

PIENTEN POLTTOLAITOSTEN (5-50 MW)
PIIPUN KORKEUDEN MITOITUS

Birgitta Alaviippola
Harri Pietarila
Sari Lappi



ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

**PIENTEN POLTTOLAITOSTEN (5–50 MW)
PIIPUN KORKEUDEN MITOITUS**

**Birgitta Alaviippola
Harri Pietarila
Sari Lappi**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut
Helsinki 27.11.2008**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	ILMANLAADUN OHJE- JA RAJA-ARVOT	4
3	ILMANLAATU SUOMESSA.....	6
4	PIIPUN KORKEUDEN MÄÄRITYSPERUSTEET MUISSA MAISSA.....	9
4.1	Suomi	9
4.2	Ruotsi	12
4.3	Tanska.....	17
4.4	Saksa	17
4.5	Iso-Britannia	18
4.6	Ranska.....	19
4.7	Yhdysvallat	19
5	PIIPUN KORKEUDEN MITOITUS LEVIÄMISMALLILASKELMIEN AVULLA	20
5.1	Leviämismalli	20
5.2	Lähtötiedot	22
5.2.1	Meteorologiset tiedot	22
5.2.2	Päästöt ja polttolaitosten muut tekniset tiedot	26
5.3	Tulokset.....	29
5.3.1	Rikkidioksidipitoisuudet	30
5.3.2	Typpidioksidipitoisuudet	35
5.3.3	Hiukkaspitoisuudet	38
5.3.4	Piipun korkeuden mitoitus tasaisessa maastossa	41
5.3.5	Korkeiden rakennusten ja maastonmuotojen vaikutus piipun mitoitukseen.....	46
5.3.6	Polttolaitosten osatehokäytön vaikutus pitoisuuksiin	49
6	OHJEISTUS PIIPUN KORKEUDEN MITOITUKSEEN	50
7	VIITELUETTELO	54

LIITTEET

1 JOHDANTO

Polttolaitoksen piipun korkeuden mitoituksella voidaan vaikuttaa paikalliseen ilmanlaatuun. Piipun teknisessä mitoituksessa käytetään usein päästöjen leviämismallilaskelmia, joiden tulosten perusteella arvioidaan, millaisella poistokaasupiipulla täyttyvät laitoksen ympäristössä riittävän hyvän ilmanlaadun kriteerit. Pienten polttolaitosten savukaasujen leviämistä ei kuitenkaan aina ole tarpeen määrittää leviämismallilaskelmilla vaan laitosten ilmanlaatuvaikutuksia voidaan arvioida yksinkertaistettujen menetelmien avulla. Suomessa käytössä olleet menetelmät ovat peräisin 1980-luvun lopulta ja ilmansuojeluvaatimusten, polttotekniikoiden ja meteorologisen tietouden kehityttyä viime vuosien aikana ainakin osa menetelmistä on vanhentunut.

Tässä tutkimuksessa on kehitetty yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan määrittää pienten polttolaitosten piipun korkeus ottaen huomioon ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot ja vallitseva paikallinen ilmanlaatu. Tutkimuksessa on arvioitu leviämismallilaskelmin pienten (5–50 MW) kattilalaitosten erilaisten piippuratkaisujen ilmanlaatuvaikutuksia. Päästöraja-arvoina on käytetty valmisteilla olevan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevan valtioneuvoston asetuksen uusille kattiloille ehdotettuja päästöraja-arvoja. Leviämismallilaskelmin on tarkasteltu ulkoilman suurimpien rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuuksien muodostumista erikokoisilla kattiloilla ja piipun korkeuksilla. Leviämislaskelmat on tehty raskaan ja kevyen polttoöljyn, maakaasun, puun ja turpeen polton päästöille ns. maksimipäästötarkasteluna, jolloin laitosten on oletettu toimivan täydellä teholla kaikkina vuoden tunteina.

Tutkimuksen tuloksena on esitetty nomogrammi ja ohjeisto, joiden perusteella toiminnanharjoittajat ja ympäristöviranomaiset voivat nopeasti selvittää piipun korkeuden erikokoisilla laitoksilla ja eri polttoaineita käytettäessä. Mitoitusohje on muodostettu lähinnä lämpökeskuksia ja teollisuuden pieniä polttolaitoksia varten, mutta sitä voidaan soveltuvin osin hyödyntää myös kiinteistöjen lämpökattiloiden piipun mitoituksessa. Piipun mitoitusohje on käyttökelpoinen ympäristössä, jossa ei ole korkeita rakennuksia tai suuria maastonkorkeuseroja. Lähellä sijaitsevien korkeiden rakennusten ja maastonmuotojen aiheuttamaa lisää piipun korkeuteen on arvioitu esimerkkitapausten avulla. Ohjeistossa on myös esitetty, missä tapauksissa kehitetty yksinkertainen menetelmä on riittävä päästövaikutusten arviointiin ja piipun korkeuden mitoitukseen ja millaisissa tapauksissa tarvitaan tarkempia selvityksiä esimerkiksi leviämismallilaskelmin.

2 ILMANLAADUN OHJE- JA RAJA-ARVOT

Mittauksilla tai leviämismallilaskelmilla saatuja ilman epäpuhtauspitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään epäpuhtauksien aiheuttamia terveysvaikutuksia. Tavoitteena on, että ohjearvojen ylittyminen estetään ennakolta hyvän suunnittelun avulla.

Taulukossa 1 on esitetty maassamme nykyisin voimassa olevat rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuuden **ohjearvot** (*Vnp 480/96*). Ilman rikkidioksidi- ja typpidioksidipitoisuuden sekä hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausikeskiarvo voi ohjearvomäärittelyjen mukaan ylittää yhden kerran kuukaudessa taulukossa 1 esitetyn vuorokausiohjearvon. Ilman rikkidioksidi- ja typpidioksidipitoisuuden tuntikeskiarvoista voi yksi prosentti kuukauden jaksolla olla suurempia kuin taulukon tuntiohjearvo. Ohjearvomäärittelyjen mukaan ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet ilmoitetaan lämpötilassa 20 °C.

Taulukko 1. Ulkoilman rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuuden ohjearvot (*Vnp 480/96*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tilastollinen määrittely
Rikkidioksidi	80 250	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
Typpidioksidi	70 150	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
Hiukkaset, kokonaisleijuma (TSP)	50 120	aritmeettinen vuosikeskiarvo vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Hengitysilmassa on monenkokoisia hiukkasia. Kokonaisleijumalla (TSP, Total Suspended Particles) tarkoitetaan suurimpia hiukkasia, jotka aiheuttavat likaantumista ja vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat hengitettävät hiukkaset (PM_{10} , PM =Particulate Matter), joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä. Ne voivat kulkeutua alempiin hengitysteihin eli henkitorveen ja keuhkoputkiin. Suurin osa hengitettävistä hiukkasista on peräisin liikenteen nostattamasta katupölystä. Terveydelle haitallisimpia ovat pienimmät alle 2,5 mikrometrin kokoiset pienhiukkaset ($PM_{2,5}$), jotka voivat tunkeutua

keuhkorakkuloihin asti. Kaukokulkeumalla on huomattava vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin. 11.6.2008 voimaan tulleessa ilmanlaadun parantamista koskevassa direktiivissä (2008/50/EY) on määritetty pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle tavoite- ja raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tavoitearvo tulee saavuttaa 1.1.2010 ja raja-arvo 1.1.2015. Raja-arvo tiukentuu $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2020 lähtien. Direktiivi tulee saattaa osaksi kansallista lainsäädäntöä 11.6.2010 mennessä. Myös Maailman terveysjärjestö (WHO) on antanut suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuosipitoisuudelle ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vuorokausipitoisuudelle ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO, 2006).

Raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia ja ne määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvot ovat samat kaikissa EU-maissa. Terveysten suojelemiseksi annetut raja-arvot eivät saa ylittyä alueilla, missä asuu ja oleskelee ihmisiä ja missä ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille. Kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi annetut raja-arvot ovat voimassa laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Raja-arvojen ylittyessä on tiedotettava väestöä ja ryhdyttävä toimiin ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Kyseeseen saattaa tällöin tulla esimerkiksi liikenteen päästöihin vaikuttaminen liikennettä rajoittamalla tai teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vähentäminen.

Valtioneuvoston asetuksessa 9.8.2001 (Vna 711/2001) annetut EU:n ilmanlaadun ensimmäisen tytärdirektiivin (1999/30/EY) mukaiset rikkidioksidia, typpidioksidia, typen oksideja ja hengitettäviä hiukkasia (PM_{10}) koskevat **raja-arvot** on esitetty taulukossa 2. Annetuilla raja-arvoilla pyritään välttämään ja ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitalliset vaikutukset tai vähentämään niitä.

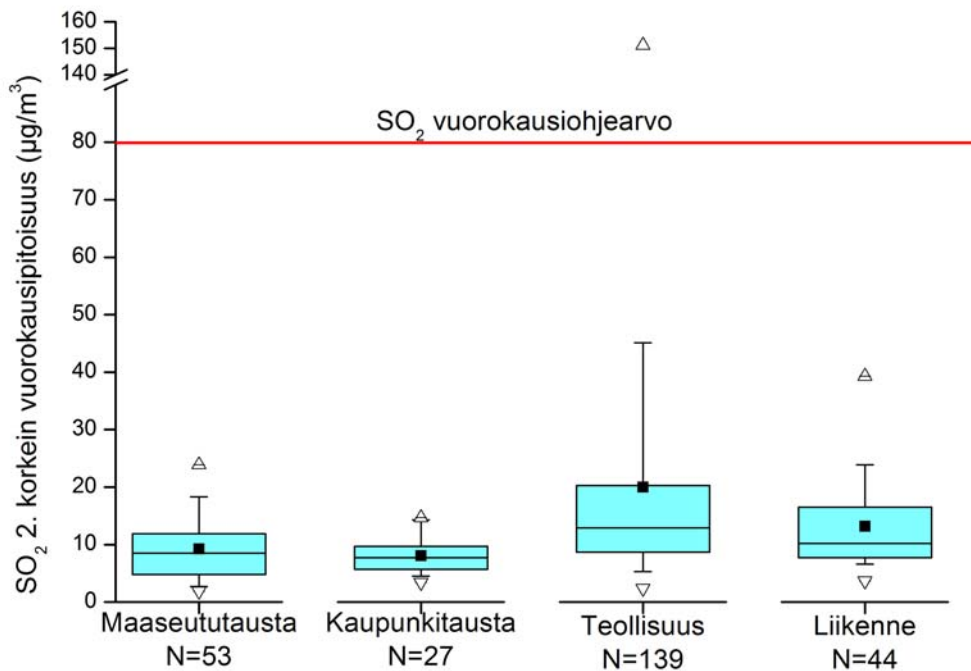
Taulukko 2. Ulkoilman rikkidioksidi-, typpidioksidi-, typenoksidi- ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuden raja-arvot (Vna 711/2001).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (293 K, 101,3 kPa)	Sallitut ylitykset kalenterivuodessa	Ajankohta, jolloin pitoisuuksien viimeistään oltava raja-arvoa pienemmät
Ihmisten terveyden suojelemiseksi annetut raja-arvot:				
Rikkidioksidi	1 tunti	350	24 krt/vuosi	1.1.2005
	24 tuntia	125	3 krt/vuosi	1.1.2005
Typpidioksidi	1 tunti	200	18 krt/vuosi	1.1.2010
	kalenterivuosi	40	–	1.1.2010
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50*	35 krt/vuosi	1.1.2005
	kalenterivuosi	40*	–	1.1.2005
Ekosysteemien ja kasvillisuuden suojelemiseksi annetut raja-arvot:				
Rikkidioksidi	kalenterivuosi/ talvi (31.10-31.3.)	20	–	15.8.2001
Typen oksidit	kalenterivuosi	30	–	15.8.2001

* tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa

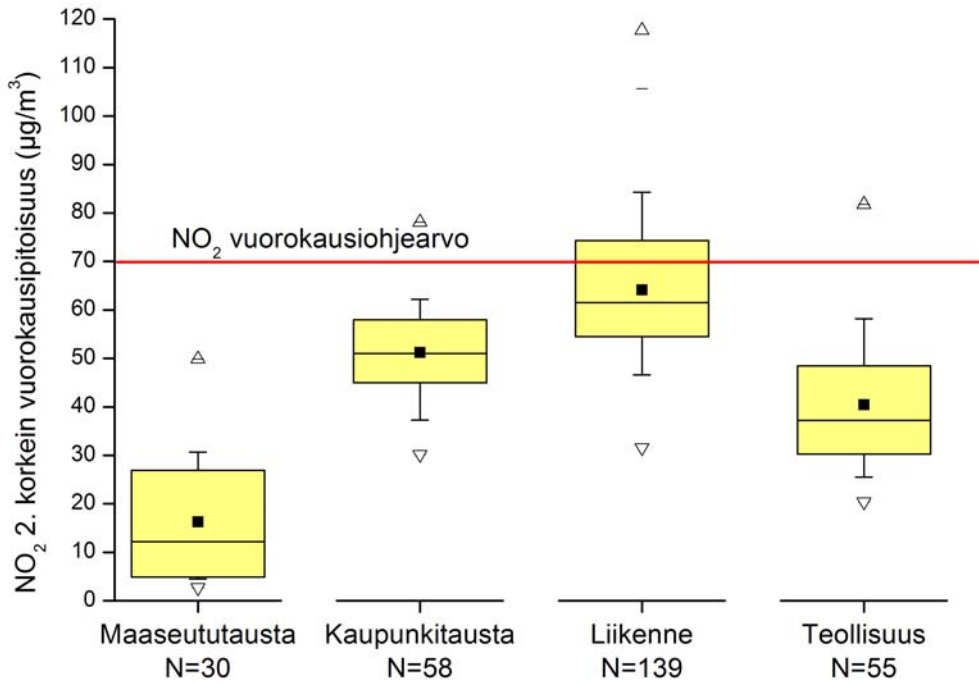
3 ILMANLAATU SUOMESSA

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen voimakkaan vähenemisen seurauksena taajama-alueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia (kuva 1). Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin teollisuudesta, energiantuotannosta ja laivojen päästöstä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti häiriöpäästötilanteissa.



Kuva 1. Rikkidioksidin vuorokausiohjeeseen (80 µg/m³) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet eri mittausympäristöissä Suomessa vuosina 2002–2006. Tilastosuureiden laskemisessa käytettyjen pitoisuusarvojen lukumäärät (N) eri mittausympäristöissä on ilmoitettu kuvan alalaidassa. Kolmiot = minimi ja maksimi, musta piste = keskiarvo, laatikon vaakaviiva = mediaani, janan päät = 10. ja 90. persenttiilit, laatikon ala- ja yläreuna = 25. ja 75. kvartiilit.

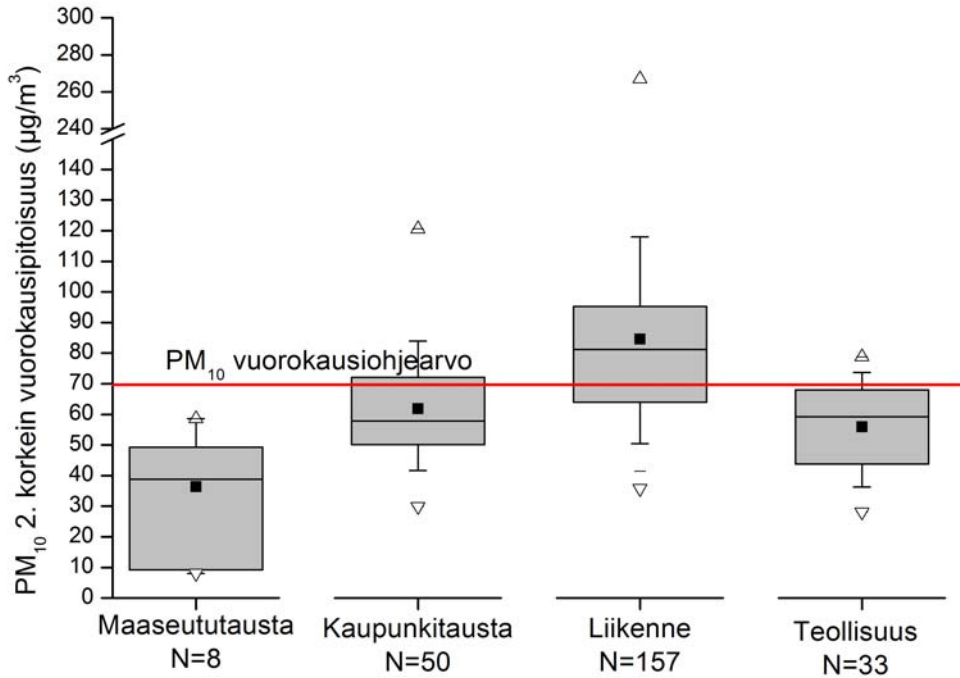
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidin pitoisuudet johtuvat pääasiassa autoliikenteestä, vaikka alueella olisi suuriakin typen oksidien pistepäästölähteitä. Lisäksi ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet voivat kaupunkien liikenneympäristöissä ylittää typpidioksidin vuorokausiohjeen (kuva 2).



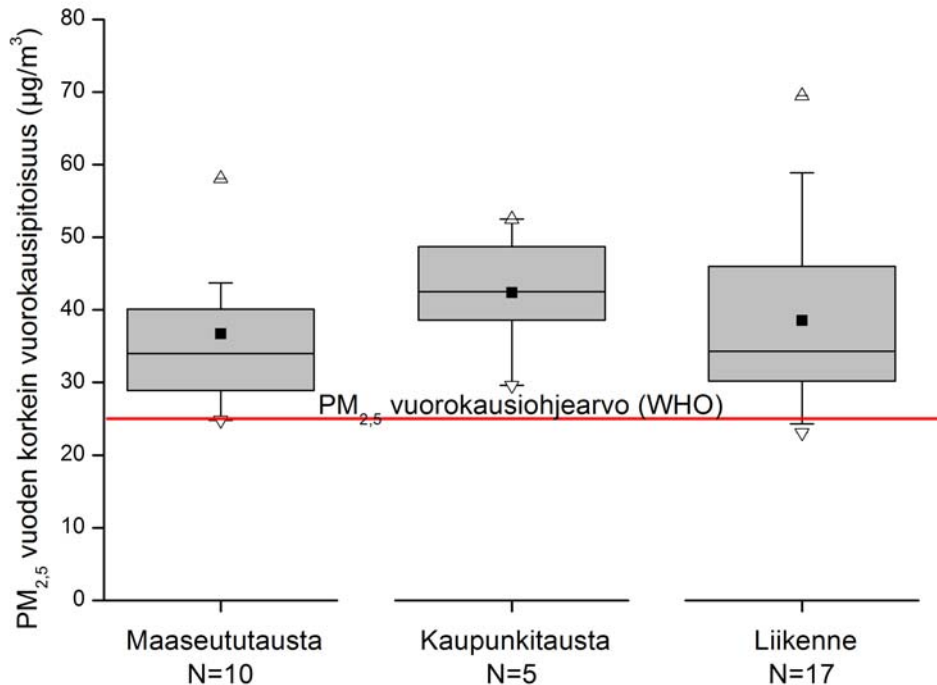
Kuva 2. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet eri mittausympäristöissä Suomessa 2002–2006. Tilastosuureiden laskemisessa käytettyjen pitoisuusarvojen lukumäärät (N) eri mittausympäristöissä on ilmoitettu kuvan alalaidassa. Kolmiot = minimi ja maksimi, musta piste = keskiarvo, laatikon vaakaviiva = mediaani, janan päät = 10. ja 90. persenttiilit, laatikon ala- ja yläreuna = 25. ja 75. kvartiilit.

Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen nostattamasta katupölystä eli epäsuorista päästöistä (ns. resuspensio). Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös suorat päästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Hengitettävillä hiukkasilla, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti maaliskuussa, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat liikenteen nostattamina kuivilta kaduilta ilmaan. Keväisin hengitettävillä hiukkasilla annettu ohjearvo ylittyy yleisesti Suomen kaupungeissa (kuva 3).

Pienemmille hiukkasille, aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin pienhiukkasille ($\text{PM}_{2,5}$), on määritelty vuosiperusteinen tavoite- ja raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 11.6.2008 voimaan tulleessa ilmanlaatudirektiivissä. Tavoitearvo tulee saavuttaa vuoteen 2010 mennessä ja raja-arvo vuoteen 2015 mennessä. Myös Maailman terveysjärjestö (WHO) on antanut suositukset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudelle. WHO:n vuosiohjearvo on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuorokausiohjearvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. WHO:n antama pienhiukkasten vuorokausiohjearvo on tiukka, sillä vuoden korkein vuorokausikeskiarvo ylittää ohjearvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kaikkialla Suomessa, myös tausta-alueilla (kuva 4). Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet muodostuvat yleensä kaukokulkeumaepisodien aikaan, jolloin pitoisuudet kohoavat myös tausta-alueilla. WHO:n vuosiohjearvo $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sen sijaan pääosin alittuu Suomessa. Vuosiohjearvo on ylittynyt viime vuosina vain Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä alueilla.



Kuva 3. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjeeseen (70 µg/m³) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet eri mittausympäristöissä Suomessa 2002–2006. Tilastosuureiden laskemisessa käytettyjen pitoisuusarvojen lukumäärät (N) eri mittausympäristöissä on ilmoitettu kuvan alalaidassa. Kolmiot = minimi ja maksimi, musta piste = keskiarvo, laatikon vaakaviiva = mediaani, janan päät = 10. ja 90. persenttiilit, laatikon ala- ja yläreuna = 25. ja 75. kvartiilit.



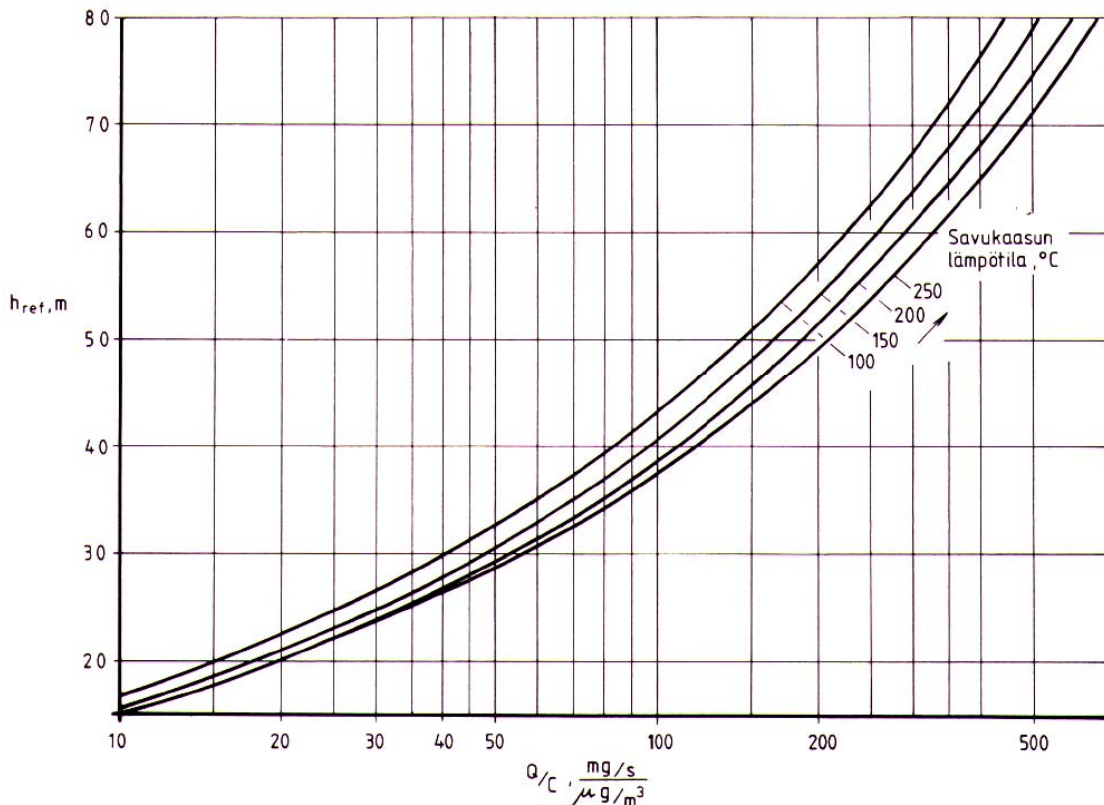
Kuva 4. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO:n vuorokausiohjeeseen (25 µg/m³) verrannolliset vuoden korkeimmat vuorokausipitoisuudet eri mittausympäristöissä Suomessa 2002–2006. Tilastosuureiden laskemisessa käytettyjen pitoisuusarvojen lukumäärät (N) eri mittausympäristöissä on ilmoitettu kuvan alalaidassa. Kolmiot = minimi ja maksimi, musta piste = keskiarvo, laatikon vaakaviiva = mediaani, janan päät = 10. ja 90. persenttiilit, laatikon ala- ja yläreuna = 25. ja 75. kvartiilit.

4 PIIPUN KORKEUDEN MÄÄRITYSPERUSTEET MUISSA MAISSA

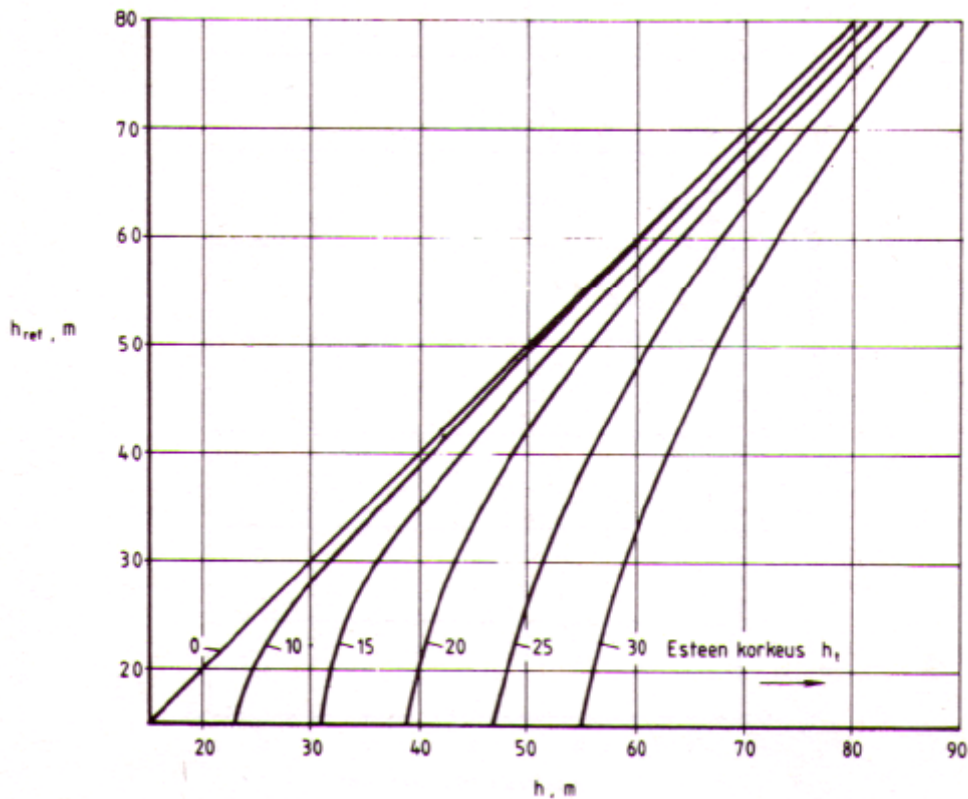
4.1 Suomi

Alustavaan piipun korkeuden arviointiin on Suomessa käytetty Ilmatieteen laitoksella kehitettyä pienten laitosten piipun korkeuden määrittämismenetelmää (KAJOSAARI & LUMME, 1982). Menetelmä on kehitetty laitoksille, jotka tuottavat energiaa polttamalla fossiilista polttoainetta ja siinä on tarkasteltu kaasumaisia epäpuhtauksia. Menetelmää voidaan käyttää piipun korkeuden arviointiin, jos laitoksen polttoaineteho on korkeintaan 100 MW ja laitoksen lähellä ei ole suuria korkeuseroja eikä muita merkittäviä epäpuhtauslähteitä. Savukaasujen lämpötilan on oltava vähintään 100 °C ja nousunopeuden piipun suulla vähintään 20 m/s. Menetelmä on käyttökelpoinen, jos sen avulla arvioitu piipun korkeus on korkeintaan 80 m ja vähintään 15 m.

Päästön vapautuessa menetelmän antamalta korkeudelta rajapitoisuutta suurempia tuntipitoisuuksia esiintyy korkeintaan 1 % ajasta kuukauden pituisella jaksolla. Tasaisessa maastossa sijaitsevan laitoksen piipun korkeus (h_{ref}) voidaan määrittää kuvan 5 nomogrammista, kun tiedetään päästö määrä, savukaasujen lämpötila ja rajapitoisuus, jonka laitoksen päästöjen sallitaan aiheuttavan. Lähistöllä sijaitsevien rakennusten ja muiden esteiden aiheuttama lisä piipun korkeuteen huomioidaan kuvan 6 kaaviosta, jolloin saadaan piipun rakennuskorkeus h . Jos rakennusten tai maastoesteiden korkeus ylittää 30 metriä, on syytä tehdä erillinen leviämiselvitys.



Kuva 5. Piipun korkeuden mitoitus (KAJOSAARI & LUMME, 1982). h_{ref} = tasaisessa maastossa sijaitsevan laitoksen piipun korkeus, Q = päästö, C = laitoksen aiheuttamia lyhytaikaispitoisuuksia koskeva rajapitoisuus.



Kuva 6. Rakennusten vaikutus piipun korkeuden (h) mitoitukseen (KAJOSAARI & LUMME, 1982). h_{ref} = tasaisessa maastossa sijaitsevan laitoksen piipun korkeus, h_t = alle 500 m etäisyydellä piipusta olevan esteen korkeus.

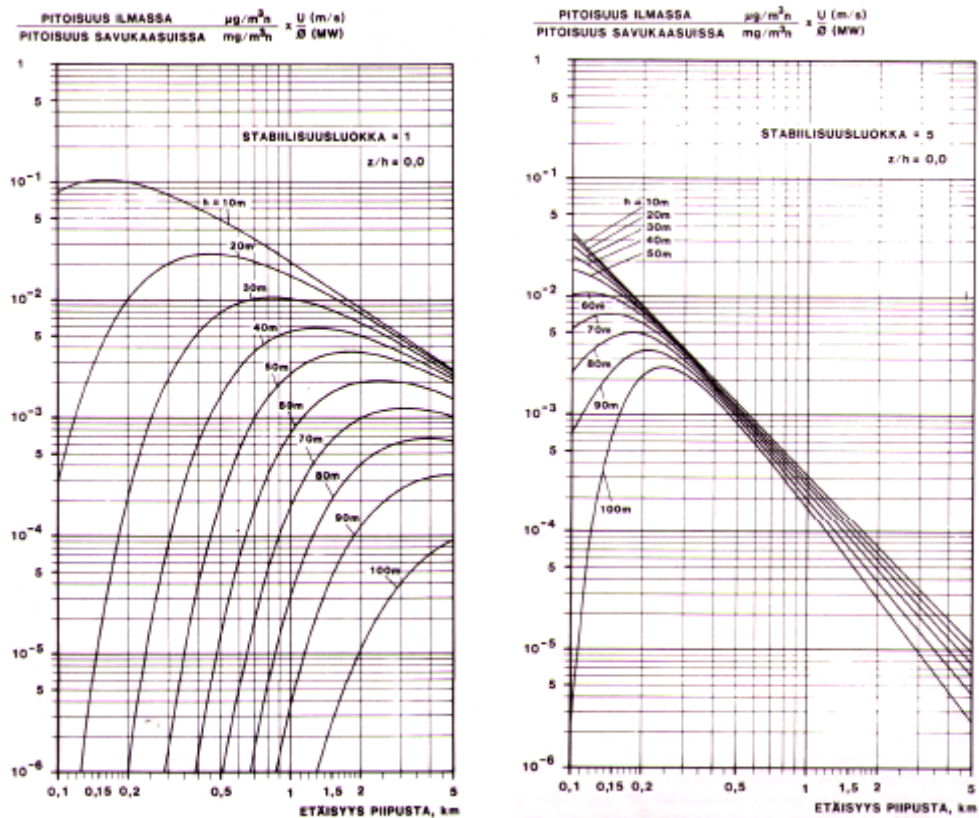
Ilmatieteen laitoksella on kehitetty myös menetelmä, jolla voidaan arvioida yksittäisestä piipusta ilmaan pääsevien epäpuhtauksien suurimpien tuntipitoisuuksia ja niiden etäisyyttä laitoksesta (ILVESSALO, 1989). Savukaasujen vaikutuksia on arvioitu ilmanlaadun kannalta raportissa, jossa on myös esitetty yhteenveto edellä mainituista Ilmatieteen laitoksella kehitetyistä määrittämismenetelmistä (LAHTINEN & KOMPPULA, 1995).

Tarkemmassa piipun korkeuden määrittämisessä on käytetty Neste Oy:n muodostamia päästön laimennuskertoimia, jotka on laskettu saksalaisen TA Luft 1974/1983 mukaan. Nomogrammit, joista laimennuskertoimet voidaan määrittää, on muodostettu kolmelle korkeustasolle (z/h = tarkastelukohdan korkeus/piipun efektiivinen korkeus) ja kuudelle stabiilisuusluokalle (Pasquill-luokat A–F, taulukko 3). Kuvassa 7 on esitetty esimerkkinä stabiilisuusluokkien A ja F mukaiset nomogrammit, kun $z/h=0$. Stabiilisuusluokka on F kun säätila on hyvin stabiili, ts. savukaasuvihka leviää laajalle. Stabiili virtaustilanne esiintyy öisin ja myös talvella pakkaspäivinä, jolloin tuulen nopeus on pieni. Stabiilisuusluokan A tilanne esiintyy tyypillisesti kesäisin keskipäivällä, jolloin erittäin epästabiileissa olosuhteissa maksimipitoisuudet muodostuvat piipun lähelle. Todelliset tilanteet asettuvat usein näiden ääriolosuhteiden välille. Paikallinen pitoisuus ilmassa ($\mu g/m^3$) saadaan öljykattilalaitokselle kertomalla nomogrammista saatava laimennuskertoimen kattilan polttoaineteholla (MW) ja savukaasun epäpuhtauspitoisuudella (mg/m^3n) sekä jakamalla tuulen nopeudella (m/s). Piipun korkeuden avulla voidaan määrittää myös

maksimipitoisuuden etäisyys (km) piipusta. Mikäli piipun läheisyydessä on korkeita rakennuksia tai muita esteitä, ei näitä malleja voida käyttää laimenemisen arviointiin.

Taulukko 3. Ilmatieteen laitoksen käyttämät Pasquill-luokat ja vastaavat stabiilisuusluokat saksalaisessa TA Luft:ssa (Technical Instructions on Air Quality Control).

Pasquill-luokka	TA Luft	Virtaustilanne
A	V	Erittäin labiili
B	IV	Labiili
C	III/2	Lievästi labiili
D	III/1	Neutraali
E	II	Neutraali / stabiili
F	I	Stabiili



Kuva 7. Päästön laimennuskertoimet Pasquill-luokille F (stabiili) ja A (erittäin labiili), kun $z/h = 0$ (z =tarkastelukohdan korkeus, h =piipun efektiivinen korkeus) (NESTE OY, 1991).

Karkeasti piipun korkeus voidaan arvioida taulukon 4 mukaan, jolloin piipun vähimmäiskorkeus määritetään lähimpien rakennusten, asuinalueiden ja ympäröivän metsän korkeuden perusteella. Savupiipun korkeusvaihtoehdoista 1 ja 2 valitaan suurempi arvo. Esimerkiksi pienessä kaupungissa savupiipun korkeus tulisi olla 2,5 kertaa kattilalahallin korkeus + läheisten rakennusten korkeus tai vaihtoehtoisesti 2,5 kertaa läheisten rakennusten korkeus, jos piipun korkeus muodostuu silloin suuremmaksi.

Taulukko 4. Savupiipun korkeudet esteen läheisyydessä (NESTE OY, 1991).

Savupiipun lähiympäristö	Savupiipun korkeus	
	1	2
Maaseutu		
tasainen, metsätön	$2 * h_t$	$2 * h_t$
tasainen, metsää	$2 * h_t + h_m$	$2 * h_m$
asutusalue, metsätön	$2 * h_t + h_r$	$2 * h_r$
asutusalue, metsää	$2 * h_t + h_r$ tai $2 * h_t + h_m$	$2 * h_r$ tai $2 * h_m$
Kaupungit		
Pienet	$2,5 * h_t + h_r$	$2,5 * h_r$
Suuret	$3 * h_t + h_r$	$3 * h_r$

h_t = teollisuusrakennuksen tai lämpökeskuksen korkeus
 h_r = läheisen rakennusalueen korkeus
 h_m = teollisuuslaitosta ympäröivän metsän korkeus

Polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevassa asetusluonnoksen mukaan piipun korkeus maanpinnasta on oltava vähintään 2,5-kertainen lähimpien esteiden kuten rakennusten tai vastaavien maastoesteiden korkeuteen verrattuna. Se on osoittautunut yksinkertaisimmissa tapauksissa käytännössä hyväksi piipun korkeuden määrittämisperusteeksi.

4.2 Ruotsi

Ruotsissa ei ole varsinaista sääntelyä piipun korkeudelle vaan minimivaatimukset asetetaan ympäristöluvista. Kaksi vanhaa dokumenttia ohjaavat kuitenkin yhä piipun korkeuden määrittelyä. Toisessa esitetään yksinkertaistettu menetelmä alle 10 MW kiinteän polttoaineen kattiloiden piipun korkeuden määrittelykselle ja toisessa kaikille yli 10 MW kattiloille. Jos tapaus on monimutkainen tai erityisen merkityksellinen, käytetään kehittyneempiä ja ajantasaisempia konsulttitutkimuksia.

Alle 10 MW kattilalaitokset

Alle 10 MW kiinteän polttoaineen kattiloille annetut ohjeet on tarkoitettu ensisijaisesti kiinteistökohtaiselle lämmitykselle, mutta niitä voidaan käyttää suuntaa-antavana myös teollisuudessa. Kiinteillä polttoaineilla tarkoitetaan hiiltä, turvetta, puuta ja muita biopolttoaineita.

Tasaisessa maastossa piipun suosituskorkeus (H_{ref}) on:

0,5–2,5 MW	$H_{ref} = 10$ m
2,5–5 MW	$H_{ref} = 15$ m
5–10 MW	$H_{ref} = 20$ m

Näitä arvoja ei voi suoraan soveltaa suurissa taajamissa tai muilla alueilla, joissa on korkea taustapitoisuus. Tällaisilla alueilla piipun korkeus tulee määrittää tarkempien laskelmien perusteella (*NATURVÅRDSVERKET, 1987*).

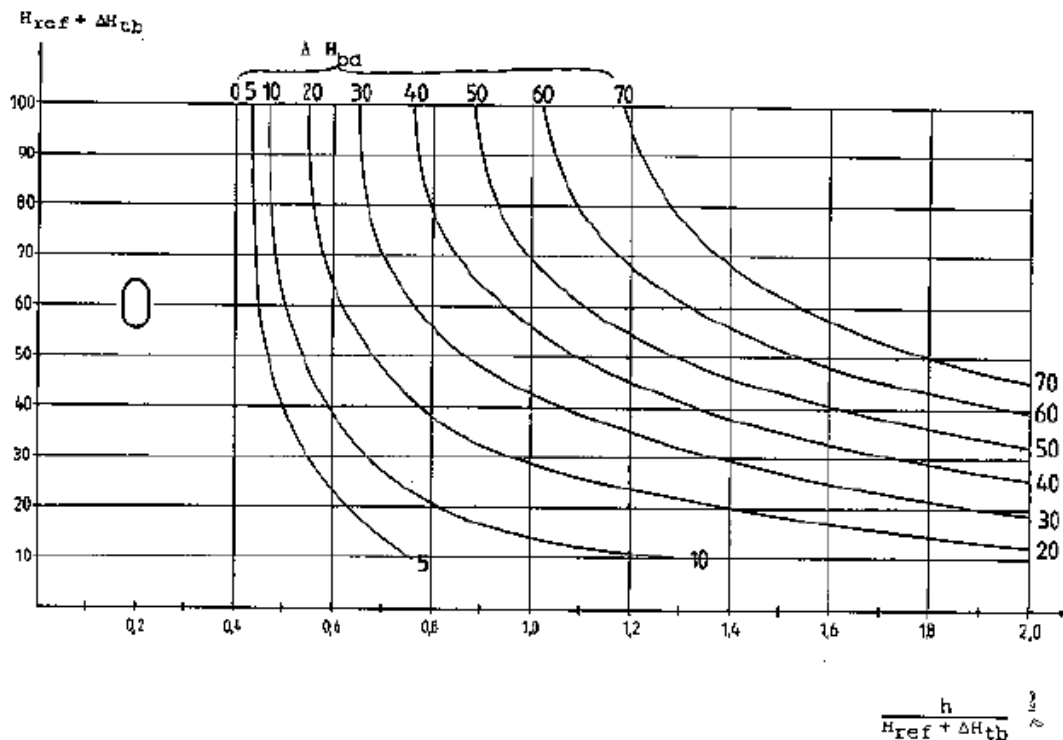
Ympäröivien rakennusten ja maaston (ΔH_{tb}) aiheuttama lisä piipun korkeuteen:

$$\Delta H_{tb} = h_{tb} - 0,3 H_{ref}$$

, jossa h_{tb} = korkeimman rakennuksen tai maastopisteen korkeus piipun juuresta etäisyydellä 2–20 H_{ref}

Lähimmän rakennuksen aiheuttaman savupainuman (ΔH_{bd}) vaikutus piipun korkeuteen lasketaan kuvan 8 kaaviosta, jossa h = korkeimman rakennuksen korkeus etäisyydellä $< 2 H_{ref}$. Lähin rakennus on useimmiten kattilahalli.

Piipun rakennuskorkeus (H_o) on suosituskorkeuden ja korkeiden rakennusten ja maastonmuotojen aiheuttaman piipunlisän summa: $H_o = H_{ref} + \Delta H_{tb} + \Delta H_{bd}$

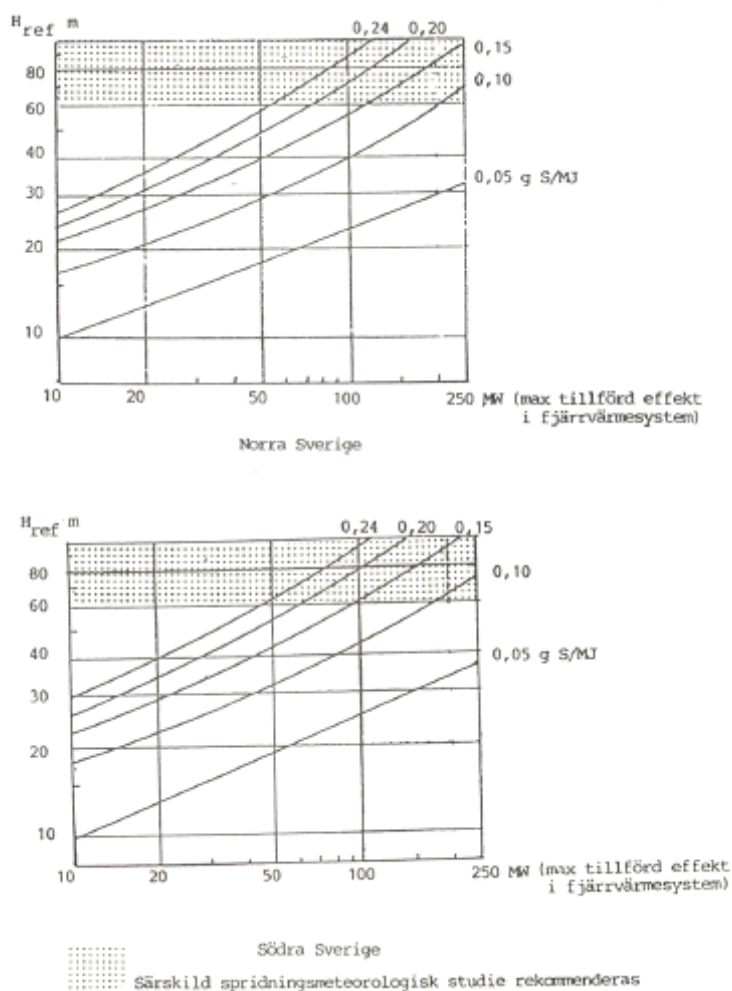


Kuva 8. Savupainumasta aiheutuva piipunlisä (ΔH_{bd}) (*NATURVÅRDSVERKET, 1987*).

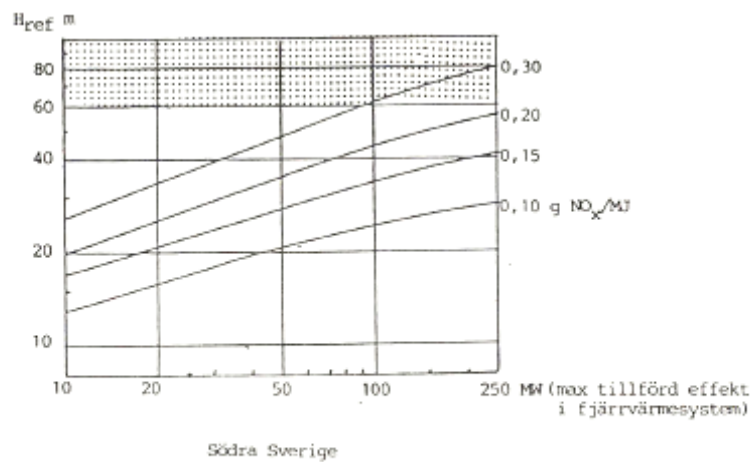
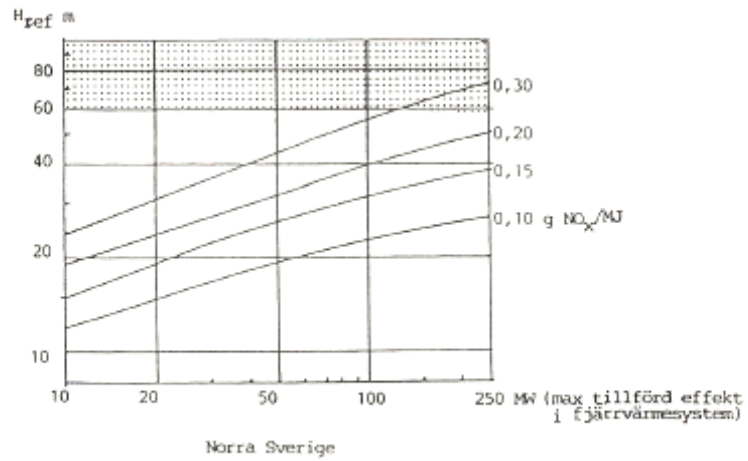
Yli 10 MW kattilalaitokset

Yli 10 MW kattiloiden piipun korkeuden määrittäminen on kehitetty rikkidioksidiksi ja typpidioksidiksi, mutta sitä voidaan tietyissä tapauksissa käyttää muillekin ilman epäpuhtauksille. Edellytyksenä on, että epäpuhtauden ohjearvo tai muu arviointiperuste on määritelty kuukauden tuntiarvojen 99. persentiilinä, johon laskentamenetelmä perustuu. Menetelmällä voidaan arvioida kiinteitä, nestemäisiä ja kaasumaisia polttoaineita käyttävien laitosten piipun korkeus (NATURVÅRDSVERKET, 1990).

Piipun suosituskorkeus (H_{ref}) voidaan määrittää kuvien 9–11 perusteella, kun tiedetään laitoksen maksimiteho (MW) sekä rikki- ja/tai typenoksidipäästöt (g/MJ). Erilaiset meteorologiset olosuhteet on huomioitu kehittämällä erilliset kaaviot Etelä- ja Pohjois-Ruotsissa sijaitseville laitoksille.

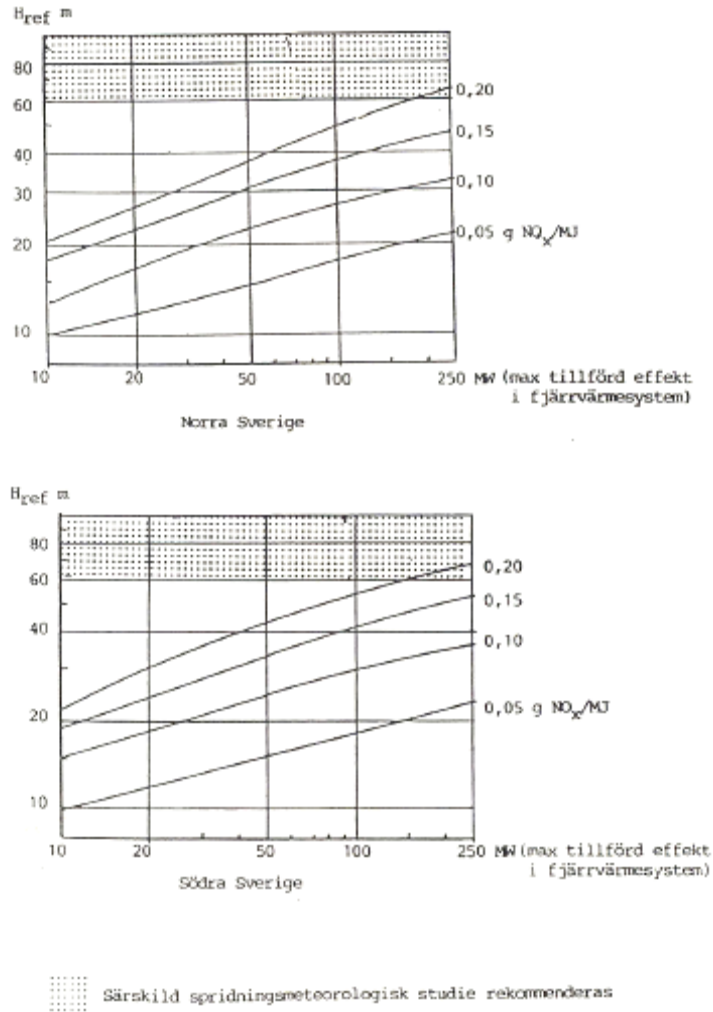


Kuva 9. Piipun suosituskorkeuden määrittäminen rikkipäästöjen perusteella kiinteitä ja nestemäisiä polttoaineita käyttävissä laitoksissa (NATURVÅRDSVERKET, 1990).



 särskild spridningsmeteorologisk studie rekommenderas

Kuva 10. Piipun suosituskorkeuden määrittäminen typenoksidipäästöjen perusteella kiinteitä ja nestemäisiä polttoaineita käyttävissä laitoksissa (*NATURVÅRDSVERKET, 1990*).



Kuva 11. Piipun suosituskorkeuden määrittäminen typenoksidipäästöjen perusteella kaasumaisia polttoaineita käyttävissä laitoksissa (*NATURVÅRDSVERKET, 1990*).

Piipun lisä arvioidaan menetelmässä monimutkaisten vuokaavioiden ja apukaavioiden avulla, joita ei tässä yhteydessä esitellä. Niissä huomioidaan piipun aiheuttaman savupainuman (ΔH_{sd}), lähimpien rakennusten aiheuttaman savupainuman (ΔH_{tb}) sekä ympäröivän maaston ja asutuksen (ΔH_{bd}) aiheuttama lisä piipun korkeuteen. Piipun rakennuskorkeus määritetään seuraavasti:

$$H_o = H_{ref} + \Delta H_{sd} + \Delta H_{tb} + \Delta H_{bd}$$

Menetelmä tuottaa yliarvion kaasukäyttöisille laitoksille, jonka vuoksi Ruotsin Ilmatieteen laitos (SMHI=Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) on ottanut käyttöön PC-pohjaisen laskentaohjelman, jossa on huomioitu, että kaasukäyttöisten kattiloiden päästöt ovat pienemmät kuin samankokoisten öljy- tai kiinteän polttoaineen kattiloiden.

Leviämismallimenetelmiä tulee käyttää edellä esiteltyjen menetelmän sijaan, jos:

- laitos sijaitsee mäkisessä maastossa tai lähellä on korkeita rakennuksia, jolloin piipun lisä (ΔH_{tb}) muodostuu suuremmaksi kuin piipun suosituskorkeus (H_{ref})
- laitoksessa on useita piippuja
- piipun suosituskorkeus on yli 60 m
- laitos sijaitsee liikenneväylien läheisyydessä alueella, jossa typpidioksidin ohjearvo on vaarassa ylittyä

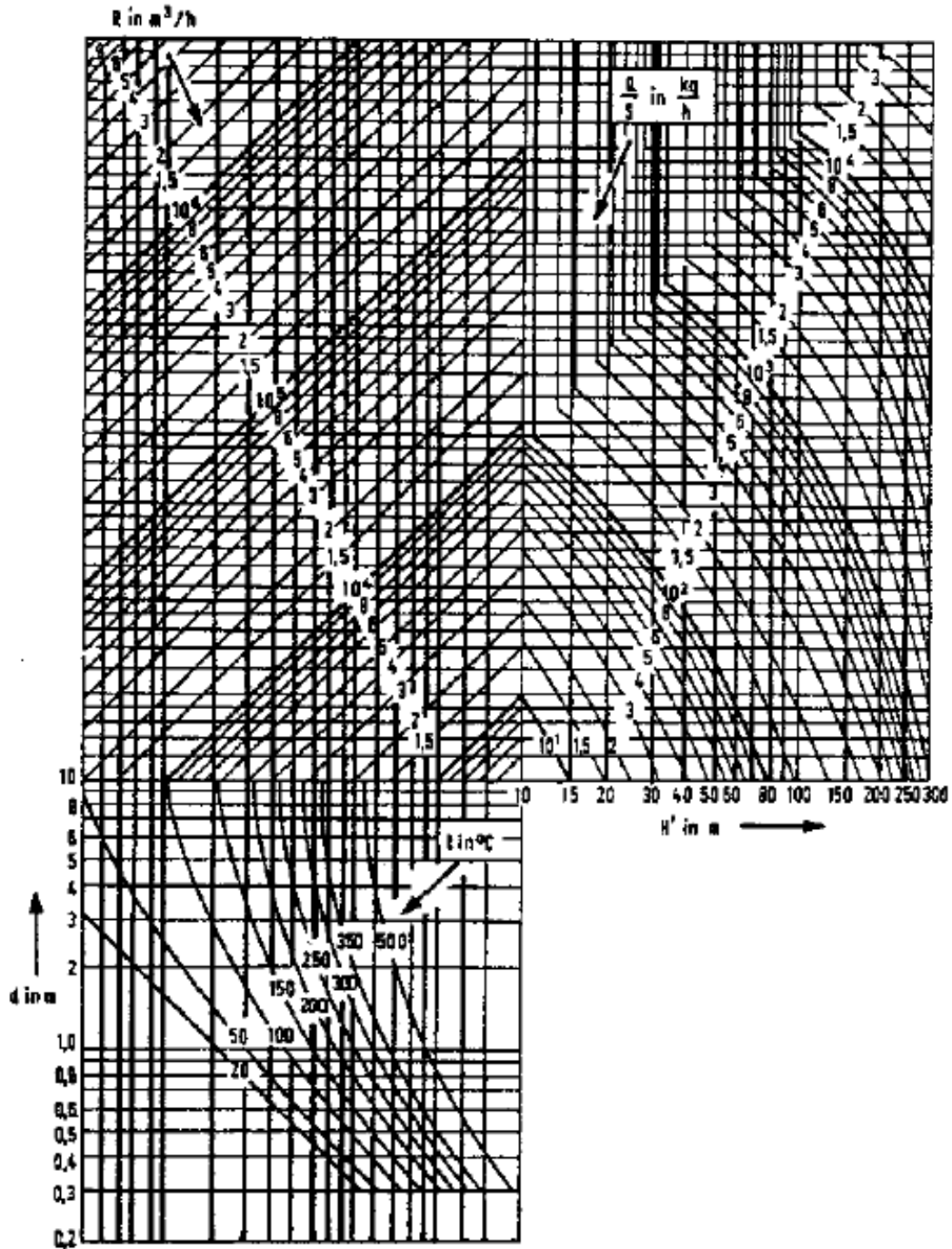
4.3 Tanska

Tanskassa piipun korkeuden mitoitukseen käytetään National Environmental Research Institute:n (NERI) kehittämää OML-leviämismallia (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel). Mallin käyttökelpoisuuden kehittyttyä se on syrjäyttänyt aikaisemmin käytetyt nomogrammit. Mallia käytetään Tanskassa yleisesti paikallisissa ympäristötoimistoissa, konsulttitoimistoissa ja teollisuudessa. Mallista on olemassa versiot yhden (OML-Point) ja useamman päästölähteen (OML-Multi) piipun korkeuden mitoitukselle. Molemmista malleista on kehitetty myös helpokäyttöiset PC-versiot (*MILJØSTYRELSEN, 2002; OLESEN, 1995*).

4.4 Saksa

Saksassa piipun korkeudelle asetetut vaatimukset on esitetty TA Luft:ssa (Technical Instructions on Air Quality Control, 2002). TA Luft:n säännöksiä sovelletaan yli 10 MW kaasu- ja öljykäyttöisille laitoksille sekä yli 1 MW hiili-, puu- ja hakekäyttöisille laitoksille. Piipun korkeus määritetään kuvan 12 nomogrammista, kun tiedetään piipun halkaisija, savukaasujen lämpötila sekä savukaasu- ja päästömäärät.

H'	piipun korkeus (m)
d	piipun halkaisija (m)
t	savukaasun lämpötila piipun suulla (°C)
R	kuiva savukaasuvirtaus standardiolosuhteissa (m ³ /h)
Q	päästö (kg/h)
S	vakio
	<i>PM 0,08</i>
	<i>SO₂ 0,14</i>
	<i>NO_x 0,1</i>



Kuva 12. Nomogrammi piipun korkeuden määrittämiseksi (TA LUFT, 2002).

4.5 Iso-Britannia

Paikalliset viranomaiset käyttävät piipun korkeuden määrittämiseen julkaisua vuodelta 1993: Technical Guidance Note D1 (Dispersion), Guidelines on Discharge Stack Heights for Polluting Emissions, Environmental Protection Act 1990. Julkaisu ei ole julkisesti saatavilla.

4.6 Ranska

Ranskassa on määritetty tarkat piipun korkeudet turbiineille, moottoreille ja muille laitoksille polttoainetehon mukaan. Jos useamman kattilan savukaasut johdetaan samaan piippuun, määritetään piipun korkeus yhteenlasketun polttoainetehon mukaan. Taulukossa 5 on esitetty piipun suosituskorkeudet 2–20 MW laitoksille. Alle 2 MW kattiloilla piipun suun tulee olla vähintään kolme metriä korkeammalla kuin kattilarakennuksen katto poltettaessa kaasumaisia polttoaineita. Muita polttoaineita käytettäessä piipun korkeus tulee olla vähintään 10 m.

Taulukko 5. Piipun korkeuden määrittäminen 2–20 MW kattilalaitoksissa. Suluissa olevat korkeudet vastaavat minimikorkeuksia yli 250 000 asukkaan kaupunkien polttolaitoksissa.

Polttoaine	>2 MW ja <4 MW	≥4 MW ja <6 MW	≥6 MW ja <10 MW	≥10 MW ja <15 MW	≥15 MW ja <20 MW
Maakaasu	6 m	8 m		9 m (14 m)	
Bensiinihöyry & kotimaiset	7 m	10 m		12 m (15 m)	
Nestemäiset polttoaineet ¹⁾	21 m	24 m	28 m	32 m (37 m)	35 m (41 m)
Kiinteät polttoaineet	16 m	19 m	22 m	26 m (30 m)	29 m (34 m)
Biomassa	12 m	14 m	17 m	19 m (28 m)	21 m (31 m)

1) Päästön rikkipitoisuuden ollessa alle 0,25 g/MJ, piipun korkeutta voidaan alentaa kolmanneksella.

4.7 Yhdysvallat

Yhdysvaltojen Environmental Protection Agency (EPA, 1985) Good Engineering Practise (GEP) ohjeistuksen mukaan:

A) *Minimum good engineering practise stack height* on 65 metriä riippumatta laitoksen koosta tai sijainnista

B) *Maximum good engineering practise stack height*

a) 2,5 kertaa lähimmän rakennuksen korkeus tai

b) piipun korkeus tulisi määrittellä seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{GEP} = H + 1,5 L$$

H = rakennuksen korkeus

L = rakennuksen pienempi ulottuvuus (korkeus tai leveys)

Kohdan a) ohjeistusta käytetään ennen vuotta 1979 rakennettuihin piippuihin ja kohdan b) ohjeistusta vuoden 1979 jälkeen rakennettuihin piippuihin.

5 PIIPUN KORKEUDEN MITOITUS LEVIÄMISMALLILASKELMIEN AVULLA

5.1 Leviämismalli

Leviämismallilaskelmissa on arvioitu ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksia Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä matemaattis-fysikaalisella leviämismallilla ns. kaupunkimallilla, joka on kehitetty Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista.

Kaupunkimallin leviämispäätöparametrien määrittämisessä on käytetty eräiden ulkomaisten meteorologisten tutkimusten tuloksia (*BUSINGER et al., 1971, HANNA, 1985, CAYGHEY et al., 1979, HOLTSLAG, 1984, WRATT, 1987*). Pistelähteitä käsiteltäessä tarvitaan laskentamenetelmä ns. nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Tällä päästöjen nousulisällä (plumerise) on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Kaupunkimallissa nousulisän laskenta perustuu Briggsin tutkimuksiin (*BRIGGS, 1975 ja 1984*).

Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai korkea puusto, itse lähteen ominaisuudet ja lähimaasto. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä downwash. Sen suomenkielisenä vastineena esiintyy usein termi savupainuma. Tämä ilmiö voi johtua joko itse päästölähteen ominaisuuksista tai olla lähirakennusten aiheuttama. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät myös kaupunkimalliin.

Meteorologisten tietojen käsittely perustuu Ilmatieteen laitoksella kehitettyyn ilmakehän rajakerroksen parametrusointimenetelmään, jonka avulla voidaan normaali meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida leviämismallilaskelmissa tarvittavat rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat (*RANTAKRANS, 1990, KARPPINEN et al., 1997 ja 2000*). Menetelmässä tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan talletetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista. Sääasemilta saatavat perushavainnot valitaan tutkimusaluetta lähimpänä olevalta asemalta. Tämän lisäksi tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Luotaushavainnot valitaan lähimmältä luotausasemalta. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilman epäpuhtauksien kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi epäpuhtauksien sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat siis tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen parametrusoinnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa paremmin huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot

(maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien ilmakehän rajakerroksen parametrien ja meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Kaupunkimallissa on otettu huomioon ilmakehässä tapahtuvat kemialliset reaktiot kuten typen oksidien muutunta typpidioksidiksi. Polttoaineiden palamisessa muodostuvat kiinteiden lähteiden ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas mm. terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia (NO₂) on päästöistä ainoastaan pieni osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyliiradikaalin ja orgaanisten peroksiradikaalien toimiessa hapettimina. Reaktionopeudet riippuvat muun muassa vuoden- ja vuorokaudenajasta, auringon säteilyn määrästä ja lämpötilasta. Valokemialliset reaktiot, joissa molekyylit hajoavat, ovat tärkeitä päivänvalossa. Myös päästöjen leviäminen ja niiden sekoittuminen ilmaan vaikuttavat typen oksidien muutunnan tehokkuuteen. Pistemäisten päästölähteiden (piippujen) typenoksidipäästöjen muutuntaa käsitellään menetelmällä, jossa kaupunkimalliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja NO₂/NO_x -suhteen muuttumista päästövanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä. Kemiallisen muutunnan malli perustuu hollantilaisiin, vuosina 1975–1985 suoritettuihin mittauksiin, joissa selvitettiin typenoksidipäästöjen hapettumista erilaisissa meteorologisissa olosuhteissa (*JANSSEN ym., 1988*).

Kaupunkimalli laskee epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja oletuksella, että meteorologinen tilanne ja päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen aikasarja (esim. 3 vuotta = yli 26 000 tapausta) ja tunneittaiset päästöt on käyty läpi. Pitoisuuksia lasketaan suureen määrään tulostuspisteitä. Kunkin tulostuspisteen pitoisuuksien tunneittaiset aikasarjat muodostavat perusaineiston, josta voidaan laskea tarvittavia tilastoja. Tilastotarkasteluun laskentapisteittäisistä tuntikeskiarvoista ja niistä lasketuista vuorokausikeskiarvoista voidaan valita esimerkiksi kotimaisten ohjearvojen määrittelyjen mukaisia pitoisuuksia (mm. rikkidioksidille kuukauden toiseksi suurin vuorokausikeskiarvo tai tuntikeskiarvojen 99 %:n rajapitoisuus) tai pitoisuuksien maksimiarvoja.

5.2 Lähtötiedot

5.2.1 Meteorologiset tiedot

Leviämismallilaskelmien meteorologisina lähtötietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen sääasemien vuosien 2004–2006 havainnoista muodostettua kolmen vuoden tunneittaista aikasarjaa. Meteorologisen aineiston herkkyytarkastelua varten muodostettiin meteorologiset aikasarjat viidelle alueelle eri puolelle Suomea: pääkaupunkiseudulle sekä Vaasan, Jyväskylän, Joensuun ja Rovaniemen seuduille. Meteorologisten aikasarjojen muodostamisessa käytettiin seuraavien sääasemien mittaustietoja:

Pääkaupunkiseutu: Helsinki-Vantaan lentoasema, Helsinki Isosaari

Vaasan seutu: Kauhavan lentoasema, Vaasan lentoasema, Mustasaari Valassaaret

Jyväskylän seutu: Jyväskylän lentoasema, Jämsän Hallin lentoasema

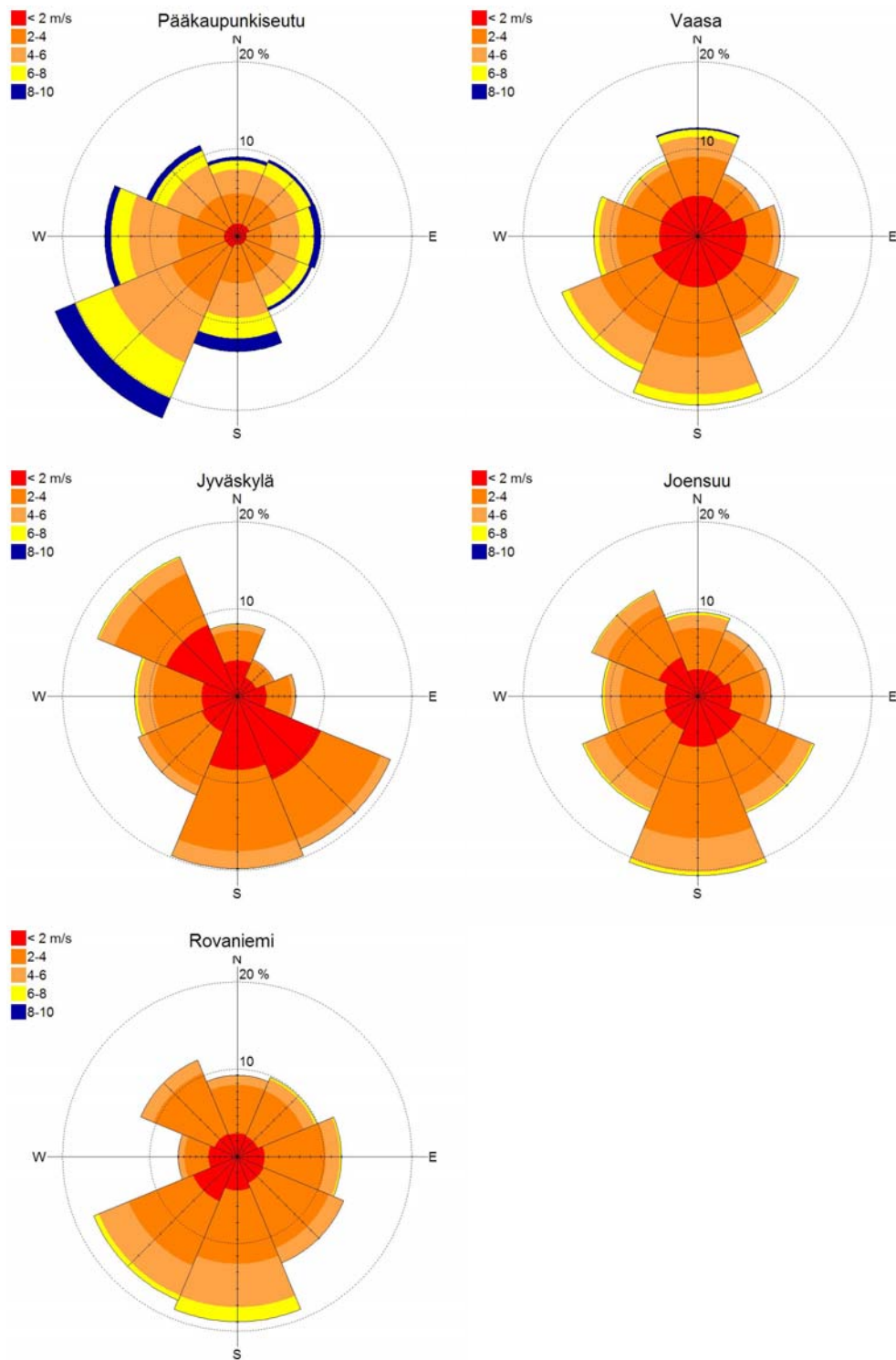
Joensuun seutu: Joensuun lentoasema, Ilomantsi Mekrijärvi, Kuopion lentoasema

Rovaniemen seutu: Rovaniemen lentoasema, Sodankylän observatorio

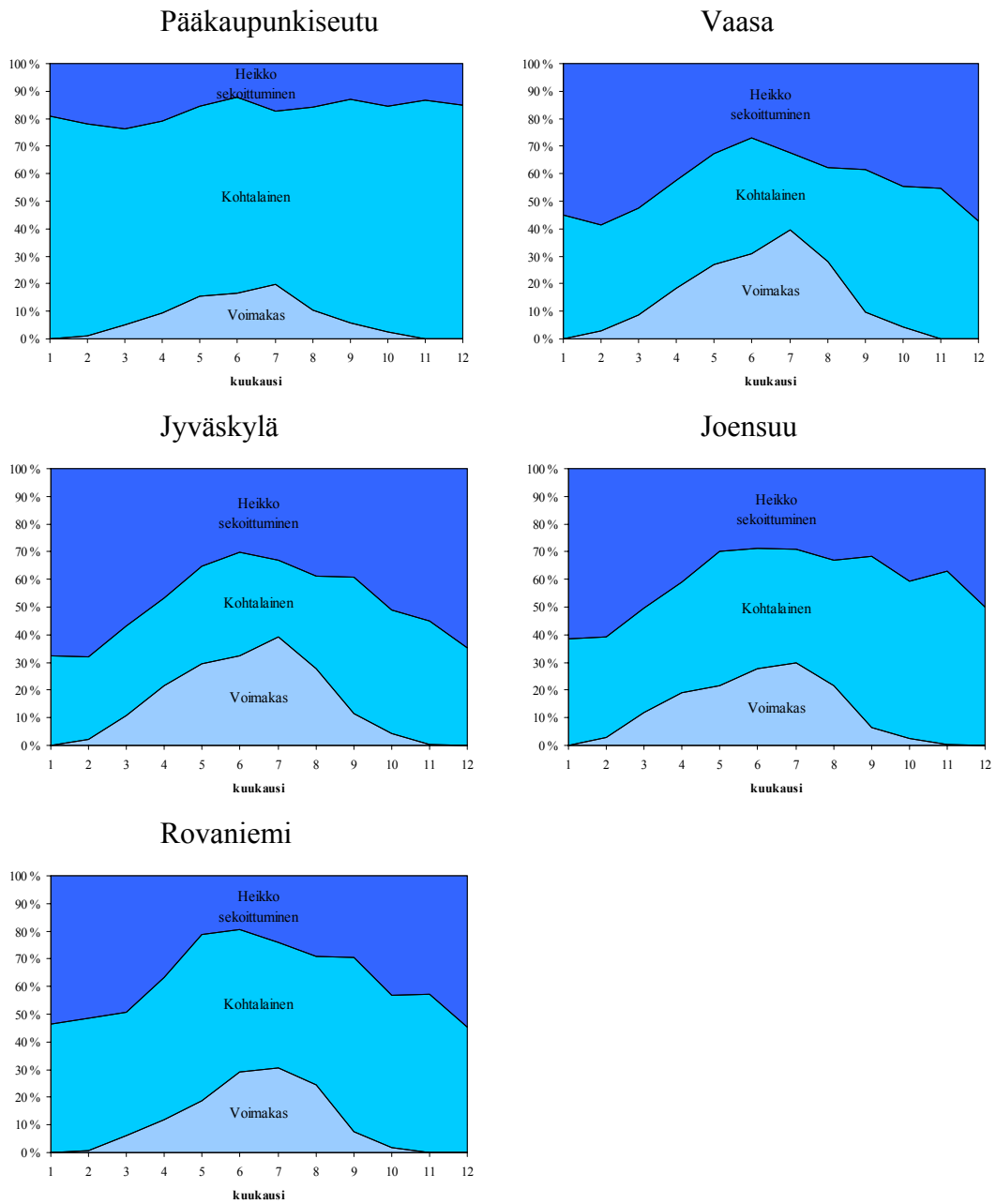
Rajakerroksen sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin pääasiassa Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Rovaniemen seudun meteorologisessa aineistossa hyödynnettiin Sodankylän observatorion luotaushavaintoja. Meteorologinen aikasarja koostuu ilmakehän rajakerroksen tilaa kuvaavien muuttujien tuntiaikasarjasta, josta on laskettu tilastolliset tuulen suunta- ja nopeusjakaumat sekä sekoitusvoimakkuuden ja sekoituskorkeuden kuukausittaiset jakaumat.

Tuulen suuntien ja -nopeuksien suhteellinen jakautuminen tuuliaineistossa on esitetty tuuliruusuna kuvassa 13. Suomessa vallitsevat tuulen suunnat ovat lounas ja etelä ja tuuliruusujen perusteella keskimääräistä tuulijakaumaa edustavat Vaasan, Joensuun ja Rovaniemen meteorologiset aineistot. Pääkaupunkiseudulla tuulen nopeudet ovat normaalia suurempia, sillä käytetyt sääasemat Helsinki-Vantaan lentokenttä ja Helsingin edustalla sijaitseva Isosaari ovat ympäristöltään tuulelle avoimia. Jyväskylän tuulensuuntajakauma on paikallisista olosuhteista johtuen keskimääräisestä poikkeava.

Sekoitusvoimakkuuksien jakaumat eri alueilla on esitetty kuvassa 14. Voimakasta sekoittumista (labiileja tilanteita) esiintyy eniten kesällä, jolloin päiväaikaan maanpinnan lämpeneminen aiheuttaa alimpaan ilmakerrokseen turbulenttista pyörteisyyttä. Labiileissa tilanteissa esiintyvät epäpuhtauspitoisuudet ovat pääsääntöisesti pieniä. Heikon sekoittumisen tilanteita esiintyy eniten talvikuukausina, jolloin ilma voi olla stabiilissa tilassa yli puolet ajasta. Heikoissa sekoittumistilanteissa pitoisuudet voivat kohota voimakkaasti varsinkin matalalta lähtevien päästöjen vaikutuksesta.



Kuva 13. Tuulen suunta- ja nopeusjakaumat eri alueilla Suomessa vuosina 2004–2006.



Kuva 14. Sekoitusvoimakkuuden jakaumat eri alueilla Suomessa vuosina 2004–2006.

Meteorologisen aineiston herkkyystarkastelua varten tarkasteltiin leviämismallilaskelmin rikkidioksidipäästöjen leviämistä ja rikkidioksidipitoisuuksien muodostumista erilaisissa meteorologisissa olosuhteissa. Päästötietoina ja muina teknisinä tietoina käytettiin keskimääräisiksi oletettuja arvoja:

Polttoaineteho 20 MW
 Piipun korkeus 40 m
 Piipun halkaisija 0,8 m
 Kattilarakennuksen korkeus 16 m
 SO₂-päästö 10,8 g/s
 Savukaasumäärä 22 896 Nm³/h
 Lämpötila 160°C

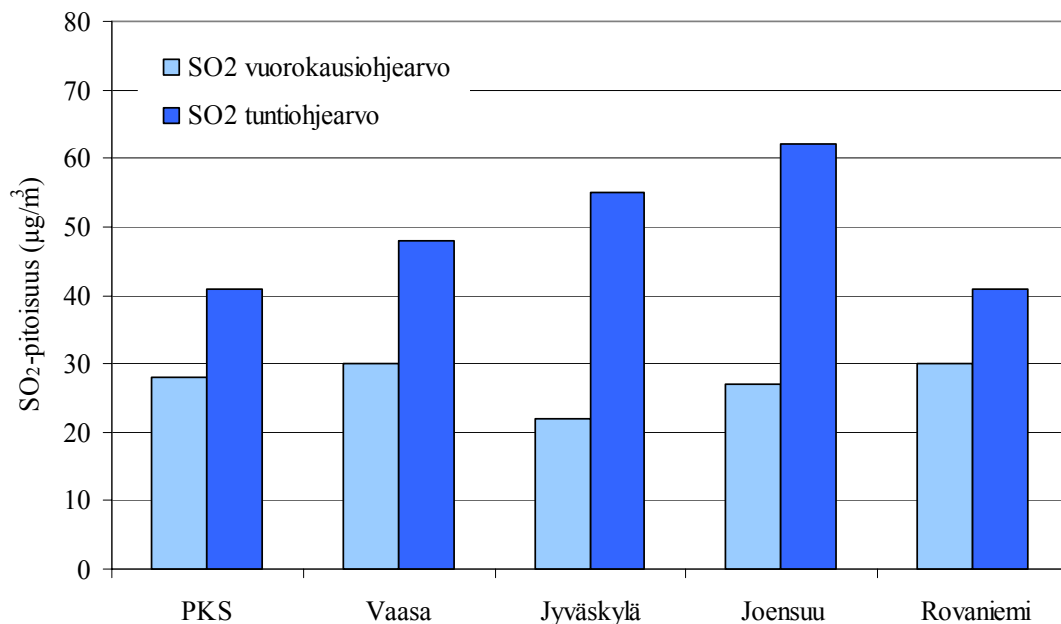
Meteorologisten aineistojen vertailemiseksi tehtyjen mallilaskelmien tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 15. Rikkidioksidin vuosipitoisuudet vaihtelevat eri alueilla 2–4 µg/m³, vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet 22–30 µg/m³ ja tuntiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet 41–62 µg/m³. Herkkyystarkastelulla pyrittiin hakemaan meteorologialtaan keskimääräinen alue piipun mitoitustarkastelua varten. Tulosten perusteella päädyttiin käyttämään Joensuun seudun meteorologista aineistoa, joka leviämislaskelmien mukaan aiheutti keskimääräisiä rikkidioksidin vuosi- ja vuorokausipitoisuuksia muihin alueisiin verrattuna vaikkakin tuntiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat tarkastelun suurimpia.

Taulukko 6. Leviämislaskelmin saadut 20 MW polttolaitoksen rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet erilaisilla meteorologisilla alueilla.

Rikkidioksidipitoisuus (µg/m ³)	Ohje-/ raja-arvo	PKS	Vaasa	Jyväskylä	Joensuu	Rovaniemi
vuosikeskiarvo	20*	4,0	3,4	2,0	2,7	3,5
korkein vuorokausikeskiarvo		32	32	30	33	32
2. korkein vuorokausikeskiarvo	80**	28	30	22	27	30
korkein tuntikeskiarvo		213	230	199	202	186
korkein tuntiarv. 99 %:n rajapit.	250**	41	48	55	62	41

* kasvillisuusvaikutusperusteinen raja-arvo

** terveysvaikutusperusteinen ohjearvo



Kuva 15. Meteorologisen aineiston herkkyystarkastelu. 20 MW kokoisen polttolaitoksen rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet erityyppisillä meteorologisilla alueilla. PKS = pääkaupunkiseutu.

5.2.2 Päästöt ja polttolaitosten muut tekniset tiedot

Piipun mitoitusnormia varten suoritettiin leviämismallilaskelmat raskaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn, maakaasun, turpeen ja puun käytön rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille. Polttoainekohtaisina päästöraja-arvoina käytettiin polttoaineteholtan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevassa asetusluonnoksessa uusille laitoksille ehdotettuja päästöraja-arvoja (taulukko 7). Liitteessä 1 on esitetty päästöraja-arvojen perusteella erikokoisille kattiloille lasketut päästöt (g/s), joita on käytetty leviämismallilaskelmien lähtötietoina. Asetusluonnoksessa ei ole esitetty kevyelle polttoöljylle typenoksidi- tai rikkidioksidipäästörajoja. Energiateollisuus ry on arvioinut kevyen polttoöljyn typenoksidien ja rikkidioksidin ominaispäästöt tätä selvitystä varten. Leviämislaskelmat on tehty niin sanottuna maksimipäästötarkasteluna, jolloin laitosten oletetaan toimivan täydellä teholla kaikkina vuoden tunteina. Maksimipäästöoletuksella saadaan määritettyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa syntyvät epäpuhtauspitoisuudet, jotka muodostuisivat, jos laitosta käytettäisiin jatkuvasti täydellä teholla.

Taulukko 7. Pienten polttolaitosten ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevan asetusluonnoksen polttoainekohtaiset päästöraja-arvot uusille kattiloille (Vna XXX/2008).

	Hiukkaset mg/m ³ n	NO_x mg/m ³ n	SO₂ mg/m ³ n
Raskas polttoöljy (POR)			
≥1 – ≤5 MW	100	800	
>5 – ≤50 MW	70 ¹⁾	600	
≥1 – ≤50 MW			1700
Kevyt polttoöljy (POK)			
≥1 – ≤50 MW	50	450 ²⁾	200 ²⁾
Kaasumaiset polttoaineet			
≥1 – ≤15 MW		340	
>15 – ≤50 MW		200	
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet			
≥1 – ≤5 MW	250		
>5 – ≤10 MW	125		
>10 – ≤50 MW	50		
≥1 – ≤50 MW		250	200
Turve			
≥1 – ≤5 MW	250		
>5 – ≤10 MW	125		
>10 – ≤50 MW	50		
≥1 – ≤50 MW		450	500

1) huippu- ja varakuormakattilat

2) Energiateollisuus ry:n arvio

Mallilaskelmien lähtötietoina käytettiin savukaasun lämpötilan, savukaasumäärän, piipun halkaisijan sekä kattilahallin korkeuden osalta taulukossa 8 esitettyjä arvoja. Lähtötiedot on toimittanut Energiateollisuus ry. Mallilaskelmissa on käytetty savukaasumääriä, jotka parhaiten kuvaavat keskimääräisiä olosuhteita. Todellisuudessa savukaasun lämpötila ja savukaasumäärä vaihtelevat suuresti olosuhteiden mukaan. Kattilahallin korkeudeksi on määritetty piipun korkeus / 2,5 perustuen pienten polttolaitosten ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevaan asetusluonnokseen, jonka mukaan piipun korkeus maanpinnasta on oltava vähintään 2,5-kertainen lähimpien esteiden, kuten rakennusten tai vastaavien maastoesteiden, korkeuteen verrattuna. Tällä normilla estetään lähimpien esteiden aiheuttamien savupainumatilanteiden muodostuminen.

Taulukko 8. Leviämismallilaskelmissa käytetyt lähtötiedot. POR = raskas polttoöljy, POK = kevyt polttoöljy

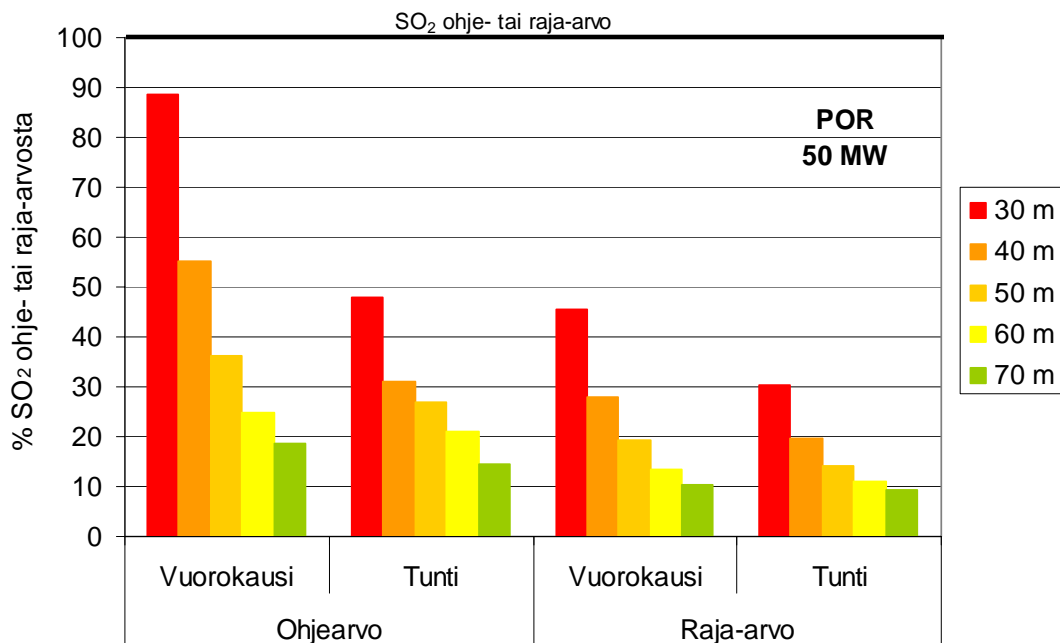
		Lämpötila (°C)				
		POR	POK	Maakaasu	Puu	Turve
		160	130	85	140	140
		Savukaasumäärä (Nm³/h)				
Polttoainetehto (MW)		POR	POK	Maakaasu	Puu	Turve
5		5 724	5 796	6 120	9 216	8 604
10		11 448	11 592	12 240	18 432	17 208
15		17 172	17 388	18 360	27 648	25 812
20		22 896	23 184	24 480	36 864	34 416
30		34 344	34 776	36 720	55 296	51 624
40		45 792	46 368	48 960	73 728	68 832
50		57 240	57 960	61 200	92 160	86 040
		Piipun halkaisija (m)				
Polttoainetehto (MW)		POR	POK	Maakaasu	Puu	Turve
5		0,45	0,45	0,5	0,6	0,6
10		0,6	0,6	0,6	0,8	0,7
15		0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
20		0,8	0,8	0,8	1,0	1,0
30		0,9	0,9	0,9	1,1	1,1
40		1,2	1,2	1,2	1,5	1,5
50		1,3	1,3	1,3	1,6	1,6
		Piipun korkeus (m)			Kattilahallin korkeus (m)	
		30			12	
		40			16	
		50			20	
		60			24	
		70			28	

Leviämislaskelmat suoritettiin seitsemälle erikokoiselle laitokselle (5–50 MW) ja viidelle piipun korkeudelle (30–70 m). Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin noin 6 × 6 km:n kokoiselle alueelle yhteensä 3 441 laskentapisteeseen. Laskentapisteeset sijaitsivat 50–200 metrin etäisyydellä toisistaan laskentapisteesikön ollessa tiheimmillään piipun läheisyydessä.

5.3 Tulokset

Leviämismallilaskelmien tuloksina saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia on seuraavassa verrattu rikkidioksidin ja typpidioksidin kansallisiin vuorokausiohjearvoihin. Tuloksia on verrattu ohjearvoihin, sillä niiden ylittyminen on todennäköisempää kuin EU:n jäsenmaissa voimassa olevien ilmanlaadun raja-arvojen ylittyminen. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti pitoisuudet alittavat myös raja-arvon jos ohjearvotaso alittuu. Pitoisuuksien vertailu vuorokausiarvoihin tuntiarvojen sijaan perustuu siihen, että vuorokausiohjearvojen on havaittu ylittyvän tuntiohjearvoja helpommin. Kuvassa 16 on havainnollistettu esimerkin avulla, että rikkidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon muodostuu suuremmaksi kuin pitoisuuksien suhde tuntiohjearvoon tai raja-arvoihin.

Hiukkaspitoisuuksia verrataan seuraavassa pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon. Hiukkaspitoisuuksia voitaisiin verrata myös hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ohje- ja/tai raja-arvoihin, mutta energiantuotannon päästöistä muodostuvat hiukkaset ovat kokoluokaltaan pääosin pieniä, jonka vuoksi pitoisuuksia päädyttiin vertaamaan pienhiukkasten (PM_{2,5}) vertailuarvoihin. EU:n jäsenmaissa sovellettavat pienhiukkasten tavoite- ja raja-arvot ovat vuosiperustaisia eikä pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksia ole säädelty EU:n direktiiveissä. Sen vuoksi hiukkaspitoisuuksia verrataan WHO:n vuorokausiohjearvoon. Leviämislaskelmissa tarkasteltiin pitoisuuksien muodostumista ns. maksimipäästötilanteessa, jonka mukaan laitos kävisi vuoden kaikkina tunteina täydellä teholla. Todellisuudessa laitos ei käy koko ajan maksimipäästöillä, joten vertailu vuosiraja-arvoihin ei olisi ollut realistinen.



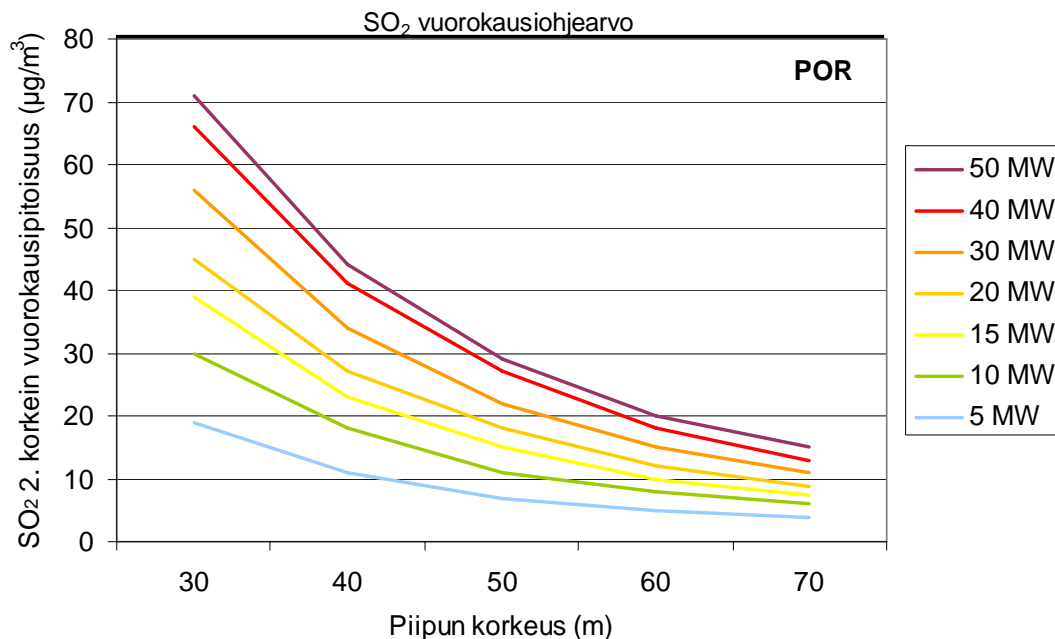
Kuva 16. Raskaan polttoöljyn käytön rikkidioksidipäästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin 50 MW polttolaitoksen eri piippuratkaisuilla.

5.3.1 Rikkidioksidipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut erikokoisten (5–50 MW) polttolaitosten rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat tutkimusalueen maanpintatason suurimmat rikkidioksidipitoisuudet on esitetty kuvissa 17–20. Mallilaskelmien tuloksista on esitetty rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon (korkein kuukauden 2. korkeimmista vuorokausikeskiarvoista; $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet eri piippuratkaisuilla. Leviämismallilaskelmin tarkasteltiin raskaan ja kevyen polttoöljyn sekä puun ja turpeen polton rikkidioksidipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia.

Raskaan polttoöljyn käytön maksimipäästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet muodostuvat suuriksi tai melko suuriksi lyhyillä piipuilla. 30–40 m piipulla rikkidioksidipitoisuudet voivat suuritehoisilla laitoksilla olla korkeimmillaan noin 60–90 % vuorokausiohjearvosta. Todellisuudessa suuritehoisten laitosten piiput ovat kuitenkin korkeampia. Korkeasta piipusta ilman epäpuhtaudet leviävät ja laimenevat tehokkaammin, jolloin pitoisuudet maanpinnalla muodostuvat pienemmiksi. 70 m piipun tarkastelussa rikkidioksidipitoisuudet jäivät kaikilla kattilatehoilla alle 20 % vuorokausiohjearvosta.

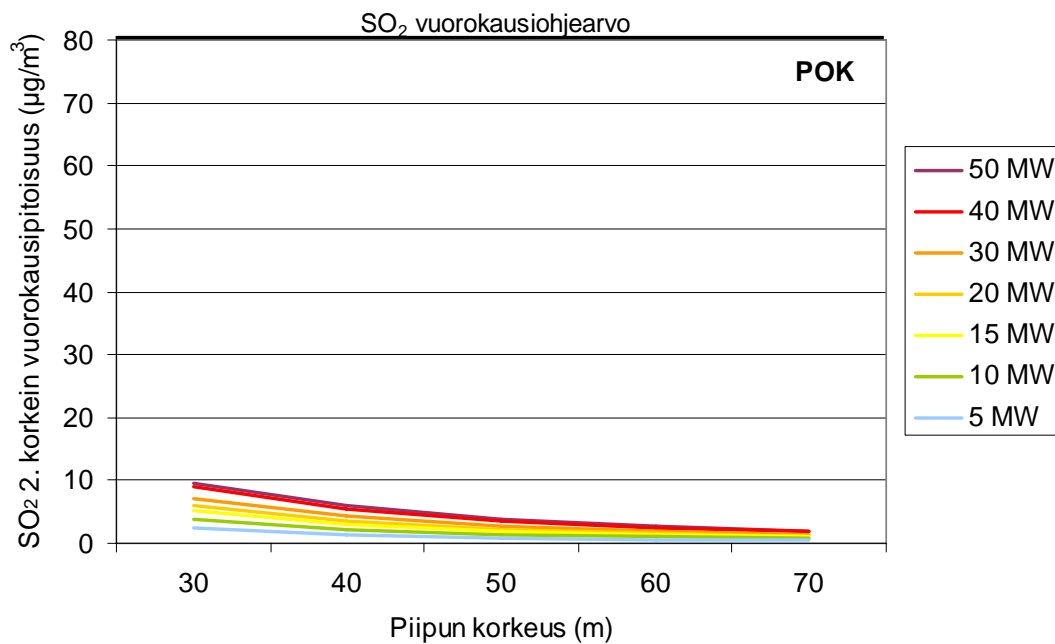
Raskasta polttoöljyä käyttävien kattiloiden aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat pienempiä suhteessa tunti- ja vuorokausiraja-arvoihin kuin ohjearvoihin. Suuritehoisten ja lyhyillä piipuilla (30–40 m) varustettujen kattiloiden päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 20–50 % vuorokausiraja-arvosta ja noin 15–30 % tuntiraja-arvosta. 70 m korkeasta piipusta vapautuvat rikkidioksidipäästöt aiheuttavat korkeimmillaan rikkidioksidipitoisuuksia, jotka jäävät alle 10 % vuorokausi- ja tuntiraja-arvoista.



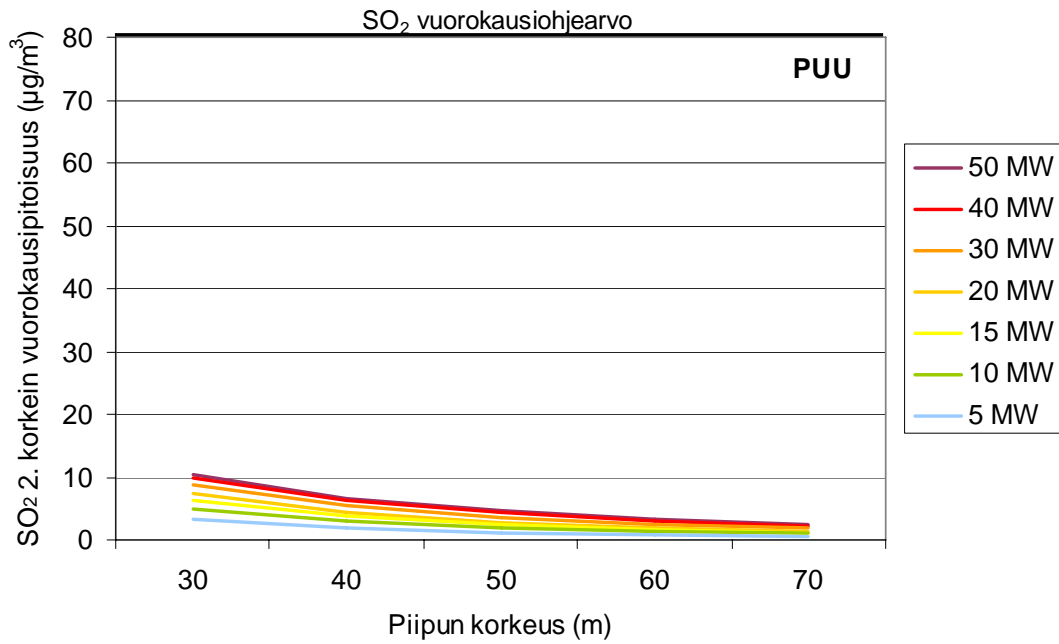
Kuva 17. Raskaan polttoöljyn rikkidioksidipäästöjen aiheuttamat rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

Kevyen polttoöljyn ja puun käytön maksimipäästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat pieniä. Pitoisuudet ovat lyhyillä piipuilla enimmillään alle 15 % vuorokausiohjearvosta. Yli 50 m korkuisilla piipuilla pitoisuudet ovat alle 5 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta.

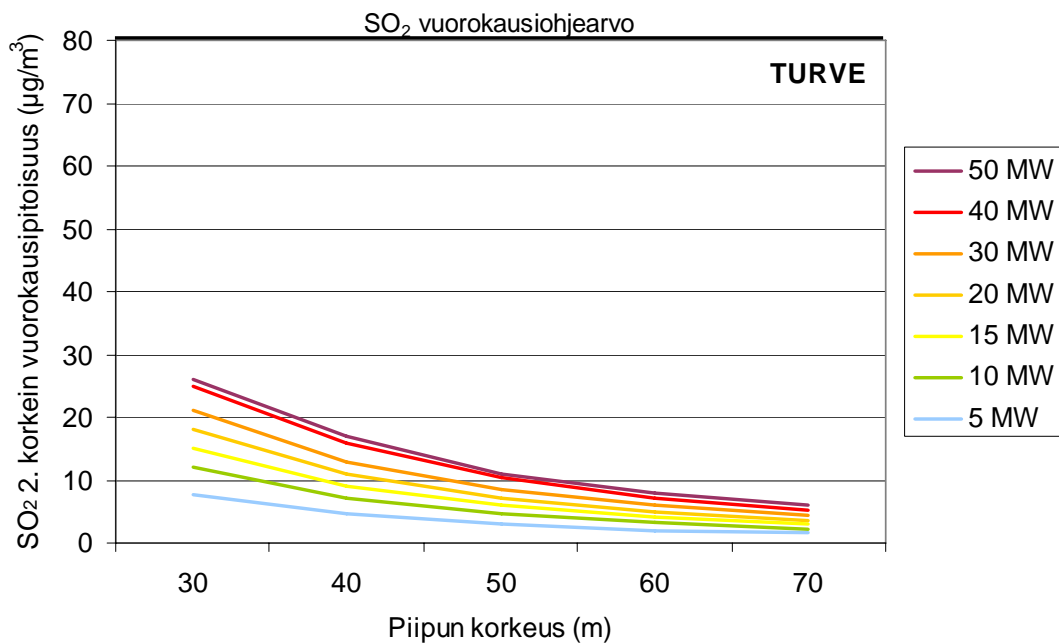
Turpeen polton maksimipäästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat 30–40 m korkuisilla piipuilla enimmillään noin 20–30 % vuorokausiohjearvosta. Tarkasteltaessa yli 50 m piipuista vapautuvia rikkidioksidipäästöjä jäävät pitoisuudet alle 15 % rikkidioksidin ohjearvosta.



Kuva 18. Kevyen polttoöljyn rikkidioksidipäästöistä muodostuvat rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon (80 µg/m³) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

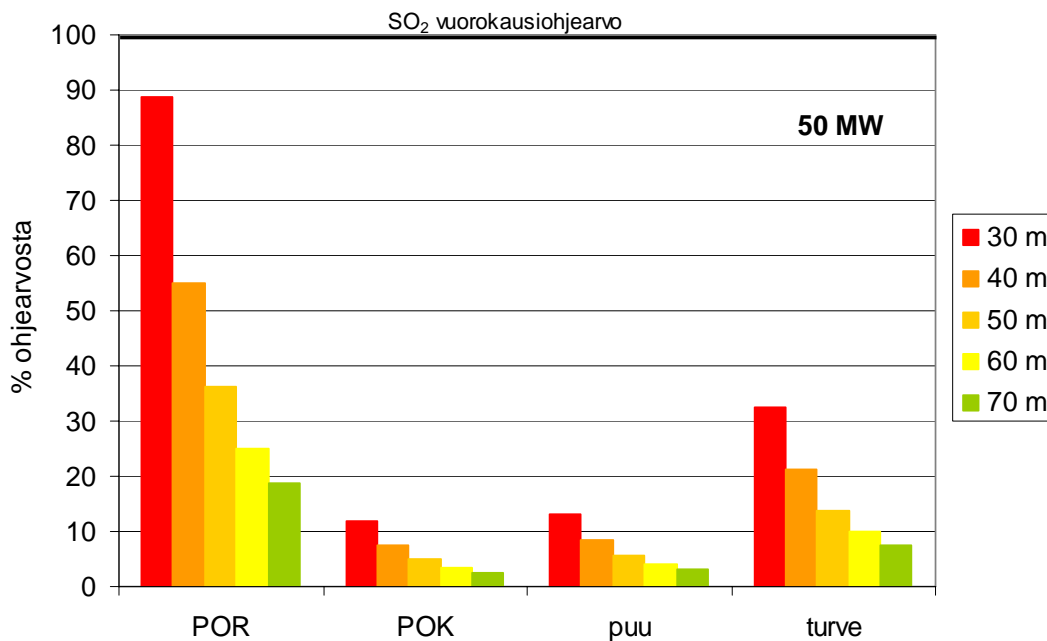


Kuva 19. Puunpolton rikkidioksidipäästöistä muodostuvat rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

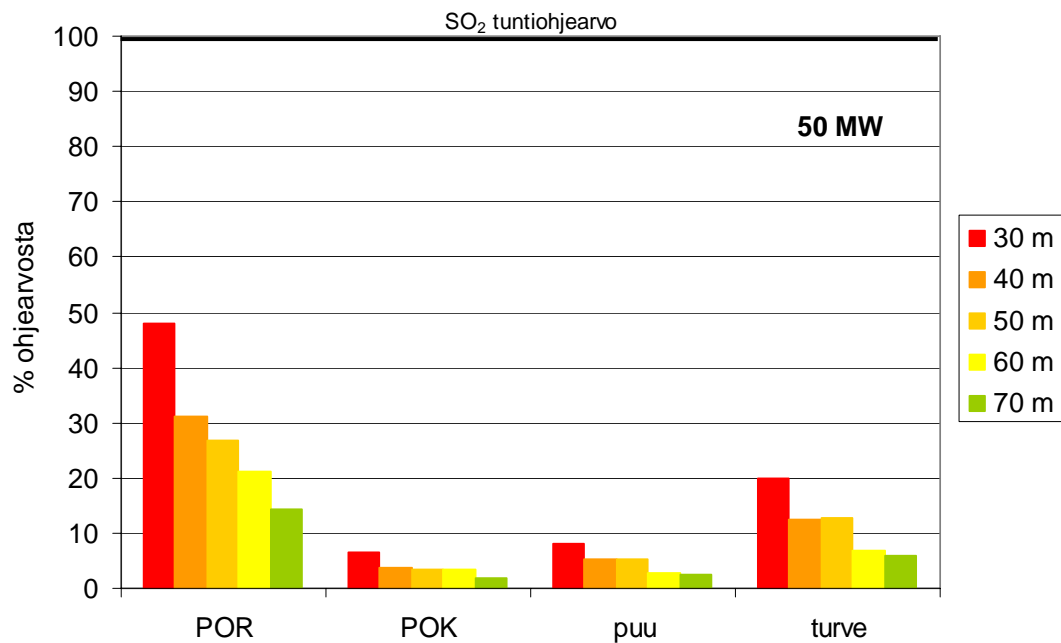


Kuva 20. Turpeenpolton rikkidioksidipäästöistä muodostuvat rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

Kuvissa 21 ja 22 on esitetty yhteenvetona mallilaskelmien tuloksena eri polttoaineille saatujen korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde rikkidioksidin vuorokausi- ja tuntiohjearvoihin. Esimerkkinä on käytetty 50 MW polttolaitosta, jonka päästöt aiheuttavat suurimmat rikkidioksidipitoisuudet. Raskasta polttoöljyä ja turvetta käyttävät laitokset aiheuttavat suurimmat rikkidioksidipitoisuudet. Piipun mitoituksen kannalta vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat kriittisempiä kuin tuntiohjearvoon tai tunti- ja vuorokausiraja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet. Toisin sanoen pitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon muodostuu leviämislaskelmien mukaan suuremmaksi kuin pitoisuuksien suhde tuntiohjearvoon tai raja-arvoihin. Tämän johdosta piipun mitoitusnormin perustana on käytetty vuorokausitason ohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia.



Kuva 21. Rikkidioksidipäästöjen aiheuttamien ulkoilman korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) käytettäessä eri polttoaineita ja piippuratkaisuja 50 MW polttolaitoksella.

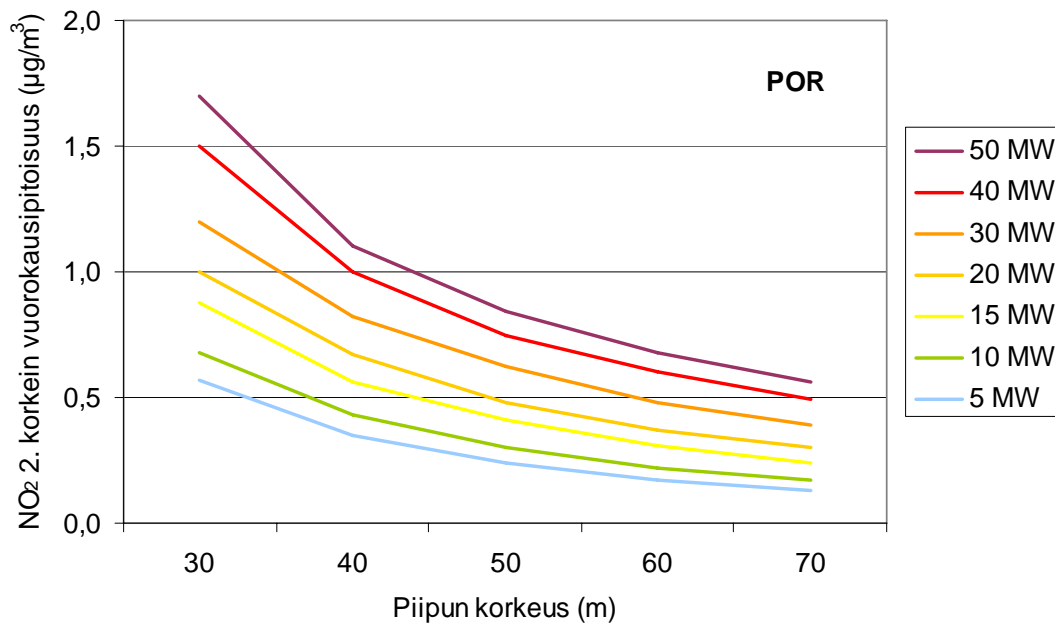


Kuva 22. Rikkidioksidipäästöjen aiheuttamien ulkoilman korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde tuntiohjarvoon ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) käytettäessä eri polttoaineita ja piippuratkaisuja 50 MW polttolaitoksella.

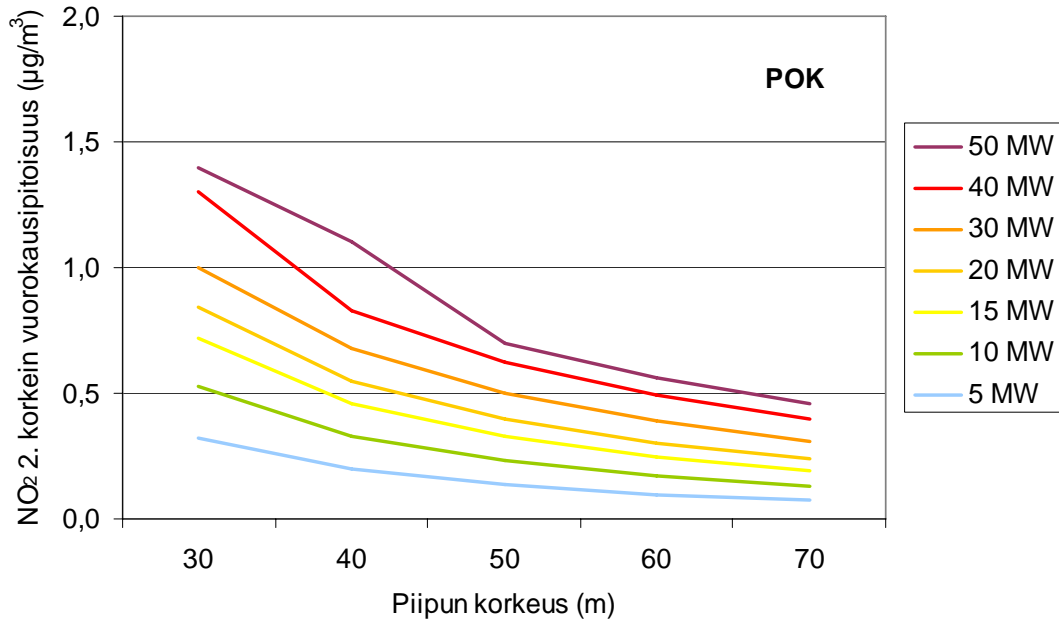
5.3.2 Typpidioksidipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut erikokoisten (5–50 MW) polttolaitosten typenoksidipäästöjen aiheuttamat tutkimusalueen maanpintatason suurimmat typpidioksidipitoisuudet on esitetty kuvissa 23–27. Mallilaskelmien tuloksista on esitetty typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (korkein kuukauden 2. korkeimmista vuorokausikeskiarvoista; $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet eri piippuratkaisuilla. Leviämismallilaskelmin tarkasteltiin raskaan ja kevyen polttoöljyn, maakaasun, puun ja turpeen polton typenoksidipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia.

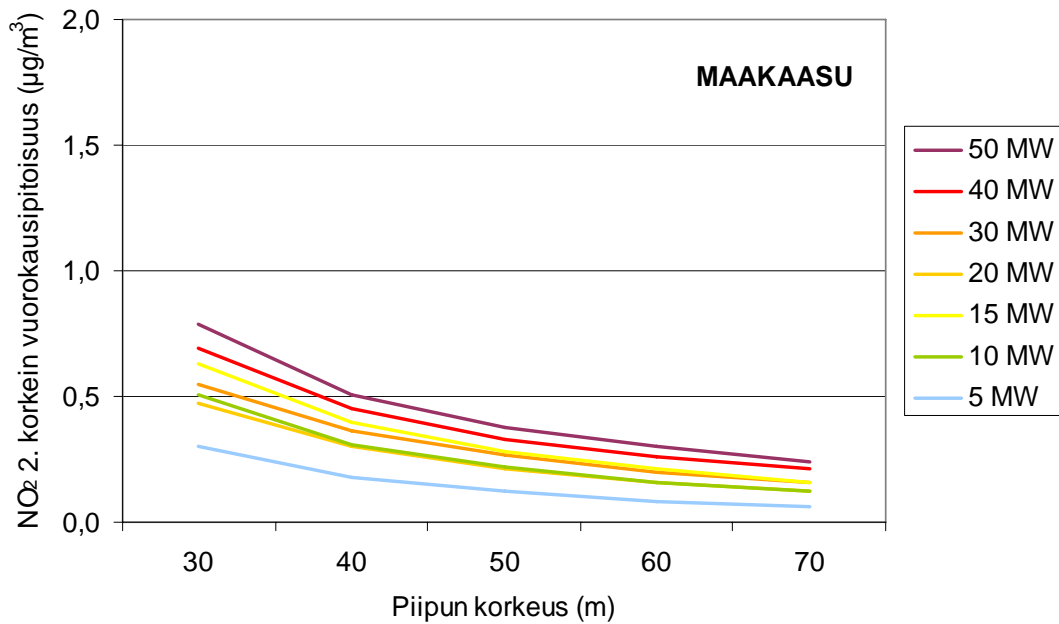
Leviämislaskelmin saadut typpidioksidipitoisuudet jäävät pieniksi kaikilla kattilakokoluokilla ja piipun korkeuksilla. Raskaan ja kevyen polttoöljyn sekä turpeen käytön maksimipäästöillä typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 2–3 % ohjearvosta. Maakaasun ja puun polton maksimipäästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 1 % typpidioksidin vuorokausiohjearvosta. Kuvassa 28 on esitetty yhteenvetona mallilaskelmien tuloksena eri polttoaineille saatujen korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde typpidioksidin vuorokausiohjearvoon 50 MW polttolaitoksen eri piippuratkaisuilla.



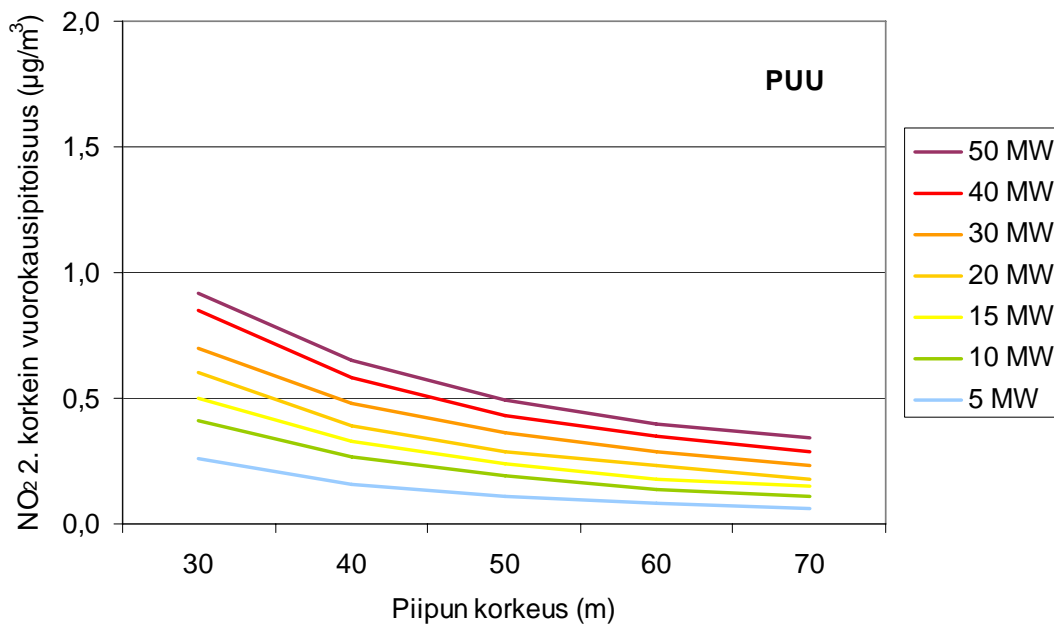
Kuva 23. Raskaan polttoöljyn typenoksidipäästöistä muodostuvat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



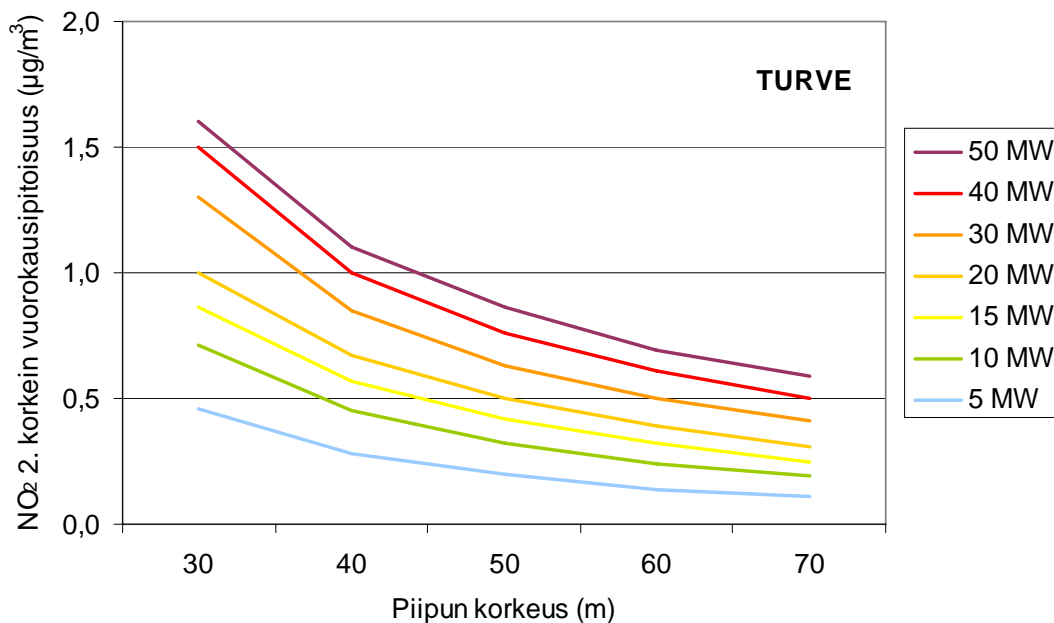
Kuva 24. Kevyen polttoöljyn typenoksidipäästöistä muodostuvat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



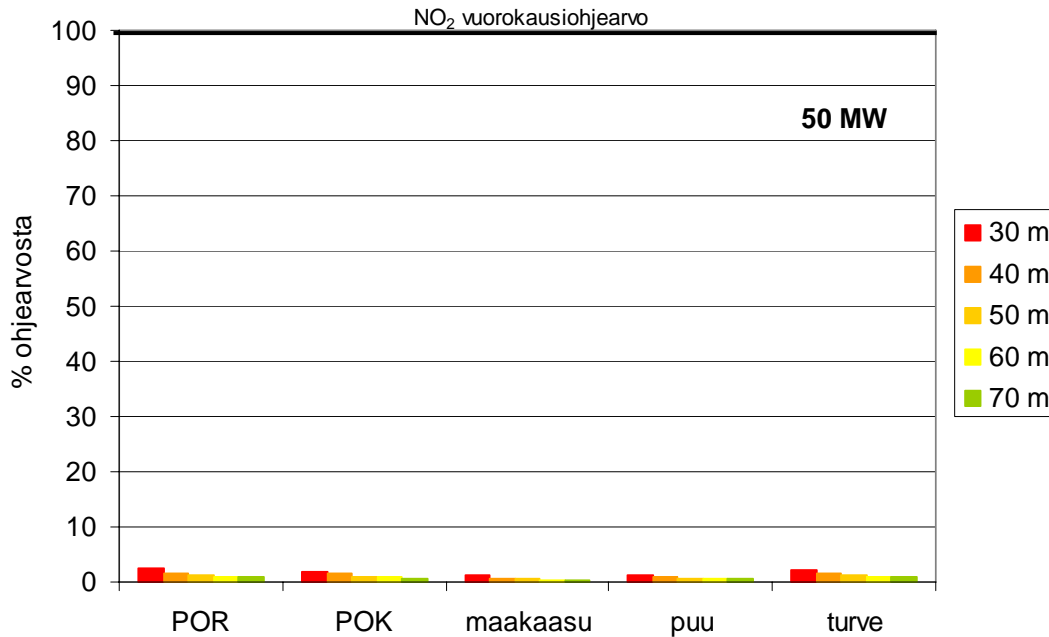
Kuva 25. Maakaasun typenoksidipäästöistä muodostuvat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



Kuva 26. Puunpolton typenoksidipäästöistä muodostuvat typpidioksidin vuorokausihjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



Kuva 27. Turpeenpolton typenoksidipäästöistä muodostuvat typpidioksidin vuorokausihjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



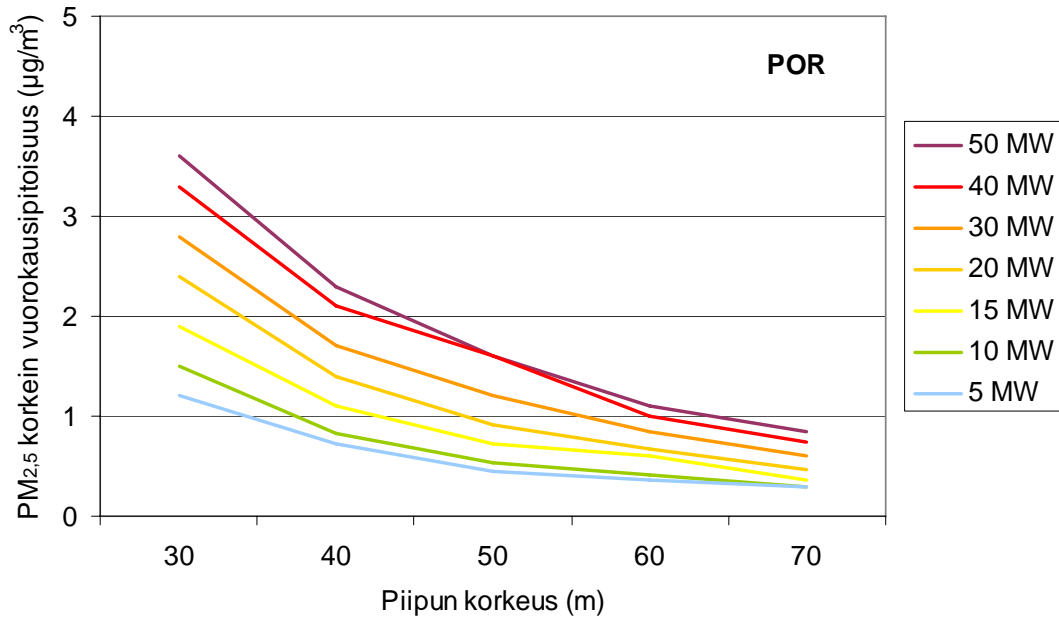
Kuva 28. Typenoksidipäästöjen aiheuttamien ulkoilman korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) käytettäessä eri polttoaineita ja piippuratkaisuja 50 MW polttolaitoksella.

5.3.3 Hiukkaspitoisuudet

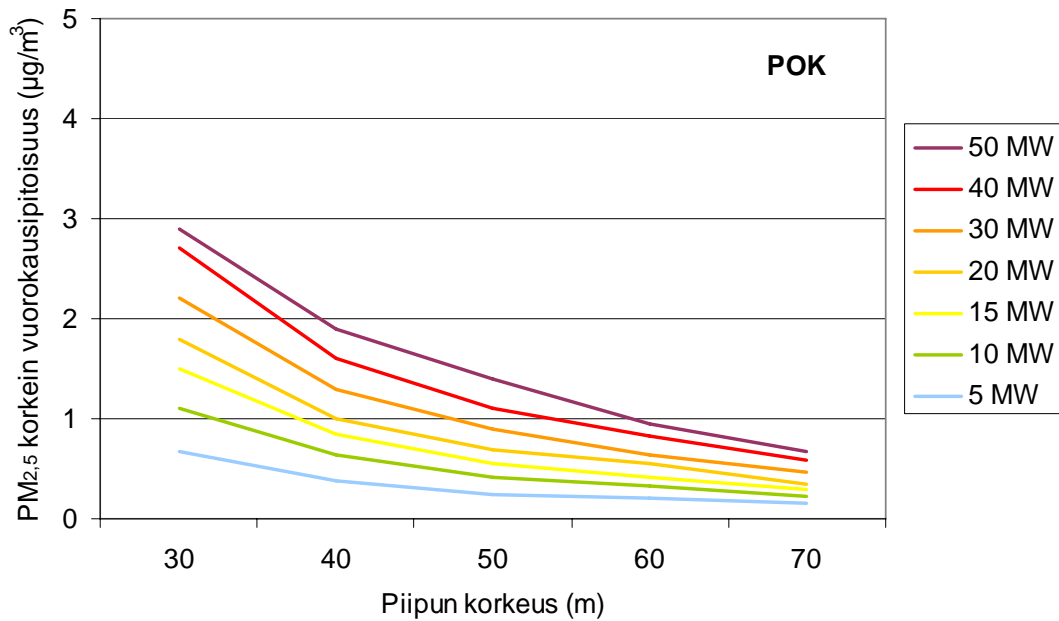
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut erikokoisten polttolaitosten (5–50 MW) hiukkaspäästöjen aiheuttamat tutkimusalueen maanpintatason suurimmat pienhiukkaspitoisuudet on esitetty kuvissa 29–32. Mallilaskelmien tuloksista on esitetty pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon (vuoden korkein vuorokausikeskiarvo; $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet eri piippuratkaisuilla. Leviämismallilaskelmin tarkasteltiin raskaan ja kevyen polttoöljyn sekä puun ja turpeen polton hiukkaspäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia.

Leviämislaskelmin saadut pienhiukkaspitoisuudet muodostuvat melko alhaisiksi kaikilla kattilakokoluokilla ja piipun korkeuksilla. Raskaan ja kevyen polttoöljyn käytön maksimipäästöillä WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 10–15 % ohjearvosta.

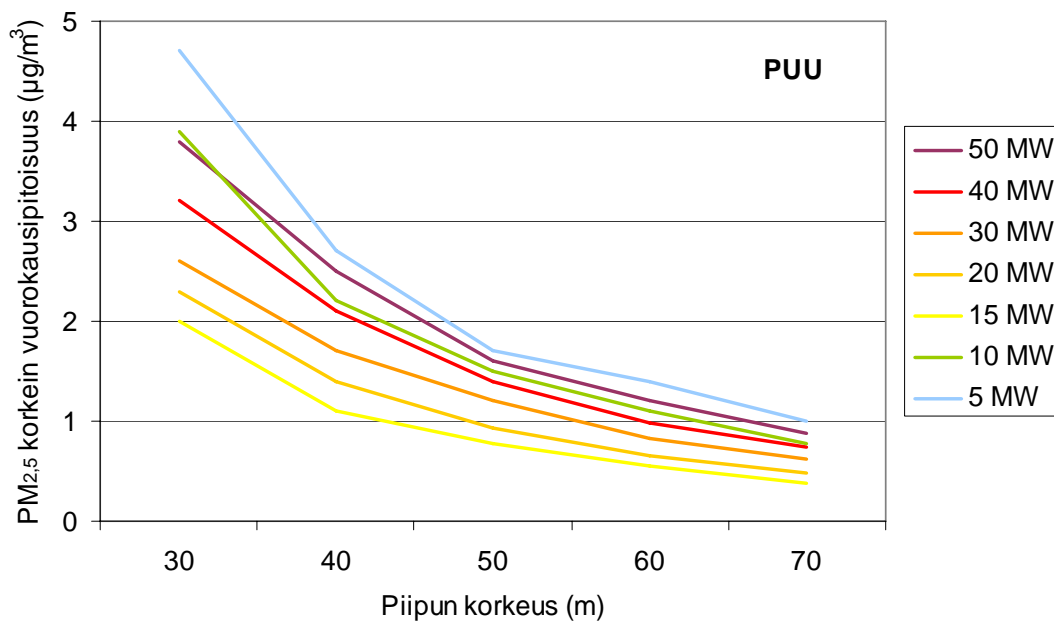
Puun ja turpeen polton maksimipäästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan alle 20 % pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvosta. Puun ja turpeen polton päästöjen aiheuttamat suurimmat pitoisuudet muodostuvat 5–10 MW tehoisilla kattiloilla, joille on annettu pienten polttolaitosten asetusluonnoksessa selvästi korkeammat päästöraja-arvot kuin suurempitehoisille kattiloille. Puuta käyttävien laitosten aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan 5 % WHO:n vuosiohjearvosta ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja 2 % EU:n vuosiperusteisesta tavoite- ja raja-arvosta ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



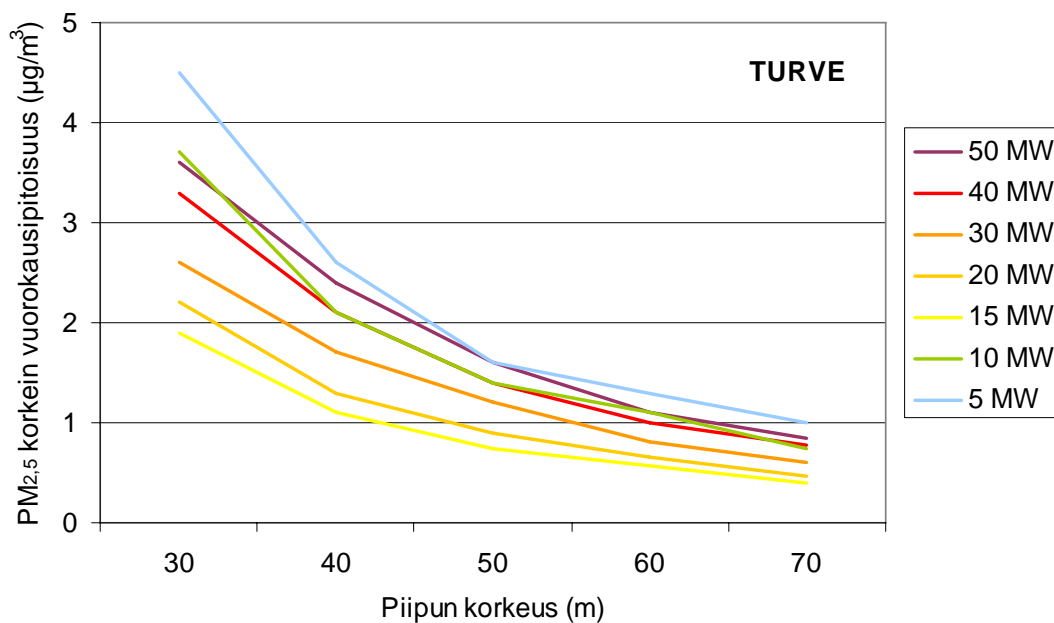
Kuva 29. Raskaan polttoöljyn hiukaspäästöistä muodostuvat WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon (25 µg/m³) verrannolliset vuoden korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



Kuva 30. Kevyen polttoöljyn hiukaspäästöistä muodostuvat WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon (25 µg/m³) verrannolliset vuoden korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

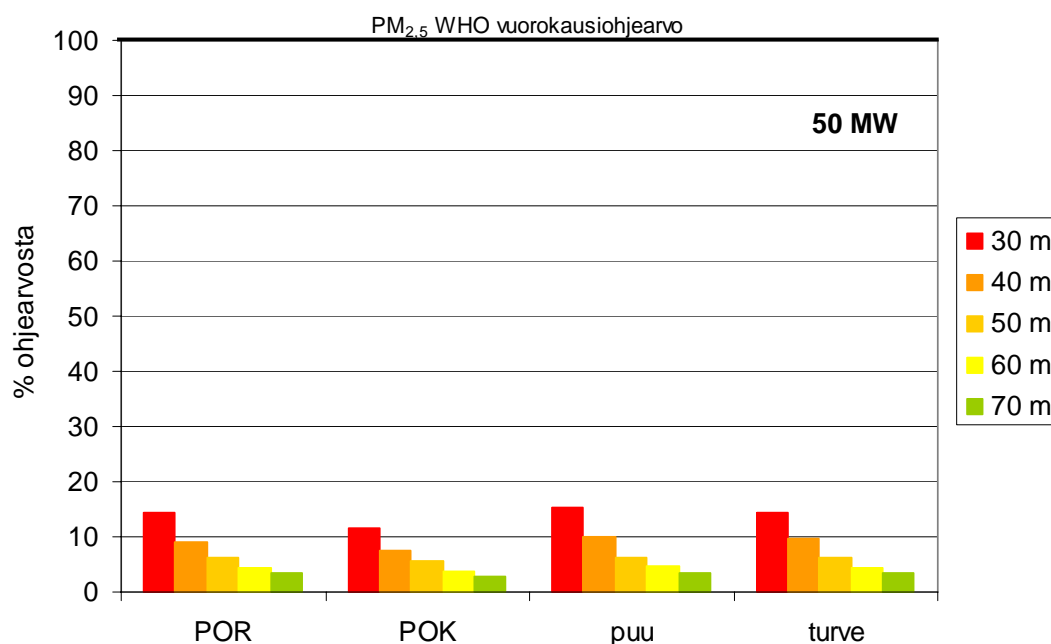


Kuva 31. Puunpolton hiukkaspäästöistä muodostuvat WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjeeseen (25 µg/m³) verrannolliset vuoden korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.



Kuva 32. Turpeenpolton hiukkaspäästöistä muodostuvat WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjeeseen (25 µg/m³) verrannolliset vuoden korkeimmat vuorokausipitoisuudet erikokoisilla polttolaitoksilla ja eri piipun korkeuksilla.

Kuvassa 33 on esitetty yhteenvetona mallilaskelmien tuloksena eri polttoaineille saatujen korkeimpien pienhiukkaspitoisuuksien suhde WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjarvoon 50 MW polttolaitoksen eri piippuratkaisuilla.

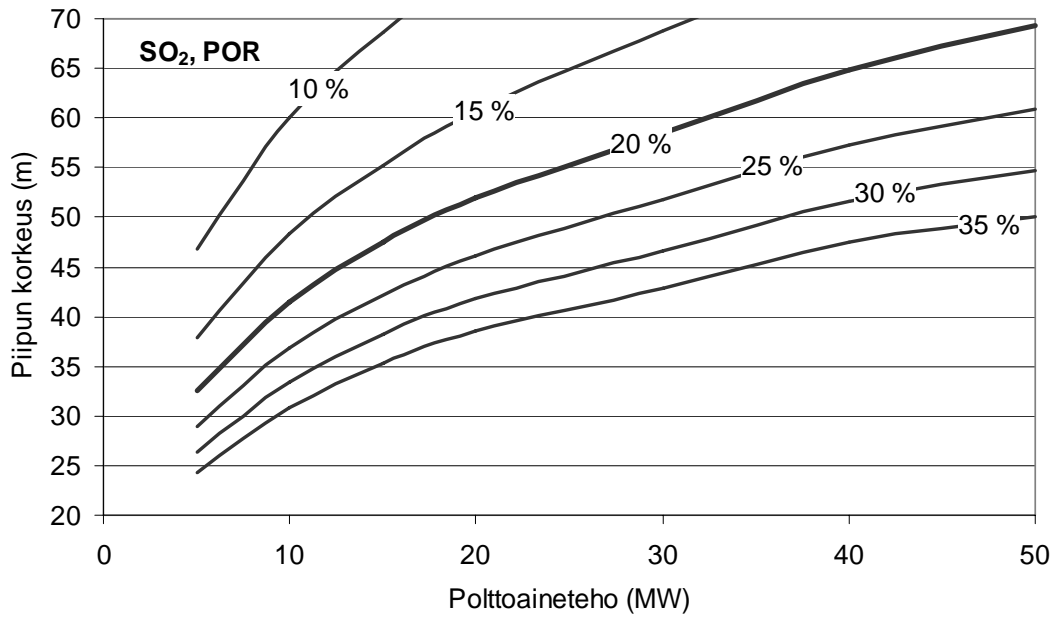


Kuva 33. Hiukkaspäästöjen aiheuttamien ulkoilman korkeimpien hiukkaspitoisuuksien suhde WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjarvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) käytettäessä eri polttoaineita ja piippuratkaisuja 50 MW polttolaitoksella.

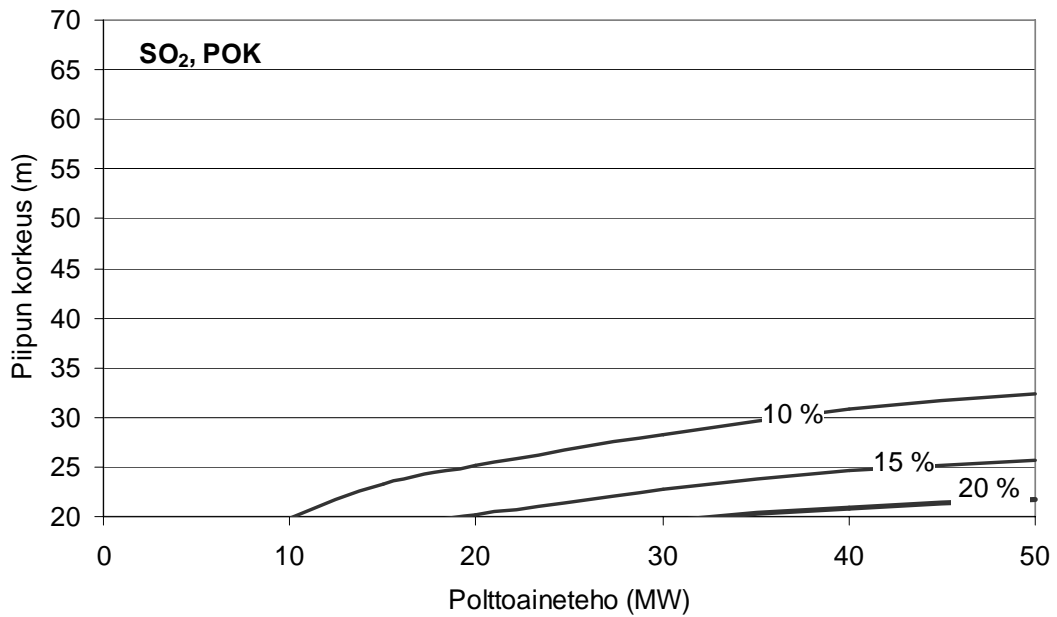
5.3.4 Piipun korkeuden mitoitus tasaisessa maastossa

Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella muodostettiin piipun mitoituskäyrät polttoaineittain kriittisimmän epäpuhtauden ja korkeimman ohje- tai raja-arvoon verrannollisen pitoisuuden perusteella. Rikkidioksidi on polttoaineista raskaalle ja kevyelle polttoöljylle sekä turpeelle kriittisin epäpuhtaus ja vuorokausiohjarvo kriittisin vertailuarvo. Mitoituskäyrät raskaalle ja kevyelle polttoöljylle sekä turpeelle muodostettiin siis vuorokausiohjarvoon verrannollisten rikkidioksidipitoisuuksien perusteella. Vastaavasti hiukkaset ovat puulla kriittisin epäpuhtaus ja vertailu tehtiin WHO:n pienhiukkasille määrittämään vuorokausiohjarvoon. Maakaasulla pitoisuudet muodostuvat kaikilla kattilatehoilla ja piipun korkeuksilla niin pieniksi suhteessa ohje- ja raja-arvoihin (suurimmillaankin vain 1 % vertailuarvoista), ettei piipun mitoituskäyräjä voitu muodostaa. Maakaasua käyttävillä kattiloilla riittävä piipun korkeus tasaisessa maastossa olisi näin ollen: a) 20 m b) vähintään 2,5-kertaa kattilarakennuksen korkeus.

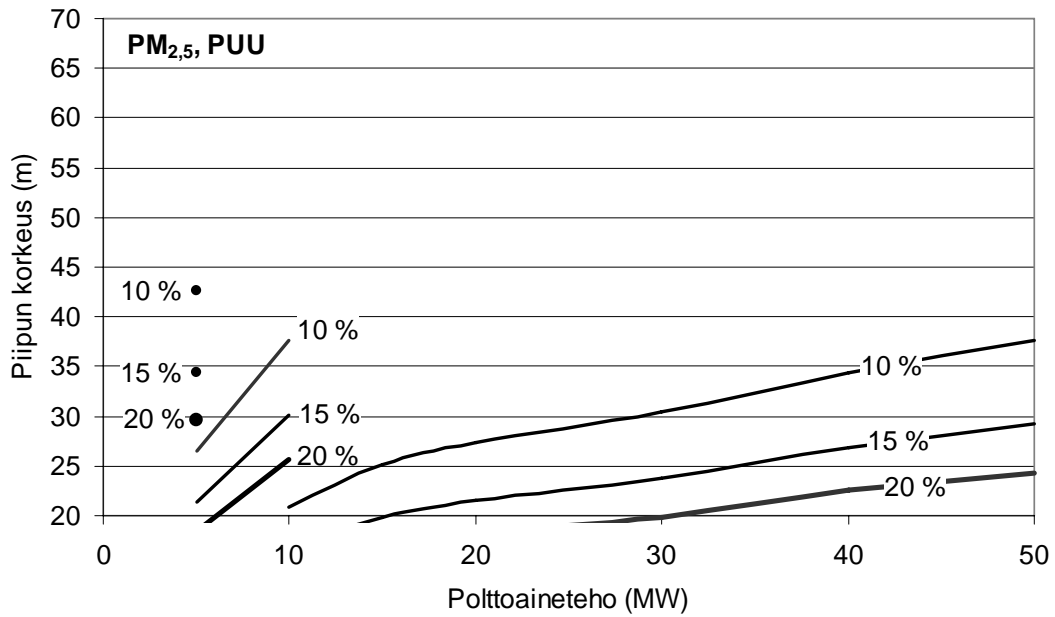
Piipun mitoituskäyrätöjen (kuvat 34–37) avulla voidaan määrittää piipun korkeus polttoaineteholtaan erikokoisille kattiloille riippuen sallitusta pitoisuustasosta suhteessa ohjarvoon. Esimerkiksi raskasta polttoöljyä käyttävän 10 MW kattilan piipun korkeudeksi saadaan noin 31 m, mikäli pitoisuuden sallitaan olevan 35 % ohjearvosta ja vastaavasti noin 60 m, mikäli pitoisuus saa olla enintään 10 % ohjearvosta (kuva 34).



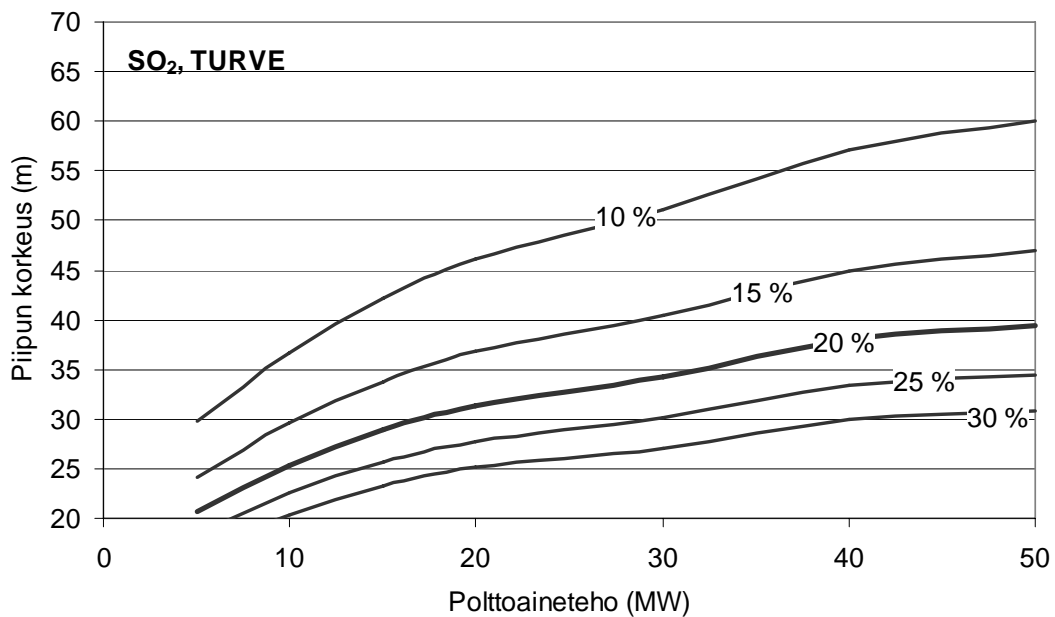
Kuva 34. Raskasta polttoöljyä käyttävien polttolaitosten piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjeesta).



Kuva 35. Kevyttä polttoöljyä käyttävien polttolaitosten piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjeesta).



Kuva 36. Puuta polttoaineenaan käyttävien polttolaitosten piipun korkeuden mitoitus suhteessa pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjeesta).



Kuva 37. Turvetta polttoaineenaan käyttävien polttolaitosten piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjeesta).

Puulle ja muille kiinteille biopolttoaineille asetusluonnoksessa annetuissa ominaispäästökertoimissa on epäjatkuuskohdat 5 MW ja 10 MW kattilatehoilla (ks. taulukko 7). Tämän vuoksi tarkasteltiin leviämislaskelmin 5 MW kattilan ilmanlaatuvaikutuksia 250 mg/m^3 ja 125 mg/m^3 päästötasoilla sekä 10 MW kattilan aiheuttamia pitoisuuksia 125 mg/m^3 ja 50 mg/m^3 päästötasoilla. Kuvasta 36

nähdään päästötasojen vaikutus piipun korkeuden mitoittamiseen ja myös niiden aiheuttama epäjatkuvuus mitoittuskäyrissä. Esimerkiksi sovellettaessa 5 MW puukattiloille korkeampaa ominaispäästökerrointa ($250 \text{ mg/m}^3\text{n}$), tulisi piipun olla noin 30 metriä korkea käytettäessä kriteeriä 20 % ohjearvosta (piste kuvassa 36). Arvioitaessa piipun korkeutta $125 \text{ mg/m}^3\text{n}$ ominaispäästökerrointa käyttäen riittäisi alle 20 metriä korkea piippu.

Ilmanlaadun hallinnan peruseriaatteina ovat ilmanlaadun parantaminen siellä, missä pitoisuudet ovat korkeita ja ilmanlaadun säilyttäminen hyvänä siellä, missä pitoisuudet ovat alhaisia. Rikkidioksidipitoisuuden osalta ilmanlaatu on kaikkialla Suomessa hyvää: mitatut pitoisuustasot ovat teollisuus- ja asutusalueilla keskimäärin 20–25 % vuorokausiohjearvosta (ks. kpl 3). Yksittäinen uusi päästölähde voisi siis aiheuttaa korkeintaan samaa suuruusluokkaa olevia rikkidioksidipitoisuuksia, jos pitoisuuksien ei haluta kasvavan ja tavoitteena on säilyttää ilmanlaadun nykyinen taso.

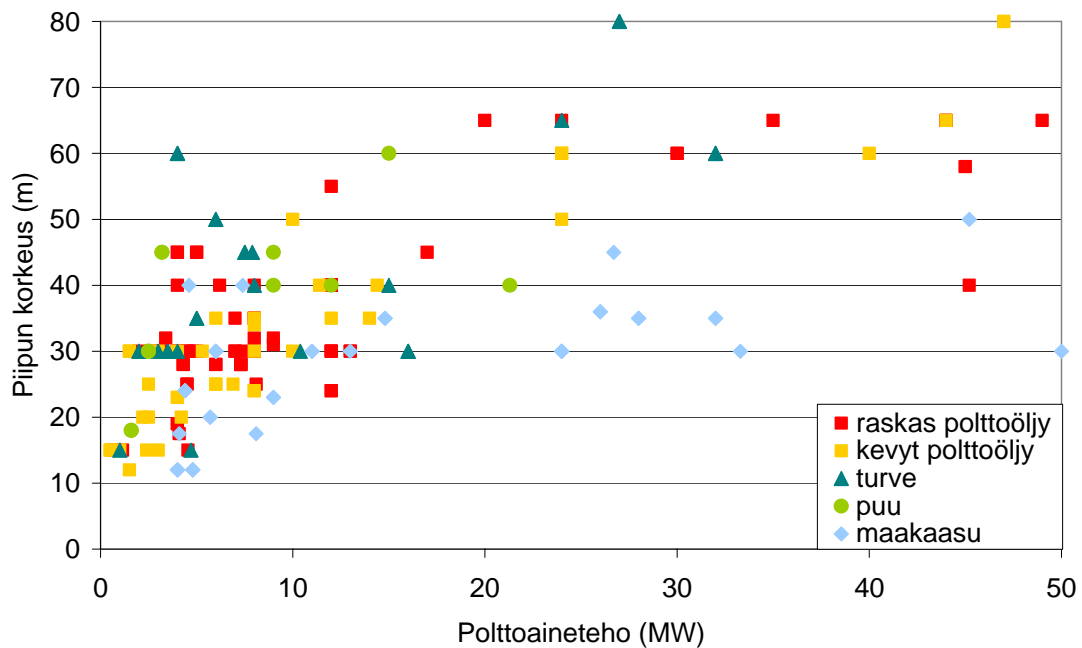
Typidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet ovat sen sijaan Suomen taajamissa varsin korkeita suhteessa ohje- ja raja-arvoihin. Typidioksidipitoisuudet kaupunkien liikennealueilla ovat korkeimmillaan vuorokausiohjearvon tasolla tai ylittävät sen ja teollisuusalueilla noin 60–70 % ohjearvosta. Hiukkaspitoisuudet ylittävät Suomessa yleisesti keväisin hengitettävien hiukkasten ohjearvon ja pienhiukkasia koskevan WHO:n vuorokausiohjearvon kaukokulkeumaepisodien aikaan. Jo valmiiksi kuormitetuille alueille sijoitettavat uudet päästölähteet eivät siis saisi aiheuttaa merkittävää typidioksidin tai hiukkasten pitoisuuslisää, jotta voidaan varmistua siitä, etteivät pitoisuustasot tulevassa tilanteessa ylitä ohjearvoja entistään suuremmalla alueella.

Varsinainen yksinkertaistettu piipun mitoitusohje muodostettiin käyttämällä polttolaitoksen päästöjen aiheuttamana vertailuarvona kaikilla epäpuhtauksilla pitoisuutta, joka on enintään 20 % kriittisimmästä ohjearvotasosta. Tämän kriteerin tarkoitus on varmistaa, etteivät yksittäisen uuden kattilalaitoksen aiheuttamat pitoisuudet huononna ilmanlaatua laitoksen lähialueilla ja etteivät ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot ylity kattilalaitoksen aiheuttaman lisäkuormituksen seurauksena. Käytettäessä 20 % kriteeriä esimerkiksi raskasta polttoöljyä käyttävien kattilalaitosten piipun korkeudet olisivat kuvan 34 mukaisesti noin:

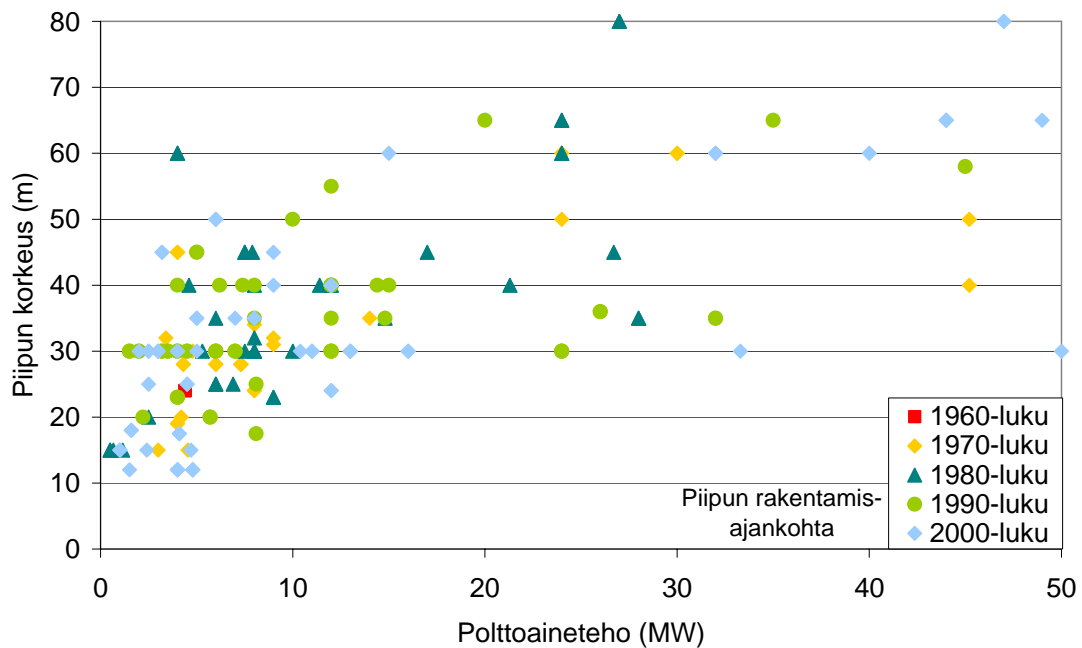
POR-kattilan polttoaineteho	Piipun korkeus
5 MW	33 m
10 MW	42 m
15 MW	48 m
20 MW	52 m
30 MW	59 m
40 MW	65 m
50 MW	69 m

Energiateollisuus ry on kerännyt kyselyllä tietoja kaukolämmön tuotannossa olevien kattiloiden todellisista piippujen korkeuksista. Kyselyn tuloksena saatiin yli 200 piipun tiedot. Kuvassa 38 on esitetty erikokoisten ja eri polttoaineita käyttävien laitosten piippujen korkeudet ja kuvassa 39 niiden rakentamisajankohdat. Piipuista

20 % on rakennettu 60–70-luvuilla, 49 % 80–90-luvuilla ja 31 % 2000-luvulla. Useampaa eri polttoaineita käyttävien laitosten pääpolttoaineeksi valittiin kyselyyn vastanneiden ensimmäisenä mainitsema polttoaine. Vertailuaineiston mukaan raskasta polttoöljyä käyttävien laitosten todelliset piipun korkeudet vastaavat melko hyvin mitoituskäyrästä 20 % ohjearvosta saatuja piipun korkeuksia. Turve-, hake- ja kevytöljykäyttöisten kattiloiden piiput ovat korkeampia kuin tässä työssä kehitetty yksinkertainen piipun mitoitusmenetelmä antaa suosituskorkeudeksi tasaisessa ympäristössä.



Kuva 38. Kaukolämmön tuotannossa olevien kattiloiden piippujen korkeudet.



Kuva 39. Kaukolämmön tuotannossa olevien kattiloiden ja niiden piippujen rakentamisajankohdat.

5.3.5 Korkeiden rakennusten ja maastonmuotojen vaikutus piipun mitoitukseen

Kappaleen 5.3.4. mukaisesti arvioitava piipun suosituskorkeus on korkeus, joka määritetään polttolaitoksille sallittavan ohjearvoon verrannollisen pitoisuustason perusteella. Suosituskorkeus on käyttökelpoinen piipun rakentamiskorkeus alueilla, joissa maasto on tasaista eikä lähiympäristössä esiinny korkeita rakennuksia. Päästöjen leviämistä ja laimenemista estävät esteet kohottavat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, jonka vuoksi tarvitaan lisä piipun korkeuteen, jotta pysytään samalla halutulla pitoisuustasolla kuin määrittettäessä piipun korkeus tasaisella maalla.

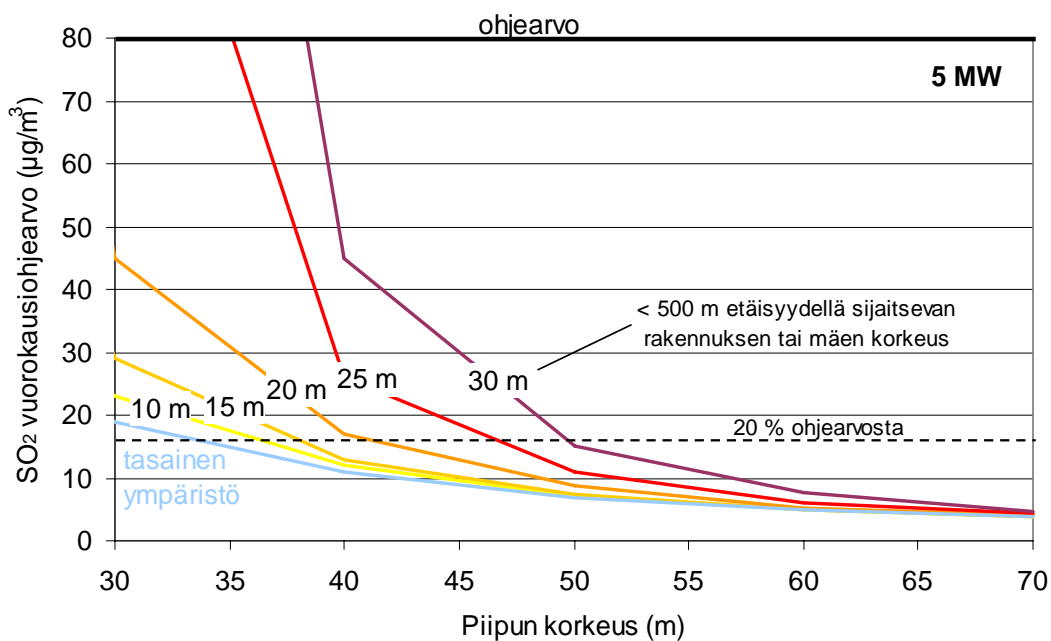
Leviämismallilaskelmien avulla arvioitiin alle 500 metrin etäisyydellä sijaitsevien rakennusten, suurten maanpinnan korkeusvaihteluiden tai muiden esteiden vaikutusta pitoisuuksien muodostumiseen ja piipun korkeuden mitoitukseen. Leviämislaskelmat suoritettiin 5, 20 ja 40 MW kokoisten, raskasta polttoöljyä käyttävien kattilalaitosten rikkidioksidipäästöille. Muut mallilaskelmien lähtötiedot olivat taulukon 8 mukaisia.

Kuvissa 40–42 on havainnollistettu alle 500 metrin etäisyydellä sijaitsevien 10–30 metriä korkeiden esteiden aiheuttamaa lisää piipun korkeuteen. 10-metrinen este vastaa noin kolmekerroksista rakennusta ja 30-metrinen este noin 9–10-kerroksista kerrostaloa. Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella päästöjen leviämistä ja laimenemista estävillä esteillä on suurin vaikutus 5 MW laitosten ympäristössä, sillä pienitehoisilla laitoksilla savukaasumäärä on melko alhainen, jolloin päästöjen leviämistä edistävän nousulisän vaikutus jää pienemmäksi. Pienillä laitoksilla on myös yleensä matalimmat piiput. Jos kattilarakennus tai muut esteet ovat korkeita suhteessa piippuun, voi syntyä savupainumatilanteita, jolloin päästöt eivät ehdi laimentua riittävästi vaan laitoksen läheisyyteen maantasolle muodostuu korkeita pitoisuuksia.

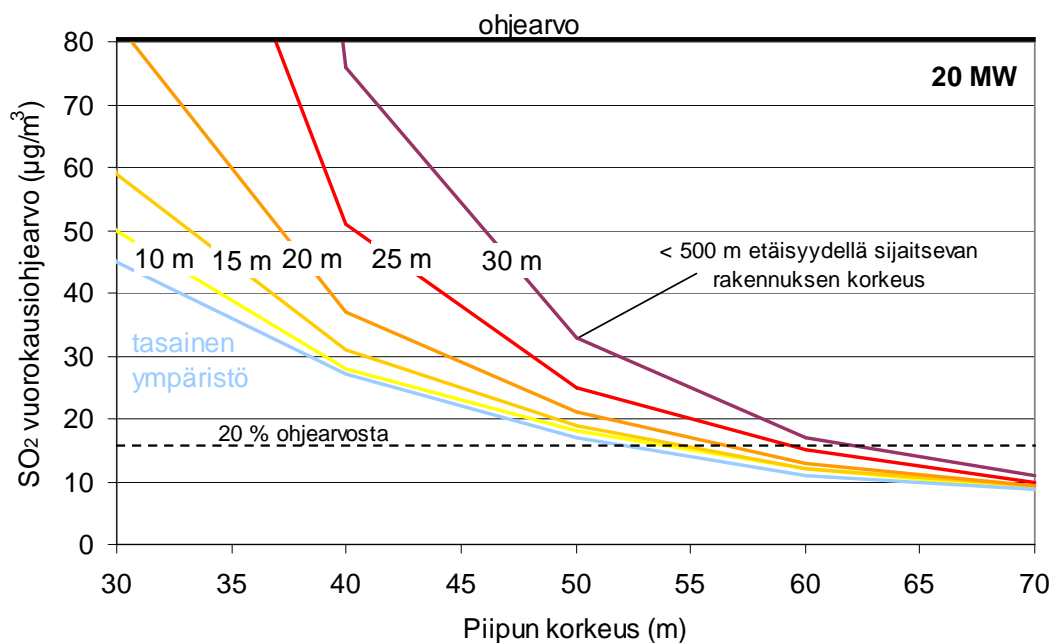
Jos polttolaitoksen rikkidioksidipäästöjen sallitaan aiheuttavan pitoisuuksia, jotka ovat enintään 20 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta eli $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tulisi piipun korkeuden olla tasaisessa maastossa 5 MW laitoksella noin 34 m. Jos alle 500 m etäisyydellä 5 MW kattilalaitoksesta on 10 metriä korkea este, tulisi piipun korkeutta nostaa noin 37 metriin. Vastaavasti lähellä sijaitseva korkea kerrostalo (30 m) edellyttäisi noin 50 metriä korkeaa piippua, jotta rikkidioksidipitoisuudet pysyisivät alueella halutulla pitoisuustasolla 20 % ohjearvosta (kuva 40).

Leviämislaskelmien mukaan 20 MW kattilalaitoksella piipun suosituskorkeus olisi tasaisessa maastossa noin 52 m, jos sallittu pitoisuustaso on enintään 20 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta. Jos puolen kilometrin etäisyydellä laitoksesta on 10–30 m korkeita rakennuksia tai maastonvaihteluita, tulisi piipun korkeutta kasvattaa 54–62 metriin (kuva 41).

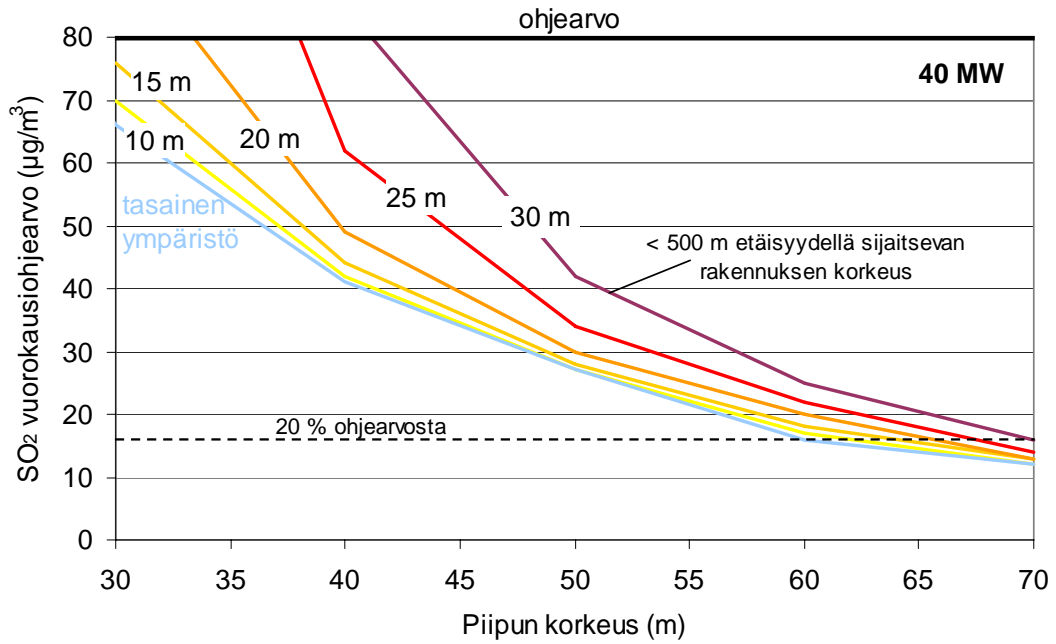
Vastaavasti 40 MW kattilalaitoksella tulisi olla 20 % kriteeriä käyttäen tasaisessa ympäristössä 60 m korkea piippu. Jos laitoksen läheisyydessä on 10–30 metriä korkeita esteitä, tulisi piipun korkeuden olla 62–70 metriä (kuva 42).



Kuva 40. Alle 500 m etäisyydellä sijaitsevien 10–30 metriä korkeiden esteiden vaikutus 5 MW kattilalaitoksen piipun korkeuden mitoitukseen. Katkoviivalla on merkitty taso 20 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta eli 16 µg/m³.



Kuva 41. Alle 500 m etäisyydellä sijaitsevien 10–30 metriä korkeiden esteiden vaikutus 20 MW kattilalaitoksen piipun korkeuden mitoitukseen. Katkoviivalla on merkitty taso 20 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta eli 16 µg/m³.

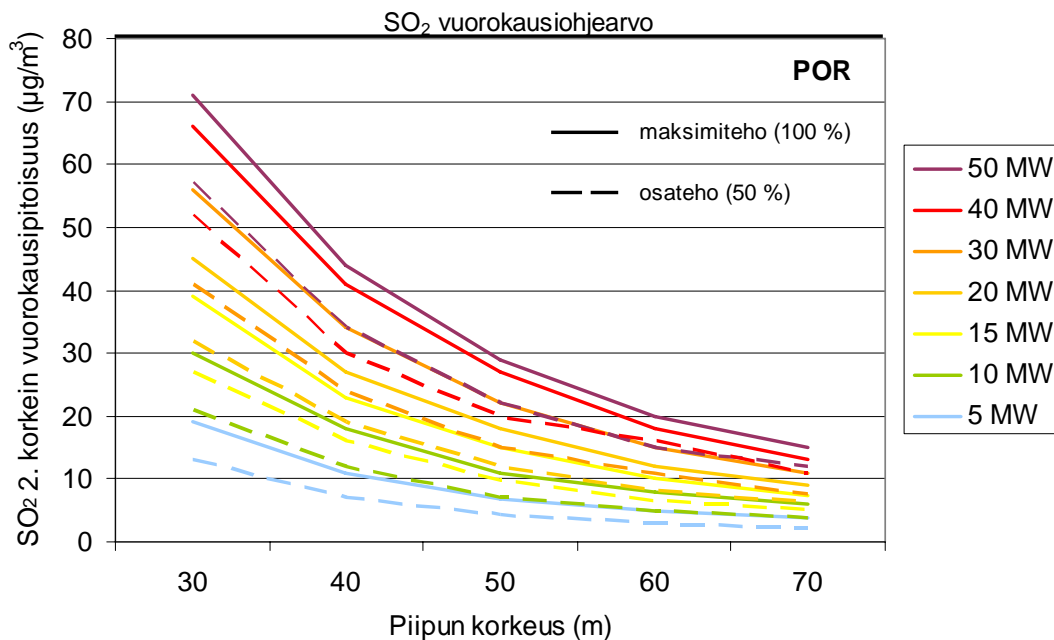


Kuva 42. Alle 500 m etäisyydellä sijaitsevien 10–30 metriä korkeiden esteiden vaikutus 40 MW kattilalaitoksen piipun korkeuden mitoitukseen. Katkoviivalla on merkitty taso 20 % rikkidioksidin vuorokausiohjearvosta eli 16 µg/m³.

5.3.6 Polttolaitosten osatehokäytön vaikutus pitoisuuksiin

Kappaleissa 5.3.1–5.3.3. esitetyt leviämismallilaskelmien tulokset kuvaavat tilannetta, jossa laitokset toimivat täydellä teholla kaikkina vuoden tunteina. Maksimipäästötarkastelulla saadaan määritettyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa syntyvät epäpuhtauspitoisuudet, jotka muodostuisivat, jos laitosta käytettäisiin jatkuvasti täydellä teholla. Todellisuudessa laitokset eivät kuitenkaan aina käy täydellä teholla, joten leviämislaskelmin on tarkasteltu myös tilannetta, jossa raskasta polttoöljyä käyttävä kattilalaitos käy 50 % osateholla.

Kuvassa 43 on havainnollistettu osatehokäytön vaikutusta rikkidioksidipitoisuuksien muodostumiseen verrattuna maksimipäästöjen aiheuttamiin rikkidioksidin vuorokausiohjarvoon verrannollisiin pitoisuuksiin. 50 % osateholla laskelmissa muodostuvat korkeimmat rikkidioksidin vuorokausiohjarvoon verrannolliset pitoisuudet ovat noin 20–40 % pienempiä kuin täyden tehon tarkastelutapauksissa. Polttoaineteholtaan pienemmillä kattiloilla prosentuaalinen muutos on suurempi kuin suuritehoisilla kattilalaitoksilla, koska pienten kattiloiden päästöistä muodostuvat pitoisuudet ovat kaikkiaan alhaisempia. Käytettäessä laitosta 50 % osateholla ovat päästöt ja savukaasumäärä puolet pienempiä. Savukaasumäärän ollessa alhainen jää päästöjen mekaaninen nousulisä jää selvästi pienemmäksi, jolloin päästöt eivät leviä ja laimene yhtä tehokkaasti. Tämän johdosta muodostuvat pitoisuudet eivät alene samassa suhteessa kuin päästöjen vähenemä antaisi odottaa.



Kuva 43. Raskasta polttoöljyä käyttävien polttolaitosten maksimi- ja osatehon mukaisten päästöjen aiheuttamat rikkidioksidin vuorokausiohjarvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausipitoisuudet.

6 OHJEISTUS PIIPUN KORKEUDEN MITOITUKSEEN

Polttolaitoksen piipun korkeuden mitoituksella voidaan vaikuttaa paikalliseen ilmanlaatuun. Korkeammalla piipulla varustetun laitoksen päästöt laimenevat tehokkaammin ja aiheuttavat pienempiä pitoisuuksia maanpintatasolla kuin matalammalla piipulla varustetun laitoksen päästöt. Piipun korkeuden lisäksi muodostuviin pitoisuuksiin vaikuttavat mm. savukaasujen lämpötila ja savukaasumäärä sekä savukaasujen nousunopeus. Kattilarakennus tai muut piipun lähellä sijaitsevat korkeat rakennukset tai suuret maanpinnan korkeusvaihtelut voivat häiritä savukaasujen leviämistä ja aiheuttaa korkeita pitoisuuksia laitoksen lähistöllä. Päästöjen leviämistä ja laimenemista estävät esteet voivat aiheuttaa korkeita pitoisuuksia myös näiden kohteiden sijaintipaikoilla, kuten kerrostalojen katoilla, jonne esimerkiksi rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät on usein sijoitettu.

Suurten laitosten piipun teknisessä mitoituksessa käytetään yleensä apuna päästöjen leviämismallilaskelmia, joiden tulosten perusteella arvioidaan, millaisella poistokaasupiipulla täyttyvät laitoksen ympäristössä riittävän hyvän ilmanlaadun kriteerit. Pienten kattilalaitosten savukaasujen leviämistä ei kuitenkaan aina ole tarpeen määrittää leviämismallilaskelmilla vaan laitosten ilmanlaatuvaikutuksia voidaan arvioida yksinkertaistettujen menetelmien avulla.

Tässä ohjeessa esitetään yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan määrittää pienten polttolaitosten (polttoaineteho 5–50 MW) piipun korkeus siten, etteivät ko. laitoksen päästöt aiheuta ympäristöön ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot sekä vallitseva paikallinen ilmanlaatu huomioiden liian korkeita epäpuhtauspitoisuuksia. Ohje on laadittu alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevan valtioneuvoston asetusluonnoksen uusille kattiloille ehdotettujen päästöraja-arvojen pohjalta. Ohjeessa oletetaan, että tarkasteltavan kattilalaitoksen päästöt täyttävät ko. asetusluonnoksen päästöraja-arvot. Piipun korkeuden mitoitusohje perustuu oletukseen, että polttolaitokset käyvät koko ajan täydellä teholla. Ohje on tehty raskasta ja kevyttä polttoöljyä, maakaasua, puuta ja turvetta pääpolttoaineenaan käyttäville kattilalaitoksille ja siinä on huomioitu kattilalaitoksen rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöt.

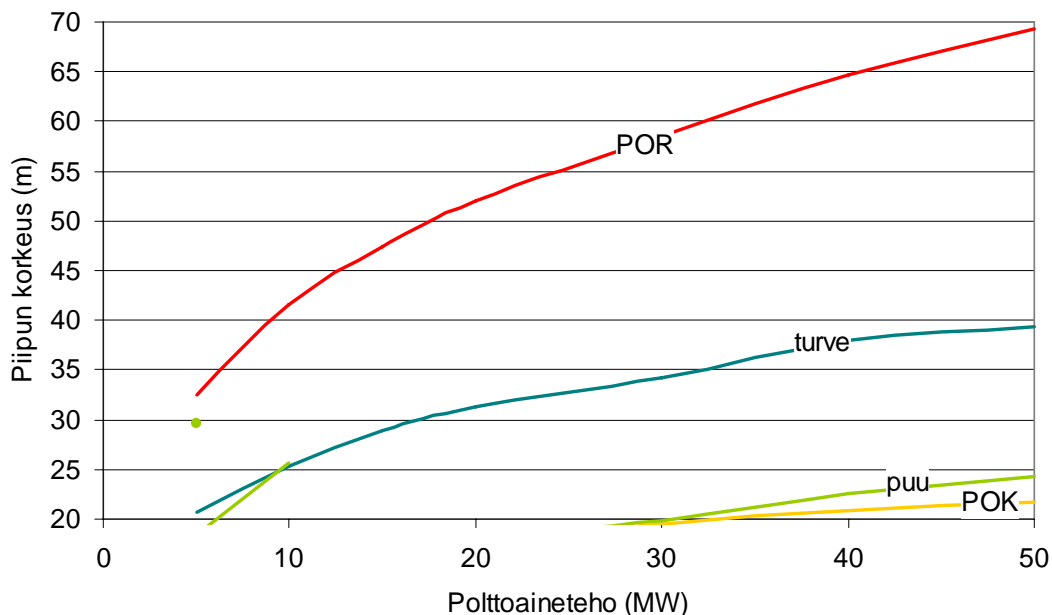
Raskasta ja kevyttä polttoöljyä sekä turvetta käyttävillä polttolaitoksilla kriittisimmäksi epäpuhtaudeksi muodostui leviämismallilaskelmien mukaan rikkidioksidi ja puuta käyttävillä laitoksilla hiukkaset. Maakaasua käyttävien laitosten aiheuttamat pitoisuudet jäivät niin pieniksi, ettei niitä voitu käyttää piipun mitoituksen perustana. Piipun korkeuden mitoitusnomogrammi muodostettiin rikkidioksidin kansalliseen vuorokausiohjeeseen ja pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollisten pitoisuuksien perusteella. Vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet olivat mallilaskelmien mukaan kriittisempiä kuin tuntiohjeeseen tai raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet.

Ilmatieteen laitos esittää ohjeessa, että yhden polttolaitoksen päästöjen aiheuttamana vertailuarvona käytettäisiin pitoisuutta, joka on korkeintaan 20 % ohjearvotasosta. Ehdotuksen mukaisesti piipun mitoitusnomogrammi muodostettiin käyttäen kriteeriä 20 % vuorokausiohjearvoista (kuva 44). Kuvissa 34–37 on esitetty nomogrammit piipun mitoitukseen, kun tavoiteltu pitoisuustaso on 10–35 % ohjearvoista.

Piipun mitoitus tasaisessa maastossa, jossa ei sijaitse korkeita rakennuksia

Raskasta tai kevyttä polttoöljyä, puuta tai turvetta pääpolttoaineenaan käyttävän teholtaan 5–50 MW yksittäisen kattilalaitoksen tai useamman yhteisteholtaan 5–50 MW kattilalaitoksen, jonka savukaasut ohjataan samaan piippuun, piipun korkeus voidaan määrittää kuvan 44 perusteella seuraavin edellytyksin:

- piipun korkeus on vähintään 20 metriä ja vähintään 2,5-kertaa kattilarakennuksen korkeus (estää savupainumatilanteiden muodostumisen)
- kattilalaitoksen päästöt täyttävät alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevan valtioneuvoston asetusluonnoksen päästöraja-arvot uusille kattiloille
- kattilalaitos käy toiminta-aikanaan täydellä tai miltei täydellä teholla
- laitos sijaitsee tasaisessa maastossa (maanpinnan korkeuserot alle 0,5 km etäisyydellä laitoksesta enintään 10 metriä)
- alle 0,5 km etäisyydellä laitoksesta ei sijaitse korkeita rakennuksia (yli kolmekerroksisia kerrostaloja)



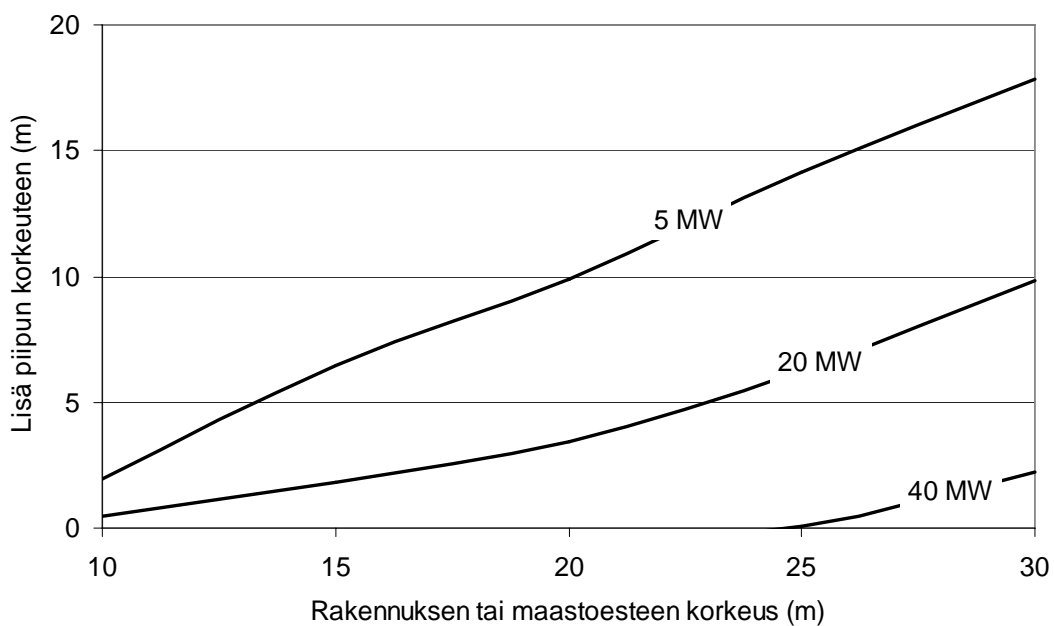
Kuva 44. Piipun korkeuden mitoitus 5–50 MW kokoisilla polttolaitoksilla, kun yksittäisen laitoksen sallitaan aiheuttavan pitoisuuksia, jotka ovat korkeintaan 20 % vuorokausiohjearvoista. Normi on käyttökelpoinen tasaisessa maastossa ja ympäristössä, jossa ei sijaitse korkeita rakennuksia. 5 MW puukattilan piipun korkeus on noin 18–30 metriä riippuen käytetystä ominaispäästökertoimesta.

Maakaasua polttoaineena käyttävän 5–50 MW polttolaitoksen piippu voidaan mitoittaa em. ehtojen täytyessä seuraavasti:

1. Piipun korkeus vähintään 20 metriä
2. Piipun korkeus vähintään 2,5-kertaa kattilarakennuksen korkeus

Maanpinnan korkeusvaihteluiden ja korkeiden rakennusten vaikutus piipun korkeuteen

Mikäli alle 0,5 kilometrin etäisyydellä laitoksesta maanpinnan korkeus vaihtelee voimakkaasti (10–30 m) tai siellä sijaitsee yli kolmekerroksisia rakennuksia, voidaan kuvan 45 avulla arvioida tasaisessa maastossa sijaitsevan laitoksen piipun suosituskorkeuteen tarvittava lisä.



Kuva 45. Voimakkaasti vaihtelevan maaston tai laitoksen lähellä sijaitsevien korkeiden rakennusten aiheuttama lisä piipun korkeuteen.

Piipun korkeuden mitoitus erikoistapauksissa

Esitettyä yksinkertaista piipun korkeuden määritysmenetelmää ei tule sellaisenaan soveltaa, mikäli on perusteltu syy olettaa laitoksen päästöjen aiheuttavan merkittävää ilmanlaadun heikkenemistä laitoksen lähialueella. Esimerkiksi seuraavissa tapauksissa laitoksen piipun mitoituksen tueksi on tehtävä erillinen asiantuntija-arvio ja/tai tarkempi selvitys esim. leviämismallilaskelmin:

- Laitoksen päästöt ovat merkittävästi suuremmat kuin alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksia koskevan valtioneuvoston asetusluonnoksen päästöraja-arvot uusille kattiloille
- Piipun korkeus on alle 2,5-kertaa kattilarakennuksen korkeus
- Laitosta ajetaan merkittävä osa toiminta-ajastaan osatehoilla
- Laitoksen savukaasujen lämpötila, tilavuusvirtaus ja ulosvirtausnopeus ovat selvästi normaalia alhaisempia
- Alle 0,5 kilometrin etäisyydellä laitoksesta maanpinnan korkeus kohoaa yli piipun korkeuden tai siellä sijaitsee yli 30 metriä korkeita rakennuksia
- Laitos sijaitsee ilmanlaadun kannalta ennestään erittäin kuormitetulla alueella, missä raja- tai ohjearvot ylittyvät tai ovat lähellä ylittyä tai ympäristössä, jossa sijaitsee tai jolle suunnitellaan muita uusia päästölähteitä, jotka voivat yhdessä aiheuttaa merkittävää ilmanlaadun heikkenemistä
- Laitos sijaitsee luonnonsuojelullisesti merkittävässä ympäristössä tai laitoksen lähellä sijaitsee sellaisia ilmanlaadun kannalta herkkiä kohteita, jotka aiheuttavat normaalia tiukempia ilmansuojelutoimenpiteitä (esim. päiväkodit, sairaalat tai koulut)
- Laitos sijaitsee sellaisessa meteorologisessa ympäristössä, jonka on syytä olettaa aiheuttavan pitoisuustasojen normaalia suurempaa kohoamista. Epäedullisia meteorologisia tilanteita muodostuu helposti esimerkiksi laitoksen sijaitessa laaksomaisessa ympäristössä, jolloin heikon sekoittumisen tilanteissa (ns. inversiotilanteissa) ilma jää seisomaan laakson pohjalle eivätkä päästöt pääse laimenemaan.
- Muu perusteltu syy.

7 VIITELUETTELO

BRIGGS, G.A., 1975. Plume rise predictions. In HAUGEN, D.A. (ed.), *Lectures on air pollution and environmental impact analysis*. American Meteorological Society, p. 59 - 111.

BRIGGS, G.A., 1984. Plume rise and buoyancy effects. In: SANDERSON, D. (ed.), *Atmospheric Science and Power Production*. US Dept. of Energy DOE/TIC-27601, p. 327 - 366.

BUSINGER, J.A., WYNGAARD, J.C., IZUMI, Y. & BRADLEY, E.F., 1971. Flux profile relations in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.* 28, p. 181 - 189.

CAUGHEY, S.J., WYNGAARD, J.C. & KAIMAL, J.C., 1979. Turbulence in the evolving stable boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 36, p. 1041 - 1052.

HANNA, S.R., 1985. Air quality modeling over short distances. In: HOUGHTON, D.D. (ed.), *Handbook of Applied Meteorology*, University of Wisconsin.

HOLTSLAG, A.A.M., 1984. Estimates of diabatic wind speed profiles from near surface weather observations. *Bound.-Layer Meteorol.* 29, p. 225 - 250.

ILVESSALO, P., 1989. Yksittäisestä piipusta ilmaan pääsevien epäpuhtauksien suurimpien tuntipitoisuuksien arviointimenetelmä. *Raportteja* 1989:1. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 21 s.

JANSSEN, L.H.J.M, van WAKEREN, J.H.A, van DUUREN, H. & ELSHOUT, A.J., 1988. A classification of NO oxidation rates in power plant plumes based on atmospheric conditions. *Atmos. Environ.* 22:1, p. 43 - 53.

KAJOSAARI, S. & LUMME, E., 1982. Ilmaan epäpuhtauksia päästävien pienten laitosten piipun korkeuden määrittämismenetelmä. Ilmatieteen laitos, tutkimuslause 79 Ilmansuojelu, Helsinki.

KARPPINEN, A., JOFFRE, S & VAAJAMA, P., 1997. Boundary layer parametrization for Finnish regulatory dispersion models. *Int. J. Environ. Pollut.*, Vol. 8, Nos. 3 - 6, p. 557 - 564.

KARPPINEN, A., JOFFRE, S. M. & KUKKONEN, J., 2000. The refinement of a meteorological preprocessor for urban environment. *Int. J. Environment and Pollution*, vol 14, p. 565 - 572.

LAHTINEN, T & KOMPPULA, J., 1995. Pienten ja keskisuurten energiantuotantolaitosten ilmansuojelu. Muistio 1/1995. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. 102 s.

MILJØSTYRELSEN, 2002. Guidelines for Air Emission Regulation. Limitation of air pollution from installations. Environmental Guidelines Nr. 1. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

NATURVÅRDSVERKET, 1987. Fastbränsle-eldade anläggningar 500 kW–10 MW. Allmänna råd 87:2. Solna, Sverige.

NATURVÅRDSVERKET, 1990. Skorstenshöjd beräkningsmetod. Allmänna råd 90:3. Solna, Sverige.

NESTE OY, 1991. Öljyn käyttö kattilalaitoksissa. Helsinki.

OLESEN, H.R., 1995. Regulatory Dispersion Modelling in Denmark. *Int. J. Environment and Pollution*, vol. 5, Nos. 4 - 6, 412 - 417.

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

TA Luft, 2002. Technical Instructions on Air Quality Control. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act. Dated 24.7.2002

United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1985). Guideline for Determination of Good Engineering Practise Stack Height (Technical Support Document for the Stack Height Regulations).

Vna XXX/2008. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. Annettu Helsingissä xx.xx.2008. Asetusluonnos.

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

Vna 711/2001. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 9.8.2001.

World Health Organisation (WHO), 2006. WHO Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.

WRATT, D.S., 1987. An experimental investigation of some methods of estimating turbulence parameters for use in dispersion models. *Atmos. Environ.* 21:12, p. 2599 - 2608.

1999/30/EY. Neuvoston direktiivi ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista. Annettu 22.4.1999.

2008/50/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmanlaadun parantamisesta. Annettu 21.5.2008.

LIITTEET

Liite 1

Valtioneuvoston asetusluonnoksen uusia kattiloita koskevien päästöraja-arvojen avulla erikokoisille polttolaitoksille lasketut hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt (g/s):

	Hiukkaset g/s	NO_x g/s	SO₂ g/s
POR			
5 MW	0,16	1,3	2,7
10 MW	0,22	1,9	5,4
15 MW	0,33	2,9	8,1
20 MW	0,45	3,8	10,8
30 MW	0,67	5,7	16,2
40 MW	0,89	7,6	21,6
50 MW	1,1	9,5	27,0
POK			
5 MW	0,081	0,7	0,32
10 MW	0,16	1,4	0,64
15 MW	0,24	2,2	1,0
20 MW	0,32	2,9	1,3
30 MW	0,48	4,3	1,9
40 MW	0,64	5,8	2,6
50 MW	0,81	7,2	3,2
MAAKAASU			
5 MW		0,58	
10 MW		1,2	
15 MW		1,7	
20 MW		1,4	
30 MW		2,0	
40 MW		2,7	
50 MW		3,4	
PUU			
5 MW	0,64	0,64	0,51
10 MW	0,64	1,3	1,0
15 MW	0,38	1,9	1,5
20 MW	0,51	2,6	2,0
30 MW	0,77	3,8	3,1
40 MW	1,0	5,1	4,1
50 MW	1,3	6,4	5,1
TURVE			
5 MW	0,60	1,1	1,2
10 MW	0,60	2,2	2,4
15 MW	0,36	3,2	3,6
20 MW	0,48	4,3	4,8
30 MW	0,72	6,5	7,2
40 MW	1,0	8,6	9,6
50 MW	1,2	10,8	12,0

Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut

PL 503

00101 HELSINKI

puh. (09) 19291

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

Air quality expert services

P.O.Box 503

FIN-00101 HELSINKI

tel. +358 9 19291

airquality.services@fmi.fi

www.fmi.fi



ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE