



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hilkka Tupeli

ILMANLAADUNMITTAUSTEN EPÄ- VARMUUSLASKENTA

Esimerkkinä Vaasa

Tekniikka
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Hilkka Tupeli
Opinnäytetyön nimi	Ilmanlaadunmittausten epävarmuuslaskenta esimerkkinä Vaasa
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	26
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Työn tarkoituksena oli tutustua ilmanlaadun mittausten laadunvarmistukseen epävarmuuslaskennan kautta. Esimerkkinä epävarmuuslaskennasta on Vaasan vuoden 2014 ilmanlaadun mittausten perusteella tehty laskelma typen oksidien NO_x osalta. Tarkoituksena oli laskea epävarmuus myös otsonin osalta, mutta se ei onnistunut.

Epävarmuuslaskentaan on käytetty Ilmatieteen laitoksella laadittua laskentapohjaa. Työssä epävarmuuslaskentaan on perehdytty enemmän käytännön kannalta, ei niinkään matemaattiselta kannalta. Laskentapohjassa kaavat on laadittu valmiiksi. Työssä on keskitytty etsimään oikeat tiedot laskentapohjaan. Laskentapohja typen oksidien laskemiseksi on laadittu standardin SFS-EN 14211 pohjalta.

Laskennan perusteella typen oksidien tunti raja-arvon epävarmuudeksi saatiin (hourly limit value) 10,6 % ja vuosi raja-arvon epävarmuudeksi (annual limit value) 10,3 %. Epävarmuus saa ilmanlaadun koskevan EU-direktiivin (2008/50/EY) mukaan olla enintään 15 %, joten tulokset täyttävät niille asetetun vaatimuksen.

ABSTRACT

Author	Hilkka Tupeli
Title	Uncertainty Calculation of Air Quality Measurements Case Vaasa
Year	2015
Language	Finnish
Pages	26
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

The purpose of this thesis was to study quality verification of air quality measurements using uncertainty calculation method. This calculation was based on the year 2014 results of air quality calculation from city of Vaasa. The uncertainty calculation was made for nitrogen oxides (NO_x) measurements. The uncertainty calculation for ozone measurements were discovered to be impossible in this case.

The uncertainty calculation was made using calculation matrix from the Finnish Meteorological Institute. The calculation matrix is based on standard SFS-EN 1421. The calculation was carried out using actual data collected from measurement device and measurement environment.

The results of uncertainty calculation was 10.6 % for hourly limit value and 10,3 % for annual limit value. EU directive 2008/50/EY gives limit value not more than 15 % for air quality measurement uncertainty. The measurement uncertainty for NO_x meets the directive criterion.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	5
2	ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA LYHYESTI.....	6
3	ILMANLAADUN MITTAUS	7
	3.1 Kansainvälinen ilmansuojelu.....	7
	3.2 Ilmanlaatuasetus ja otsoniasetus.....	8
	3.3. Raja-arvot ilmanlaadun asetuksessa	8
	3.4 Ilmanlaadun mittaukset ympäristönsuojelulain näkökulmasta.....	9
4	ILMANLAATUMITTAUSTEN LAADUNVARMISTUS	11
5	MITTAUSEPÄVARMUUS	15
	5.1 Ilmanlaadunmittausten epävarmuus	15
	5.2 Mittausepävarmuuden aiheuttajia	16
	5.3 Mittausepävarmuuden laskeminen.....	17
6	EPÄVARMUUSLASKENTA ESIMERKKINÄ VAASA	18
	6.1 Vaasan ilmanlaadun mittaus.....	18
	6.2 Laskennan kulku	20
	6.3 Epävarmuuslaskennan tuloksia	21
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	24
	LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli tutustua ilmanlaadunmittausten laadunvarmistukseen epävarmuuslaskennan kautta. Kaikki kunnat, joissa ilmanlaatua mitataan, ovat veloitettuja tekemään ilmanlaatuasetuksen perusteella epävarmuuslaskennat niille alueille, joita kussakin kunnassa ilmanlaadun valvonnan yhteydessä mitataan. Vaasassa mitataan typenoksidien sekä otsonin pitoisuuksia. Lisäksi Vaasassa mitataan pienhiukkasia $PM_{2,5}$ ja hengitettäviä hiukkasia PM_{10} . Hiukkasille ei lasketa epävarmuutta, vaan hiukkasia mittaavien laitteiden toiminta varmistetaan muilla keinoin. Tässä työssä ei ole perehdytty tähän asiaan.

Ilmatieteen laitos toimii ympäristönsuojelulain määräämänä ilmanlaadunmittausten kansallisena vertailulaboratoriona, joka vastaanottaa kunnissa tehdyt epävarmuuslaskennat. Ilmatieteen laitos on laatinut Excel-taulukot epävarmuuden laskemista varten voimassa olevien standardien perusteella. Tässä työssä epävarmuudet on laskettu näiden Excel-taulukoiden avulla. Voimassa olevat standardit ovat typen oksideille SFS-EN 14211 ja otsonille SFS-EN 14625.

Tässä työssä on epävarmuuslaskennan lisäksi käsitelty ilmanlaadun mittausten merkitystä ja laadunvarmistusta sen verran, että saa jonkinlaisen yleiskuvan siitä, miksi ilmanlaatua tarkkaillaan ja mitä ilmanlaadun laadunvarmistuksella tarkoitetaan.

2 ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA LYHYESTI

Ilmanlaadun mittauksia alettiin Suomessa tehdä säännöllisesti 1970-luvulta lähtien. Silloin suurimpana ilmanlaatuongelmana olivat ns. happamoittavat yhdisteet, lähinnä rikkidioksidi ja sulfaattihiukkaset. Nykyään keskitytään enemmän typenoksidien, otsonin ja hiukkasten mittauksiin. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt, fossiilisten polttoaineiden käyttö ja liikenteen kasvu ovat kasvattaneet ilman epäpuhtauksien määrää. Tekemällä määrätietoista työtä ilmansuojelutoimien parissa päästöt ja happamoittava laskeuma on saatu kuriin ja niiden määrä on vähentynyt Suomessa viimeisten 30 vuoden aikana. Katupölyn ja kaukokulkeutuvan otsonin määrät ovat kuitenkin pysyneet samoina. /2; 5/

Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat ympäristön pilaantumista ja niillä on haitallisia vaikutuksia ihmisen terveydelle. Lisäksi ilman happamoittavat epäpuhtaudet saavat aikaan materiaalivahinkoja rakennetussa ympäristössä. Rikkidioksidilla, typenoksideilla ja ammoniakilla on happamoittava vaikutus vesistöihin ja maaperään. Typenoksidit ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet puolestaan aiheuttavat haitallisen alailmakehän otsonin muodostumista. Typenoksidit ja ammoniakki aiheuttavat rehevöitymistä. Ihmisten terveyden kannalta haitallisia vaikutuksia on ilmassa olevilla hiukkasilla, raskasmetalleilla ja kaasumaisilla epäpuhtauksilla. Pienhiukkaset aiheuttavat hengitystieoireita ja keuhkosairauksia. PAH-aineet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt), joita syntyy esimerkiksi puun epätäydellisessä palamisessa, puolestaan aiheuttavat syöpää. /5/

Suomessa ilmanlaatu on kuitenkin keskimäärin hyvä ja ilmansaasteiden vaikutukset jäävät useimmiten paikallisella tasolla vähäisiksi. Poikkeuksena ovat hankalat sääolosuhteet talvisin ja keväisin. /5/

3 ILMANLAADUN MITTAUS

Ilmanlaadun mittaustarpeeseen vaikuttavat voimassa oleva lainsäädäntö, paikalliset olosuhteet sekä tutkimustarpeet. Ilma kuljettaa tehokkaasti kaasumaisia ja hiukkas-maisia aineita. Päästöt leviävät lähialueiden lisäksi jopa toiselle puolelle maapalloa. Suomessa olevista ilmansaasteista merkittävä osuus on kulkeutunut ulkomailta. Kansainvälisellä yhteistyöllä on merkittävä osuus ilmansuojelun tavoitteiden saavuttamisessa. /2/

3.1 Kansainvälinen ilmansuojelu

Euroopan unionissa ilmanlaatu on yksi ympäristönsuojelun painopisteistä. Ilmanlaatua seurataan nykyään yhä enemmän yhtenäisten direktiivien määräämällä tavalla. Ilmanlaatua koskevat direktiivit ovat päästökattodirektiivi (2001/81/EY) ja ilmanlaatua koskeva EU-direktiivi (2008/50/EY). Päästökattodirektiivi velvoittaa jäsenmaita vähentämään rikkidioksidin, typen oksidien, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja ammoniakkin päästöjä. Ilmanlaatua koskevassa EU-direktiivissä on asetettu raja-arvoja rikkidioksidille, typpidioksidille, typen oksideille, lyijylle, hiilimonoksidille ja bentseenille, sekä tavoitearvoja alailmakehän otsonille. Direktiivit velvoittavat seuraamaan ilmanlaatua ja ilmassa olevien epäpuhtauksien määrää. Direktiiveissä määritellään ilmanlaatua koskevat tavoitteet, sekä menetelmät ilmanlaadun arvioimiseksi. Direktiivin täytäntöönpanosta vastaavat jäsenvaltiot. /1; 2; 8/

Tärkeimmät kansainväliset sopimukset, joihin ilmansuojelu ja otsonikerroksen suo-jelu Suomessa perustuvat ovat YK:n kansainvälinen kaukokulkeutumissopimus maasta toiseen kulkeutuvien ilman epäpuhtauksien hallitsemiseksi, Wienin yleisso-pimus ja sitä tarkentava Montrealin pöytäkirja, jonka tarkoituksena on rajoittaa otsonikerrosta heikentävien aineiden valmistusta, kulutusta ja kauppaa, sekä EU-di-rectiivit ja -asetukset. /8/

3.2 Ilmanlaatuasetus ja otsoniasetus

Valtioneuvoston asetuksissa (ilmanlaatuasetus, otsoniasetus) on määrätty tavoitteet ja vaatimukset ilmanlaadun mittauksille. Pääasiassa asetusten tavoitteena on pyrkiä ehkäisemään ympäristön pilaantuminen. Pilaantumista on asetuksilla pyritty ehkäisemään antamalla raja-arvoja ilmassa olevien epäpuhtauksien määrille. Raja-arvoista on kerrottu lisää kappaleessa 3.3. /1; 2/

Mittaustulosten käytön ja vertailukelpoisuuden takia niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin aineiston laadulla on tärkeä merkitys. Ilmanlaatuasetuksessa ja otsoniasetuksessa on annettu laatutavoitteita, joiden tarkoituksena on antaa mittauksien jatkokäyttäjille tietoa siitä, kuinka luotettavia mittauksien tulokset ovat. Laatutavoitteita on annettu mittauksien ajallista kattavuutta, aineiston vähimmäismäärää ja mittauksien epävarmuutta koskien. /2/

Ilmanlaatuasetuksen mukaan alueelliset ympäristökeskukset huolehtivat siitä, että sen alueen ilmanlaadun seuranta on järjestetty hyvin. Ympäristökeskusten toimeen kuuluu myös huolehtia siitä, että ilmanlaadun mittausasemien määrä on riittävä sellaisilla seuranta-alueilla, joissa mittaukset ovat pakollisia. Kuntien velvollisuuksista huolehtia paikallisten olojen ilmanlaadun seurannasta on säädetty ympäristönsuojelulaissa. /1/

3.3. Raja-arvot ilmanlaadun asetuksessa

Ilmanlaatuasetuksessa Vna 38/2011 on annettu raja-arvoja ilman epäpuhtauksille, joiden ylittyminen ilmansuojeluviranomaisten on käytettävissä olevin keinoin esitettävä. Raja-arvot ovat ilmanlaatuasetuksen mukaan määritetty tieteellisin perustein terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi. Raja-arvoja on annettu rikidioksidille, typpidioksidille, typen oksideille, hiukkasille, lyijylle, hiilimonoksidille ja bentseenille. Typen oksidien raja-arvo on 30 ug/m^3 kalenterivuodessa. Tavoitteena on terveyshaittojen ehkäiseminen niillä alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä ja joilla ihmiset saattavat altistua epäpuhtauksille. Myös kasvillisuuden ja ekosysteemien suojeleminen kuuluvat tavoitteisiin. /1/

Ilmanlaadun mittauksilla on suuri merkitys, koska niiden avulla arvioidaan raja-arvojen ylittymistä. Kuntien on laadittava ja toimeenpantava suunnitelmia tai ohjelmia annetuissa määräajoissa, jos raja-arvot ylittyvät tai uhkaavat tulla ylitetyiksi. Otsonille ei ole asetettu raja-arvoja, vaan sen sijaan tavoitearvoja. Näin siksi, että paikallisilla toimilla ei ole niin suurta vaikutusta ilman otsonipitoisuuksiin, joten tavoitearvoihin pyritään ensisijaisesti valtakunnallisin ja kansainvälisin toimin. /1/

Ilmanlaadun mittauksilla on merkityksensä myös tiedonvälityksessä, koska ilmanlaatutietojen on oltava yleisesti saatavilla. Raja-arvojen lisäksi ilmanlaatu asetuksen mukaan väestölle on tiedotettava myös tiedotus- ja varoituskynnysten ylityksistä. Asetuksessa on säädetty varoituskynnykset rikkidioksidille, typpidioksidille ja otsonille sekä erikseen tiedotuskynnys otsonille. /1/

3.4 Ilmanlaadun mittaukset ympäristönsuojelulain näkökulmasta

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantuminen, taata terveellinen ja monimuotoinen ympäristö, ennalta ehkäistä jätteen syntymistä ja edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä parantaa kansalaisten osallistumista ympäristöä koskevaan päätöksentekoon. Ympäristön pilaantuminen sisältää myös ilman pilaantumisen. Ilman pilaantumisella tarkoitetaan ihmisen toiminnasta johtuvaa ilman koostumuksen tai ominaisuuksien muuttamista, josta aiheutuu välittömästi tai välillisesti terveyshaittaa tai muuta haittaa. /1/

Ympäristönsuojelulain 527/2014 pohjalta Ilmatieteen laitos on määrätty toimimaan ilmansuojelun kansallisena vertailulaboratoriona ilmanlaatumittausten laadunvarmennukseen liittyvissä tehtävissä. Vertailulaboratorion tehtävät ja pätevyysalue on määritelty ympäristöministeriön kirjeessä YM 60/481/2001. Ilmatieteen laitoksen tehtäviin kuuluvat jäljitettävien kalibrointipalveluiden tuottaminen ja ylläpito, näytteenotto sekä mittalaitteiden ja mittausmenetelmien testaustoiminta. Laadunvarmistuksella pystytään lisäämään ilmanlaatumittausten tulosten vertailtavuutta niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Näin ollen laadunvarmistuksella on tärkeä osansa mittaustoiminnassa. /1; 3/

Ympäristönsuojelulain mukaan kuntien tehtävänä on puolestaan huolehtia ilmanlaadun seurannasta paikallisten olojen edellyttämässä laajuudessa. Toiminnanharjoittajalla on myös velvollisuus olla riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista. Kuntien tehtävänä on myös tiedottaa väestölle ilmanlaadusta. /1; 2/

4 ILMANLAATUMITTAUSTEN LAADUNVARMISTUS

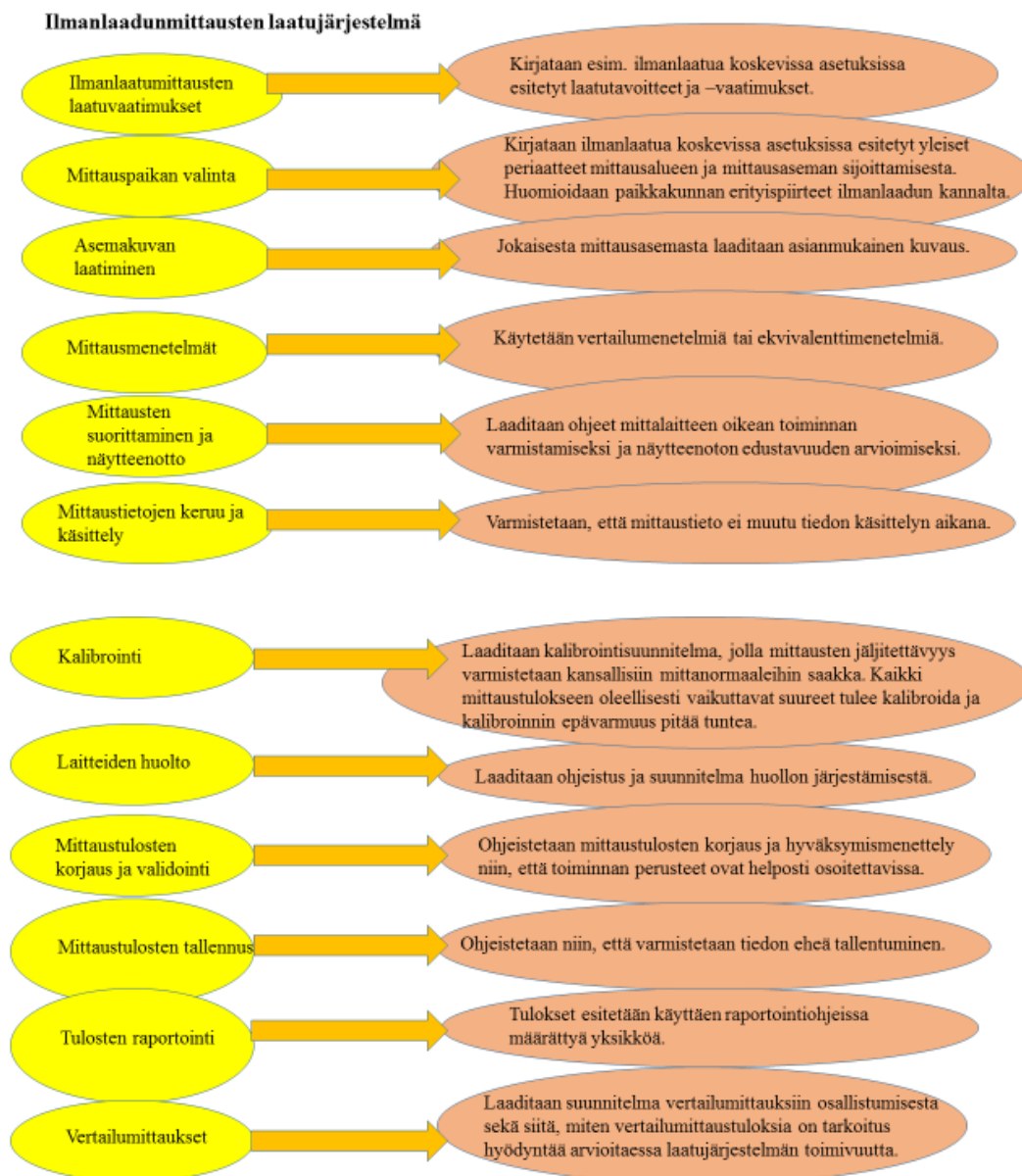
Laadunvarmistuksella tarkoitetaan suunniteltuja ja järjestelmällisiä toimia, joilla mittaustoiminta täyttää sille asetetut vaatimukset niin laadun kuin laatujärjestelmän osalta. Pääsääntöisesti mittausten laadunvarmistustoimet kohdistetaan niihin tekijöihin, joilla voidaan mittauksille asetetut laatuvaatimukset täyttää. **Kuvioon 1.** on kerätty laadunvarmistuksen toimia. Samaan kuvioon on kerätty myös laadunohjauksen keinoja. Laadunohjauksella tarkoitetaan niitä tekniikoita ja toimia, joilla päästään laatuavoitteisiin. Laadunohjaus kohdistuu mittaustuloksiin ja niiden oikeellisuuteen. /2/



Kuvio 1. Laadun varmistukseksi laaditut toimet ja ohjauskeinot. /2/

Laadunvarmistustoimiin kuuluvat esimerkiksi mittausverkoston suunnittelu ja mittaavien epäpuhtauksien, mittausmenetelmien ja mittalaitteiden valinta, kuten Kuviossa 1. on esitetty. Laadunohjauksen keinoja ovat esimerkiksi vertailumittaukset ja havaintoaineiston vertaaminen muuhun vastaavaan aineistoon. /2/

Laatujärjestelmän tarkoituksena on kuvata kirjallisesti ne toimet, joita tulee noudattaa ilmanlaatumittauksissa. Laatujärjestelmässä laatuvaatimusten asettaminen on tärkeimpiä kriteerejä mitoitettaessa mittaus toimintaa. Tavoitteena on päästä laadultaan korkeatasoisiin ilmanlaadunmittauksiin. Kun laatutaso tunnetaan, ja se on riittävän korkeatasoista, mittaus tulokset ovat vertailukelpoisia ja käyttökelpoisia myös muille tahoille. **Kuvioon 2.** on koottu asioita, joita tulee löytyä ilmanlaadunmittauksien laatujärjestelmästä. Esimerkiksi laatujärjestelmästä tulee löytyä mittauspaikan valintaan liittyvät tiedot, johon kirjataan ilmanlaadun asetuksessa olevat yleiset tiedot mittauspaikan valinnalle sekä huomioidaan paikkakunnan erityispiirteet. /2/



Kuvio 2. Laatujärjestelmästä löytyy ohjeet ilmanlaadun mittauksiin. /2/

Mittaustoiminnan laadunvarmistuksen laatujärjestelmän työ- ja menettelyohjeet sisältävät kaikki ne toiminnot, joilla on tarkoitus saavuttaa asetetut laatuvaatimukset. Laatujärjestelmän sisältö ja laajuus voivat vaihdella riippuen siitä, minkälaisia asetetut vaatimukset mittaustoiminnalla on. Kaikilla mittausverkoilla on kuitenkin tietyt vähimmäisvaatimukset laatujärjestelmän suhteen, jotta eri mittausverkkojen tulokset ovat kansallisella tasolla saman laatuista ja keskenään vertailukelpoisia. /1/

Yhtenäisen ja riittävän laadun tavoittaminen vaatii toimenpiteitä. Vertailulaboratoriolla on tässä työssä merkittävä rooli. Ilmatieteen laitos toimii Suomessa ilmanlaadun mittausten kansallisena vertailulaboratoriona. Vertailulaboratorio ylläpitää mittausohjetta, jossa on yksityiskohtaisempaa ohjeistusta mittauksiin. Lisäksi vertailulaboratorion tehtäviin kuuluu muun muassa olla mukana suunnittelemassa mittausten tuloksista, käsittelyistä ja raportoinnista vastaaville henkilöille työhön liittyvää koulutusta. Vertailulaboratorio järjestää myös vertailumittauksia ja ylläpitää luetteloa standardien mukaisista menetelmistä sekä niiden kanssa ekvivalenteista mittausmenetelmistä. /2/

Ilmanlaatuasetuksessa Vna 38/2011 ja otsoniasetuksessa Vna 783/2003 on määritetty ilmanlaadunmittausten laatutavoitteita. Tavoitteita on sekä jatkuville että kesoltaan lyhytaikaisille mittauksille. Ne koskevat mittausten ajallista kattavuutta, aineiston vähimmäismäärää ja mittausten epävarmuutta. Laatutavoitteiden tarkoituksena on antaa mittausaineiston jatkokäyttäjille tietoa siitä, kuinka luotettavia mitaustulokset ovat. /2/

Kaikilla ilmanlaatumittauksia suorittavilla tahoilla on velvollisuus huolehtia tietyistä toimista, joiden avulla saavutetaan riittävä laadun varmistus. Näihin toimiin kuuluvat esimerkiksi ilmanlaatumittausten laatutason seuranta ja niiden julkinen saatavuus, mittausten suorittaminen vertailumenetelmällä, mittausten järjestäminen aukottomasti jäljitettäväksi, mittausepävarmuuden tunnistaminen ja laskeminen. /2/

5 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausten epävarmuus kuvaa mittaustulosten vaihtelualuetta, joka mittauksiin jää jäljelle, kun systemaattiset ja satunnaiset virheet on poistettu tai minimoitu. Mittausepävarmuus on siis osa mittaustulosta. Epävarmuuden osuus mittauksista on mahdollista selvittää matemaattisesti, kun tunnetaan mitkä seikat aiheuttavat mittauksiin systemaattista tai satunnaista virhettä. Tunnistamalla systemaattista ja satunnaista virhettä aiheuttavat lähteet pystytään myös vaikuttamaan epävarmuuden suuruuteen. /1; 6/

Mittaustulokset sisältävät aina mittausepävarmuutta. Tunnistamalla mittauksiin sisältyvä epävarmuus saadaan mittaustuloksiin luotettavuutta. Tällä tarkoitetaan sitä, että tiedostamalla tulokseen sisältyvän epävarmuuden suuruus tiedetään, minkä vaihteluvälin sisällä oikea tulos on. Jos epävarmuutta ei tunnisteta, mittaustulos on vain suuntaa antava arvio siitä, mikä mitatun kohteen tulos on. Luotettavan mittauksen edellytyksenä on, että mittaustulos pystytään todistamaan oikeaksi dokumenttien avulla. Luotettavat mittaustulokset ovat vertailukelpoisia niin kansallisella kuin kansainväliselläkin taholla. Luotettavaa mittaustulosta pystytään käyttämään päätöksenteon tukena. /6/

5.1 Ilmanlaadunmittausten epävarmuus

Ilmanlaadunmittausten mittausepävarmuuden sallittu suuruus riippuu siitä, onko kyseessä jatkuvakestoinen mittaus, vai suuntaa antava mittaus. Jatkuvilla mittauksilla tarkoitetaan kiinteillä mittausasemilla tehtyjä mittauksia. Ne voivat olla jatkuvatoimisia mittauksia tai satunnaisotannalla tehtyjä mittauksia. Sallittu epävarmuus jatkuvakestoisilla mittauksilla on typenoksideille (NO_x), hiilimonoksidille (CO) ja otsonille (O_3) 15 %. Ajallinen kattavuus on tällöin 100 %, josta aineiston vähimmäismäärä tulee olla 90 % (paitsi otsonilla talviaikaan 75 %). /2/

Suuntaa-antavat mittaukset ovat laadultaan epätarkempia kuin jatkuvat mittaukset. Suuntaa-antavien mittausten epävarmuus NO_x ja CO:lla saa olla 25 % ja O_3 30 %.

Ajallinen kattavuus on 14 % muilla kuin O₃, jolla ajallinen kattavuus yli 10 % keksällä. Neljäntoista prosentin ajallinen kattavuus tarkoittaa yhtä mittauskertaa viikossa läpi koko vuoden tai kahdeksan viikon mittaista jaksoa jaettuna tasaisesti läpi koko vuoden. Aineiston vähimmäismäärä mittauksissa tulee kaikilla mitattavilla aineilla olla 90 %. /2/

Jatkuvakestoisia mittauksia tehdään, kun ilmanlaadun arviointikynnykset ylittyvät. Arviointikynnyksillä tarkoitetaan ilman epäpuhtauksille määritettyjä arvoja, jotka ovat tietty prosentuaalinen osuus epäpuhtauden ilmanlaadun asetuksessa säädettyyn raja-arvoon verrattuna. Esimerkiksi typen oksidien kalenterivuoden raja-arvo on 30 ug/m³ ja ylempi arviointikynnys 24 ug/m³, joka on 80 % raja-arvosta. Alempi arviointikynnys on 19,5 ug/m³, joka on 65 % raja-arvosta. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan suuntaa-antavilla mittauksilla. /9/

5.2 Mittausepävarmuuden aiheuttajia

Mittausepävarmuus koostuu useasta eri lähteestä. Hankalinta epävarmuuden määrittämisessä onkin tunnistaa kaikki nämä lähteet. Lisäksi on osattava erotella epävarmuutta aiheuttavat tekijät merkityksellisiin ja merkityksettömiin epävarmuuden laskemisen kannalta. Ne tekijät, jotka aiheuttavat vain vähäistä epävarmuutta, voidaan jättää pois epävarmuuslaskelmasta. /6/

Epävarmuutta aiheuttavat mittauslaitteisto, ympäristöolosuhteet sekä mitausten tekijät. Mittalaitteen kalibrointi on yksi merkittävimpiä epävarmuusanalyysin osia. Tämä johtuu siitä, että kalibroinnilla saatu epävarmuus kertoo mitausten maksimi tarkkuuden. Eli mittauksen tarkkuus ei voi ylittää sitä epävarmuutta, joka kalibroinnilla on saatu. Mittalaitteen resoluutio ja mitausten toistettavuus ovat myös osa epävarmuusanalyysiä. Mittalaitteen epävarmuutta arvioitaessa on otettava huomioon myös ympäristöolosuhteet. Laitteen käyttöohjeet kertovat ympäröivän lämpötilan vaikutuksesta mittauksiin. Myös ilman paineella ja ilman kosteudella saattaa olla vaikutus mitaustuloksiin. Mitausten tekijöiden aiheuttama epävarmuus näkyy eniten käytettäessä mekaanisia tai analogisia mittausvälineitä. /6/

5.3 Mittausepävarmuuden laskeminen

Mittausepävarmuus voidaan laskea käyttämällä hieman erilaisia menetelmiä, riippuen siitä, kuinka tarkasti se halutaan määrittää. Tässä työssä epävarmuus on laskettu käyttämällä standardin SFS-EN 14211 mukaista laskentamenetelmää, joka soveltuu typen oksidien epävarmuuden laskemiseen. Tällä menetelmällä tulokseksi saadaan laajennettu mittausepävarmuus käyttämällä 95 %:n luottamusväliä /7, 8/. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmoitettujen mittausepävarmuusrajojen sisällä on 95 % tuloksista. Otsonin epävarmuus lasketaan standardin SFS-EN 14625 mukaan.

6 EPÄVARMUUSLASKENTA ESIMERKKINÄ VAASA

Ilmatieteenlaitos on laatinut Excel-pohjaiset laskentataulukot voimassa olevien standardien pohjalta ilmanlaadun mittausten epävarmuuksien laskemiseksi. Ilmanlaadunmittausten epävarmuus voidaan laskea täyttämällä Excel-taulukot kysytyjen lähtötietojen mukaan. Jokaiselle mitattavalle aineelle on oma laskentapohja. Typen oksidien epävarmuus lasketaan standardin SFS-EN 14211 mukaan. Otsonin epävarmuus lasketaan standardin SFS-EN 14625 mukaan. Ilmatieteenlaitos vastaanottaa kunnissa tehdyt epävarmuuslaskennat. Kuntien päätettäväksi jää kuinka kukin laskennan suorittaa.

Vaasassa epävarmuuslaskentaa ei ole aikaisemmin tehty. Mittauksien luotettavuus on tarkistettu säännöllisellä laitteiden kalibroinnilla. Esimerkiksi typen oksidien mittauslaite kalibroidaan neljä kertaa vuodessa (maaliskuussa, kesäkuussa, syyskuussa ja joulukuussa). Kalibrointituloksen jäädessä alle viiden prosentin, on luotettu siihen, että mittaustarkkuus on tarpeeksi luotettava. Jatkossa epävarmuuslaskenta kuitenkin täytyy tehdä ilmanlaatuasetuksen määräämällä tavalla.

6.1 Vaasan ilmanlaadun mittaus

Vaasassa ilmanlaatua mitataan kahdella eri mittausasemalla. Toinen mittausasema sijaitsee keskustassa ja toinen Vaasan vesitornin vieressä. Keskustan mittausasemalla mitataan NO_2 ja PM_{10} . Tyypiltään keskustan mittausasema on liikenneasema, jonka suurin päästölähde on liikenne. Liikenneasemien tarkoituksena on selvittää liikenteen lähivaikutusta taajamailman epäpuhtaustasoihin ja niiden sijainti tulisi olla sellainen, että ne edustavat väestön suurinta altistumista ilmanlaadun raja- tai ohjearvoihin nähden. /1; 10/



Kuva 1. Vaasan keskustan mittausasema.

Vesitornin mittausasema on tyypiltään kaupunkitausta-asema. Siellä mitataan hengitettäviä hiukkasia PM_{10} , pienhiukkasia $PM_{2,5}$ ja otsonia O_3 . Kaupunkitausta-aseman tarkoituksena on mitata ilmanlaatua yhtenäisesti rakennetulla kaupunkialueella kuitenkin riittävän etäällä vilkasliikenteisistä kaduista ja teollisuuslaitoksista, jottei mikään yksittäinen päästölähde pääasiallisesti määrää pitoisuustasoja. Kaupunkitausta-asemaa käytetään yleisen altistumisen arviointiin kaupunkialueella. Sen edustavuus tulisi olla useampi neliökilometri. /1; 10/

6.2 Laskennan kulku

Jotta epävarmuuslaskenta voidaan tehdä, tarvitaan tieto eri tekijöiden aiheuttamasta yksittäisestä epävarmuudesta. Osa tiedoista on laitekohtaisia ja ne löytyvät kunkin laitteen tyyppitestausraportista. Osa tiedoista puolestaan saadaan mittauskopilta, jossa mittauslaite sijaitsee. Esimerkiksi tieto mittauskopin sisälämpötilan vaihtelusta saadaan mittauskopilta, kun taas standardipoikkeama nollapitoisuudessa ja testikonsentraatiossa kerrotaan tyyppitestausraportissa. Vaasassa typen oksideita mitataan laitteella Horiba Apna 360. Tämä laite on niin vanha, että sille ei ole olemassa uusimman standardin mukaista tyyppitestausraporttia. Laskennassa on käytetty Horiba Apna 370 -laitteen tyyppitestausraportin tietoja, koska se on toimintaperiaatteeltaan vastaavanlainen laite kuin aikaisemmin mainittu. Otsonipitoisuuksia mitataan Vaasassa laitteella Environnement SA O3-41 M. Alapuolella on kuva molemmista laitteista.



Kuva 3. Typenoksidien mittauslaite Vaasassa.



Kuva 4. Otsonin mittauslaite Vaasassa.

6.3 Epävarmuuslaskennan tuloksia

Ilmatieteen laitoksella tehty Excel-pohja on laadittu siten, että syöttämällä lähtötiedot taulukkoon, ohjelma laskee sinne syötettyjen laskentakaavojen perusteella mitausten erilliset epävarmuudet sekä mitausten kokonaisepävarmuuden. Taulukossa 1 on Vaasan NO_x -mittausten tunturaja-arvojen epävarmuudet (hourly limit value hlv). Epävarmuudet on laskettu yksikössä nmol/mol . Taulukon viimeisessä sarakkeessa on NO_x -mittausten suhteellinen epävarmuus, joka on 10,6 %. Suurin sallittu epävarmuus standardin mukaan on 15 %, joten Vaasan NO_x -mittausten osalta kriteeri täyttyy. Taulukossa 2 on Vaasan NO_x -mittausten vuosi raja-arvojen epävarmuudet (annual limit value alv). Näiden mitausten suhteellinen epävarmuus on 10,3 %, joka täyttää myös vaaditun kriteerin, eli jää alle 15 %:n.

Taulukko 1. Epävarmuudet Vaasan NO_x -mittauksille hlv.

symboli	Tunti raja-arvojen epävarmuudet hlv	pitoisuus nmol/mol
$u_{r,z} =$	Uncertainty for repeatability at zero	0,02
$u_{r,lv} =$	Uncertainty for repeatability at the hourly limit value	0,05
$u_{l,lv} =$	Uncertainty due to lack of fit the hourly limit value	0,66
$u_{gp} =$	Uncertainty due to variation of sample gas pressure	0,21
$u_{gt} =$	Uncertainty due to variation of sample temperature	0,02
$u_{st} =$	Uncertainty due to variation of surrounding temperature	0,02
$u_v =$	Uncertainty due to variation of electrical voltage	0,05
$u_{H_2O,act} =$	Interference by the presence of water vapour at the hourly limit value	0,29
$u_{int,act} =$	Uncertainty due to each interfering compound	0,49
$u_{av} =$	Uncertainty due to the averaging effect	2,6
$u_{Dsc} =$	Uncertainty due to the difference sample/calibration port	0,0
$u_{r,f} =$	Uncertainty due to the reproducibility under field conditions at level of the hourly limit value	3,95
$u_{d,l,z} =$	Uncertainty due to the long term drift at zero	0,46
$u_{d,l,lv} =$	Uncertainty due to the long term drift at level of hourly limit value	0,54
$u_{cg} =$	Uncertainty due to the calibration gas	1,35
$u_{EC} =$	Uncertainty due to the converter efficiency	2,08
$u_Z =$	Uncertainty due to the impurity of zero air	0,6
$u_c =$	Yhdistetty standardiepävarmuus	5,52
$U_c =$	Laajennettu epävarmuus	11,0
$U_{c,rel} =$	Laajennettu suhteellinen epävarmuus	10,6 %

Taulukko 2. Epävarmuudet Vaasan NO_x -mittauksille alv.

symboli	Vuosi raja-arvojen epävarmuudet alv	pitoisuus nmol/mol
$u_{r,z} =$	Uncertainty for repeatability at zero	0,00
$u_{r,lv} =$	Uncertainty for repeatability at annual limit value	0,00
$u_{l,lv} =$	Uncertainty due to lack of fit the annual limit value	0,13
$u_{gp} =$	Uncertainty due to variation of sample gas pressure	0,04
$u_{gt} =$	Uncertainty due to variation of sample temperature	0,00
$u_{st} =$	Uncertainty due to variation of surrounding temperature	0,00
$u_v =$	Uncertainty due to variation of electrical voltage	0,01
$u_{H_2O,act} =$	Interference by the presence of water vapour at the annual limit value	0,11
$u_{int,act} =$	Uncertainty due to each interfering compound	0,16
$u_{av} =$	Uncertainty due to the averaging effect	0,5
$u_{Dsc} =$	Uncertainty due to the difference sample/calibration port	0,0
$u_{r,f} =$	Uncertainty due to the reproducibility under field conditions at level of the annual limit value	0,01
$u_{d,l,z} =$	Uncertainty due to the long term drift at zero	0,46
$u_{d,l,lv} =$	Uncertainty due to the long term drift at level of annual limit value	0,11
$u_{cg} =$	Uncertainty due to the calibration gas	0,27
$u_{EC} =$	Uncertainty due to the converter efficiency	0,42
$u_z =$	Uncertainty due to the impurity of zero air	0,6
$u_c =$	Yhdistetty standardiepävarmuus	1,09
$U_c =$	Laajennettu epävarmuus	2,2
$U_{c,rel} =$	Laajennettu suhteellinen epävarmuus	= 10,3 %

Otsonin osalta mittausepävarmuutta ei pystytty laskemaan, koska Vaasassa otsonin mittauslaite on sen verran vanha, ettei sille ole tehty uusimman standardin mukaista tyyppitestausraporttia. Näin ollen lähtötietoja Excel-pohjaan ei ollut saatavilla, joten laskentaa ei pystynyt tekemään.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Euroopan unionissa laaditaan direktiivejä koskien ilmansuojelua. Direktiivien pohjalta kukin jäsenvaltio laatii lakeja, jotka sisältävät direktiiveissä annetut määräykset. Suomessa ilmansuojeluun liittyvää ohjeistusta löytyy Valtioneuvoston asetuksesta 711/2001 sekä Ympäristönsuojelulaista YM 86/2000. Ilmanlaatuasetuksessa on annettu raja-arvoja ilman epäpuhtauksille. Näiden raja-arvojen olemassaolon tarkoituksena on toimia ympäristön pilaantumista ehkäisevänä ja vähentävänä tekijänä. Ympäristönsuojelulaki velvoittaa kunnat huolehtimaan paikallisten olojen edellyttämästä ilmanlaadun tarkkailusta. Kuntien tehtävänä on seurata ilmanlaatua ja myös tiedottaa siitä kansalaisille.

Ilmanlaadun seuranta tulee tehdä laadukkaasti. Ilmanlaatuasetuksessa on annettu yleisiä ohjeita ilmanlaadun seurantaan. Asetuksessa on kriteerejä, jotka pitää täyttää kaikilla ilmanlaadun mittausasemilla. Ilmanlaadun mittauksien laatu on pyrittävä varmistamaan laaduntarkkailulla ja mittauksien epävarmuus tulee olla tiedossa. Yhdenmukaiset laaduntarkkailuohjeet lisäävät mittauksien vertailukelpoisuutta eri mittauspaikkojen välillä. Mittauksien epävarmuuden tunnistaminen on välttämätön edellytys laadukkaalle mittaamiselle.

Typen oksidien mittausepävarmuudeksi saatiin 10,6 % tuntikohtaisille mittauksille ja 10,3 % vuositaso mittauksille. Epävarmuus sai enintään olla 15 %, joten tulokset täyttävät annetut vaatimukset.

Otsonin osalta epävarmuus jäi laskematta. Syynä tähän oli se, että Vaasassa oleva otsoninmittauslaite on niin vanha, että sille ei ole tehty sellaista tyyppitestausraporttia, josta löytyisi tarvittavat tiedot uuden standardin mukaiseen epävarmuuslaskentaan. Laittevalmistajat tuovat uusia malleja markkinoille, eikä heillä ole suurta intressiä testauttaa vanhoja malleja uudestaan standardin uudistuessa. Mittaajilla taas ei ole halua uusia toimivia laitteita vain sen takia, että mittausepävarmuutta ei saa laskettua valmiin laskentatyökalun avulla /11/. Tästä voisi päätellä, että epävarmuuden laskeminen hankaloituu ja tulee väistämättä aikoja, jolloin epävarmuuksia

ei pystytä ajantasaisten standardien mukaan laskea, jos standardien uusimisväli on reilusti lyhempi kuin laitteen käyttöikä.

LÄHTEET

- /1/ Kartastenpää, Pohjola, Walden, Salmi, Saari. 2004. Ilmanlaadun mittausohjeversio 1.0. Viitattu 10.8.2015. http://www.fmi.fi/kuvat/ilmanlaadun_mittausohje.pdf
- /2/ Lahtinen, Walden. 2007. Näkemyksiä ilmanlaatumittauksista. Viitattu 10.8.2015. www.ilmanlaatu.fi/.../Nakemyksia_ilmanlaatumittauksista_luonnos28-06
- /3/ Ilmatieteenlaitos. Ilmanlaadunmittaukset. Viitattu 10.8.2015 <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaadun-mittaukset>
- /4/ Ilmanlaatuportaali. Laadunvarmistus. Viitattu 10.8.2015 <http://www.ilmanlaatu.fi/mittaaminen/laatu/laadunvarmennus.html>
- /5/ Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Ilmansuojelu. Viitattu 10.8.2015 http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu
- /6/ Mikes. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Viitattu 10.8.2015 <http://www.mikes.fi/j-julkaisut>
- /7/ Standardi SFS-EN 14211. Ambient air quality -- Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy. 2015.
- /8/ Ympäristöministeriö. 2015. Kansainvälinen yhteistyö ja EU asiat http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu_ja_otsonikerroksen_suojelu/Kansainvalinen_yhteistyö_ja_EUasiat Viitattu 25.9.2015
- /9/ Komppula, Anttila ym. 2014. Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi. Viitattu 26.9.2015 http://www.ilmanlaatu.fi/ilmanynt/tiedote/tiedote_dynaaminen.php?id=829
- /10/ Ilmanlaatuportaali. 2015. Mittausasemat Vaasa. Viitattu 26.9.2015 <http://www.ilmanlaatu.fi/mittaaminen/verkot/asetat/asetat.php?nws=12&ss=465>
- /11/ Hirvijärvi E. 2015. Vaasan ympäristötarkastaja. Haastattelu 28.9.2015.

