



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTEJA  
RAPPORTER  
REPORTS  
2017:7

# ILMANLAATUSELVITYS

## PIIPUNKORKEUDEN MITOITUS 1-5 MW ENERGIANTUOTANTOYKSIKÖISSÄ

**JATTA SALMI  
EMMI LAUKKANEN  
JENNI LATIKKA**



## **ILMANLAATUSELVITYS**

**Piipunkorkeuden mitoitus 1–5 MW energiantuotantoyksiköissä**

**Jatta Salmi  
Emmi Laukkanen  
Jenni Latikka**

**Ilmatieteen laitos – Asiantuntijapalvelut  
Ilmanlaatu ja energia  
Helsinki 9.1.2018**

Julkaisija Ilmatieteen laitos, Erik Palménin aukio 1  
PL 503, 00101 HelsinkiTekijät  
Jatta Salmi, Emmi Laukkanen ja  
Jenni LatikkaToimeksiantaja  
Ympäristöministeriö

Nimeke

Ilmanlaatuselvitys. Piipunkorkeuden mitoitus 1–5 MW energiantuotantoyksiköissä.

## Tiivistelmä

Tämän työn tavoitteena oli määrittää yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan mitoittaa pienille energiantuotantoyksiköille ilmanlaadun kannalta riittävä piipunkorkeus. Työssä arvioitiin päästöjen leviämismallilaskelmien avulla polttoaineteholtaan 1–5 MW kokoisten uusien energiantuotantoyksiköiden ilmanlaatuvaikutuksia ja selvitettiin niille sopivaa piipunkorkeutta.

Leviämismallitarkastelut tehtiin erikseen seitsemän eri polttoaineen rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille. Polttoaineet olivat turve, puupelletit, kokopuuhioke, bioöljy, raskas polttoöljy, kevyt polttoöljy ja maakaasu. Raskaasta polttoöljystä tarkasteltiin erikseen öljyä, joka sisältää 0,1 paino-% rikkiä ja öljyä, joka sisältää 0,2 paino-% rikkiä.

Laskelmissa tarkasteltiin erikseen polttoaineteholtaan 1, 3 ja 5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden päästöjen aiheuttamia ulkoilman pitoisuuksia laitosten ympäristössä. Laskelmissa käytettiin lähtötietoja, jotka parhaiten kuvaavat keskimääräisiä olosuhteita tyypillisissä tämän kokoisissa energiantuotantoyksiköissä. Päästöjen leviämislaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä leviämismallilla UDM-FMI.

Tarkastelujen avulla muodostettiin polttoainekohtaiset mitoituskäyrät polttoaineteholtaan 1–5 MW:n uusien energiantuotantoyksiköiden piipunkorkeuksille tasaisessa maastossa. Lisäksi tarkasteltiin erikseen läheisen maastoesteen tai lähirakennuksen vaikutusta syntyviin pitoisuuksiin ja määritettiin esteen vaikutuksesta piipunkorkeuteen tarvittava lisäkorkeus.

Luokitus (UDK)  
502.3:613.15  
662.6/9Asiasanat  
ilmanlaatu, energiantuotanto,  
päästö, piipunkorkeus,  
piipun mitoitus, ilmanlaadun  
epäpuhtaudetISSN ja avainnimeke  
0782-6079ISBN  
978-952-336-046-4Kieli  
suomiSivumäärä  
31

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>OSA I</b> .....	<b>4</b>
1 JOHDANTO .....	4
2 TULOKSET .....	4
2.1 Vertailuarvojen valinta .....	4
2.2 Mitoittavan päästökomponentin valinta .....	6
2.3 Piipunkorkeuden mitoituskäyrät polttoaineittain .....	10
2.4 Lähiesteen vaikutus piipunmitoitukseen .....	15
2.5 Yhteenveto piipunkorkeuden mitoituskäyristä tasaisessa maastossa .....	17
<b>OSA II</b> .....	<b>18</b>
3 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	18
3.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät .....	18
3.2 Rikkidioksidi .....	18
3.3 Typpidioksidi .....	19
3.4 Hiukkaset .....	19
3.5 Ilmansaasteiden terveysvaikutukset.....	21
4 LAINSÄÄDÄNTÖ .....	22
4.1 Ulkoilmanlaadun raja- ja ohjearvot .....	22
4.2 Energiantuotantoyksiköitä koskeva lainsäädäntö.....	23
5 MENETELMÄT .....	24
5.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus .....	24
5.2 Mallilaskelmien laskentavaihtoehdot .....	27
5.3 Mallilaskelmissa käytetyt päästötiedot .....	28
5.4 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia ja taustapitoisuudet .....	29
<b>VIITELUETTELO</b> .....	<b>31</b>

## OSA I

### 1 JOHDANTO

Tässä työssä arvioitiin mallintamalla polttoaineteholtaan 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden ilmanlaatuvaikutuksia ja selvitettiin energiantuotantoyksiköille sopivaa piipunkorkeutta. Työn tavoitteena oli määrittää yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan mitoittaa pienille energiantuotantoyksiköille ilmanlaadun kannalta riittävä piipunkorkeus. Tämän työn tarkastelut on toteutettu vastaavilla menetelmillä kuin aikaisempi piipunmitoitus 5–50 MW kokoisille energiantuotantoyksiköille: *Alaviippola, B., Pietarila, H. ja Lappi, S., 2008. Pienten polttolaitosten (5–50 MW) piipun korkeuden mitoitus. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut.*

Päästöjen leviämislaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä leviämismallilla UDM-FMI. Laskelmissa tarkasteltiin erikseen polttoaineteholtaan 1, 3 ja 5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden päästöjen aiheuttamia ulkoilman pitoisuuksia laitosten ympäristössä. Tarkastelut tehtiin erikseen seitsemän eri polttoaineen rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille. Polttoaineet olivat turve, puupelletit, kokopuuhake, bioöljy, raskas polttoöljy, kevyt polttoöljy ja maakaasu. Raskaasta polttoöljystä tarkasteltiin erikseen öljyä, joka sisältää 0,1 paino-% rikkiä ja öljyä, joka sisältää 0,2 paino-% rikkiä.

Laskelmissa käytettiin lähtötietoja, jotka parhaiten kuvaavat keskimääräisiä olosuhteita tyypillisissä tämän kokoisissa energiantuotantoyksiköissä. Päästötasoina käytettiin pääsääntöisesti keskisuuria energiantuotantoyksiköitä koskevassa asetuksessa 1065/2017 (tullut voimaan 1.1.2018) sallittuja polttoainekohtaisia päästörajoja 1–5 MW uusille energiantuotantoyksiköille. Työ toteutettiin teoreettisena maksimipäästö-tarkasteluna, jolla voidaan selvittää, kuinka korkeiksi pitoisuudet voivat pahimmillaan kohota erilaisissa päästöjen leviämisen- ja laimenemisolosuhteissa. Tarkastelujen avulla muodostettiin polttoainekohtaiset mitoituskäyrät 1–5 MW:n energiantuotantoyksiköiden piipunkorkeuksille tasaisessa maastossa. Lisäksi tarkasteltiin erikseen läheisen maastoesteen tai lähirakennuksen vaikutusta syntyviin pitoisuuksiin. Menetelmistä on kerrottu tarkemmin tämän raportin osassa II, kappaleessa 5.

Työn tilasi ympäristöministeriö. Leviämismallilaskelmissa tarvittavista päästöihin ja laitosten ominaisuuksiin liittyvistä teknisistä tiedoista vastasivat Energiategollisuus ry ja ÅF-Consult Oy. Piipunmitoitus työ tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

### 2 TULOKSET

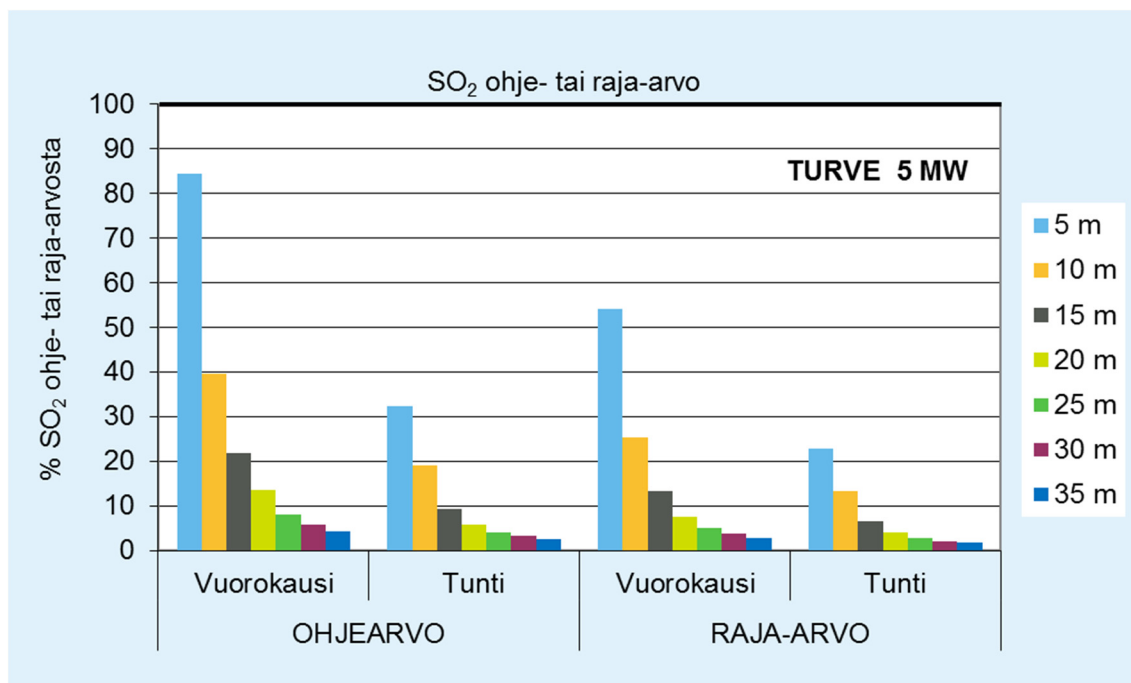
#### 2.1 Vertailuarvojen valinta

Leviämismallilaskelmien tuloksina saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia on tässä työssä verrattu rikkidioksidi- ja typpidioksidipitoisuuksien kansallisiin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin (*Vnp 480/1996*) ja hiukkaspitoisuuksien osalta WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon (*WHO, 2006*). Ilmanlaadun ohjearvon esitetty raportin osassa II, kappaleessa 4.1. Asetuksessa keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (*Vna 1065/2017*) säädetään, että laitoksen savupiipun korkeuden tulee olla sellainen,

että energiantuotantoyksikkö ei yksinään aiheuta yli 20 prosenttia ilmanlaadun vuorokausittaisesta ohjearvosta.

Tuloksia on verrattu ohjearvoihin myös siitä syystä, että niiden ylittyminen on todennäköisempää kuin EU:n jäsenmaissa voimassa olevien ilmanlaadun raja-arvojen (Vna 79/2017) ylittyminen. Pitoisuudet alittavat aina myös raja-arvon silloin kun ohjearvotaso alittuu. Leviämislaskelmissa tarkasteltiin pitoisuuksien muodostumista teoreettisessa 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. Pitoisuuksien vertailu vuorokausiohjearvoihin tuntiohjearvojen sijaan perustuu siihen, että vuorokausiohjearvojen on havaittu ylittyvän tuntiohjearvoja helpommin. Kuvassa 1 on havainnollistettu esimerkin avulla sitä miten rikkidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon muodostuu suuremmaksi kuin pitoisuuksien suhde tuntiohjearvoon tai raja-arvoihin.

Hiukkaspitoisuuksia verrataan tässä työssä pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon. Hiukkaspitoisuuksia voitaisiin verrata myös hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) ohjearvoon, mutta energiantuotannon päästöistä muodostuvat hiukkaset ovat kokoluokaltaan pääosin pieniä hiukkasia, minkä vuoksi pitoisuuksia verrataan ainoastaan pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) vertailuarvoon. Pienhiukkasten tavoite- ja raja-arvot ovat kuitenkin vuosiperustaisia eikä pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksista ole säädelty EU:n direktiiveissä. Sen vuoksi hiukkaspitoisuuksia verrataan WHO:n määrittelemään vuorokausiohjearvoon vaikka kyseinen arvo ei olekaan osa Suomen lainsäädäntöä.

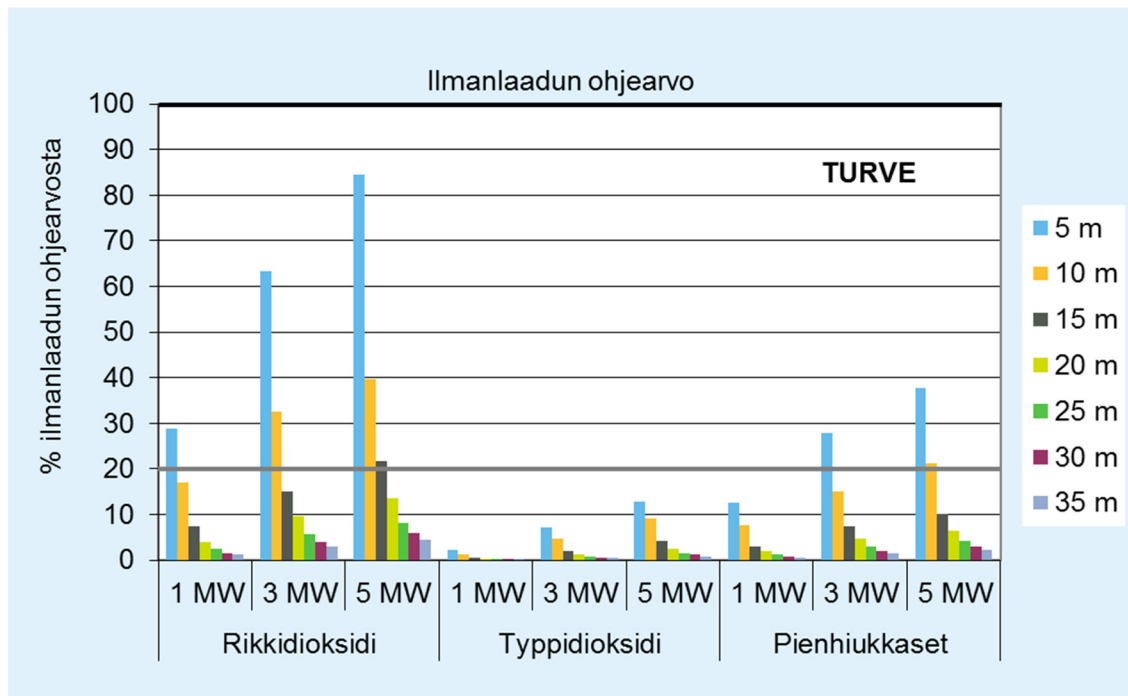


Kuva 1. Turpeen käytön rikkidioksidipäästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien rikkidioksidipitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin 5 MW laitoksen erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla.

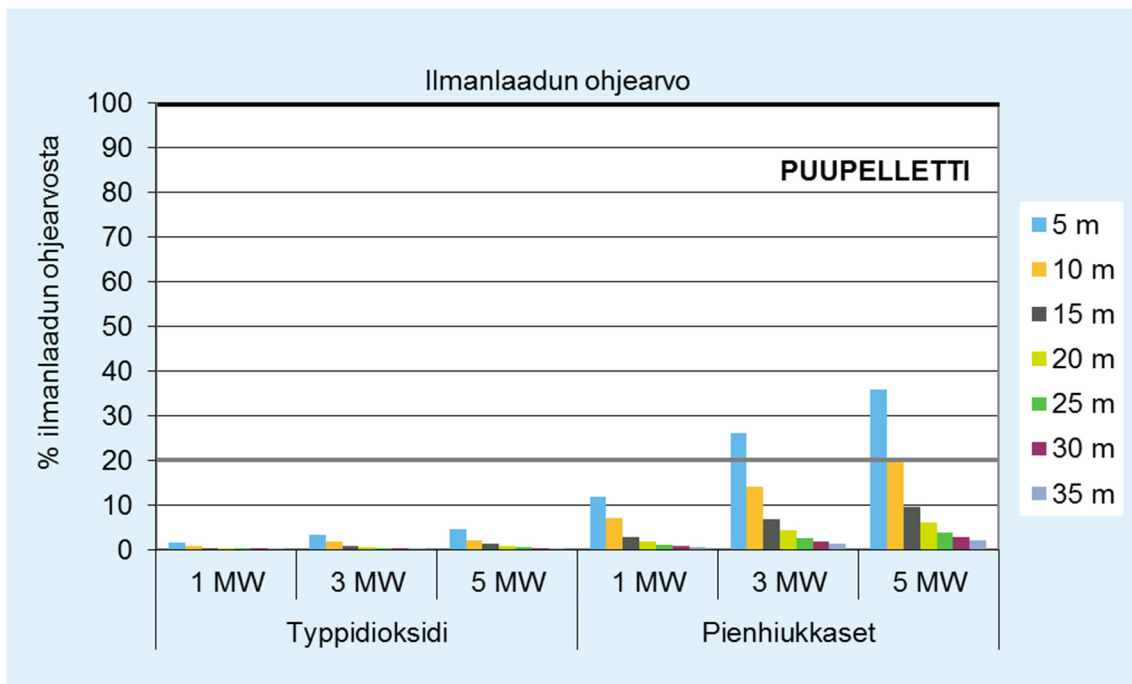
## 2.2 Mitoittavan päästökomponeentin valinta

Tässä työssä suoritettiin leviämismallilaskelmat seitsemän eri polttoaineen rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille. Kiinteistä polttoaineista tarkasteltiin turpeen, puupellettien, kokopuuhakkeen käyttöä, nestemäisistä polttoaineista bioöljyn, kevyen polttoöljyn (POK) ja raskaan polttoöljyn (POR) käyttöä ja kaasumaisista polttoaineista maakaasun käyttöä pienissä energiantuotantoyksiköissä. Raskaan polttoöljyn osalta tarkasteltiin erikseen öljyä, joka sisältää 0,1 paino-% rikkiä ja öljyä, joka sisältää 0,2 paino-% rikkiä. Kullekin polttoaineelle etsittiin leviämislaskelmien avulla se päästökomponeentti, joka aiheutti suurimmat ulkoilman pitoisuudet suhteessa kyseisen pitoisuuden ohjearvoon. Tätä päästökomponeenttia käytettiin sopivaa piipunkorkeutta mitoittavana tekijänä. Laskelmissa käytetyt kunkin polttoaineen päästöraja-arvot on esitetty raportin osassa II, taulukossa 5 ja mallinnettujen laitosten tekniset tiedot taulukossa 6.

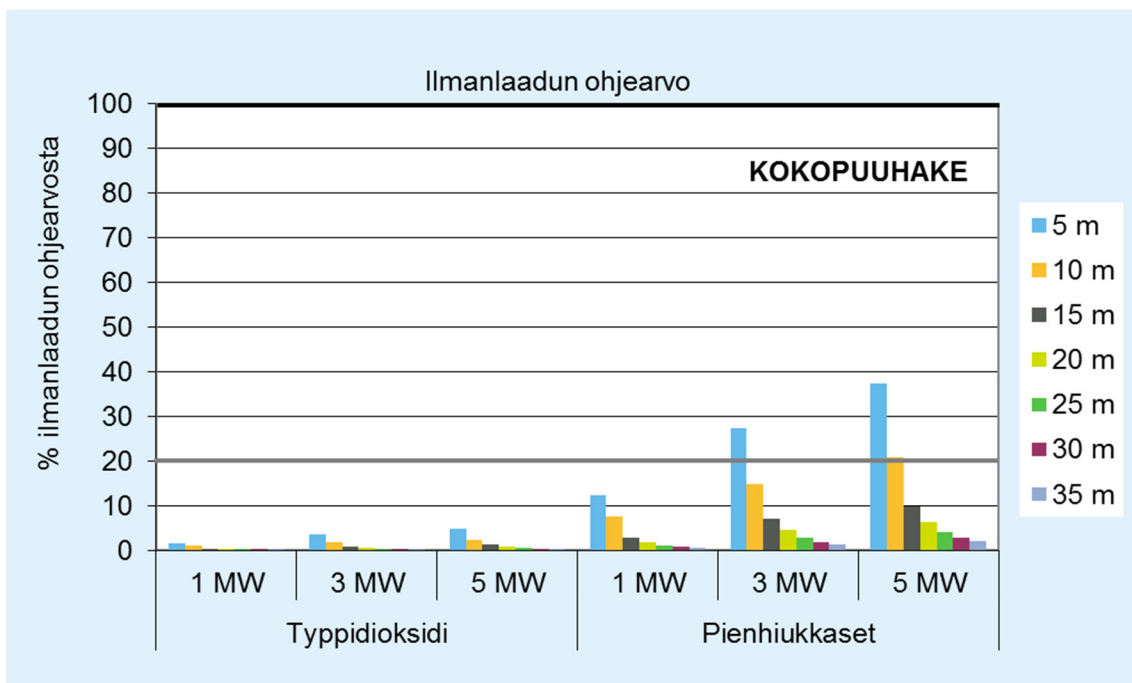
Seuraavissa kuvaajissa 2–9 on esitetty polttoainekohtaisesti ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (prosentteina) vastaaviin ilmanlaadun ohjearvoihin, erikseen 1, 3 ja 5 MW laitoksen erikorkuisille (5–35 metriä) piipuille. Kuvatekstissä on mainittu kyseisen polttoaineen piipunkorkeudelle jäljempänä käytetty mitoitusperuste. Turpeelle, runsarikkisemmälle raskaalle polttoöljylle ja kevyelle polttoöljylle piipunkorkeuden mitoitusperuste oli rikkidioksidipitoisuus. Puupelletille, kokopuuhakkeelle, bioöljylle ja vähärikkisemmälle raskaalle polttoöljylle mitoitusperuste oli pienhiukkaspitoisuus. Maakaasulle mitoitusperuste oli typpidioksidipitoisuus, koska maakaasun poltosta ei synny rikkidioksidi- tai hiukkaspäästöjä.



Kuva 2. Turpeen käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on rikkidioksidipitoisuus.

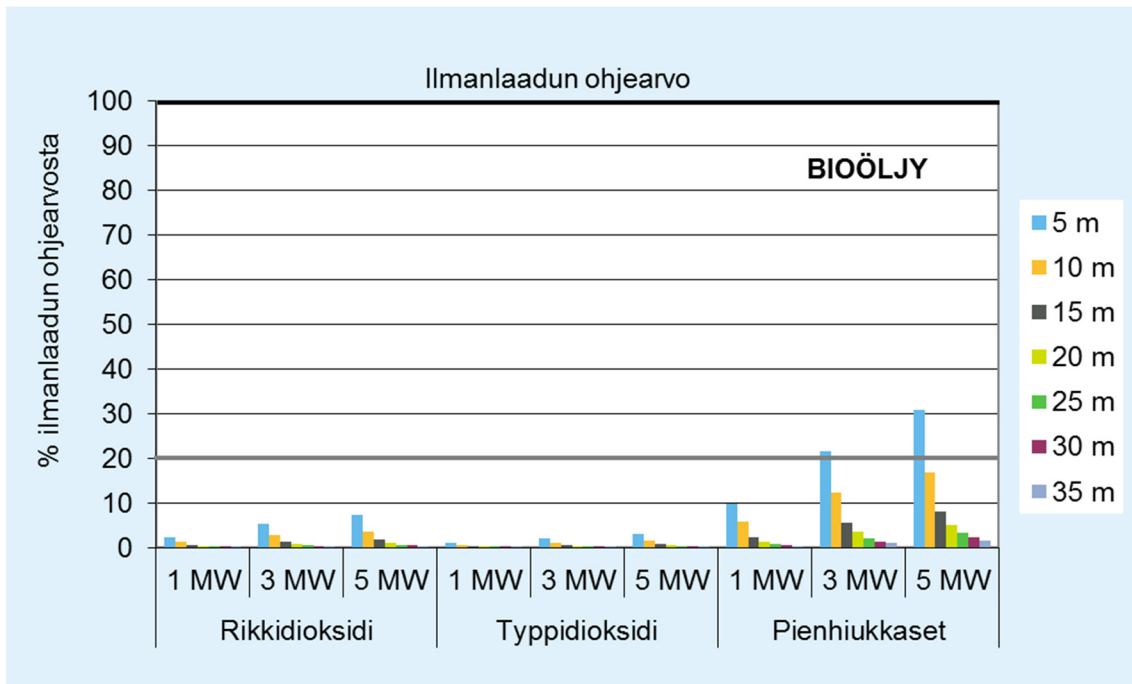


Kuva 3. Puupellettien käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoituseruste on pienhiukkaspitoisuus.

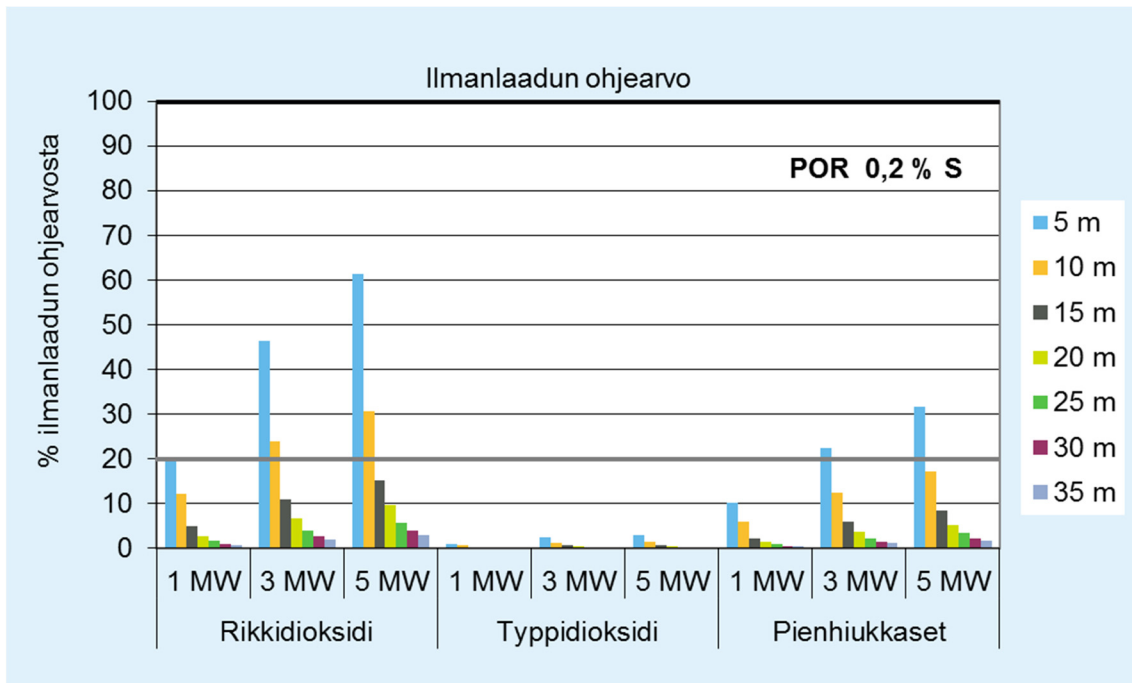


Kuva 4. Kokopuuhakkeen käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoituseruste on pienhiukkaspitoisuus.

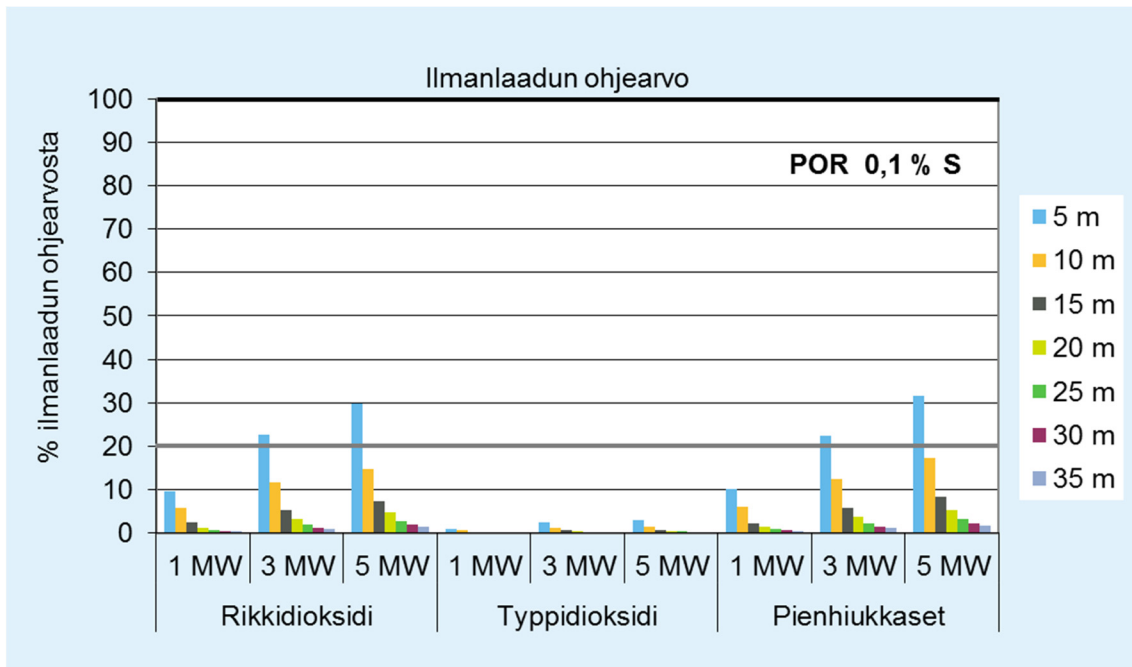




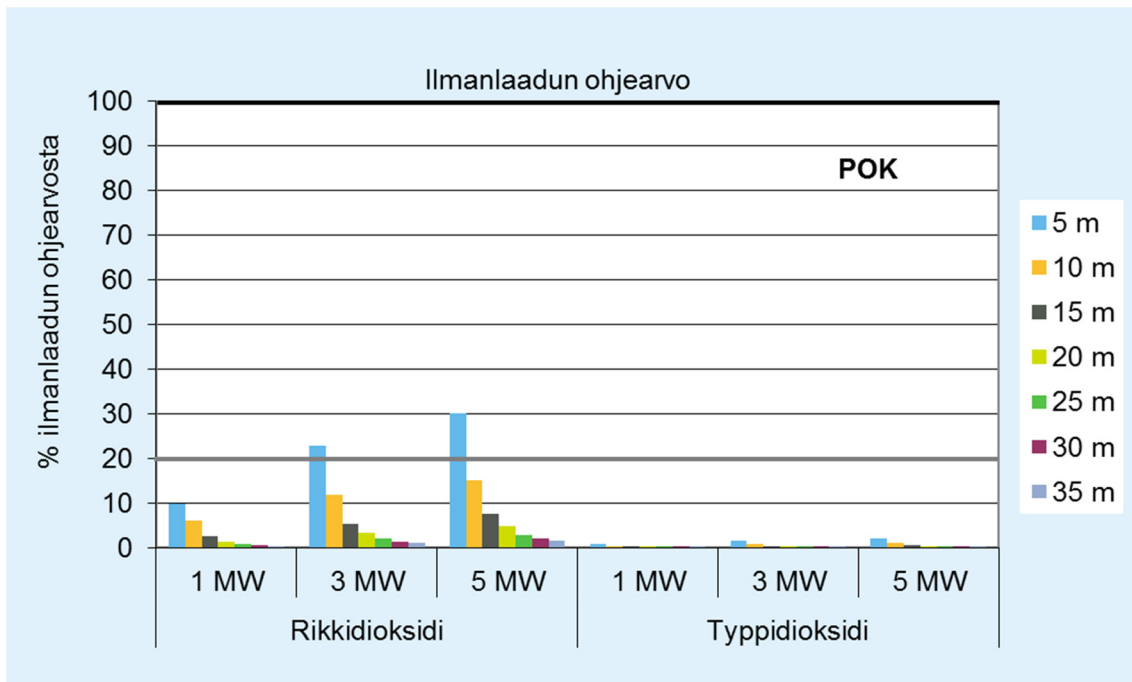
Kuva 5. Bioöljyn käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on pienhiukkaspitoisuus.



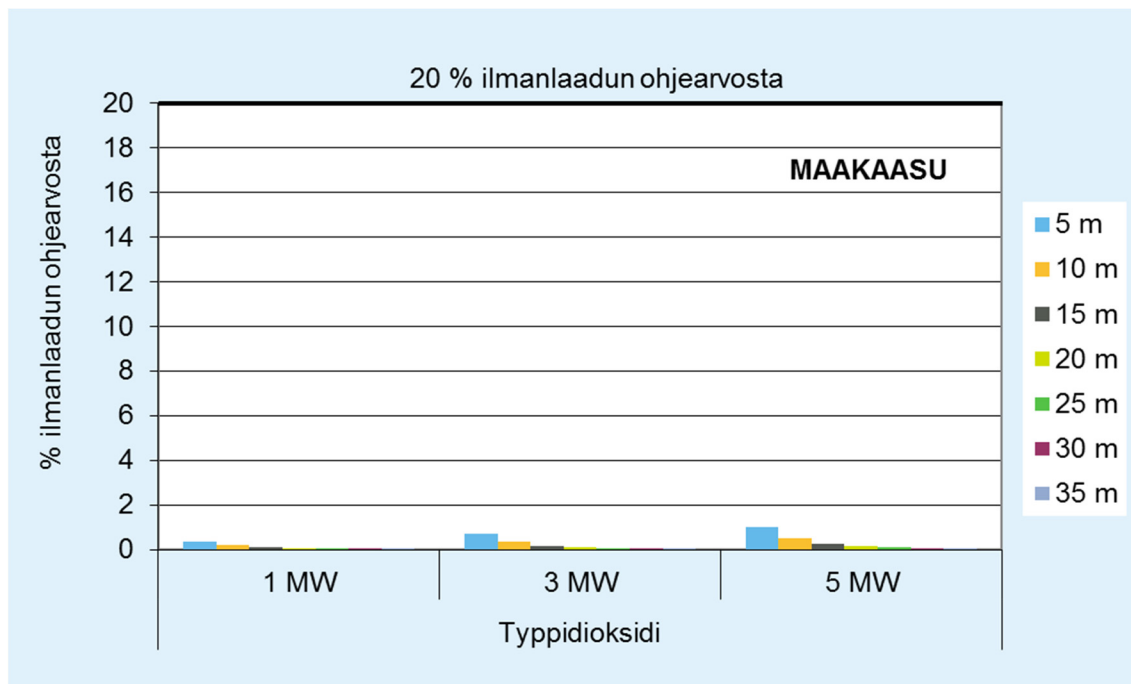
Kuva 6. Raskaan polttoöljyn (rikkipitoisuus 0,2 paino-%) käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on rikkidioksidi pitoisuus.



Kuva 7. Raskaan polttoöljyn (rikkipitoisuus 0,1 paino-%) käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien pitoisuuksien suhde (%) vastaaviin ilmanlaadun vuorokausiohjearvoihin 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on pienhiukkaspitoisuus.



Kuva 8. Kevyen polttoöljyn käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde (%) ilmanlaadun vuorokausiohjearvoon 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on rikkidioksidipitoisuus.



Kuva 9. Maakaasun käytön päästöistä muodostuvien ulkoilman korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde (%) ilmanlaadun vuorokausiohjearvoon 1, 3 ja 5 MW energiantuotantoyksikön erikorkuisilla (5–35 metriä) piipuilla. Piipunkorkeuden mitoitusperuste on typpidioksidipitoisuus.

### 2.3 Piipunkorkeuden mitoituskäyrät polttoaineittain

Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella muodostettiin piipun mitoituskäyrästöt polttoaineittain kriittisimmän epäpuhtauden perusteella turpeen, puupellettien, kokopuuhakkeen, bioöljyn ja raskaan polttoöljyn (POR) ja kevyen polttoöljyn (POK) käytölle. Kuvissa 10–16 esitettyjen piipun mitoituskäyrästöjen avulla voidaan määrittää näille polttoaineille vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta) polttoaineteholtaan erikokoisille kattiloille, riippuen sallitusta pitoisuustasosta suhteessa ohjearvoon. Kuvaajissa esitetyillä piipunkorkeuksilla yksittäinen laitos aiheuttaa ympäristönsä ulkoilmaan pitoisuuksia, jotka ovat joko 10, 15, 20, 25 tai 30 % ilmanlaadun ohjearvosta.

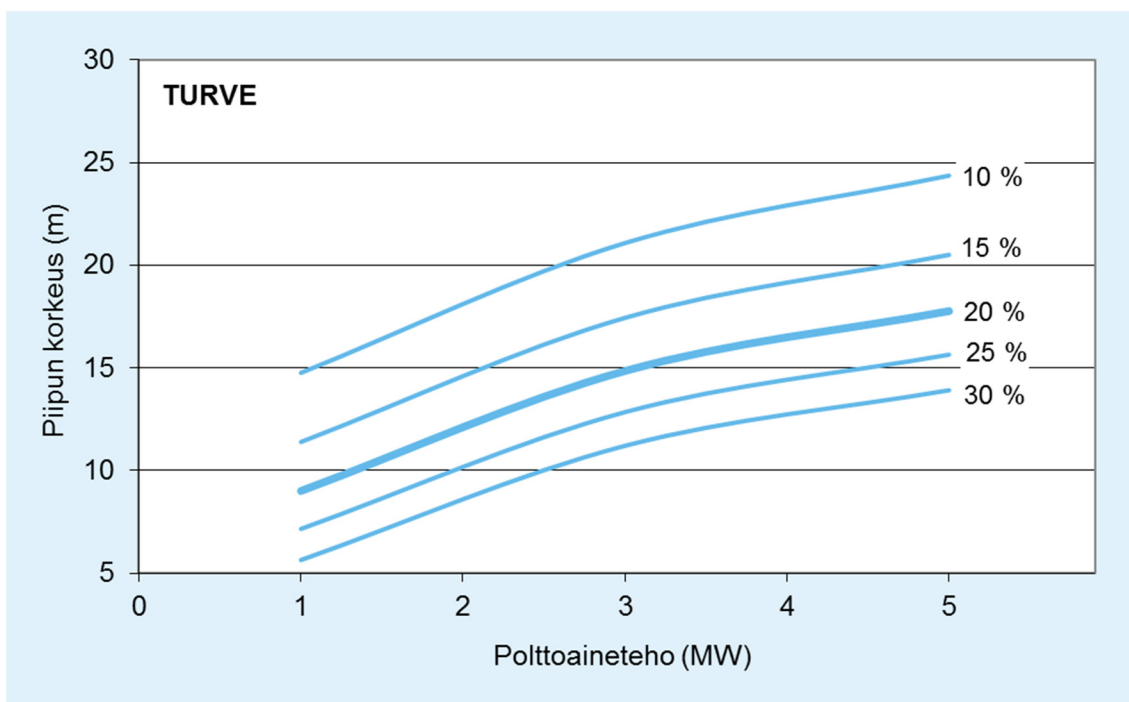
Keskisuuria energiantuotantoyksiköitä koskevan asetuksen 1065/2017 mukaan laitoksen savupiipun korkeuden tulee olla sellainen, että energiantuotantoyksikkö ei yksinään aiheuta yli 20 prosenttia ilmanlaadun vuorokausittaisesta ohjearvosta. Näin ollen 1–5 MW:n laitosten piipunkorkeus tulee mitoittaa kuvien 10–16 käyrän ”20 %” mukaan. Kaikkien laitosten vähimmäispiipunkorkeus on kuitenkin aina 5 metriä maanpinnasta. Kuvaajat ovat käyttökelpoisia tasaisessa maastossa ja ympäristössä, jossa ei sijaitse korkeita rakennuksia laitoksen lähialueilla. Lähiesteiden vaikutusta päästöjen leviämiseen tarkastellaan erikseen kappaleessa 2.4.

Kun piipunkorkeus on pieni verrattuna laitosrakennuksen korkeuteen, savukaasujen leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, jolloin savukaasut eivät pääse leviämään ja laimenemaan riittävästi ja suurimmat pitoisuudet esiintyvät laitoksen läheisyydessä. Piipunkorkeuden ja rakennuksen korkeuden

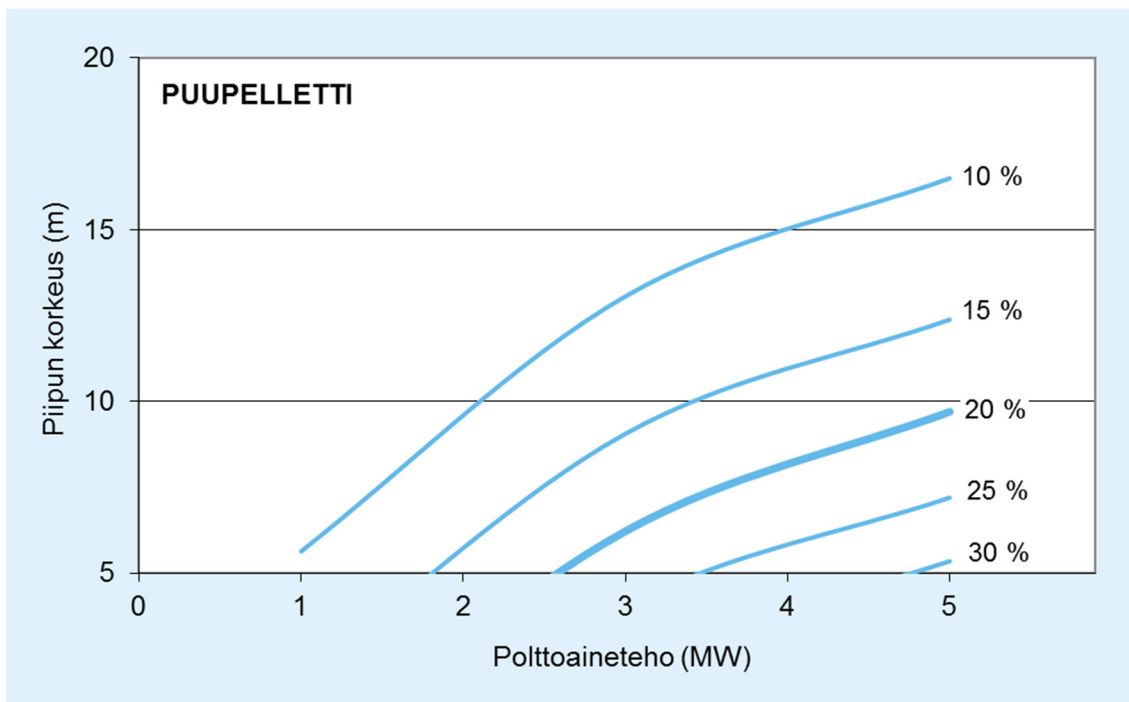
suhteen ollessa riittävän suuri laitosrakennus ei vaikuta savukaasujen leviämiseen enää haitallisesti (Karppinen ym., 1998). Mallilaskelmien mukaan piipunkorkeuden tulee aina olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus 1–5 MW:n laitoksilla, jotta savukaasujen laimenemiselle taataan riittävät olosuhteet. Näin ollen laitoksella, jonka laitosrakennus on 10 metriä korkea, tulee olla piippu, jonka suuaukko on vähintään 15 metrin korkeudella maanpinnasta, vaikka kuvissa 10–16 esitetty vähimmäispiipunkorkeus olisikin tätä pienempi.

Maakaasulla pitoisuudet muodostuvat kaikilla kattilatehoilla ja piipun korkeuksilla niin pieniksi suhteessa typpidioksidipitoisuuden ohjearvoon (korkeimmillaankin noin 2 % vertailuarvosta), ettei piipun mitoituskäyrästä sille voitu muodostaa. Maakaasua käytävillä kattiloilla riittävä piipun korkeus (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta) tasaisessa maastossa onkin näin ollen:

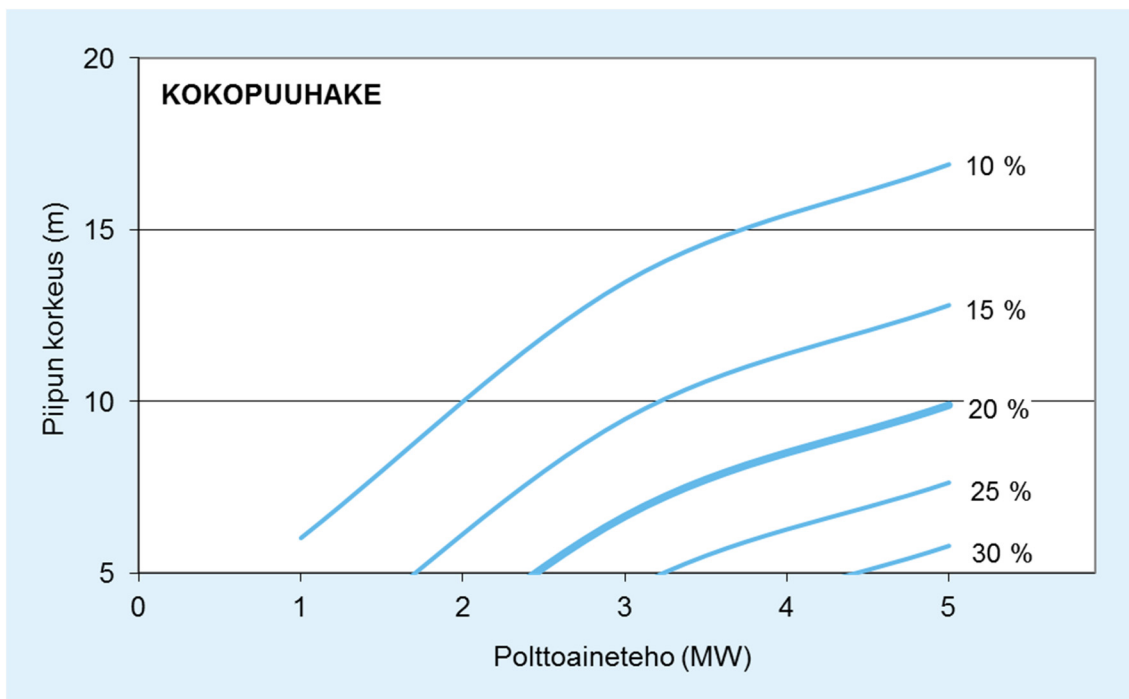
- aina vähintään 5 metriä ja
- aina vähintään 1,5-kertaa laitosrakennuksen korkeus.



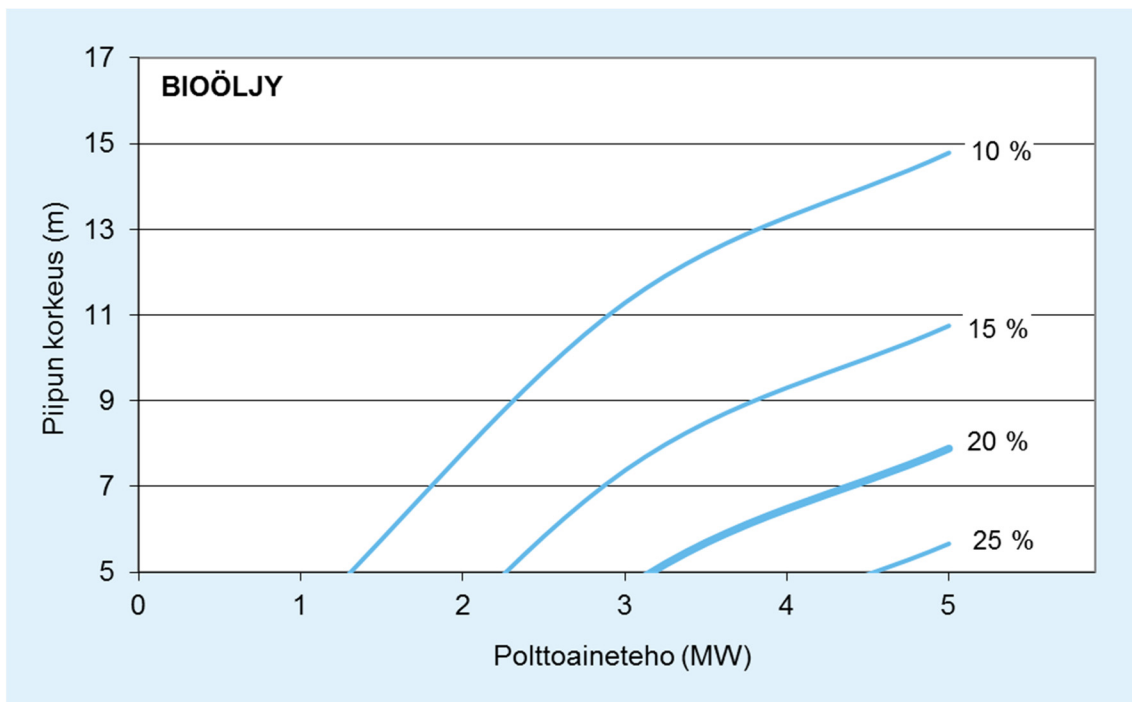
Kuva 10. Turvetta polttoaineenaan käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on käyttökelpoinen tasaisessa maastossa ja ympäristössä, jossa ei sijaitse korkeita rakennuksia. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



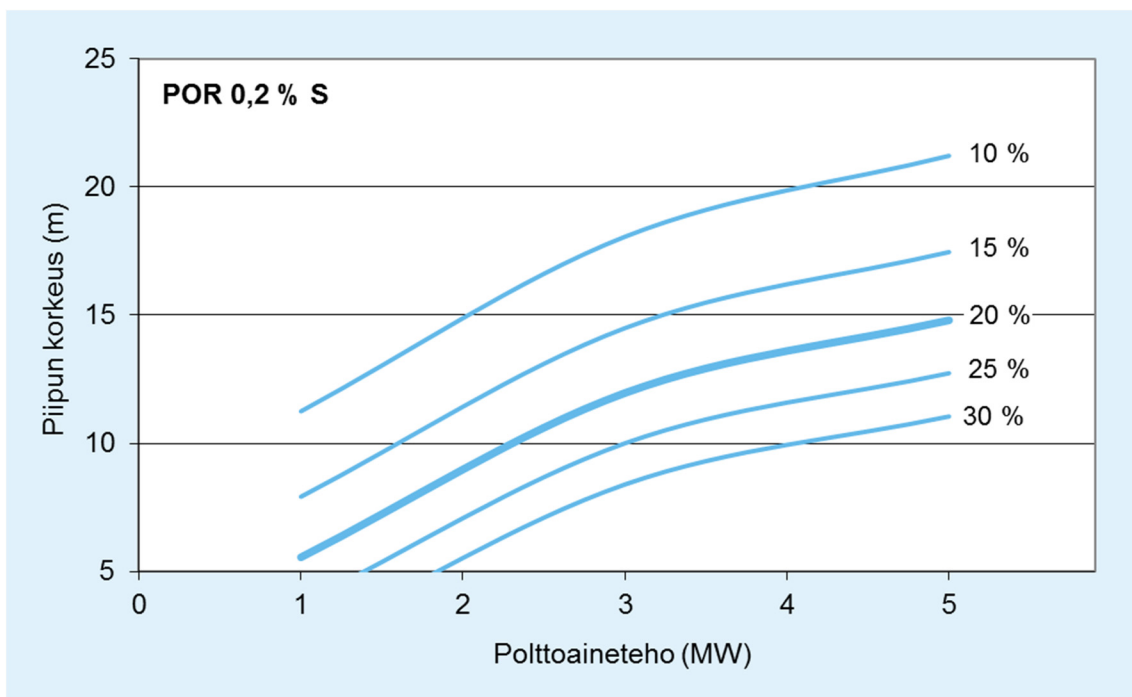
Kuva 11. Puupellettejä käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina vähintään 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



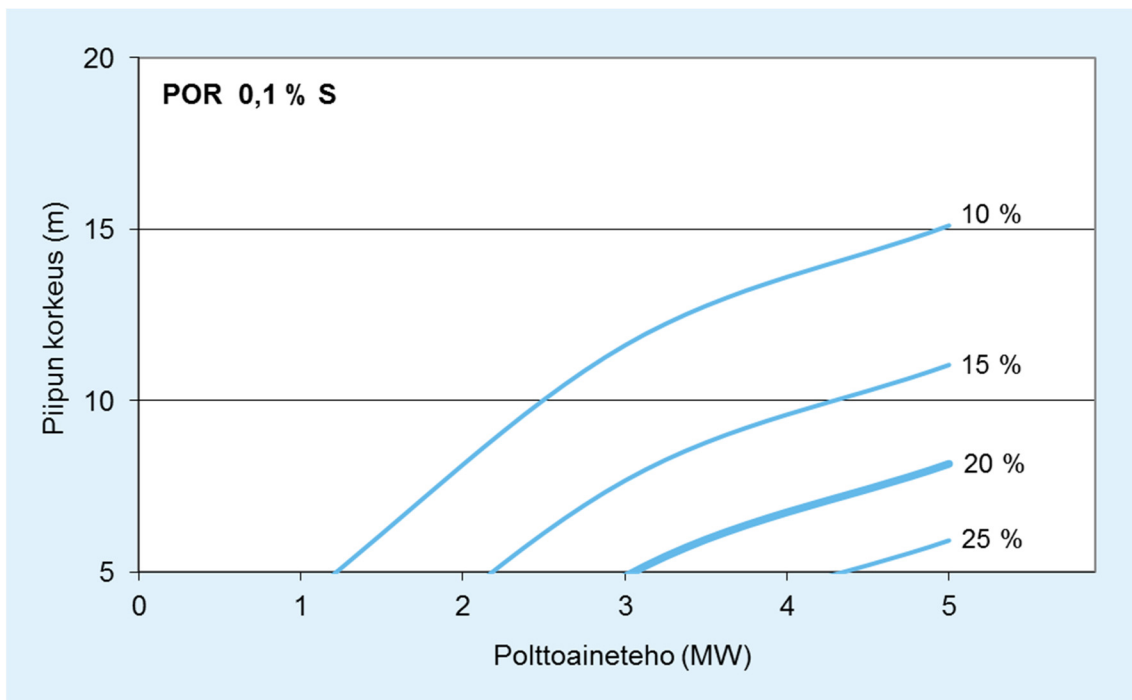
Kuva 12. Kokopuuhaketta käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina vähintään 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



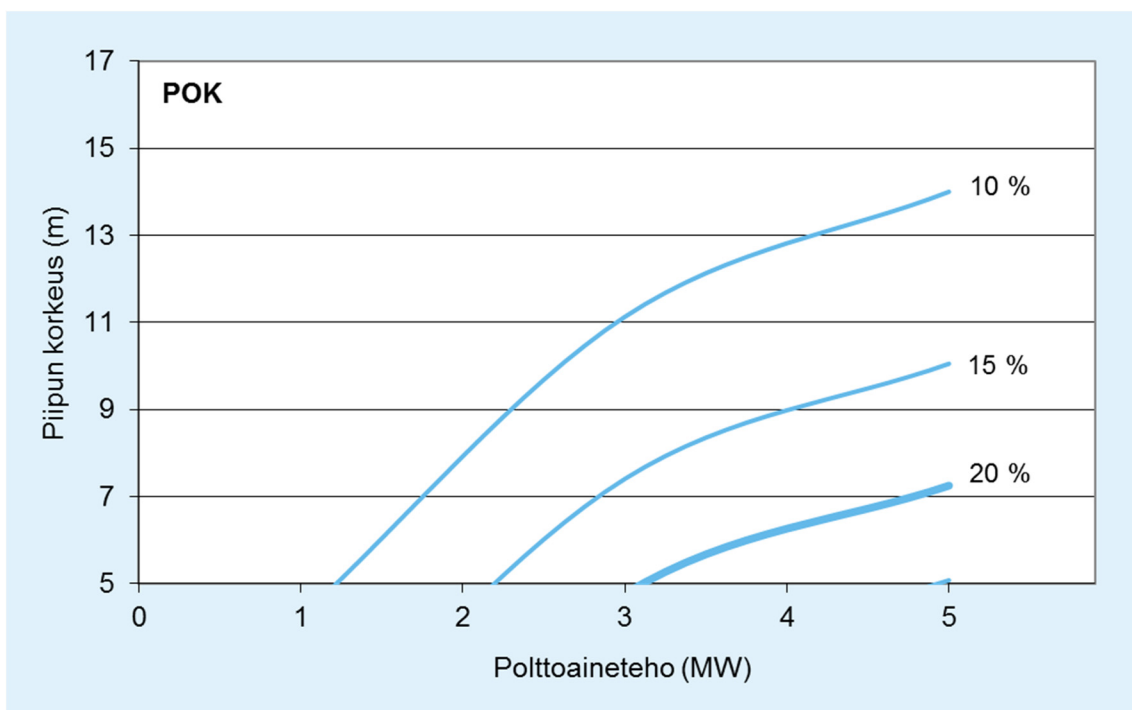
Kuva 13. Bioöljyä (pyrolyysiöljyä) käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina vähintään 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



Kuva 14. Raskasta polttoöljyä (0,2 paino-% rikkiä) käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



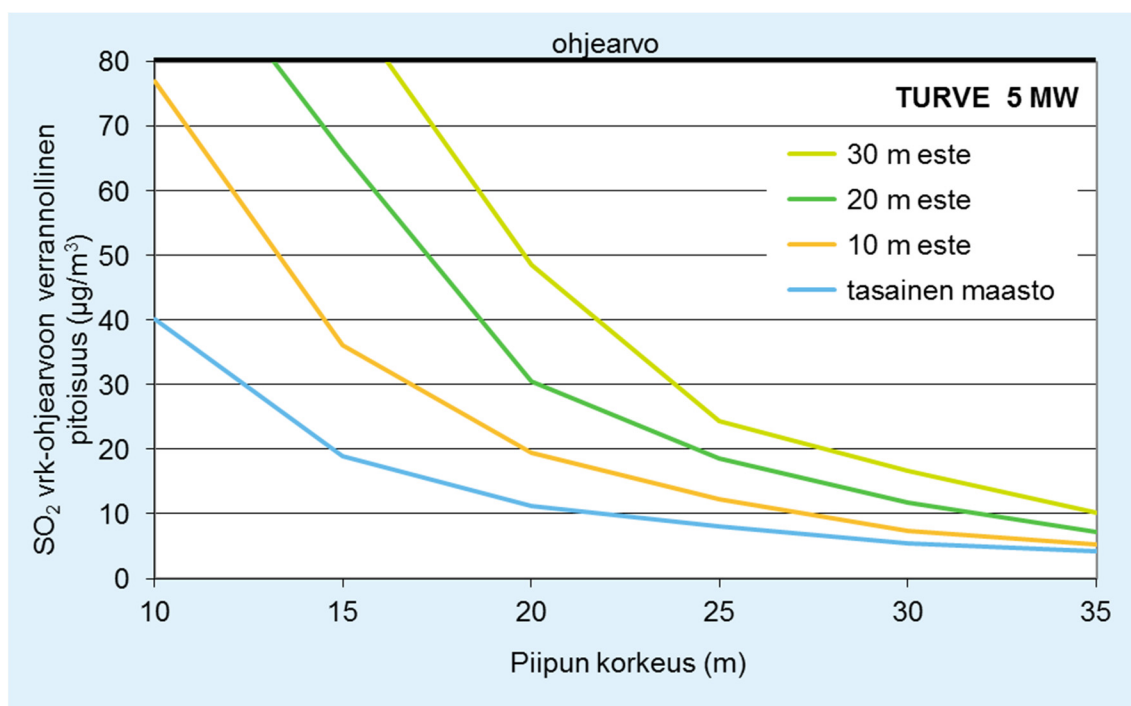
Kuva 15. Raskasta polttoöljyä (0,1 paino-% rikkiä) käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.



Kuva 16. Kevyttä polttoöljyä käyttävien 1–5 MW kokoisten energiantuotantoyksiköiden piipun korkeuden mitoitus suhteessa rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliseen pitoisuuteen (% ohjearvosta). Vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) on aina vähintään 5 metriä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.

## 2.4 Lähiesteen vaikutus piipunmitoitukseen

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin erikseen läheisen maastoesteen tai lähirakennuksen vaikutusta syntyviin pitoisuuksiin. Päästöjen leviämistä ja laimenemista estävät esteet kohottavat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, minkä vuoksi esteen lähellä sijaitsevan energiantuotantoyksikön piipun tulee olla korkeampi, jotta pysytään samalla halutulla pitoisuustasolla kuin määritettäessä piipun korkeus tasaisella maalla. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki 10–30 metriä korkean lähiesteen vaikutuksesta 5 MW:n turvetta polttoaineenaan käyttävän laitoksen ympärille syntyneisiin rikkidioksidipitoisuuksiin verrattuna tasaisessa maastossa sijaitsevan laitoksen ympärillä havaittuihin pitoisuuksiin.



Kuva 17. Voimakkaasti vaihtelevan maaston tai laitoksen lähellä sijaitsevan korkean rakennuksen (10, 20 tai 30 m korkea este) aiheuttama vaikutus turpeen käytön päästöistä muodostuviin rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollisiin pitoisuuksiin 5 MW energiantuotantoyksikön lähiympäristössä.

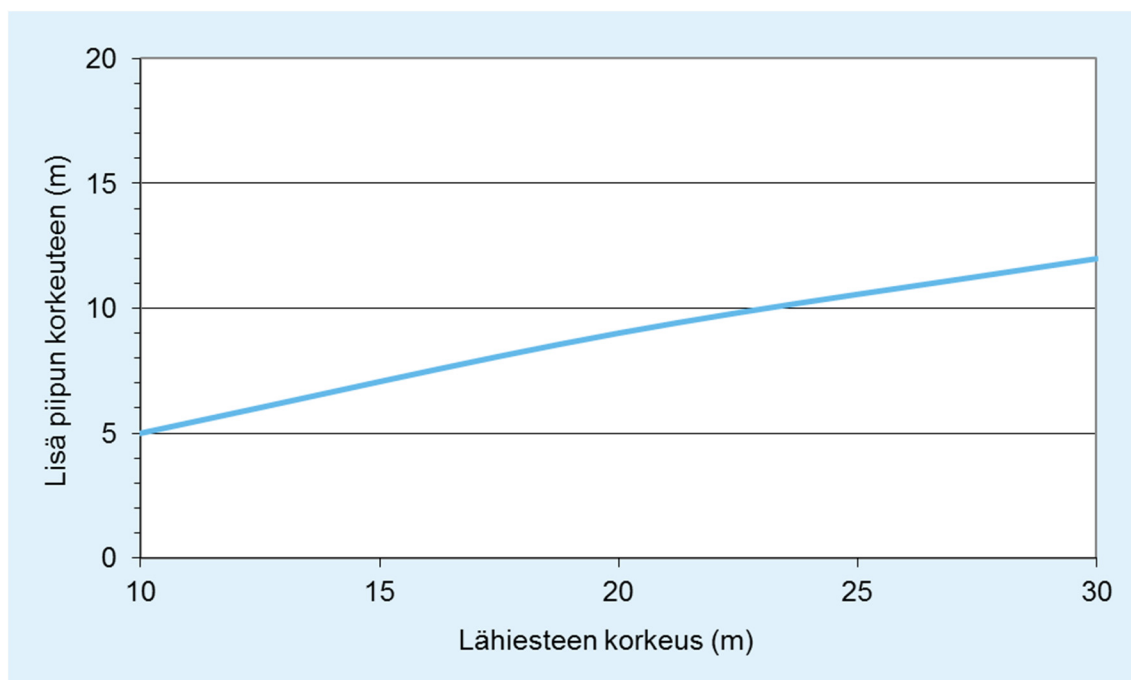
Lähiesteen koon lisäksi myös esteen etäisyydellä päästölähteestä on vaikutusta syntyviin pitoisuuksiin. Savupiipusta tuleva savuvana voi törmätä lähellä olevaan esteeseen, jolloin pitoisuudet esteen kohdalla (esim. mäen laella tai rakennuksen seinustalla) ovat korkeampia kuin muualla lähialueella. Kaukana päästölähteestä sijaitsevat esteet eivät enää merkittävästi vaikuta savuvanan kulkuun. Erikorkuisten esteiden vaikutustäisyys on esitetty taulukossa 1. Käytännössä 10-metrinen este vastaa noin kolmikerroksista rakennusta ja 30-metrinen este noin 9–10-kerroksista kerrostaloa.



Taulukko 1. Lähiesteen korkeuden ja esteen vaikutusetäisyyden riippuvuus toisistaan. Taulukossa esitettyä etäisyyttä kauempana 10–30 metriä korkealla esteellä ei ole enää vaikutusta polttoaineteholtaan 1–5 MW:n energiantuotantoyksikön päästöjen leviämiseen.

Lähiesteen korkeus	Vaikutusetäisyys
10 metriä korkea este	150 metriä
20 metriä korkea este	200 metriä
30 metriä korkea este	300 metriä

Kuvassa 18 on havainnollistettu energiantuotantoyksikön lähellä sijaitsevien 10–30 metriä korkeiden esteiden aiheuttamaa lisää piipun vähimmäiskorkeuteen (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta). Vähimmäispiipunkorkeuteen tarvittava lisä on samansuuruinen polttoaineteholtaan 1, 3 ja 5 MW:n laitoksilla, joten samaa kuvassa 18 esitettyä käyrää voidaan soveltaa kaikilla polttoaineteholtaan 1–5 MW:n laitoksilla. Käyrää voidaan soveltaa silloin, kun lähieste sijaitsee yllä olevassa taulukossa 1 esitettyjä etäisyyksiä lähempänä. Laitoksen ympäristössä voi olla lukuisia lähiesteitä. Piippuun tarvittava korotus katsotaan tällöin korkeimman lähiesteen mukaan. Kauempana sijaitsevien esteiden kohdalla pitoisuudet ovat ehtineet jo laimentua riittävästi, eikä vähimmäispiipunkorkeuteen tarvita muuta lisää.



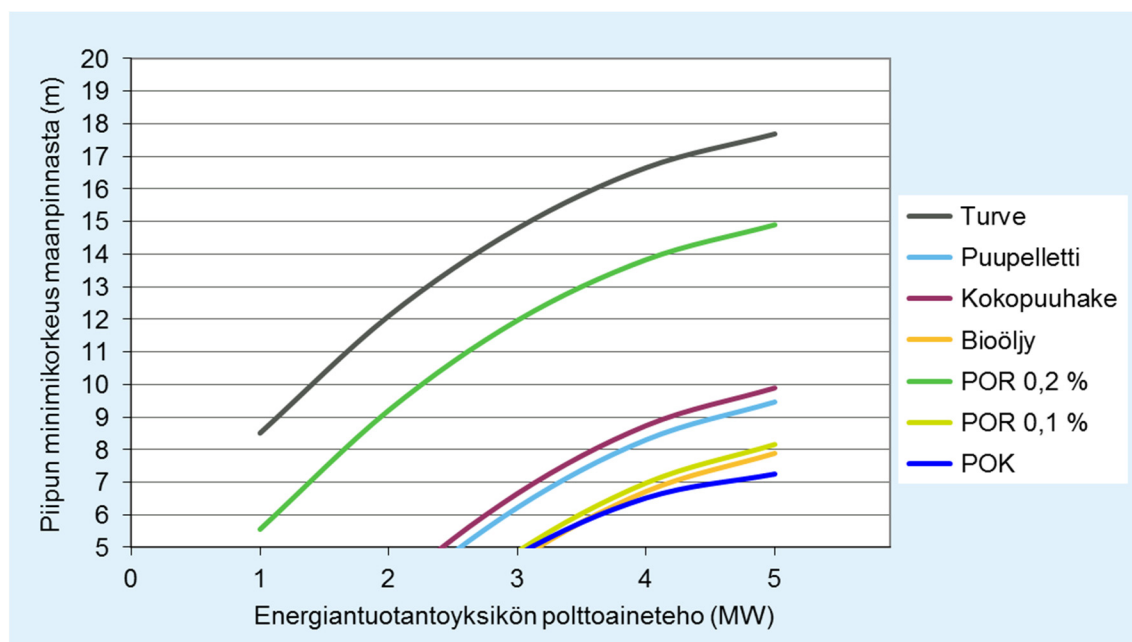
Kuva 18. Voimakkaasti vaihtelevan maaston tai laitoksen lähellä sijaitsevan korkean rakennuksen aiheuttama lisä (m) piipun vähimmäiskorkeuteen (piipun suuaukon korkeus metreinä maanpinnasta) 1–5 MW energiantuotantoyksiköillä.

## 2.5 Yhteenveto piipunkorkeuden mitoituskäyristä tasaisessa maastossa

Kuvassa 19 on esitetty yhteenveto piipun korkeuden mitoituksesta polttoaineteholtaan 1–5 MW kokoisilla energiantuotantoyksiköillä kaikkien eri polttoaineiden osalta. Piipun mitoituksen lähtötietoina on käytetty keskimääräisten laitosten teknisiä tietoja (kappale 5.3). Käyrän esittämällä piipunkorkeudella yksittäinen energiantuotantoyksikkö voi enimmillään aiheuttaa pitoisuuksia, jotka ovat korkeintaan 20 % ilmanlaadun vuorokausiohjearvoista. Energiantuotantoyksikön piipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta) voidaan määrittää kuvan 19 perusteella seuraavin edellytyksin:

- Energiantuotantoyksikön päästöt täyttävät keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen 1065/2017 päästöraja-arvot uusille kattiloille.
- Piipunkorkeus on kaikilla 1–5 MW energiantuotantoyksiköillä ja kaikilla polttoaineilla aina vähintään 5 metriä maanpinnasta.
- Piipunkorkeus on aina vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.
- Energiantuotantoyksikön lähietäisyydellä (300 m etäisyydellä) ei ole suuria maastoesteitä (yli 10 m) tai yli kolmikerroksisia rakennuksia.

Jos energiantuotantoyksikön lähietäisyydellä (300 m etäisyydellä) sijaitsee 10–30 metriä korkeita esteitä, piipun vähimmäiskorkeuteen lisätään edellä kuvassa 18 esitetty korkeus.



Kuva 19. Piipun korkeuden mitoitus polttoaineteholtaan 1–5 MW kokoisilla energiantuotantoyksiköillä, kun yksittäisen laitoksen sallitaan aiheuttavan pitoisuuksia, jotka ovat korkeintaan 20 % ilmanlaadun vuorokausiohjearvoista. Kuvajasssa esitetty vähimmäispiipunkorkeus (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta, aina vähintään 5 m) on käyttökelpoinen tasaisessa maastossa ja ympäristössä, jossa ei sijaitse korkeita rakennuksia tai maastoesteitä. Lisäksi piipunkorkeuden tulee aina olla vähintään 1,5 kertaa laitosrakennuksen korkeus.

## OSA II

### 3 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

#### 3.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

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

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta etenkin 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 ilmapvirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus.

Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen, jonka määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne ja mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys. Ilmakehän stabiiliustilanteista erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. 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 liikenneluuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

#### 3.2 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 epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ja

häiriöpäästötilanteissa. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet noin 1–2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmanlaatuportaali, 2017*).

### 3.3 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO<sub>2</sub>). 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 astmaatit, joiden hengitysoireita kohonneet pitoisuudet voivat lisätä suhteellisen nopeasti. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta ja yskää.

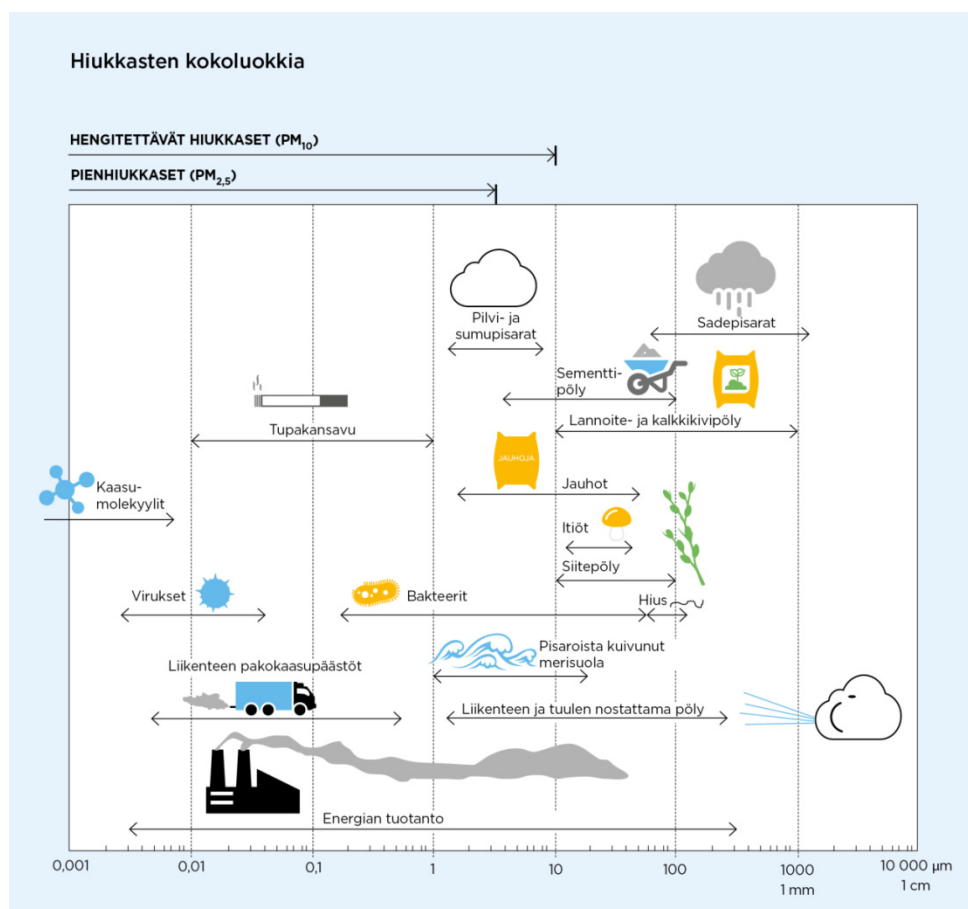
Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 20–30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Komppula ym., 2014*). Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa (*Ilmanlaatuportaali, 2017*). 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.4 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. Hengitettävillä hiukkasilla, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä ( $PM_{10}$ ), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka 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. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 20.



Kuva 20. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä ( $\mu m$ ). Mikro ( $\mu$ ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1  $\mu m$  on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävillä hiukkasilla annettu vuorokausiohjearvo ( $70 \mu g/m^3$ ) ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa samoin kuin vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ( $50 \mu g/m^3$ ). 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., 2014*). 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 ( $\text{PM}_{2,5}$ ) 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 (*Alaviippola ja Pietarila, 2011*).

### 3.5 Ilmansaasteiden terveysvaikutukset

Ilmansaasteiden terveyshaitat ovat seurausta altistumisesta ulkoilmassa oleville haitallisille aineille. Altistuminen on sitä suurempaa mitä korkeampia hengitysilman pitoisuudet ovat ja mitä kauemmin ihminen hengittää saastunutta ilmaa. Pitkäaikainen altistuminen ilmansaasteille on terveysvaikutusten kannalta haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen.

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemmältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkasen voi pahentaa ilmansaasteista aiheutuvia oireita.

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteitä, jolloin ne aiheuttavat sekä suoria vaikutuksia keuhkoissa että siirtyvät osin verenkiertoon ja edelleen kehon muihin osiin kuten sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset lisäävät sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

## 4 LAINSÄÄDÄNTÖ

### 4.1 Ulkoilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä lainsäädännössä annettuihin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin. Kaikissa EU-maissa voimassa olevat ilmanlaadun raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Rikkidioksidin, typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot on esitetty taulukossa 2 (Vna 79/2017).

Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa esimerkiksi teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä.

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. Pitoisuuksien ollessa raja-arvojen alapuolella, kunnan on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen.

Kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi on rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksille annettu kriittinen taso  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ) 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 (Vna 79/2017).

Taulukko 2. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ )	1 tunti	350 <sup>1)</sup>	24
	24 tuntia	125 <sup>1)</sup>	3
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	1 tunti	200 <sup>1)</sup>	18
	kalenterivuosi	40 <sup>1)</sup>	–
Hengitettävät hiukkaset ( $\text{PM}_{10}$ )	24 tuntia	50 <sup>2)</sup>	35
	kalenterivuosi	40 <sup>2)</sup>	–
Pienhiukkaset ( $\text{PM}_{2,5}$ )	kalenterivuosi	25 <sup>2)</sup>	–

<sup>1)</sup> Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

<sup>2)</sup> Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Suomessa on voimassa myös kansalliset ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*), jotka eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot. Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ennakolta ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia ja takaamaan hyvän ilmanlaadun säilyminen. Suomessa voimassa olevat ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 3. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomainen ohjearvo pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle (*WHO, 2006*).

Taulukko 3. Ulkoilman rikkidioksidin, typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996; WHO 2006*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ )	250	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset ( $\text{PM}_{10}$ )	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ( $\text{PM}_{2,5}$ )	25	Korkein vuorokausikeskiarvo

#### 4.2 Energiantuotantoyksiköitä koskeva lainsäädäntö

Keskisuuria polttolaitoksia koskeva EU-direktiivi 2015/2193 eli ns. MCP-direktiivi (Medium Combustion Plant) koskee olemassa olevia ja uusia 1–50 megawatin energiantuotantoyksiköitä. Direktiivin tavoitteena on vähentää rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjä ilmaan sekä näistä päästöistä johtuvia terveys- ja ympäristöhaittoja. MCP-direktiivi on pantu Suomessa täytäntöön 1.1.2018 voimaan tulleella valtioneuvoston asetuksella keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (1065/2017). Taulukossa 4 on esitetty asetuksen mukaiset uusia energiantuotantoyksiköitä koskevat polttoainekohtaiset päästöraajat 1–5 MW energiantuotantoyksiköille.



Taulukko 4. Uusia 1–5 MW energiantuotantoyksiköitä koskevat päästörajat polttoaineittain keskiuuria energiantuotantoyksiköitä koskevassa asetuksessa 1065/2017.

Polttoainetyyppi	Polttoaine	Päästöraja, mg/m <sup>3</sup> n		
		Hiukkaset	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Kiinteät polttoaineet	Turve	50	500	400
	Puupelletti	50	375	–
	Kokopuuhake	50	375	–
Nestemäiset polttoaineet	Bioöljy (pyrolyysiöljy)	50	300	350
	Kevyt polttoöljy	–	200	–
	Raskas polttoöljy	50	300	350
Kaasumaiset polttoaineet	Maakaasu	–	100	–

## 5 MENETELMÄT

### 5.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutumaan. Leviämismalliaskelmat ovat ainoa keino tulevan ilmanlaadun ennustamiseen ja ilmanlaatuutilanteessa tapahtuvan muutoksen arvioimiseen erilaisissa suunnitteluvaihtoehdoissa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin pienten energiantuotantoyksiköiden (1–5 MW) päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen Ilmatieteen laitoksella kehitettyä leviämismallia UDM-FMI (*Karppinen ym., 1998*). Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun, ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä ilman epäpuhtauksista aiheutuvan väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa hyvin yhteensopiviksi. Leviämismalleilla saatujen tulosten on osoitettu täyttävän hyvin ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*) annetut laatutavoitteet mallintamiselle sallituista epävarmuuksista.

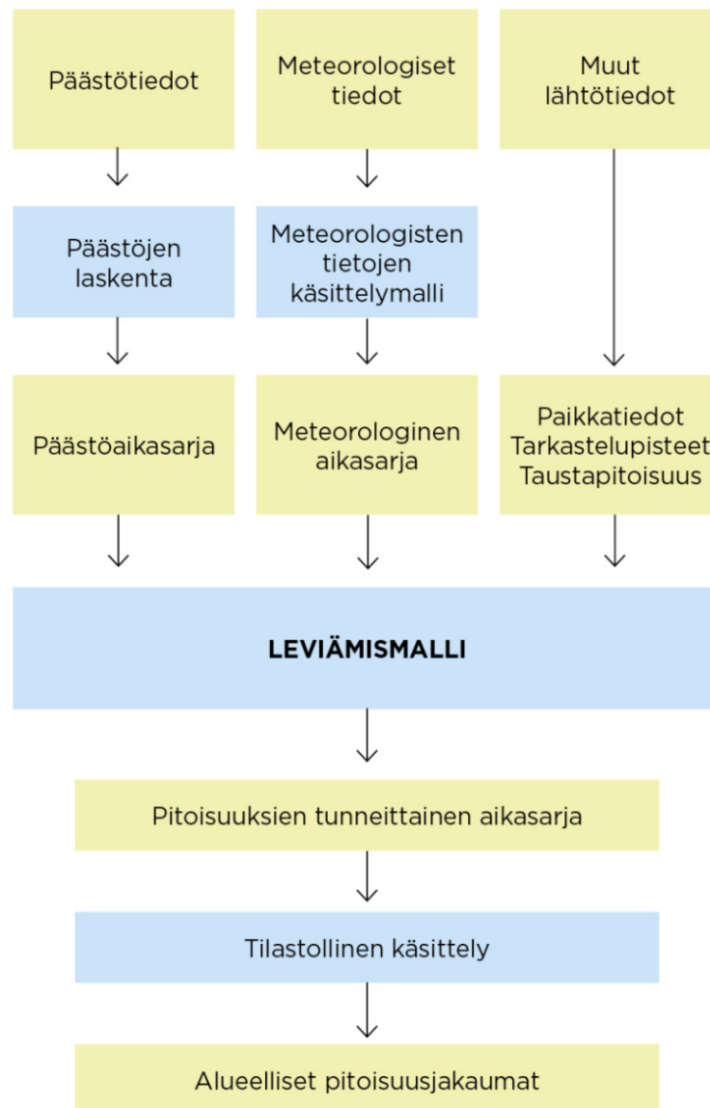
Tässä selvityksessä käytetyllä leviämismallilla UDM-FMI (= Urban Dispersion Modelling system - Finnish Meteorological Institute) voidaan arvioida ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja hajujen esiintymistä päästölähteen lähialueilla. Leviämismallia UDM-FMI käytetään pistemäisten päästölähteiden, kuten piippujen ja hormien,

ilmanlaatuvaikutusten arviointiin. Yksinkertaistettu kaavio leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa 21.

Leviämismallissa UDM-FMI kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä epäpuhtauksien poistumamekanismeja. Malliin sisältyy myös laskentamenetelmä typenoksidien ilmakemialliselle muuttunnalle. Energiantuotannon typenoksidipäästöt koostuvat typpidioksidista sekä typpimonoksidista, jota on valtaosa päästöistä. Osa typpimonoksidista hapettuu ilmassa terveydelle haitallisemmaksi typpidioksidiksi.

Leviämismallin lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja epäpuhtauksien taustapitoisuuksista. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan korkeudesta ja laadusta sekä päästölähteiden sijainnista. Pistemäisten lähteiden päästöjen laskennassa huomioidaan lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitoksen tekniset tiedot.

Leviämismallilla lasketaan 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 tunneittaisesta pitoisuusajasarjasta lasketaan edelleen tilastollisia ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia suureita.



Kuva 21. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin UDM-FMI toiminnasta.

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. Mallituloksena saatavat vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla ja vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen.

Yleensä leviämismallilaskelmien tuloksiin liittyy epävarmuutta sitä enemmän mitä lyhyemmän jakson pitoisuusarvoista on kyse. Mallitulosten epävarmuuden pienentämiseksi laskennassa kuitenkin tarkastellaan pitkää kolmen vuoden aikasarjaa (yli 26 000 erillistä tarkasteluajanhetkeä), jolloin tilastolliset raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ovat mahdollisimman edustavia.

## 5.2 Mallilaskelmien laskentavaihtoehdot

Tutkimuksessa selvitettiin leviämislaskelmilla kolmen eri kokoluokan energiantuotantoyksikön päästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia. Energiantuotantoyksiköt olivat polttoaineteholtaan 1, 3 ja 5 MW. Tarkastelun kohteena olivat energiantuotantoyksiköiden rikkidioksidi, typenoksidi- ja hiukkaspäästöt taulukossa 5 (kappale 5.3) esitettyjen päästöraja-arvojen mukaisesti. Tarkoituksena oli selvittää leviämislaskelmilla ilmanlaatukriteerien kannalta riittävä piipunkorkeus erikseen kullekin kokoluokalle ja kullekin polttoaineelle. Saatujen laskentatulosten avulla interpoloitiin riittävät piipunkorkeudet myös polttoaineteholtaan muun kokoisille alle 5 MW:n energiantuotantoyksiköille.

Leviämislaskelmissa selvitettiin laitosten ympäristöön maanpintatasolle syntyvät pitoisuudet eri piipunkorkeuksilla. Piipunkorkeudet vaihtelivat laskelmissa välillä 5–35 metriä (piipun suuaukon korkeus maanpinnasta). Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin noin 6 × 6 km:n kokoiselle alueelle yhteensä 3 441 laskentapisteeseen tasamaastoon (maastonkorkeus nolla metriä). Laskentapisteet sijaitsivat 50–200 metrin etäisyydellä toisistaan, pisteikön ollessa tiheimmillään piipun läheisyydessä. Leviämislaskelmien avulla arvioitiin lisäksi alle 500 metrin etäisyydellä sijaitsevien rakennusten, suurten maanpinnan korkeusvaihteluiden tai muiden esteiden vaikutusta pitoisuuksien muodostumiseen ja piipun korkeuden mitoittamiseen. Laskelmissa käytettiin samoja laskentapisteikköjä kuin aikaisemmassa piipunmitoitusprojektissa (*Alaviippola ym., 2008*) oli käytetty.

Tarkasteluissa laskettiin leviämismallilla kunkin laitospölykokoluokan ja kunkin eri polttoaineen päästöjen aiheuttamat korkeimmat pitoisuudet eri piipunkorkeusvaihtoehdoilla. Päästöjen aiheuttamat ulkoilman pitoisuudet laskettiin kolmen vuoden meteorologisen aikasarjan (kpl 5.4) jokaiselle tunnille kuhunkin laskentapisteikön pisteeseen. Näistä tuntiarvoista laskettiin edelleen kuhunkin laskentapisteeseen ilmanlaadun ohjearvomäärittelyjen mukaiset tilastolliset arvot (taulukko 3) ja valittiin jatkotarkasteluun laskentapisteikön korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen tilastoarvo. Näiden tilastoarvojen perusteella piirrettiin tuloksina esitetyt pisteiden väliset sovituksella eli piipunmitoituskäyrät, joiden kohdalla yksittäisen laitoksen sallitaan aiheuttavan pitoisuuksia, jotka ovat enimmillään 20 % vuorokausiohjearvoista.

Laskelmat tehtiin teoreettisena maksimipäästötarkasteluna. Tällä menetelmällä on mahdollista saada esiin päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa (esim. inversio) syntyvät korkeimmat pitoisuudet, jotka laitoksen normaalin toiminnan mallilaskelmissa voisivat jäädä huomioimatta. Maksimipäästötarkastelun tuloksena saadut korkeimmat pitkäaikaispitoisuudet (vuosikeskiarvot) yliarvioivat pitoisuuksia, koska laitoksen toiminta jatkuvalla täydellä teholla vuoden ympäri on teoreettista. Tästä syystä maksimipäästötarkastelun tuloksina huomioitiin vain korkeimmat lyhytaikaispitoisuudet, jotka kuvaavat laitoksen aiheuttamia hetkellisiä enimmäispitoisuuksia. Käytännössä tarkastettiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannollisia lyhytaikaispitoisuuksien tilastoarvoja, koska niille löytyy vertailuarvot lainsäädännöstä.

### 5.3 Mallilaskelmissa käytetyt päästötiedot

Tässä työssä suoritettiin leviämismallilaskelmat turpeen, puupellettien, kokopuuhakkeen, bioöljyn, kevyen polttoöljyn, raskaan polttoöljyn ja maakaasun käytön rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille. Raskaan polttoöljyn osalta tarkasteltiin erikseen öljyä, joka sisältää 0,1 paino-% rikkiä ja öljyä, joka sisältää 0,2 paino-% rikkiä. Polttoainekohtaisina päästöraja-arvoina käytettiin pääsääntöisesti keskisuuria energiantuotantoyksiköitä koskevan asetuksen 1065/2017 mukaisia uusia laitoksia koskevia päästöraja-arvoja (kappale 4.2). Bioöljylle käytettiin tässä työssä SO<sub>2</sub>-päästöjen rajana arvoa 42 mg/m<sup>3</sup>n. Arvo on tiukempi kuin asetuksessa sallitaan ja se on valittu bioöljyn todellisten mitattujen rikkipitoisuuksien perusteella. Laskentaan otettu lähtöarvo vastaa rikkipitoisuutta 0,015 paino-%. Kevyelle polttoöljylle ei ole asetuksessa asetettu SO<sub>2</sub>-päästörajaa, vaikkei polttoaine olekaan täysin rikitöntä. Tässä työssä SO<sub>2</sub>-päästöjen rajana käytettiin arvoa 170 mg/m<sup>3</sup>n, joka vastaa rikkipitoisuutta 0,1 paino-%. Tässä työssä päästölaskennan pohjana käytetyt päästörajat on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Tässä työssä päästölaskennan pohjana käytetyt uusia 1–5 MW energiantuotantoyksiköitä koskevat polttoainekohtaiset päästörajat.

Polttoainetyyppi	Polttoaine	Päästöraja, mg/m <sup>3</sup> n		
		Hiukkaset	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Kiinteät polttoaineet	Turve	50	500	400
	Puupelletti	50	375	–
	Kokopuuhake	50	375	–
Nestemäiset polttoaineet	Bioöljy (pyrolyysiöljy)	50	300	42
	Kevyt polttoöljy	–	200	170
	Raskas polttoöljy 0,1 % S	50	300	170
	Raskas polttoöljy 0,2 % S	50	300	350
Kaasumaiset polttoaineet	Maakaasu	–	100	–

Leviämislaskelmat tehtiin maksimipäästötarkasteluna, jossa energiantuotantoyksiköstä oletetaan vapautuvan taulukossa 5 esitetyn päästöraja-arvon mukainen enimmäispäästö koko kolmen vuoden laskentajakson jokaisena tuntina. Tällä maksimipäästöoletuksella saadaan määritettyä kuinka korkeiksi energiantuotantoyksikön aiheuttamat pitoisuudet voivat suurimmillaan kohota maksimipäästön esiintyessä satunnaisesti erilaisissa meteorologisissa olosuhteissa.

Mallilaskelmien lähtötietoina käytettiin kuivien savukaasujen tilavuusvirran ja piipun halkaisijan osalta taulukossa 6 esitettyjä arvoja, jotka on koottu tätä piipunmitoitusprojektia varten (*ÅF-Consult Oy, 2017*). Sisäpiipun halkaisijan mitoitus varten on oletettu, että savukaasun nopeus piipussa on 18 m/s kattilan täydellä teholla. Kaikkien polttoaineiden osalta oletettiin, että savukaasun lämpötila piipussa on 135 °C. Mallilaskelmissa on käytetty lähtötietoja, jotka parhaiten kuvaavat keskimääräisiä olosuhteita tyypillisissä tämän kokoisissa energiantuotantoyksiköissä.

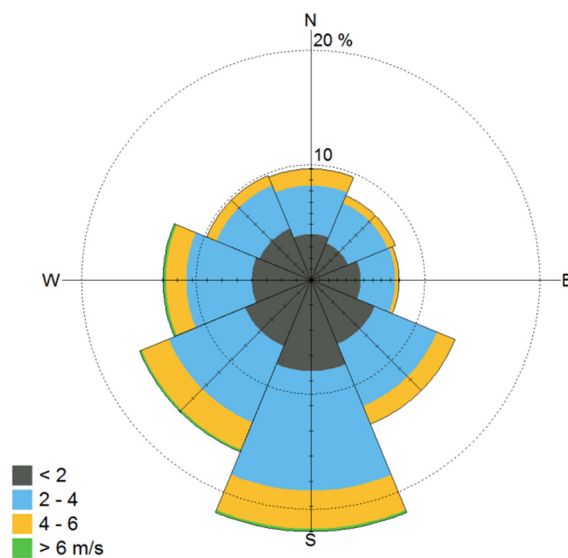
Taulukko 6. Päästöjen leviämislaskelmien lähtötietoina käytetyt savukaasumäärät ja savupiipun sisähalkaisijat eri kokoluokan laitoksille (*ÅF-Consult Oy, 2017*).

Polttoaine	Kuivien savukaasujen tilavuusvirta, Nm <sup>3</sup> /h			Savupiipun sisähalkaisija, m		
	1 MW	3 MW	5 MW	1 MW	3 MW	5 MW
Turve	1360	4070	6790	0,219	0,380	0,491
Puupelletti	1260	3790	6310	0,205	0,355	0,459
Kokopuuhake	1310	3930	6540	0,221	0,383	0,495
Bioöljy (pyrolyysiöljy)	958	2870	4790	0,184	0,32	0,412
Kevyt polttoöljy	1030	3090	5150	0,185	0,321	0,415
Raskas polttoöljy 0,1 % S / 0,2 % S	1020	3070	5120	0,183	0,316	0,408
Maakaasu	997	2990	4990	0,188	0,326	0,421

#### 5.4 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia ja taustapitoisuudet

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrusointimenetelmään (*Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Leviämislaskelmissa käytettiin 3 vuoden pituisia Suomen keskimääräisiä sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa.

Meteorologinen aikasarja tehtiin vuosille 2014–2016, käyttäen samoja sääasemia kuin aikaisemmassa piipunmitoitusprojektissa (*Alaviippola ym., 2008*) oli käytetty. Käytetyt säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n (Maailman ilmatieteen järjestö) ja ICAO:n (Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö) laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostettiin useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saatiin päästöjen leviämismallilaskelmissa tarvittavien meteorologisten suureiden tunneittaiset aikasarjat. Aikasarjasta piirretty keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma tuuliruusun muodossa on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Suomessa vuosina 2014–2016. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

Päästöjen leviämisen aikana tapahtuvan typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden Luukin taustailmanlaadun mittausasemalta saatuja otsonin pitoisuuksia vuosilta 2014–2016. Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan otsonipitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmanlaatuportaali, 2017*).

## VIITELUETTELO

*Alaviippola, B., Pietarila, H. ja Lappi, S., 2008.* Pienten polttolaitosten (5–50 MW) piipun korkeuden mitoitus. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 55 s. + 2 liites.

*Alaviippola, B., ja Pietarila, H., 2011,* Ilmanlaadun arviointi Suomessa, Pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>), Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, 48 s. + 13 liites.

*EU 2015/2193.* Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193, annettu 25 päivänä marraskuuta 2015, tiettyjen keskisuurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoittamisesta.

*Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016.* Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.  
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra\\_16\\_2016.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf).

*Ilmanlaatuportaali, 2017.* Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaustulokset. [www.ilmanlaatu.fi](http://www.ilmanlaatu.fi)

*Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998.* A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

*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., 2014.* Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 123 s. + 47 liites.

*Vnp 480/1996.* Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

*Vna 79/2017.* Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Julkaistu 1.2.2017.

*Vna 1065/2017.* Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista. Julkaistu 29.12.2017.

*ÅF-Consult Oy, 2017.* Lähtötiedot hankkeeseen: Pienten (1–5 MW) polttolaitosten piipunmitoitus, 30.6.2017.

*WHO, 2006.* WHO Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.





ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

**ILMATIETEEN LAITOS**

Erik Palménin aukio 1

00560 Helsinki

Puh. 029 539 1000

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**

ILMATIETEEN LAITOS

REPORTS 2017:7

ISBN 978-952-336-046-4 (pdf)

ISSN 0782-6079

Helsinki 2017

