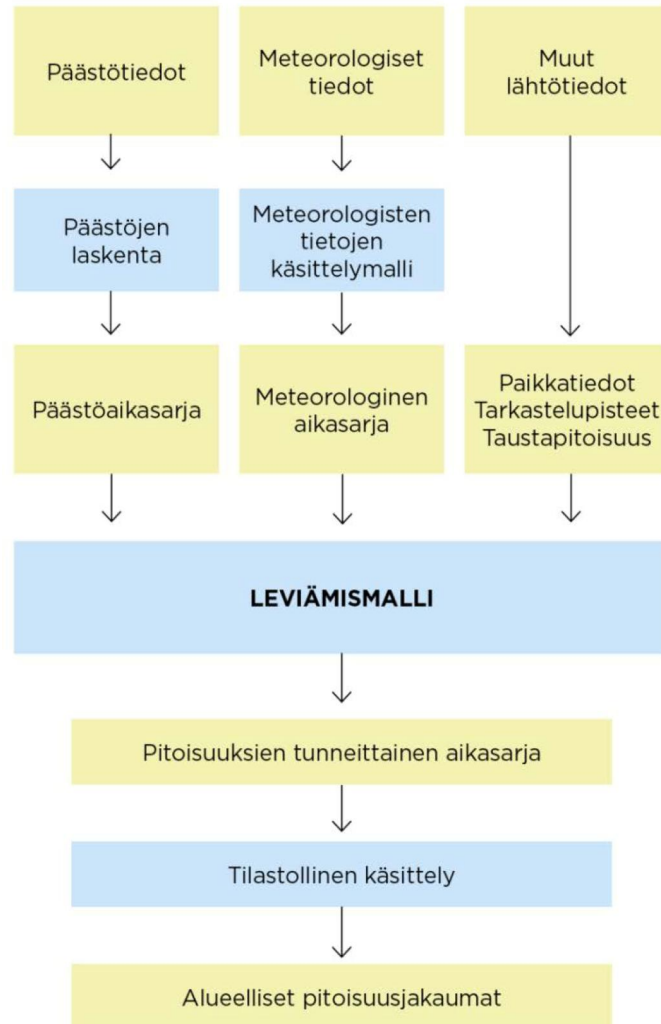
Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeumana sekä ilman epäpuhtauspitoisuuksien muodostumista. Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja laitoksen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun sekä ilman-suojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä ilman epäpuhtauksista aiheutuvan väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa hyvin yhteensopiviksi. Leviämismalleilla saatujen tulosten on osoitettu täyttävän hyvin ilmanlaatuasetuksessa (Vna 38/2001) annetut laatutavoitteet mallintamiselle sallituista epävarmuuksista.

Nykyisissä Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä epäpuhtauksien poistumamekanismeja. Malleihin sisältyy laskentamenetelmä typenoksidien kemialliselle muutunnalle. Autoliikenteen ja energiantuotannon typenoksidipäästöt koostuvat typpidioksidista sekä typpimonoksidista, jota on valtaosa päästöistä. Osa typpimonoksidista hapettuu ilmassa terveydelle haitallisemmaksi typpidioksidiksi.

Tässä selvityksessä käytetyillä leviämismalleilla voidaan arvioida ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja hajujen esiintymistä päästölähteen lähialueilla. Kaupunkimalia UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling system) käytetään pistemäisten päästö-

lähteiden (esim. piippujen) ilmanlaatuvaikutusten arviointiin. Kaavio leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin, kaupunkimallin UDM-FMI toiminnasta.

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mitaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja epäpuhtauksien taustapitoisuuksista. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja laadusta sekä päästölähteiden sijainnista. Piste-mäisten lähteiden päästöjen laskennassa huomioidaan lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitoksen tekniset tiedot. Leviämlaskelmia varten muodostetaan kaikille päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (1–3 vuotta, 8 760–26 280 tuntia) laskettu päästömäärä erikseen eri ilman epäpuhtauksille.

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinhavaintojen ja

fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan epäpuhtauksien leviämismallilaskelmissa. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuoden-aikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Laskelmissa käytetään yleensä 1–3 vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valitaan tutkimusaluetta lähimpänä sijaitsevat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia suureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Leviämismallit laskevat epäpuhtauspitoisuuksia tarkastelujakson jokaiselle tunnille laskentapisteikköön, joka muodostetaan kullekin tutkimusalueelle sopivaksi. Laskentapisteitä on yleensä useita tuhansia ja niiden etäisyys toisistaan vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin riippuen tutkimusalueen koosta ja tarkasteltavista kohteista. Mallin tuottamasta pitoisuusaikasarjasta laskeaan tilastollisia ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

Leviämismallilaskelmilla saatavien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat malliin syötettävät lähtötiedot sekä itse mallin toiminta. Mallilaskelmilla kuvataan ilmiöiden tavanomaista kehittymistä pitkällä aikavälillä yksinkertaistaen jossain määrin todellisuutta. Malliin sisältyy oletuksia ja yksinkertaistuksia, jotka ovat välttämättömiä mallin toiminnan ja lähtötietojen puutteellisen saatavuuden vuoksi. Vuosikeskiarvopitoisuudet edustavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla ja vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin korkeimmat hetkelliset pitoisuudet.

Yleensä leviämismallilaskelmien tuloksiin liittyy epävarmuutta sitä enemmän mitä lyhyemmän jakson pitoisuusarvoista on kyse. Näin ollen ilmanlaatuvaikutuksia arvioitaessa on suositeltavaa tarkastella vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjearvoon verrannollisia pitoisuustasoja. Mallitulosten epävarmuuden pienentämiseksi laskennassa tarkastellaan pitkää kolmen vuoden aikasarjaa (yli 26 000 tarkastelutuntia), jolloin tilastolliset raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ovat mahdollisimman edustavia.

3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot

Tässä tutkimuksessa laskettiin Mustavaaran Kaivos Oy:n Raaheen suunnitteilla olevan metallituotetehtaan päästöjen aiheuttamia ilman epäpuhtauspitoisuuksia laitoksen ympäristössä. Leviämislaskelmat tehtiin tehtaan rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille normaalipäästötarkasteluna, jolla pyritään kuvaamaan laitoksen ilmanlaatuvaikutuksia normaalitoiminnassa.

Mallilaskelmissa huomioitiin seuraavat päästölähteet: materiaalin käsittely, sulatuspelkistys, selektiivinen hapetus, rikin ja fosforin poisto, pasutus, liuotus ja saostus

sekä alumiiniterminen prosessi. Lähteistä materiaalin käsittely tuotti ainoastaan hiukkaspäästöjä, kun taas rikin ja fosforin poisto tuotti rikkidioksidia ja typenoksideja. Muut mallinnetut lähteet tuottivat kaikkia kolmea mallinnettua epäpuhtautta taulukon 3 mukaisesti. Laitoksen käyntiaika oli 90 % vuodesta lukuun ottamatta selektiivistä hapetusta joka oli 45 %. Työssä käytetyt päästölähteet ja -määrät ovat asiakkaan toimittamat. Laitoksen mallinnuksessa huomioitiin +/- 20 % päästövaihtelu. Päästölähteiden sijainnit kartalla on esitetty kuvassa 3 ja tekniset tiedot taulukossa 4.

Taulukko 3. Mustavaaran Kaivos Oy:n Raahen metallituotetehtaan leviämislaskelmissa huomioitujen päästölähteiden kokonaispäästömäärät.

Päästö	Lähde	SO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	PM (t/a)
Materiaalin käsittely	1	0	0	1,6
Sulatus-pelkistys	2	14	5,7	1,7
Selektiivinen hapetus	3	145	72	7,3
Rikin ja fosforin poisto	4	0,5	0,3	0
Pasutus	5	4,3	2,2	0,3
Liuotus ja saostus	6	19,5	10	0,9
Alumiiniterminen prosessi	7	24	12	1
Yhteensä		207,3	102,2	12,8



Kuva 3. Mallinnuksessa huomioituiden Mustavaaran Kaivoksen metallituotetehtaan päästölähteet. Pohjakartta: Maanmittauslaitos

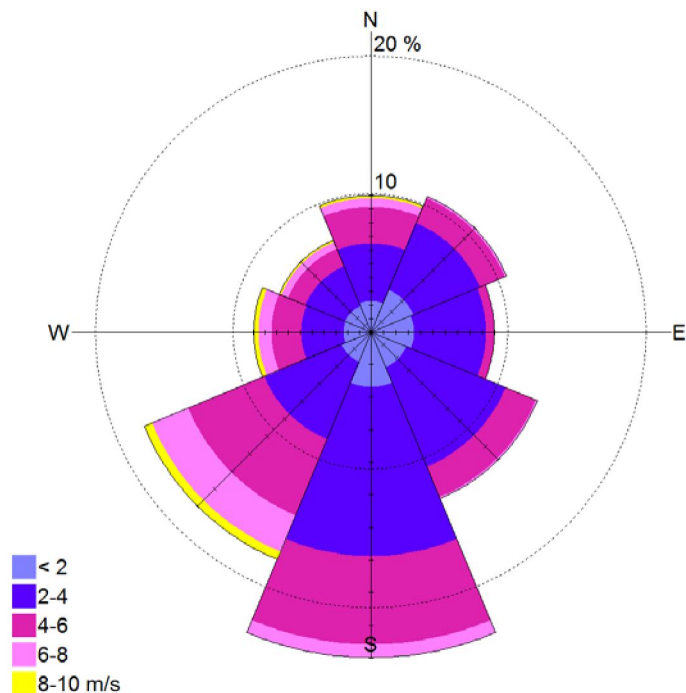
Taulukko 4. Mustavaaran Kaivos Oy:n Raahen metallituotetehtaan leviämislaskelmissa huomioitujen päästölähteiden tekniset tiedot.

Päästö	Piipun korkeus (m)	Piipun halkaisija (m)	Savukaasun lämpötila (°C)	Savukaasuvirtaus (Nm ³ /s)
Materiaalin käsittely	20	1,35	120	28
Sulatus-pelkistys	61	1	120	1,69
Selektiivinen hapetus	61	6,5	120	19,73
Rikin ja fosforin poisto	30	1	120	0,09
Pasutus	30	1	120	0,65
Liutos ja saostus	50	1	120	2,91
Alumiiniterminen prosessi	50	1	120	4,17

Tutkimusalue oli kooltaan 10 × 10 km. Tehtaan päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin laskentapisteköön maan pinnan korkeudelle. Laskentapistekö sisälsi noin 35 000 laskentapistettä. Laskentapistekössä pisteiden välisiä etäisyyksiä on tihennetty pitoisuuksien muodostumisen kannalta merkittävimmällä alueella eli päästölähteiden lähiympäristössä. Laskentapistekön pisteet olivat tiheimmillään 20 metrin etäisyydellä toisistaan ja harvimmillaan 200 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimusalueiden maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteeissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeusmallin mukaisesti. Suunniteltu tehdas sijaitsee täyttömaalla, jonka korkeutena on mallilaskelmissa käytetty + 4 mmpy.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Raahen Lapaluodon sataman, Oulunsalon Pellonpään ja Sotkamon sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2013–2015. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisen observatorion radioluotaushavaintoja. Kuvassa 4 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliruusun muodossa. Etelä-, kaakkois- ja lounaistuulet ovat tutkimusalueella vallitsevia ja vähiten esiintyviä luoteistuulia.

Leviämisen aikana tapahtuvan typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin Ilmatieteen laitoksen Ähtärin taustailmanlaadun mittausasemalta saatuja otsonin pitoisuuksia vuosilta 2013–2015. Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan otsonipitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmanlaatuportaali, 2016*).



Kuva 4. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2013–2015, Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

4 TULOKSET

Leviämismallilaskelmien pitoisuustulokset esitetään taulukkoina, kuvaajina ja karttakuvina. Aluejakaumakuvissa on esitetty laskentapisteittäisistä keskiarvoista samanarvonviivoin muodostetut korkeimpien pitoisuuksien alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tulostusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta vaan ne kuvaavat eri päivinä ja eri tunteina esiintyvien, raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien maksimitasoa tutkimusalueen eri osissa. Suurimman osan ajasta pitoisuudet ovat kaikissa laskentapisteissä selvästi pienempiä kuin aluejakaumakuvissa esitetyt korkeimmat arvot. Lisäksi suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat jatkuvasti merkittävästi pienempiä kuin niissä kohteissa, joissa maksimiarvot esiintyvät.

Pitoisuuksien aluejakaumissa esiintyy kohonneiden pitoisuuksien kielekkeitä, joiden sijaintiin vaikuttaa varsinkin tuulen pysyvyys pitkällä tarkastelujaksolla tietyssä ilmansuunnassa. Maanpinnan muodot voivat aiheuttaa aluejakaumiin erillisiä suppeita alueita, joissa pitoisuudet ovat joko korkeampia tai matalampia kuin lähiympäristössään. Pistemäisten päästölähteiden välittömään läheisyyteen muodostuu usein ns. katvealue, jolla pitoisuudet ovat minimissään ja kasvavat lyhyellä etäisyydellä nopeasti. Tällaisten aivan päästölähteen ympärille muodostuvien, muita arvoja matalampien pitoisuuksien alueiden laajuuteen vaikuttavat piipun korkeus ja poistokaasujen nousulisä. Nousulisää aiheuttavat poistokaasujen nousunopeus piipussa sekä ulkolämpötilan ja poistokaasujen lämpötilan välinen ero.

4.1 Rikkidioksidipitoisuudet

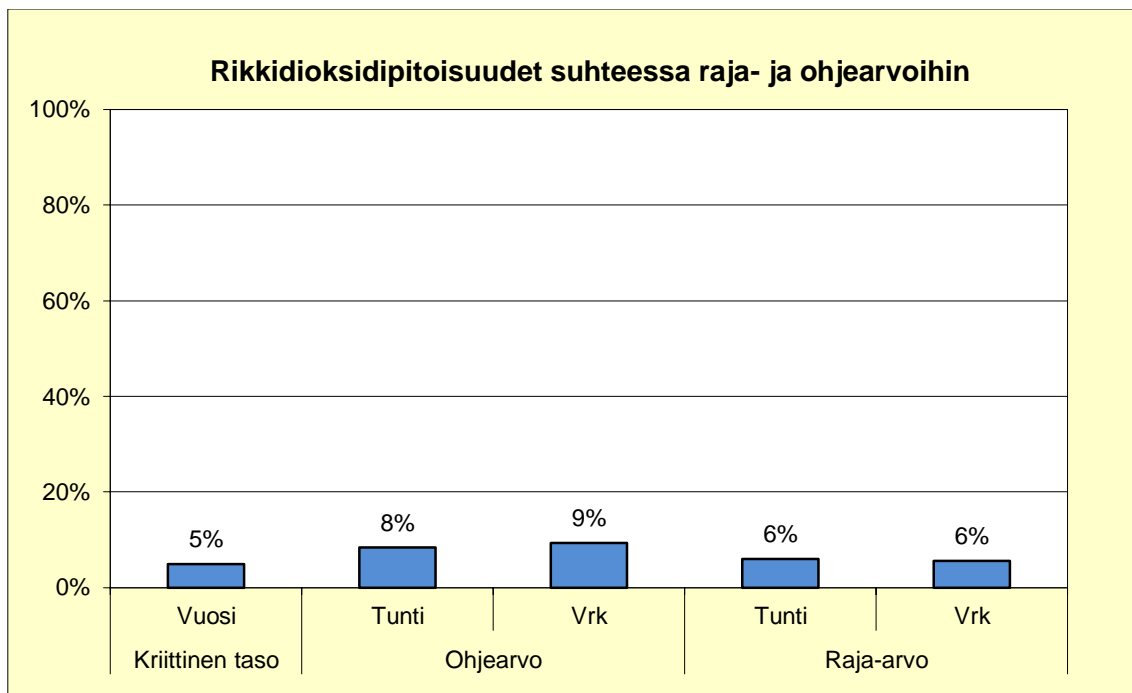
Leviämislaskelmien tuloksina saadut Raaheen suunnitellun Mustavaaran Kaivos Oy:n metallituotetehtaan päästöjen aiheuttamat ulkoilman rikkidioksidipitoisuuksien korkeimmat arvot tutkimusalueella on esitetty taulukossa 4 ja raportin lopussa liitekuviissa 1–2.

Taulukko 4. Leviämismallilaskelmilla saadut Raaheen suunnitellun metallituotetehtaan rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat ulkoilman rikkidioksidipitoisuuksien maksimiarvot maanpintatasossa.

Rikkidioksidi	Ilmanlaatu­normi	Vertailuarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ - pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Korkein vuosikeskiarvo	kriittinen taso	20	1,0
Korkein vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus	ohjearvo	80	7,4
Korkein vrk-raja-arvoon verrannollinen pitoisuus	raja-arvo	125	7,2
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	ohjearvo	250	20,8
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	raja-arvo	350	20,8

Suunnitellun tehtaan aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet olivat työssä mallinnetuista epäpuhtauksista korkeimmat suhteessa voimassa oleviin ohje- ja raja-arvoihin. Vuosikeskiarvopitoisuudet olivat korkeimmillaan 5 % kriittisestä tasosta, joka on annettu kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi Mallinnettujen päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet olivat suurimmillaan noin 10 % maassamme voimassa olevista ilmanlaadun ohjearvoista ja 6 % raja-arvoista. Korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin on esitetty kuvassa 5.

Korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet muodostuivat suunnitellun tehdasalueen pohjois- ja koillispuolelle (liite 1–2). Keskimääräisestä tuulen suuntajakaumasta johtuen suurimmat vuosikeskiarvopitoisuudet muodostuivat pääasiassa tehdasalueen pohjoispuolelle täyttömaa-alueelle ja merelle.



Kuva 5. Leviämismallilla laskettujen ulkoilman korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun terveysvaikutusperusteisiin raja- ja ohjearvoihin. Kuvassa y- akselin 100 % kuvaa ohje- tai raja-arvotasoa, johon pitoisuuksia verrataan.

4.2 Typpidioksidipitoisuudet

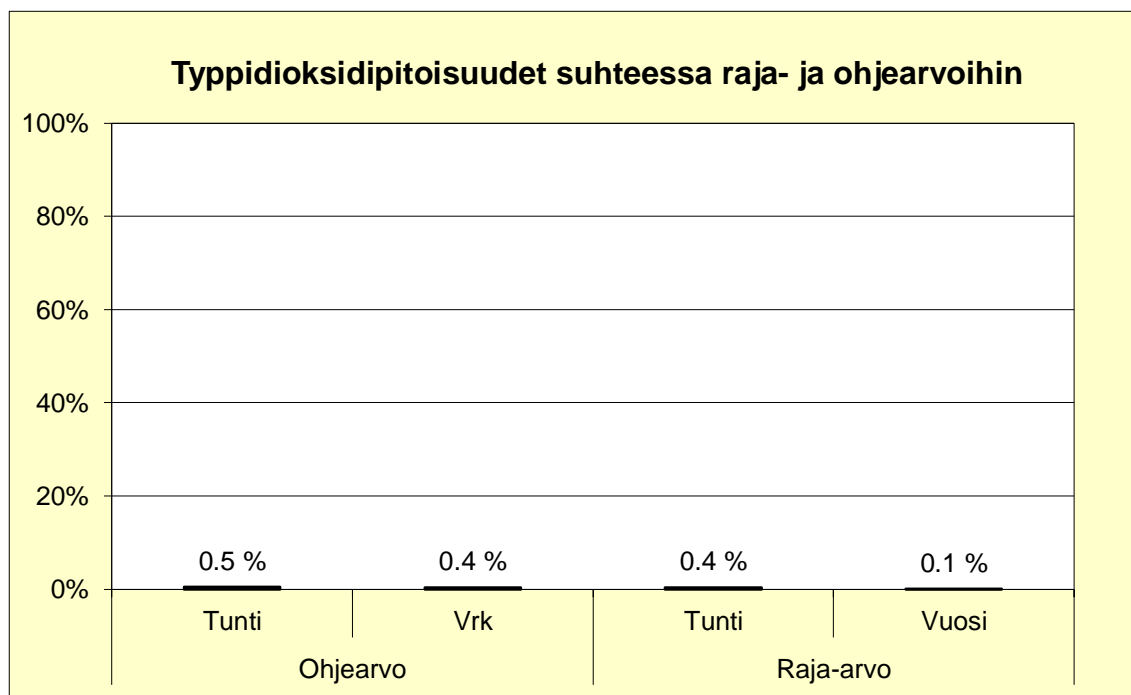
Leviämislaskelmien tuloksina saadut Raahen Mustavaaran Kaivos Oy:n suunnitellun metallituotetehtaan päästöjen aiheuttamat ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien korkeimmat arvot tutkimusalueella on esitetty taulukossa 5 ja raportin lopussa liitekuviissa 3–5. Laskelmissa on huomioitu typenoksidipäästöjen ilmakemiallinen muutunta kulkeutumisen aikana.

Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saadut Raahen suunnitellun Mustavaaran Kaivos Oy:n metallituotetehtaan typenoksidipäästöjen aiheuttamat ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien maksimiarvot maanpintatasossa.

Typpidioksidi	Ilmanlaatu normi	Vertailuarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 -pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Korkein vuosikeskiarvo	raja-arvo	40	0,04
Korkein vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus	ohjearvo	70	0,3
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	ohjearvo	150	0,8
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	raja-arvo	200	0,8

Mallinnettujen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet olivat hyvin pienet, alle 0,5 % Suomessa voimassa oleviin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrattuna. Korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin on esitetty kuvassa 6.

Korkeimmat vuosikeskiarvopitoisuudet muodostuivat tehdasalueen kaakkoispuolelle kohti Lapaluotoa vallitsevista tuulensuunnista johtuen. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollisia korkeimpia pitoisuuksia havaittiin myös muissa ilmansuunnissa, koska lyhytaikaiset maksimipitoisuudet muodostuvat yleensä heikkotuu- lisissa tilanteissa, jolloin vallitsevalla tuulensuunnalla ei ole niin merkittävää vaikutusta. Lisäksi typenoksidien muutunnan vuoksi korkeimmat typpidioksidipitoisuudet muodostuvat vasta etäämmälle päästölähteistä.



Kuva 6. Leviämismallilla laskettujen ulkoilman korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun terveysvaikutusperusteisiin raja- ja ohjearvoihin. Kuvassa y- akselin 100 % kuvaa ohje- tai raja-arvotasoa, johon pitoisuuksia verrataan.

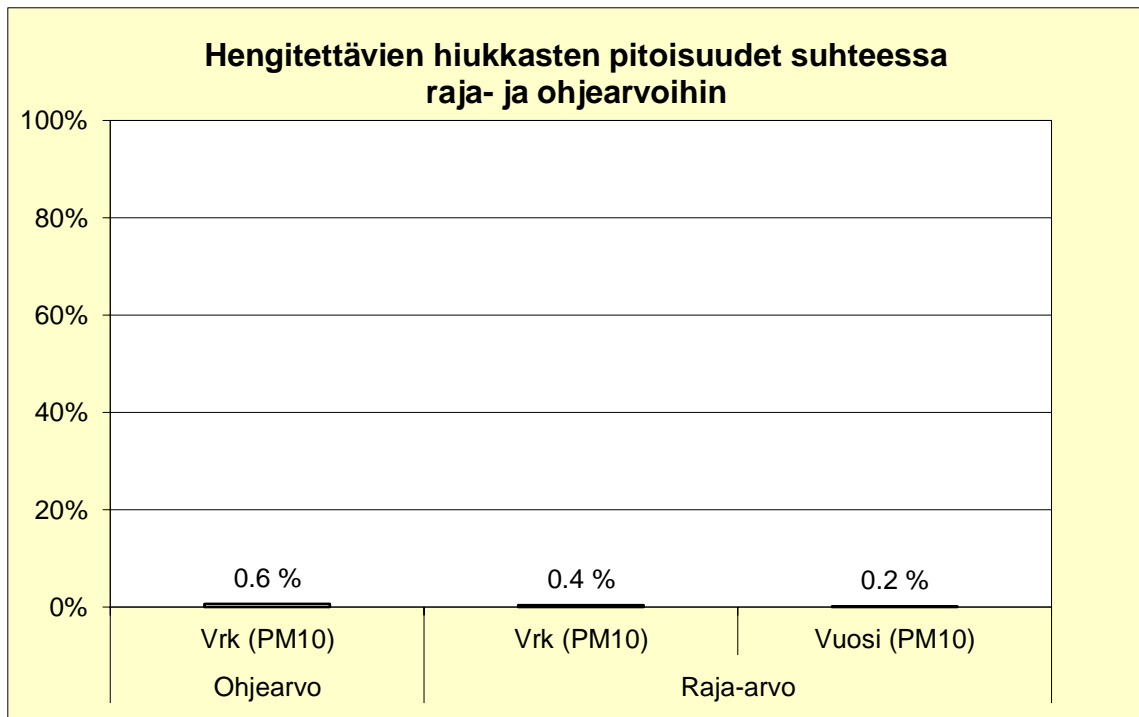
4.3 Hiukkaspitoisuudet

Leviämislaskelmien tuloksina saadut Raahen suunnitellun metallituotetehtaan päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuuksien korkeimmat arvot tutkimusalueella on esitetty taulukossa 6 ja raportin lopussa liitekuvissa 5–7. Hiukkaspäästön on mallilaskelmissa oletettu kokonaisuudessaan olevan hengitettävien hiukkasten kokoluokkaa eli halkaisijaltaan alle 10 µm hiukkasia.

Korkeimmat hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet muodostuivat pääasiassa tehtaan lähialueelle vallitsevien tuulensuuntien mukaisesti. Korkeimmillaan pitoisuudet olivat 0,2 % PM₁₀ vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollisia korkeimpia pitoisuuksia havaittiin myös muissa ilmansuunnissa. Hiukkaspitoisuuksien suhde ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin on esitetty kuvassa 7.

Taulukko 6. Leviämismallilaskelmilla saadut Raahen Mustavaaran Kaivos Oy:n tehtaan hiukkaspäästöjen aiheuttamat ulkoilman hiukkaspitoisuuksien maksimiarvot maanpintatasossa.

Hiukkaset	Ilmanlaatuunormi	Vertailuarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ -pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Korkein vuosikeskiarvo	raja-arvo	40 (PM ₁₀)	0,1
Korkein vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus	ohjearvo	70 (PM ₁₀)	0,5
Korkein vrk-raja-arvoon verrannollinen pitoisuus	raja-arvo	50 (PM ₁₀)	0,2



Kuva 7. Leviämismallilla laskettujen ulkoilman korkeimpien hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien suhde ilmanlaadun terveystaustaperusteisiin raja-, ohje- ja suositusarvoihin. Kuvassa y-akselin 100 % kuvaa ohje- tai raja-arvotasoa, johon pitoisuuksia verrataan.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmilla Mustavaaran Kaivos Oy:n Raaheen suunnitteleman metallituotetehtaan rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia tehdasalueen lähiympäristössä maanpintatasossa. Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä UDM-FMI -leviämismallilla. Mallinnettuja tuloksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Mallilaskelmissa huomioitiin tehtaan normaalitoiminnasta aiheutuvat, seitsemästä erillisestä päästölähteestä vapautuvat päästöt.

Leviämismallilaskelmilla saadut vuosikeskiarvopitoisuudet edustavat laitoksen päästöjen aiheuttamaa vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla. Vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet puolestaan edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin leviämismallilaskelmassa saadut korkeimmat hetkelliset pitoisuudet.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut pitoisuudet alittivat selvästi voimassa olevat ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot koko tutkimusalueella. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut rikkidioksidipitoisuudet olivat 5 % vuosikeskiarvopitoisuudelle annetusta kriittisestä tasosta. Mallilaskelmien tuloksena saadut typpidioksidipitoisuudet olivat 0,1 % ja hiukkaspitoisuudet (PM₁₀) 0,2 % vastaavista vuosikeskiarvopitoisuudelle asetetuista raja-arvoista. Ilman epäpuhtauksien lyhytaikaispitoisuudet olivat korkeimmillaan 9 % rikkidioksidille, 0,5 % typpidioksidille ja 0,6 % hiukkasille annetuista ohje- ja raja-arvoista.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan suunnitellun tehtaan päästöjen aiheuttamat korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet painottuvat pääasiassa tehdasalueen pohjois- ja koillispuolelle, koska alueella vallitsevat tuulensuunnat ovat etelästä, kaakosta ja lounaasta. Korkeita hetkellisiä pitoisuuksia havaitaan kuitenkin myös muissa ilmansuunnissa, koska lyhytaikaiset maksimipitoisuudet muodostuvat yleensä heikottuulisissa tilanteissa, jolloin vallitsevalla tuulensuunnalla ei ole niin merkittävää vaikutusta.

Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi kaavoituksessa ja suunnittelussa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten pitkäaikainen altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilmansaasteiden pitoisuuksille. Terveysperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia, eivätkä saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä.

Nyt tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että Raaheen suunnitteilla olevan metallituotetehtaan rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöt eivät aiheuta terveydellistä riskiä lähialueen asukkaille, sillä terveyden suojelemiseksi annetut ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot alittuvat selvästi. Työssä käytetyt lähtötiedot, kuten piipun halkaisija, poistokaasujen lämpötila ja nousunopeus vaikuttavat kuitenkin päästöjen leviämiseen ja laimenemiseen, joten lähtötietojen muuttuessa merkittävästi on ilmanlaadun leviämismallinnus suositeltavaa päivittää. Leviämislaskelmien tuloksia arvioitaessa on myös otettava huomioon, että tässä työssä ei ole tarkasteltu tehtaan mahdollisia hajapäästöjä, häiriöpäästöjä tai pahinta mahdollista päästötilannetta.

6 VIITELUETTELO

Alaviippola, B. ja Pietarila, H., 2011, Ilmanlaadun arviointi Suomessa, Pienhiukkaset (PM_{2,5}), Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, 48 s. + 13 liites.

Alaviippola, B., Pesonen, R. ja Saari, H., 2012. Ilmanlaatumittaukset Tornion keskustassa ja Näätsaassa. Mittaustulokset jaksolta helmikuu 2011 – helmikuu 2012. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut. 49 s. + 10 liites.

Ilmanlaatuportaali 2016. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaustulokset. www.ilmanlaatu.fi

Karppinen, A, 2001, Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modeling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area, Academic dissertation, Finnish Meteorological Institute, Contributions No, 33, Helsinki.

Komppula, B., Anttila, P., Vestenius, M., Salmi, T. ja Lovén, K., 2014a. Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 123 s. + 47 liites.

Komppula, B., Saari, H. ja Pesonen, R., 2014b. Ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa. Pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet vuonna 2013. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 53 s. + 13 liites.

Laukkanen, E., Hannuniemi, H. ja Lovén, K., 2012. Outokummun Tornion tehtaiden rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämismalliselvitys. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut. 25 s. + 36 liites.

Rantakrans, E, 1990, Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa, Ilmansuojelu-uutiset 1/90, s, 18–20.

Saari, H., Komppula, B. ja Pesonen, 2015. Ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vuonna 2014. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 33 s. + 9 liites.

Vnp 480/96, Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

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

LIITTEET

Liitekuvat

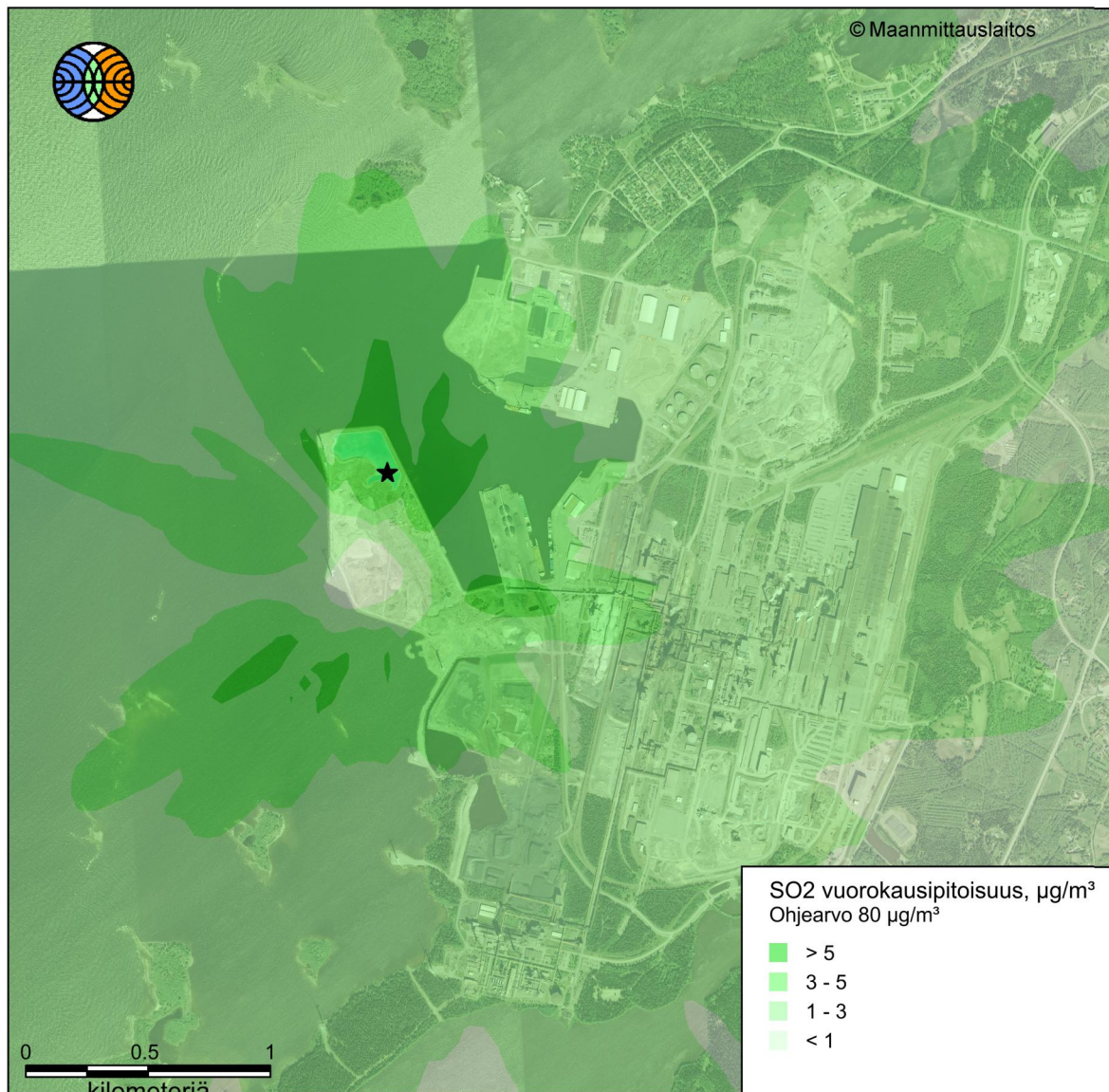
Leviämiskuvissa on esitetty laskentapisteittäisistä keskiarvoista samanarvonviivoin muodostetut korkeimpien pitoisuuksien alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Laskentapiste, johon muodostui koko tutkimusalueen suurin pitoisuus, on esitetty kuvassa valkoisella tähdellä.

Pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tulostusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta vaan ne kuvaavat eri päivinä ja eri tunteina esiintyvien, raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien maksimitasoa tutkimusalueen eri osissa. Suurimman osan ajasta pitoisuudet ovat kaikissa laskentapisteissä selvästi pienempiä kuin aluejakaumakuvissa esitetyt korkeimmat arvot. Lisäksi suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat jatkuvasti merkittävästi pienempiä kuin niissä kohteissa, joissa maksimiarvot esiintyvät.

Pitoisuuksien aluejakaumissa esiintyy kohonneiden pitoisuuksien kielekkeitä, joiden sijaintiin vaikuttaa varsinkin tuulen pysyvyys pitkällä tarkastelujaksolla tietyssä ilmansuunnassa. Maanpinnan muodot voivat aiheuttaa aluejakaumiin erillisiä suppeita alueita, joissa pitoisuudet ovat joko korkeampia tai matalampia kuin lähiympäristössään.

Pistemäisten päästölähteiden välittömään läheisyyteen muodostuu usein ns. katvealue, jolla pitoisuudet ovat minimissään ja kasvavat lyhyellä etäisyydellä nopeasti. Tällaisten aivan päästölähteen ympärille muodostuvien, muita arvoja matalampien pitoisuuksien alueiden laajuuteen vaikuttavat piipun korkeus ja poistokaasujen nousulisä. Nousulisää aiheuttavat poistokaasujen nousunopeus piipussa sekä ulkolämpötilan ja poistokaasujen lämpötilan välinen ero.

Raahe Mustavaara

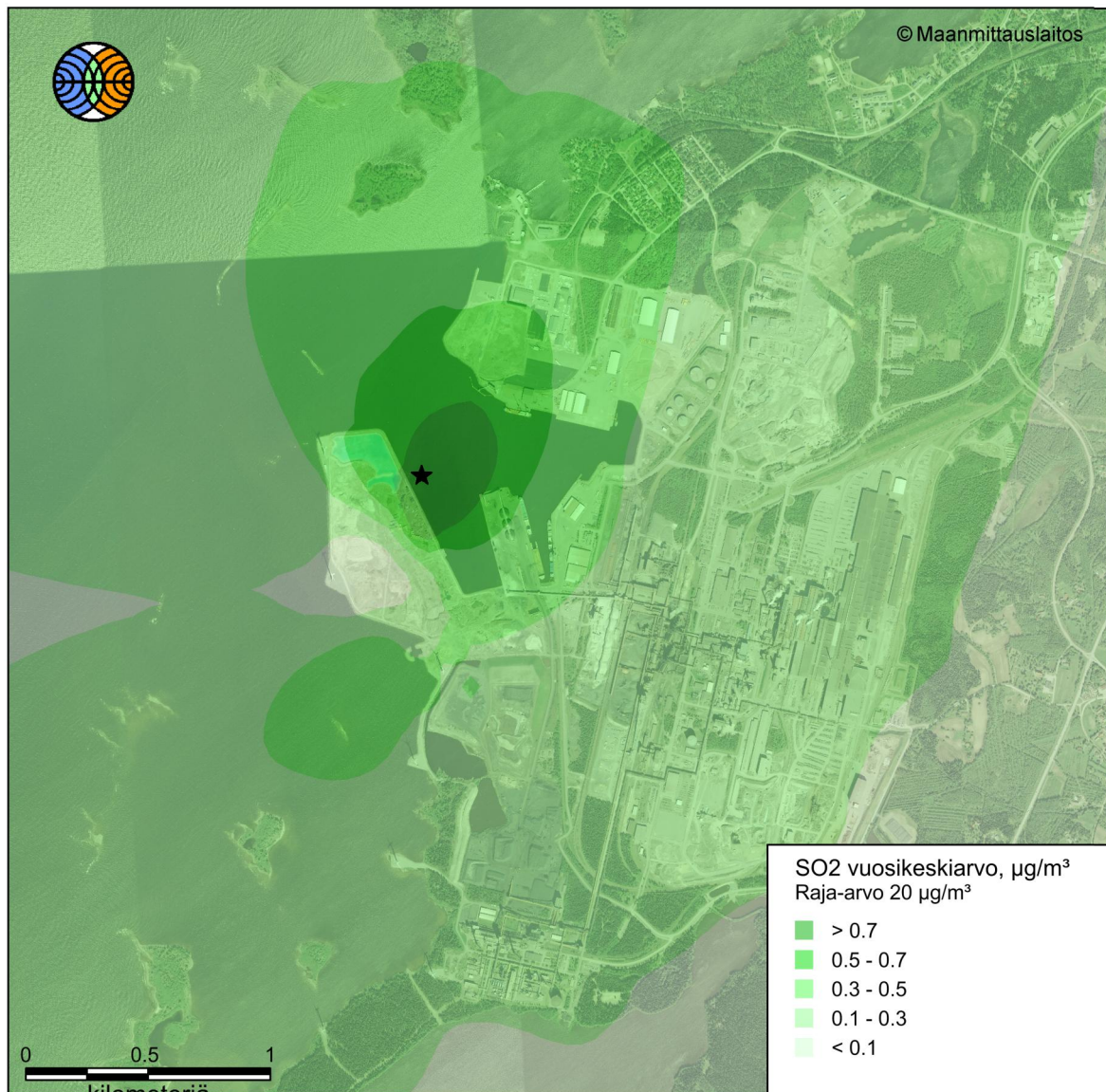


Ilmatieteen laitos 2016

★ = maksimi 7,4 µg/m³

Kuva 1. Rikkidioksidin vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

Raahe Mustavaara

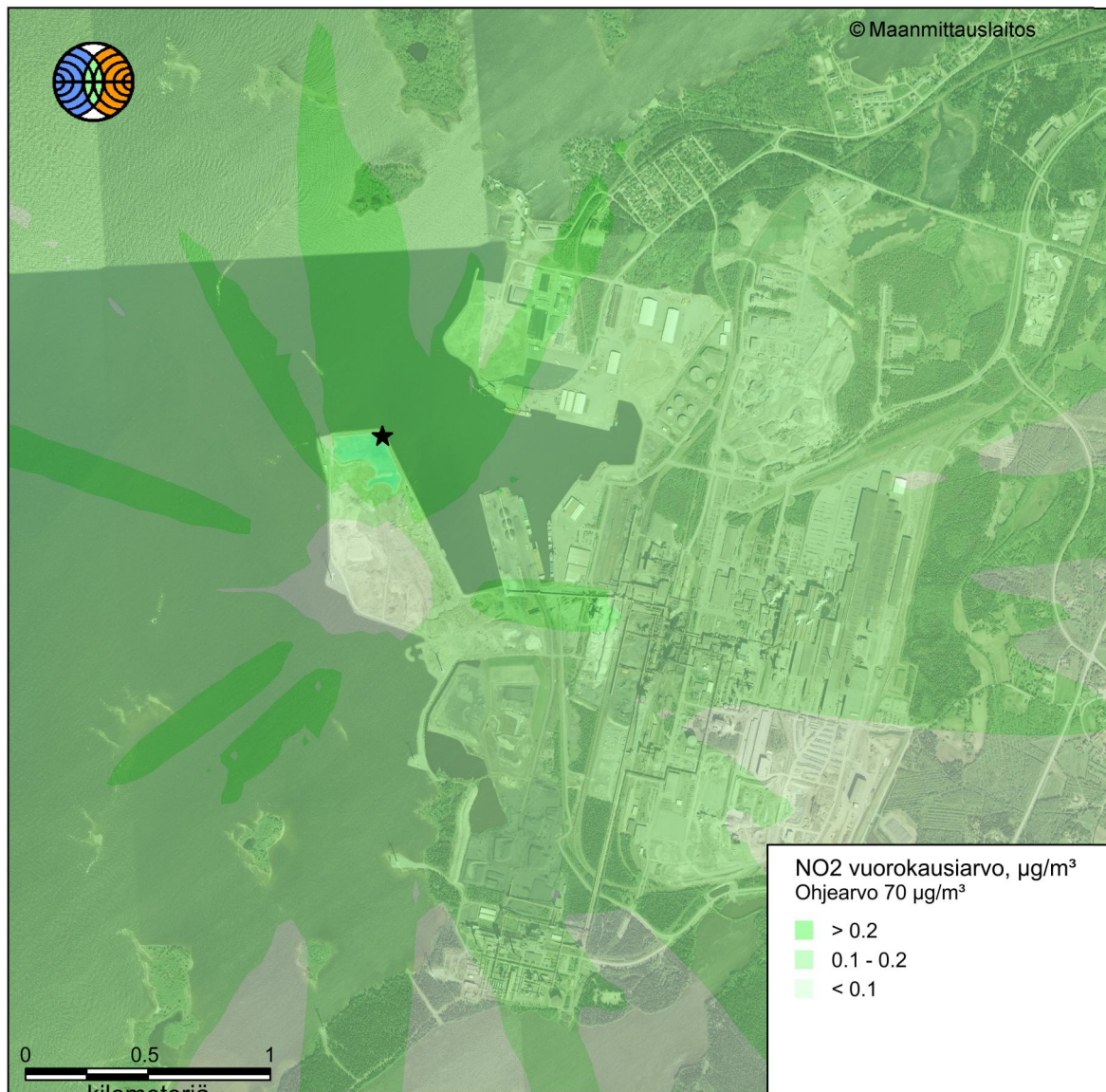


Ilmatieteen laitos 2016

★ = maksimi 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 2. Rikkidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Raahe Mustavaara

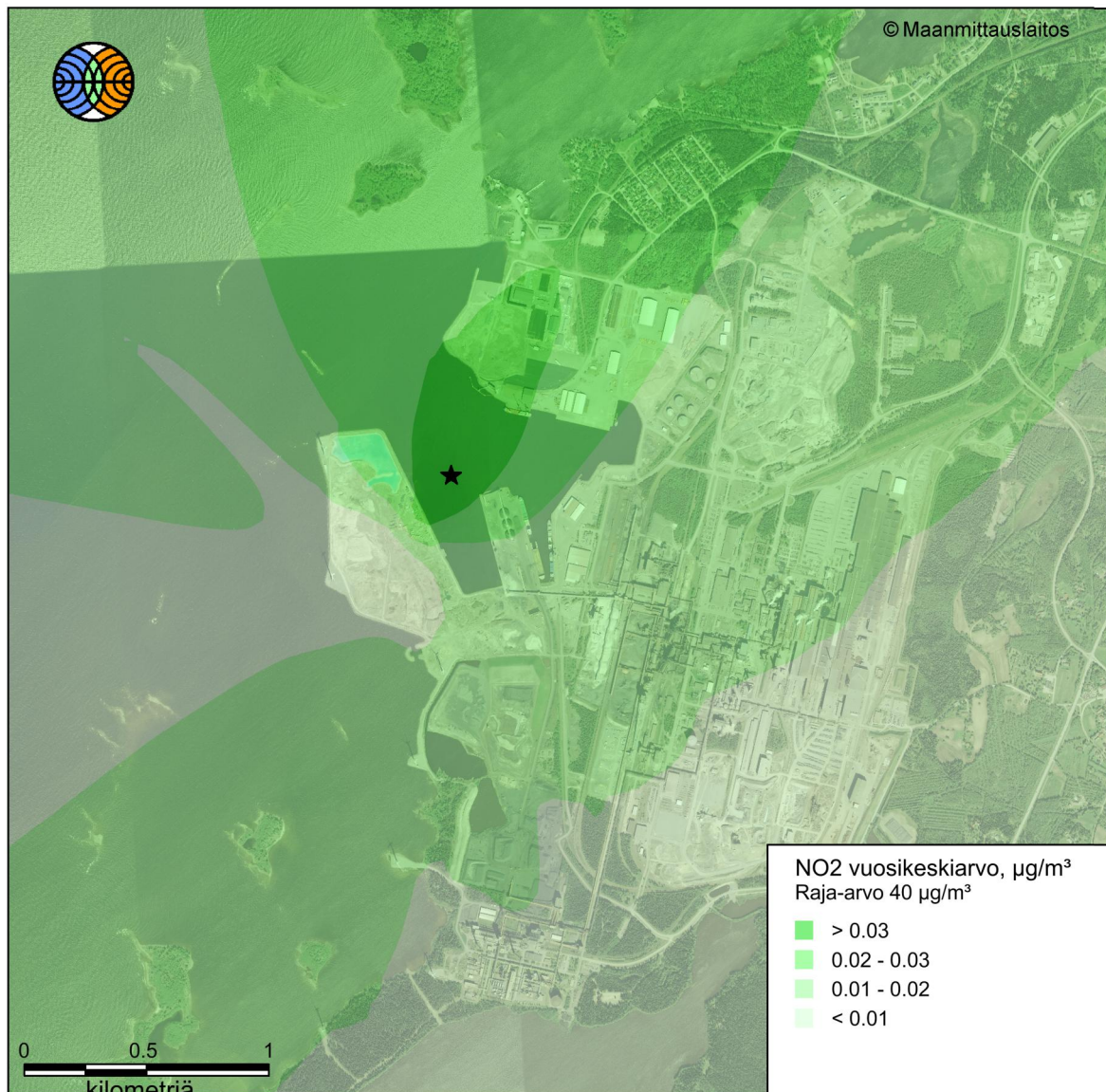


Ilmatieteen laitos 2016

★ = maksimi 0,3 µg/m³

Kuva 3. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

Raahe Mustavaara

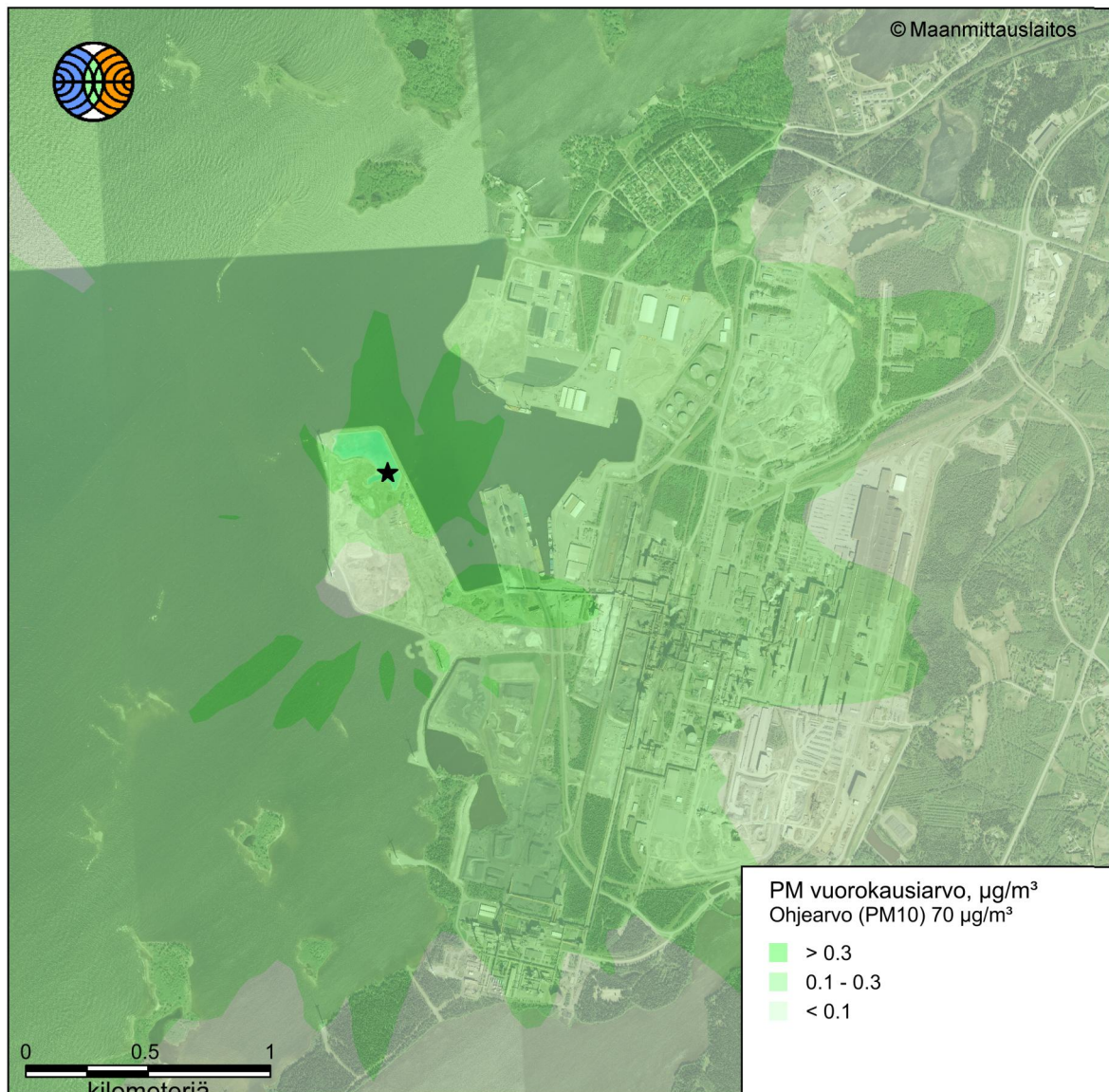


Ilmatieteen laitos 2016

★ = maksimi 0,04 µg/m³

Kuva 4. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

Raahe Mustavaara

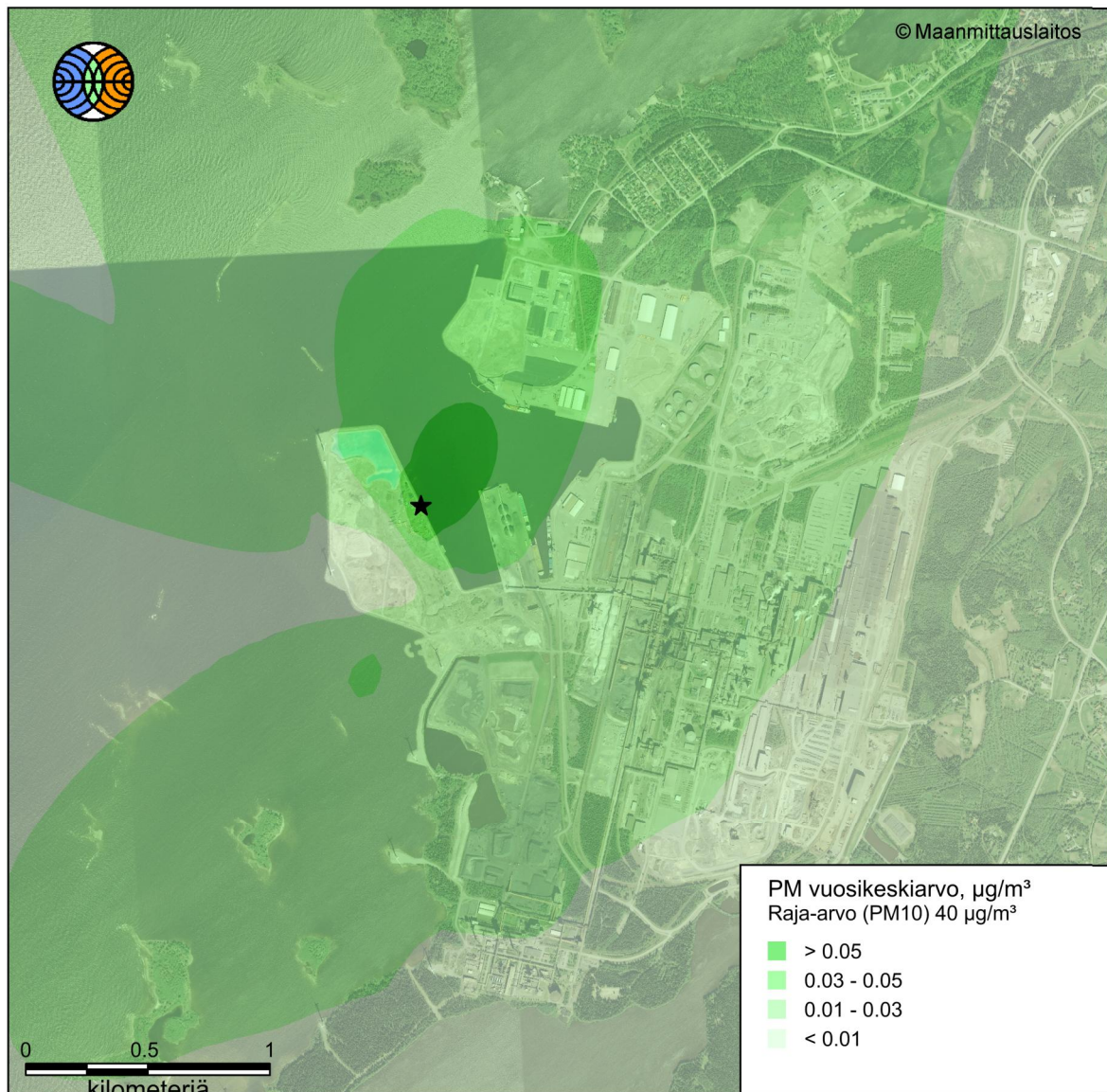


Ilmatieteen laitos 2016

★ = maksimi $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 5. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Raahe Mustavaara



Kuva 6. Hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMATIETEEN LAITOS
Erik Palménin aukio 1
00560 Helsinki
puh. 029 539 1000

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

