

Sanna Alpua

**HIUKKASLASKEUMATARKKAILU KELIBERIN KEMIANTEH-
TAAN TONTILLA**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2020**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Huhtikuu 2020	Tekijä/tekijät Sanna Alpua
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi HIUKKASLASKEUMATARKKAILU KELIBERIN KEMIANTEHTAAN TONTILLA		
Työn ohjaaja Laura Rahikka	Sivumäärä 40 + 2	
Työelämäohjaaja Kari Wiikinkoski		
<p>Keliber suunnittelee litiumkemiantehtaan rakentamista Kokkolan suurteollisuusalueelle. Tehtaassa tul- laan valmistamaan akkulaatuista litiumhydroksidia, jonka tuotantoprosessi edellyttää korkeaa puhtaus- tasoa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia hiukkaslaskeumia Keliberin kemiantehtaan tontilla. Hiukkaslas- keumasta määritettiin tiettyjen metallien kuukausilaskeumat ja hiukkasten partikkelikokojakauma. Tut- kimuksessa keskityttiin raudan, sinkin alumiinin, kobolttin, kuparin, kaliumin ja kalsiumin laskeumiin. Työssä perehdyttiin hiukaspäästöihin ja niiden leviämiseen ja selvitettiin suurteollisuusalueella tehtyjä ilmanlaatututkimuksia ja tarkasteltiin niiden tuloksia.</p> <p>Ilmakeräilynäytteitä kerättiin kolmella laskeumakeräimellä 6.3.2018–5.3.2019 kuukauden keräysjak- soilla. Näytteet analysoitiin Eurofins Laptium Oy:n laboratoriossa. Metallien laskeuma ilmoitettiin kuu- kausalaskeumana ja partikkelikokojakauma jakaumatilastona. Säättietoja hyödynnettiin tulosten arvioin- nissa.</p> <p>Laskeumanäytteiden perusteella eniten kemiantehtaan tontilla esiintyi rautaa, sinkkiä ja alumiinia. Kaikkien metallien suurimmat laskeumamäärät olivat kesäkuukausina. Talvella määrät olivat pienem- piä. Hiukkaset voivat olla lähtöisin sekä hajapäästölähteistä että pistemäisistä lähteistä. Kiintoaineen vähyiden vuoksi partikkelikokojakauman määrittämisessä oli ongelmia, ja tuloksiin on suhtauduttava viitteellisenä. Partikkelikokojakaumaa ei pystytty määrittämään jokaiselle keräysjaksolle. Partikkeliko- kojakauman keskimääräinen d(0,5) arvo n. 75 µm. Näytteessä on tällöin 50 % tätä partikkelikokoa suurempia partikkeleita ja 50 % tätä pienempiä partikkeleita.</p> <p>Tutkimuksen tulosten avulla Keliber voi varautua etukäteen ei-toivottujen metallisten epäpuhtauksien leviämiseen tehtaan sisätiloihin.</p>		
Asiasanat Hajapäästö, hiukkaslaskeuma, ilmakeräilynäyte, laskeumakeräin, laskeumanäyte, metallihiukkaset, partikkelikokojakauma, pöylaskeuma		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date April 2020	Author Sanna Alpua
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis MONITORING ATMOSPHERIC DEPOSITION OF METALS ON THE SITE OF KELIBER'S LITHIUM CHEMICAL PLANT		
Instructor Laura Rahikka	Pages 40 + 2	
Supervisor Kari Wiikinkoski		
<p>Keliber's lithium chemical plant will be located in Kokkola Industrial Park. In the plant the spodumene concentrate is further processed into lithium hydroxide. The production process requires high purity level and must be free of unwanted metal impurities.</p> <p>The aim of this thesis work was to investigate the particulate fallout on the site of Keliber's lithium chemical plant. Monthly deposition as well as particle size distribution for certain metallic particles were determined. The elements such as iron, zinc, aluminum, cobalt, copper, potassium and calcium were focused on. Particulate matter emissions and the spread of particles were studied. The air quality researches carried out in Kokkola Industrial park were investigated and the results of the researches were examined.</p> <p>Atmospheric deposition was collected with three particulate fallout collectors between March 6, 2018 and March 5, 2019. The sampling period was approximately one month. The samples were analysed in Eurofins Laptium Oy laboratory. Deposition of metal particles was reported as monthly deposition. Particle size distribution was reported by using the statistic of the distribution. The weather data was used to evaluate results.</p> <p>As a result of this study, the amount of depositions was largest for iron, zinc and aluminum. The largest depositions were found during the summer months for all focused metals. During winter time the depositions were lower. Metallic particulate matters can be emitted both from fugitive emission source (nonpoint- source) and from point-source. Due to the lack of the solid matter there was a problem to define the particle size distribution and the results should be taken as indicative. Particle size distribution was not defined for every sampling period. Average value for mean particle size $d(0,5)$ was approx. 75 μm. This is the size at which 50 % of the sample is smaller and 50 % is larger.</p> <p>With help of the result of this study Keliber can be prepare to prevent unwanted metal impurities entering the production process.</p>		
Key words Atmospheric metal deposition, fugitive dust emission, fugitive emissions, metallic particles, nonpoint-source emission, particulate fallout collector, particulate matter, particle size distribution, point-source emission		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Bioindikaattorit	eliölajit, kuten sammal, humus, jäkälä tai havunneulaset, jotka ilmentävät ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia.
Hajapäästö	laajalta alueelta tai useasta tunnistamattomasta, vaihtuvasta tai muutoin vaikeasti yksilöitävästä lähteestä peräisin oleva päästö.
Hengitettävät hiukkaset (PM10)	alle 10 µm aerodynaamiselta mitaltaan olevat hiukkaset.
ICP-MS	induktiivisesti kytketty massaplasmaspektrometri, analyysilaitte
ICP-OES	induktiivisesti kytketty optinen plasmaemissiospektrometri, analyysilaitte
Kontaminaatio	ympäristössään epätoivottu tai liiallinen aine, epäpuhtaus
Pienhiukkaset (PM2,5)	alle 2,5 µm aerodynaamiselta mitaltaan olevat hiukkaset
Troposfääri	ilmakehän alin kerros, korkeus 10 km
Rajakerros	ilmakehän alin osa, joka on vuorovaikutuksessa maanpinnan kanssa, korkeus Suomessa 100–1000 m
M	mol/l, konsentraatio
µm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
µg/ m ²	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosaa) neliömetrillä
µg/l	mikrogrammaa litrassa, (pitoisuus)
g/ m ²	grammaa neliömetrillä
m/s	metriä sekunnissa (tuulen nopeus)
°C	celsiusaste (lämpötila)

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LITIMUMKEMIANTEHDAS KOKKOLAN SUURTEOLLISUUSALUEELLA.....	2
2.1 Tehtaan sijoittuminen alueelle	2
2.2 Tuotantoprosessi	2
3 ILMANLAADUN SEURANTA SUURTEOLLISUUSALUEELLA	5
3.1 Kokkolan kaupungin ilmanlaatutarkkailu	5
3.2 Muut alueella tehdyt ilmanlaadun seurannat.....	6
4 PÄÄSTÖT ILMAAN	8
4.1 Hajapäästöt.....	8
4.2 Päästöjen leviäminen	8
5 SUURTEOLLISUUSALUEEN HIUKKASPÄÄSTÖJEN METALLIPITOISUUDET	11
5.1 Kokkolan kaupungin metalliselvitysten tuloksia	11
5.2 Lumitutkimuksen tuloksia	12
5.3 Bioindikaattoritutkimuksen tuloksia ja niiden vertailua lumitutkimuksen tuloksiin.....	14
6 LASKEUMAN MÄÄRITTÄMINEN JA TYÖSSÄ KÄYTETYT LABORATORIOMENETELMÄT	16
6.1 Laskeumanäytteen keräys -standardit.....	16
6.2 Laboratoriomenetelmät	17
6.2.1 Alkuainemääritys	17
6.2.2 Partikkelikokojakauma	18
7 TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	21
7.1 Mittauspaikat ja keräysjaksot	21
7.2 Näytteiden keräys.....	23
8 TULOKSET.....	25
8.1 Sää tutkimuksen aikana	25
8.2 Keskimääräinen kuukausilaskeuma.....	28
8.3 Metallien kuukausikohtaiset laskeumamäärät.....	28
8.3.1 Rauta	29
8.3.2 Sinkki.....	31
8.3.3 Alumiini.....	32
8.3.4 Koboltti.....	33
8.3.5 Kupari	34
8.3.6 Natrium, kalium ja kalsium	35
8.3.7 Litium	37
8.4 Partikkelikokojakauma	38
9 YHTEENVETO	39

LÄHTEET	41
LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1. Kemiantehtaan lohkokaavio.....	3
KUVIO 2. Havainnekuva partikkelikokojakauman tuloksesta.....	19
KUVIO 3. Tuulen suuntien osuudet ja tuulen nopeuden jakautuminen eri nopeusluokkiin tuulensuunnittain Ykspihlajan mittausasemalla tarkkailujakson aikana.....	25
KUVIO 4. Kuukausikeskilämpötilat Ykspihlajassa tutkimuksen aikana.....	26
KUVIO 5. Sademäärät Kokkolassa tarkkailujaksolla.....	26
KUVIO 6. Keskimääräinen kuukausilaskeuma.....	27
KUVIO 7. Raudan kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	29
KUVIO 8. Sinkin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	30
KUVIO 9. Alumiinin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	32
KUVIO 10. Kobolttin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	33
KUVIO 11. Kuparin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	34
KUVIO 12. Kaliumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	35
KUVIO 13. Kalsiumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	36
KUVIO 14. Litiumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma.....	36

KUVAT

KUVA 1. Työssä käytetty laskeumakeräin.....	20
KUVA 2. Keräyspisteet kartalla.....	21
KUVA 3. Laskeumanäytteet pulloitettuina lähetystä varten.....	23

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Metallipitoisuudet Ykspihlajan mittausasemalla PM ₁₀ -fraktiosta analysoituna.....	11
TAULUKKO 2. Keskimääräiset talvenajan kuukausilaskeumat Kokkolassa sekä suurteollisuusalueen läheisyydessä olevien näytteenottoalueiden kuukausilaskeumat.....	12
TAULUKKO 3. Keräyspisteiden koordinaatit.....	22
TAULUKKO 4. Keräysjaksojen ajankohdat ja kestot.....	22
TAULUKKO 5. Keräysjaksojen vallitseva tuulensuunta.....	28

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Keliber Oy. Keliber suunnittelee litiumkemiantehtaan rakentamista Kokkolan suurteollisuusalueelle. Kemiantehtaassa jalostetaan Kaustisella louhittu spodumeenimalmi erittäin puhtaaksi litiumhydroksidiksi (LiOH). Litiumhydroksidi on akkukatodikemikaali. Litiumioniakun materiaalit ovat jo valmistusvaiheessa herkkiä metallisille epäpuhtauksille, joten tuotantoprosessi edellyttää korkeaa puhtaustasoa.

Työssä selvitettiin Keliberin kemiantehtaan tontille laskeutuvia hiukkasmaisia päästöjä. Päästöjä syntyy sekä pistemäisistä, tunnetuista lähteistä että hajapäästölähteistä. Työn tarkoituksena oli kerätä ilmake-räilynäytteitä vuoden ajan. Työn kannalta kiinnostavimmat olivat tietyt metallihiukkaset, kuten kupari, sinkki, koboltti ja rauta ja niiden partikkelikoot. Varsinkin kuparihiukkaset ovat ongelmallisia akkumateriaaleissa. Työssä arvioitiin päästöjen vaikutuksia tuloksiin. Työn tuloksia voidaan hyödyntää tehtaan ilmanvaihdon suunnittelussa ja tätä kautta varautua metallihiukkasten kulkeutumisen estämiseen tehtaan sisätiloihin ja kontaminaatoriskin välttämiseen.

Ilmakeräilynäytteet kerättiin kolmella ns. Bergerhoff-tyyppisellä avoimella keruuastialla 6.3.2018–5.3.2019 välisenä aikana. Keräysjakso oli noin yksi kuukausi. Hiukkaspäästöjen osalta työssä keskityttiin ainoastaan metallihiukkasiin. Ympäristövaatimukset, kuten lait ja direktiivit, on tässä työssä jätetty vähemmälle tarkastelulle.

Teoriaosassa kerrotaan litiumkemiantehtaasta ja sen sijoittumisesta suurteollisuusalueelle. Perehdytään siihen, kuinka ilmanlaatua on seurattu ja seurataan suurteollisuusalueella ja käydään läpi tutkimustuloksia. Käsitellään hiukkaspäästöjä ja hajapäästöjä yleensä ja päästöjen leviämistä sekä tarkastellaan suurteollisuusalueen mahdollisia hajapäästölähteitä.

Pääosan lähdekirjallisuudesta muodostivat ilmanlaatutarkkailuraportit, laskeumanäytestandardit ja alan kirjallisuus.

2 LITIUMKEMIANTEHDAS KOKKOLAN SUURTEOLLISUUSALUEELLA

Keliber oy on 80-prosenttisesti suomalaisten omistuksessa oleva yritys, joka on aloittamassa litiummalmin louhinnan ja litiumhydroksidin jalostamisen Keski-Pohjanmaalla. Keliberin suurimmat omistajat ovat Suomen Malmijalostus, Nordic Mining, Jorma Takanen ja Mine Invest. (Keliber Oy 2017.)

2.1 Tehtaan sijoittuminen alueelle

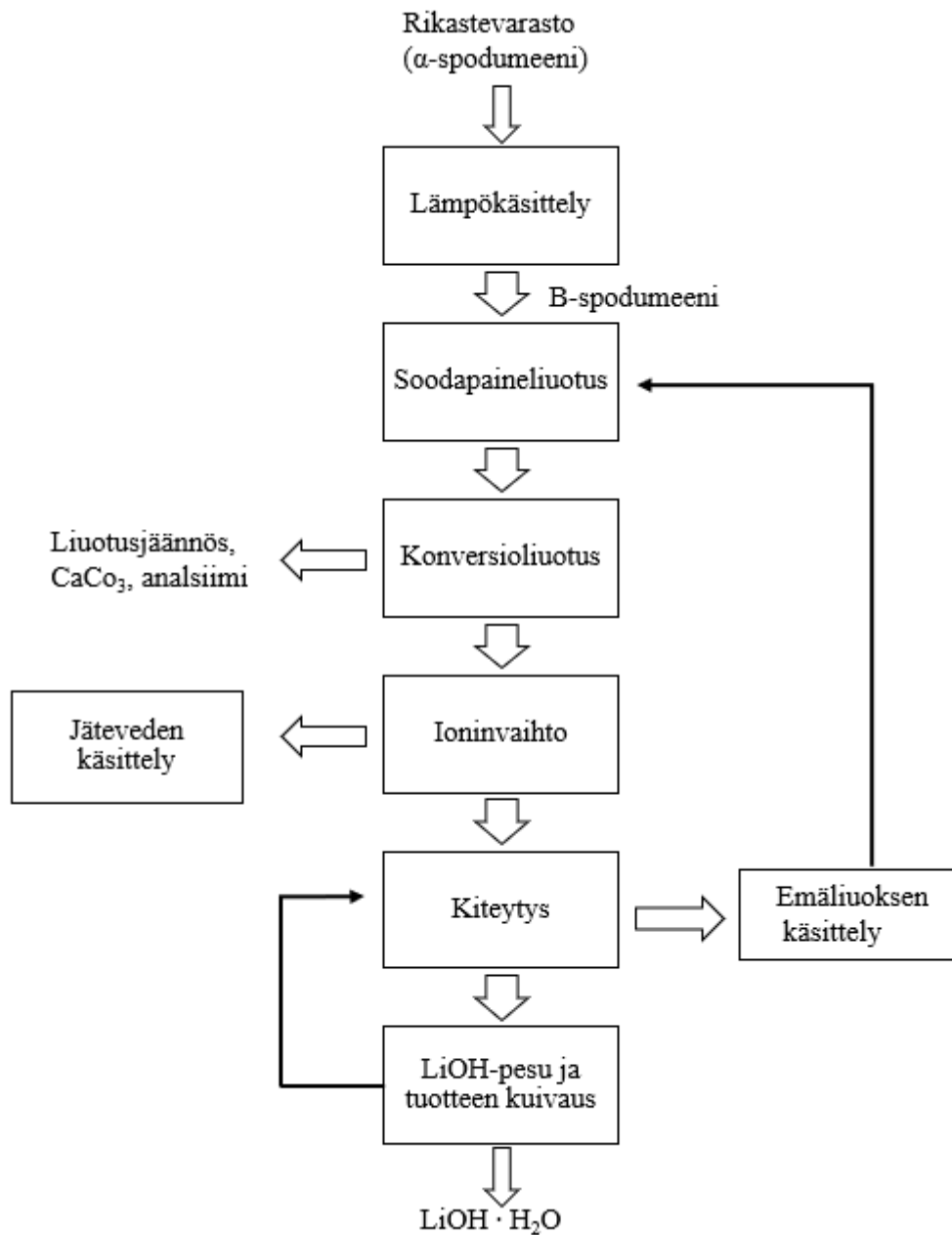
Litiumkemia-ntehdas sijoittuu Kokkolan suurteollisuusalueelle Neste Oyj:n jakeluterminaalin ja Kokkolan Energia Oy:n voimalaitoksen väliselle alueelle. Tehtaan pohjoispuolelle sijoittuvat Boliden Oy:n sinkkitehdas ja Freeport Cobalt Oy:n kobolttijalostamo. Länsi-lounaispuolella ovat Boliden Oy:n rikkihappotehdas, kalsiumkloriditehdas Tetra Chemicals Europe oy, kalkkikiven jauhatuslaitos Nordkalk Oy, hienokemikaalien tuotantolaitos Cabb Oy sekä kaliumsulfaattia ja rehufosfaatteja valmistava Yara Suomi Oy. Länsipuolelle sijoittuvat myös Air Liquiden hiilidioksidin tuotantolaitos sekä Woikosken ilmakaasu-, hiilidioksidi ja vetytehdas. Kokkolan Energia Oy:llä on kaksi yhteistuotantovoimalaitoista alueella (Kokkolan Energia Oy). Voimalaitokset sijaitsevat kemiantehtaan etelä- ja luoteispuolella.

Alueelle sijoittuvat Kokkolan sataman kolme satamanosaa, joista Kantasatamassa käsitellään kontteja ja kappaletavaraa, syväsatama on erikoistunut tummien bulkkien, kuten terästeollisuuden raaka-aineiden, käsittelyyn ja Hopeakivenlahden satama vaalean bulkin, kuten kalkkikiven, käsittelyyn (Port of Kokkola 2018). Syväsatama ja Hopeakiven satama sijaitsevat kemiantehtaan luoteispuolella ja Kantasatama lounaispuolella. Keliberin tontin itäpuolella kulkee junarata, jota pitkin satamaan kulkee tavaraliikennettä. Alueen tuotantolaitosten ja satamien sijainti on esitetty liitteenä 1 olevassa kartassa.

2.2 Tuotantoprosessi

Malmi louhitaan Kaustisella avolouhoksilla. Louhittu malmi murskataan ja lajitellaan louhoksella, jonka jälkeen se kuljetetaan Kaustisen Kalavedelle rikastettavaksi. Kalaveden rikastamossa malmin jauhetaan ja rikastetaan vaahdottamalla spodumeenirikasteeksi. Rikaste kuljetetaan maanteitse Kokkolaan, missä se jalostetaan litiumhydroksidiksi, LiOH:ksi. (Keliber Oy 2019, 39.)

Spodumeenirikaste jalostetaan lämpökäsittelyn ja kaksivaiheisen liuotuksen avulla litiumhydroksidiksi. Kuviossa 1 on esitetty kemiantehtaan yksinkertainen lohkokaavio.



KUVIO 1. Kemiantehtaan lohkokaavio (mukaillen Keliber 2019, 45)

Rikasteessa spodumeeni on liukenemattomassa α -spodumeenimuodossa. Lämpökäsittelyssä α -spodumeenin kiderakenne muutetaan liukoiseksi β -spodumeeniksi. Lämpökäsittely tapahtuu rumpu-uunissa noin $1020\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa. Lämpökäsittelyn jälkeen β -spodumeeni jäädytetään. Ennen soodapaineliuotusta spodumeeni lietetään soodaan (Na_2CO_3) ja veteen ja prosessista palautettuun emäliuokseen.

Soodapaineliuotus tehdään autoklaavissa 20 barin paineessa ja 220 °C:n lämpötilassa. Kaksivaiheisen liuotuksen ja ioninvaihtopuhdistuksen jälkeen litiumhydroksidi kiteytetään haihuttamalla. Kiteet pestään, kuivataan ja pakataan asiakkaan haluamaan pakkauskokoon. (Keliber 2019, 45; Envineer Oy 2018, 18–20.)

Prosessissa syntyvälle liuotusjännökselle, analsiimille ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$, natrium-zeoliitti), on pyritty löytämään hyötykäyttöä. Analsiimia voidaan käyttää vedenpuhdistuskemikaalina ja maantäyttöaineena (Keliber 2019, 49). Analsiimia on suunniteltu käytettävän Kokkolan sataman satamarakenteissa niissä kohteissa, joihin se sopii teknisesti ja ympäristökelpoisuuden kannalta. (Envineer Oy 2018, 30.)

3 ILMANLAADUN SEURANTA SUURTEOLLISUUSALUEELLA

Kokkolan kaupunki suorittaa ilmanlaadun mittausta vuosittain yhteistyössä suurteollisuusalueen toimijoiden kanssa. Kokkola-Pietarsaarialueella on tehty bioindikaattoritutkimusta noin viiden vuoden välein. Alueella on tehty yksi lumitutkimus ja muutamia opintoihin liittyviä lopputöitä.

3.1 Kokkolan kaupungin ilmanlaatatarkkailu

Kokkolan kaupunki on suorittanut jatkuvatoimista ilmanlaadun mittausta vuodesta 1991 lähtien. Mittausasemat sijaitsevat kaupungin keskustassa ja Ykspihlajassa suurteollisuusalueen läheisyydessä. Ykspihlajan mittausasemalla mitataan typen oksidin (NO_x), hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja rikkidioksidin pitoisuuksia. (Kokkolan kaupunki 2018.) Ilmanlaatua voi seurata reaaliajassa ilmatieteenlaitoksen sivulla osoitteessa <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>.

Kokkolan kaupunki kokoaa ilmanlaadun mittaustulokset vuosittain ilmanlaaduntarkkailun vuosiraporttiin. Suurteollisuusalueen laitokset osallistuvat yhteistarkkailuun ja raportoivat kaupungille ilmanpäästötiedot. Laitokset raportoivat ilmanpäästötietonsa ympäristölupapäätöksen mukaisesti ympäristöministeriön ylläpitämään VAHTI-tietojärjestelmään. (Kokkolan kaupunki 2018.)

Kokkolan kaupunki tekee myös ilmanlaadun metalliselvityksiä Ykspihlajan PM₁₀-fraktion metallipitoisuuksista. Näitä on tehty vuosina 1993, 1998–1999, 2003–2004 ja 2010 (Koljonen 2012, 3). Vuodesta 2012 lähtien metallinäytteitä on kerätty jatkuvatoimisesti. Yhden näytteen keruu-aika on 2 viikkoa. Metallinäytteet analysoidaan vuosittain, eikä erilliselvityksiä vuoden 2012 jälkeen ole tehty, vaan ne on sisällytetty ilmanlaaduntarkkailun vuosiraporttiin. (Lahtinen 2018b, 31.)

Metalleja pääsee ilmaan varsinkin teollisuudesta, energian tuotannosta ja liikenteestä. Myös maaperässä esiintyy metalleja, ja niitä pääsee ilmaan tietyissä sääolosuhteissa. Kokkolan ilman metallipitoisuudet ovat suurilta osin peräisin suurteollisuusalueen tuotanto- ja energiantuotantolaitoksilta ja sataman toiminnoista. Myös maantie-, vesi- ja rautatieliikenne vaikuttavat ilman metallipitoisuuksiin. (Koljonen 2012, 3.)

1970-luvulta lähtien Kokkolan seudulla on suoritettu bioindikaattoritutkimusta noin viiden vuoden välein. Viimeisin bioindikaattoritutkimusraportti on saatavana vuodelta 2012. Bioindikaattorien avulla on

tutkittu ilman epäpuhtauksien, kuten rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten ja metallipäästöjen, vaikutuksia. Bioindikaattoreista männyn runkojäkälät reagoivat herkästi mutta hitaasti ilman epäpuhtauksiin, joten ne soveltuvat pitkän aikavälin tutkimuksiin. Männyn neulasten, sammalen ja humuksen alkuainepitoisuudet puolestaan indikoivat epäpuhtauksien laskeumaa. (Huuskonen, Lehkonen & Laita 2013, 1.) Bioindikaattoritutkimuksessa tarkastellaan erilaisten muuttujien avulla päästölähteen vaikutusta tutkimusalan bioindikaattoreihin ja ilmanlaatuun sekä suurteollisuusalueen tehtaiden vaikutusta sammalten, neulasten ja humuksen alkuainepitoisuuksiin (Huuskonen ym.2013, 28–29). Vuonna 2018 on tehty viimeisin bioindikaattoritutkimus. Sen raportti valmistunee syksyllä 2019. (Hautala 2019a.)

3.2 Muut alueella tehdyt ilmanlaadun seurannat

Gleviczky, Koljonen ja Uusimäki (2010, 14) keräsivät luminäytteitä maaliskuussa 2010 talven 2009–2010 lumipeitteestä. Näytteistä analysoitiin kiintoaine-, Al-, As-, Cd-, K-, Ca-, Co-, Cr-, Cu-, Pb-, Mg-, Mn-, Na-, Ni-, Fe-, Zn-, V-, SO₄-, Cl-pitoisuus sekä pH ja johtokyky (Gleviczky ym. 2010, 3). Näytteenottoalueita oli 30 kpl, ja ne sijaitsivat ympäri Kokkolaa. Osa näytteenottoalueista oli syrjäisillä seuduilla ja osa teiden, tehtaiden tai voimalaitosten läheisyydessä, jolloin pystyttiin arvioimaan näiden päästöjen vaikutusta lumipeitteen laatuun. Suurin osa näytteenottoalueista oli valittu kuitenkin niin, että ne sijaitsivat lähellä bioindikaattoritutkimuksen havaintoaloja ja pohjavesitutkimuksen näytteenottoalueita. Näin luminäytteiden tuloksia voitiin verrata bioindikaattori- ja pohjavesitutkimusten tuloksiin. Näytteenottoalue nro 3 sijaitsi Kokkolan suurteollisuusalueella Kokkolan Energia Oy:n voimalaitoksen läheisyydessä. Muut teollisuusaluetta lähimmät näytteenottoalueet olivat 1,5–2,5 km:n päässä Rumelössä nro 1, Sannanrannalla nro 2 ja Sannanperällä nro 4. (Gleviczky ym. 2010, 17.) Liitteen 1 kartassa on esitetty suurteollisuusaluetta lähimpänä sijaitsevat näytteenottoalueet.

Lumiselvityksessä tarkasteltiin myös näytteenottoalueen metallipitoisuuksien riippuvuutta suurteollisuusalueella sijaitsevan päästölähteen etäisyyteen niin, että mitä suurempi korrelaatiokerroin oli, sitä todennäköisemmin metalli on peräisin oletetusta päästölähteestä. Samassa tutkimuksessa arvioitiin tuulen vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen. (Gleviczky ym. 2010, 21, 58.)

Slotte (2010) vertaili talven 2009–2010 lumiselvityksen tuloksia vuoden 2006–2007 bioindikaattoritutkimuksen ja vuoden 2009 pohjavesitutkimuksen tuloksiin. Tavoitteena oli arvioida, kuinka hyvin lumen metallipitoisuudet korreloivat sammaleiden pitoisuuksien kanssa ja kuinka vuodenaikojen vaihtelu vai-

kuttaa päästöjen levinneisyyteen. Lumen ja sammaleen tutkimuksessa vertailtiin 15 alkuaineen pitoisuuksia. Lumen ja pohjaveden vertailussa käytettiin vain kolmea alkuainetta. Lumiselvityksen ja bioindikaattoritutkimuksen vertailuun valittiin sellaiset näytteenottoalueet, jotka olivat lähellä toisiaan ja samalla etäisyydellä päästölähteestä. Selvitettäessä yhteyden näiden kahden tutkimusmenetelmän välillä metalleittain, työssä laskettiin Spearmanin järjestyslukukorrelaatio (Sr) vertailussa olleille metalleille. Mitä lähempänä lukua 1 järjestyslukukorrelaatio oli, sitä vahvempi korrelaatio menetelmien välillä oli. Lumi- ja sammalpitoisuuksissa havaittiin hyvä riippuvuus kaikkien tutkittujen alkuaineiden osalta, varsinkin niille, jotka olivat ihmisen aiheuttamia. Lumen ja pohjaveden osalta riippuvuus oli heikko tai kohtalainen, ja vertailun tulokset olivat suuntaa antavia. (Slotte 2010.)

Nissinen (2014) tutki opinnäytetyössään Boliden Kokkolan hiukkasmaisia hajapäästöjä. Kuusi laskeumakeräintä sijoitettiin Bolidenin alueelle. Yksi keräin oli ns. ”nollanäyte”, joka sijoitettiin hieman kauemmaksi muista. Yksi keräin sijaitsi sataman alueella. Näytteistä analysoitiin atomiabsorptiospektrometrin avulla sinkin, koboltin, raudan, kadmiumin ja arseenin pitoisuudet. (Nissinen 2014, 23–25.)

Kokkolan yliopistokeskus toteutti 1.12.2015–30.11.2018 yhteistyössä Kokkolan kaupungin, suurteollisuusalueen ympäristöryhmän, Bolidenin ja sataman kanssa SINNE-projektin. Projektin tavoitteen oli luoda älykäs ympäristömittausverkko, jolla pystyisi jatkuva-aikaisesti seuraamaan ilmanlaatua ja meluarvoja. Tavoitteena oli tarjota reaaliaikaista tietoa pölyävistä kohteista ja pölyämisen määrästä ja helpottaa yritysten reaaliaikaista omavalvontaa. Ilmanlaadun seurannassa hyödynnettiin infrapunatekniikkaan perustuvaa optista mittausta. (SINNE projektiesite.)

4 PÄÄSTÖT ILMAAN

Hiukkaspäästöjä voi syntyä useasta lähteestä: tunnetuista pistemäistä lähteistä sekä määrittelemättömistä hajapäästölähteistä. Pistemäisiä päästöjä aiheuttavat toiminnot ovat yleensä ympäristöluvan piirissä, ja toimijat ovat velvoitettuja mittaamaan päästöjään, joten tietoa päästöistä on saatavissa ympäristöluvista ja laitoksien ympäristöraporteista (Nikkarinen ym. 2008, 84).

4.1 Hajapäästöt

Teollisuudessa hajapäästöillä tarkoitetaan muita kuin tunnetusta pistemäisestä lähteestä, kuten piipusta, peräisin olevia päästöjä. Teollisuudessa hajapäästöt ovat lähtöisin erilaisista odottamattomista ja satunnaisista vuodoista. Hajapäästöjä voivat aiheuttaa laitevuodot, raaka-aineiden tai rikasteiden käsittely, pölyäminen, reaktoreiden panostaminen, prosessilämmitys tai prosessissa tapahtuvat epäjatkuvuudet, kuten suodattimien vaihdot ja ylivuodot. Ajoneuvoliikenne varastokasojen pölyisten maanpintojen läheisyydessä voi aiheuttaa hajapölypäästöjä. (Amodio ym. 2013, 455; Hassim, Hurme, Amyotte & Khan 2012, 821.) Vaikka yksittäisen hajapäästön merkitys voi olla pieni, suuressa teollisuuslaitoksessa vastaavanlaisia päästöjä voi olla useita, jolloin niiden yhteisvaikutus voi olla merkittävä (Amodio ym. 2013, 456). Hajapäästöjen merkitys on lisääntynyt viime vuosikymmeninä (Lahtinen 2018b, 5). Hajapäästöt vaikuttavat negatiivisesti tuottavuuteen, terveyteen ja ympäristöön. Pistemäisten päästölähteiden tarkkailun lisäksi tarkka hajapäästölähteiden seuranta olisi tärkeää kokonaispäästöjen vähentämisen kannalta. Tällä tavoin vaikutettaisiin myönteisesti ilmanlaatuun. (Amodio ym. 2013, 455.)

4.2 Päästöjen leviäminen

Päästöjen leviäminen tapahtuu pääasiassa ilmakehän alimman kerroksen osassa, rajakerroksessa (Saari ym. 2018, 47). Pienhiukkaset ja niiden komponentit laskeutuvat ilmasta kahdella tavalla: sateiden mukana märkälaskeumana tai kuivalaskeumana (Hernández-Pellón & Fernández-Olmo 2019, 712). Metallit leviävät pääasiassa hiukkasiin sitoutuneina erilaisina yhdisteinä. Päästö määrät, laimenemisen tehokkuus, leviämisen laajuus, säätökijät, kemiallinen muutanta, poistumismekanismit (märkä- ja kuivalaskeuma) ja taustapitoisuudet vaikuttavat metallien pitoisuuksiin tehdasalueen ympäristössä. (Nikkarinen ym. 2008, 88.) Hiukkasten leviämiseen vaikuttavat niiden fyysiset ominaisuudet, ilman stabiilius, tuulen

suunta ja nopeus, vuodenaika, vuorokauden aika, sää ja maanpinnan muodot. Ilmavirtausten pyörteisyys ja rajakerroksen korkeus vaikuttavat päästöjen sekoittumiseen ja laimenemisen tehokkuuteen kulkeutumisen aikana. (Slotte 2010, 6; Saari ym. 2018, 47.)

Ilmakehän tasapainotila vaikuttaa epäpuhtauksien sekoittumiseen ja laimenemiseen. Tasapainotila on neutraali, kun lämpötila laskee ylöspäin mentäessä celsiusasteen sataa metriä kohden. Epävakaassa eli labiilissa tilassa lämpötila laskee enemmän kuin celsiusasteen sataa metriä kohden ja vakaassa eli stabiilissa tilassa alle celsiusasteen sataa metriä kohden. Tasapainotilaan vaikuttavat auringon säteily, maanpinnan muodot ja tuuli. Stabiilissa tilassa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Stabiilit tilanteet ovat yleisimpiä yöllä ja talvella, ja niitä esiintyy vähemmän kaupungeissa kuin maaseudulla. Epävakaassa tilassa sekoittuminen on voimakkaampaa ja epäpuhtaudet laimenevat tehokkaammin kuin stabiilissa tilassa. (Saari ym. 2018, 47.)

Inversiotilanteessa lämpötila nousee mentäessä ylöspäin rajakerroksessa. Tasapainotila inversiossa on erittäin stabiili. Maanpintainversiossa lämpötilan nousu alkaa maanpinnasta ja ulottuu parin sadan metrin korkeuteen, jolloin kylmä ilma lähellä maanpintaa jää ylempänä olevan lämpimän ilmamassan alle. Maanpintainversion vallitessa epäpuhtaudet kerääntyvät päästölähteiden läheisyyteen. Heikkotuulisessa, stabiilissa voimakkaan maanpintainversion tapauksessa lähellä maanpintaa on tyyntä ja sekoittuminen on vähäistä. Tällöin matalalla, lähellä maanpintaa vapautuvat päästöt, kuten liikenteen päästöt, leviävät heikosti. Korkealta piipuista tulevat energiatuotannon ja teollisuuden päästöt eivät vaikuta pitoisuuksiin lähellä maanpintaa päästölähteen läheisyydessä. (Saari ym. 2018, 48.)

Yläinversiossa lämpötilan nousu alkaa maanpinnan yläpuolelta ja ilmakehä sekoittuu tiettyyn rajaan saakka. Matalan yläinversion tilanteessa pitoisuudet maanpinnalla saattavat olla korkeita. Korkean yläinversion tapauksessa, jolloin inversion korkeus on useita satoja metrejä, sen vaikutus pitoisuuksiin lähellä maanpintaa on yleensä vähäinen kaupunkialueilla. (Saari ym. 2018, 48.)

Suomessa rannikolla vallitsee usein maa-merituuli-ilmiö. Keväisin ja alkukesästä, kun merivesi on vielä kylmää ja aurinko lämmittää maanpintaa, maan ja meren välille syntyy lämpötilaero. Päivällä maalla lämmin ilmavirtaus kohoaa ylöspäin ja siirtyy merelle päin. Merellä syntyy laskuvirtausta, ja viileää ilmaa puhaltaa mereltä maalle. Tasapainon säilyminen synnyttää näin rannikolle ilman kiertoliikkeen. Illalla merituuli-ilmiö heikkenee ja tuuli alkaa puhaltamaan perusvirtauksen suunnasta. Öisin ja loppu-syksystä, kun merivesi on vielä lämmintä ja rannikolla maanpinnalla on kylmää ja kuivaa, tuuli puhaltaa kylmältä maalta merelle päin. Maatuuli on merituulta selvästi heikompaa. (Ilmatieteen laitos 2019.)

Hajapäästöt syntyvät yleensä suhteellisen matalalta, lähellä maanpintaa, jolloin ne eivät leviä ympäristöön niin tehokkaasti kuin piippupäästöt (Nikkarinen ym. 2008, 84). Keväisin, kun lumet sulavat, talven aikana teille ja teiden varsille kerääntyneet hiukkaset nousevat ilmaan tuulen ja liikenteen vaikutuksesta. Lumen sulamisvedet, sade ja pölynsidonta suolaliuksella hillitsevät pölyämistä. Myös muina vuodenaikoina sateet vähentävät väliaikaisesti pölyämistä ja epäpuhtauksien pitoisuuksia ilmassa. (Saari ym. 2018, 48.)

5 SUURTEOLLISUUSALUEEN HIUKKASPÄÄSTÖJEN METALLIPITOISUUDET

Seuraavissa luvuissa käsitellään suurteollisuusalueella tehtyjen tutkimusten tuloksia. Luvuissa käydään läpi Kokkolan kaupungin tekemien metalliselvitysten, lumitutkimuksen ja bioindikaattoritutkimuksen, tuloksia.

5.1 Kokkolan kaupungin metalliselvitysten tuloksia

Kokkolan kaupungin tekemien metalliselvityksien mukaan suurimmat metallipitoisuudet Ykspihlajan mittausasemalla vuosina 2010, 2016 ja 2017 aiheutuivat natriumista, kalsiumista ja kaliumista ja vuonna 2015 natriumista, kalsiumista ja raudasta. Taulukosta 1 ilmenee 10 suurinta metallipitoisuutta kyseisinä vuosina. Tulokset on analysoitu hiukkasten PM₁₀-fraktiosta ja ne on ilmoitettu yksikkönä ng/m³.

TAULUKKO 1. Metallipitoisuudet Ykspihlajan mittausasemalla PM₁₀-fraktiosta analysoituna (mukailen Koljonen 2012; Koljonen 2015; Lahtinen 2018a; Lahtinen 2018b)

ng/m ³	2010	2015	2016	2017
1	Na 589	Na 304	Na 836	Na 617
2	Ca 104	Ca 29,5	Ca 231	Ca 208
3	K 90,4	Fe 29,5	K 84,6	K 70,9
4	Fe 44,0	K 25,0	Fe 53,4	Fe 63,8
5	Al 32,46	Al 22,1	Al 45,1	Mg 61,4
6	Zn 29,21	Zn 11,7	Zn 30,0	Zn 27,6
7	Mg 20,2	Mg 6,8	Mg 23,9	Al 18,1
8	Co 3,86	Pb 1,36	Co 2,95	Pb 2,6
9	Pb 3,08	Co 1,34	Pb 2,67	Co 2,5
10	Cu 1,84	Cu 1,02	Cu 2,20	Cu 1,9

Huomioitavaa on, että vuosien 2016 ja 2017 tuloksia ei voida pitää vertailukelpoisina edellisvuosien kanssa, koska näytteiden keräämiseen tarkoitetun laitteen toimintahäiriöiden vuoksi tulosten ajallinen kattavuus jäi 65 %:iin vuonna 2016 ja 30 %:iin vuonna 2017 (Lahtinen 2018a, 29; Lahtinen 2018b, 31).

5.2 Lumitutkimuksen tuloksia

Jos tarkastellaan talven 2009–2010 lumitutkimuksen keskimääräisiä talviajan kuukausilaskeumia ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{kk}$) Kokkolassa metalleittain, suurimmat arvot ovat kalsiumilla, natriumilla ja kaliumilla, kuten kaupungin tekemissä metalliselvityksissäkin. Keskimääräinen kuukausilaskeuma on laskettu lumen vesi-arvon ja laskeuma-ajan avulla ja sen yksikkö on $\mu\text{g}/\text{m}^2$ (Gleviczky ym. 2010, 64–65). Lumen vesi-arvo ilmaisee sen vesikerroksen paksuuden (mm), joka muodostuu lumikerroksen sulaessa, ja se lasketaan lumen syvyyden ja tiheyden tulona (Gleviczky ym. 2010, 8). Taulukossa 2 metallit on järjestetty keskimääräisen kuukausilaskeuman perusteella suurimmasta pienimpään arvoon. Taulukkoon on lisätty näytteenottoalueiden 1, 2, 3 ja 4 tulokset. Näytteenottoalue 3 sijaitsi suurteollisuusalueella Kokkolan Energian voimalaitoksen läheisyydessä, ja alueet 1, 2 ja 4 sijaitsivat n. 1,5–2,5 km itään tai koilliseen suurteollisuusalueelta (kuva 1). Alueella 3 suurimmat keskimääräiset kuukausilaskeumat olivat kalsiumilla, kaliumilla ja sinkillä.

TAULUKKO 2. Keskimääräiset talvenajan kuukausilaskeumat Kokkolassa sekä suurteollisuusalueen läheisyydessä olevien näytteenottoalueiden kuukausilaskeumat (mukaihen Gleviczky ym. 2010, liite 3)

Laskeuma $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{kk}$	Kokkola keskiarvo	Lumiselvityksen näytteenottoalue			
		1	2	3	4
Ca	5726,67	8263,33	6500,69	46246,20	8129,53
Na	5155,82	5508,88	5417,24	7267,26	4935,79
K	3457,01	6197,50	3398,80	24774,75	4645,45
Mg	1332,71	1377,22	2130,78	3633,63	1451,70
Zn	1320,36	12050,69	1119,56	9579,57	2816,30
Fe	838,40	929,62	2347,47	1090,09	1219,43
Al	580,10	482,03	1516,83	759,76	783,92
Mn	179,51	220,36	108,34	693,69	98,72
Co	42,13	216,91	29,98	429,43	46,45
Pb	34,23	258,23	31,06	75,98	49,36
Cu	27,48	75,75	28,89	62,76	40,65
V	16,02	17,56	19,50	24,11	15,97
Ni	10,50	24,10	14,45	39,64	11,62
As	3,45	9,64	3,97	11,89	4,36
Cd	1,48	6,54	1,44	6,28	2,90

Näytteenottoalueella 3 suurimmat pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{l}$) esiintyivät arseenilla, kadmiumilla, kaliumilla, kalsiumilla, koboltilla, magnesiumilla ja nikkelillä, kun verrataan kaikkia näytteenottoalueita keskenään

(Gleviczky ym. 2010, liite 4). Lumiselvitys osoitti myös sen, että suurteollisuusalueella sijaitsevat merkittävimmät kadmiumin, koboltin, nikkelin, sinkin ja vanadiumin päästölähteet (Gleviczky ym. 2010, 81). Näiden metallien pitoisuuksien riippuvuussuhde päästölähteen etäisyyteen oli hyvä tai vahva.

Kalsiumin suuret pitoisuudet suurteollisuusalueen läheisyydessä selittyvät sillä, että alueella sijaitsevat Tetra Chemicalsin kalsiumkloriditehdas (CaCl_2) ja Nordkalk Oy:n kalkkikiven (CaCO_3) jauhatuslaitos. Vaikka kalsiumpäästöt tulivatkin pääasiassa teollisuusalueelta, tutkimuksen mukaan näytealueiden kalsiumpitoisuudella ja teollisuusalueen läheisyydellä ei ole yhteyttä. Taajamien läheisyydessä sijaitsevien näytteenottoalueiden suuriin kalsiumpitoisuuksiin vaikutti teiden suolaus CaCl_2 :lla. (Gleviczky ym. 2010, 30.) Natriumin suuret pitoisuudet luminäytteissä selittynevät sillä, että osa näytteenottoalueista sijaitsi meren läheisyydessä ja tutkimuksen mukaan suurteollisuusalueen toiminnoilla ei olisi vaikutusta natriumin leviämiseen, vaan se olisi peräisin merivedestä (Gleviczky ym. 2010, 42).

Näytteenottoalueen 3 korkeat kaliumpitoisuudet ovat peräisin Yara Suomi Oy:ltä, joka valmistaa kaliumsulfaatteja (K_2SO_4). Kuitenkaan kaliumpitoisuuden ja pääasiallisen päästölähteen sijainnilla ei tutkimuksen mukaan ole yhteyttä. Muiden näytealojen pienemmät kaliumpitoisuudet tulevat natriumin tapaan merivedestä. (Gleviczky ym. 2010, 28.) Magnesiumin pitoisuuksilla ja suurteollisuusalueen sijainnilla on heikko riippuvuus. Magnesiumia on yleisesti maankuoressa, ja sitä käytetään teiden suolauksessa hiekka-suolaseoksessa, lannoitteissa, metalliseoksissa ja elektroniikkalaitteissa. (Gleviczky ym. 2010, 38.)

Sinkki on eniten käytetty korroosionsuoja, ja se on laajasti käytetyn messingin seosaine. Sinkkiä syntyy myös auton renkaiden kuluessa. Sinkin korkeimmat pitoisuudet olivat näytealueilla 1 ja 3, jotka molemmat sijaitsevat suurteollisuusalueen ja Euroopan toiseksi suurimman sinkkitehtaan läheisyydessä. (Gleviczky ym. 2010, 48.) Kadmiumia syntyy sinkin valmistuksessa sivutuotteena, ja tutkimuksessa sen pitoisuudella oli vahva riippuvuussuhde suurteollisuusalueen etäisyyteen. Näytteenottoalueella 3 esiintyivät suurimmat kadmiumin pitoisuudet. (Gleviczky ym. 2010, 26.)

Koboltin pitoisuudet olivat suurimmillaan näytealueella 3, mikä viittaisi siihen, että ne ovat peräisin teollisuusalueelta. Freeport Cobalt valmistaa kobolttipohjaisia tuotteita. Myös näytealueilla 1, 4 ja 9 pitoisuudet olivat keskimääräistä suurempia ja riippuvuussuhde pitoisuuksien ja teollisuusalueen etäisyydellä oli vahva. (Gleviczky ym. 2010, 32.) Nikkelin pitoisuuksilla oli hyvin vahva korrelaatio suurteollisuusalueen läheisyyteen, mikä viittaa nikkelipäästöjen olevan peräisin sieltä. Freeport Cobalt (ent. Kokkola Chemicals Oy) valmisti epäorgaanisia suoloja, oksideja ja erilaisia kobolttipulvereita koboltista

ja nikkelistä. (Gleviczky ym. 2010, 44.) Freeport Cobaltin raportoidut nikkelpäästöt ovat laskeneet vuodesta 2009–2010 (Hautala 2019b, liite 4).

Arsenin suurin pitoisuus oli näytealueella 3, ja keskimääräistä suuremmat pitoisuudet olivat alueilla, jotka sijaitsivat suurteollisuusalueen läheisyydessä. Boliden tuotti v. 2008 eniten kaikista Kokkolassa raportoiduista arseenipäästöistä, ja tutkimuksessa oletettiin näin tapahtuvan myös vuonna 2009. Kuitenkin arseenin pitoisuuksilla ja teollisuusalueen etäisyydellä oli heikko riippuvuussuhde. Arsenia ja sen yhdisteitä käytetään kasvinsuojeluaineissa, torjunta-aineissa ja hyönteismyrkyissä, ja sitä on useissa metalliseoksissa. Arsenia syntyy myös energian tuotannon sivutuotteena. (Gleviczky ym. 2010, 24.)

Vanadiinin pitoisuuksien suhde suurteollisuusalueen etäisyyteen oli heikko, jos tarkastelussa oli mukana kaupungin keskustassa oleva näytealue 7. Tällä alueella vanadiinin pitoisuudet olivat huomattavasti korkeammat kuin muualla. Vanadiinin päästöjä syntyy ilmaan fossiilisten polttoaineiden poltossa. Näytealueen 7 läheisyydessä sijaitsi kaukolämpölaitos, joka oli suurin vanadiinin päästölähde, ja varsinkin talvella lämmityskaudella monet asunnot saattavat tuottaa vanadiinipäästöjä. Jos tarkastelusta jätettiin pois alue 7, nousi näytealueiden pitoisuuksien ja teollisuusalueen etäisyyden riippuvuus todella hyväksi, ja näin ollen teollisuusalue ja sen toiminnot ovat vastuussa vanadiinipäästöistä. (Gleviczky ym. 2010, 50.)

5.3 Bioindikaattoritutkimuksen tuloksia ja niiden vertailua lumitutkimuksen tuloksiin

Kokkolan ja varsinkin Ykspihlajan tutkimusaloilla mitattiin männyn neulasissa suurimmat pitoisuudet arseenilla, kadmiumilla, kuparilla, kromilla, raudalla, elohopealla, nikkelillä ja sinkillä (Huuskonen ym. 2013, 45). Sammaleessa suurimmat pitoisuudet olivat arseenilla, kadmiumilla, koboltilla, kuparilla, lyijyllä ja sinkillä ja humuksessa kadmiumilla, kuparilla, raudalla, nikkelillä ja sinkillä (Huuskonen ym. 2013, 57, 73).

Slotten (2010, 71–72) tutkimuksessa kävi ilmi, että koboltilla, kadmiumilla, arseenilla, lyijyllä, vanadiinilla, raudalla ja sinkillä oli vahva tai erittäin vahva korrelaatio lumiselvityksen ja bioindikaattoritutkimuksen välillä. Nämä ovat metalleja, jotka ovat lähtöisin ihmistoiminnoista. Näiden metallien levinneisyyden vuodenaikojen vaihtelut vaikuttavat vähän, sillä tehtaissa on tasainen tuotanto ympäri vuoden.

Näiden kahden menetelmän vertailu osoitti, että meren läheisyydellä on vaikutus kalsiumin, magnesiumin, kaliumin ja natriumin pitoisuuksiin: talvella, kun meri on jäässä, haihtumista tapahtuu vähemmän, kun taas kesällä ioneja vapautuu merestä ja leviää tuulten mukana kauemmaksi. (Slotte 2010, 71.)

6 LASKEUMAN MÄÄRITTÄMINEN JA TYÖSSÄ KÄYTETYT LABORATORIOMENETELMÄT

Ilmakeräilynäytteet kerättiin laskeumanäytteinä. Laskeuma määritettiin keräysjakson aikana keräimeen painovoimaisesti laskeutuneesta pölystä ja sateiden mukana tulleista epäpuhtauksista. Tulokset ilmoitettiin kuukausilaskeumana.

6.1 Laskeumanäytteen keräys -standardit

Näytteiden keruussa ja tulosten laskennassa sovellettiin standardeja SFS 3865 ja SFS-EN 15841. Standardi 3865, Laskeuman määrittäminen, on kumottu 27.1.2014, ja sen on korvannut kolme erillistä standardia:

- SFS-EN 15853: Ambient air quality. Standard method for the determination of mercury deposition
- SFS-EN 15980: Air quality. Determination of benz [a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenz[a, h]anthracene and indeno[1,2,3-cd]pyrene
- SFS-EN 15841: Ambient air quality. Standard method for determination of arsenic, cadmium, lead and nickel in atmospheric deposition. (Suomen standardisoimisliitto SFS ry.)

Standardien mukaan laskeumanäyte kerätään avoimeen astiaan (Bergerhoff-keräimeen) käyttäen 30 ± 2 vuorokauden keruu-aikaa. Tällä menetelmällä laskeumanäytteen keräys on yksinkertaista ja edullista eikä vaadi erikoisosaamista. Kokonaislaskeumanäyte koostuu märkä- (sadevesi, lumi) ja kuivalaskeumasta (hiukkaset). Laskeumakeräin on tasapohjainen lieriö, jonka halkaisija on 200 ± 5 mm ja syvyys 400 ± 10 mm. Keräin asetetaan telineeseen, joka on varustettu linturenkaalla. Linturengas on halkaisijaltaan 400 mm oleva rengas, ja se on telineessä 100 mm astian suun yläpuolella. Näin estetään lintujen istuutuminen astian reunoille. (SFS 3865; SFS-EN 15841.)

Keräin sijoitetaan vaakasuorassa maastoon niin, että astian suu on $1,8 \pm 0,2$ m:n korkeudella ympäröivästä alueesta. Sijoituspaikaksi valitaan mahdollisimman avoin, suojaisa, tuuleton alue, eikä lähistöllä saisi olla paikallisia pöly- tai kontaminaatiolähteitä, kuten savupiippuja, teitä tai pölyäviä maa-alueita.

Keräimen läheisyydessä ei saisi sijaita korkeita puita tai rakennuksia viiden metrin säteellä. (SFS 3865; SFS-EN 15841.)

Keräinastiaan laitetaan aluksi 0,5–2 litraa puhdasta tislattua tai ionivaihdettua vettä vuodenajasta riippuen. Nesteen jäätyminen ja levä- ja bakteerikasvuston estämiseksi astiaan voidaan lisätä sopivaa lisäainetta, esim. etanolia tai isopropanolia. Astiassa olevaa nestettä ei saa päästää haihtumaan kuiviin eikä jäätymään näytteenoton aikana, joten astiaan lisätään nestettä tai lisäainetta tarvittaessa. (SFS 3865; SFS-EN 15841.)

Keruuajan päätyttyä astia poistetaan telineestä ja suljetaan huolellisesti puhtaalla kannella ja laitetaan puhtaaseen muovipussiin. Otetaan puhdas astia muovipussista, irrotetaan kansi ja laitetaan se takaisin pussiin odottamaan astian vaihtoa. Puhdas astia asetetaan telineeseen. Astioita käsitellään kertakäyttöhanskat kädessä. Käytössä ollut astia puhdistetaan päältäpäin pölystä laboratoriossa. Keräilyneeste otetaan talteen ja astia huuhdotaan puhtaalla vedellä kaikkien hiukkasten talteen ottamiseksi. Näytteestä poistetaan kaikki siihen kuulumaton aines, kuten neulaset, lehdet ja hyönteiset seulalla (materiaalina esim. nylon), jonka silmäkoko on 1 mm. Keräin pestään huolellisesti pesuaineella ja tarvittaessa typpihapolla ja huuhdellaan puhtaalla vedellä. Huomioitavaa on, että astia tai muut käytettävät välineet eivät saa olla kosketuksissa metallipintojen kanssa ja niitä on käsiteltävä huolellisesti kontaminaatioiden estämiseksi. Puhtaat ja kuivat keräinastiat asetetaan puhtaaseen muovipussiin odottamaan uudelleen käyttöä. (SFS 3865; SFS-EN 15841.)

6.2 Laboratoriomenetelmät

Kerätyt näytteet lähetettiin Eurofins Labtium Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Ennen näytteiden lähettämistä keräilyneesteestä poistettiin siihen kuulumaton aines ja se pullotettiin lähettämistä varten.

6.2.1 Alkuainemääritys

Laboratoriossa alkuaineet määritettiin mikroaaltouuniavusteisen typpihappoliuotuksen (US EPA3051) jälkeen käyttäen induktiivisesti kytkettyä optista plasmaemissiospektrometri (ICP-OES-) ja induktiivisesti kytkettyä massaplasmaspektrometri (ICP-MS-) -laitteistoa.

ICP-MS-tekniikassa yleensä typpihappoon liuotetun näytteen yhdisteet ionisoidaan erittäin kuumalla plasmalla molekyyli-ioneiksi, jotka sisältämänsä energian vuoksi hajoavat massafragmenteiksi. Fragmentit ohjataan massa-analysaattorille, joka erottelee ne niiden massa-varaussuhteen (m/z) perusteella. Alkuaineet tunnistetaan ionien massaspektrin perusteella. ICP-MS-tekniikalla voidaan määrittää lähes kaikki alkuaineet. (Jaarinen & Niiranen 2018, 122, 204–206.) ICP-OES-tekniikassa plasma höyrystää näytteen haihduttaen liuottimen. Näyte atomisoituu ja osin ionisoituu, ja atomit ja ionit virittävät perustilasta korkeammalle energiatasolle. Kun viritystila purkautuu, emittoivat atomit ja ionit kullekin alkuaineelle ominaista säteilyä, jolloin näytteessä olevat alkuaineet tunnistetaan aallonpituuksien perusteella. (Jaarinen & Niiranen 2018, 83.)

Kerätyn laskeuman massa ilmoitetaan 30:tä päivää kohti ja yksikkö tällöin g/m^2 . Kokonaiskuukausilaskeuma lasketaan kaavalla 1 (SFS3865):

$$m_A = \frac{m \cdot 30d}{A \cdot t} \quad (1)$$

jossa m_A = kuukausilaskeuma, g/m^2

m = kerätyn laskeuman massa, g

A = keräysastian poikkileikkauspinta-ala, m^2

t = keräysaika, d

Keräysastian poikkileikkauspinta-ala lasketaan kaavalla 2:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2)$$

jossa D = keräysastian halkaisija, m

6.2.2 Partikkelikokojakauma

Metallihiukkasten partikkelikokojakauma mitattiin Malvern Mastersizer -laitteistolla laserdifraktiometelmällä Fraunhoferin teoriaa hyväksikäyttäen. Laserdiffraktiossa laservalo kulkee hiukkasia sisältävän näytteen läpi, jolloin valo siroaa hiukkasista tietyssä kulmassa; pienien hiukkasten sirontakulmat

ovat suuremmat kuin suurten hiukkasten. Siroava valo havaitaan ilmaisimella, joka mittaa eri sirontakulmien intensiteettiä valitun teorian avulla. (Wills 2006, 104.) Tulokset raportoidaan tilavuuskokojakaumana.

Fraunhoferin teoria on yksinkertainen tapa määrittää partikkelikojakauma. Se ei vaadi näytteen optisten ominaisuuksien tietämistä, ja sillä saadaan tarkkoja tuloksia suurille partikkeleille. (Malvern 2019.) Menetelmä olettaa, että partikkelit ovat suurempia kuin käytettävän lasersäteen aallonpituus, kaikki partikkelikoot siroavat tasaisella teholla ja partikkelit ovat läpinäkymättömiä ja valoa läpäisemättömiä (Mastersizer 2000 user manual 2007, 6-14). Willsin (2006) mukaan Fraunhoferin malli sopii partikkeleille, jotka ovat kooltaan 1–2000 μm , mutta laitevalmistajan mukaan sitä tulisi käyttää varauksella näytteille, jossa voi olla alle 50 μm :n kokoisia partikkeleita (Malvern Panalytical 2019).

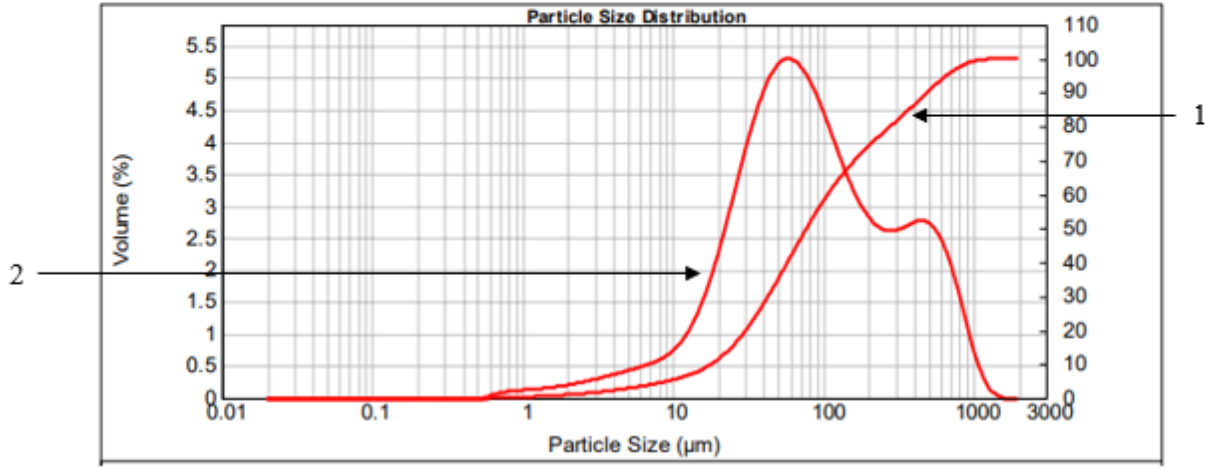
Partikkelikokoanalyysin tuloksesta on esitetty esimerkki kuviossa 2. Käyrä 1 on kumulatiivinen alikojakauma -käyrä, joka ilmaisee, kuinka paljon prosentteina näytteestä on tiettyä partikkelikokoa pienempää. Esimerkiksi kuvioista 2 voidaan määrittää, että 10 % näytteestä on alle 18 μm . Taajuusjakaumasta (2) nähdään moodit eli käyrän huippukohdat, jakauman hajonta ja se, onko jakauma yksi-, kaksi- vai useampihuippuinen. Taajuusjakauman huippu esittää modaalisen halkaisijan eli yleisimmin esiintyvän partikkelikoon. Useat huiput käyrässä osoittavat, että näytteessä on selvästi erottuvia partikkelikokoja. Jakaumatilasto (3) esittää analyysin vakioprosenttipistelukemat standardin BS2955:1993 mukaisesti. D(0.5) on partikkelin halkaisija mikrometreinä, ja näytteestä 50 % on tätä kokoa pienempää ja 50 % on tätä kokoa suurempaa. D(0.1) on partikkelikoko, jonka alapuolella 10 % näytteestä on. D(0.9) on partikkelikoko, jota pienempää partikkelikokoa näytteessä on 90 %. (Mastersizer 2000 user manual 2007, 6-2 – 6-5.) Jakaumatilasto esittää siis saman informaation kuin kumulatiivinen alikojakauma, mutta numeerisessa muodossa.

RESULTS

d(0.1): 17.780 μm

d(0.5): 76.816 μm

d(0.9): 487.685 μm



KUVIO 2. Havainnekuva partikkelikokojakauman tuloksesta

7 TUTKIMUKSEN SUORITUS

Keliberin tulevan litiumkemiantehtaan alueella seurattiin pölylaskeumaa kolmessa eri pisteessä maaliskuun 2018 ja maaliskuun 2019 välisenä aikana noin kuukauden keräysjaksolla. Keräyspisteet sijaitsivat tehdasrakennuksen kohdalla niin, että keräyspiste 1 sijaitsi lähimpänä Kemirantietä, piste 2 tehtaan keskivaihteella ja piste 3 tehtaan ns. puhtaalla puolella. Vertailunäytteitä ei otettu. Molemmat talvet olivat runsaslumisia ja kesä 2018 poikkeuksellisen kuuma ja kuiva.

7.1 Mittauspaikat ja keräysjaksot

Laskeumanäytteet kerättiin kolmella kuvan 1 mukaisella Bergerhoff-laskeumakeräimellä.



KUVA 1. Työssä käytetty laskeumakeräin

Keräimet sijaitsivat melko suoralla linjalla, avoimella alueella Nesteen terminaalin läheisyydessä. Maaperä keräyspaikalla oli hiekkaa. Alueella kulkee hieman muuta maanpintaa korkeampi hiekkadyyni lounaasta koilliseen. Keräin 2 sijoittui tämän dyynin kohdalle. Keräyspisteiden eteläpuolella oli mäntyvaltaista metsää. Keräyspisteiden tiedot on esitetty taulukossa 3. Pisteiden sijainnit kartalla ja niiden sijoittuminen suurteollisuusalueelle on esitetty kuvassa 2. Lumitutkimuksen näytepisteiden 1–4 sijainnit suhteessa laskeumakeräimien sijaintiin on esitetty liitteen 1 kartassa.



KUVA 2. Keräyspisteet kartalla (mukaillen Maanmittauslaitos)

Keräyspisteiden 1 ja 2 välinen etäisyys oli noin 120 m ja keräyspisteiden 2 ja 3 noin 140 m. Kuvan 2 karttaan on merkitty myös lumitutkimuksen näytepiste 3, joka sijaitsee noin 600 m laskeumakeräimistä etelään.

TAULUKKO 3. Keräyspisteiden koodinaatit

Tunnus	Koordinaatit (ETRS-TM35FIN)		Korkeus
	Pohjoiskoord. (N)	Itäkoord. (E)	
Keräin 1	7086719.650 m	305974.854 m	5.310 m
Keräin 2	7086681.149 m	306089.511 m	7.306 m
Keräin 3	7086621.743 m	306211.927 m	4.880 m

Näytteiden keräysajat vaihtelivat 27–36 vuorokauteen. Kolme keräysjaksoa poikkesi standardien mukaisesta 30 ± 2 vuorokaudesta. Taulukossa 4 on esitetty keräysjaksot ja niiden pituudet.

TAULUKKO 4. Keräysjaksojen ajankohdat ja kestot

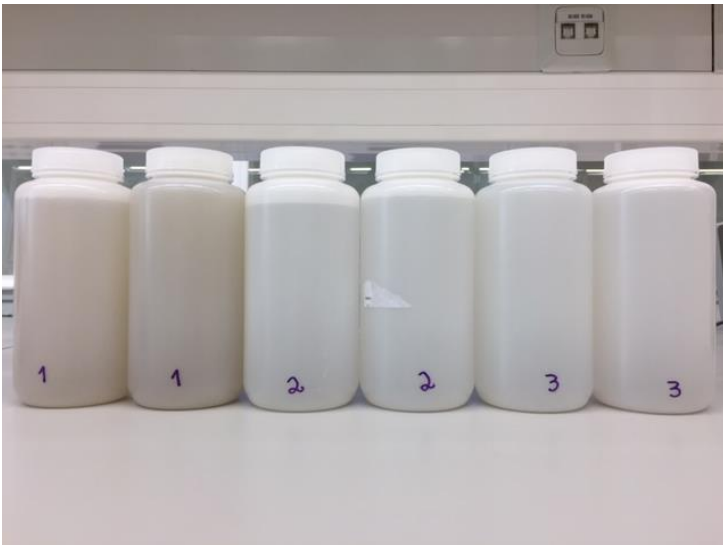
Tunnus	Keräysjakso	päiviä (t)
Maa18	6.3.–3.4.2018	29
Huh18	3.4.–30.4.2018	27
Tou18	30.4.–31.5.2018	31
Kesä18	31.5.–28.6.2018	28
Hei18	28.6.–30.7.2018	32
Elo18	30.7.–30.8.2018	31
Syys18	30.8.–28.9.2018	29
Loka18	28.9.–31.10.2018	33
Mar18	31.10.–30.11.2018	30
Jou18	30.11.–28.12.2018	28
Tam19	28.12.2018–2.2.2019	36
Hel19	2.2.–6.3.2019	32

7.2 Näytteiden keräys

Jokaiselle keräyspaikalle oli kaksi astiaa, joita vuoroteltiin. Astiat ja kannet oli numeroitu sekaantumisen estämiseksi. Keräinten telineet vietiin maastoon 6.3.2018. Puhtaisiin keräysastioihin laitettiin ionivaih-

dettua vettä ja denaturoitua etanolia A7. Astiat asennettiin telineeseen ja astian suuaukko pyrittiin pitämään n. 1,8 m:n korkeudella. Keräysjakson aikana huolehdittiin, ettei neste pääse haitumaan tai jäätyämään astiassa. Tarvittaessa vettä ja/tai etanolia lisättiin astiaan. Molemmat talvet olivat runsaslumisia, joten lumisateiden jälkeen astiat olivat usein täynnä lunta ja pohjalla oleva vesi oli jäänyt. Kesä 2018 oli poikkeuksellisen kuuma ja kuiva, joten nestettä joutui lisäämään astiaan useinkin.

Astian vaihtopäivänä käytössä ollut astia nostettiin pois telineestä ja suljettiin huolellisesti puhtaalla kannella. Tyhjä, puhdas astia nesteineen laitettiin telineeseen seuraavaa keräysjaksoa varten. Näyteastiat vietiin Centria-ammattikorkeakoulun laboratorioon esikäsittelyä varten. Jos neste astiassa oli jäässä, sen annettiin sulaa huoneenlämmössä tai tarvittaessa lämpimässä vedessä. Astiat pyyhittiin ulkopuolelta kostealla paperilla puhtaiksi. Keräilyneeste kaadettiin nylonverkon läpi puhtaaseen muovipulloon (kuva 3). Astiaan tarttunut kiintoainne otettiin talteen ionivaihdetulla vedellä huuhtoen ja tiskiharjalla harjaten. Jokaiselle keräysastialle oli oma harjansa ja suppilonsa, ja nämä uusittiin muutaman kuukauden välein. Nylonverkkoja ei käytetty uudelleen, vaan ne laitettiin roskiin joka käyttökerran jälkeen. Näytteitä ei kestävyöity vaan ne lähetettiin sellaisinaan postitse EurofinsLabtium Oy:n laboratorioon analysoitaviksi.



KUVA 3. Laskeumanäytteet pulloitetuina lähetystä varten

Keräysastiat, kannet ja suppilot pestiin huolellisesti astianpesuaineella ja huuhdeltiin. Tämän jälkeen ne harjattiin 2 M:lla typpihapolla ja huuhdeltiin ionivaihdetulla vedellä ja annettiin kuivua. Puhtaat astiat kansineen laitettiin puhtaaseen muovipussiin odottamaan seuraavaa vaihtokertaa.

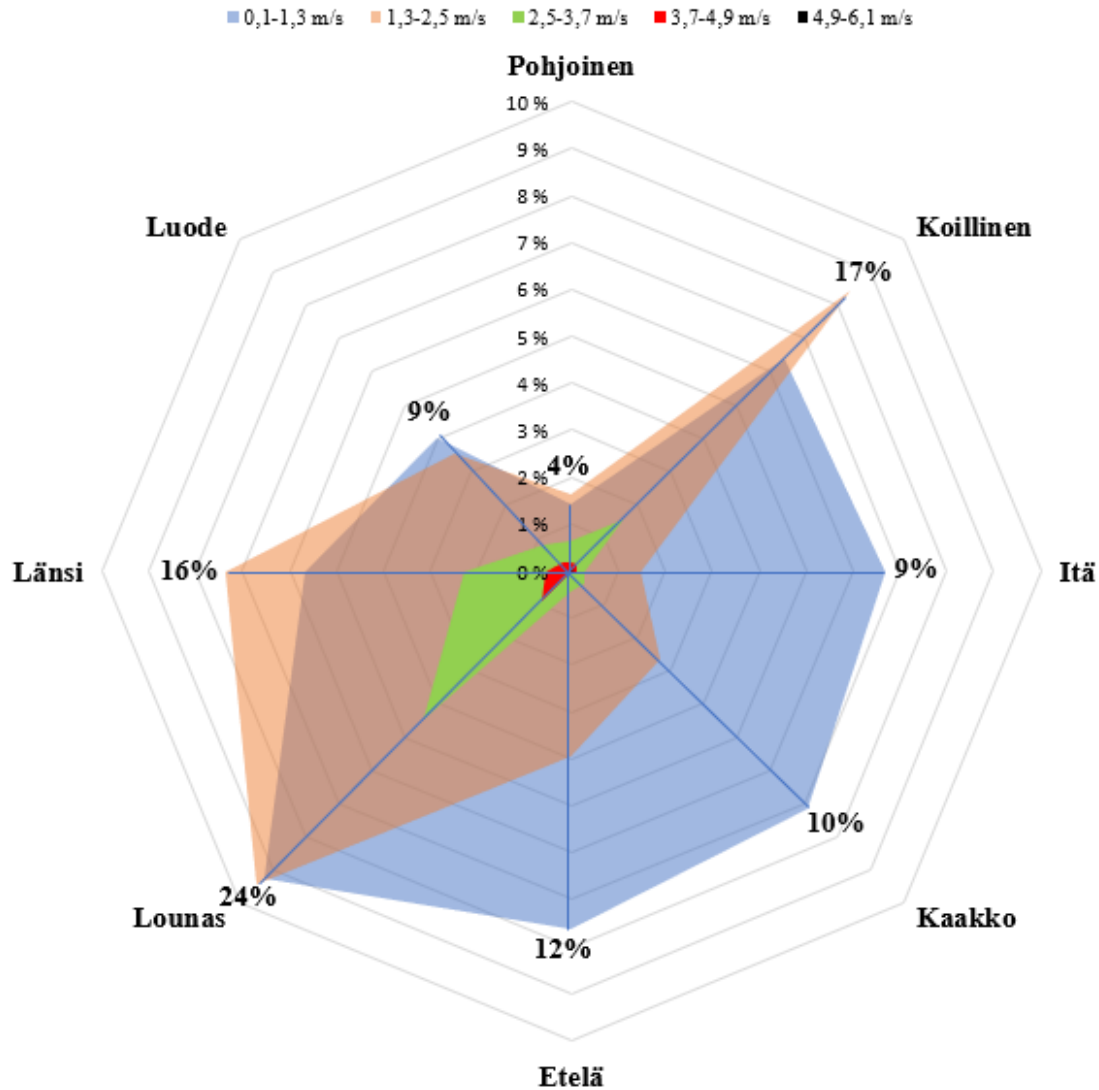
8 TULOKSET

Tarkkailujakson tuuli- ja lämpötilatiedot on saatu Kokkolan kaupungin Ykspihlajan mittausasemalta. Sademäärät ovat Ilmatieteen laitokselta. Tuloksissa ilmoitetaan keskimääräinen kuukausilasseuma ja tarkastellaan seitsemän metallin laskeumamäärän vaihtelua tarkkailujakson aikana. Tulokset on laskettu kaavoilla 1 ja 2. Tulokset ilmoitetaan standardeista poiketen yksikkönä $\mu\text{g}/\text{m}^2$. Tuloksissa on otettava huomioon, että keräimen 1 tiedot puuttuvat ajalta 30.7.–30.8.2018 (elo18). Litiumin tulokset on otettu mukaan tarkasteluun, jos sen tuloksia halutaan verrata tehtaan toiminnan aikana saatuihin tuloksiin.

8.1 Sää tutkimuksen aikana

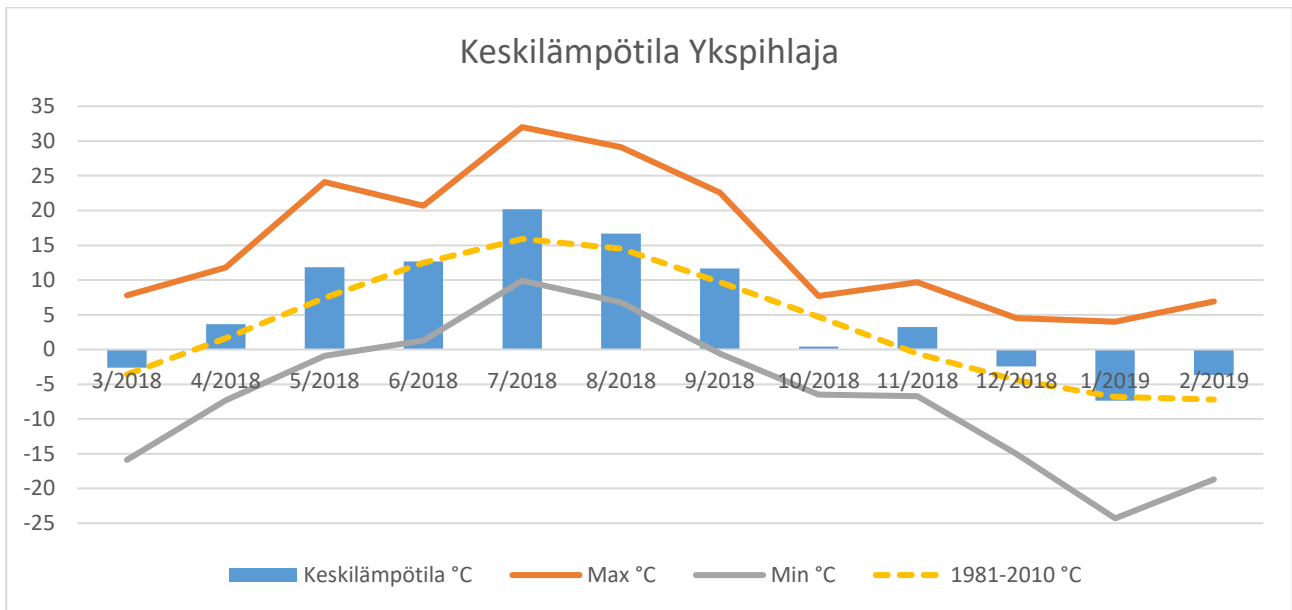
Tuulen suunnat ja nopeudet on kuvattu tuuliruusussa (KUVIO 3). Tuuliruusussa keskipisteestä lähtevän janan pituus kuvaa mitattujen tuulien prosentuaalista osuutta tarkkailujakson tuulihavainnoista. Vallitseva tuulensuunta ajalla 6.3.2018–6.3.2019 oli lounaasta (24 %). Myös koillisesta ja lännestä tuuli melko usein. Tuulensuunnalla tarkoitetaan suuntaa, josta tuuli puhaltaa havaitсияa kohti. Pohjoistuuli puhaltaa pohjoisesta ja länsituuli lännestä jne. Tuuliruusussa on kuvattu myös eri tuulen nopeuksien jakautuminen eri nopeusluokkiin tuulensuunnittain. Tarkkailujaksolla havaittiin eniten tuulia, jotka puhalsivat 0,1–2,5 m/s. Tuulitiedot puuttuivat ajalta 1.10.–21.10.2018.

TUULIRUUSU 6.3.2018–6.3.2019

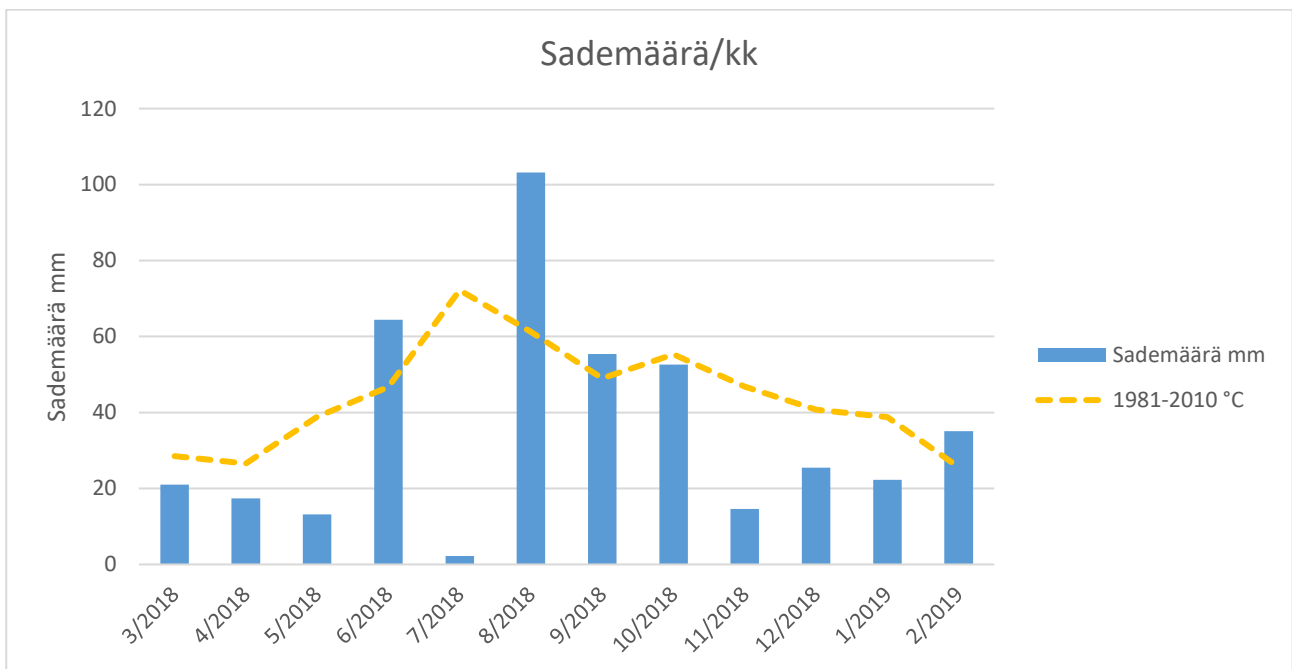


KUVIO 3. Tuulen suuntien osuudet ja tuulen nopeuden jakautuminen eri nopeusluokkiin tuulensuunnittain Ykspihlajan mittausasemalla tarkkailujakson aikana

Kevät ja kesä 2018 olivat tavanomaista lämpimämpiä. Varsinkin heinäkuu oli kuuma ja kuiva. Kuviossa 4 ovat tarkkailujakson keskimääräiset kuukausilämpötilat sekä kuukauden suurin ja pienin lämpötila. Lämpötilatiedot puuttuivat ajalta 30.3–1.4.2018 ja 1.10–21.10.2018. Kaavioon on lisätty pitkän ajan keskilämpötila vuosilta 1981–2010 Kokkolassa (Ilmatieteen laitos). Kuukausittaiset sademäärät ja pitkän ajan keskiarvo sademäärästä on esitetty kuviossa 5. Lumipeite tuli vuonna 2018 joulukuussa. Joulukuussa oli lauhaa ja lunta oli vähän. Tammikuu 2019 oli selvästi joulukuuta kylmempi ja lumipeite oli tuolloin runsaampi.



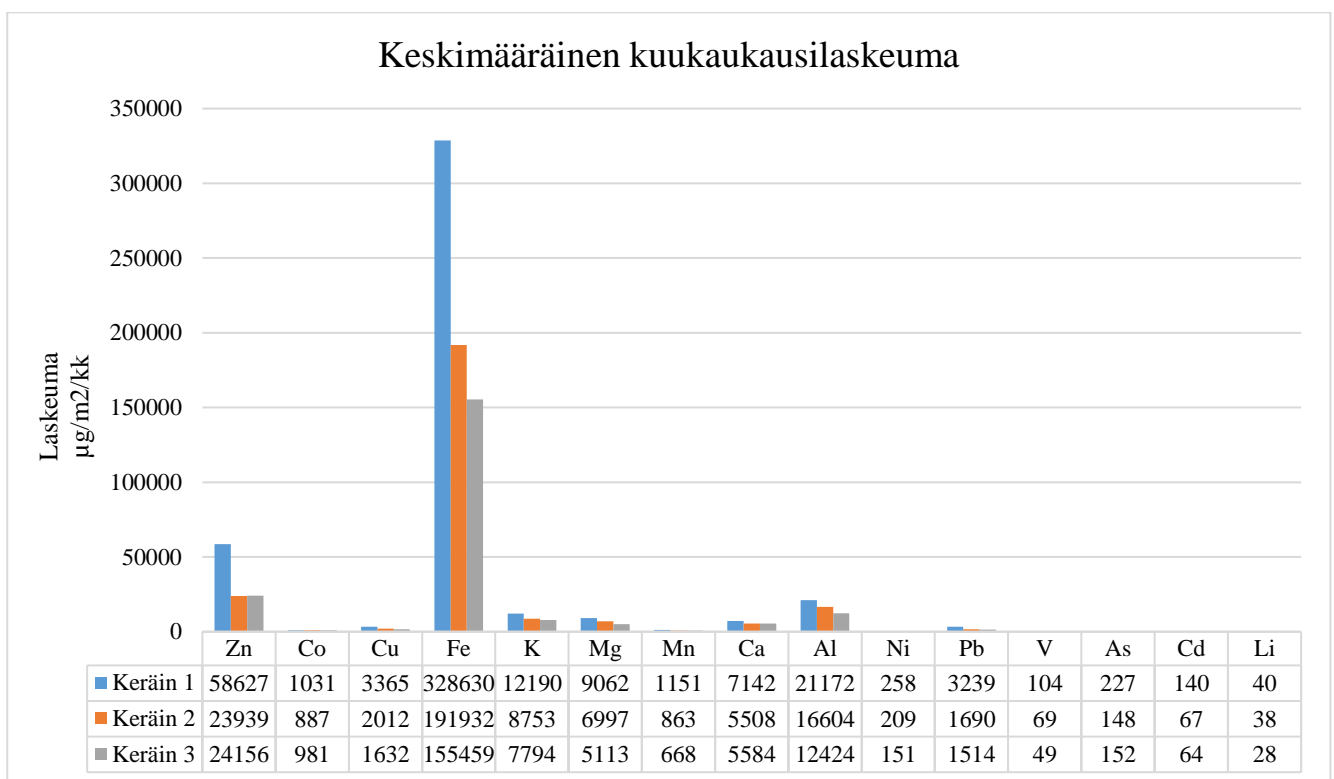
KUVIO 4. Kuukausikeskilämpötilat Ykspihlajassa tutkimuksen aikana



KUVIO 5. Sademäärät Kokkolassa tarkkailujaksolla

8.2 Keskimääräinen kuukausilaskeuma

Laskeumanäytteiden perusteella suurin keskimääräinen kuukausilaskeuma on raudalla, sinkillä ja alumiinilla (KUVIO 6). Tulokset on laskettu koko näytteenottoajan keskiarvona. Jos lumitutkimuksen tuloksista jätetään kalsium, natrium, kalium ja magnesium huomioimatta, lumitutkimuksen suurimmat keskimääräiset kuukausilaskeumat olisivat sinkillä, raudalla ja alumiinilla. Keräimestä 1 ei saatu elokuun ajalta tuloksia, koska näyte tukki pahasti suodatinkalvon, joten kokonaiskiintoainetta ei voitussilloin määrittää. Keräimessä oli tuolloin paljon kuolleita hyönteisiä. Seuraavissa luvuissa käsitellään edellä mainittujen metallien ja koboltin, kuparin, kaliumin ja kalsiumin tuloksia tarkemmin.



KUVIO 6. Keskimääräinen kuukausilaskeuma

8.3 Metallien kuukausikohtaiset laskeumamäärät

Seuraavassa tarkastellaan raudan, sinkin, alumiinin, koboltin, kuparin, kaliumin, kalsiumin ja litiumin kuukausilaskeuman vaihtelua tutkimuksen aikana. Kaikkien analysoitujen metallien kuukausilaskeumat

on kerätty liitteeseen 2. Taulukossa 5 on esitetty vallitseva tuulensuunta jokaiselle keräysjaksolle. Muutamien metallien kohdalla on havaittavissa piikki kesä- ja syyskuun laskeumamäärissä. Kesäkuun loppupuolella ja syksyllä (ei tarkempaa ajankohtaa tiedossa) oli pölyttänyt jotain valkoista jauhemaista ainetta suurteollisuusalueen eteläosassa. Aine oli aiheuttanut ongelmia Kokkolan Energian laitteistoissa, ja se oli pesty pois ennen kuin siitä oli ehditty ottaa näytettä analysoitavaksi. (Kinnunen 2019.) Tuloksista nähdään, että keräimessä 1, joka oli lähimpänä tietä, esiintyivät korkeimmat laskeumamäärät. Keräimessä 3, joka edustaa tehtaan puhdasta puolta, laskeumamäärät olivat matalimmat. Litiumin tulokset on lisätty tuloksiin sen vuoksi, että niihin voidaan verrata mahdollisia tulevia tutkimustuloksia tehtaan käynnistymisen jälkeen.

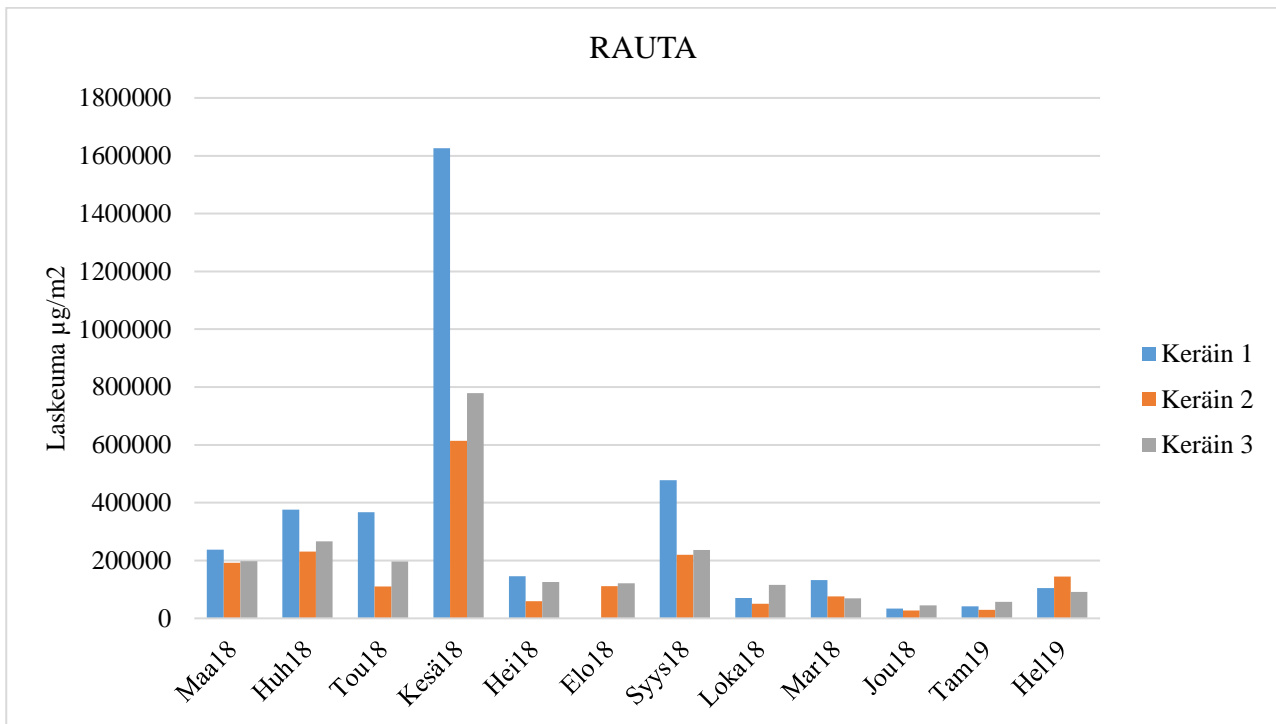
TAULUKKO 5. Keräysjaksojen vallitseva tuulensuunta

Kuukausi	Vallitseva tuulensuunta
3/2018 Maa	Koillinen
4/2018 Huh	Koillinen
5/2018 Tou	Koillinen
6/2018 Kesä	Koillinen
7/2018 Hei	Koillinen
8/2018 Elo	Lounas
9/2018 Syys	Lounas
10/2018 Loka	Kaakko
11/2018 Mar	Lounas
12/2018 Jou	Lounas
1/2019 Tam	Lounas
2/2019 Hel	Lounas

8.3.1 Rauta

Suurimmat raudan laskeumamäärät esiintyivät kesäkuussa (KUVIO 7). Laskeumamäärissä on havaittavissa nousua syyskuussa. Raudan kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,034–1,626 g/m², keräimessä 2 välillä 0,045–0,779 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,028–0,062 g/m². Kesä- ja syyskuun sääolot olivat keskimäärin samankaltaiset lämpötilan ja sademäärän osalta. Kesäkuussa vallitseva tuulensuunta oli koillinen ja syyskuussa lounas. Rautaa on yleisesti hyvin paljon kaikkialla monissa toiminnoissa, niin

maaperässä kuin teräksen muodossa rakennuksissa, kulkuneuvoissa ja koneissa. Rautaa on maaperässä neljänneksi eniten kaikista alkuaineista.



KUVIO 7. Raudan kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

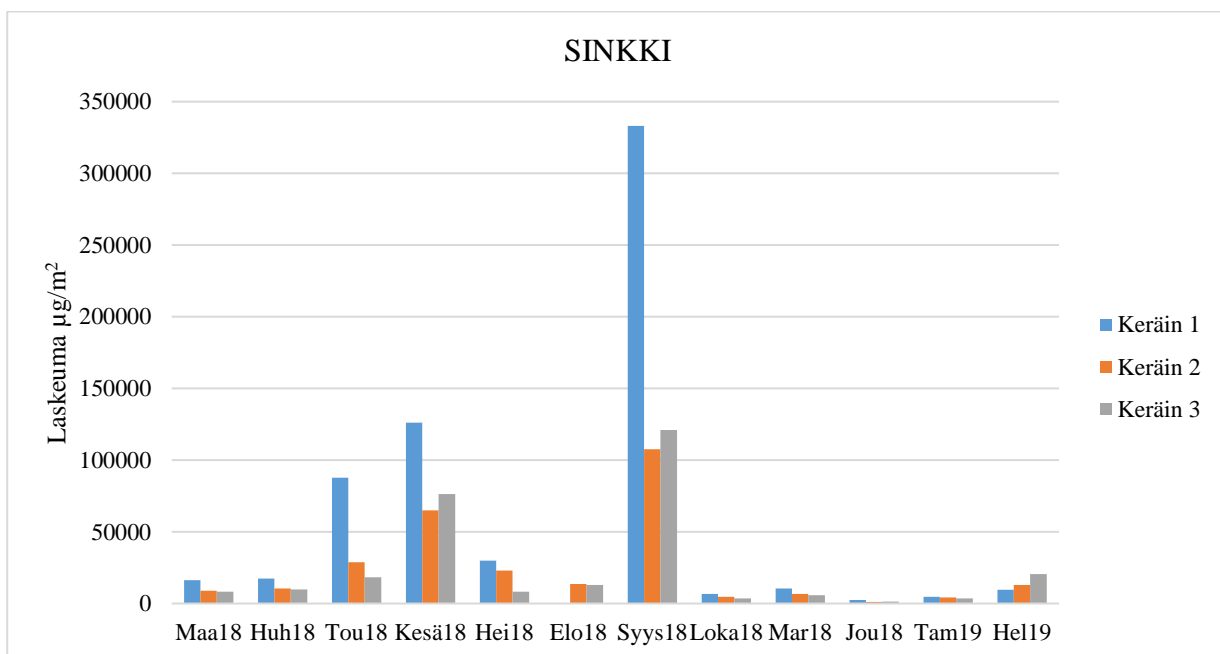
Lumitutkimuksen tuloksista kävi ilmi, että suurimmat lumipeitteen rautapitoisuudet olivat Kokkolan keskustan läheisyydessä olevalla näytealalla (Gleviczky ym. 2010, 46). Suurteollisuusalueella on toimintoja, kuten Syväsatama ja Boliden Kokkola, joiden toiminnoista tulee rautapäästöjä. Suurteollisuusalueen laitoksista Boliden Kokkola raportoi rautapäästöt vuosittain. Raportoidut rautapäästöt ovat vähentyneet vuodesta 2010 alkaen, ja ne ovat olleet viime vuosina 20–30 kg/a. (Hautala 2019b, liite 4.) Boliden Kokkola Oy:n vaarallisen jätteen jätealueelle varastoidaan rautapitoista jarosiittia (Pöyry 2017, 45). Nissisen (2014, 19) mukaan jätealue on todennäköisesti merkittävin hajapäästölähde Boliden Kokkolan alueella. Tietyissä sääolosuhteissa, kuten talvisin jätealueen pinnan jäädyttyä tai kesällä pitkän kuivan jakson jälkeen, hienojakoinen pöly pääsee leviämään tuulen mukana.

Syväsatamassa käsitellään rautapellettejä ja pyriittiä (FeS_2) (Ympäristölupa Syväsatama 2015, 7). Nissisen (2014, 31) opinnäytetyössä kävi ilmi, että satamaa lähinnä olevassa keräimessä esiintyi eniten rautaa, joten voidaan olettaa, että osa rautapäästöistä on sataman toiminnoista lähtöisin. Pyhäsalmen kaivokselta on kuljetettu pyriittiä ja Venäjältä on kuljetettu rautapellettejä rautateitse Kokkolan satamaan

(Iikkanen & Mukula 2014, 14, 16). Rautatie kulkee Keliberin tontin itäpuolella. Pyhäsalmen kaivoksen sulkeuduttua pyriitin vienti Kokkolan sataman kautta on epätodennäköistä, sen sijaan rautapellettejä vie­dään Kokkolan sataman kautta tulevaisuudessakin (Lapp, Iikkanen & Lepistö 2017, 20, 22).

8.3.2 Sinkki

Kuviosta 8 nähdään, että sinkin pölyäminen oli suurinta kevät- ja kesäkuukausina ja syyskuussa. Talvi­kuukausien jälkeen kevättä kohti mentäessä on havaittavissa sinkkilaskeumamäärän nousua, johon osal­taan voi vaikuttaa kevät­pölyäminen, jolloin liikenne ja tuuli nostattavat sinkkipitoista pölyä ilmaan. Vain heinä- ja elokuussa ja talvikuukausina pölyäminen tutkimuksen mukaan oli vähäisempää, kuten raudal­akin. Sinkin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,002–0,333 g/m², keräimessä 2 välillä 0,001–0,107 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,001–0,121 g/m². Heinäkuu 2018 oli todella kuuma ja kuiva, ja vallitseva tuulensuunta oli koillinen. Elokuu oli kuuma ja runsassateinen, ja vallitseva tuulensuuta oli lounas. Loppuvuoden sademäärät olivat vähäisempiä ja lämpötila oli hieman korkeampi verrattaessa pitkän ajan keskiarvoon. Tämän tutkimuksen mukaan pölyäminen oli vähäisempää talvella muihin vuo­denaikoihin verrattuna (KUVIO 8). Slotten (2010, 57–58) tutkimuksen mukaan vuodenaajoilla ei olisi vaikutusta päästöihin; bioindikaattoritutkimuksen ja lumitutkimuksen sinkkipitoisuudet korreloivat vah­vasti toisiinsa



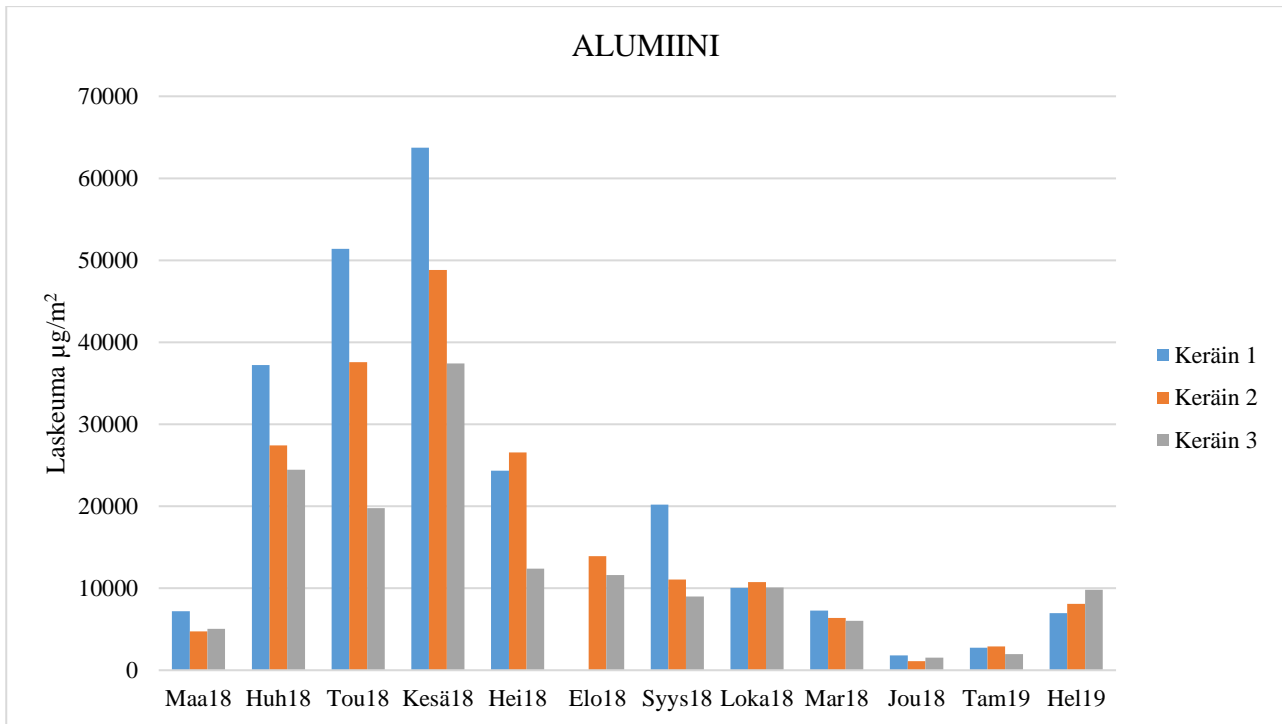
KUVIO 8. Sinkin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

Lumitutkimuksessa osoitettiin sinkillä olevan vahva korrelaatio päästölähteen suhteen, eli sinkkiä pääsee ilmaan teollisuusalueelta (Gleviczky ym. 2010, 48). Alueella sijaitsee Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas Boliden Kokkola Oy, josta sinkkipäästöt pääosin tulevat. Raportoidut sinkkipäästöt ovat vähentyneet vuosittain. Vuonna 2018 Boliden raportoi sinkkipäästöjä 3 979 kg/a. (Hautala 2019b, liite 4.) Boliden Kokkolan vaarallisen jätteen kaatopaikan jätteen koostumuksessa on pieniä pitoisuuksia sinkkiä (Pöyry 2017, 47). Jätealueelta sinkkiä pääsee leviämään ainakin jätealueen läheisyyteen (Nissinen 2014, 31-32). Jonkin verran sinkkipäästöjä syntyy energiatuotannosta Kokkolan Energian Oy:n toiminnoista (Hautala 2019b, liite 4).

Syväsatamassa käsitellään sinkkirikastetta ja sinkkiä (Ympäristölupa Syväsatama 2015, 7). Nissisen (2014, 31) opinnäytetyön tuloksista käy ilmi, että sinkkiä esiintyi eniten lähellä satamaa olevassa keräimessä, mikä osoitti sen, että sinkin hajapäästöt voivat olla lähtöisin muualtakin kuin Boliden Kokkolan toiminnoista, kuten sataman toiminnoista. Litiumkemia-alueen vieressä sijaitsevalla junaradalla on kuljetettu sinkkirikastetta Talvivaarasta ja Pyhäsalmen kaivokselta satamaan. Määrät ovat vähemmän Pyhäsalmen kaivoksen sulkemisen myötä ja Talvivaaran sinkkirikasteen viennin siirryttyä Oulun kautta kuljetettavaksi. (Lapp ym. 2017, 21–22; Iikkanen & Mukula 2014, 14.)

8.3.3 Alumiini

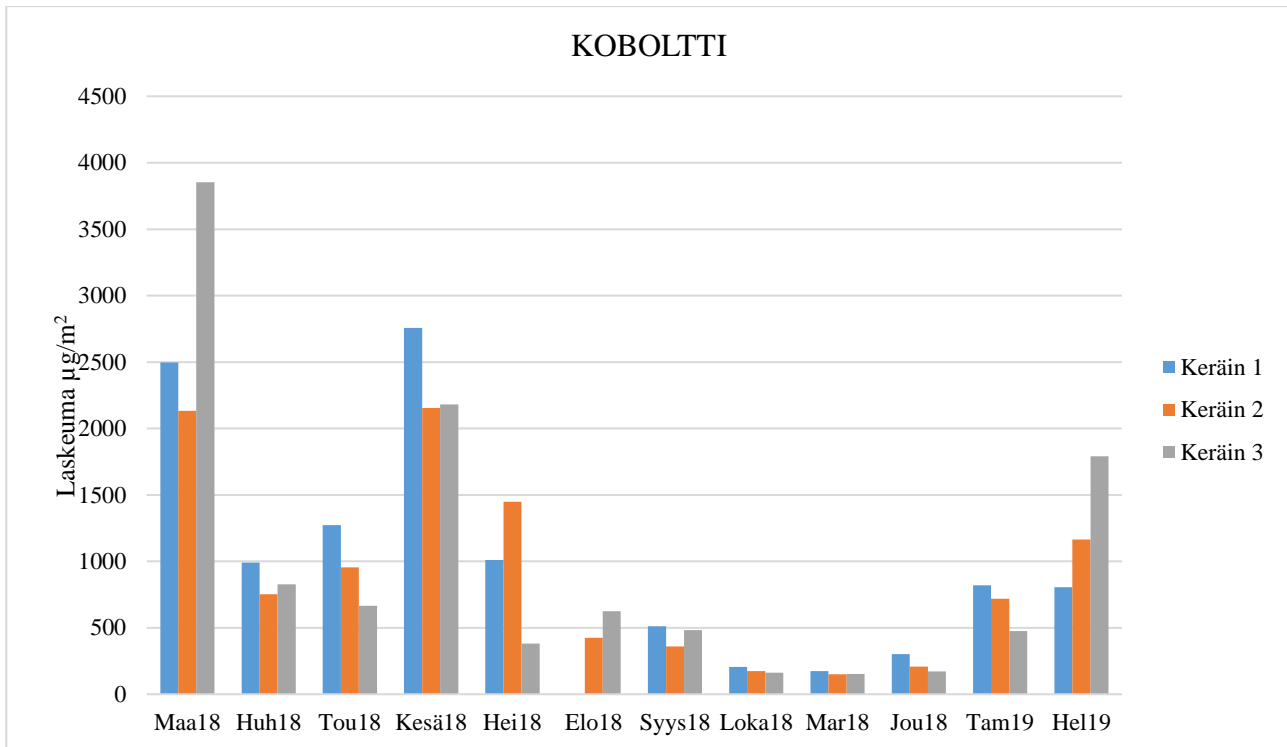
Alumiinin laskeumamäärissä on havaittavissa selvä nousu kevättä ja kesää kohti, kun lumien sulettua alkaa kevätpölyäminen (KUVIO 9). Alumiinin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,002–0,064 g/m², keräimessä 2 välillä 0,001–0,049 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,002–0,037 g/m². Lumitutkimuksessa lumipeitteen alumiinipitoisuuksilla ja suurteollisuusalueen sijainnilla oli heikko riippuvuus-suhte. Alumiinipitoisuudet olivat suurimmillaan keskustan läheisyydessä, ja alumiinin arveltiin olevan peräisin rakennuksista ja liikenteestä (esim. autoista). (Gleviczky ym. 2010, 22.) Suurteollisuusalueella toimivista tehtaista Boliden raportoi alumiinipäästönsä. Vuosina 2008–2017 raportoidut alumiinipäästöt ovat pysyneet samalla tasolla, n. 700 kg/a. Vuoden 2018 tiedot puuttuivat. (Hautala 2019b, liite 4.) Kokkolan sataman Kantasatamassa ja Hopeakiven satamassa käsitellään hienojakoista ja herkästi pölyävää alumiinisavea, joten sataman toiminnot voivat vaikuttaa alumiinin pölyämiseen (Koljonen 2012, 9; Port of Kokkola). Alumiinisavi puretaan aluksista purkusuppiloon, josta lähtien savi kulkee suljetussa järjestelmässä (Ympäristölupa Kantasatama 2015, 7).



KUVIO 9. Alumiinin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

8.3.4 Koboltti

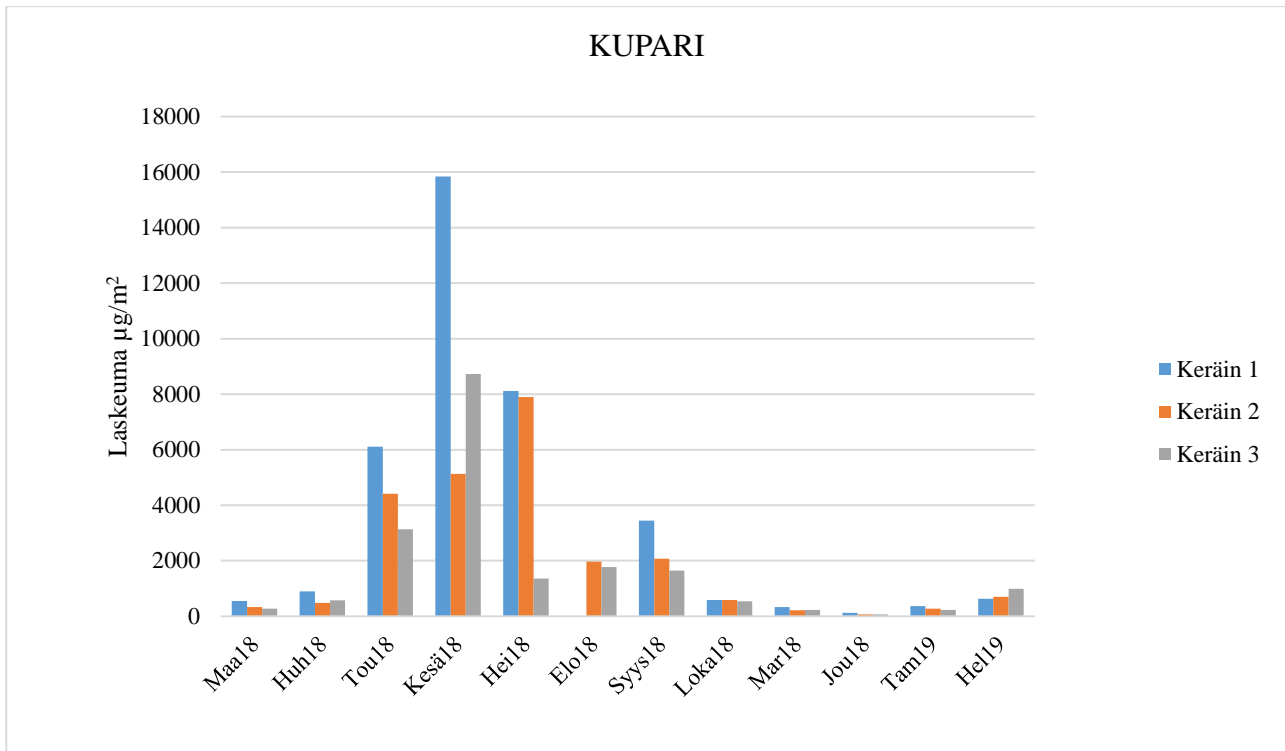
Suurimmat koboltin kuukausilaskeumat ajoittuvat maaliskuu- ja kesäkuulle (KUVIO 10). Koboltin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,0002–0,0028 g/m², keräimessä 2 välillä 0,0001–0,0022 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,0001–0,0039 g/m². Poiketen muista tarkastelluista metalleista, koboltin suurin kuukausikohtainen laskeuma esiintyi keräimessä 3 ensimmäisellä keräysjaksolla. Vuonna 2018 maaliskuusta heinäkuuhun vallitseva tuulensuunta oli koillinen ja elokuusta helmikuuhun 2019 lounas. Kokkolan kaupungin vuoden 2010 metalliselvityksessä korkeimmat koboltin pitoisuudet esiintyivät lumetomina kuukausina ja olivat toukokuussa korkeimmillaan (Koljonen 2012, 19). Suurteollisuusalueella toimivista yrityksistä Freeport Cobalt Oy mittaa ja raportoi kobolttipäästönsä. Raportoidut kobolttipäästöt ovat olleet vuodesta 2010 alkaen n. 1 000–4 000 kg/a ja vuonna 2018 ne olivat 485 kg/a. (Hautala 2019b, liite 4.) Nissisen (2014, 31) tutkiessa Bolidenin hiukkasmaisia hajapäästöjä, koboltin korkeimmat kuukausikohtaiset kokonaislaskeumat määritettiin Syväsatamaa lähimpänä olevasta keräimestä. Lumi-tutkimuksessa korkeimmat koboltin pitoisuudet olivat näytealalla 3, joka sijaitsi lähimpänä tässä tutkimuksessa käytettyjä keräimiä, Kokkolan Energia Oy:n läheisyydessä (Gleviczky ym. 2010, 32).



KUVIO 10. Koboltin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

8.3.5 Kupari

Korkeimmat kuparin laskeumamäärät ajoittuivat selvästi kesäkuukausille ja alkusyksyyn (KUVIO 11). Kuparin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,0001–0,0158 g/m², keräimessä 2 välillä 0,00007–0,004418 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,000069–0,008731 g/m². Loppusyksyllä ja lumellisina kuukausina laskeumamäärät olivat vähäisempiä. Laskeumamäärän vaihtelu on yhtäläinen raudan laskeuman kanssa (KUVIO 7). Suurteollisuusalueen laitoksista Boliden Kokkola Oy, Freeport Cobalt Oy ja Kokkolan Energia Oy mittaavat ja raportoivat vuosittain kuparipäästönsä. Suurimmat kuparipäästöt ovat Bolidenilla. Sinkkitehtaan ja kobolttijalostamon raportoidut kuparipäästöt ovat olleet laskussa vuosituhannen alusta lähtien. Kokkolan Energia Oy:n energiantuotantoyksiköiden kuparipäästöt ovat pysyneet samalla tasolla vuosikymmenen alusta asti ja ovat olleet viime vuosina samalla tasolla kuin Freeport Cobalt Oy:n päästöt. Vuonna 2018 Boliden raportoi kuparipäästöjä 18 kg/a ja muut em. laitokset n. 3–4 kg/a. (Hautala 2019b, liite 4.)



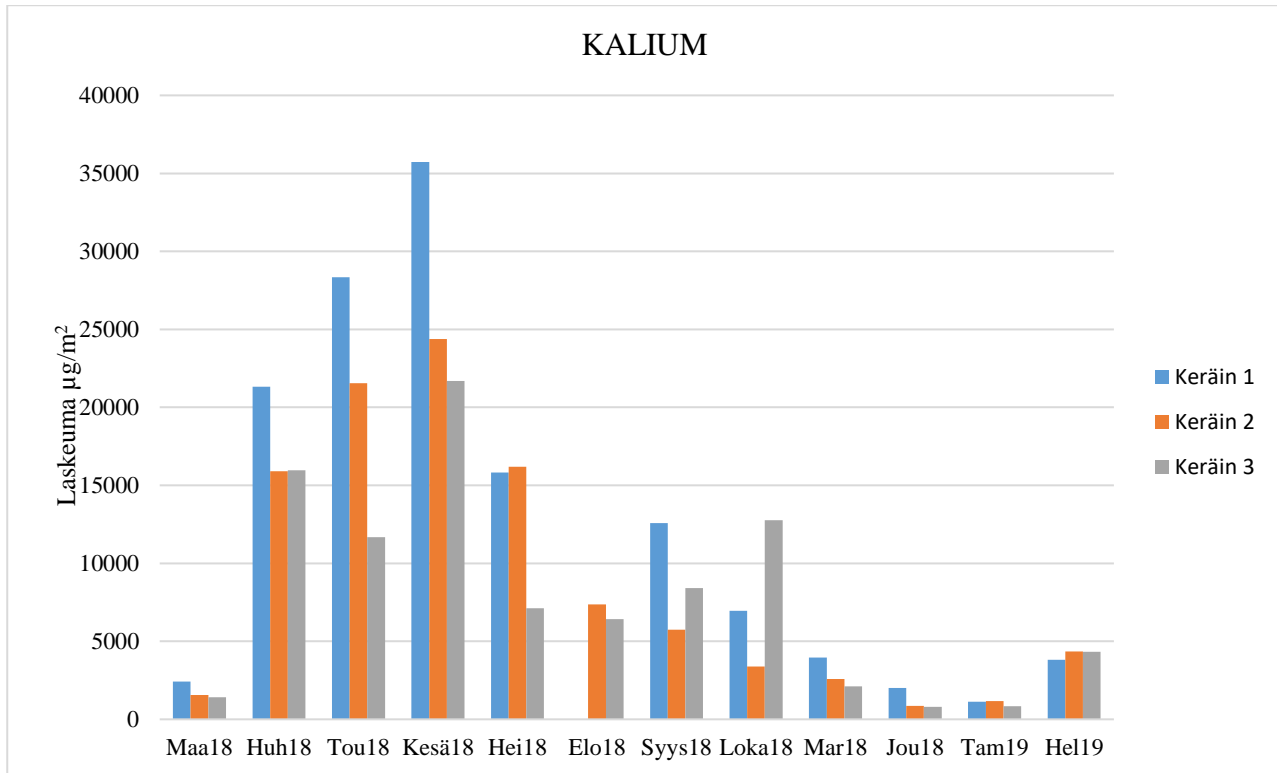
KUVIO 11. Kuparin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

Lumitutkimuksessa näytealalla 3 ja teollisuusalueen lähellä olevilla näytealoilla olivat korkeat kuparipitoisuudet, mutta silti pitoisuuksilla ja teollisuusalueen etäisyydellä näytealoista oli heikko riippuvuus-suhde (Gleviczky ym. 2010, 34). Kun verrataan sammaleen ja lumen kuparipitoisuuksia, ei vuodenaikojen vaihtelulla ole vaikutusta. Siellä, missä lumitutkimuksen näytealalla oli korkea kuparipitoisuus talvella, oli yleensä myös sammaleessa korkea pitoisuus kesällä, ja näiden kahden menetelmän välillä oli vahva riippuvuus. (Slotte 2010, 44.)

8.3.6 Natrium, kalium ja kalsium

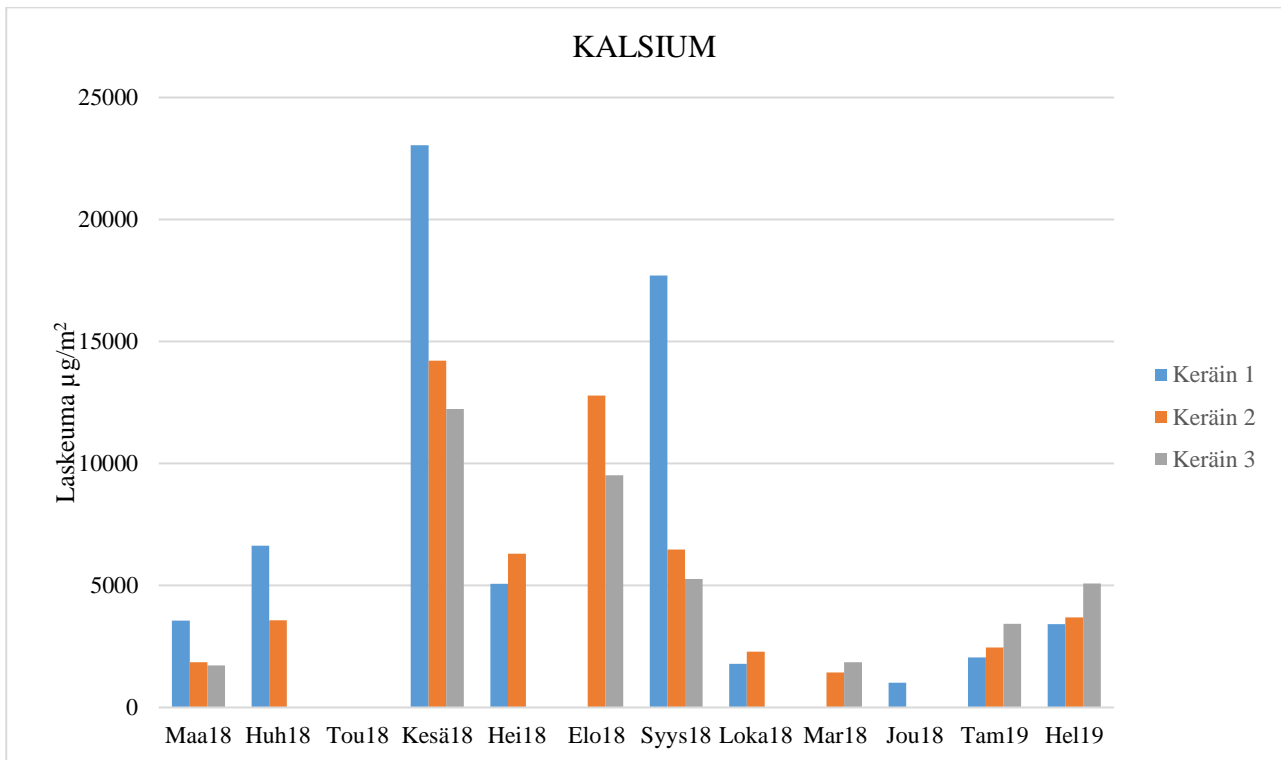
Natriumista ei saatu tarvittavia tietoja, koska kaikki pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan. Kaliumin laskeumamäärät ovat korkeimmillaan lumettomina kuukausina, mikä viittaa siihen, että ainakin osa kaliumista olisi peräisin merivedestä haihtumisen seurauksena (KUVIO 12). Kaliumin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,001–0,036 g/m², keräimessä 2 välillä 0,0009–0,0244 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,0008–0,0217 g/m². Merituuli-ilmiöllä voi olla osuutta kevään ja alkukesän kaliummääriin. Bioindikaattoritutkimuksen ja lumitutkimuksen välillä oli heikko riippuvuus, mikä vahvistaa vuoden-

aikojen vaihtelun merkitystä kaliumin laskeumamäärissä (Slotte 2010, 54). Lumitutkimuksessa suurimmat kaliumin pitoisuudet esiintyivät näytealalla 3, mikä viittaa siihen, että kalium olisi peräisin Yara Suomi Oy:n toiminnoista (Gleviczky ym. 2010, 28). Yara Suomi Oy:n kaliumsulfaattitehdas sijaitsee sekä tämän tutkimuksen näytepisteiden että lumitutkimuksen näytealan 3 läheisyydessä.



KUVIO 12. Kaliumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

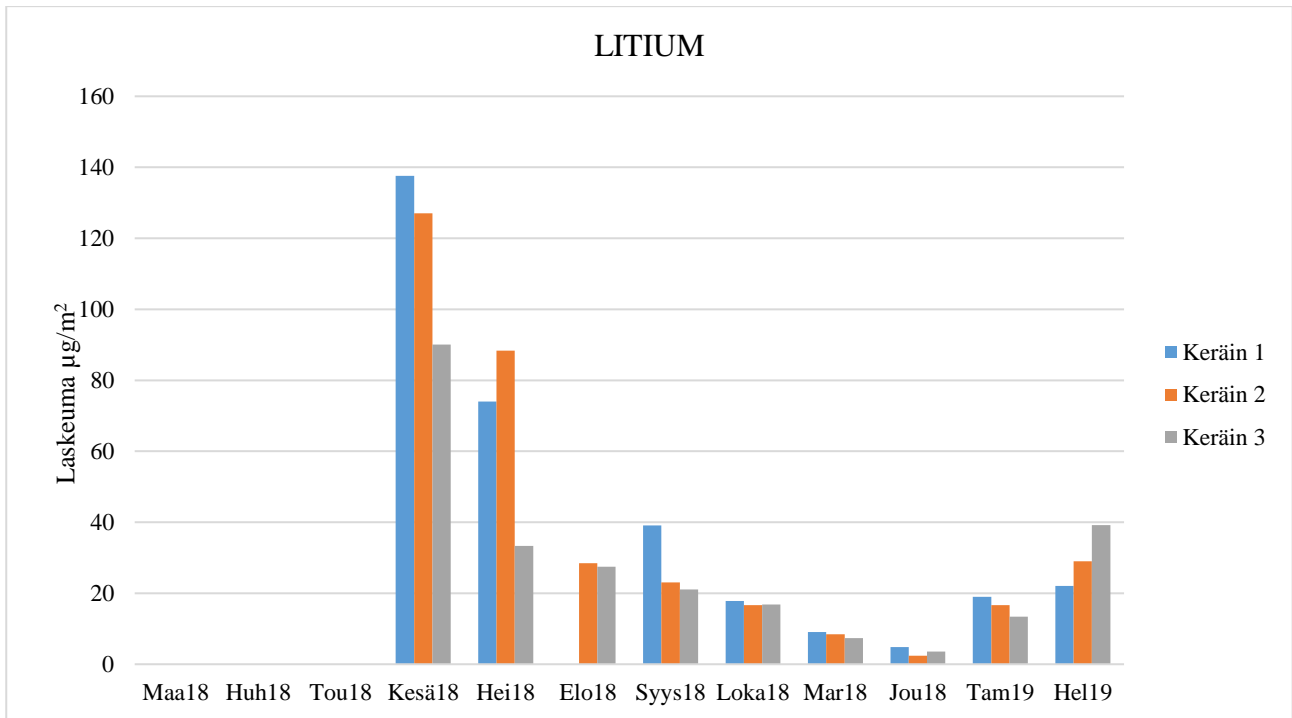
Kalsiumille ei pystytty laskemaan kuukausikohtaista laskeumaa jokaiselle keräysjaksolle tai keräimelle, koska pitoisuudet jäivät alle määrittäysrajan joinakin kuukausina. Talvikuukausina on havaittavissa vähäisempää kalsiumin laskeumaa (KUVIO 13). Kalsiumin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,001–0,023 g/m², keräimessä 2 välillä 0,001–0,014 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,001–0,012 g/m². Kuten lumi- ja bioindikaattoritutkimusten vertailu osoitti, iso osa kalsiumista on peräisin merivedestä (Slotte 2010, 39–40). Lumitutkimuksen näytealalla 3 esiintyivät suurimmat kalsiumpitoisuudet, mikä viittaa myös siihen, että suurteollisuusalueen toiminnoista tulee kalsiumpäästöjä (Gleviczky ym. 2010, 30). Läheisyydessä sijaitsevat Tetra Chemicalsin kalsiumkloriditehdas ja Nordkalkin kalkkikiven jauhatuslaitos. Kaikissa Kokkolan satamanosissa käsitellään kalkkipohjaisia tuotteita, kuten kalkkikiveä (Ympäristölupa Kantasatama 2015, 6; Ympäristölupa Syväsatama 2015, 7; Ympäristölupa Hopeakiven satama 2015, 7). Talvella teiden suolaus CaCl₂:lla voi vaikuttaa kalsiumin määriin teiden läheisyydessä.



KUVIO 13. Kalsiumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

8.3.7 Litium

Litiumin laskeumamäärät olivat hyvin pieniä, eikä kolmelta ensimmäiseltä keräysjaksolta ole laskeumamääriä saatavilla (KUVIO 14). Litiumin kuukausilaskeuma vaihteli keräimessä 1 välillä 0,000039–0,000137 g/m², keräimessä 2 välillä 0,000016–0,000126 g/m² ja keräimessä 3 välillä 0,000003–0,000090 g/m².



KUVIO 14. Litiumin kuukausikohtainen kokonaislaskeuma

8.4 Partikkelikokojakauma

Partikkelikokojakauma pystyttiin määrittämään vain osalle näytteistä. Kiintoaineen vähyys vaikeutti analyyseja. Kiintoaineen määrä oli selvästi vuodenaikariippuvainen, ja kokojakauma saatiin määritetty tarkkailujaksoille tou18, kesä18, hei18, elo18, syys18 ja loka18. Talvikuukausina kiintoainetta oli liian vähän, ja määrittäminen ei onnistunut. Näytteet olivat liian laimeita, ja niitä jouduttiin väkevöimään haihduttamalla. Näytteistä jouduttiin myös ottamaan useita otoksia, jotta saataisiin edustava tulos. Tämän vuoksi tuloksiin on suhtauduttava viitteellisinä. Partikkelikokojakauman keskimääräinen jakaumatilasto em. keräysjaksoista ja kaikista keräimistä laskettuna on $d(0,1)$ 15,30 μm , $d(0,5)$ 74,58 μm ja $d(0,9)$ 452,44 μm .

9 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia, mitä metallihiukkasia leviää Keliberin kemiantehtaan tontille. Työn tarkoituksena oli myös määrittää hiukkasten partikkelikokojakauma. Työn kannalta kiinnostavimmat olivat tietyt metallihiukkaset, kuten kupari, sinkki, koboltti, rauta, alumiini, kalium ja kalsium.

Ilmakeräilynäytteitä kerättiin 6.3.2018–5.3.2019 kuukauden keräysjaksoilla. Metallit analysoitiin Eurofins Labtium Oy:n laboratorioissa ICP-MS- ja ICP-OES-menetelmillä. Partikkelikokojakauma määritettiin laserdiffraktiomenetelmällä. Tuloksissa pohdittiin sään ja vuodenaikojen merkitystä hiukkasten leviämisen kannalta. Tuloksia verrattiin alueella aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tuloksiin ja tarkasteltiin suurteollisuusalueella toimivien tehtaiden vaikutusta hiukkasten esiintymiseen ja leviämiseen.

Korkeimmat keskimääräiset kuukausilaskeumat olivat raudalla, sinkillä ja alumiinilla. Tämä tulos ei yllätä, kun ottaa huomioon suurteollisuusalueen toiminnot. Tulokset eivät myöskään poikkeaa aikaisemmin alueella tehdyistä tutkimuksista, varsinkin jos tarkastellaan ihmistoiminnoista peräisin olevia päästöjä. Kaikilla tutkimuksen kiinnostuksen kohteena olevilla metalleilla laskeumamäärät olivat suurimmillaan kesällä. Tämän tutkimuksen mukaan sinkillä ja raudalla laskeumamäärät olivat matalimmillaan talvi-kuukausina, vaikka eräissä tutkimuksissa oli todettu, että tehtaiden päästöjen leviämiseen eivät vuodenaajat vaikuta, vaan päästöjä leviää ympäri vuoden. Vuodenajoilla on varmasti suurempi merkitys hajapäästölähteiden hiukkasten leviämiseen kuin pistemäisistä lähteistä peräisin olevien hiukkasten leviämiseen. Hajapäästölähteinä toimivat usein esim. rikastekasat, jätealueet ja ajoväylille levinnyt pöly, jotka talvisin peittyvät lumen ja jään alle. Keväällä lumien sulaessa ja teiden ja tehdasalueiden kuivuessa liikenne nostattaa ilmaa hiukkaspitoista pölyä, joka leviää tuulten mukana laajemmalle. Pistemäisinä lähteinä toimivat useimmiten korkealla olevat piipun päät, joista päästöjä syntyy tasaisesti ympäri vuoden.

Partikkelikokojakaumia määritettäessä kiintoaineen vähyys vaikutti tuloksiin siten, että niihin on suhtauduttavat viitteellisinä. Näytteiden partikkeleista keskimäärin 50 % on n. 75 µm:ä pienempiä ja 50 % sitä suurempia. Voitaneen olettaa, vaikka partikkelikokojakauman määrittäminen ei onnistunut optimaalisesti, jakauman tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tehtaan ilmanvaihtoa suunniteltaessa.

Vuosi tutkimuksen suorittamisessa oli pitkä aika, mutta se sopi hyvin muun opiskelun lomaan. Koska tutkimusjakso oli koko vuosi, pystyi arvioimaan, kuinka sää ja vuodenajat vaikuttavat hiukkasten leviämiseen. Laskeumanäytteiden lisäksi olisi ollut mielenkiintoista ottaa luminäytteitä talven 2018–2019 lumipeitteestä ja vertailla keskenään näiden tuloksia.

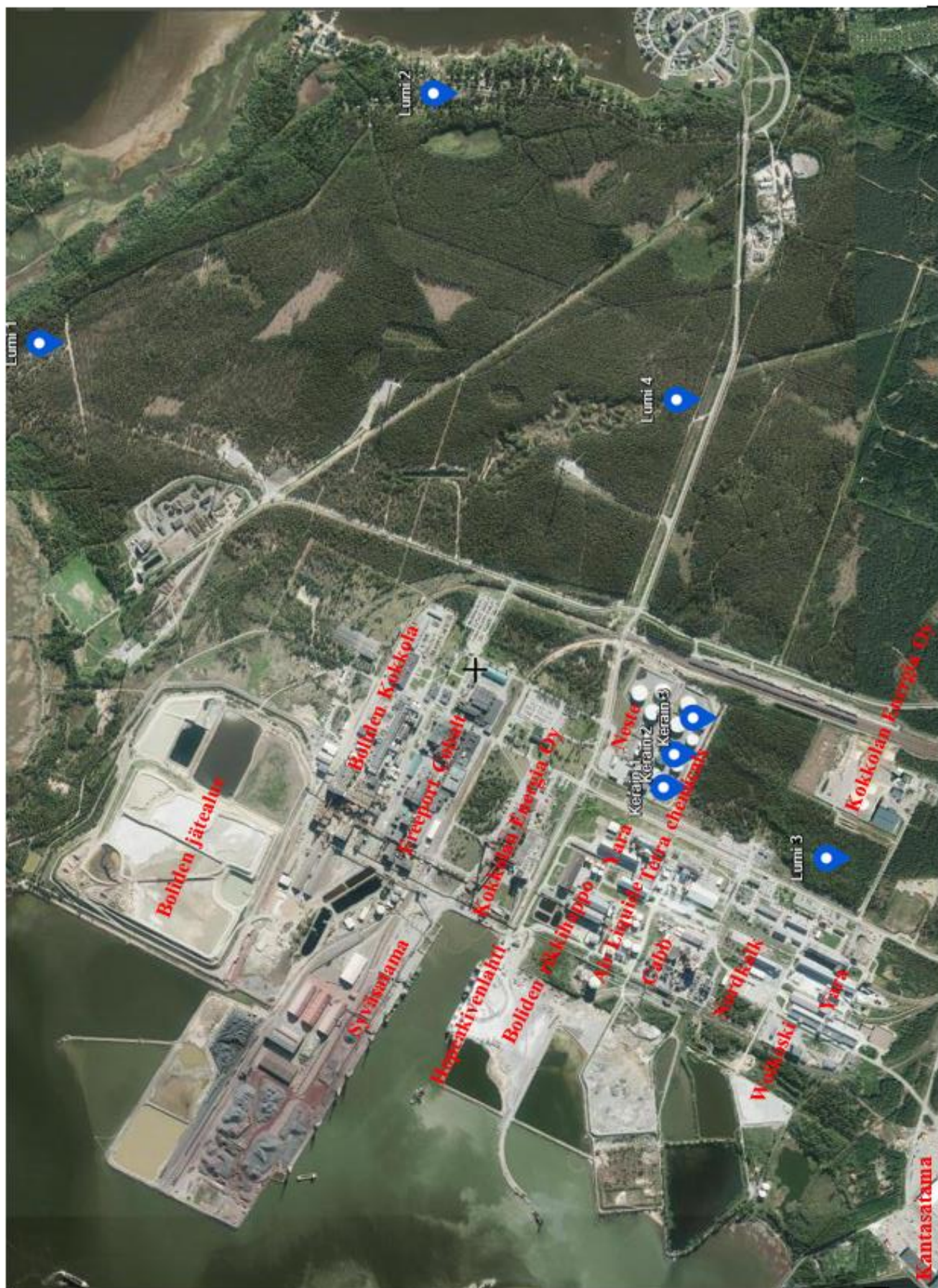
Vaikka alueella onkin tehty erilaisia ilmanlaatatutkimuksia, antaa tämäkin tutkimus omalta osaltaan arvokasta lisätietoa alueen ilmanlaadusta ja metallihiukkasten leviämisestä suurteollisuusalueella.

LÄHTEET

- Amodio, M., Andriani, E., Dambruoso, P.R., de Gennaro, G., Di Gilio, A., Intini, M., Palmisani, J. & Tutino, M. 2013. A monitoring strategy to assess the fugitive emission from a steel plant. *Atmospheric Environment* 79, 2013, 455-461. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.centria.fi/science/article/pii/S1352231013005220>. Viitattu 5.6.2019.
- Envineer Oy. 2018. Keliber Oy litiumkemiaan tehdas, Kokkola. Yva-ohjelma. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kokkolan_litiumkemiaan_tehdas_Kokkola/Kokkolan_litiumkemiaan_tehdas_Kokkola\(45663\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kokkolan_litiumkemiaan_tehdas_Kokkola/Kokkolan_litiumkemiaan_tehdas_Kokkola(45663)). Viitattu 26.5.2019.
- Gleviczky, V., Koljonen, R. & Uusimäki, T. 2010. Preliminary study of the pollution in the snow in Kokkola during winter 2009-2010. Kokkolan kaupungin ympäristötoimi.
- Hassim, M. H., Hurme, M., Amyotte, P. R. & Khan, F. I. 2012 Fugitive emissions in chemical processes: The assessment and prevention based on inherent and add-on approaches. *Journal of loss prevention in the process industries* 25, s 820-829. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.centria.fi/science/article/pii/S0950423012000447> . Viitattu 5.6.2019.
- Hautala, M. 2019a. Kokkolan kaupungin ympäristöinsinöörin henkilökohtainen tiedonanto, sähköpositiivisesti. 9.5.2019.
- Hautala, M. 2019b. Ilmanlaadun vuositarkkailuraportti 2018. Kokkola: Kokkolan kaupunki, ympäristöpalvelut. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/palvelut/ymparisto_ja_luonto/ilmanlaatu/fi_FI/ilmanlaadun_valvonta/files/100598348966344844/default/Ilmanlaaduntarkkailun%20vuosiraportti%202018.pdf. Viitattu 12.12.2019.
- Hernández-Pellón, A. & Fernández-Olmo, I. 2019. Airborne concentrations and deposition of trace metals and metalloids in an urban area downwind of a manganese alloy plant. *Atmospheric pollution research* 10, s 712-721. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.centria.fi/science/article/pii/S1309104218305488> . Viitattu 6.6.2019.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E. & Laita, M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuksen tiedonantoja 177. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/palvelut/ymparisto_ja_luonto/ilmanlaatu/bioindikaattoritutkimus/fi_FI/bioindikaattoritutkimus/files/12688888650082861/default/kokkola-pietarsaari_raportti_suomi.pdf. Viitattu 26.5.2019.
- Iikkanen, P. & Mukula, M. 2014. Ratayhteyden Iisalmi-Ylivieska-Kontiomäki kehittäminen. Kehittämismavaihtoehtojen hankearviointi. Liikenneviraston suunnitelmia 5/2014. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ls_2014-05_ratayhteyden_iisalmi_web.pdf. Viitattu 12.12.2019.
- Ilmatieteen laitos. Tilastoja vuodelta 1961. Verkkajulkaisu. Helsinki: Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>. Viitattu 15.10.2019.
- Ilmatieteen laitos. 2019. Merituuli ja maatuuli. Verkkajulkaisu. Helsinki: Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/merituuli-ja-maatuuli> . Viitattu 10.6.2019.

- Jaarinen, S. & Niiranen, J. 2018. Laboratorion analyysitekniikka. 5.-6.painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Keliber Oy 2017. Keliber lyhyesti. Saatavissa: <https://www.keliber.fi/yritys/keliber-lyhyesti/>. Viitattu 25.5.2019.
- Keliber Oy 2019. Lithium project. Definite feasibility study report. Volume 1 – executive summary. Saatavissa: https://www.keliber.fi/site/assets/files/1889/executive_summary_of_the_updated_definitive_feasibility_study_id_17398.pdf. Viitattu 1.12.2018.
- Kinnunen, V-P. 2019. Kokkolan Energian käyttöpäällikön henkilökohtainen tiedonanto, puhelu. 14.6.2019.
- Kokkolan Energia Oy. Tuotannon esittely. Saatavissa: <https://www.kokkolanenergia.fi/fi/yritys/tuotantomuodot/>. Viitattu 26.5.2019.
- Kokkolan kaupunki. 2018. Ilmanlaadun valvonta. Www-dokumentti. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/palvelut/ymparisto_ja_luonto/ilmanlaatu/fi_FI/ilmanlaadun_valvonta/. Viitattu 29.11.2018.
- Koljonen, R. 2012. Metallit Kokkolan yhdyskuntailman hiukkasissa 2010. Kokkola: Kokkolan kaupunki, ympäristöpalvelut. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/palvelut/ymparisto_ja_luonto/ilmanlaatu/fi_FI/ilmanlaadun_valvonta/files/87326488866595257/default/Metallit%20Kokkolan%20yhdyskuntailman%20hiukkasissa%202010.pdf. Viitattu 1.12.2018.
- Koljonen, R. 2015. Ilmanlaaduntarkkailun vuosiraportti 2015. Kokkola: Kokkolan kaupunki, ympäristöpalvelut.
- Lahtinen, T. 2018a. Ilmanlaaduntarkkailun vuosiraportti 2016. Kokkola: Kokkolan kaupunki, ympäristöpalvelut.
- Lahtinen, T. 2018b. Ilmanlaaduntarkkailun vuosiraportti 2017. Kokkola: Kokkolan kaupunki. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/palvelut/ymparisto_ja_luonto/ilmanlaatu/fi_FI/ilmanlaadun_valvonta/files/100598348966344844/default/Ilmanlaaduntarkkailun%20vuosiraportti_2017_final.pdf. Viitattu 26.5.2019.
- Lapp, T., Iikkanen, P. & Lepistö, A. 2017. Kokkolan ja Ykspihlajan ratapihojen tarveselvitys. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lr_2017_kokkolan_ykspihlajan_web.pdf. Viitattu 12.12.2019.
- Malvern Panalytical. 2019. Laser diffraction. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.malvern-panalytical.com/en/products/technology/light-scattering/laser-diffraction>. Viitattu 15.8.2019.
- Mastersizer 2000 user manual. 2007. Käyttöohje. Saatavissa: https://www.labmakelaar.com/fjc_documents/mastersizer-2000-2000e-manual-eng1.pdf. Viitattu 14.8.2019.
- Nikkarinen, M., Kollanus, V., Ahtoniemi, P., Kauppila, T., Holma, A., Räisänen, M-L., Makkonen, S. & Tuomisto, J.T. 2008. Metallien yhdennetty kohdekohtainen riskinarviointi. Kuopion yliopisto. Kuopion yliopiston Ympäristötieteen laitoksen monistesarja 3/2008. Saatavissa: http://fi.opas-net.org/fi_wiki/images/c/c7/Finmerac-raportti.pdf. Viitattu 15.6.2019.

- Nissinen, A. 2014. Boliden Kokkolan hiukkasmaisten hajapäästöjen arviointi. Opinnäytetyö. Kokkola: Centria-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405229219>. Viitattu 27.5.2019.
- Port of Kokkola. 2018. Kokkolan satama www-sivut. Saatavissa: <https://www.portofkokkola.fi/>. Viitattu 29.11.2018.
- Pöyry. 2017. Boliden Kokkola Oy. Vaarallisen jätteen kaatopaikan laajentaminen. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B97FDE4BE-E872-4571-9FD1-EF608CF7E042%7D/132060>. Viitattu 12.12.2019.
- Saari, H., Salmi, J., Vestenius, M., Kyllönen, K., Makkonen, U., Wemberg, A., Laakia, J. & Latikka, J. 2018. Outokumpu Stainless Oy. Ilmanlaatumittaukset Tornion tehtaan ympäristössä. Rikkidioksidin, elohopean, hengitettävien hiukkasten, arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuudet vuonna 2017. Loppuraportti. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: http://expo.fmi.fi/aqes/public/Tornio_Outokumpu_Ilmanlaatumittausten_2017_loppuraportti.pdf. Viitattu 14.8.2019.
- Slotte, E. 2010. Comparison between snow, moss and groundwater as indicators for air pollution in Kokkola, Finland. Pro gradu -tutkielma. Ympäristötekniikka. De Montfort University.
- SINNE projektiesite. Älykäs ympäristömittausverkko. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://cinecampus.fi/site/assets/files/1044/sinne-estittely.pdf> . Viitattu 1.12.2018.
- SFS 3865. Laskeuman määrittäminen. 1978. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 15841. Ambient air quality. Standard method for determination of arsenic, cadmium, lead and nickel in atmospheric deposition. 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://online.sfs.fi> . Viitattu 6.7.2019.
- Wills, B.A. 2006. Wills' mineral processing technology. 7. painos. Oxford: Elsevier Science & Technology.
- Ympäristölupa Hopeakiven satama. 2015. Päätös nro 181/2015/1. Aluehallintovirasto Länsi- ja Sisä-Suomi. Saatavissa: <https://portofkokkola.fi/wp-content/uploads/2019/05/Hopakiven-satama-toim.lupa-201015.pdf>. Viitattu 12.12.2019.
- Ympäristölupa Kantasatama. 2015. Päätös nro 183/2015/1. Aluehallintovirasto Länsi- ja Sisä-Suomi. Saatavissa: <https://portofkokkola.fi/wp-content/uploads/2019/05/Kantasatama-toim.lupa-201015.pdf>. Viitattu 12.12.2019.
- Ympäristölupa Syväsatama. 2015. Päätös nro 182/2015/1. Aluehallintovirasto Länsi- ja Sisä-Suomi. Saatavissa: <https://portofkokkola.fi/wp-content/uploads/2019/05/Syva%CC%88satama-toim.lupa-201015.pdf>. Viitattu 12.12.2019.



Kuukausilaskema, kaikki tulokset MAA18 (6.3.-3.4.2018)

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ag *	As *	Be *	Bi *	Cd *	In *	La *	Mo *
Keräin 1	10,30	92,70	0,00	7,63	62,41	1,59	9,88	7,39
Keräin 2	6,41	49,90	0,00	2,75	33,03	1,09	6,01	5,16
Keräin 3	5,77	50,44	0,00	3,06	29,49	1,01	6,73	5,91

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Se *	Sn *	Th *	U *
Keräin 1	110,88	1284,48	12,06	5,98	3,34	4,27	0,00	1,61
Keräin 2	66,57	670,69	8,41	9,71	0,00	4,53	0,00	1,25
Keräin 3	69,98	444,42	9,04	8,91	0,00	2,84	0,00	1,15

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *
Keräin 1	46,17	0,00	6,91	0,56	7210,05	233,87	3556,55	2496,25
Keräin 2	35,74	1,88	4,83	0,41	4729,87	130,63	1856,91	2132,19
Keräin 3	33,81	2,52	4,73	0,40	5044,00	111,79	1722,23	3853,44

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Cr *	Cu *	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *	S *
Keräin 1	95,12	558,02	238113,36	2417,49	2423,55	381,71	1666,19	12299,49
Keräin 2	69,07	332,34	198203,88	1551,60	1461,50	256,76	750,77	5805,97
Keräin 3	132,23	280,83	191763,05	1422,32	1685,88	262,65	527,12	5407,54

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	0,00	654,36	16358,93
Keräin 2	0,00	680,70	8959,22
Keräin 3	0,00	704,34	8224,91

Kuukausilaskema, kaikki tulokset HUH18 (3.4.-30.4.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Cd *	Cr *	In *	La *	Mo *	Ni *	Pb *	Rb *
Keräin 1	15,54	65,32	71,71	253,90	1,12	37,02	23,26	167,26	480,66	126,37
Keräin 2	9,84	44,79	42,51	135,03	0,75	25,13	11,34	139,04	250,00	91,04
Keräin 3	10,21	38,07	39,97	121,24	0,66	22,40	10,64	122,12	215,24	80,68

µg/m ²	Sb *	Sn *	Th *	Tl *	U *	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *
Keräin 1	5,31	6,59	10,49	1,69	5,62	166,49	11,86	18,55	1,63	37212,55	312,04
Keräin 2	3,81	4,96	7,29	1,15	3,28	119,65	8,70	12,93	1,16	27406,48	219,25
Keräin 3	4,91	4,47	6,30	1,05	2,45	101,62	9,37	9,17	0,83	24452,57	183,03

µg/m ²	Ca *	Co *	Cu *	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *	S *
Keräin 1	6628,49	990,40	893,49	376001,78	21319,69	15524,61	1027,22	6783,54	19769,17
Keräin 2	3569,53	751,34	485,30	266043,40	15909,13	11684,52	712,57	5828,89	11724,63
Keräin 3	0,00	827,29	573,98	231347,63	15960,06	10469,21	636,94	4802,66	11259,89

µg/m ²	Ti *	Zn *
Keräin 1	3818,16	17443,38
Keräin 2	2740,65	10454,57
Keräin 3	2459,90	9766,38

Kuukausilaskeuma, kaikki tulokset TOU18 (30.4.-31.5.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Bi *	Cd *	In *	La *	Mo	Ni *	Pb *	Rb *
Keräin 1	71,43	272,71	13,12	360,50	5,74	68,76	27,97	340,47	4339,32	177,24
Keräin 2	37,92	135,86	7,44	127,21	2,54	42,89	14,89	226,44	2172,36	130,89
Keräin 3	23,03	78,39	4,55	76,10	1,50	25,57	8,41	144,72	1471,30	64,76

µg/m ²	Sb *	Se *	Sn *	Th *	Tl *	U *	V *	W *	Y *	Yb *
Keräin 1	22,76	53,07	13,99	15,96	6,61	14,92	214,30	22,66	39,72	3,07
Keräin 2	11,01	22,46	9,63	9,90	3,44	8,19	135,68	12,67	25,41	2,10
Keräin 3	6,87	17,00	5,73	5,63	2,16	5,10	69,95	8,85	14,83	1,27

µg/m ²	Al *	Ba *	Co *	Cr *	Cu *	Fe *	K *	Mg *	Mn *
Keräin 1	51404,29	1114,87	1271,76	383,86	6108,43	367173,53	28339,12	21095,79	2279,81
Keräin 2	37556,02	554,14	953,63	324,01	4418,35	196984,98	21539,48	16127,00	1594,29
Keräin 3	19778,13	268,93	665,70	217,08	3135,56	110226,91	11685,98	8550,42	916,55

µg/m ²	P *	S *	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	17824,61	76105,06	202,28	5107,05	87787,85
Keräin 2	11174,76	28719,31	146,36	3847,65	28903,40
Keräin 3	8466,01	18210,35	85,38	2013,99	18330,95

Kuukausilaskema, kaikki tulokset KESÄ18 (31.5-28.6.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	In *	La *	Li *	Mo	Ni *
Keräin 1	216,75	631,19	25,31	549,62	809,83	12,86	91,70	137,55	68,48	586,53
Keräin 2	152,95	336,80	17,89	278,40	383,15	7,79	61,80	126,99	35,22	355,34
Keräin 3	134,16	355,93	17,34	300,87	310,30	8,00	45,33	90,05	35,59	340,72

µg/m ²	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Th *	Tl *	U *	V *
Keräin 1	6907,42	198,89	67,88	25,78	90,51	30,67	0,00	8,93	21,02	370,38
Keräin 2	3893,25	151,71	37,70	18,88	54,38	25,40	15,05	5,10	15,08	220,93
Keräin 3	4106,88	102,52	49,28	14,33	59,93	23,79	0,00	5,45	11,71	174,01

µg/m ²	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Cu *	Fe *
Keräin 1	40,13	59,01	4,88	63714,95	1196,89	23044,57	2757,01	15839,42	1625624,50
Keräin 2	24,53	38,62	3,37	48820,10	710,67	14213,45	2153,65	5129,20	778649,64
Keräin 3	25,31	32,55	2,92	37418,24	590,17	12229,37	2181,21	8730,92	614510,88

µg/m ²	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Ti *	Zn *
Keräin 1	35728,01	26021,90	5192,47	13517,10	150653,11	6252,40	126238,97
Keräin 2	24379,15	19682,53	3398,87	8651,66	63651,52	4943,81	64887,47
Keräin 3	21690,41	14845,61	3194,24	9704,40	73619,62	4015,62	76357,54

Kuukausilaskema, kaikki tulokset HEI18 (28.6.-30.7.2018)

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	27,16	97,28	5,76	93,70	136,38	2,79	27,90	74,01	17,01
Keräin 2	22,30	90,06	4,80	69,60	138,21	2,46	33,66	88,35	11,42
Keräin 3	13,73	31,59	0,00	24,69	59,45	1,04	13,73	33,34	12,46

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Th *	Tl *	U *
Keräin 1	250,67	1626,36	83,71	16,26	8,86	25,22	11,41	7,80	2,09	5,34
Keräin 2	252,84	1619,32	88,92	13,88	9,42	15,48	13,92	9,63	1,92	5,57
Keräin 3	86,52	284,97	43,58	7,58	4,90	7,79	11,75	4,36	0,76	2,53

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Cu *
Keräin 1	88,48	12,68	14,71	1,21	24320,86	347,65	5073,06	1010,14	8116,90
Keräin 2	90,91	9,25	15,63	1,34	26562,56	377,84	6306,83	1448,87	7897,75
Keräin 3	44,29	5,05	8,26	0,75	12383,05	103,19	0,00	381,02	1365,31

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Ti *	Zn *
Keräin 1	146223,60	15816,02	11384,55	1278,71	6147,36	30289,18	2790,19	29990,76
Keräin 2	125284,38	16193,22	12642,08	1974,44	6576,72	19744,36	2968,76	23011,42
Keräin 3	59772,03	7112,32	5675,56	565,18	4627,77	8017,23	1508,19	8175,99

Kuukausilaskema, kaikki tulokset ELO18 (30.7.-30.8.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Cd *	Cr *	In *	La *	Li *	Mo	Ni *
Keräin 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Keräin 2	13,70	43,26	39,07	21,37	1,03	32,93	28,43	7,45	452,03
Keräin 3	11,22	38,40	34,92	3,68	1,12	27,95	27,47	8,07	313,39

µg/m ²	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Th *	Tl *	U *	V *
Keräin 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Keräin 2	692,37	41,83	11,35	4,25	6,36	9,60	4,83	0,85	2,46	44,49
Keräin 3	598,73	35,21	11,41	3,62	8,75	7,95	4,42	0,72	2,49	39,66

µg/m ²	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Cu *	Fe *
Keräin 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Keräin 2	0,00	12,48	0,90	13908,70	176,93	12783,74	425,44	1973,81	121701,16
Keräin 3	3,72	10,74	0,80	11607,02	127,68	9517,75	625,81	1779,74	111233,90

µg/m ²	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Keräin 2	7363,43	5532,80	509,30	10636,07	10942,88	181,02	1288,60	13601,89
Keräin 3	6422,55	4584,77	404,31	9672,51	9769,24	143,15	1073,65	12961,17

Kuukausilaskema, kaikki tulokset SYYS18 (30.8.-28.9.2018)

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	82,99	260,91	8,58	1798,63	154,60	5,69	30,25	39,14	26,09
Keräin 2	28,66	97,89	0,00	564,31	89,06	2,07	15,61	23,03	12,19
Keräin 3	31,99	133,08	0,00	662,84	86,63	4,44	15,23	21,11	10,26

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Tl *	U *
Keräin 1	960,38	15765,76	65,78	179,31	7,66	41,08	33,59	17,15	7,38
Keräin 2	620,61	5374,34	34,29	61,42	4,21	14,84	12,92	5,75	3,22
Keräin 3	391,56	5540,69	32,12	69,35	3,15	26,49	15,36	6,67	3,37

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Cu *
Keräin 1	107,14	12,21	17,65	1,44	20179,06	3691,63	17708,72	510,72	3441,82
Keräin 2	53,62	6,54	8,80	0,72	11043,00	943,07	6474,81	360,85	2072,96
Keräin 3	42,48	4,95	7,09	0,60	9008,42	858,62	5259,18	483,69	1650,69

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Ti *	Zn *
Keräin 1	477413,90	12573,75	11019,38	1040,87	6883,64	217334,35	2345,43	333079,46
Keräin 2	236727,06	5745,43	5412,73	523,36	3838,82	71274,04	1251,45	107614,84
Keräin 3	220092,19	8419,81	4376,25	459,38	3710,86	78823,71	1150,37	121050,70

Kuukausilaskeuma, kaikki tulokset LOKA18 (28.9.-31.10.2018)

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ag *	As *	Cd *	In *	La *	Li *	Mo	Ni *	Pb *
Keräin 1	3,50	15,45	31,26	0,30	12,61	17,85	6,38	148,29	412,90
Keräin 2	3,25	11,47	22,75	0,20	11,28	16,66	7,91	120,56	276,13
Keräin 3	2,63	7,91	15,86	0,20	9,23	16,78	4,84	80,65	205,60

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Rb *	Sb *	Sc *	Sn *	Tl *	U *	V *	W *	Y *
Keräin 1	24,33	4,69	3,00	2,80	0,55	0,99	42,36	3,09	6,27
Keräin 2	21,78	4,58	3,69	3,42	0,37	1,26	38,76	1,91	5,83
Keräin 3	32,06	2,84	2,95	6,13	0,34	0,74	30,38	2,93	5,47

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Cr *	Cu *	Fe *
Keräin 1	0,44	10033,95	170,49	1784,80	206,01	0,00	582,50	70060,09
Keräin 2	0,43	10760,03	113,43	2281,65	175,01	123,16	581,43	116026,85
Keräin 3	0,43	10070,17	0,00	0,00	161,12	109,93	545,47	50099,08

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	6952,73	4830,51	308,12	5798,38	0,00	54,25	744,11	6633,07
Keräin 2	3383,58	4096,59	248,26	3947,51	5256,86	41,68	751,91	4608,66
Keräin 3	12755,55	3944,15	246,72	8895,31	0,00	0,00	636,10	3633,65

Kuukausilaskema, kaikki tulokset MAR18 (31.10.-30.11.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	21,24	509,96	19,58	44,68	58,81	7,23	7,67	9,08	17,84
Keräin 2	12,85	299,08	11,85	28,69	74,77	4,47	7,53	8,42	25,75
Keräin 3	12,14	306,42	12,09	24,39	35,45	4,37	6,74	7,38	9,89

µg/m ²	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Th *	Tl *
Keräin 1	75,70	1839,32	16,10	44,13	3,79	11,84	11,13	6,74	2,40
Keräin 2	79,76	1368,03	14,46	26,53	3,04	7,03	7,48	4,43	1,57
Keräin 3	42,89	1187,17	12,19	27,22	3,26	7,43	6,63	3,50	1,53

µg/m ²	U *	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *
Keräin 1	1,26	40,02	8,76	3,41	0,37	7286,24	149,99	0,00
Keräin 2	1,34	28,25	8,36	3,32	0,35	6369,38	241,48	1434,50
Keräin 3	1,04	29,30	6,58	3,24	0,34	6042,79	95,72	1850,27

µg/m ²	Co *	Cu *	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *
Keräin 1	175,25	335,50	132620,63	3970,72	2897,13	371,81	2936,60
Keräin 2	149,54	217,67	69232,40	2586,52	2547,75	286,90	1550,81
Keräin 3	152,94	226,20	75401,25	2106,96	2203,21	270,05	1759,36

µg/m ²	S *	Ti *	Zn *
Keräin 1	15788,17	633,90	10578,07
Keräin 2	8474,05	576,01	6812,47
Keräin 3	8663,12	516,04	5882,37

Kuukausilaskema, kaikki tulokset JOU18 (30.11 - 28.12.2018)

µg/m ²	Ag *	As *	Ba *	Bi *	Cd *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	2,37	27,55	27,01	1,30	9,17	0,51	2,85	4,87	5,90
Keräin 2	1,66	15,40	13,95	0,80	4,25	0,26	1,64	2,41	5,92
Keräin 3	1,43	17,48	19,27	0,80	5,04	0,28	2,48	3,60	3,49

µg/m ²	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Th *	Tl *
Keräin 1	23,63	199,12	3,89	4,59	0,83	1,26	3,02	1,40	0,22
Keräin 2	14,00	132,11	3,00	4,25	0,61	1,01	2,65	0,00	0,12
Keräin 3	15,21	106,47	4,54	3,82	0,78	0,00	2,82	1,06	0,15

µg/m ²	U *	V *	W *	Y *	Yb *	Al *	Ca *	Co *
Keräin 1	0,43	12,05	1,65	1,56	0,17	1792,61	1015,16	302,03
Keräin 2	0,21	8,57	1,65	0,82	0,08	1119,72	0,00	207,00
Keräin 3	0,25	9,69	1,84	1,00	0,10	1530,27	0,00	172,36

µg/m ²	Cr *	Cu *	Fe *	K *	Mg *	Mn *	P *
Keräin 1	46,14	130,04	34397,93	2010,74	679,57	77,74	791,43
Keräin 2	42,73	65,56	45427,37	861,89	481,28	43,95	525,48
Keräin 3	33,18	69,23	27454,23	790,20	654,13	56,58	446,43

µg/m ²	S *	Ti *	Zn *
Keräin 1	1879,30	204,99	2430,23
Keräin 2	1087,80	130,39	1186,02
Keräin 3	1062,36	184,78	1313,03

Kuukausilaskema, kaikki tulokset TAM19 (28.12.2018-2.2.2019)

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	Cu *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	4,03	35,71	1,78	18,94	63,73	371,15	0,64	6,76	18,98	7,04
Keräin 2	3,37	31,50	1,74	17,27	48,56	272,01	0,63	9,28	16,63	5,50
Keräin 3	2,40	23,60	1,26	14,16	22,34	232,92	0,52	8,42	13,41	4,01

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Tl *	U *	V *
Keräin 1	71,08	330,88	6,13	6,97	1,28	2,38	4,59	0,34	0,88	16,11
Keräin 2	64,46	545,74	7,39	6,14	1,17	1,79	6,19	0,31	0,83	15,34
Keräin 3	37,01	243,78	4,21	4,99	0,91	0,00	2,70	0,22	0,59	10,80

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Fe *
Keräin 1	1,62	3,42	0,28	2762,61	51,12	2055,33	819,33	42016,90
Keräin 2	1,03	4,00	0,32	2883,41	207,12	2457,99	717,63	57582,26
Keräin 3	1,25	3,05	0,21	1945,51	62,47	3429,26	475,34	29437,30

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	1134,46	997,90	162,82	1253,50	3711,49	28,12	364,15	4796,93
Keräin 2	1177,43	1173,13	181,77	1310,64	3295,94	35,80	434,02	4340,16
Keräin 3	835,25	692,64	100,84	1633,14	2872,43	53,99	279,43	3531,12

Kuukausilaskeuma, kaikki tulokset HEL19 (2.2.-6.3.2019)

µg/m ²	Ag *	As *	Bi *	Cd *	Cr *	Cu *	In *	La *	Li *	Mo
Keräin 1	18,34	492,19	18,51	35,01	80,72	635,20	6,11	12,81	22,02	21,76
Keräin 2	22,47	625,78	24,08	45,21	89,35	702,77	8,49	13,61	29,01	20,95
Keräin 3	27,41	743,79	27,85	74,16	93,16	994,99	9,96	17,04	39,21	27,20

µg/m ²	Ni *	Pb *	Rb *	Sb *	Sc *	Se *	Sn *	Tl *	U *	V *
Keräin 1	103,53	2439,01	16,84	39,83	2,76	8,64	12,02	2,42	3,43	36,94
Keräin 2	112,80	3285,55	19,16	41,09	2,84	14,41	15,04	3,21	3,66	35,72
Keräin 3	168,20	3768,09	21,52	43,25	3,35	17,04	18,90	4,03	5,04	40,08

µg/m ²	W *	Y *	Yb *	Al *	Ba *	Ca *	Co *	Fe *
Keräin 1	10,00	6,70	0,54	6974,87	219,34	3412,86	804,52	105280,99
Keräin 2	8,07	7,12	0,56	8093,03	327,66	3697,37	1163,82	91315,15
Keräin 3	9,26	9,09	0,73	9807,96	341,86	5078,73	1791,21	144170,51

µg/m ²	K *	Mg *	Mn *	P *	S *	Sr *	Ti *	Zn *
Keräin 1	3825,21	2807,49	536,06	4123,51	17985,50	56,33	738,72	9563,02
Keräin 2	4341,95	3124,41	624,88	4010,70	20143,05	63,74	931,06	12891,55
Keräin 3	4325,12	3669,79	907,62	4740,15	28397,22	86,72	1103,12	20642,60