

PUBLICATIONS OF
THE UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND

**Reports and Studies in
Science, Forestry and
Technology**



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

**HANNA KOPONEN, ANTTI KARJALAINEN,
MARKO HYTTINEN, PERTTI PASANEN & OLLI SIPPULA**

**Työntekijöiden Altistumisen
vähentäminen Syöpävaarallisille
ilman epäpuhtauksille
Kaivosympäristöissä (TASK)**

Loppuraportti

**Työntekijöiden Altistumisen vähentäminen
Syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille
Kaivosympäristöissä (TASK)**

Loppuraportti

Hanna Koponen, Antti Karjalainen, Marko Hyttinen, Pertti Pasanen ja
Olli Sippula

Työntekijöiden Altistumisen vähentäminen Syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille Kaivosympäristöissä (TASK)

Loppuraportti



Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Publications of the University of Eastern Finland
Reports and Studies in Science, Forestry and Technology
No 3

University of Eastern Finland
Kuopio
2023

Punamusta Oy
Joensuu, 2023
Sarjan toimittaja: Raine Kortet

ISBN: 978-952-61-4975-2 (PDF)

ISSN: 2954-1956 (PDF)

Koponen Hanna, Karjalainen Antti, Hyttinen Marko, Pasanen Pertti, Sippula Olli

Työntekijöiden Altistumisen vähentäminen Syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille Kaivosympäristöissä (TASK). Loppuraportti

Kuopio: Itä-Suomen yliopisto, 2023

Publications of the University of Eastern Finland

Reports and Studies in Science, Forestry and Technology 2023; 3

ISBN: 978-952-61-4975-2 (PDF)

ISSN: 2954-1956 (PDF)

TIIVISTELMÄ

Hengitysilman epäpuhtauksina esiintyvät dieselpakokaasu, kiteinen kvartsi ja eräät raskasmetallit ovat karsinogeenisiä, ja lisäksi mm. hengittävällä ja alveolijakeisella pölyllä, nanohiukkasilla ja haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä on haitallisia terveysvaikutuksia ihmisille. Maanalaisen kaivoksen työntekijät voivat altistua säännöllisesti näille ilman syöpävaarallisille ja haitallisille epäpuhtauksille. Työntekijöiden suojelemiseksi syöpävaarallisille yhdisteille altistumista on rajoitettu lainsäädännössä ja lisäksi eri yhdisteille ja pölypitoisuuksille on asetettu haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia ja tavoitetasoja. Tämän hankkeen tavoitteena oli selvittää maanalaisten kaivosten työntekijöiden altistumista syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille, kehittää menetelmiä altistumisen vähentämiseksi sekä testata ja arvioida uusien mittausmenetelmien soveltuvuutta altistumismittauksiin erityisesti dieselpakokaasun osalta. Tässä hankkeessa tehtiin ilman epäpuhtauksien mittauksia laboratoriossa sekä kahdessa maanalaisessa kaivoksessa vuosina 2021–2022. Kaivosmittauksissa selvitettiin sekä työntekijöiden altistumista että kaivosilman laatua. Lisäksi hankkeessa testattiin etalometrien soveltuvuutta dieselnöen mittaamiseen kaivosympäristössä. Dieselpakokaasuille altistuivat eniten lastausalueella työskentelevät työntekijät, ja alveolijakeiselle pölylle ja kiteiselle kvartsille ruiskubetonoijat ja analyysilaboratorion laborantit. Lainsäädännön mukaiset raja-arvot ylittyivät yksittäisillä työntekijöillä dieselpakokaasujen ja

arsenin osalta. Kaivosilman ilmanlaadussa oli paljon vaihtelua lastausalueella ja erityisesti dieselnokipitoisuudet nousivat ajoittain korkeiksi. Etalometreilla mitattu musta hiili korreloi hyvin dieselnokien lainsäädännön mukaisen mittausmenetelmän, alkuainehiilianalyysin, kanssa. Kannettavan mikroetalometrin havaittiin soveltuvan hyvin työntekijöiden dieselpakokaasualtistumisen mittaamiseen: ne mahdollistavat nopean reagoinnin korkeisiin pitoisuuksiin ja niiden avulla voidaan selvittää eniten altistumista aiheuttavat työvaiheet ja tapahtumat. Altistumisen vähentämiseksi suositellaan kiinnittämään huomiota ajoneuvojen ja työkoneiden hyttien sisäilmasuodattimien sekä pakokaasusuodattimien toimivuuteen ja mittaamaan dieselpakokaasujen kaasumaisia yhdisteitä nokipitoisuuden lisäksi. Vaihtelevien pitoisuuksien vuoksi altistumis- ja ilmanlaatumittauksia on suositeltavaa tehdä säännöllisesti eri työntekijäryhmille ja työskentelyalueille.

Avainsanat: Dieselnoki, etalometri, alkuainehiili, musta hiili, kiteinen kvartsi, hengittyvä pöly, alveolijakeinen pöly

Koponen Hanna, Karjalainen Antti, Hyttinen Marko, Pasanen Pertti, Sippula Olli

Reducing workers' exposure to carcinogenic air pollutants in mining environments (TASK). Final report

Kuopio: Itä-Suomen yliopisto, 2023.

Publications of the University of Eastern Finland

Reports and Studies in Science, Forestry and Technology; 3

ISBN: 978-952-61-4975-2 (PDF)

ISSN: 2954-1956 (PDF)

ABSTRACT

Diesel exhaust, crystalline silica and various heavy metals as breathing air pollutants are known to be carcinogenic to humans. In addition, inhalable and respirable dust, nanoparticles, and volatile organic compounds are harmful to human health. The underground mine workers may be frequently exposed to these air pollutants. To protect the workers, exposure to carcinogenic compounds is restricted by legislation and occupational exposure limits and target values have been set for these compounds. The aim of this work was to investigate exposure levels of mine workers to carcinogenic air pollutants, develop methods to control exposure, and test and evaluate the suitability of new measurement methods for occupational diesel exhaust exposure monitoring. The measurements were performed in 2021–2022 in both laboratory and two underground mines. Workers' exposure and ambient mine air quality were investigated, as well as the applicability of aethalometers for diesel exhaust exposure monitoring. The occupational exposure levels to diesel exhaust were the highest near the load haul dumping area, whereas shotcrete operators and laboratory technician had the highest exposure levels to respirable dust and crystalline silica. Personal exposure levels of a few workers exceeded the limit value of diesel exhaust and arsenic. Ambient air quality levels varied greatly and especially diesel exhaust concentrations were occasionally high. Black carbon measured by the aethalometers correlated well with elemental

carbon determined using the analysis method approved by the legislation. Portable micro-aethalometers proved to be suitable for occupational diesel exhaust monitoring: online measurements provide rapid results and time-resolved data can be used to identify the working phases leading to high exposure. Based on the results, it is recommended to pay attention to efficiency of cabin air filters and diesel particulate filters and measure the gaseous compounds of diesel exhaust in addition to soot particles. Due to varying concentrations, regular monitoring of exposure and air quality is also recommended in the mines.

Key words: Diesel exhaust, aethalometer, elemental carbon, black carbon, crystalline silica, inhalable dust, respirable dust

Esipuhe

Tämä loppuraportti tehtiin osana Työsuojelurahaston rahoittamaa hanketta "Työntekijöiden Altistumisen vähentäminen Syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille Kaivosympäristöissä (TASK)". Tavoitteena oli selvittää kaivostyöntekijöiden altistumista syöpävaarallisille altisteille, arvioida dieselnoen uusien mittausmenetelmien toimivuutta ja laatia tulosten pohjalta suosituksia altistumisen vähentämiseksi. Hankkeen toteuttivat Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosolitekniikan laboratorio sekä Sisäympäristön ja työhygienian tutkimusryhmä yhteistyössä kaivosyriyten, Outokumpu Chrome Oy:n ja Agnico Eagle Finland Oy:n kanssa.

Kiitämme Kaisu Lukkarista, Paula Jussheikkiä, Maija Leppästä, Joonas Ruokolaista, Laura Kilpeläistä, Sampsa Väätäistä, Pasi Yli-Pirilää ja Mika Ihalaista osallistumisesta hankkeen toteutukseen. Lisäksi kiitämme Työsuojelurahastoa (hanke 200313), Outokumpu Chrome Oy:tä, Agnico Eagle Finland Oy:tä, Kaivosteollisuus ry:tä, Sitowise Oy:tä ja Sirate Group Oy:tä hankkeen tukemisesta ja rahoittamisesta. Kiitos kaivosyhtiöiden henkilökunnalle hyvästä yhteistyöstä ja avusta kaivosmittausten toteuttamisessa sekä hankkeen ohjausryhmälle neuvoista hankkeen aikana.

Kuopio, syyskuu 2023

Tekijät

Sisällysluettelo

Esipuhe	9
Lyhenneluettelo	11
1 Johdanto	12
2 Menetelmät.....	17
2.1 Laboratoriokokeet.....	17
2.2 Kaivosmittaukset	17
2.3 Mittaus- ja analyysimenetelmät	19
2.4 Riskinarviointi	22
3 Tulokset ja niiden tarkastelu	24
3.1 Kaivostyöntekijöiden altistuminen	24
3.1.1 Kromikaivos.....	24
3.1.2 Kultakaivos	27
3.2 Kaivosten ilmanlaatu	33
3.2.1 Kromikaivos.....	33
3.2.2 Kultakaivos.....	38
3.3 Riskinarviointi	42
3.4 Etalometrin käyttö dieselnoen mittaamisessa.....	43
3.5 Kuitumittarin käyttö asbestin mittaamisessa.....	47
4 Johtopäätökset	48
Suositukset	51
Liitteet	57

Lyhenneluettelo

EC	Alkuainehiili (elemental carbon)
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
Vna	Valtioneuvoston asetus
BC	Musta hiili (black carbon)
MAC	Massa-absorptiokerroin (mass absorption cross-section)
AAE	Ångströmin eksponentti
EC (8h)	8 tunnin altistumista vastaa alkuainehiilipitoisuus
C _n	Hiukkasten lukumääräpitoisuus
PM ₁	Alle 1 µm hiukkasten massapitoisuus
PM _{2,5}	Alle 2,5 µm hiukkasten massapitoisuus
PM ₄	Alle 4 µm hiukkasten massapitoisuus
PM ₁₀	Alle 10 µm hiukkasten massapitoisuus
PM ₁₅	Alle 15 µm hiukkasten massapitoisuus
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds)
TVOC	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä
BTEX	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja xyleeni
FTIR	Fourier-muunnos infrasppektrometri
ICP-MS	Induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometri
GC-MS	Kaasukromatografi-massaspektrometri
TTL	Työterveyslaitos

1 Johdanto

Kaivosala on kasvava ala Suomessa ja toimii sekä kansallisesti että alueellisesti merkittävänä työnantajana. Dieselkäyttöisten koneiden ja ajoneuvojen, pölyvien työvaiheiden sekä suljetun tilan takia maanalaisten kaivosten työntekijät voivat altistua ilman hiukkas- ja kaasumaisille syöpävaarallisille sekä muuten haitallisille yhdisteille, kuten dieselpakokaasulle, kiteiselle kvartsille, raskasmetalleille, pölylle ja asbestille (Kaivosturvallisuusopas 2019). Vaikka kaivoksissa on tehty jatkuvaa kehitystyötä työhygienian parantamisessa, viimeaikaisten tutkimusten perusteella kaivosilmassa voi edelleen esiintyä korkeita hiukkas- ja kaasupitoisuuksia, jotka voivat johtaa terveydelle haitalliseen altistumiseen (Linnainmaa ym. 2016, Debia ym. 2017). Kirjallisuudessa raportoituja kaivostyöntekijöiden altistumistasoja ja eri altisteiden lähteitä on käyty tarkemmin läpi tässä hankkeessa toteutetussa kirjallisuuskatsauksessa (Lukkarinen ym. 2023).

Dieselpakokaasu-altistumisen on todettu aiheuttavan keuhkosyöpää sekä mahdollisesti myös virtsarakon syöpää, ja lisäksi se on yhdistetty sydän- ja verisuonitauteihin (mm. Taxell ja Santonen 2017, Chang ja Xu 2017). Kiteisellä piidioksidilla on useita eri kidemuotoja, kuten kvartsi, kristobaliitti ja tridymiitti, joista kvartsi on yleisin. Kiteiselle kvartsille altistumisen on todettu aiheuttavan silikoosia ja keuhkosyöpää. (NIOSH 2003). Raskasmetalleista kuudenarvoisen kromin (kromi(VI)), arseenin, kadmiumin ja berylliumin on havaittu aiheuttavan keuhkosyöpää ja mahdollisesti myös muita syöpiä. Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC) on luokitellut nämä yhdisteet karsinogeeniseksi ihmisille (IARC 2012).

Syöpävaarallisille yhdisteille altistumista rajoitetaan Euroopan unionin direktiivissä ”työntekijöiden suojelemisesta syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville tekijöille, perimän muutoksia aiheuttaville aineille tai lisääntymiselle vaarallisille aineille altistumiseen työssä liittyviltä vaaroilta” (2004/37/EY), jota sovelletaan Suomessa 1.1.2020 voimaan tullessa

valtioneuvoston asetuksessa työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta (Vna 1267/2019). Lainsäädännön sitovien raja-arvojen lisäksi eri yhdisteille on asetettu haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia (HTP-arvoja), jotka työnantajan on otettava huomioon, kun arvioidaan työntekijöiden altistumista, työpaikan ilman puhtautta ja mittaustulosten merkitystä (STM 2020). Työterveyslaitos on myös asettanut joillekin yhdisteille tavoitetasoja, jotka ovat sitovia raja-arvoja alempia ja joilla tavoitellaan lakisääteistä parempaa työympäristöä.

Eri altisteiden raja-arvoja, HTP-arvoja ja tavoitetasoja on koottu taulukkoon 1. Dieselpakokaasulle on asetettu raja-arvoksi $0,05 \text{ mg/m}^3$ alkuainehiiltä (EC) alveolijakeisessa pölyssä, mitattuna tai laskettuna suhteessa 8 h:n vertailuajan aikapainotettuun keskiarvoon. Raja-arvoa sovelletaan maanalaisen kaivoksen työntekijöihin 21.2.2026 alkaen. Kiteiselle piidioksidille altistumiselle on asetettu raja-arvo $0,1 \text{ mg/m}^3$ (8 h) alveolijakeesta mitattuna, joka tuli voimaan 1.1.2020. Suomessa kiteiselle piidioksidille on myös asetettu HTP-arvo $0,05 \text{ mg/m}^3$ (8 h, alveolijae). Raskasmetalleista kromi(VI)-yhdisteille on asetettu lainsäädännössä raja-arvo $0,005 \text{ mg/m}^3$ (8 h), arseenille ja sen epäorgaanisille yhdisteille $0,01 \text{ mg/m}^3$ (8 h), kadmiumille ja sen epäorgaanisille yhdisteille $0,001 \text{ mg/m}^3$ (8 h) ja berylliumille ja sen epäorgaanisille yhdisteille $0,0002 \text{ mg/m}^3$ (8 h) hengittyvästä jakeesta mitattuna. Arseenin raja-arvo on jo voimassa ja muiden raja-arvot astuvat voimaan v. 2025–2027. Raskasmetalleille on myös asetettu HTP-arvoja.

Taulukko 1. Lainsäädännön (Valtioneuvoston asetus Vna 1267/2019) mukaiset raja-arvot, haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot) ja Työterveyslaitoksen (TTL) asettamat tavoitetasot eri altisteille.

Altiste	Vna:n raja-arvo (mg/m ³ 8 h)	HTP-arvo (mg/m ³ 8 h)	TTL:n tavoitetaso (mg/m ³)	Huom.
Dieselpakokaasut	0,05 ^{1 2}	-	0,02 ^{1 2 3}	Raja-arvo astuu voimaan maanalaisten kaivosten osalta v. 2026
Kiteinen piidioksidi	0,1 ¹	0,05 ¹	-	
Raskasmetallit				
Arseeni ja sen epäorgaaniset yhdisteet	0,01	0,01	-	
Kromi (VI)-yhdisteet (kromina)	0,005	0,005	0,0005 ³	Raja-arvo astuu voimaan v. 2025 (siihen asti 0,01 mg/m ³ 8 h)
Kadmium ja sen epäorgaaniset yhdisteet	0,001	0,004	-	Raja-arvo astuu voimaan v. 2027 (siihen asti 0,004 mg/m ³ 8 h)
Beryllium ja sen epäorgaaniset yhdisteet	0,0002	0,0001	-	Raja-arvo astuu voimaan v. 2026 (siihen asti 0,0006 mg/m ³ 8 h)
VOC-yhdisteet				
Bentseeni	3,25	-	-	
Tolueeni	-	81	-	
Etylibentseeni	-	220	-	
Ksyleeni	-	220	-	
TVOC	-	-	0,3 ⁴ / 3 ⁵	
Pölyt				
Hengittyvä pöly	-	10	2	
Alveolijakeinen pöly	-	-	0,5	
	¹ Alveolijae; ² Alkuainehiilenä mitattuna; ³ 8 h altistuminen; ⁴ Teollisuusilman tavoitetaso; ⁵ Teollisuusilman viitearvo			

Hiukkasten koostumuksen lisäksi myös koko vaikuttaa niiden haitallisuuteen. Hengittyvällä pölyllä tarkoitetaan hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on < 100 µm, ja alveolijakeisella pölyllä hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on < 4 µm. Suurimmat, yli 30 µm

hiukkaset jäävät ylähengitysteihin ja keuhkoihin päätyvistä hiukkasista isoimmat jäävät henkitorven ja keuhkoputkien alueelle. Alveolijakeinen pöly pääsee kulkeutumaan keuhkorakkuloihin asti. Hengittyvälle pölylle on asetettu HTP-arvo 10 mg/m^3 (epäorgaaninen pöly) ja tavoitetaso 2 mg/m^3 (Taulukko 1). Alveolijakeiselle pölylle on asetettu tavoitetaso $0,5 \text{ mg/m}^3$. (TTL 2016). Nanohiukkasilla tarkoitetaan hiukkasia, joilla ainakin yksi ulkomitoista on $< 100 \text{ nm}$. Nanohiukkaset päätyvät keuhkoihin ja sitä kautta mahdollisesti myös verenkiertoon, ja niiden terveysvaikutukset riippuvat mm. hiukkasten koostumuksesta ja morfologiasta. Muille kuin teollisesti tuotetuille nanohiukkasille ei ole toistaiseksi asetettu työhygieenisiä raja- tai ohjearvoja.

VOC-yhdisteet ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joilla on huoneenlämpötilassa korkea höyrynpaine (TTL 2012). Tyypillisesti VOC-yhdisteillä tarkoitetaan yhdisteitä n-heksaanin (C_6) ja n-heksadekaanin (C_{16}) väliseltä kromatogrammin alueelta. Yleisesti VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa ärsytysoireita. Hyvälle teollisuusilmalle on asetettu VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasoksi $300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (Taulukko 1). Teollisuusilman viitearvoksi on asetettu TVOC-pitoisuus $3\ 000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. (TTL 2012). HTP-arvot (8 h) on asetettu esimerkiksi tolueenille (81 mg/m^3), ksyleenille (220 mg/m^3) ja etyylibentseenille (220 mg/m^3). VOC-yhdisteistä bentseeni on luokiteltu syöpävaaralliseksi ja sille on asetettu lainsäädännössä raja-arvo $3,25 \text{ mg/m}^3$ (8 h) (Taulukko 1).

EU-direktiivin ja Vna:n myötä työntekijöiden altistumista tulisi vähentää entistä tehokkaammin. Altistumisen seurantaan tarvitaankin uusia menetelmiä, jotta kaivokset ja mittauspalveluja tarjoavat yritykset voivat vastata lainsäädännön vaatimukseen entistä paremmin. Dieselnoki analysoidaan lainsäädännön mukaisesti alkuainehiilenä keräämällä alveolijakeinen näyte suodattimelle ja analysoimalla sen EC-pitoisuus (NIOSH 2016). Menetelmän rajoitteena on reaaliaikaisen datan puuttuminen, jolloin altistumiseen johtavia tapahtumia ei voida identifioida. Lisäksi menetelmän hitaudesta johtuen nopea puuttuminen altistumiseen ei ole mahdollista. Dieselnoken mittaamiseen on kehitetty myös reaaliaikaisia menetelmiä, joista etalometrit mittaavat mustaa hiiltä (BC) keräämällä

näytettä suodattimelle ja mittaamalla suodattimen infrapunavalon läpäisevyyttä. Moniaallonpituusetalometreissa valon läpäisevyyttä mitataan usealla eri valon aallonpituudella. Tällöin etalometridatasta voidaan laskea absorptioaallonpituusriippuvuutta kuvaava arvo, Ångströmin eksponentti (AAE), jota voidaan joissakin tapauksissa käyttää eri päästölähteistä peräisin olevien mustahiilipitoisuuksien erotteluun.

Hankkeen tavoitteena oli selvittää minkä verran ja missä työvaiheissa maanalaisissa kaivoksissa tapahtuu altistumista syöpävaarallisille ilman epäpuhtauksille, ja millä teknisillä ja työtapoihin liittyvillä ratkaisuilla altistumista voidaan vähentää. Lisäksi tavoitteena oli testata ja arvioida uusien mittausmenetelmien, kuten kannettavan etalometrin, soveltuvuutta altistumismittauksiin.

2 Menetelmät

Hankkeen aikana tehtiin dieselnoen mittausmenetelmien vertailumittauksia laboratoriossa sekä mitattiin työntekijöiden altistumista ja kaivosten ilmanlaatua kahdessa maanalaisessa kaivoksessa.

2.1 Laboratoriokokeet

Laboratoriossa tehdyissä vertailumittauksissa mitattiin pienen 6 kW dieselgeneraattorin (Kipor) pakokaasua eri laimennuksilla (pitoisuus 1–119 $\mu\text{gEC}/\text{m}^3$). Laimennukseen käytettiin huokoisen putken laimenninta ja kahta ejektorilaimenninta. Pakokaasusta kerättiin samanaikaisesti suodatinnäyte EC-analyysiin, ja mitattiin BC-pitoisuutta AE33-etalometrilla (Magee Scientific) ja pienikokoisella MA200-mikroetalometrilla (Aethlabs).

2.2 Kaivosmittaukset

Kaivosmittauksia tehtiin kahdessa maanalaisessa kaivoksessa, kromikaivoksessa (kolme mittauskampanjaa, yhteensä yhdeksän mittauspäivää) ja kultakaivoksessa (kaksi mittauskampanjaa, yhteensä kuusi mittauspäivää). Mittauskampanjat toteutettiin vuosina 2021–2022. Mittauksia tehtiin sekä työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä että kiinteistä pisteistä. Lisäksi kultakaivoksen työntekijöiltä kerättiin näytteitä myös kampanjoiden ulkopuolella.

Mittauskampanjoiden aikana työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin samanaikaisesti alveolijakeista pölyä ja kiteistä kvartsia, sekä dieselnokea EC:nä (suodatinkeräys) ja BC:na (mikroetalometri MA200) (Kuva 1). Mittausten kesto vaihteli välillä 2–9 h. Mittauksiin osallistuneet työntekijät kirjasiivat päivän tapahtumat lomakkeelle. Mittauskampanjoiden välissä kultakaivoksen työntekijöiltä mitattiin näiden lisäksi myös hengittyvää pölyä ja raskasmetalleja. Mittauskampanjoissa mittauksiin osallistuneet

työntekijät olivat lastaaja, kiviautonkuljettaja, työnjohtaja, ruiskubetonoiija, rusnari, varustelija ja porari. Mittauskampanjoiden välissä mittauksiin osallistui myös muita työntekijöitä maanalaisen kaivoksen puolelta sekä rikastamossa ja analyysilaboratoriossa työskenteleviä työntekijöitä.



Kuva 1. Kaivostyöntekijä yllään syklonikeräin alveolijakeisen pölyn ja kvartsin mittaamiseen, syklonikeräin alkuainehiilen mittaamiseen ja mikroetalometri mustan hiilen mittaamiseen.

Kiinteät mittauspisteet sijoitettiin lastausalueen lähelle (kuusi mittausta kummassakin kaivoksessa), alueelle, jonka lähellä lastausta ei tehty (yksi mittaus kromikaivoksessa) ja huoltohalliin (kaksi mittausta kromikaivoksessa). Mittauspisteissä mitattiin kaivosilmasta dieselnokkea EC-pitoisuutena ja BC-pitoisuutena (AE33-etalometri), hiilidioksidipitoisuutta, nanohiukkasten alveolijakeista keuhkodespositiota, kuitujen lukumääräpitoisuutta, hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuutta, raskasmetallien pitoisuutta sekä VOC-yhdisteiden pitoisuutta. Kiinteissä mittauspisteissä mittalaitteet sijoitettiin auton lavalle ja viereen (Kuva 2). Mittausten kesto vaihteli kromikaivoksessa 3–5 h ja kultakaivoksessa 0,5–4 h.



Kuva 2. Kiinteissä mittauspisteissä mittalaitteet olivat sijoitettuna auton lavalle.

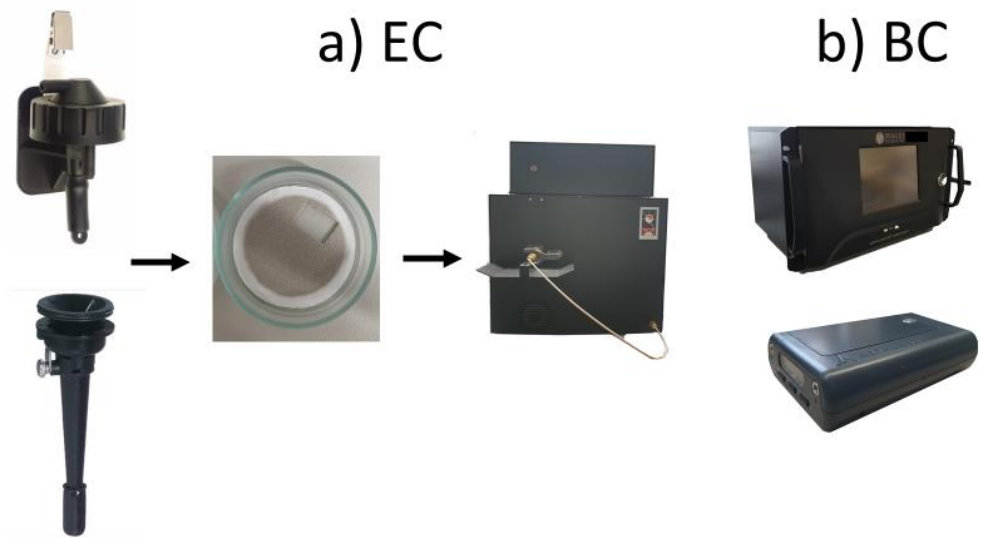
2.3 Mittaus- ja analyysimenetelmät

Hengittyvän pölyn ($< 100 \mu\text{m}$) massapitoisuus mitattiin IOM-keräimillä selluloosasuodattimille ja alveolijakeisen pölyn ($< 4 \mu\text{m}$) massapitoisuus syklonikeräimillä polyvinyylidikloridisuodattimille kerätyistä näytteestä gravimetrisesti.

Dieselnokkea mitattiin kahdella eri menetelmällä, EC:nä ja BC:nä (Kuva 3). Näytteet EC-analysiin kerättiin laboratoriokokeissa esi-impaktorilla (leikkausraja $2,5 \mu\text{m}$) varustetulla keräimellä ja kaivosmittauksissa syklonikeräimillä (leikkausraja $4 \mu\text{m}$, alveolijakeinen pöly) kvartsisuodattimille. EC analysoitiin termis-optisella analyysimenetelmällä (OC/EC-analysointori, Sunset Laboratories) NIOSH 5040 -metodin mukaisesti (NIOSH 2020). BC mitattiin AE33-etalometrilla (BC_{AE33}) ja kannettavalla

MA200-mikroetalometrilla (BC_{MA200}). Etalometrit mittaavat eri aallonpituuksia, joista 880 nm:n aallonpituutta käytettiin BC:n mittaamiseen.

Etalometreissa käytetään massa-absorptiokerrointa (MAC) muuntamaan laitteen mittaama absorptio mustan hiilen massaksi. MAC-arvo on mallikohtainen vakio, mutta todellisuudessa se voi vaihdella ja olla riippuvainen mitattavan aerosolin ominaisuuksista (Petzold et al. 2013). Etalometrit käyttivät BC:n mittauksessa MAC-oletusarvoja $7,77 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $10,12 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200). Lähdekohtaiset MAC-arvot (MAC_{diesel} ja MAC_{kaivos}) määritettiin etalometrien mittaaman absorption ja EC:n lineaarisen sovituksen perusteella. Absorption aallonpituusriippuvuutta kuvaavat AAE-arvot laskettiin käyttäen aallonpituuksien 470 nm ja 880 nm absorptiokertoimia ja aallonpituuksia.



Kuva 3. a) Alkuainehiili analysoitiin suodattimelta termis-optisella mittausmenetelmällä ja b) musta hiili mitattiin etalometreilla (AE33 ylhäällä ja MA200 alhaalla).

Kiteisen kvartsin pitoisuus määritettiin syklonikeräimillä polyvinyylidikloridisuodattimille kerätystä alveolijakeisesta pölystä NIOSH

7602 -menetelmän mukaisesti (NIOSH 2020). Analyysimenetelmässä kalsiittia sisältäville näytteille tehtiin esikäsittely suolahapolla. Esikäsittelyn jälkeen näyte tuhkistettiin 600 °C:n lämpötilassa 2 h ajan, sekoitettiin kaliumbromidiin ja puristettiin tabletksi paineen avulla. Näytetabletti analysoitiin Fourier-muunnos-infrapunaspektrometrilla (FTIR, Thermo Nicolet is50). Absorption muuntamiseen massapitoisuudeksi käytettiin referenssimateriaalia NIST 1878b. Menetelmän määritysraja oli 5 µg/näyte. Menetelmän epävarmuutta arvioitiin analysoimalla kolmenlaisia testinäytteitä. Kiteistä kvartssia sisältävää referenssimateriaalia BCR-66 sekoitettiin kaliumbromidiin ja puristettiin tabletksi, jolloin epävarmuudeksi saatiin keskimäärin 4 %. Toisissa testinäytteissä referenssimateriaalia punnittiin suodattimien päälle, näytteet tuhkistettiin ja puristettiin tabletksi, jolloin epävarmuudeksi saatiin 13 %. Lisäksi esikäsittelyn epävarmuutta arvioitiin analysoimalla kaupallisia, piidioksidin toista kidemuotoa kristobaliittia sisältäviä testisuodattimia (50 µg ja 100 µg), jotka esikäsiteltiin ja analysoitiin samalla tavalla kuin näytteet. Esikäsittelyn epävarmuudeksi saatiin 22 % verrattuna esikäsittelemättömiin näytteisiin.

Raskasmetallit (Cr, As, Cd ja Be) analysoitiin IOM-keräimillä kerätystä hengittyvästä pölystä induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS, NeXION 350D Perkin Elmer) NIOSH 7302 -menetelmän mukaisesti (NIOSH 2020). Ennen analyysiä näytteet hajotettiin typpihapon, lämpötilan ja paineen avulla nestemäiseen muotoon käyttäen MARS6-hajotusuunia (CEM Corporation). Jokaisella analyysikerralla testinäytteenä käytettiin referenssimateriaalia NIST 1648a, joka käsiteltiin ja analysoitiin näytteiden kanssa samalla tavalla. Analyysimenetelmän määritysrajat olivat kiinteiden mittauspisteiden näytteille keskimäärin 0,01–0,02 µg/m³ (Cr), 0,01 µg/m³ (As), 0,01 µg/m³ (Cd) ja 0,000005 µg/m³ (Be), sekä työntekijöiden hengitysvyöhykenäytteille keskimäärin 0,004–0,007 µg/m³ (Cr, As, Cd) ja 0,0000002–0,0000004 µg/m³ (Be). Kromipitoisuus analysoitiin kokonaiskromina, josta ei ole mahdollista päätellä kromi (VI):n pitoisuutta. Referenssimateriaalin perusteella alkuaineiden saanto oli hyvä lukuun ottamatta kromia, jonka osalta tuloksissa voi olla epävarmuutta.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) kerättiin ja analysoitiin standardin ISO 16000-6:2021 mukaisesti. Yhdisteet kerättiin Tenax TA - adsorbenttiputkiin. Näytteet analysoitiin TD-GC-MS-laitteistolla (termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometri), johon kuuluivat TD-100-termodesorptiolaite (Markes International Ltd.), 7890A-kaasukromatografi (Agilent Technologies Inc.) ja 5975C-massaselektiivinen detektori (Agilent Technologies Inc.). Yhdisteet tunnistettiin ja niiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalenteina. VOC-yhdisteille laskettiin kokonaispitoisuus (TVOC), joka kattaa n-heksaanin (C₆) ja n-heksadekaanin (C₁₆) väliset yhdisteet, sekä BTEX-yhdisteiden eli bentseenin, tolueenin, etyylibentseenin ja xyleenin pitoisuudet.

Hiilidioksidipitoisuus mitattiin hiilidioksidimittarilla (Vaisala) ja nanohiukkasten alveolialueelle deponoitunut pinta-ala nanohiukkasten pinta-alamittarilla (NSAM, TSI). 0,02–1 µm kokoalueen hiukkasten lukumääräpitoisuutta mitattiin P-Trak-mittalaitteella (TSI) ja hiukkasten massapitoisuutta DustTrak DRX-mittalaitteella (TSI) < 1 µm (PM₁), < 2,5 µm (PM_{2,5}), < 4 µm (PM₄), < 10 µm (PM₁₀) ja < 15 µm (PM₁₅) hiukkaskokoalueilla.

Mittausten yhteydessä testattiin kuitujen lukumääräpitoisuutta mittaavan kuitumittarin (MSP 7400) käyttöä asbestimittauksissa. Kuitumittarin toiminta perustuu kuitujen tunnistamiseen sähkökentän avulla tapahtuvan suuntauksen ja värähtelyn perusteella (electric-field-induced fiber alignment and oscillation), ja optiseen mittaukseen. Kuitumittarin tuloksia verrattiin lainsäädännön mukaisen mittausmenetelmän eli suodatinnäytekeräyksen ja elektronimikroskooppianalyysin tuloksiin. Analyysit teetettiin ulkopuolisessa laboratorioissa.

2.4 Riskinarviointi

Kaivosten riskien arviointi tehtiin hyödyntämällä Riskien arviointi työpaikalla -työkirjan (STM 2015) tarkistuslistoja (F, T, E, K, B ja H). Tarkistuslistat täytettiin pääasiassa haastatteleamalla työntekijöitä, osa työntekijöistä täytti tarkistuslistat itsenäisesti työpäivänsä aikana. Riskien arvioinnissa

kartoitettiin erilaisten fyysikaalisten vaaratekijöiden (F), tapaturman vaarojen (T), fyysisen kuormittumisen (E), kemiallisten ja biologisten vaaratekijöiden (K, B) sekä psykososiaalisten kuormitustekijöiden (P) aiheuttamaa haittaa tai vaaraa työssä. Lisäksi yhdellä tarkistuslistalla arvioitiin työpaikan hallintajärjestelmien ja toimintatapojen toimivuutta (H). Arvioinnissa käytettiin seuraavaa asteikkoa F-, T-, E-, K- ja B-listoissa: aiheuttaa vaaraa tai haittaa, ei aiheuta vaaraa tai haittaa ja ei tietoa. H-listassa asteikko oli seuraavaa: kunnossa, ei kunnossa ja ei tietoa. Kussakin tarkistuslistassa oli myös avoin vastauskenttä, jossa työntekijöillä oli mahdollisuus antaa lisätietoja arvioitavana olevista osatekijöistä.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Kaivostyöntekijöiden altistuminen

3.1.1 Kromikaivos

Kromikaivoksen työntekijöiden osalta korkeimmat dieselnokipitoisuudet mitattiin kiviautonkuljettajalta (Taulukko 2). Vna:n raja-arvo 50 g/m^3 (8 h) ylittyi kahdella ruiskubetonioijalla, neljällä kiviautonkuljettajalla ja yhdellä lastaajalla. Pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin viimeaikaisissa maanalaisia kaivoksia koskevissa tutkimuksissa (Linnainmaa ym. 2026, Debia et al. 2017, Gren et al. 2022).

Taulukko 2. Dieselnokipitoisuudet kromikaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä (keskiarvo (Ka) ja vaihteluväli) alkuainehiilenä (EC), kahdeksan tunnin altistumiseen korjattuna alkuainehiilenä (EC (8h)) ja mustana hiilenä (BC) mitattuna.

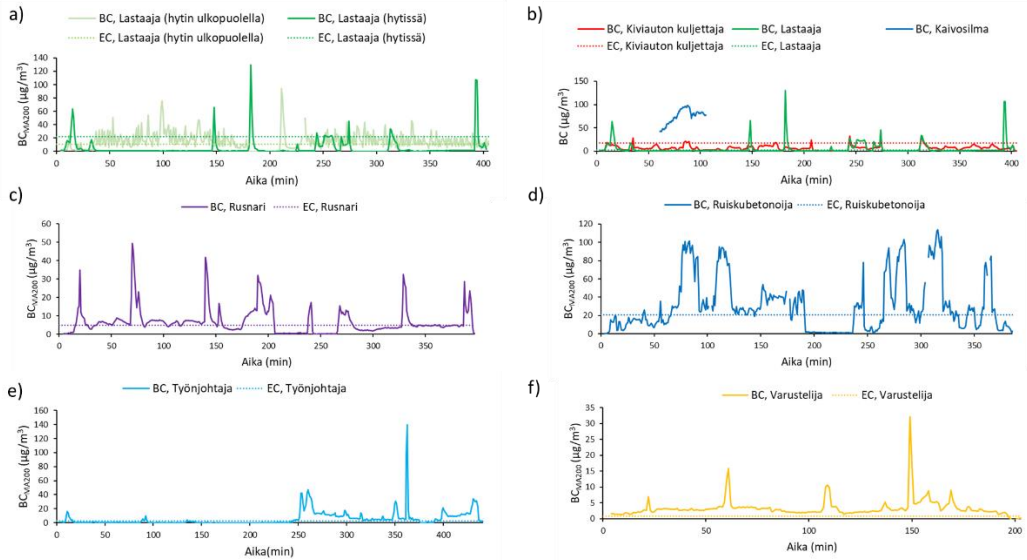
Työntekijä	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC (8 h) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Ka (vaihteluväli)	Ka (vaihteluväli)	Ka (vaihteluväli)
Ruiskubetonioija	26 (17–47)	40 (25–70)	35 (21–59)
Lastaaja	42 (3–184)	63 (4–277)	23 (5–68)
Työnjohtaja	7 (2–30)	11 (3–45)	7 (4–20)
Pitkäreikäporaaja	5 (2–7)	8 (3–10)	–
Rusnari	8 (5–10)	12 (7–15)	10 (7–13)
Kiviauton kuljettaja	77 (6–177)	116 (8–265)	61 (6–160)
Varustelija	5 (1–19)	7 (1–28)	5 (3–6)

Eri työntekijöillä mikroetalometrillä mitattu BC-pitoisuus vaihteli eri tavalla työpäivän aikana (esimerkkejä kuvassa 4). Lastaajalla (a) hytissä tapahtuvassa lastauksessa altistuminen on hetkellistä ja hytin ulkopuolella

tapahuvassa lastauksessa jatkuvaa. Kiviautonkuljettajan (b) altistuminen oli jatkuvampaa verrattuna samalla alueella työskennelleeseen lastaajaan. Lastaajan hetkelliset pitoisuuspiikit voivat aiheutua oven aukaisusta ja koneesta poistumisesta, kun taas kiviautonkuljettajalla syynä jatkuvampaan altistumiseen voi olla sisäilmasuodattimien heikompi toimivuus lastauskoneisiin verrattuna. Lastauskoneissa oli maanalaiseen kaivokseen suunnitellut sisäilmasuodattimet, mutta kiviautojen suodattimet olivat kuorma-autojen alkuperäiset, mikä voi selittää niiden heikomman suodatustehokkuuden.

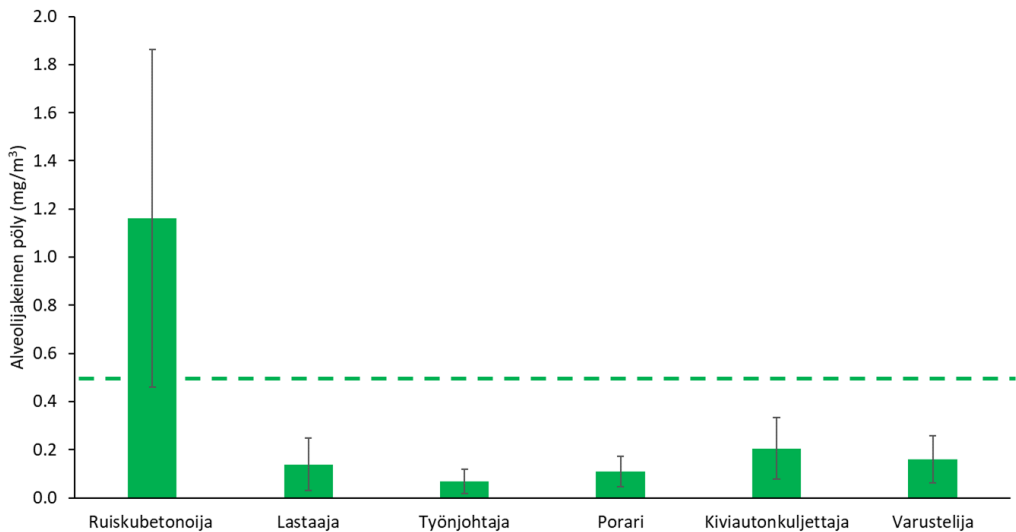
Rusnarilla (Kuva 4c) pitoisuus oli hieman koholla koko työn ajan ja nousi ajoittain korkeammaksi. Ruiskubetonoijalla (d) altistuminen oli jatkuvaa, johtuen koneen ulkopuolella työskentelystä ja hytittömästä työkoneesta. Työnjohtajalla (e) työkohteissa käynnit näkyivät pitoisuuspiikkeinä ja altistuminen muuna aikana oli vähäistä. Varustelijalla (f) pitoisuus oli jatkuvasti hieman koholla ja nousi hetkellisesti korkeammaksi, mutta keskimäärin pitoisuus oli kuitenkin matala.

Kaivoksen taustailman pitoisuus (Kuva 4b) oli selvästi korkeampi kuin mittauksen kanssa samassa paikassa samanaikaisesti työskennelleiden lastaajan ja kiviautonkuljettajan pitoisuudet. Taustailmasta mitattuihin pitoisuuksiin vaikuttavat mittauspaikan valinta ja ilmanvaihto (tuloilman paikka, ilmavirtauksen suunta), joten sen perusteella ei voida suoraan päätellä työntekijöiden altistumistasoja. Taustailman mittauksen perusteella voidaan kuitenkin havaita nopeasti kohonneet pitoisuudet ja estää sitä kautta työntekijöiden liiallinen altistuminen.



Kuva 4. Esimerkkejä mikroetalometrillä mitatuista kromikaivoksen työntekijöiden BC-pitoisuuksista: lastaaja (työskennellyt hytissä ja hytin ulkopuolella, ei mitattu samaan aikaan) (a), kiviautonkuljettaja ja lastaaja (työskennelleen samassa paikassa, mitattu samaan aikaan) sekä kaivosilma (b), rusnari (c), ruiskubetonoija (d), työnjohtaja (e) ja varustelija (f). Samaan aikaan mitattu alkuainehiilen (EC) pitoisuus on merkitty kuviin katkoviivalla.

Alveolijakeisen pölyn pitoisuus oli alhainen suurimmalla osalla mitatuista työntekijöistä. Tavoitetaso $0,5 \text{ mg/m}^3$ ylittyi kuitenkin useilla ruiskubetonoijilla (Kuva 5). Pitoisuudet olivat samansuuntaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa eurooppalaisilla kaivoksilla (Linnainmaa ym. 2016, Boudigaard ym. 2022). Myös kiteisen kvartsin osalta mitatut pitoisuudet olivat alhaiset. Korkeimmat altistumistasot mitattiin ruiskubetonoijilta, mutta pitoisuudet jäivät kuitenkin alle Vna:n raja-arvon $0,1 \text{ mg/m}^3$ (8 h) ja HTP-arvon $0,5 \text{ mg/m}^3$ (8 h). Mitatut pitoisuudet olivat samaa luokkaa tai alhaisempia kun kirjallisuudessa raportoidut pitoisuudet eurooppalaisilta kaivoksilta (Scarcelli ym. 2014, Boudigaard ym. 2022).



Kuva 5. Alveolijakeisen pölyn keskiarvopitoisuudet kromikaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä. Työterveyslaitoksen asettama tavoitetaso $0,5 \text{ mg/m}^3$ on merkitty kuvaan katkoviivalla. Pystyviivat kuvaavat keskihajontoja.

3.1.2 Kultakaivos

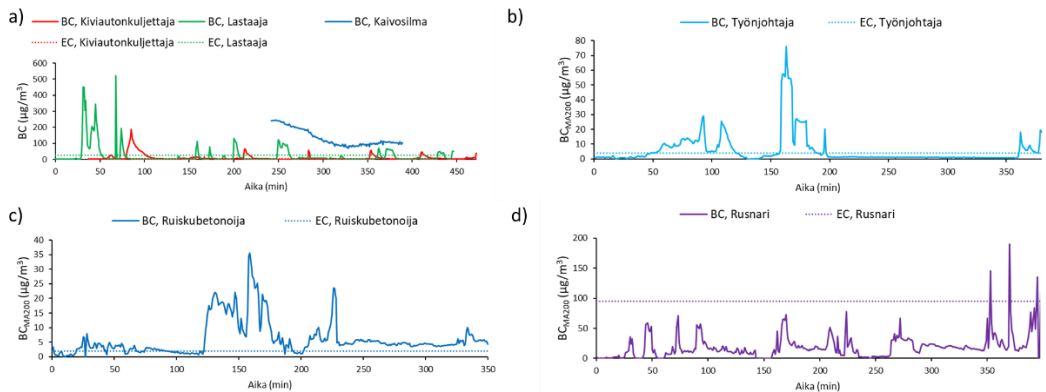
Kultakaivoksen työntekijöiden altistumista mitattiin sekä mittauskampanjoissa että mittauskampanjoiden välissä. Mittauskampanjoiden aikana työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitatut dieselnokipitoisuudet olivat pääosin alle Vna:n raja-arvon $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (8 h) ja ylittyivät ainoastaan rusnarilla (Taulukko 3). Rusnarille tehtiin vain yksi mittaus ja korkeiden dieselnokipitoisuuksien perusteella rusnaus tehtiin dieselillä, vaikka konetta olisi ollut mahdollista käyttää myös sähköllä. Lastaajalla, kiviautonkuljettajalla, ruiskubetonoijalla ja työnjohtajalla pitoisuudet olivat pääasiassa alhaiset. Yleisesti pitoisuudet olivat saman suuntaisia kuin viimeaikaisissa maanalaisia kaivoksia koskevissa tutkimuksissa (Debia et al. 2017, Gren et al. 2022). Kaikissa mittauskampanjoiden ulkopuolella tehdyissä mittauksissa työntekijöiden dieselnokipitoisuudet jäivät alle Vna:n raja-arvon. Altistumistasot olivat korkeammat lastaajilla kuin kiviautonkuljettajilla. Lastaajien lisäksi

kohonneita pitoisuuksia mitattiin myös mekaanikolta, rusnareilta, vesiautonkuljettajilta ja varustelijoilta.

Taulukko 3. Dieselnokipitoisuudet kultakaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä (keskiarvo (Ka) ja vaihteluväli) alkuainehiilenä (EC), kahdeksan tunnin altistumiseen korjattuna alkuainehiilenä (EC (8h)) ja mustana hiilenä (BC) mitattuna. * Suuresta pölypitoisuudesta johtuva häiriö.

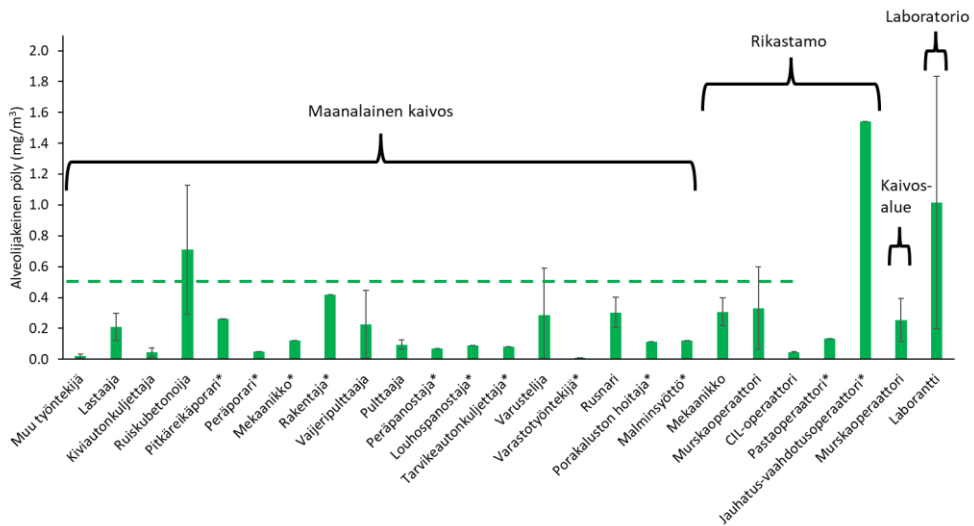
Työntekijä	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC (8 h) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Ka (Vaihteluväli)	Ka (Vaihteluväli)	Ka (Vaihteluväli)
Lastaaja, mittauskampanjat (n = 6)	16 (4-27)	24 (6-41)	15 (5-22)
Lastaaja, muu mittaus (n = 4)	24 (13-34)	-	-
Kiviautonkuljettaja, mittauskampanjat (n = 7)	5 (0-10)	8 (1-14)	8 (2-15)
Kiviautonkuljettaja, muu mittaus (n = 3)	5 (3-6)	-	-
Ruiskubetonoija, mittauskampanjat (n = 5)	7 (2-20)	9 (3-25)	50 (6-181*)
Ruiskubetonoija, muu mittaus (n = 2)	15 (9-21)	-	-
Rusnari, mittauskampanjat (n = 1)	95 (-)	119 (-)	49 (-)
Rusnari, muu mittaus (n = 3)	30 (27-35)	-	-
Työnjohtaja, mittauskampanjat (n = 5)	6 (4-8)	8 (5-12)	6 (4-9)
Pyöräkoneen kuljettaja, muu mittaus (n = 3)	9 (5-11)	-	-
Rakentaja, muu mittausaika (n = 1)	14 (-)	-	-
Mekaanikko, muu mittaus (n = 1)	42 (-)	-	-
Betoniautonkuljettaja, muu mittaus (n = 3)	8 (6-13)	-	-
Vesiautonkuljettaja, muu mittaus (n = 4)	20 (12-29)	-	-
Varustelija, muu mittaus (n = 2)	34 (34-35)	-	-

Mikroetalometreilla mitatut kultakaivoksen työntekijöiden BC-altistumisprofiilit vaihtelivat työntekijäkohtaisesti työtehtävästä riippuen (Kuva 6). Lastaajalla ja kiviautonkuljettajalla (a) altistuminen oli hetkittäistä ja johtui todennäköisesti oven aukaisusta tai koneesta poistumisesta. Esimerkissä lastaaja ja kiviautonkuljettaja työskentelivät samassa paikassa ja altistumistasot olivat lastaajalla korkeammat kuin kiviautonkuljettajalla. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että kiviautonkuljettaja ajoi malmin ulos kaivoksesta ja ei siten työskennellyt koko aikaa lastausalueella. Taustailman pitoisuus oli korkeampi kuin samanaikaisesti mitattujen lastaajan ja kiviautonkuljettajan isoimmat pitoisuuspiikit, mutta ero oli melko vähäinen. Työnjohtajalla (b) työkohteissa käynnit näkyivät kohonneina BC-pitoisuuksina. Ruiskubetonoijalla (c) pitoisuus oli koholla koko työn ajan, mikä johtui siitä, että työ tehtiin koneen ulkopuolella. Rusnarus (d) tehtiin todennäköisesti käyttäen dieseliä polttoaineena kohollaan olleen BC-pitoisuuden perusteella.



Kuva 6. Esimerkkejä mikroetalometrillä mitatuista kultakaivoksen työntekijöiden BC-pitoisuuksista: lastaaja, kiviautonkuljettaja ja kaivosilma (mitattu samaan aikaan samasta paikasta) (a), työnjohtaja (b), ruiskubetonoija (c) ja rusnarus (d). Samaan aikaan mitattu alkuainehiilen (EC) pitoisuus on merkitty kuviin katkoviivalla.

Alveolijakeisen pölyn pitoisuus ylitti tavoitetason 0,5 mg/m³ suurimmalla osalla ruiskubetonoijista ja analyysilaboratorion laboranteista (Kuva 7). Lisäksi maanalaisen kaivoksen työntekijöistä tavoitetaso ylittyi yhdellä varustelijalla kolmesta mittauksesta ja rikastamon työntekijöistä kahdella murskaoperaattorilla kuudesta mittauksesta sekä yhdellä jauhatus-vaahdotusoperaattorilla. Pitoisuudet olivat samansuuntaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa eurooppalaisilla kaivoksilla (Linnainmaa ym. 2016, Boudigaard ym. 2022). Kiteisen kvartsin pitoisuudet ylittivät HTP-arvon 0,05 mg/m³ (8 h) yhdellä rikastamon työntekijällä, jauhatus-vaahdotusoperaattorilla ja muutamalla analyysilaboratorion laborantilla (Taulukko 4). Vna:n raja-arvo 0,1 mg/m³ (8 h) ei ylittynyt yhdelläkään työntekijällä. Maanalaisen kaivoksen työntekijöiden osalta mitatut pitoisuudet olivat samaa luokkaa tai alhaisempia kuin kirjallisuudessa raportoidut pitoisuudet eurooppalaisilta kaivoksilta (Scarcelli ym. 2014, Boudigaard ym. 2021). Laboranttien osalta pitoisuudet olivat samansuuntaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa (Misra ym. 2023).



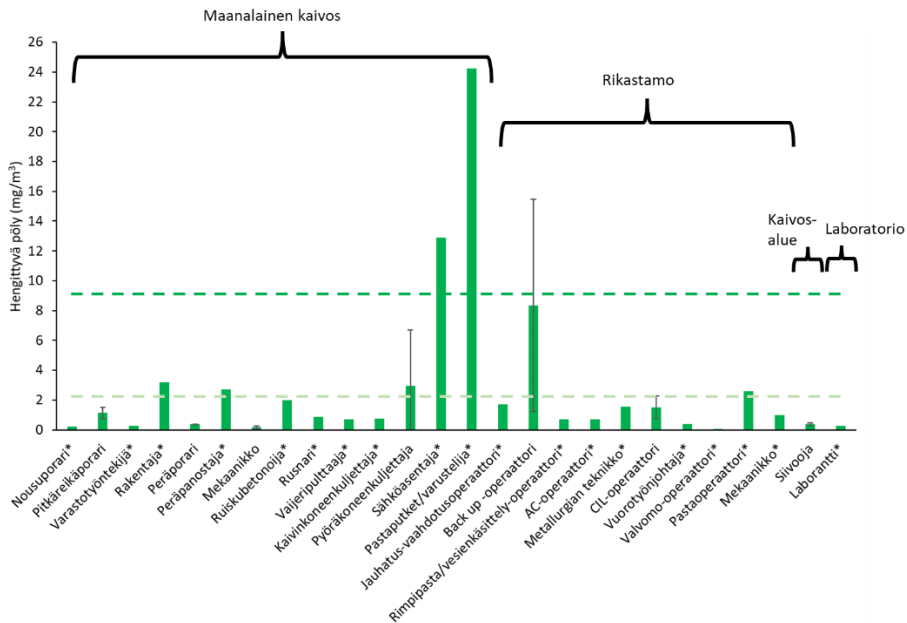
Kuva 7. Alveolijakeisen pölyn keskiarvopitoisuudet kultakaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä. Työterveyslaitoksen asettama tavoitetaso 0,5 mg/m³ on merkitty kuvaan katkoviivalla. Pystypalkit kuvaavat keskihajontoja. *Vain yksi mittaus

Taulukko 4. Kiteisen kvartsin pitoisuudet kultakaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä (keskiarvo (Ka) ja vaihteluväli). Keskiarvo on laskettu määrittämissä ylittävistä pitoisuuksista. < DL alle määrittämissä, ¹⁾ 83 % tuloksista < DL, ²⁾ 67 % tuloksista < DL, ³⁾ 33 % tuloksista < DL, ⁴⁾ 50 % tuloksista < DL, ⁵⁾ 20 % tuloksista < DL

Työntekijä	Kiteinen kvartsi (mg/m ³)	Kiteinen kvartsi (mg/m ³) (8 h)
	Ka (Vaihteluväli)	Ka (Vaihteluväli)
Maanalainen kaivos		
Muu työntekijä, muu mittaus (n = 4)	< DL	-
Lastaaja, mittauskampanjat (n = 6) ¹⁾	0,010 (< DL -0,010)	0,016 (< DL -0,016)
Lastaaja, muu mittaus (n = 3) ²⁾	0,017 (< DL -0,017)	-
Kiviautonkuljettaja, mittauskampanjat (n = 7)	< DL	< DL
Ruiskubetonoija, mittauskampanjat (n = 5)	< DL	< DL
Ruiskubetonoija, muu mittaus (n = 3) ³⁾	0,007 (< DL -0,008)	-
Pitkäreikäporari, muu mittaus (n = 1)	0,007 (-)	-
Peräporari, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Mekaanikko, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Rakentaja, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Vaijeripulttaaja, muu mittaus (n = 3)	< DL	-
Pulttaaja, muu mittaus (n = 2)	< DL	-
Peräpanostaja, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Louhospanostaja, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Tarvikeautonkuljettaja, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Varustelija, muu mittaus (n = 3) ³⁾	0,008 (< DL -0,012)	-
Varastotyöntekijä, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Rusnari, mittauskampanjat (n = 1)	0,005 (-)	0,006 (-)
Rusnari, muu mittaus (n = 1)	0,007 (-)	-
Porakaluston hoitaja, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Malmisyöttö, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Rikastamo		
Mekaanikko, muu mittaus (n = 2)	< DL	-
Murskaoperaattori, muu mittaus (n = 6) ⁴⁾	0,021 (< DL -0,040)	-
CIL-operaattori, muu mittaus (n = 2)	< DL	-
Pastaoperaattori, muu mittaus (n = 1)	< DL	-
Jauhatus-vaahdotusoperaattori, muu mittaus (n = 1)	0,059 (-)	-
Murskaoperaattori, muu mittaus (n = 4) ⁴⁾	0,004 (< DL -0,004)	-
Analyysilaboratorio		
Laborantti, muu mittaus (n = 6) ⁵⁾	0,052 (< DL -0,076)	-

Hengittävälle pölylle (Kuva 8) altistuivat eniten maanalaisen kaivoksen puolelta yksi sähköasentaja ja varustelija sekä rikastamon puolelta yksi back

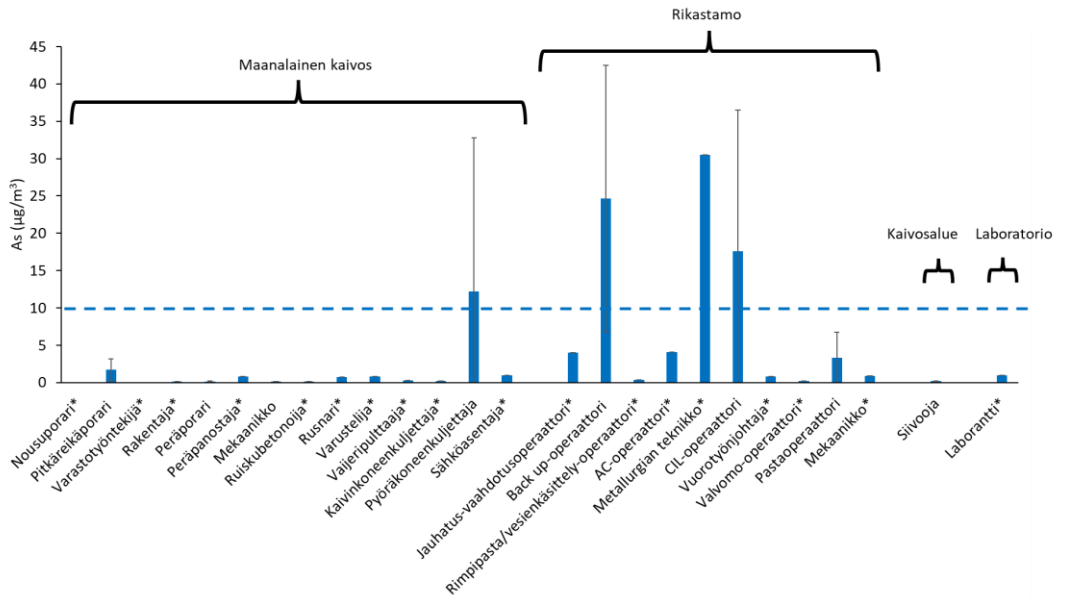
up-operaattori. Heillä pitoisuus ylitti HTP-arvon 10 mg/m^3 . Tavoitetaso 2 mg/m^3 ylittyi lisäksi muutamilla muilla maanalaisen kaivoksen ja rikastamon työntekijöillä. Maanalaisessa kaivoksessa pitoisuudet olivat samaa luokkaa kirjallisuudessa raportoitujen eurooppalaisilta kaivoksilta mitattujen pitoisuuksien kanssa (Ädelroth ym. 2006, Linnainmaa ym. 2016).



Kuva 8. Hengittävän pölyn keskiarvopitoisuudet kultakaivoksen työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä. Haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP-arvo) 10 mg/m^3 on merkitty kuvaan tummemmalla ja Työterveyslaitoksen asettama tavoitetaso 2 mg/m^3 vaaleammalla katkoviivalla. * Vain yksi mittaus

Syöpävaarallisista raskasmetalleista arseenin pitoisuus ylitti Vna:n raja-arvon $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (8 h) maanalaisen kaivoksen työntekijöistä yhdellä pyöräkoneen kuljettajalla ja rikastamon työntekijöistä kahdella back up-operaattorilla, yhdellä metallurgian tekniikolla ja kahdella CIL-operaattorilla (Kuva 9). Lisäksi yhdeltä pastaoperaattorilta ja yhdeltä mekaanikolta

mitattiin kokonaiskromipitoisuudeksi yli 10 µg/m³. Kromin osalta Vna:n raja-arvo 5 µg/m³ (8 h) koskee Cr(VI):a, jota ei voida päätellä kokonaiskromipitoisuuden perusteella, ja tulokset alittivat selvästi kahden- ja kolmenarvoisen kromin HTP-arvon 500 µg/m³ (8 h). Muiden syöpävaarallisten raskasmetallien eli kadmiumin ja berylliumin pitoisuudet olivat alhaisia kaikilla työntekijöillä.



Kuva 9. Arseenin (As) keskiarvopitoisuudet kultakaivoksen työntekijöillä hengittyvästä pölystä mitattuna. Tuloksia ei ole korjattu vastaamaan 8 h altistumista. * Vain yksi mittaus

3.2 Kaivosten ilmanlaatu

3.2.1 Kromikaivos

Kromikaivoksen ilmanlaatu vaihteli paljon lastauksen lähelle sijoitetuissa mittauspisteissä (Taulukko 5). Kaikki tässä luvussa esitetyt pitoisuudet ovat mittauspäivien keskiarvoja. Kahtena mittauspäivänä dieselnoen pitoisuus (EC:nä mitattuna) oli noin 20 µg/m³, kolmena mittauspäivänä 100–400 µg/m³

ja yhtenä mittauspäivänä noin 1 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vastaavat BC-pitoisuudet olivat noin 30–40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 180–500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 4 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (lyhyt mittausaika). CO_2 -pitoisuus vaihteli pääosin välillä 1 300–2 400 ppm, mutta oli yhtenä mittauspäivänä selvästi suurempi, 6 200 ppm. Myös nanohiukkasten pinta-alapitoisuus kohosi yhtenä mittauspäivänä korkeaksi (7 800 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$) ja vaihteli muina mittauspäivinä välillä 200–2 200 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$. Hiukkasten lukumääräpitoisuus vaihteli välillä 51 000–257 000 $\#/\text{cm}^3$ ja massapitoisuus välillä 0,11–1,03 mg/m^3 (PM_{10}). Hengittyvän pölyn pitoisuus oli enimmäkseen matala, mutta ylitti tavoitetason 2 mg/m^3 kahtena mittauspäivänä (2,7–3,5 mg/m^3). Hengittyvästä pölystä mitatut syöpävaarallisten raskasmetallien (As, Cd, Be) pitoisuudet olivat pääosin pieniä. Kolmena mittauspäivänä näytteistä löytyi kromia, enimmillään 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lainsäädännön mukainen raja-arvo 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 h) koskee kuitenkin vain kuudenarvoista kromia (Cr(VI)), jonka pitoisuutta ei voi päätellä kokonaiskromipitoisuuden perusteella, ja mitatut pitoisuuden alittivat reilusti kahden- ja kolmenarvoisen kromin HTP-arvon (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 8 h). VOC-yhdisteiden osalta TVOC-pitoisuudet vaihtelivat välillä 50–460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja BTEX-yhdisteiden pitoisuudet välillä 5–15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lastauksen lähellä. TVOC-pitoisuudet ylittivät kahtena mittauspäivänä TTL:n (2012) asettaman teollisuusilman tavoitetason ($\leq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mutta viitearvo ($\leq 3 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittui. Alifaattisten hiilivetyjen seoksille annetut HTP-arvot (100–500 mg/m^3) alittuivat selvästi. BTEX-yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaisia: bentseenin pitoisuudet (5–40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alittivat selvästi Vna:n sitovan raja-arvon (3,25 mg/m^3) ja muiden BTEX-yhdisteiden pitoisuudet HTP-arvot.

Kaivosilman laatua mitattiin lastauksen lisäksi yhtenä mittauspäivänä paikasta, jossa ei ollut dieselkäyttöisiä koneita lähistöllä (Taulukko 5). Kaikki mitatut pitoisuudet olivat alhaisempia kuin lastauksessa. Huoltohalleissa tehtiin kaksi mittauspäivää ja tulosten välillä oli vähäistä vaihtelua. Dieselnokipitoisuus oli alhainen (EC 1–9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mutta hengittyvän pölyn pitoisuus oli toisena mittauspäivänä samalla tasolla kuin joissakin lastauksen lähelle sijoitetuissa mittauspisteissä. VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat huoltohallissa huomattavasti korkeammat kuin lastauksessa. TVOC-pitoisuudet huoltohallissa vaihtelivat välillä 1 190–3 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja BTEX-yhdisteiden pitoisuudet olivat 0–40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TVOC-pitoisuudet

ylittivät toisena mittauspäivänä TTL:n antaman teollisuusilman viitearvon ($\leq 3\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). BTEX-yhdisteistä bentseenin pitoisuus alitti sitovan raja-arvon ja muiden BTEX-yhdisteiden pitoisuudet alittivat HTP-arvot. Molempina mittauspäivinä alifaattisten hiilivetyjen seosten HTP-arvot alittuivat selvästi huoltohallissa.

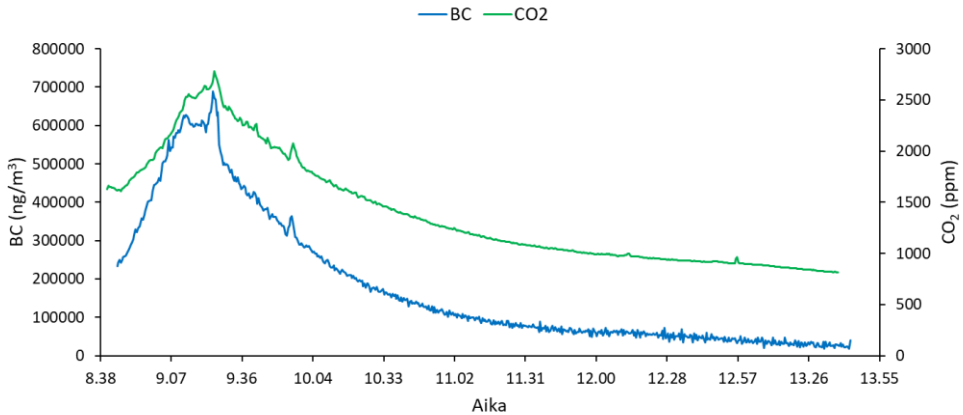
Mitatut kaivosilman epäpuhtauspitoisuudet vaihtelivat voimakkaasti, ja olivat tasoltaan sekä suurempia että pienempiä verrattuna aiemmissa tutkimuksissa raportoituihin pitoisuuksiin. EC-pitoisuuksien osalta pitoisuudet olivat useimpina mittauspäivinä samaa luokkaa kuin kirjallisuudessa (Linnainmaa ym. 2016, Debia ym. 2017). Nanohiukkasten pinta-alapitoisuudet olivat kaivoksessa pääosin korkeampia kuin aiemmissa mittauksissa samalta kaivokselta (Salo ym. 2021), johtuen todennäköisesti siitä, että tässä tutkimuksessa mitattiin pääasiassa pölyävää työvaihetta, lastausta. Huoltohallissa pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa mittauksissa (Salo ym. 2021). Hengittyvä pölyn pitoisuudet vastasivat useimpina mittauspäivinä aiemmassa tutkimuksessa mitattuja pitoisuuksia samalta kaivokselta (Linnainmaa ym. 2016). Hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia kuin edellisessä tutkimuksessa (Linnainmaa ym. 2016), mikä mahdollisesti johtui mittalaitteiden mittausalueiden eroista ja eri mittauspisteistä. PM_{10} -hiukkasten massapitoisuudet olivat keskimäärin huomattavasti korkeammat samalla kaivoksella tehdyssä aiemmassa tutkimuksessa (Saarikoski ym. 2018). TVOC-pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmassa tutkimuksessa (Linnainmaa ym. 2016), lukuun ottamatta huoltohallissa tehtyjä mittauksia.

Taulukko 5. Mittauspäivien keskiarvopitoisuuksien vaihteluvälit kromikaivoksessa alkuainehiilelle (EC), mustalle hiilelle (BC), hiilidioksidille (CO₂), alveolialueelle deponoituneiden nanohiukkasten pinta-alalle (A), hengittävälle pölylle (HP), hiukkasten lukumääräpitoisuudelle (C_n), hiukkasten (< 10 µm) massapitoisuudelle (PM₁₀), haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudelle (TVOC), BTEX-yhdisteille sekä raskasmetalleista kromille (Cr), arseenille (As), kadmiumille (Cd) ja berylliumille (Be) (n = mittauspäivien lukumäärä, * Lyhyt mittausaika, ** Vain yksi mittaus, ***Kolme mittauspäivää). Lukumääräpitoisuuksien ja PM₁₀-hiukkasten massapitoisuuksien mittausajat vaihtelivat välillä 13 min – 5 h.

	Lastaus (n = 6)	Kaivosilma (n = 1)	Huoltohalli (n = 2)
EC (µg/m ³)	20–1 668	5	1–9
BC (µg/m ³)	30–4 858*	8	2**
CO ₂ (ppm)	1252–6 222	613	521–995
A (µm ² /cm ³)	257–7 844	98	39–137
HP (mg/m ³)	0,14–3,48	0,12	0,05–0,42
C _n (#/cm ³)	51 000–257 000	55 000	22 000–40 000
PM ₁₀ (mg/m ³)	0,11–1,03	0,05	0,02–0,22
TVOC (µg/m ³)	49–457***	25	1 193–3 347
BTEX (µg/m ³)	5–15	6	0–39
Raskasmetallit			
Cr (µg/m ³)	< LOQ–25	< LOQ	< LOQ
As (µg/m ³)	< LOQ–0,03	< LOQ	< LOQ–0,01
Cd (µg/m ³)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Be (µg/m ³)	< LOQ	< LOQ	< LOQ

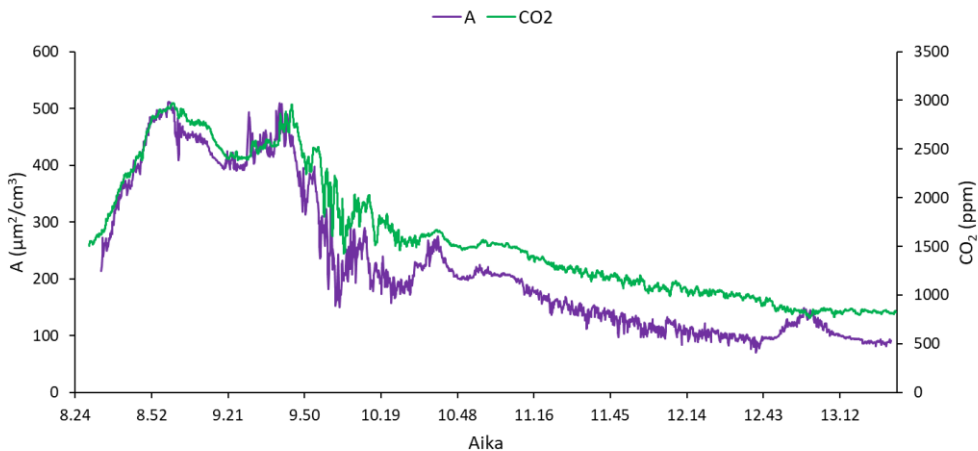
Lastauksen lähettyvillä BC- ja CO₂-pitoisuudet korreloivat hyvin ja lineaarisen riippuvuuden selitysaste R² vaihteli välillä 0,91–0,99 (esimerkki datasta kuvassa 10). Tämä varmentaa sen, että BC oli peräisin koneiden ja ajoneuvojen dieselpakokaasusta. Lastausalueilla käytössä olleissa lastauskoneissa ja kiviautoissa oli hiukkassuodattimet varmuudella 75–80 %:ssa ajoneuvoista. Muiden 20–25 %:n osalta tietoa ei ollut saatavilla, mutta

todennäköisesti hiukkassuodatin löytyi jokaisesta lastauskoneesta ja kiviautosta. BC- ja CO₂-pitoisuuksien välistä korrelaatiota ei havaittu BC-pitoisuuksien ollessa pieniä (kaivosilmassa, jossa dieselkoneita ei ollut lähetyillä ja huoltohalleissa). Näissä mittauspaikoissa muut BC:n lähteet (esim. tupakansavu, öljysumu) ja mittausepävarmuudesta johtuva vaihtelu korostuvat.



Kuva 10. Esimerkki mustan hiilen (BC) ja hiilidioksidin (CO₂) pitoisuuksista kromikaivoksessa. Mittaukset tehtiin lastauksen lähetyillä.

Myös nanohiukkasten pinta-ala ja CO₂ (esimerkki kuvassa 11) korreloivat lastauksen lähetyillä pääosin hyvin ja R² oli neljässä mittauksissa välillä 0,92–0,96, ja kahdessa mittauksessa välillä 0,71–0,80. Tämä viittaa siihen, että nanohiukkaset olivat enimmäkseen pakokaasuperäisiä. Huoltohalleissa ja kaivosilmassa, jossa dieselkoneita ei ollut lähetyillä, korrelaatiota ei havaittu. Näissä ympäristöissä nanohiukkaset olivat todennäköisesti peräisin enimmäkseen muista lähteistä kuin pakokaasusta.



Kuva 11. Esimerkki alveolialueelle deponoituvien nanohiukkasten pinta-alasta (A) ja hiilidioksidipitoisuuksista (CO₂) kromikaivoksessa, mitattuna lastauksen lähetytyiltä.

3.2.2 Kultakaivos

Kultakaivoksen ilmanlaadussa oli myös vaihtelua. Kaikki tässä luvussa esitetyt pitoisuudet ovat mittauspäivien keskiarvoja. Lastauksen lähetytyiltä mitatut dieselnokipitoisuudet vaihtelivat välillä 6–88 µg/m³ (EC) ja 15–136 µg/m³ (BC) (Taulukko 6). CO₂-pitoisuus vaihteli enemmän ja oli yhtenä päivänä noin 700 ppm, kolmena mittauspäivänä 1200–1400 ppm ja kahtena mittauspäivänä 3 800–4 000 ppm. Alveolialueelle deponoituvien nanohiukkasten pinta-ala vaihteli pääasiassa välillä 100–800 µm²/cm³, mutta oli yhtenä mittauspäivänä selvästi korkeampi, 13 500 µm²/cm³. Samana mittauspäivänä CO₂- ja BC-pitoisuudet olivat alhaiset, joten nanohiukkasten lähde ei todennäköisesti ollut pakokaasu. Hiukkasten lukumääräpitoisuus vaihteli välillä 51 000–133 000 #/cm³ ja massapitoisuus välillä 0,02–2,16 mg/m³. Syöpävaarallisten raskasmetallien pitoisuudet olivat pääosin alhaisia. Yhden mittauspäivän näytteestä havaittiin arseenia 5 µg/m³, joka oli kuitenkin alle Vna:n raja-arvon 10 µg/m³ (8 h). VOC-yhdisteisiin liittyen, TVOC-pitoisuudet vaihtelivat välillä 68–684 µg/m³ ja BTEX-yhdisteiden pitoisuudet olivat 3–105 µg/m³. TVOC-pitoisuudet ylittivät kolmena

mittauspäivänä TTL:n (2012) antaman teollisuusilman tavoitetason $\leq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yhtenä mittauspäivänä bentseenin ($359 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja toluenin ($126 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pitoisuudet olivat koholla. Kyseisenä päivänä TVOC- ja BTEX-pitoisuudet olivat korkeimmillaan, mutta BTEX-yhdisteiden osalta bentseenin pitoisuus alitti kuitenkin selvästi sitovan raja-arvon ($3,25 \text{ mg}/\text{m}^3$) ja muiden BTEX-yhdisteiden pitoisuudet alittivat HTP-arvot.

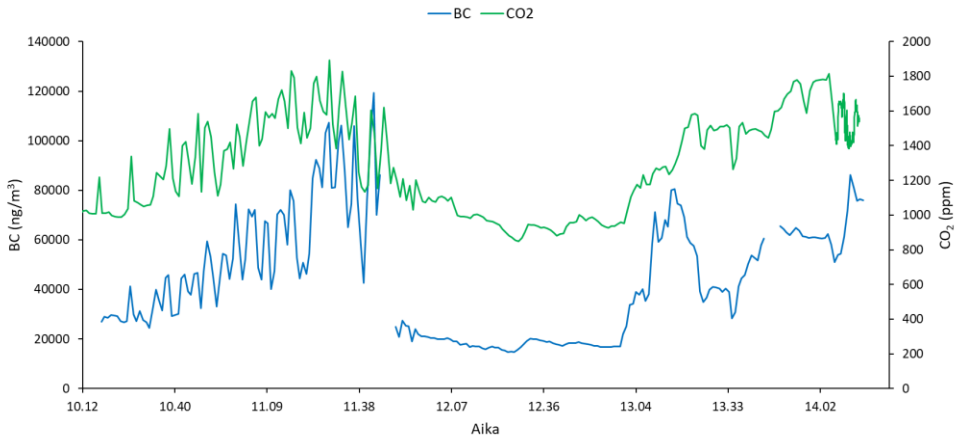
Mitatut pitoisuudet vaihtelivat eri mittauspäivinä ja olivat pääosin samaa suuruusluokkaa kirjallisuudessa raportoitujen pitoisuuksien kanssa. EC-pitoisuudet olivat useimpina mittauspäivinä samaa luokkaa tai pienempiä kuin kirjallisuudessa (Linnainmaa ym. 2016, Debia ym. 2017). Nanohiukkasten pinta-alapitoisuudet olivat pääosin samansuuntaisia tai vähän korkeampia kuin kirjallisuudessa raportoidut pitoisuudet, mutta ylittivät ne reilusti yhtenä mittauspäivänä (Salo ym. 2021). Hengittyvä pölyn pitoisuudet vastasivat useimpina mittauspäivinä aiemmassa tutkimuksessa mitattuja pitoisuuksia (Linnainmaa ym. 2016). Hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia aiempiin mittauksiin (Linnainmaa ym. 2016) verrattuna. Myös PM_{10} -hiukkasten massapitoisuudet olivat keskimäärin alhaisemmat kuin edellisessä tutkimuksessa (Saarikoski ym. 2018). TVOC-pitoisuudet olivat huoltohallissa tehtyjä mittauksia lukuun ottamatta samalla tasolla kuin aiemmassa tutkimuksessa (Linnainmaa ym. 2016).

Taulukko 6. Mittauspäivien keskiarvopitoisuuksien vaihteluvälit kultakaivoksessa alkuainehiilelle (EC), mustalle hiilelle (BC), hiilidioksidille (CO₂), alveolialueelle deponoituneiden nanohiukkasten pinta-alalle (A), hengittävälle pölylle (HP), hiukkasten lukumääräpitoisuudelle (C_n), hiukkasten (< 10 µm) massapitoisuudelle (PM₁₀), haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudelle (TVOC), BTEX-yhdisteille sekä raskasmetalleille kromille (Cr), arseenille (As), kadmiumille (Cd) ja berylliumille (Be) (n = mittauspäivien lukumäärä).

	Lastaus (n = 6)
EC (µg/m ³)	6–88
BC (µg/m ³)	15–136
CO ₂ (ppm)	652–3 954
A (µm ² /cm ³)	148–13 499
HP (mg/m ³)	0,16–0,85
C _n (#/cm ³)	51 000–133 000
PM ₁₀ (mg/m ³)	0,02–2,16
TVOC (µg/m ³)	68–684
BTEX (µg/m ³)	3–105
Raskasmetallit	
Cr (µg/m ³)	< LOQ
As (µg/m ³)	< LOQ–5,48
Cd (µg/m ³)	< LOQ
Be (µg/m ³)	< LOQ–0,004

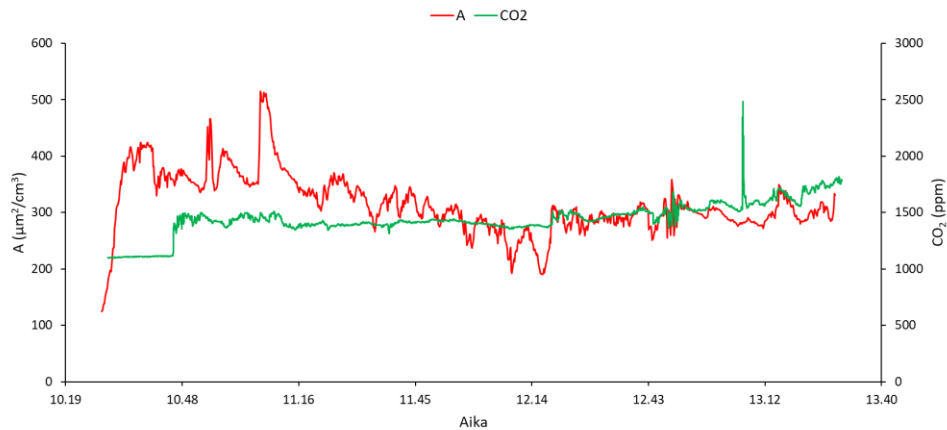
BC- ja CO₂-pitoisuudet korreloivat kultakaivoksessa neljässä mittauksessa kohtalaisesti ja lineaarisen regression selitysaste R² vaihteli välillä 0,63–0,87 (esimerkki kuvassa 12). Kahdessa mittauksessa korrelaatiota ei havaittu: näistä toisessa mittauksessa pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat kuin muissa mittauksissa, ja toisessa mittauksessa mittausdataa saatiin sähkökatkon takia vain lyhyt aika, noin 30 min. Heikkoa korrelaatiota voi selittää tehokkaiden hiukkassuodattimien käyttö koneissa ja ajoneuvoissa, mihin viittaa myös se, että muutamana mittauspäivänä dieselnokipitoisuudet olivat melko alhaiset, mutta CO₂-pitoisuudet korkeat. Dieselhiukkassuodatin olikin käytössä varmuudella kaikissa lastauskoneissa

ja todennäköisesti myös kaikissa kiviautoissa. Hiukkassuodattimien käytön lisäksi heikkoa korrelaatiota voi myös selittää se, että alhaisemmissa pitoisuuksissa mittaustekniikasta johtuva vaihtelu voi korostua.



Kuva 12. Esimerkki mustan hiilen (BC) ja hiilidioksidin (CO₂) pitoisuuksista kultakaivoksessa. Mittaukset tehtiin lastauksen lähetytyillä.

Nanohiukkaspitoisuus ja CO₂-pitoisuus korreloivat kohtalaisesti vain kahtena mittauspäivänä (R^2 0,57–0,61) (esimerkki kuvassa 13). Muina mittauspäivinä korrelaatiota ei havaittu. Syynä heikkoon korrelaatioon oli todennäköisesti tehokkaiden hiukkassuodattimien käyttö.



Kuva 13. Esimerkki alveolialueelle deponoituvan nanohiukkasten pinta-alasta (A) ja hiilidioksidipitoisuuksista (CO₂) kultakaivoksessa. Mittaukset tehtiin lastauksen lähetyvillä.

3.3 Riskinarviointi

Riskinarviointilomakkeisiin saatiin vastaukset 17 työntekijältä, joista 13 oli kromikaivokselta ja 4 kultakaivokselta. Vastauksia saatiin seuraavilta työntekijöiltä: kiviautonkuljettaja, lastaaja, porari, ruiskubetonoija, rusnari, työnjohtaja ja varustelija. Otoskoko oli pieni, joten tulokset kuvaavat lähinnä yksittäisten henkilöiden näkemyksiä ja esitetään tässä raportissa vain yleisellä tasolla. Kultakaivoksen vähäisen vastausmäärän vuoksi tulokset on yhdistetty kromikaivoksen tuloksiin. Vastaukset kuvastavat siten lähinnä kromikaivoksen tilannetta.

Fysikaalisten vaaratekijöiden tunnistettiin liittyvän jatkuvaan meluun, iskumeluun sekä yleisilmanvaihdon ja kohdepoistojen puutteelliseen toimintaan. Avovastauksissa mainittiin, että kuulonsuojaimet ovat käytössä. Iskumelun todettiin liittyvän erityisesti piikkausvasaran käyttöön ja lastaukseen. Osa vastaajista kertoi, että ilmanvaihto vaihtelee kohteittain ja siinä olisi parannettavaa tietyillä alueilla (esim. lastauspaikalla).

Tapaturman vaaroihin liittyen, useimmat vastaajat mainitsivat liukastumisen, kompastumisen ja henkilön putoamisen riskitekijöiksi. Avovastauksissa todettiin, että liukastumisen ja kompastumisen riski liittyy erityisesti tuotantoalueeseen, ja omaa varovaisuutta pidettiin tärkeänä. Putoamissuojainten ja valjaiden kerrottiin olevan käytössä.

Kemiallisista vaaratekijöistä merkittävimiksi riskitekijöiksi koettiin pölyt ja kuidut, kaasut sekä höyryt ja savut. Avovastauksissa mainittiin, että pölyille ja kuiduille altistuminen liittyy osittain vaillinaiseen ilmanvaihtoon ja mm. asbesti tunnistettiin riskitekijäksi. Kaasujen, höyryjen ja savujen osalta riskin tunnistettiin liittyvän häkään, ammoniakkiin ja räjäytyskaasuihin.

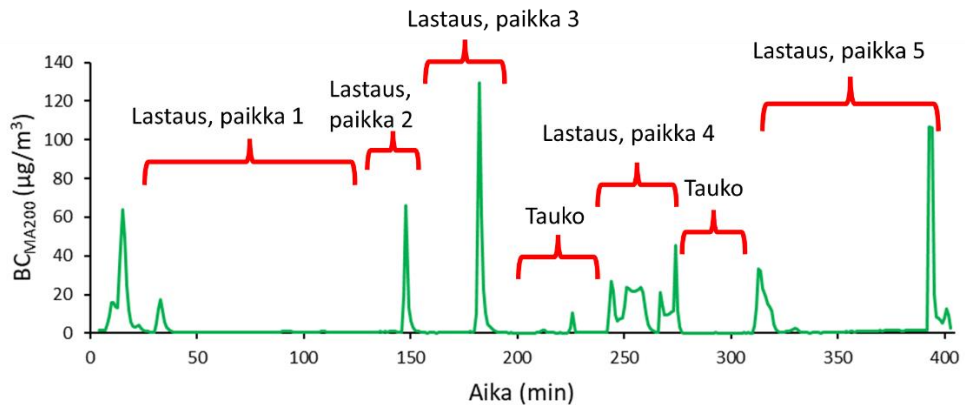
Fyysisen kuormittumisen osalta jatkuva istuminen ja seisominen sekä jatkuvasti samana toistuvat työliikkeet korostuivat vastauksissa. Avovastauksissa kerrottiin, että työ sisältää paljon kävelyä ja seisomista sekä istumista ajoneuvoissa. Toistuvien työliikkeiden mainittiin liittyvän esim. korjaustyöhön.

Psykososiaalisiin kuormitustekijöihin liittyen suurin osa vastaajista ei kokenut kyseisten tekijöiden aiheuttavan merkittävää vaaraa tai haittaa. Pieni osa vastaajista koki valppaana oloon, yksipuoliseen työhön, työn keskeytyksiin sekä yhteistyöhön ja tiedonkulkuun liittyvän kuormitusta. Avovastauksissa mainittiin, että tiedonkulku on pääosin kunnossa, mutta voisi olla parempi. Yhteishenkeä pidettiin hyvänä. Vastaajat olivat tyytyväisiä työaikajärjestelyihin ja vuorotyöhön.

Hallintajärjestelmien ja toimintatapojen koettiin olevan pääosin kunnossa. Avovastauksissa kerrottiin, että turvapäiväkirjoissa käsitellään mahdollisia poikkeavia tilanteita ja häiriöitä kaivoksella. Kyseisiä tilanteita varten on myös palo- ja pelastusryhmä.

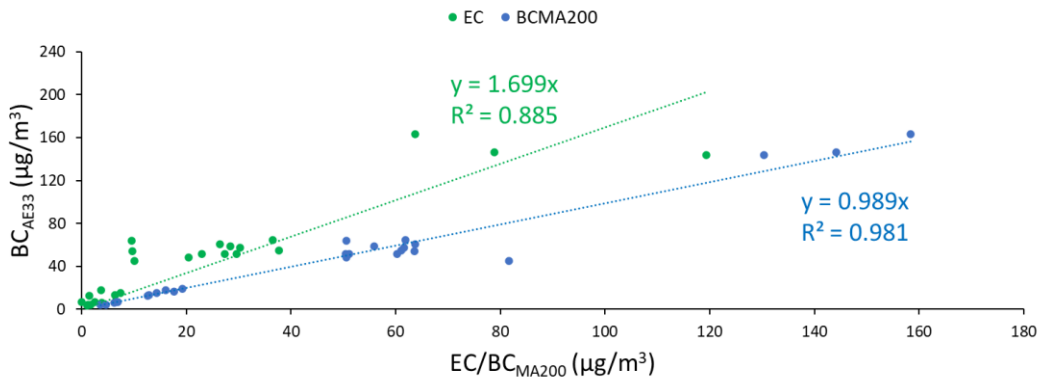
3.4 Etalometrin käyttö dieselnoen mittaamisessa

Kannettavien mikroetalometrien mittausdata yhdistettiin työntekijöiden kirjauksiin työpäivän tapahtumista (Kuva 14). Tulosten perusteella pystyttiin tunnistamaan merkittävimpiä dieselnokialtistumiseen vaikuttaneita tapahtumia.



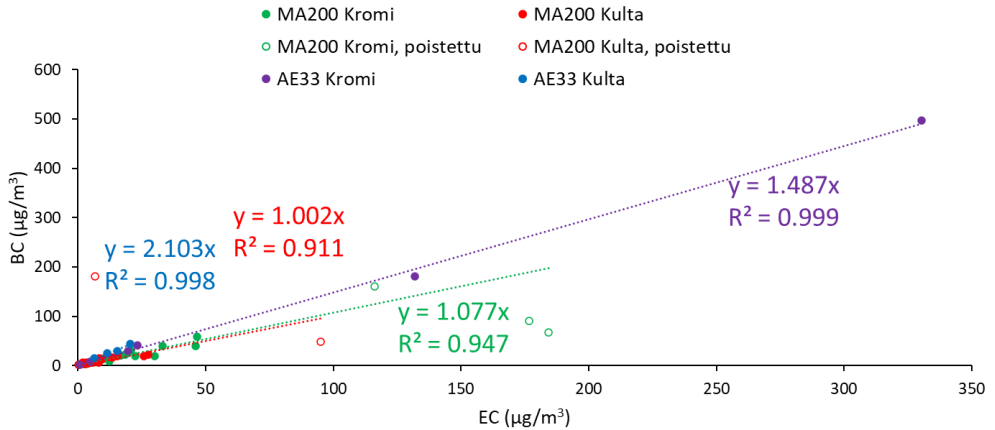
Kuva 14. Esimerkki mikroetalometrillä mitatuista mustan hiilen pitoisuuksista (BC) yhdistettynä työntekijän kirjauksiin työpäivän tapahtumista.

Laboratoriossa tehdyissä dieselpakokaasumittauksissa etalometrillä (BC_{AE33}) ja mikroetalometrillä (BC_{MA200}) mitatut pitoisuudet vastasivat hyvin toisiaan (lineaarisen regression selitysaste R^2 0,981) (Kuva 15). Myös EC ja BC_{AE33} korreloivat hyvin (R^2 0,885), mistä voidaan päätellä etalometritulosten olevan vertailukelpoisia EC:n kanssa. BC:n ja EC:n suhdetta kuvaaviksi MAC_{diesel} -arvoiksi saatiin $13,20 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $16,81 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200). Arvot ovat korkeammat kuin etalometriä käyttämät MAC-oletusarvot, $7,77 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $10,12 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200). Yksi syy korkeisiin MAC-arvoihin voi olla kokeissa käytetty pieni dieselmoottori, joka tuotti runsaasti orgaanista hiiltä. Orgaanisen hiilen tiedetään vahvistavan absorptiota (Lack ja Cappa 2010), jota etalometri käyttää mustan hiilen pitoisuuden laskennassa.



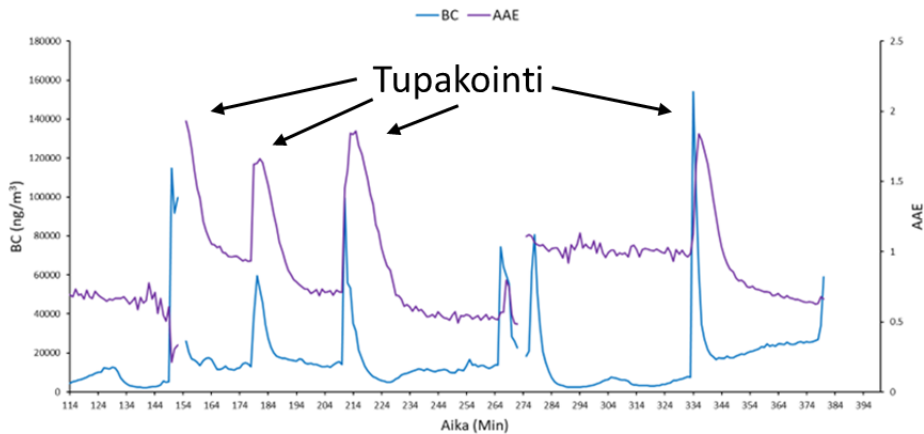
Kuva 15. Etalometrilla mitatun mustan hiilen (BC_{AE33}) sekä alkuainehiilen (EC) ja mikroetalometrilla mitatun mustan hiilen (BC_{MA200}) pitoisuuksien välinen vertailu. Mittaukset tehtiin laboratoriossa dieselpakokaasusta.

Kaivosmittauksissa BC_{AE33} ja BC_{MA200} korreloivat hyvin EC:n kanssa (Kuva 16). Vertailusta jätettiin mikroetalometridatan osalta pois korkeimmat pitoisuudet, sillä korkeilla pitoisuuksilla tiheät nauhan paikan vaihdokset aiheuttivat dataan paljon katkoksia ja lisäksi DualSpot-korjauksen puuttuminen vaikuttaa eniten korkeissa pitoisuuksissa. MAC_{kaivos} -arvoiksi määritettiin kromikaivoksessa $11,55 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $10,89 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200), ja kultakaivoksessa $16,34 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $10,14 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200). Mittauspisteiden vähäisen määrän takia kummankin kaivoksen tulosten perusteella määritettiin myös yhteiset MAC_{kaivos} -arvot, $11,58 \text{ m}^2/\text{g}$ (AE33) ja $10,74 \text{ m}^2/\text{g}$ (MA200). Arvot olivat lähempänä MAC -oletusarvoja kuin laboratoriokokeissa.



Kuva 16. Kromi- ja kultakaivoksessa mitattujen mustan hiilen (BC) ja alkuainehiilen (EC) pitoisuuksien välinen vertailu. Mikroetalometridasta on poistettu korkeimmat pitoisuudet.

Mittauksiin osallistuneista työntekijöistä muutama tupakoi mittauksen aikana. Vaikka tupakansavussa on vain vähän EC:tä, sen havaittiin näkyvän etalometridatassa kohonneena BC-pitoisuutena (Kuva 17). Tupakoinnin havaittiin myös nostavan hetkellisesti absorption aallonpituusriippuvuutta kuvaavaa AAE-arvoa (Kuva 16). AAE-arvoa voidaanakin mahdollisesti käyttää tunnistamaan tupakoinnista johtuvaa BC:n nousua etalometridatassa, jolloin dieselnokialtistumista mitattaessa tupakoinnista johtuva pitoisuuden nousu voidaan tarvittaessa jättää huomiotta.



Kuva 17. Tupakansavun vaikutus mikroetalometrilla mitatun mustan hiilen (BC) pitoisuuteen ja Ängströmin eksponenttiin (AAE).

3.5 Kuitumittarin käyttö asbestin mittaamisessa

Kaivosten ilmanlaatumittausten yhteydessä mitattiin kuitupitoisuuksia optisella kuitumittarilla, jonka tuloksia verrattiin asbestin lainsäädännön mukaiseen mittaussuunnitelmaan. Asbestimittauksissa näyte kerättiin suodattimelle ja analysoitiin ulkopuolisessa laboratoriossa.

Kaivosilman asbestipitoisuudet olivat alhaiset, pääasiassa alle lainsäädännön mukaisen mittaussuunnitelman määrittämisen, mikä vaikeutti mittaussuunnitelmien vertailua. Yhtenä mittauspäivänä kuitumittari mittasi pölyisessä työkohteessa monta kertaluokkaa suurempia kuitupitoisuuksia verrattuna lainsäädännön mukaiseen mittaussuunnitelmaan, joka todennäköisesti johtui ilmassa olevista muista kuitumaisista epäpuhtauksista.

4 Johtopäätökset

Kromikaivoksessa lastauksen aikana mitatussa ilmanlaadussa oli paljon vaihtelua. Dieselnoen pitoisuudet vaihtelivat raja-arvon alittavista pitoisuuksista yli 30 kertaa raja-arvon ylittäviin pitoisuuksiin. Samankaltaista vaihtelua havaittiin myös hiilidioksidipitoisuuksissa, nanohiukkasten pinta-alapitoisuuksissa, hengittyvän pölyn massapitoisuuksissa ja hiukkasten lukumääräpitoisuuksissa, huolimatta lastauskoneissa ja kiviautoissa käytössä olleista hiukkassuodattimista. Lastausalueella musta hiili ja nanohiukkaset olivat hiilidioksidikorrelaation perusteella pakokaasuperäisiä. Työntekijöistä dieselnoelle altistuivat eniten kiviautonkuljettajat, joiden altistuminen oli korkeampaa ja jatkuvampaa kuin samalla alueella työskentelevien lastaajien. Korkeammat altistumistasot johtuivat mahdollisesti kiviautojen sisäilmasuodattimien heikommasta toimivuudesta lastauskoneisiin verrattuna. Myös lastaajien ja ruiskubetonoiden dieselnokipitoisuudet ylittivät raja-arvon joidenkin työntekijöiden osalta. Alveolijakeiselle pölylle ja kiteiselle kvartsille altistuminen oli vähäistä lukuun ottamatta ruiskubetonoidia, joista suurimmalla osalla alveolijakeisen pölyn pitoisuus ylitti tavoitetason. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaisia lastauksessa, vaikka osassa mittauksista TVOC-yhdisteiden teollisuusilman tavoitetaso ylittyi. Tavoitetason ylittyessä tilanne on kohtuullinen. Huoltohallissa TVOC-pitoisuus ylitti teollisuusilman viitearvon yhdessä mittauksessa. Viitearvon ylittyessä pitoisuus on TTL:n mukaan liiallinen. BTEX-yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaiset kaikissa mittauksissa. VOC-yhdisteiden pitoisuudet eivät ylittäneet HTP-arvoja. Yhdisteet olivat todennäköisesti peräisin pääosin polttoaineista ja moottoriöljyistä. Esitetyissä altistumiseen liittyvissä tuloksissa ei huomioida työntekijöiden hengityssuojainten käyttöä, mikä vähentää hengitystiealtistumista merkittävästi.

Kultakaivoksessa erityisesti hiilidioksidipitoisuuksissa oli paljon vaihtelua ja ne kohosivat ajoittain korkeiksi. Yhtä voimakas vaihtelu ei näkynyt mustan

hiilen, nanohiukkasten tai hengittyvän pölyn pitoisuuksissa, mihin todennäköisesti oli syynä lastauskoneiden ja kiviautojen tehokkaat pakokaasusuodattimet. Hiukkassuodattimien käyttöön viittasi myös mustan hiilen ja nanohiukkasten sekä hiilidioksidin välinen korrelaatio, joka oli mittauspäivästä riippuen joko kohtalainen tai vähäinen. Työntekijöistä korkein dieselnokialtistuminen mitattiin rusnarilta yksittäisessä mittauksessa, ja mitattu pitoisuus ylitti dieselnoen tulevan raja-arvon. Korkean pitoisuuden ja jatkuvan altistumisen perusteella rusnaus tehtiin mittauspäivänä dieselillä. Alveolijakeiselle pölylle altistuivat eniten ruiskubetonoijat ja analyysilaboratorion laborantit, ja kiteiselle kvartsille laborantit sekä rikastamon murskaoperaattorit ja jauhatus-vaahdotusoperaattori. Raskasmetallien osalta arseenin pitoisuus ylitti raja-arvon yksittäisillä työntekijöillä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) olivat yleisesti alhaisia, vaikka osassa lastauksen läheltä kerätyistä näytteistä teollisuusilman tavoitetaso ylittyi. BTEX-yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaiset. VOC-yhdisteiden pitoisuudet alittivat HTP-arvot. Yhdisteiden merkittävimmät lähteet olivat todennäköisesti polttoaineet ja moottoriöljyt. Työntekijöiden hengityssuojainten käyttö vähentää altistumista merkittävästi ja sitä ei ole huomioitu esitetyissä altistumistuloksissa.

Etalometreilla mitattu musta hiili korreloi hyvin alkuainehiilianalyysin tulosten kanssa sekä laboratoriossa että kaivosmittauksissa. Kannettavien mikroetalometrien havaittiin soveltuvan hyvin työntekijöiden altistumisen selvittämiseen. Ne mahdollistavat nopean reagoinnin korkeisiin pitoisuuksiin ja niiden avulla voidaan selvittää eniten altistumista aiheuttavia työvaiheita ja tapahtumia, kun mittausdata yhdistetään työntekijöiden kirjauksiin työpäivän tapahtumista. Etalometrilla mitatuista taustailman pitoisuuksista voidaan havaita nopeasti kohonneet pitoisuudet, jolloin voidaan ryhtyä tarvittaessa toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi, ja sitä voidaan hyödyntää myös altistumista vähentäviä toimenpiteitä suunnitellessa. Hankkeen tulosten perusteella etalometreille määritettiin massa-absorptiokertoimet, joita voidaan käyttää arvioimaan

alkuainehiilipitoisuuksia etalometrimittausten perusteella kaivosympäristöissä.

Tupakoinnin havaittiin vaikuttavan etalometrilla määritettävään mustahiilipitoisuuteen. Etalometridatasta laskettua, absorptioon aallonpituusriippuvuutta kuvaavaa Ångströmin eksponenttia voidaan mahdollisesti käyttää tupakoinnin tunnistamiseen, jolloin tupakointi voidaan ottaa huomioon mitattaessa työntekijöiden dieselnokialtistumista etalometreilla.

Riskinarviointikyselyn tulokset ovat vain yksittäisten työntekijöiden näkemyksiä asiasta pienen otoskoon vuoksi. Kyselyn perusteella eniten vaaraa tai haittaa kaivoksilla aiheuttivat tapaturman vaarat, kemialliset vaaratekijät sekä fysikaaliset vaaratekijät. Tapaturman vaarojen osalta esille nousivat erityisesti liukastuminen, kompastuminen ja henkilön putoaminen. Kemiallisista vaaratekijöistä vastauksissa korostuivat varsinkin pölyt ja kuidut, kaasut sekä höyryt ja savut. Fysikaalisista vaaratekijöistä merkittävimiksi koettiin jatkuva melu, iskumelu sekä yleisilmanvaihtoon ja kohdepoistoon liittyvät ongelmat.

Suosituksset

Työntekijät työskentelevät koneissa ja ajoneuvoissa usein ilman hengityssuojainta, joten sisäilmasuodattimien ja tiivisteiden kuntoon on maanalaisissa kaivoksissa tarpeellista kiinnittää erityistä huomiota. Työntekijöiden olisi myös hyvä välttää tarpeetonta hytin oven tai ikkunan aukaisemista esimerkiksi lastausalueella. Ajoneuvojen alkuperäiset sisäilmasuodattimet eivät välttämättä ole riittävän tehokkaita maanalaiseen kaivokseen. Hyttien sisäilmaa arvioitaessa on huomioitava kaivostyökoneiden ohjaamoiden sisäilman laatua koskeva standardi SFS-ISO 23875:2022, jossa on asetettu vaatimuksia mm. hyttien hiilidioksidi- ja hiukkaspitoisuuksille, sekä epäpuhtauksien poistumisnopeudelle.

Kaivoksen ilmanvaihdolla on merkittävä vaikutus ilmanlaatuun ja siten myös alueella työskentelevien työntekijöiden altistumiseen. Koska huono ilmanlaatu on yleensä vaikea todeta aistinvaraisesti, ilmanvaihdon toimivuutta voi olla tarpeellista tarkkailla ennen työn aloitusta. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi seuraamalla ilman hiilidioksidipitoisuuksia, koska korkea hiilidioksidipitoisuus viittaa usein myös korkeisiin pakokaasujen pitoisuuksiin.

Koneiden ja ajoneuvojen pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät ovat tärkeässä roolissa lastausalueella työskentelevien työntekijöiden pakokaasu-altistumiseen. Erityisesti dieselhiukkassuodattimien toimivuus on tärkeä varmistaa, sillä lastausalueella dieselnoki- ja hiukkaspitoisuuksien on havaittu nousevan ajoittain korkeiksi koneiden ja ajoneuvojen hiukkassuodattimista huolimatta.

Dieselpakokaasuille altistavissa työvaiheissa kaasumaisten yhdisteiden seuranta dieselnokipitoisuuksien lisäksi voi olla tarpeellista. Myös kaasumaisten terveydelle haitallisten yhdisteiden, kuten typen oksidien, pitoisuudet voivat nousta korkeiksi pienistä dieselnokipitoisuuksista huolimatta.

Kaivosten tuotantoalueilla työskentelevien työntekijöiden vaatteisiin ja kenkiin tarttuu kaivoksesta pölyä, joka voi sisältää terveydelle haitallisia yhdisteitä. Työntekijöiden riittävä puhdistautuminen ennen taukoja ja työpäivän päätyttyä estää pölyn kulkeutumista puhtaisiin tiloihin. Tämä vähentää kaivostyöntekijöiden lisäksi muun henkilökunnan mahdollista altistumista kaivosalueella.

Analyysilaboratorion työntekijöiden altistumista alveolijakeiselle pölylle ja kiteiselle kvartsille voi vähentää tekemällä pölyävä työvaihe esimerkiksi vetokaapissa tai kohdepoistojen alla.

Kaivosilman terveydelle haitallisten yhdisteiden pitoisuudet voivat nousta ajoittain korkeiksi ja ilmanlaadussa on paljon vaihtelua myös saman työvaiheen aikana. Tämän vuoksi yksittäiset mittaukset eivät välttämättä anna todellista kuvaa altistumistasosta ja altistumismittauksia on tärkeää tehdä eri työvaiheista säännöllisesti. Hengityssuojaimia käyttämällä voidaan vähentää työntekijöiden altistumista, kun pitoisuuksia ei muilla keinoilla saada pidettyä riittävän alhaisina tai kun ilmanlaadusta ei ole tietoa työtä aloitettaessa.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet voivat olla ajoittain korkeita ja ylittää teollisuusilman viitearvon ajoneuvoja ja koneita huollettaessa (huoltohallit). Pitoisuudet tulee pyrkiä alentamaan viitearvon alapuolelle esimerkiksi ilmanvaihtoteknisillä ratkaisuilla.

Lähteet

- Boudigaard, S. H., Hansen, K. K., Kolstad, H., Kromhout, H., & Schlünssen, V. 2022. Determinants of respirable quartz exposure concentrations across occupations in denmark, 2018. *Annals of Work Exposures and Health*, 66(4), 472–480.
- Chang, P., & Xu, G. 2017. A review of the health effects and exposure-responsible relationship of diesel particulate matter for underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(5), 831–838.
- Debia, M., Couture, C., Njanga, P.-E., Neesham-Grenon, E., Lachapelle, G., Coulombe, H., Hallé, S. and Aubin, S. 2017. Diesel engine exhaust exposures in two underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology* 27(4), 641–645.
- 2004/37/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi työntekijöiden suojelemisesta syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville tekijöille, perimän muutoksia aiheuttaville aineille tai lisääntymiselle vaarallisille aineille altistumiseen työssä liittyviltä vaaroilta
- Gren, L., Kraus, A.M., Assarsson, E.E., Broberg, K., Engfeldt, M., Lindh, C., Strandberg, B.B., Pagels, J. and Hedmer, M., 2022. Underground emissions and miners' personal exposure to diesel and renewable diesel exhaust in a Swedish iron ore mine. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 95(6), 1369–1388.
- IARC 2012. International Agency for Research on Cancer (IARC), IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. A Review of Human Carcinogens, Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Volume 100 Part C. Lyon, France.
- International Organization for Standardization (ISO). 2021. Indoor air – part 6: determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption

- and gas chromatography using MS or MS FID. Geneva: ISO. Standard No. ISO 16000-6:2021.
- Kaivosturvallisuusopas 2019. Työturvallisuuskeskus TTK, metallialan työalatoimikunta.
- Lack, D.A. and Cappa, C.D. 2010. Impact of brown and clear carbon on light absorption enhancement, single scatter albedo and absorption wavelength dependence of black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10(9), 4207–4220.
- Linnainmaa, M., Kanerva, T., Törmänen, S., Taxell, P., Santonen, T., Hyytinen, E.-R., Hyvärinen, V., Oksa, P. 2016. Hiukkaset ja melu kestävässä kaivosympäristössä (HIME). Loppuraportti. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Lukkarinen, K., Koponen, H., Karjalainen, A., Hyttinen, M., Pasanen, P. ja Sippula, O. 2023. Työperäinen altistuminen dieselnoelle, kiteiselle kvartsille ja pölylle kaivosympäristöissä, Kirjallisuuskatsaus osana TASK-hanketta.
- Misra, S., Sussell, A. L., Wilson, S. E., & Poplin, G. S. 2023. Occupational exposure to respirable crystalline silica among US metal and nonmetal miners, 2000–2019. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(3), 199–212.
- NIOSH 2003. DETERMINATION OF AIRBORNE CRYSTALLINE SILICA, NIOSH Manual of Analytical Methods by Rosa J. Key-Schwartz, Ph.D., NIOSH/DART; Paul A. Baron, Ph.D., NIOSH/DART; David L. Bartley, Ph.D., NIOSH/DART; Faye L. Rice, NIOSH/EID, and Paul C. Schlecht, NIOSH/DART. Portions of this chapter were adapted from: NIOSH [2002].
- NIOSH 2020. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th Edition.
- Petzold, A., Ogren, J.A., Fiebig, M., Laj, P., Li, S.-M., Baltensperger, U., Holzermann, T., Kinne, S., Pappalardo, G., Sugimoto, N., Wehrli, C., Wiedensohler, A. and Zhang, X.-Y., 2013. Recommendations for reporting “black carbon” measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13(16), 8365–8379.

- Saarikoski S., Teinilä K., Timonen H., Aurela M., Laaksovirta T., Reyes F., Vásques Y., Oyola P., Artaxo P., Pennanen A.S., Linnainmaa M., Salonen R.O. ja Hillamo R. 2018. Particulate matter characteristics, dynamics, and sources in an underground mine. *Aerosol Science and Technology* 52, 114–122.
- Salo, L., Rönkkö, T., Saarikoski, S., Teinilä, K., Kuula, J., Alanen, J., . . . Keskinen, J. 2021. Concentrations and size distributions of particle lung-deposited surface area (LDSA) in an underground mine. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(8)
- Scarselli, A., Corfiati, M., Di Marzio, D., & Iavicoli, S. 2014. Evaluation of workplace exposure to respirable crystalline silica in Italy. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 20(4), 30–307.
- SFS-ISO 23875:2022. Mining. Air quality control systems for operator enclosures. Performance requirements and test methods (ISO 23875:2021)
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2015. Riskien arviointi työpaikalla - työkirja. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2020. HTP-arvot 2020: Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
- Taxell, P., & Santonen, T. 2017. Diesel engine exhaust: Basis for occupational exposure limit value. *Toxicological Sciences*, 158(2), 243–251.
- Työterveyslaitos. 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Työterveyslaitos 2016. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumistio. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Vna 1267/2019. Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta
- World Health Organization 2012. IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic. Press release N° 213 (2012). France.

Ädelroth, E., Hedlund, U., Blomberg, A., Helleday, R., Ledin, M., Levin, J. O., .
. . Järholm, B. (2006). Airway inflammation in iron ore miners
exposed to dust and diesel exhaust. *European Respiratory Journal*,
27(4), 714–719.

Liitteet

LIITE 1. RASKASMETALLIEN PITOISUUDET

Arseenin (As), kromin (Cr), kadmiumin (Cd) ja berylliumin (Be) pitoisuudet kultakaivoksen työntekijöillä hengittyvän pölyn jakeesta mitattuna. <LOQ alle kvantitointirajan; n = mittausten lukumäärä

	As	Cr	Cd	Be
	Ka (vaihteluväli)	Ka (vaihteluväli)	Ka (vaihteluväli)	Ka (vaihteluväli)
Maanalainen kaivos				
Nousuporari (n=1)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Pitkäreikäporari (n=2)	1,7 (0,7-2,7)	< LOQ	< LOQ	0,003 (0,002-0,004)
Varastotyöntekijä (n=1)	<DL	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Rakentaja (n=1)	0,2 (-)	< LOQ	0,005 (-)	0,002 (-)
Peräporari n=2)	0,1 (0,1-0,2)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Peräpanostaja (n=1)	0,8 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Mekaanikko (n=2)	0,1 (0,1-0,2)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Ruiskubetonioija (n=1)	0,1 (-)	< LOQ	< LOQ	0,003 (-)
Rusnari (n=1)	0,8 (-)	< LOQ	< LOQ	0,003 (-)
Varustelija (n=1)	0,8 (-)	< LOQ	< LOQ	0,003 (-)
Vaijeripulttaaja (n=1)	0,3 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Kaivinkoneenkuljettaja (n=1)	0,2 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Pyöräkoneenkuljettaja (n=3)	12,2 (0,3-35,9)	0,7 (< LOQ-1,2)	< LOQ	0,002 (0,001-0,005)
Sähköasentaja (n=1)	0,9 (-)	< LOQ	< LOQ	0,001 (-)
Rikastamo				
Jauhatus-vaahdotusoperaattori (n=1)	4,0	< LOQ	< LOQ	0,001 (-)
Back up-operaattori (n=2)	24,7 (12,1-37,3)	1,0 (< LOQ-1,0)	0,003 (<LOQ-0,003)	0,007 (0,003-0,012)
Rimpipasta/ vesienkäsittely-operaattori (n=1)	0,4 (-)	< LOQ	< LOQ	0,002 (-)
AC-operaattori (n=1)	4,1 (-)	< LOQ	< LOQ	0,002 (-)
Metallurgian tekniikko (n=1)	30,5 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
CIL-operaattori (n=3)	17,6 (0,4-37,8)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Vuorotyönjohtaja (n=1)	0,8 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Valvomo-operaattori (n=1)	0,2 (-)	< LOQ	< LOQ	0,001 (-)
Pastaoperaattori (n=2)	3,3 (0,8-5,8)	13,9 (< LOQ-13,9)	< LOQ	0,016 (0,007-0,026)
Mekaanikko (n=1)	0,9 (-)	20,6 (-)	< LOQ	< LOQ
Kaivosalue				
Siivooja (n=5)	0,2 (0,2)	< LOQ	< LOQ	0,001 (< LOQ-0,001)
Analyysilaboratorio				
Laborantti (n=1)	1,0 (-)	< LOQ	< LOQ	< LOQ

**HANNA KOPONEN,
ANTTI KARJALAINEN, MARKO HYTTINEN,
PERTTI PASANEN & OLLI SIPPULA**



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi

**PUBLICATIONS OF
THE UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND**
Reports and Studies in Science, Forestry and Technology

ISBN 978-952-61-4975-2
ISSN 2954-1956