



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuukka Pörsti

LUOTTAMUSVÄLIN POISTAMISEN VAIKUTUS PÄÄSTÖMITTAUKSIIN

Tapaustutkimuksena Westenergyn jätteenpolttolaitos

Tekniikka

2025

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tuukka Pörsti
Opinnäytetyön nimi	Luottamusvälin poistamisen vaikutus päästömit- tauksiin: tapaustutkimuksena Westenergyn jät- teenpolttolaitos
Vuosi	2025
Kieli	suomi
Sivumäärä	33
Ohjaaja	Maarit Mäkelä

Teollisuuden päästömittaukset ovat keskeisessä roolissa ympäristövai-
kutusten seurannassa ja viranomaisvalvonnassa. EU:n teollisuuspäästö-
direktiivi sekä kansalliset säädökset edellyttävät, että laitokset raporto-
ivat päästönsä luotettavasti. Tällä hetkellä mittaustuloksiin liittyvä epä-
varmuus otetaan huomioon luottamusvälin avulla, mutta EU-tason oh-
jeistuksissa on nähtävissä kehityssuunta tämän käytännön poista-
miseksi. Tämä muutos voi vaikuttaa mittaustulosten tulkintaan ja ym-
päristölupien arviointiin.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin, miten luottamusvälin poistaminen vaikut-
taisi Westenergy Oy Ab:n jätteenpolttolaitoksen päästöraportointiin.
Tutkimuksen teoreettinen viitekehys käsittelee mittausepävarmuutta,
luottamusvälin laskentaa sekä EU:n ohjeistusta. Työn kokeellisessa osi-
ossa aineistona käytettiin jatkuvatoimista päästömittausdataa kesältä ja
syksyiltä 2024. Tuloksia analysoitiin vertaamalla mittausarvoja tilan-
teissa, joissa epävarmuus otettiin huomioon ja joissa se jätettiin pois.

Tulokset osoittavat, että epävarmuuden vaikutus voi olla merkittävä eri-
tyisesti yksittäisissä rajatapauksissa. Esimerkkitalanteissa epävarmuus
saattoi estää tai paljastaa raja-arvon ylityksen. Luottamusvälin huomi-
oiminen parantaa raportoinnin luotettavuutta, tukee päätöksentekoa ja
voi jopa toimia laitoksen eduksi. Epävarmuuden poistaminen saattaa ly-
hyellä aikavälillä yksinkertaistaa raportointia, mutta kasvattaa pitkän ai-
kavälin riskejä ja virhearvioiden todennäköisyyttä.

Avainsanat päästömittaus, mittausepävarmuus, luottamusväli, jäte-
voimala, päästöraportointi

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

YMPÄRISTÖTEKNOLOGIA

ABSTRACT

Author	Tuukka Pörsti
Title	Luottamusvälin poistamisen vaikutus päästömitauksiin: tapaustutkimuksena Westenergyn jätteenpolttolaitos
Year	2025
Language	Finnish
Pages	33
Name of Supervisor	Maarit Mäkelä

Industrial emission measurements play a central role in monitoring environmental impacts and supporting regulatory oversight. The EU Industrial Emissions Directive and national regulations require facilities to report their emissions reliably. Currently, measurement uncertainty is accounted for using confidence intervals, but EU-level guidance is trending toward removing this requirement. Such a change could impact the interpretation of measurement results and the assessment of environmental permit compliance.

This thesis examines how removing confidence interval calculations would affect the emission reporting of Westenergy Oy Ab's waste incineration plant. The theoretical framework covers sources of measurement uncertainty, the calculation of confidence intervals, and relevant EU guidance. The empirical data consists of continuous emission measurements collected during summer and autumn 2024. The results were analyzed by comparing measurement values with and without uncertainty consideration.

The findings show that uncertainty can significantly influence result interpretation, especially in borderline cases. In example scenarios, uncertainty either revealed or prevented an exceedance of emission limits. Considering confidence intervals enhances reporting reliability, supports decision-making, and can even benefit the facility. While removing uncertainty might simplify reporting in the short term, it increases long-term risks and the likelihood of misjudgments.

Keywords emission measurement, measurement uncertainty, confidence interval, waste incineration plant, emission reporting

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO.....	7
2 WESTENERGY OY AB.....	8
2.1 Westenergy Oy Ab:n yleiskuvas	8
2.2 Toiminta-alue ja palvelut	9
2.3 Polttolaitoksen prosessi	10
3 JÄTTEENPOLTTOlaitoksen PÄÄSTÖT JA NIIDEN MITTAUS.....	12
3.1 Mitattavat päästökäkomponentit.....	12
3.2 Päästömittaäsmenetelmät	13
3.3 Westenergyn mittaäsjärjestelmät ja laitteet	14
4 LUOTTAMUSVÄLILASKENTA PÄÄSTÖMITTAUKSESSA	15
4.1 Luottamusvälien merkitys ja laskentaperiaatteet.....	15
4.2 Luottamusvälien käyttö päästöraportoinnissa	17
5 LUOTTAMUSVÄLILASKENNAN POISTO JA SEN VAIKUTUS	19
5.1 Vaikutukset mittaästuloksiin ja viranomävalvontaan	20
5.2 Mittäusepävarmuuden äsena päätöksenteossa.....	21
6 ANALYYSI LUOTTAMUSVÄLILASKENNAN POISTOSTA.....	22
6.1 Tarkastelun äineisto ja vertailumenetelmä	22
6.2 Epävarmuuden vaikutus mittaästulosten tulkintaan	24
6.3 Esimerkkätilanteet: epävarmuuden vaikutus raja-ärvon tulkintaan	26
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VAIKUTUSARVIOINTI.....	28
LÄHTEET.....	30
LIITTEET.....	32

Lyhenteet

BAT	Best Available Techniques, Parhaat käyttökelpoiset tekniikat
BREF	BAT Reference Document, BAT-viiteasiakirja
CEMS	Continuous Emissions Monitoring System, jatkuvatoiminen päästömittausjärjestelmä
EN 14181	Eurooppalainen standardi automaattisten päästömittauslaitteiden laadunvarmistuksesta
IED	Industrial Emissions Directive, Teollisuuspäästödirektiivi
IED	Industrial Emissions Directive, Teollisuuspäästödirektiivi
Laajennettuepävarmuus	Mittaustuloksen vaihteluvälin puolen pituus, ilmoitetaan usein valmistajan toimesta, esim. $\pm 30\%$
Luottamusväli	Todennäköinen vaihteluväli, joka kertoo mitaustuloksen ylä- ja alarajan
Mittausepävarmuus	Mittauksen tulokseen liittyvä epätarkkuus
MRR	Monitoring and reporting regulation, EU:n asetus päästöjen seurannasta ja raportoinnista
Raja-arvo	Ympäristöluvassa määritelty päästön enimmäistaso, jota ei saa ylittää
QAL2	Quality Assurance Level 2, laitteen kalibrointimenettely EN 14181 -standardin mukaisesti

KUVAT

Kuva 1. Toiminta-alue Suomen kartalla.**Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

Kuva 2. Westenergyn jätteenpolttoprosessin päävaiheet..... 11

TAULUKOT

Taulukko 1. Komponenttikohtaiset laajennetut epävarmuudet ($\pm U$).. 23

Taulukko 2. Mittausarvojen ja laajennetun epävarmuuden vertailu ympäris-tölupien raja-arvoihin 25

Taulukko 3. TOC-pitoisuuden mittaus 20.7.2024 (24 h keskiarvo) 26

Taulukko 4. CO 30 minuutin mittaustulos 14.11.2024 ja epävarmuuden vaikutus 27

1 JOHDANTO

Teollisuuden päästömittauksilla on keskeinen merkitys ympäristövaikutusten seurannassa ja viranomaisvalvonnassa. EU:n teollisuuspäästödirektiivi (IED) sekä kansalliset ympäristölupaehdot koskevat säädökset edellyttävät, että laitokset mittaavat ja raportoivat savukaasupäästönsä luotettavasti. Mittaustulosten epävarmuus otetaan nykyisin huomioon luottamusvälin avulla.

Viime vuosina on noussut esiin keskusteluja luottamusvälin ja epävarmuustekijöiden mahdollisesta poistamisesta päästöraportoinnista. Tämä herättää kysymyksen siitä, mitä seurauksia tällaisella muutoksella voisi olla mittaustulosten tulkinnan, ympäristövalvonnan ja laitosten toiminnan kannalta?

Työssä tarkastellaan, millaisia vaikutuksia luottamusvälin mahdollisilla muutoksilla olisi Westenergy Oy Ab:n päästöraportointiin. Esimerkkitaustan avulla havainnollistetaan, millaisia muutoksia päästöarvojen tulkintaan voi syntyä, jos epävarmuutta ei oteta huomioon. Tavoitteena on antaa realistinen kuva muutoksen mahdollisista vaikutuksista jätepolttolaitoksen näkökulmasta.

Työn laatimisessa on käytetty tekoälysovellusta ChatGPT:tä tekstin rakenteen suunnitteluun ja kielelliseen viimeistelyyn. Kaikki sisällöt ovat kuitenkin omiani. Olen huolehtinut sisällön alkuperäisyydestä ja tekijänoikeuksien kunnioittamisesta. Kaikki työn lähteet ovat itse valitsemiani, eivät tekoälyn tuottamia. Englanninkielisen tiivistelmän käännöstyössä on käytetty apuna DeepL Translator -palvelua. Olen käyttänyt kaikkia työkaluja vastuullisesti ja noudattanut tietosuojavaatimuksia.

2 WESTENERGY OY AB

Tämä luku esittelee opinnäytetyön kohdeyrityksen, Westenergy Oy Ab:n taustan ja toimintaperiaatteet. Yritys on keskeinen toimija Länsi-Suomen jätehuollon ja energiantuotannon parissa. Sen toimintamalli perustuu kiertotalouden ja energiatehokkuuden edistämiseen. Luvussa tarkastellaan Westenergyn omistusrakennetta, toiminta-aluetta, palveluita, sekä jätteenpolttolaitoksen roolia yhtiön kokonaisuudessa.

2.1 Westenergy Oy Ab:n yleiskuvas

Westenergy Oy Ab on Mustasaaren Koivulahdessa sijaitseva jäte-energialaitos, joka aloitti toimintansa vuonna 2012. Yhtiö perustettiin vastaamaan Länsi-Suomen alueen tarpeeseen yhdistää tehokas jätehuolto ja energiantuotanto kestäväällä tavalla (Westenergy 2025a). Yrityksen rakentamishanke käynnistettiin jo vuonna 2007, ja laitos rakennettiin vuosina 2009–2012 (Westenergy, 2024a, s. 6).

Yhtiön omistajina toimii seitsemän kunnallista jätehuoltoyhtiötä: Botnjarosk Oy Ab, Lakeuden Etappi Oy, Millespakka Oy, Stormossen Oy Ab, Vestia Oy, Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy (vuodesta 2020) ja Ab Ekorosk Oy (vuodesta 2023) (Westenergy 2025a). Kaikki käsiteltävät jätteet toimitetaan omistajayhtiöiden kautta, mikä varmistaa vakaan ja ennakoitavan materiaalivirran.

Westenergy toimii voittoa tavoittelemattomana osakeyhtiönä omakustannusperiaatteella. Tämä tarkoittaa, että toiminnasta saatava hyöty ohjataan suoraan jätehuollon kehittämiseen, energian hyödyntämiseen ja laitoksen toiminnan jatkuvaan parantamiseen. Westenergyn keskeisin tehtävä on hyödyntää jäte energialähteenä ennen sen lopullista loppusijoitusta, mikä tukee kiertotalouden periaatteita (Westenergy 2025a).

2.2 Toiminta-alue ja palvelut

Westenergyn toiminta-alue kattaa noin 70 kuntaa ja palvelee noin 670 000 asukasta. Tämä tarkoittaa yli viidesosaa koko Suomen kunnista (Kuva 1). Yhtiö vastaa kierrätyskelvottoman yhdyskuntajätteen hyödyntämisestä energiantuotannossa. Laitoksella käsitellään vuosittain noin 200 000 tonnia jätettä, joka muutetaan sähköksi ja kaukolämmöksi (Westenergy 2025a; Westenergy 2024a, s. 9).



Kuva 1. Westenergyn toiminta-alue Suomen kartalla (Westenergy, 2025).

Energiantuotanto toteutetaan yhteistyössä Vaasan Sähkö Oy:n kanssa. Westenergyn tuottama kaukolämpö kattaa noin puolet Vaasan alueen lämmöntarpeesta. Yhtiö pystyy reagoimaan kysyntään säätämällä sähköntuotannon ja lämmön tuotannon välistä suhdetta tarpeen mukaan (Westenergy 2024a, s. 9–10).

Elokuusta 2024 alkaen Westenergy on alkanut hyödyntää myös ulkomailta tuotavaa yhdyskuntajätettä. Vuonna 2024 arviolta 10–20 % laitoksella käsitellystä jätteestä tuotiin muualta kuin Suomesta, esimerkiksi Italiasta ja Pohjois-Irlannista. Tämä mahdollistaa laitoksen korkean

käyttöasteen ylläpitämisen ja tehokkaan energiantuotannon myös tilanteissa, joissa kotimaisen jätteen tarjonta vaihtelee (Westenergy 2024a, s. 9).

Lisäksi Westenergy valvoo tarkasti jätteen laatua ja koostumusta. Vuonna 2023 tarkastettiin yhteensä 91 jätelastia, mikä osoittaa yhtiön sitoutumisen laatuun ja turvallisuuteen (Westenergy, 2024a, s. 17).

2.3 Polttolaitoksen prosessi

Westenergyn jätteenpolttoprosessi perustuu arinatekniikkaan, jossa kierrätykseen kelpaamaton yhdyskuntajäte poltetaan korkeissa lämpötiloissa. Jäte toimitetaan laitokselle omistajayhtiöiden kautta ja puretaan vastaanottobunkkeriin. Sieltä se syötetään automaattisesti polttokattilaan, jossa jäte palaa noin 1000 °C lämpötilassa. Korkea lämpötila varmistaa tehokkaan palamisen ja haitallisten yhdisteiden hajoamisen (Westenergy 2024a, s. 9).

Palamisessa syntynyt lämpö hyödynnetään höyrykattilassa, jossa vesi muuttuu höyryksi. Höyry johdetaan turbiinigeneraattoriin, joka muuntaa sen sähköksi ja kaukolämmöksi. Tuotettu sähkö käytetään osittain laitoksen omiin tarpeisiin ja loput syötetään valtakunnan verkkoon. Kaukolämpö puolestaan toimitetaan Vaasan Sähkön verkkoon, joka kattaa noin 50 % Vaasan alueen lämmöntarpeesta (Westenergy 2024a, s. 9–10).

Savukaasut ohjataan polton jälkeen savukaasujen puhdistuslinjaan, jossa ne käsitellään useilla eri menetelmillä ennen ilmaan päästämistä. Lopputuotteena prosessista syntyy pohjatuhkaa ja lentotuhkaa, jotka ohjataan jatkokäsittelyyn tai hyötykäyttöön. Jätteenkäsittelyn tehokkuuden ja ympäristövaikutusten hallinnan takaamiseksi prosessia valvotaan jatkuvasti mittalaittein ja automaatiojärjestelmin (Westenergy 2024a, s. 10, 17). Alla olevassa kuvassa (2) on esitetty Westenergyn jätteenpolttoprosessin päävaiheet.



Kuva 2. Westenergyn jätteenpolttoprosessin päävaiheet: 1. Vastaanottohalli 2. Jätebunkkeri 3. Tulipesä 4. Kattila 5. Savukaasujen puhdistus 6. Turbiini 7. Lämmönvaihtimet 8. Pohjakuona. Kuva havainnollistaa jätteen hyödyntämisen eri vaiheita energiantuotannossa. (Westenergy, 2020, s. 3).

3 JÄTTEENPOLTTOlaitoksen PÄÄSTÖT JA NIIDEN MITTAUS

Jätteenpolttolaitosten toiminta aiheuttaa savukaasupäästöjä, jotka edellyttävät tarkkaa valvontaa ja sääntelyä. Savukaasut sisältävät monia ympäristölle ja terveydelle haitallisia yhdisteitä, ja niiden päästörajoista säädetään EU:n teollisuuspäästädirektiivissä (*Industrial Emission Directive IED*) sekä kansallisilla ympäristöluvilla (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2010). Jätteenpolttolaitoksen omavalvonnassa tuotettu mittaustieto muodostaa perustan paitsi viranomaisraportoinnille myös laitoksen sisäiselle prosessiohjaukselle ja ympäristövastuulle.

Tässä luvussa kuvataan keskeiset päästökäkomponentit, mittaussmenetelmät sekä Westenergyn käyttämä mittaussjärjestelmä. Näiden ymmärtäminen on olennaista, kun myöhemmissä luvuissa arvioidaan mitausepävarmuuden vaikutusta päästöraportointiin.

3.1 Mitattavat päästökäkomponentit

Tässä työssä tarkastellaan kuutta jatkuvatoimisesti mitattavaa päästökäkomponenttia. Nämä yhdisteet ovat ympäristöllisesti merkittäviä, ja niille on asetettu raja-arvot Westenergyn ympäristöluvassa (Westenergy 2024b, s. 6).

- Rikkidioksidi (SO₂) muodostuu jätteessä olevan rikin palaessa korkeissa lämpötiloissa. Se on happamoittava kaasuu, joka vaikuttaa ilmanlaatuun ja vesistöjen happamuuteen. (European Commission, 2019, s. 367.)
- Hiilimonoksidi (CO) syntyy epätäydellisessä palamisessa ja toimii indikaattorina polttoprosessin tehokkuudesta ja hallinnasta. Se on myrkyllinen kaasuu, joka heikentää hengitysilman laatua. (European Commission, 2019, s. 365.)

- Typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO₂) ovat NO_x-yhdisteitä, jotka muodostuvat polttoilman typen reaktioista korkeassa lämpötilassa. Ne heikentävät ilmanlaatua ja vaikuttavat haitallisen alailmakehän otsonin muodostumiseen. Otsoni on hengitysteitä ärsyttävä kaasu, joka voi aiheuttaa hengitysvaikeuksia. (European Commission, 2019, s. 366.)
- Suolahappo (HCl) vapautuu erityisesti klooripitoisten muovien palauksessa. Se on syövyttävä kaasu, joka voi aiheuttaa korroosiota ja ärsytystä hengitysteissä. (European Commission, 2019, s. 368.)
- Ammoniakki (NH₃) voi olla peräisin jätteestä tai muodostua typenpoistomenetelmien yhteydessä. Se voi reagoida ilmakehässä muiden yhdisteiden kanssa ja muodostaa pienhiukkasia, jotka vaikuttavat ilmanlaatuun ja terveyteen. (European Commission, 2019, s. 369.)
- Kokonaisorgaaninen hiili (TOC) kuvaa savukaasujen orgaanista hiilipitoisuutta ja toimii indikaattorina palamisprosessin puhtaudesta. Orgaaniset yhdisteet voivat syntyä epätäydellisessä palamisessa jätteiden sisältämistä hiilipitoisista aineista. Korkeat TOC-pitoisuudet voivat viitata palamisen tehottomuuteen ja johtaa lisääntyneisiin päästöihin. (Westenergy Oy, 2024b, s. 2; 5; 10–11; 18.)

3.2 Päästömittausmenetelmät

Westenergylle päästömittaukset toteutetaan jatkuvatoimisella *Continuous Emission Monitoring System* -järjestelmällä (CEMS), joka seuraa savukaasuvirtaa reaaliajassa. Mittausjärjestelmä perustuu optisiin analyysimenetelmiin, kuten infrapuna- ja FTIR-tekniikkaan (*Fourier Transform Infrared*), ne mahdollistavat useiden kaasumaisten yhdisteiden samanaikaisen mittauksen.

Päästökomponenttien mittaukset perustuvat EU:n standardien mukaisiin menetelmiin. Käytettävät laitteet täyttävät EN 14181 -standardin

vaatimukset ja ovat yhteensopivia EU:n jätteenpolttodirektiivin kanssa (European Commission, 2019, s. 369; SICK, 2015, s. 6). Laitteiston valinnassa huomioidaan myös BAT (*Best Available Techniques*) -suositukset.

Savukaasuarvoista lasketaan automaattisesti 30 minuutin ja 24 tunnin liukuvat keskiarvot. Tuloksia verrataan ympäristöluvan raja-arvoihin ja ne raportoidaan viranomaisille säädösten mukaisesti. Myös mahdolliset poikkeamat voidaan havaita nopeasti automaattisen tiedonsiirron ja valvontajärjestelmän avulla. (Westenergy Oy, 2024b, s. 14–15.)

3.3 Westenergyn mittausjärjestelmät ja laitteet

Mittaukset tehdään savukaasuvirran loppupäässä ennen piipun suuosaa, mikä varmistaa näytteen edustavuuden. Pääasiallisena analysointilaitteena toimii FTIR-teknologiaan perustuva SICK MCS100FT analysaattori, joka mittaa keskeiset savukaasukomponentit reaaliaikaisesti. Mittausjärjestelmään kuuluu myös laitteet savukaasun lämpötilan, paineen ja virtausnopeuden seurantaan. (Westenergy Oy, 2024b, s. 5.)

Järjestelmän toiminta varmennetaan säännöllisesti standardin EN 14181 mukaisesti. Tämä sisältää muun muassa automaattisia tarkistuksia, nolla- ja aluetestauksia sekä kalibrointeja. Jokaiselle päästökomponentille on määritetty valmistajan ilmoittama mittausepävarmuus, jota hyödynnetään tulosten arvioinnissa. Näihin epävarmuuksiin palataan tarkemmin luvuissa 4 ja 6.

4 LUOTTAMUSVÄLILASKENTA PÄÄSTÖMITTAUKSESSA

Edellisessä luvussa esiteltiin Westenergyn päästömittaussjärjestelmä sekä analysoitavat päästökomentit. Vaikka mittaustekniikka on kehittynyt ja tuotettu data tarkkaa, jokaisessa mittauksessa esiintyy luonnostaan epävarmuutta. Tämän vuoksi päästömittaustuloksia ei tulisi tulkita yksittäisinä lukuina, vaan niihin liittyvä vaihteluväli on syytä esittää luotettavuuden arvioimiseksi. Tätä tarkoitusta palvelee luottamusväli, jota käytetään laajasti päästöraportoinnissa. Tässä luvussa käsitellään, mitä luottamusväli tarkoittaa, miten se lasketaan ja kuinka sitä sovelletaan päästömittausten raportoinnissa.

4.1 Luottamusvälien merkitys ja laskentaperiaatteet

Päästömittausten tuloksiin liittyy aina epävarmuutta, joka voi johtua esimerkiksi mittalaitteista, mittaussmenetelmistä tai ympäristöolosuhteista. Koska yksittäistä mittaustulosta ei voida pitää täysin todenmukaisena, käytetään tilastollisia välineitä kuvaamaan todennäköistä vaihteluväliä, jolla todellinen arvo todennäköisesti sijaitsee. Tätä väliä kutsutaan luottamusväliksi. Yleisesti käytössä oleva 95 %:n luottamusväli tarkoittaa, että mittausten perusteella laskettu arvo osuu todellisen arvon lähelle 95 % todennäköisyydellä (European Commission, 2021, s. 11; JCGM, 2008, s. 5).

Luottamusväli voidaan laskea seuraavan kaavan (1) mukaisesti:

$$\bar{x} \pm k \cdot s \quad (1)$$

missä

\bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

k = kattavuuskerroin (yleisesti 2 normaalijakaumassa)

s = mittausten keskihajonta

Tässä työssä luottamusväliä käsitellään muodossa:

$$\bar{x} \pm U$$

missä U on laajennettu mittausepävarmuus, joka kuvaa keskiarvosta mitattua etäisyyttä luottamusvälin ylä- ja alarajaan $U = k \cdot s$. Laajennettu epävarmuus (U) viittaa mittaustuloksen vaihteluvälin puoleen pituuteen, ja se ilmoitetaan usein valmistajan dokumentaatiossa 95 %:n luottamustasolla (JCGM, 2008, s. 5–6).

Vaikka mittausepävarmuus voidaan laskea tilastollisesti kaavalla $U = k \cdot s$, tässä työssä käytetään mittalaitteiden valmistajien ilmoittamia valmiita laajennettuja epävarmuuksia. Näitä ei lasketa itse, vaan ne perustuvat kalibrointeihin, hyväksyntätesteihin ja valmistajan dokumentaatioon.

Luottamusväli ei paranna mittauksen tarkkuutta, mutta se kertoo kuinka luotettavana mitattua arvoa, voidaan pitää. Tämä korostuu etenkin tilanteissa, joissa mittaustulos on lähellä ympäristölupaehtojen raja-arvoa.

Esimerkki:

Oletetaan, että mittaussarjan keskiarvo arvo on $9,8 \text{ mg/m}^3$ ja epävarmuus on laskettu kaavalla $U = k \cdot s = \pm 1,3 \text{ mg/m}^3$. Tällöin 95 % luottamusväli on $8,5\text{--}11,1 \text{ mg/m}^3$.

Jos ympäristöluvan raja-arvo on esimerkiksi 10 mg/m^3 , ei voida varmuudella todeta, että päästö alittuu, koska luottamusvälin yläraja ylittää raja-arvon.

Tässä yhteydessä on hyvä erottaa kolme keskeistä käsitettä:

- Mittausvirhe: yksittäisen mittauksen poikkeama todellisesta arvosta
- Mittausepävarmuus: mittausprosessin kokonaistarkkuuden arvio
- Luottamusväli: tilastollinen väli, jolla todellinen arvo todennäköisesti sijaitsee (JCGM, 2008, s. 5–6).

4.2 Luottamusvälien käyttö päästöraportoinnissa

EU:n teollisuuspäästädirektiivi (IED, *Industrial Emissions Directive*) (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2010) ja jätteenpolttoa koskeva BAT-viiteasiakirja (BREF, *Best Available Techniques Reference Document*) (European Commission, 2019) edellyttävät, että päästöraportoinnissa otetaan huomioon mittausepävarmuus. Tämä tehdään vähentämällä mittaustuloksesta mittalaitteelle ilmoitettu 95 %:n laajennettu epävarmuus, jolloin saadaan niin sanottu raportointiarvo (European Commission, 2019, s. 426–427).

Esimerkiksi, jos mitattu NO_x-pitoisuuden keskiarvo on 185 mg/m³ ja laitevalmistajan ilmoittama mittausepävarmuus 15 mg/m³, raportointiarvoksi ilmoitetaan 170 mg/m³. Ympäristölupien raja-arvoa verrataan raportointiarvoon 170 mg/ m³ ($\mu - U$), ja päätös päästön hyväksyttävyydestä perustuu tähän vertailuun – ei pelkkään mitattuun keskiarvoon. Menettely varmistaa, ettei raja-arvoa katsota ylitetyksi pelkästään mitauslaitteen teknisten rajoitusten tai satunnaisvaihtelun vuoksi.

Mittalaitteiden valmistajat ilmoittavat jokaiselle päästökomentille tyypillisen mittausepävarmuuden, joka määritetään esimerkiksi standardin EN 14181 mukaisesti (SFS-EN 14181, 2015). Tämä eurooppalainen standardi ohjeistaa päästömittauslaitteiden kalibrointia, laadunvarmistusta ja mittaustulosten arviointia. Epävarmuusarvot perustuvat laitteen sertifiointeihin mittausalueisiin, ja ne esitetään laajennettuna epävarmuutena 95 %:n luottamustasolla valmistajan ilmoitusten mukaisesti. Tässä työssä käytettävät laitekohtaiset epävarmuusarvot on

koottu valmistajan dokumentaatiosta, ja ne esitetään taulukkona luvussa 6 analyysilaskelmien yhteydessä.

Luottamusvälin käyttö tekee päästöraportoinnista läpinäkyvämpää ja johdonmukaisempaa. Se mahdollistaa päästöarvojen tulkinnan suhteessa mittausmenetelmien rajoitteisiin. Tämä tukee sekä viranomaisvalvontaa että laitoksen oman toiminnan luotettavaa arviointia, erityisesti silloin, kun päästöt lähestyvät raja-arvoja.

5 LUOTTAMUSVÄLILASKENNAN POISTO JA SEN VAIKUTUS

EU:n päästömittausten raportointikäytäntöihin on kohdistunut viime vuosina muutospaineita, joiden taustalla ovat sekä teknologian kehitys että halu keventää toiminnanharjoittajiin kohdistuvaa hallinnollista taakkaa. Erityisesti EU:n päästökauppajärjestelmän (EU ETS) uudistusten myötä raportointivelvoitteet ovat laajentuneet kattamaan myös kunnallisia jätteenpolttolaitoksia, vaikka ne eivät vielä kuulu päästöoikeuksien luovutusvelvollisuuden piiriin eli velvoitteeseen kattaa päästöt vastaavalla määrällä EU:n päästöoikeuksia (European Commission, 2021a).

Vaikka virallista lainsäädäntömuutosta ei ole tehty, useissa komission ohjeasiakirjoissa, kuten MRR Guidance 4 ja 4a, näkyy selkeä kehityssuunta kohti yksinkertaistettua raportointia (European Commission, 2021a s. 17–19; European Commission, 2021b, s. 2). Näissä ohjeissa suositellaan käyttämään kiinteitä epävarmuusarvoja eli valmistajan ilmoittamia prosenttimarginaaleja (esim. $\pm 30\%$), erityisesti silloin, kun laitoksella on jatkuvatoiminen mittausjärjestelmä (CEMS), joka täyttää EN 14181 -standardin vaatimukset ja toimii automatisoidusti (European Commission, 2021a). Westenergyllä päästömittaukset toteutetaan CEMS-mittausjärjestelmällä kuten luvussa 3.2 on kerrottu.

Komission ohjeasiakirjoissa esitetty lähestymistapa tukee ajatusta, että erillistä luottamusvälilaskentaa ei kaikissa tilanteissa tarvittaisi. Esimerkiksi FTIR-tekniikkaan perustuvissa mittalaitteissa laajennettu epävarmuus ilmoitetaan osana QAL2-prosessia (*Quality Assurance Level 2*), jolloin erillinen käyttäjäkohtainen laskenta voidaan ohjeistuksen mukaan korvata valmistajan ilmoittamalla virhemarginaalilla (European Commission, 2021b).

Kehityssuunnan taustalla on useita tavoitteita. Pyritään keventämään hallinnollista työtä, erityisesti uusien toimijoiden, kuten kunnallisten jätevoimaloiden, osalta. Toiseksi tavoitteena on parantaa yhdenmukaisuutta ja skaalautuvuutta EU:n jäsenvaltioiden välillä standardoitujen järjestelmien avulla. Kolmanneksi kehitys mahdollistaa automaation hyödyntämisen, mikä pienentää inhimillisen virheen riskiä. Lisäksi pyritään lisäämään luottamusta mittalaitteiden valmistajien ilmoittamiin epävarmuusarvoihin, mikäli laitteet on validoitu esimerkiksi QAL2-prosessin mukaisesti.

Tällaiset muutokset ovat herättäneet kysymyksiä luottamusvälilaskennan roolista tulevaisuudessa ja sen mahdollisesta tarpeettomuudesta. Kuitenkin on tärkeää tarkastella, millaisia vaikutuksia tällä olisi päästömittausten tulkintaan, viranomaisraportointiin ja ympäristölupien noudattamiseen.

5.1 Vaikutukset mittaustuloksiin ja viranomaisvalvontaan

Luottamusväli ei vaikuta itse mittauksen tarkkuuteen, mutta se antaa tiedon siitä, millä varmuudella mitattu arvo vastaa todellista pitoisuutta. Tämä on erityisen tärkeää silloin, kun mitatut arvot sijoittuvat lähelle lupaehtojen raja-arvoja. Luottamusväli tuo läpinäkyvyyttä mittaustulosten epävarmuuteen ja tukee oikeaa tulkintaa.

Jos luottamusväli jätetään pois, mittaukseen liittyvä epävarmuus ei enää näy tuloksessa. Tällöin saattaa syntyä tilanne, jossa raja-arvo näyttää alittuvan, vaikka todellinen arvo voisi epävarmuus huomioiden ylittää sen. Tämä voi johtaa tilanteisiin, joissa laitoksen päästöt eivät enää vastaa todellista tilannetta ja viranomaiset eivät saa riittävää tietoa mahdollisista riskirajoista.

Lisäksi luottamusvälin puuttuminen voi antaa näennäistä varmuutta tuloksen paikkansapitävyydestä. Erityisesti automatisoidussa mittauksessa, jossa dataa kertyy suuri määrä, epävarmuustiedon puuttuminen

vaikeuttaa poikkeamien erottamista normaalista vaihtelusta. Tämä voi heikentää sekä viranomaisvalvontaa että laitoksen omaa päätöksentekoa.

5.2 Mittausepävarmuuden asema päätöksenteossa

Vaikka luottamusväliä ei esitetä, mittausepävarmuus on silti olemassa. Se on olennainen osa päätöksentekoa tilanteissa, joissa mitattu arvo on lähellä päästörajaa. Ilman epävarmuustiedon tunnistamista on vaarana, että näennäisen tarkka mittausarvo johtaa virheelliseen arvioon – esimerkiksi siihen, että arvo alittaa rajan, vaikka todellisuudessa se ei sitä tekisi.

Tämä riski koskee sekä viranomaisia että laitoksen omaa operointia. Mittalaitteiden valmistajat ilmoittavat komponenttikohtaiset tarkkuudet tai epävarmuudet, ja mikäli mittausarvoja käytetään ilman niihin liittyvää virhemarginaalia, voidaan tehdä päätöksiä, jotka eivät vastaa todellista päästötilannetta.

6 ANALYYSI LUOTTAMUSVÄLILASKENNAN POISTOSTA

Tässä luvussa tarkastellaan, miten mittausepävarmuuden huomioiminen tai sen poisjättäminen vaikuttaa päästömittausten tulkintaan ympäristölupaehtojen näkökulmasta. Vertailun kohteena ovat tilanteet, joissa tarkastellaan mittaustuloksia sellaisenaan sekä tilanteita, joissa tuloksiin lisätään mittalaitteiden valmistajien ilmoittama epävarmuus.

Aiemmissa luvuissa on käsitelty mittausepävarmuuden määrittelyä (luku 3), luottamusvälilaskennan laskentaperusteita (luku 4) sekä EU:n ohjeistusten mukaista kehityssuuntaa kohti yksinkertaistettua raportointia (luku 5). Tässä luvussa tarkastellaan, miten nämä näkökulmat näkyvät konkreettisissa mittaustuloksissa käytännön tasolla.

6.1 Tarkastelun aineisto ja vertailumenetelmä

Analyysissa käytettävä aineisto perustuu Westenergy Oy Ab:n jätteenpolttolaitoksen jatkuvatoimiseen päästömittaukseen, jonka tuloksia on kerätty ajanjaksolla **kesäkuu 2024 – marraskuu 2024** (aineisto Westenergy Oy Ab, 2025b). Otos on muodostettu valitsemalla mittaustulokset systemaattisesti kuukauden 15. päivästä kustakin kuukaudesta. Näistä tuloksista on muodostettu keskiarvot kahdessa eri tarkastelujaksossa: 30 minuutin ja 24 tunnin pitoisuuksina. Näin saatu aineisto tarjoaa vertailukelpoisen ja edustavan otoksen laitoksen normaalin käyttötilanteen aikaisista päästötasoista.

Tarkastelun kohteena ovat ne savukaasujen päästökomponentit, joiden pitoisuuksille on asetettu selkeät raja-arvot ympäristölupaehtojen mukaisesti. Kullekin mittauspisteelle on laskettu mittaustulosten keskiarvo (μ) sekä laajennettu epävarmuus ($\pm U$), joka perustuu laitteen valmistajan ilmoit-

tamaan prosenttiosuuteen. Nämä arvot on johdettu EN 14181 -standardin mukaisista QAL2-menetelmistä, ja ne on esitetty Valmetin laatimassa WI Laskentamäärittely -dokumentissa (Valmet, 2023).

Vaikka virallisessa EU-raportoinnissa päästöarvoja verrataan ympäristölupaehtoihin vähentämällä epävarmuus mittaustuloksesta ($\mu - U$). Tarkastellaan myös epävarmuuden ylärajaa ($\mu + U$). Tämän lähestymistavan tavoitteena on havainnollistaa, miten mittaustuloksen molemmat laidat voivat vaikuttaa tulkintaan tilanteissa, joissa päästöarvo on lähellä raja-arvoa.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty analyysissa käytetyt komponenttikohtaiset laajennetut epävarmuudet valmistajan ilmoittamina (Valmet, 2023).

Taulukko 1. Päästökomenttikohdaiset laajennetut epävarmuudet ($\pm U$) (Valmet, 2023).

Päästökomentti	Epävarmuus U ($\pm\%$)
NO _x	$\pm 20 \%$
CO	$\pm 10 \%$
SO ₂	$\pm 15 \%$
HCl	$\pm 15 \%$
NH ₃	$\pm 25 \%$
TOC	$\pm 30 \%$

Vertailussa tarkastellaan, alittaako päästö ympäristölupaehtojen mukaisen raja-arvon kahdessa tapauksessa: (1) pelkän mittauskeskiarvon (μ) perusteella ja (2) tilanteessa, jossa mukaan lasketaan laajennettu epävarmuus ($\mu + U$). Vaikka virallinen raportointi perustuu arvon alarajaan ($\mu - U$), tässä työssä tarkastellaan myös ylärajaa ($\mu + U$), jotta voidaan arvioida, liikutaanko raja-arvon läheisyydessä mahdollisella riskivyyhykkeellä. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015.)

Tarkastelu auttaa tunnistamaan tilanteet, joissa päästöarvo näyttäisi alittavan raja-arvon, mutta epävarmuuden huomiointi paljastaa mahdollisen ylityksen. Näin saadaan realistisempi kuva siitä, miten luottamusvälin poistaminen voisi vaikuttaa mittaustulosten tulkintaan yksittäistapauksissa.

6.2 Epävarmuuden vaikutus mittaustulosten tulkintaan

Seuraavassa taulukossa 2 verrataan valittujen päästökomponenttien viiden kuukauden mittauskeskiarvoja (μ), epävarmuudella korjattuja arvoja ($\mu + U$) sekä ympäristölupaehtojen raja-arvoja. Tarkoituksena on havainnollistaa, muuttaako epävarmuuden huomioiminen tulkintaa päästöarvon alittamisesta tai ylittämisestä.

Taulukko 2. Mittausarvojen ja laajennetun epävarmuuden vertailu ympäristölupien raja-arvoihin.

Komponentti	Jakso	Keskiarvo(μ) [mg/m³]	Keskiarvo + epävarmuus ($\mu+U$) [mg/m³]	Raja- arvo [mg/m³]
NO _x	30 min	103,07	123,69	400
NO _x	24 h	109,37	131,24	200
CO	30 min	18,78	20,66	100
CO	24 h	19,79	21,76	50
SO ₂	30 min	1,1	1,26	200
SO ₂	24 h	1,13	1,3	50
HCl	30 min	0,05	0,06	60
HCl	24 h	0,06	0,07	10
NH ₃	30 min	0,07	0,09	30
NH ₃	24 h	0,08	0,09	30
TOC	30 min	0,08	0,1	20
TOC	24 h	0,11	0,15	10

Taulukon 2 perusteella kaikki tarkastellut päästökomponentit alittivat ympäristölupaehtojen mukaiset raja-arvot sekä 30 minuutin että 24 tunnin tarkastelujaksoissa. Myös laajennettu epävarmuus huomioiden ($\mu + U$) kaikki komponentit pysyivät raja-arvojen alapuolella.

Lähimmäksi raja-arvojaan asettuivat NO_x:n ja CO:n 24 tunnin keskiarvot, joiden epävarmuudella korjatut arvot nousivat selvästi alkuperäisiä mittausarvoja suuremmiksi. Vaikka raja-arvojen ylityksiä ei havaittu, tarkastelu osoittaa, että epävarmuuden vaikutus voi korostua tilanteissa, joissa mittaustulos on lähellä rajaa.

6.3 Esimerkkitilanteet: epävarmuuden vaikutus raja-arvon tulkintaan

Yksittäisten mittaustilanteiden kohdalla epävarmuuden huomioiminen voi muuttaa merkittävästi päästöarvon tulkintaa. Seuraavat kaksi esimerkkiä havainnollistavat, kuinka mittausepävarmuus voi sekä paljastaa piilevän ylityksen että toisaalta estää ylityksen virallisessa tulkinassa.

Esimerkki: Raja-arvo ylittyy epävarmuuden vuoksi

Taulukon 3 esimerkissä tarkastellaan tilannetta, jossa mittausarvo yksinään alittaa ympäristölupaehtojen raja-arvon, mutta laajennetun epävarmuuden ($\mu + U$) kanssa arvioituna se ylittää sen.

Taulukko 3. TOC-pitoisuuden mittaus 20.7.2024 (24 h keskiarvo)

Komponentti	Jakso	Keskiarvo (μ) [mg/m ³]	Laajennettu epävarmuus (U) [mg/m ³]	$\mu+U$ [mg/m ³]	Raja-arvo [mg/m ³]
TOC	24 h	9,51	2,85	12,36	10

Tässä mittauksessa TOC-pitoisuuden 24 tunnin keskiarvo oli 9,51 mg/m³, mikä näyttää alittavan ympäristölupaehtojen mukaisen raja-arvon (10 mg/m³). Kun mittaukseen liittyvä laajennettu epävarmuus otetaan huomioon – laitetoimittajan ilmoittama $\pm 30\%$ – korjattu arvo nousee 12,36 mg/m³:iin ja ylittää näin raja-arvon.

Vaikka mittausarvo yksinään alittaa raja-arvon ja raportointiarvo jää sen alle, epävarmuuden yläraja ($\mu + U$) osoittaa, että tulos liikkuu lähellä riskivyöhykettä. Tämä tarjoaa laitokselle mahdollisuuden havaita poikkeama ajoissa, vaikka se ei raportoinnissa vielä näy ylityksenä.

Esimerkki: Epävarmuus estää raja-arvon ylityksen

Toisessa esimerkkitapauksessa taulukossa 4 arvioitiin 30 minuutin mitaustulosta hiilimonoksidista (CO), joka oli mitattu 14.11.2024. Tällöin mitattu keskiarvo (μ) oli 106,9 mg/m³, kun ympäristölupaehtojen mukainen raja-arvo on 100 mg/m³. Näin ollen arvo ylitti raja-arvon suorassa vertailussa.

Taulukko 4. CO 30 minuutin mittaustulos 14.11.2024 ja laajennetun epävarmuuden vaikutus.

Komponentti	Jakso	Keskiarvo(μ) [mg/m ³]	Laajennettu epävarmuus (U) [mg/m ³]	$\mu - U$ [mg/m ³]	Raja-arvo [mg/m ³]
CO	30min	106,9 mg/m ³	$\pm 10,7$ mg/m ³	96,2 mg/m ³	100 mg/m ³

Mittauslaitteen valmistajan ilmoittaman ± 10 % laajennetun epävarmuuden perusteella epävarmuuden määrä (U) oli 10,7 mg/m³. Kun laajennettu epävarmuus huomioidaan raportointikäytännön mukaisesti vähentämällä se mittaustuloksesta ($\mu - U$), saadaan tulokseksi 96,2 mg/m³ – eli arvo jää raja-arvon alapuolelle. Tällöin mittaus katsotaan hyväksyttäväksi virallisen raportointimenettelyn mukaisesti.

Esimerkki osoittaa, että mittausepävarmuuden huomioiminen voi vaikuttaa mittaustuloksen tulkintaan erityisesti silloin, kun arvo on lähellä raja-arvoa. Mikäli epävarmuus jätettäisiin huomioimatta, mittaus saattaisi näyttää rajan ylittävältä, vaikka se raportointikäytännön mukaan olisi edelleen hyväksyttävissä. Vastaavanlaiset tilanteet osoittavat, että epävarmuudella voi olla käytännön vaikutusta raportoinnin lopputulokseen yksittäisissä tapauksissa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VAIKUTUSARVIOINTI

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin mittausepävarmuuden merkitystä päästömittauksissa tilanteessa, jossa EU:n ohjeistuksissa on nähtävissä kehityssuuntaa kohti yksinkertaistettua raportointia ja luottamusvälien mahdollisen poistamisen valmistelua. Työssä selvitettiin, millä tavoin epävarmuuden huomioiminen vaikuttaa päästörajoiden arviointiin, raportoinnin tulkintaan ja ympäristölupien täyttymisen varmistamiseen.

Työssä havaittiin, että mittausepävarmuuden huomioiminen ei muuttanut tulkintaa keskiarvotarkasteluissa. Kaikki kuusi tarkasteltua päästökomenttia alittivat ympäristölupaehtojen mukaiset raja-arvot myös silloin, kun mittausarvoihin lisättiin laitevalmistajan ilmoittama laajennettu epävarmuus. Tulokset osoittavat, että normaalin käyttötilanteen aikana päästöt pysyvät hallinnassa. Sen sijaan yksittäisten mittauksien esimerkeissä epävarmuuden huomioiminen vaikutti tulkintaan selvästi. Ensimmäisessä esimerkissä ilman epävarmuuden tarkastelua olisi voitu virheellisesti tulkita varmasti hyväksyttäväksi, vaikka arvo liikkui jo riskivyöhykkeellä ja toisessa esimerkissä epävarmuuden sisällyttäminen raportointiin osoitti, että raja-arvon ylitys ei ollut tilastollisesti varmaa, mikä puolsi mittauksen hyväksymistä.

Epävarmuuden käytännön merkitykset ovat moninaisia. Mittausepävarmuuden poistaminen voi johtaa tilanteisiin, joissa pelkkä mittausarvo näyttää alittavan raja-arvon, vaikka todellisuudessa ollaan epävarmuusalueella. Tämä heikentää viranomaisen kykyä arvioida päästöjen hallintaa luotettavasti ja vaikeuttaa myös laitoksen omaa mahdollisuutta reagoida poikkeamiin ajoissa. Epävarmuus mahdollistaa sen, että laitos voi osoittaa raja-arvon alittamisen tai ylittämisen tilastollisella varmuudella. Sen poistaminen voi johtaa joko perusteettomiin huomautuksiin tai virheellisiin hyväksymisiin. Epävarmuuden esittäminen tarjoaa lisätietoa prosessin säädön tueksi erityisesti rajatilanteissa. Ilman epävarmuustietoa laitoksen operointi voi perustua virheelliseen turvallisuuden tunteeseen. Avoin ja johdonmukainen epävarmuuden raportointi vahvistaa

laitoksen vastuullisuutta ja uskottavuutta ulkoisten sidosryhmien silmissä, kun taas epävarmuuden piilottaminen tai yksinkertaistaminen voi heikentää raportoinnin läpinäkyvyyttä.

Työn tulosten perusteella mittausepävarmuuden huomioiminen on edelleen perusteltua päästöjen raportoinnissa. Epävarmuus ei ainoastaan lisää raportoinnin luotettavuutta, vaan tarjoaa myös laitokselle lisäsuojaa tilanteissa, joissa päästöt lähestyvät raja-arvoa. Mikäli EU-tason ohjeistusta yksinkertaistetaan tulevaisuudessa, tämä työ tarjoaa Westenergylle taustatietoa ja konkreettisia esimerkkejä, joiden avulla mittausepävarmuuden poistamisen mahdollisia vaikutuksia voidaan arvioida. Samalla se tukee päätöksenteon läpinäkyvyyttä ja vastuullisuutta tilanteissa, joissa tulkinnanvaraa esiintyy.

LÄHTEET

- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2010). *Direktiivi 2010/75/EU teollisuuden päästöistä (teollisuuspäästädirektiivi)*. EUR-Lex. Viitattu 30.5.2025. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>
- European Commission. (2019). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. EUR 29971 EN. Publications Office of the European Union. Saatavilla: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/761437>
- European Commission. (2021a). *Guidance document No. 4: Guidance on uncertainty assessment*. Directorate-General for Climate Action. Viitattu 1.6.2025. Saatavilla: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-10/policy_ets_monitoring_gd4_guidance_uncertainty_en.pdf
- European Commission. (2021b). *Guidance Document No. 4a: Exemplar Uncertainty Assessment*. Directorate-General for Climate Action. Viitattu 1.6.2025. Saatavilla: https://climate.ec.europa.eu/document/download/100294e7-85f5-44ae-ade5-a33684988fde_en?filename=ex_4a_uncertainty_en.pdf
- JCGM. (2008). *Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995 with minor corrections)*.
- SICK. 2015. *Emission Measurement Technology – Proven solutions for emission monitoring*. Viitattu 27.3.2025. Saatavilla <https://multi-instruments.nl/wp-content/uploads/2018/07/Emission-measurement-technology-en.pdf>
- SICK. (2015). MCS100FT Product Information. 27.3.2025. Saatavilla [Rajattu saatavuus]
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. (2015). *SFS-EN 14181. Stationary source emissions – Quality assurance for automated measuring systems*.

- Valmet (2023). WI Laskentamäärittely rev. 3.7. Tekninen dokumentti. Valmet Oyj. [Rajattu saatavuus]
- Westenergy. (2020). Vuosikertomus 2020. Viitattu 27.3.2025. Saatavilla: <https://westenergy.fi/yhteystiedot/materiaalipankki/>
- Westenergy. (2024a). Vuosikertomus 2024. Viitattu 27.3.2025. Saatavilla: <https://westenergy.fi/yhteystiedot/materiaalipankki/>
- Westenergy. (2024b). Vuosiyhteenveto 2023 – Ympäristötiedot. Viitattu 28.3.2025. Saatavilla: <https://westenergy.fi/yhteystiedot/materiaalipankki/>
- Westenergy. (2025a). Tietoa Westenergystä. Viitattu 19.3.2025. Saatavilla: <https://westenergy.fi/westenergy/tietoa-westenergysta/>
- Westenergy Oy Ab. (2025b). *30 min ja 24 h päästömittaustiedot, kesä-marraskuu 2024*. Sisäinen dokumentti. [Rajattu saatavuus]

LIITTEET