



Työterveyslaitos

Haitalliset kemialliset aineet kivihiilivoimaloissa – Altistuminen ja torjunta

**Työterveyslaitos:
Mika Jumpponen
Hannu Rönkkömäki
Tapani Tuomi
Tiina Santonen
Juha Laitinen**

**Terveyden ja
hyvinvoinnin laitos:
Matti Viluksela
Merja Korkalainen
Jorma Mäki-Paakkanen**



Työterveyslaitos

Haitalliset kemialliset aineet kivihiilivoimaloissa – Altistuminen ja torjunta

TYÖSUOJELURAHASTON YHTEISHANKE NUMERO 111229

Työterveyslaitos, Työympäristön kehittäminen osaamiskeskus: Mika Jumpponen, Hannu Rönkkömäki, Tapani Tuomi, Tiina Santonen ja Juha Laitinen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos: Matti Viluksela, Merja Korkalainen ja Jorma Mäki-Paakkanen

Työterveyslaitos

Helsinki 2014

Työterveyslaitos

Työhygieniä -tiimi

PL 310

70101 Kuopio

www.ttl.fi

Valokuvat: Mika Jumpponen

Kansi: Mainostoimisto Albert Hall Finland Oy Ltd

© 2014 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-404-9 (nid.)

ISBN 978-952-261-405-6 (PDF)

JUVENES PRINT – SUOMEN YLIOPISTOPAINO OY 2014

ESIPUHE

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Työterveyslaitoksen, Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen, Energiateollisuus ry:n ja hankkeessa mukana olleiden yhteistyöyritysten ja heidän alihankkijoidensa kanssa. Tutkimusta rahoitti Työsuojelurahasto, Työterveyslaitos ja hankkeessa mukana olevat yhteistyöyritykset.

Tutkimusryhmä kiittää Energiateollisuus ry:tä, tutkimuksessa mukana olleita yrityksiä ja heidän alihankkijoitaan hyvästä yhteistyöstä. Yritysten ja alihankkijoiden työntekijöiden aktiivinen ja myönteinen asenteenne hanketta kohtaan mahdollistivat hankkeen toteuttamisen vuosien 2012 - 2014 aikana. Haluamme kiittää lisäksi Työterveyslaitoksen Kemian laboratorion ja materiaali- ja hiukkastutkimus – tiimin henkilökuntaa tutkimushankkeen työhygieenisten näytteiden analysoimisesta. Haluamme myös kiittää tilastotiede ja terveystaloustiedepalvelut Maria Hirvosta tutkimushankkeen tilastollisten testien tekemisestä. Haluamme kiittää lisäksi Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ympäristöterveyden osaston Arja Moilasta ja Arja Kinnusta soluviljelystä ja näytteiden analysoinnista, sekä Labtium Oy:n henkilökuntaa tuhkanäytteiden analysoimisesta.

Kuopiossa 11.6.2014

Tutkimusryhmä

TIIVISTELMÄ

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Työterveyslaitoksen, Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen, Energiateollisuus ry:n ja hankkeessa mukana olleiden yhteistyöyritysten ja heidän alihankkijoidensa kanssa. Tutkimuksessa selvitettiin kivihillivoimalaitosten tuhkien koostumusta, haitallisia vaikutuksia keuhkojen soluille ja työhygieenisistä riskitekijöitä huolto- ja korjaustöissä. Mitattujen epäpuhtauksien ja niiden pitoisuuksien perusteella arvioitiin käytössä olevan suojautumistason riittävyttä sekä annettiin ehdotuksia altistumisen vähentämiseksi ja sen seuraamiseksi.

Työntekijät hengitysvyöhykkeiltä mitattiin kivihillivoimalaitoksissa suuria pölypitoisuuksia erityisesti kattilalaitteiden sisällä tehtävien työvaiheiden aikana. Työvaiheista pölyisimpiä olivat kattilan seinän purkaminen, kattilan sisäpesu ja sähkösuodattimen sisäpuolinen korjaus. Näissä työvaiheissa työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä mitattiin kohonneita alumiinin, arseenin sekä lyijyn pitoisuuksia ja suuria kiteisen kvartsin pitoisuuksia. Tuhkanäytteistä laskennallisesti arvioituna myös kromaattien pitoisuudet voivat olla suuria kyseisissä työvaiheissa. Biomonitorointitulokset osoittivat, että työntekijät altistuivat lyijylle kyseisten työvaiheiden aikana. Heidän veren lyijypitoisuuden keskiarvo ylitti lievästi altistumattoman väestön viite-arvon.

Hiilimonoksidia esiintyi kattilalaitteiden sisällä, kuten tulikynnyksen vesipesun aikana ja sähkösuodattimessa tehtävien korjaustyövaiheiden aikana. Rikkidioksidia esiintyi puolestaan kattilarakenteiden polttoleikkaamisen aikana.

Polttolaitosten puhdistajien ja korjaajien käsistä mitattiin työntekijöiden käyttämistä suojakäsineistä huolimatta arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Kyseisten metallien pitoisuudet olivat pääasiassa (nikkeliä lukuun ottamatta) pienempiä työntekijöiden kokokeholta mitatuissa näytteissä, joten työntekijöiden käyttämät työvaatteet suojasivat kehon pääasiassa paremmin kuin työntekijöiden käyttämät suojakäsineet.

Solutoksisuuskokeiden perusteella voimalaitostuhkat aiheuttavat suhteellisen pieninä pitoisuuksina tulehdusvasteita keuhkojen makrofageissa. Lisäksi monet tuhkat ovat perimämyrkyllisiä ja siten potentiaalisesti syöpävaarallisia. Tuhkien välillä on kuitenkin tässä suhteessa selviä eroja.

Turvallinen työskentely kivihillivoimalaitosten kattilasalissa seinän purkamisen aikana ja kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä (sähkösuodattimen korjaus, kattilan pesu, ekonomaiserin korjaus ja tulistimen korjaus) edellyttää moottoroitujen hengityksensuojaimien käyttöä, joissa on ABEK+P3 suodatinpatruunat ja kasvonsuojain (suojaa myös silmät) näissä työvaiheissa. Muissa työvaiheissa kattiloiden ulkopuolella voidaan käyttää vähintään P3-luokan suodattimilla varustettuja hengityksensuojaimia. Lisäksi työntekijöiden on hyvä käyttää käsien ihoa suojaavia pitkävartisia nahkaisia käsineitä, jotta mahdollista ruuansulatuskanavan kautta tapahtuvaa altistumista voitaisiin hallita. Lisäksi yleiseen hygieniaan ja suojavarusteiden huoltamiseen ja puhdistamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

ABSTRACT

This research was carried out in co-operation between the Finnish Institute of Occupational Health, the National Institute for Health and Welfare, the Finnish Energy Industries, and three coal-fired power plants and their subcontractors. We measured the occupational chemical risk factors of workers during ash removal and maintenance tasks in coal-fired power plants, and produced guides for reducing and following up workers' exposure to chemical agents during these work tasks. Chemical analyses were carried out on coal and biomass ashes, and their harmful effects on lung cells were studied.

The results indicated high inhalable dust concentrations during work tasks inside the power plant components. The highest inhalable dust concentrations were measured during the demolition of boiler walls, during the washing of the boilers, and during the maintenance of the electric precipitator. While performing these work tasks, elevated aluminum, arsenic and lead concentrations, as well as high concentrations of crystalline silica were measured. Biomonitoring results revealed the intake of lead during these work tasks, and lead concentrations in the workers exceeded the limit values of non-exposed populations.

Carbon monoxide gas was present inside the power plant boilers while washing them and during the maintenance of the electric precipitator. Sulfur dioxide gas was present during flame cutting of boiler materials.

Although workers used protective gloves during the work tasks, metals (arsenic, cadmium, nickel, and lead) were found in their hands. These metals were measured also in workers' whole body samples, although the metal concentrations were smaller. Workers protective clothing protected their body skin against these metals more effectively than the gloves.

Toxicity tests indicated that relatively low concentrations of power plant ash can cause inflammatory responses in alveolar macrophage cells. In addition, many of the analyzed ashes were genotoxic, and therefore potentially carcinogenic to humans. Clear differences were found among the effects of different ashes.

We recommend powered air respirators with ABEK+P3 cartridges and face masks as the minimum requirement for people who have to work inside coal-fired power plant boilers. During work tasks outside the boilers, the use of P3-class respirators is recommended.

Workers should also use over-the-wrist long protective gloves, and pay more attention to their personal hygiene in order to avoid hand and body exposure to metals. In addition, workers should also properly maintain and clean their personal respirators, mask, gloves and clothes to minimize exposures to chemical agents.

SISÄLTÖ

1	Johdanto.....	3
1.1 Kivihiilen käyttö	3
1.2	Kivihiilen erityispiirteet ja sen poltossa syntyvät jätteet.....	4
1.3	Työntekijöiden altistumisen arvioiminen kivihillivoimaloissa	5
1.4	Solutoksisuustestit tuhkan vaarallisuudesta	6
1.5	Aikaisempia tutkimustuloksia voimalaitosten altisteista ja näiden tutkimusten liittyminen tähän tutkimukseen.....	7
2	Tutkimuksen tavoitteet	9
3	Aineisto ja menetelmät	10
3.1	Aineisto	10
3.1.1	Ammattiryhmät ja tiedot voimalaitoksista	10
3.2	Menetelmät	10
3.2.1	Työhygieeniset mittaukset.....	10
3.2.2	Ihon ja kokonaisaltistumisen määrittäminen.....	12
3.2.3	Materiaalinäyteanalyysit.....	12
3.2.4	Kemikaalien riskinarviointi	13
3.2.5	Solutoksisuustestit	13
4	Tulokset.....	16
4.1	Ilmanäytteet.....	16
4.2	Käsienpesunäytteet	27
4.3	Iholappunäytteet.....	28
4.4	Biomonitorointinäytteet	29
4.5	Tuhkanäytteet	29
4.6	Kemiallisten analyysien ja toksikologisten testien tulokset.....	32

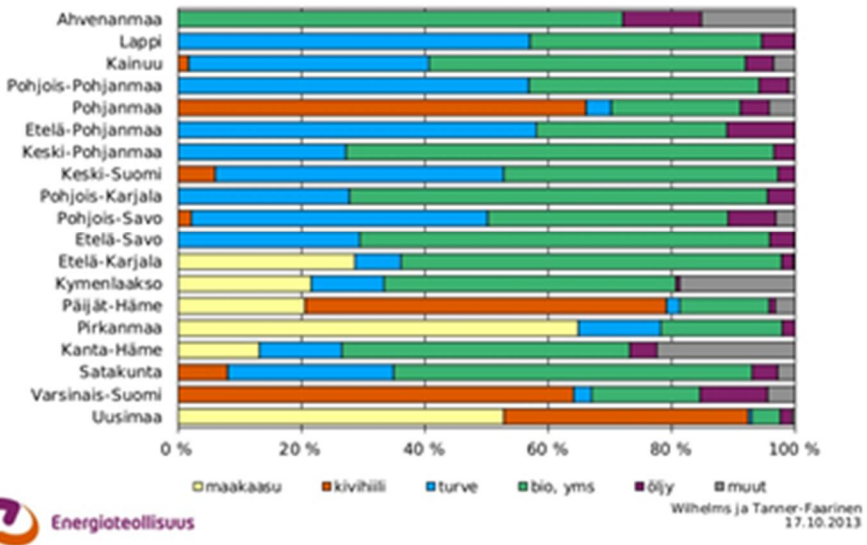
5	Tulosten tarkastelu	42
5.1	Hengitystiealtistuminen	42
5.2	Ihon altistuminen	54
5.3	Kokonaisaltistuminen	55
5.4	Tuhkanäytteiden aikuainepitoisuudet	55
5.5	Tuhkan sisältämät kromaattit ja laskennalliset pitoisuudet työpaikan ilmassa	59
5.6	Solutoksisuustestit	59
5.7	Kemiallisten analyysien ja toksikologisten testien tulokset	60
6	Johtopäätökset	63
6.1	Hengitystiealtistuminen	63
6.2	Ihon altistuminen	68
6.3	Kokonaisaltistuminen	69
6.4	Solutoksisuustestit	70
7	Toimenpidesuositukset altistumisen vähentämiseksi	71
7.1	Altistumisen vähentäminen kattiloiden sisällä tehtävissä töissä	71
7.2	Kokonaisaltistumisen ja henkilön käyttämien suojainten toimivuuden arvioiminen	73
7.3	Toimenpiteet työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi	74
8	Ohjeet työterveyshuolloille	77
	Lähteet	79
	Liitteet	83
	Liite 1. Malliratkaisuja VOIMALAITOSTEN HUOLTO- JA KORJAUSTÖIHIN – Työt kattilalaitteiden sisällä	84
	Liite 2. PCR-array -testin geenien lyhenteiden selitykset	90

1 JOHDANTO

1.1 Kivihillen käyttö

Kivihilli on maailmassa eniten käytetty sähköntuotannon polttoaine ja öljyn jälkeen maailman tärkein energianlähde. Noin kolmasosa maailman sähköntuotannosta ja viidesosa koko energian tarpeesta katetaan hiilellä. Suomessa kivihillen käyttö (kuva 1) pääpolttoaineena on keskittynyt lähinnä isoihin lauhde- ja kaukolämpövoimalaitoksiin. Lisäksi kivihilltä käytetään pienessä mittakaavassa teollisuudessa sähkön ja lämmön tuotannossa (Energiateollisuus 2013, 2 ja 3).

Kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön polttoaineet 2012



Kuva 1. Eri polttoaineiden käyttö Suomessa (Energiateollisuus ry).

1.2 Kivihillen erityispiirteet ja sen poltossa syntyvät jätteet

Kivihillen etu muihin polttoaineisiin verrattuna on sen hyvä saatavuus ja kohtuullinen hinta. Kivihiltä on lisäksi helppo varastoida poikkeustilanteiden varalle, sillä hiilivoimalaitoksen vuotuinen polttoaine mahtuu kohtuukokoiselle kentälle voimalaitoksen viereen. Tämän takia kivihillillä onkin suuri merkitys maamme energiahuoltovarmuuden ylläpitämisessä. Lisäksi huoltovarmuuskeskus velvoittaa pitämään yllä hiilivarastoja (Energiateollisuus 2013, 2).

Kiinteiden polttoaineiden, kuten kivihillen palaessa sen sisältämiä mineraaleja jää pohja- ja lentotuhkiin. Pohjatuhkaksi kutsutaan palamattomia aineita, jotka poistetaan suoraan tulipesästä palamisprosessin jälkeen. Pohjatuhka voi siis sisältää mm. kiviä, metalleja ja muuta palamatonta ainesta. Pohjatuhka poikkeaa lentotuhkasta mm. partikkelikoon että koostumuksen osalta. Pohjatuhkaa voidaan hyötyä käyttää mm. erilaisiin käyttökohteisiin kuten yleisiin teihin, katuihin, pysäköintialueisiin jne., mikäli sen ominaisuudet täyttävät MARA-asetuksessa (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591) annetut ehdot. Pohjatuhkan sisältämiä metalleja voidaan ottaa myös erikseen talteen. Savukaasujen mukana kulkeutuvaa tuhkaa kutsutaan lentotuhkaksi. Lentotuhka erotetaan polttoprosessin savukaasuista savukaasun puhdistusjärjestelmässä. Lentotuhka sisältää suurimman osan kivihillen sisältämistä raskasmetalleista. Raskasmetallit voivat poistua tulipesästä savukaasujen mukana kaasumaisina yhdisteinä. Raskasmetallit voivat myös savukaasujen jäähtyessä kondensoitua ja reagoida tuhkan muiden aineiden kanssa. Lentotuhka voi sisältää liukoisia raskasmetalleja ja niiden eri yhdisteitä (Makkonen 2006). Kivihillituhkat sisältävät myös piidioksidia, alumiinioksidia sekä kaliumin, magnesiumin ja raudan oksideja. Nämä ovat myös luonnon maa- ja kiviaineksissa yleisimmin esiintyviä ainesosia. Kivihillituhkat sisältävät myös pieniä määriä useita muita alkuaineita sekä palamatonta hiiltä. Kivihillen poltosta syntyy vuosittain arviolta noin 90 000 tonnia pohja- ja yli 500 000 tonnia lentotuhkaa. Tuhkien laatuun ja määrään vaikuttaa itse polttoaineen lisäksi energiantuotantoprosessi ja kaasujen puhdistuksessa käytettävä tekniikka (Energia-teollisuus 2013, 1).

Kivihiilivoimalaitoksissa syntyy myös märän tai puolikuivan rikinpoiston lopputuotetta. Märkämenetelmässä savukaasu pestään ja sen neutralointiin käytetään yleisimmin kalsiumoksidia ja kalsiumhydroksidia sekä kalkkikiveä. Lopputuotteena saadaan kipsiä. Märkämenetelmän rikinpoistokipsin hyötykäyttöaste on yli 95 %. Puolikuivamenetelmässä alkali syötetään veden kanssa savukaasuihin, jolloin vesihöyryssä, tapahtuu rikin sitoutuminen. Rikinsidontatuote ja lentotuhka poistetaan pölynerottimella. Puolikuivamenetelmässä syntyvä lopputuote ei sovellu sinällään hyötykäyttäväksi, mutta käyttö on mahdollista seostamalla pieniä määriä rikinpoistotuotetta lentotuhkaan (Energiateollisuus 2013, 1).

1.3 Työntekijöiden altistumisen arvioiminen kivihiilivoimaloissa

Hengitystiealtistuminen

Aineiden pitoisuuksia mitataan yleensä työpaikan ilmasta, koska merkittävin altistumistapa monelle altisteelle tapahtuu hengityselinten kautta. Ilman epäpuhtauksien mittauksilla on pitkät perinteet työolosuhteiden seurannassa ja kerättyjen näytteiden analyysimenetelmiä löytyy lukuisille yhdisteille. Mittausmenetelmillä voidaan mitata pieniäkin pitoisuuksia ja tulosten tulkinta on periaatteessa yksinkertaista, koska useimmille aineille löytyy työhygieeninen vertailuarvo. Mittausten tavoitteena on tavallisesti selvittää työntekijöiden altistumista tai altistumisolosuhteita torjuntatoimenpiteitä varten (Rantanen ja Pääkkönen 2008).

Ihoaltistuminen

Ihoaltistuminen aiheutuu tavanomaisissa oloissa kiinteän tai nestemäisen aineen joutumisesta iholle. Pölyt voivat myös kiinnittyä iholle ja tunkeutua työvaatetuksen läpi aiheuttaen oireita iholla. Saastuneiden pintojen koskettaminen johtaa myös ihoaltistumiseen. Myös kaasumaiset aineet voivat imeytyä ihon läpi. Aineet voivat joko imeytyä ihon läpi tai vahingoittaa ihoa. Ihon kautta tapahtuvaan altistumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten aineen ja ihon ominaisuudet sekä altistumisaika. Työntekijöiden ihoaltistumista voidaan arvioida lappunäytteillä ja pyyhkäisynäytteillä, jolloin saadaan tarkempaa tietoa iholle joutuneista

aineista (Rantanen ja Pääkkönen 2008,3). Ihoaltistumisen arvioimiseksi ei ole olemassa vielä raja-arvoja, joten tuloksia joudutaan usein vertaamaan eri työvaiheiden ja menetelmien välillä.

Biologinen monitorointi

Aineille altistumista voidaan mitata myös työntekijän veri- tai virtsanäytteestä. Biologisilla mittauksilla saadaan tietoa kaikkien altistumisreittien (hengitystiet, iho ja ruuansulatuskanava) kautta tulevista altisteista. Biologisilla mittauksilla voidaan siis täydentää ilman epäpuhtauksien mittauksilla (hengitystiealtistuminen) saatuja tietoja altistumisesta. Biologiset mittaukset kuvaavat työhygieenisia mittauksia paremmin altistumista esimerkiksi tilanteissa, joissa työntekijät käyttävät hengityksen suojaimia. Biologiset mittaukset ottavat huomioon myös työn fyysisen kuormittavuuden ja työympäristön mahdolliset vaikutukset (mm. kuumeisuus). Työntekijät elimistöön kertyvää altistekuormaa ja edelleen sen aiheuttamaa terveydellistä riskiä voidaan arvioida vain biologisilla mittauksilla.

1.4 Solutoksisuustestit tuhkan vaarallisuudesta

Työntekijöille aiheutuva terveysriski riippuu paitsi altistumisesta myös altisteen vaaraominaisuuksista eli sen kyvystä aiheuttaa haitallisia vaikutuksia, kuten solutoksisuutta, tulehdusvasteita, perimämuutoksia tai syöpää. Olennaista on myös se kuinka alhaisilla pitoisuuksilla altiste aiheuttaa näitä haittavaikutuksia. Eri voimalaitosten tuhkien vaaraominaisuuksia voidaan tutkia ja vertailla keuhkosoluviljelmillä tehtävillä toksisuustesteillä, joissa haittavaikutusten kannalta keskeisiä soluja altistetaan tutkittavien tuhkien eri pitoisuuksille ja mitataan solujen vasteita. Näin saadaan selville millaisia solutason vaikutuksia eri tuhkat aiheuttavat ja millä altistuspitoisuuksilla haitallisia vaikutuksia ilmenee. Siten erilaisten voimalaitosten tuhkat voidaan asettaa haitallisuusjärjestykseen niiden mahdollisten terveysvaikutusten kannalta.

1.5 Aikaisempia tutkimustuloksia voimalaitosten altisteista ja näiden tutkimusten liittyminen tähän tutkimukseen

Aiemmassa Työsuojelurahaston rahoittamassa tutkimuksessa (Jumpponen ym. 2011, Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit - Altistuminen ja torjunta, hanke nro: 109140) selvitettiin biopolttolaitosten työntekijöiden altistumista tuhkan epäpuhtauksille kattilan puhdistus- ja korjaustöissä. Tutkimuksessa keskityttiin biopolttolaitoksiin, jonka vuoksi kivihillivoimalat, joilla tuotetaan merkittävä osa Suomen lämmön ja energiantuotannosta, eivät olleet mukana selvityksessä. Vaikka kivihillivoimalat ovat pitkään palvelleet energiantuotantoa, työntekijöiden altistumisesta on silti kertynyt hyvin vähän tutkimustietoa. Kirjallisuudessa kivihillitä polttavien voimalaitosten työntekijöiden on todettu altistuvan terveyttä vaarantaville kemikaaleille, kuten syöpävaarallisille polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (Dormans ym. 1999, Öztürk ym. 2002, Mani ym. 2007, Celic ym. 2007), tuhkasta vapautuville kaasuille, haihtuville orgaanisille yhdisteille ja metalleille (Khan ym. 2009). Kivihillivoimalaitosten tuhkan tiedetään myös sisältävän syöpävaarallista kiteistä kvartssia (Van Maanen et al. 1999). Joitakin tutkimuksia on olemassa työntekijöiden altistumisesta kivihillitä polttavassa laitoksessa käytön aikana (Hicks and Yager 2006) ja myös kattilan puhdistamisen aikana (Hicks and Yager 2006, Celic ym. 2007, Mani ym. 2007). Kirjallisuudessa on kuitenkin hyvin vähän tietoa kivihillivoimalaitoksissa työskentelevien altistumisesta tuhkan sisältämille metalleille (Pöykiö ym. 2008 ja 2009). Oletettavaa on, että kivihillitä polttavien laitosten huoltotyötehtävissä yhteisaltistuminen monille metalleille on merkittävämpää kuin mitä kirjallisuuden perusteella voidaan päätellä. Työntekijöiden yhteisaltistumisella metalleille voi olla vakavia vaikutuksia työntekijöiden terveyteen. Altistuminen alumiinille voi pitkäaikaisessa altistumisessa aiheuttaa lieviä hermostohaittoja joilla saattaa olla merkitystä iän mukaan tuoman kognitiivisen funktion laskun kannalta (Riihimäki ja Aitio, 2013). Myös arseenin on epäilty aiheuttavan neurotoksisia vaikutuksia, mutta näyttö näistä on puutteellista. Arseenin kriittinen terveysvaikutus on sen syöpävaarallisuus (IPCS, 2001, IARC, 2012). Lyijy on tunnettu neurotoksinen metalli aiheuttaen subkliinisiä hermostovaikutuksia aikuisilla jo veren lyijypitoisuuksien ylittäessä >1.4 mikromol/l (SCOEL, 2002). Myös pitkäaikainen mangaani-altistuminen voi johtaa keskushermostohaittoihin, korkeilla altistumistasoilla jopa Parkinsonisminkaltaiseen oirekuvaan (Santonen ja Aitio, 2013).

Tämä tutkimusraportti täydennetään aikaisempaa biopolttolaitoksissa tehtyä tutkimusta (hanke nro: 109140) selvittämällä vastaavien altisteiden pitoisuuksia kivihiihivoimaloissa.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteet olivat seuraavat:

1. Selvitetään kivihillivoimalan tuhkien koostumus ja niiden riskitekijät huoltohenkilökunnan altistumisen ja terveysriskin kannalta.
2. Mitataan voimaloiden huoltotöiden yhteydessä kerättyjen tuhkanäytteiden potentiaalia aiheuttaa muutoksia keuhkosoluissa solutoksisuustestien avulla. Verrataan kivihillivoimalan tuhkan solutoksisuutta biopolttolaitosten tuhkiin ja arvioidaan materiaalinäytteen kemiallisen analyysin tulosten käyttökelpoisuutta verrattuna solutoksisuustestin antamiin tuloksiin tuhkien jatkokäytön arvioinnissa.
3. Arvioidaan huoltohenkilökunnan käytössä olevan suojautumistason riittävyys polttolaitosten tuhkan puhdistamisen ja korjaustyön aikana. Ehdotetaan altistumisen vähentämiseksi torjuntatoimenpiteet tuhkan puhdistajille ja korjaajille.
4. Luodaan malliratkaisu puhdistus- ja korjaustyöhön, joka huomioi myös ohjeistuksen työterveyshuolloille polttolaitosten työntekijöiden altistumisen arvioinnista erilaisissa voimaloissa.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Aineisto

3.1.1 Ammattiryhmät ja tiedot voimalaitoksista

Työntekijöiden altistumismittauksia tehtiin kolmessa kivihiltä pääasiassa polttavassa voimalaitoksessa [kivihillivoimala nro 1 (80 % kivihilli ja 20 % sahanpuru) ja kivihillivoimalat nro 2 ja 3 (100 % kivihilli I ja II)]. Mittauskäyntien aikana selvitettiin tuhkan puhdistajien ja korjaajien hengitystiealtistumista hengittyvälle pölylle, hengittyvän pölyn sisältämille metalleille, polysyklisille aromaattisille hiilivety yhdisteille (PAH-yhdisteet), kvartsille, kuiduille ja kaasumaisille altisteille. Käsien kautta tulevaa metallialtistumista arvioitiin käsienpesunäytteiden avulla ja kehon kautta tulevaa metallialtistumista lappunäytteiden avulla. Työntekijöiden kokonaisaltistumista selvitettiin virtsasta ja verestä otettujen näytteiden avulla.

Mittauskäyntien aikana polttolaitosten tuhkista (pohjatuhka ja lentotuhka) otettiin materiaalinäytteitä alkuaineanalyysjä varten. Materiaalinäytteitä otettiin ensisijaisesti niistä tiloista, joissa työntekijät työskentelivät kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattilan korjaamisen aikana. Materiaalinäytteistä valmistettiin näytteitä solutoksisuustesteihin ja kemiallisiin analyyseihin, siten että materiaalinäytteistä generoitiin pölyä laboratorio-olosuhteissa ja pölypilvestä kerättiin näytteitä.

3.2 Menetelmät

3.2.1 Työhygieeniset mittaukset

Työterveyslaitoksen Asiakasratkaisut on akkreditoitu testauslaboratorio T013 (FINAS-akkreditointipalvelut, EN ISO/IEC 17025). Näytteenottomenetelmistä hengittyvä ja alveolija-

keinen pöly ja metallit ovat akkreditoituja. Analyysimenetelmistä hengittyvän, alveolijakeisen pölyn määrittäminen ja kvartsi ovat akkreditoituja. Biologisista analyysimenetelmistä metallit ovat akkreditoituja.

Hengittyvän pölyn näytteitä kerättiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä ja kiinteistä mittauspaikoista polttokattiloiden sisäpuolelta ja ulkopuolelta (TY-TY-001). Näytteet kerättiin kalvosuodattimille IOM-keräimillä ja analysoitiin gravimetrisesti Työterveyslaitoksella Kuopiossa. Gravimetristen analyysien jälkeen metallit analysoitiin suodattimilta ICP-MS-menetelmällä (TY-TY-003) Työterveyslaitoksella Helsingissä. Työntekijöiden hetkellistä hengittyvän pölyn altistumista arvioitiin lisäksi käyttäen hyväksi suoraan osoittavia mittareita (Grimm ja Splitt 2)

Alveolijakeisen pölyn näytteitä otettiin kiinteistä paikoista polttokattiloiden sisältä ja ulkopuolelta. Pölyn alveolijake kerättiin selluloosa-asettaattisuodattimelle sykilonilla. Alveolijakeen massa analysoitiin gravimetrisesti ja pölyn alveolijakeen kiteisen piidioksidin pitoisuus määritettiin Fourier-siirtymän infrapuna-spektrometrillä (FTIR, AR1204-TY-025). Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksella Helsingissä.

Asbestikuitunäytteitä otettiin kiinteistä paikoista polttokattiloiden sisältä ja ulkopuolelta. Näytteet kerättiin polykarbonaattisuodattimille ja kuidut analysoitiin näytteistä käyttäen hyväksi elektronimikroskooppia ja alkuaineanalyysiä. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksella Helsingissä.

Kiinteistä mittauspaikoista polttokattiloiden sisäpuolelta kerättiin PAH-yhdisteiden näytteitä. Hiukkasmaiset polysykliset aromaattiset hiilivedyt kerättiin kalvosuodattimelle ja kaasumaiset XAD-2-hartsisiin. Näytteet analysoitiin nestekromatografisesti fluoresenssidetektorilla Työterveyslaitoksella Helsingissä.

Hiilimonoksidi, rikkidioksidi, ammoniakki, typpidioksidi, typpimonoksidi ja rikkivety mitattiin suoraan osoittavilla kaasun mittareilla (Dräger, X-am 7000, X-am 5600, Pac III ja PAC 7000) kiinteistä mittauspaikoista ja työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä. Mittarit tarkastettiin ennen mittauksia kyseisten altisteiden kaasulla ja seoskaasulla (AGA).

3.2.2 Ihon ja kokonaisaltistumisen määrittäminen

Käsien iholle jäävää pölyn sisältämän metallien määrää mitattiin käsienvesinäytteiden avulla. Näytteitä kerättiin työntekijöiltä ennen ruokailua ja työvuoron päätyttyä. Työntekijöiden käsiin annosteltiin pipetillä 3 ml auringonkukkaöljyä ja heitä pyydettiin "pesemään" kätensä öljyllä standardin EN1499:1997 mukaan (käsien hankaaminen). Tämän jälkeen heille annettiin kaksi kappaletta nenäliinoja (Nessu), joihin työntekijät kuivasivat öljyiset kätensä. Työntekijät laittoivat nenäliinat tämän jälkeen näytteille varattuihin astioihin. Näytteet analysoitiin Labtium Oy:ssä Kuopiossa.

Kehon iholle jäävää pölyn sisältämän metallien määrää mitattiin iholappunäytteiden avulla, jotka oli sijoitettu työntekijöiden työvaatteiden alla työntekijöiden rintaan. Näytteitä kerättiin työntekijöiltä koko työvuoron ajan. Työvuoron jälkeen näytteet laitettiin niille varattuihin näyteastioihin. Näytteet analysoitiin Labtium Oy:ssä Kuopiossa.

Työntekijöiden kokonaisaltistumista metalleille arvioitiin virtsasta ja verestä otettujen näytteiden avulla. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen Helsingissä.

3.2.3 Materiaalinäyteanalyysit

Materiaalinäytteiden alkuainemäärityksen tarkoituksena oli saada tietoa siitä, minkälaisia metalleja tutkimushankkeessa mukana olevien polttolaitosten tuhkat sisältävät ja mitkä ovat tuhkien alkuainepitoisuudet. Koska työntekijät työskentelevät osassa puhdistus- ja korjaustyövaiheissa polttolaitosten sisällä, tuhkan alkuaineista saatuja tietoja käytettiin myös työntekijöiden altistumisen arvioimisessa. Työntekijöiden altistumisen arvioinnissa tärkeimmiksi metalleiksi tuhkanäytteistä valittiin mangaani, alumiini, arseeni, lyijy, seleeni, beryllium ja torium kyseisten aineiden hermostollisten vaikutusten perusteella. Polttokattiloista kerätyistä tuhkanäytteistä analysoitiin noin 40 alkuainetta. Näytteet murskattiin leukamurskaimella ja jauhettiin. Näytteille tehtiin kuningasvesiliuotus ja ne analysoitiin monialkuainemäärityksellä ICP-MS ja ICP-OES tekniikoilla. Näytteiden käsittely ja analyysit tehtiin Labtium Oy:ssä Kuopiossa. Monialkuainemääritykset ICP-MS ja ICP-OES tekniikoilla (epävarmuusarviot 95%:n luottamustasolla metalleittain vaihtelevat 10-55%:n välillä) ja

elohopean määritys pyrolyyttisesti (epävarmuusarvio 95%:n luottamustasolla vaihtelee pitoisuudesta riippuen 25-40%:n välillä) kuuluvat Labtium Oy:ssä akkreditoinnin piiriin.

3.2.4 Kemikaalien riskinarviointi

Altisteiden riskejä arvioitiin vertaamalla mitattuja tuloksia voimassa oleviin terveysperusteisiin HTP-arvoihin, Työterveyslaitoksen biomonitoroinnin raja-arvoihin ja aineiden tunnettuihin annos-vastesuhteisiin.

3.2.5 Solutoksisuustestit

Tuhkanäytteiden solutoksisuustestit tehtiin käyttäen altistumisen ja vasteiden kannalta keskeistä keuhkojen solutyyppejä, keuhkorakkulan syöjäsoluja eli makrofageja, joista valittiin käytettäväksi hiiren makrofagiinija RAW264.7. Tätä solulinjaa on käytetty yleisesti erilaisten polttoeräisten partikkelien toksisuustutkimuksiin, ja sen on todettu soveltuvan hyvin ihmisen toksisuusvasteiden ennustamiseen. Soluja altistettiin seitsemästä erityyppisestä ja erilaista polttoainetta käyttävästä voimalasta huoltotöiden yhteydessä kerätyille tuhkanäytteille (taulukko 1). Esikokeiden perusteella päädyttiin materiaalin tasalaatuisuuden varmistamiseksi jauhamaan tuhkanäytteet ja jakamaan ne partikkelikoon perusteella hengittävään jakeeseen (50% partikkeleista < 100 µm, 50% > 100 µm) ja alveolijakeeseen (50% partikkeleista Ø < 4 µm, 50% > 4 µm), jotka tutkittiin erikseen. Esikokeiden perusteella valitut tuhkapitoisuudet olivat 31,25; 62,5; 125; 250 ja 500 µg/ml. Negatiivisen kontrollina oli soluviljelyelatusaine ja positiivisen kontrollina kvartsihiekkä (500 µg/ml, partikkelikoko Ø 0,5 – 10 µm; 80 % 1-5 µm) sekä metaanimetyylisulfaatti (15 µg/ml, vain Comet-testi). Altistusajat olivat 3 h ja 24 h.

Soluista tutkittiin kolme erilaista vastetyyppeä:

1. Suora solutoksisuus mitattiin solujen elävyytenä laskemalla mikroskoopilla elävät solut trypan blue – värjäyksen jälkeen.

2. Tulehdusvasteet. Kaikista näytteistä mitattiin ensin keskeisen tulehdusreaktion välittäjän tumor necrosis factor alfan (TNF α) ilmentymää kvantitatiivisella PCR-menetelmällä. Tulosten perusteella valittiin seitsemän näytettä tutkittavaksi PCR Array – testillä (RT² Profiler™ PCR Array Mouse Inflammatory Cytokines & Receptors [PAMM-011A], SABiosciences, Qiagen), jonka avulla voidaan tutkia 84 keskeisen tulehdusvasteeseen liittyvän geenin ilmentymistä. Tavoitteena oli saada tietoa mahdollisimman monesta erityyppisestä tuhkasta. PCR-Array –testiin valitut näytteet olivat negatiivikontrolli, tuhka 1 alveolijae, tuhka 1 hengittyvä jae, tuhka 3 alveolijae, tuhka 4 alveolijae, tuhka 5 alveolijae, tuhka 7 alveolijae ja kvartsihiekkä.
3. Perimämyrkyllisyys eli genotoksisuus tutkittiin DNA-vauriota mittaavalla Comet-testillä. Comet-testi on erittäin herkkä yksittäisen solun DNA-juosteen pätkiytymistä elektrofooresimenetelmällä mittaava testi.

Tuhkien toksisuuden kokonaisarviointi tehtiin kaikkien em. testien perusteella. Solujen vasteista tehtiin annos-vaste –mallinnus käyttäen Benchmark dose –menetelmää (http://www.rivm.nl/en/Documents_and_publications/Scientific/Models/PROAST). Sen avulla pystytään laskemaan eri tuhkien vaikutusten voimakkuutta (potenssia) kuvaava pitoisuus, joka aiheuttaa 50% maksimaalisesta vasteesta (EC50-arvo) eri vasteille, ja siten vertailemaan eri voimalaitosten tuhkia vaikutuksen voimakkuuden perusteella. Mitä pienempi EC50-arvo on sitä potentimpi on tuhka tutkittavan vasteen osalta. Tuhkan EC50-arvoa käytetään myös tuhkan haitallisuuden mittana verrattaessa toksisia vaikutuksia kemiallisten analyysien tuloksiin.

Taulukko 1. Solutoksisuustesteissä käytetyt tuhkanäytteet ja polttoaineen koostumus.

Tuhka	Polttoaineen koostumus
Tuhka 1	Kivihilli 80% ja sahanpuru 20%
Tuhka 2	Kivihilli I 100%
Tuhka 3	Kivihilli II 100%
Tuhka 4	Palaturve 100%
Tuhka 5	Puupelletti 100%
Tuhka 6	Turve 50%, metsätähdehake 25% ja kierrätyspuu 25%
Tuhka 7	Sahanpuru 70% ja kuori 30%

4 TULOKSET

4.1 Ilmanäytteet

Taulukossa 2-4 on esitetty hengittyvän pölyn ja sen sisältämien metallien pitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeillä ja kiinteissä mittauspaikoissa. Kuvissa 2 ja 3 on pölypitoisuuksien hetkellisiä vaihteluja eri työvaiheissa. Taulukossa 5-7 on esitetty mitattuja kvartsin, asbestikuitujen ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia eri työvaiheissa. Taulukossa 8-10 on esitetty kaasumaisten altisteiden keskiarvopitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa.

Taulukko 2. Pöly- ja metallipitoisuuksien vaihtelut ja mediaanit (mg/m³) kivihillivoimala 1.

Mittauspaikka, työntekijä, työvaihe	Hengittyvä pöly	Alumiini liukoiset yhd. Al:na	Arseeni ja sen epäorg. yhd. As:na	Mangaani ja sen epäorg. yhd. Mn:na	Lyijy Pb:nä
Sähkösuodattimen korjaus, hv	3,2-9,1 (6,2)	0,082-0,19 (0,14)	0,0002- 0,018 (0,001)	0,0010- 0,012 (0,007)	0,0002- 0,0003 (0,0003)
Sähkösuodattimen korjaus, kp	20-59 (42)	1,1	0,0033	0,0082	0,0012
Kattilan ulkopuolella sähkösuodattimen korjauksen aikana, kp	0,64	0,0044	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Kattilasali seinänpurkupaikka, kp	6,7-19 (13)	0,23-0,32 (0,3)	0,0004- 0,0007 (0,0006)	0,0037- 0,0047 (0,004)	0,0028- 0,0051 (0,004)
Kattilasali seinän purku, hv	12-170 (91)	0,16-3,2 (1,7)	0,0002- 0,0062 (0,003)	0,0017- 0,053 (0,03)	0,0018- 0,037 (0,02)
Seinän purkupaikan alapuolella taso4, kp	74	1,7	0,0032	0,033	0,022

kp = kiinteä mittauspaikka, hv = hengitysvyöhykenäyte, () = mediaani.

Berylliumin pitoisuudet edellä mainituissa työvaiheissa olivat alle 0,0001 mg/m³, kadmiumin pitoisuudet enintään 0,0001 mg/m³, seleenipitoisuudet enintään 0,0005 mg/m³ ja torium-pitoisuudet enintään 0,0004 mg/m³.

Taulukko 3. Pöly- ja metallipitoisuuksien vaihtelut ja mediaanit (mg/m³) kivihillivoimala 2.

Mittauspaikka, työntekijä, työvaihe	Hengittyvä pöly	Alumiini liukoiset yhd. Al:na	Arseeni ja sen epäorg. yhd. As:na	Mangaani ja sen epäorg. yhd. Mn:na	Lyijy Pb:nä
Kattilasali vesipesun aikana, kp	0,34-0,71 (0,53)	0,0029	<0,0001	0,0001	<0,0001
Tuhkakuljettimen korjaus, kp	0,68-0,91 (0,8)	0,012	<0,0001	0,0038	0,0001
Hiilimyllyn korjaus, kp	1,9	0,025	0,0002	0,050	0,0025
Hiilisiilon korjaus, kp	0,99-1,3 (1,1)	0,018	0,0002	0,035	0,0015

kp = kiinteä mittauspaikka, hv = hengitysvyöhykenäyte, () = mediaani.

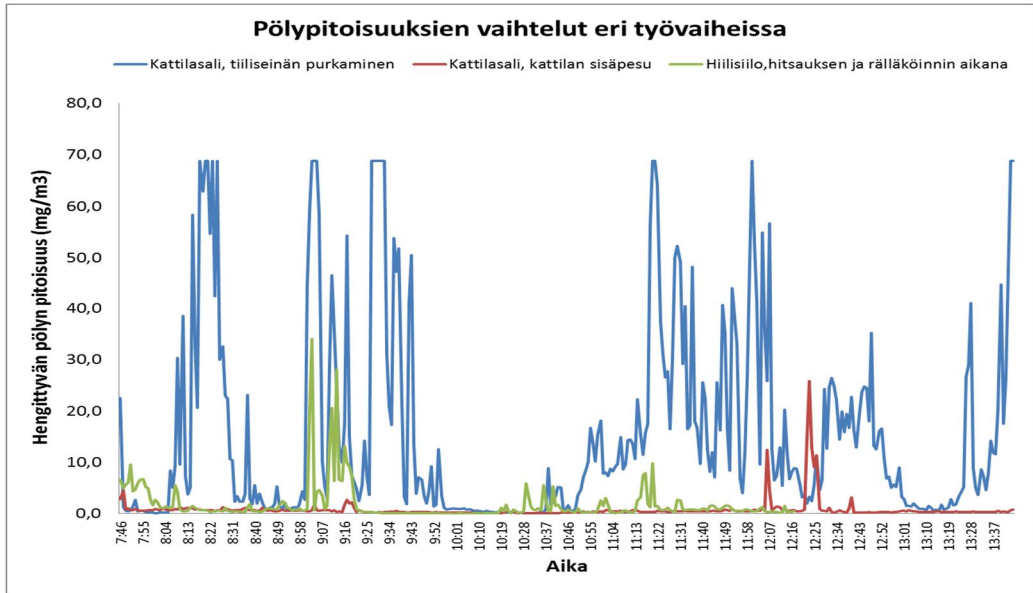
Berylliumin pitoisuudet edellä mainituissa työvaiheissa olivat alle 0,0001 mg/m³, kadmiumin pitoisuudet alle 0,0001 mg/m³, seleenipitoisuudet enintään 0,0001 mg/m³ ja torium-pitoisuudet alle 0,0001 mg/m³.

Taulukko 4. Pöly- ja metallipitoisuuksien vaihtelut ja mediaanit (mg/m³) kivihillivoimala 3.

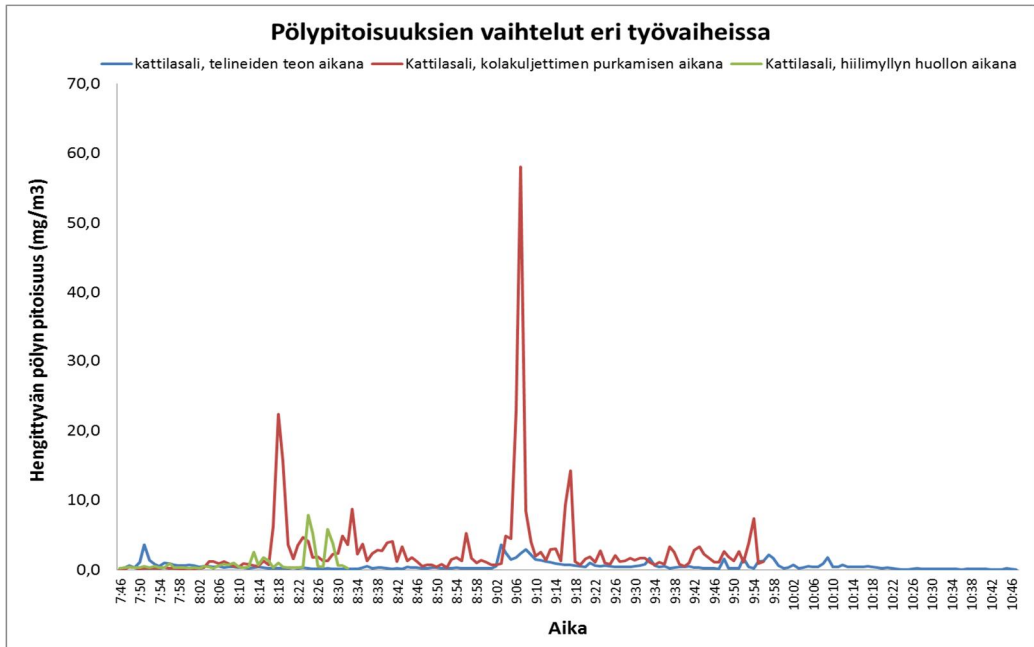
Mittauspaikka, työntekijä, työvaihe	Hengittävä pöly	Alumiini liukoiset yhd. Al:na	Arseeni ja sen epäorg. yhd. As:na	Mangaani ja sen epäorg. yhd. Mn:na	Lyijy Pb:nä
Tulikynnys kattilan sisällä, kp	69-130 (100)	3,6	0,0081	0,022	0,0037
Telineiden tekopaikka, kp	3,4-4,5 (4,0)	0,10	0,0002	0,0015	0,0004
Telineiden teko, hv	1,1	0,036	<0,0001	0,0006	0,0002
Kolakuljettimen vieressä, kp	2,0-2,3 (2,2)	0,060	0,0001	0,0010	0,0011
Tulipesä, korjaus, kp	0,16-2,6 (1,4)	0,059-0,064 (0,06)	0,0003	0,0044	0,0011-0,0014 (0,001)
Tulistin, korjaus, kp	0,26-17 (8,6)	0,072-0,14 (0,11)	0,0008-0,0011 (0,001)	0,0069-0,010 (0,008)	0,0021-0,0023 (0,002)
Kattilasali, kattilan korjauksen aikana, kp	1,1	0,014	<0,0001	0,011	0,0003
Economaiserin alapuoli, korjaus, kp	32-35 (34)	0,51-0,78 (0,7)	0,0044-0,0056 (0,005)	0,040-0,052 (0,05)	0,012-0,020 (0,016)

kp = kiinteä mittauspaikka, hv = hengitysvyöhykenäyte, () = mediaani.

Berylliumin pitoisuudet edellä mainituissa työvaiheissa olivat alle 0,0001 mg/m³, kadmiumin pitoisuudet enintään 0,0001 mg/m³, seleenipitoisuudet enintään 0,0005 mg/m³ ja torium-pitoisuudet enintään 0,0003 mg/m³.



Kuva 2. Pölypitoisuuksien vaihtelut eri työvaiheissa.



Kuva 3. Pölypitoisuuksien vaihtelut eri työvaiheissa.

Taulukko 5. Mitatut kvartsipitoisuudet eri työvaiheissa (mg/m³).

Voimalaitoksen tunnus	Mittauspaikka/ työntekijä /työ- vaihe	Kvartsipitoisuus (mg/m ³)
Kivihiiivoimala 1	Sähkösuodattimen sisällä, korjaustyövaihe	0,086
	Kattilasali, seinän purku	0,024
Kivihiiivoimala 2	Kattilasali, tulistimen vesipesu tankkipesuri	alle 0,007
	Hiilisiilon yläosa, korjaustyövaihe	alle 0,007
	Hiilimyllyn korjaus	alle 0,009
Kivihiiivoimala 3	Tulikynnys, kattilan sisällä	0,69
	Kuonakuljettimen vieressä, purkutyöt	alle 0,013
	Tulipesä, korjaustyövaihe	alle 0,011
	Tulistin, korjaustyövaihe	alle 0,012

Taulukko 6. Mitatut asbestikuitupitoisuudet eri työvaiheissa (> 5 µm kuitua/cm³).

Voimalaitoksen tunnus	Mittauspaikka/ työntekijä /työ- vaihe	Asbestikuitupi- toisuus (> 5 µm kuitua/cm ³)
Kivihillivoimala 1	Sähkösuodattimen sisällä, korjaustyövaihe	alle 0,01
	Kattilasali, seinän purku	alle 0,01
Kivihillivoimala 2	Kattilasali, tulistimen vesipesu tankkipesuri	alle 0,01
	Hiilisiilon yläosa, korjaustyövaihe	alle 0,01
Kivihillivoimala 3	Kattilasali, telineiden teko	alle 0,01
	Kattilasali, kattilan korjauksen aikana	alle 0,01
	Tulipesän sisällä, korjaustyövaihe	alle 0,01
	Tulistimen sisällä, korjaustyövaihe	alle 0,01

Taulukko 7. Mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet eri työvaiheissa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Voimalaitoksen tunnus	Mittauspaikka/työntekijä/työvaihe	Kaasumaiset PAH-yhdisteet, yhteispitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hiukkasmaiset PAH-yhdisteet, yhteispitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Kivihilivoimala 1	Sähkösuodattimen sisällä, korjaustyövaihe	alle 0,1	alle 0,005
	Kattilasali, seinän purku	alle 0,1	alle 0,003
Kivihilivoimala 2	Kattilasali, tulistimen vesipesu tankkipesuri	alle 0,09	alle 0,004
	Hiilisiilon yläosa, korjaustyövaihe	alle 0,26	alle 0,004
Kivihilivoimala 3	Kattilasali, telineiden teko	alle 0,33	alle 0,004
	Tulipesä, korjaustyöt	alle 0,17	alle 0,003
	Tulistin, korjaustyöt	alle 0,14	alle 0,004

Taulukko 8. Kaasujen keskiarvopitoisuudet (ppm) kivihillivoimala 1.

Mittauspaikka/ työntekijä/ työvaihe	Hiilimonoksidi	Ammoniakki	Rikkidioksidi	Rikkivety
Sähkösuodattimen sisällä, korjaustyövaihe	3,8	alle 0,1	-	alle 0,1
Kattilasali, seinän purku	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1
Kattilarakenteiden polttoleikkaus	alle 0,1	alle 0,1	0,4	alle 0,1

- = ei mittaustuloksia

Taulukko 9. Kaasujen keskiarvopitoisuudet (ppm) kivihillivoimala 2.

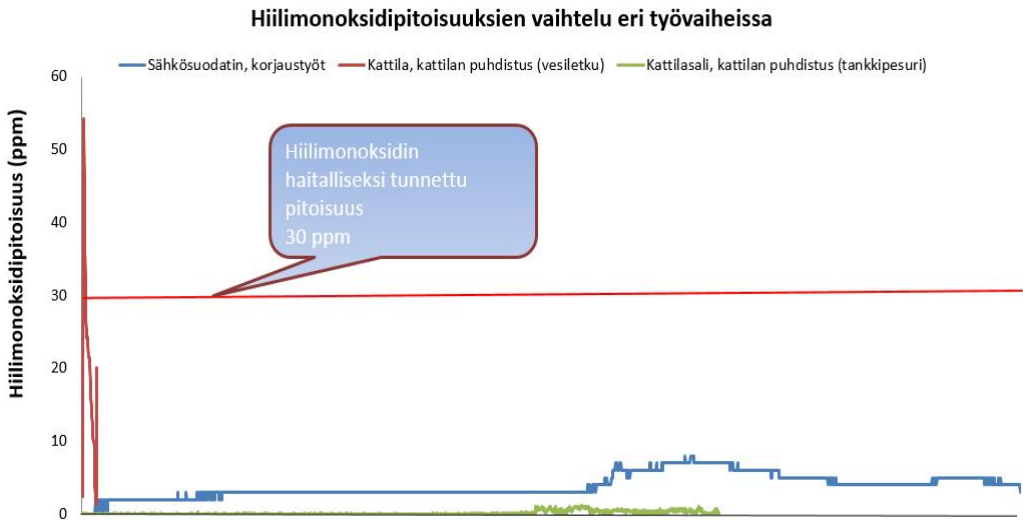
Mittauspaikka/ työntekijä / työvaihe	Hiilimonoksidi	Typpimonoksidi	Ammoniakki	Rikkidioksidi	Rikkivety
Kattilasali, tulistimen vesipesu tankkipesuri	0,14	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	-
Hiilisiilon yläosa, korjaustyövaihe	-	-	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1

- = ei mittaustuloksia

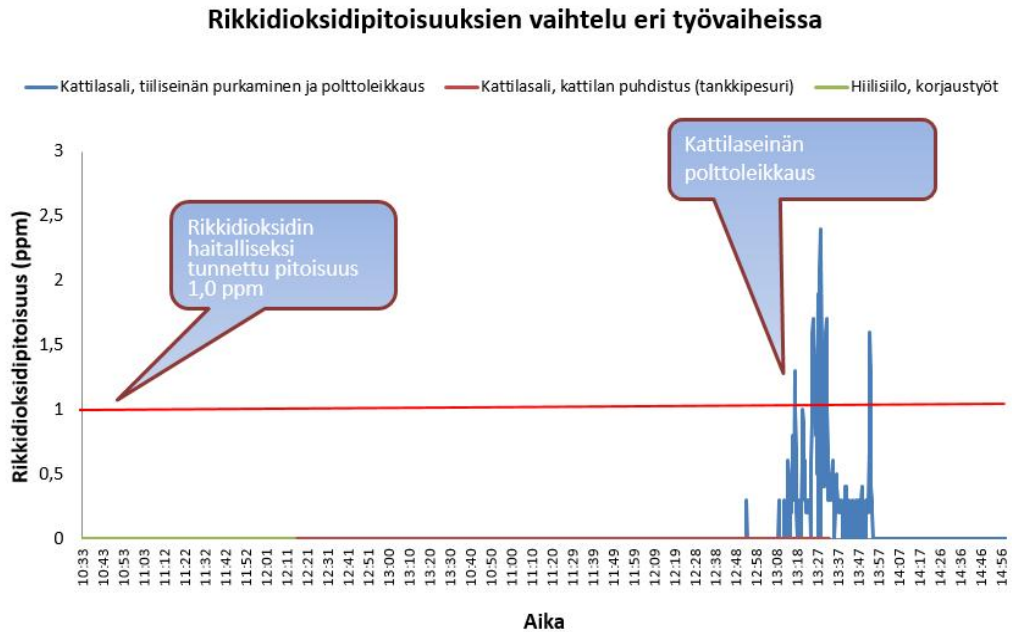
Taulukko 10. Kaasujen keskiarvopitoisuudet (ppm) kivihillivoimala 3.

Mittauspaikka/ työntekijä / työvaihe	Hiilimo- noksidi	Typpi- monok- sidi	Typpi- dioksidi	Ammo- niakki	Rikkidi- oksidi	Rikki- vety
Tulikyynnys, kat- tilan sisällä (vesi- pesu)	20	-	-	-	-	alle 0,1
Tulikyynnys, kat- tilan ulkopulella	0,14	alle 0,1	-	-	-	alle 0,1
Kolakuljettimen putkutyöt	0,08	alle 0,1	-	-	-	-
Tulipesä kattilan korjaus	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	-	-
Tulistin kattilan korjaus	alle 0,1	-	-	-	alle 0,1	alle 0,1
Ekonomaiserin alakerta, kor- jaustyövaihe	alle 0,1	-	-	-	-	-

- = ei mittaustuloksia



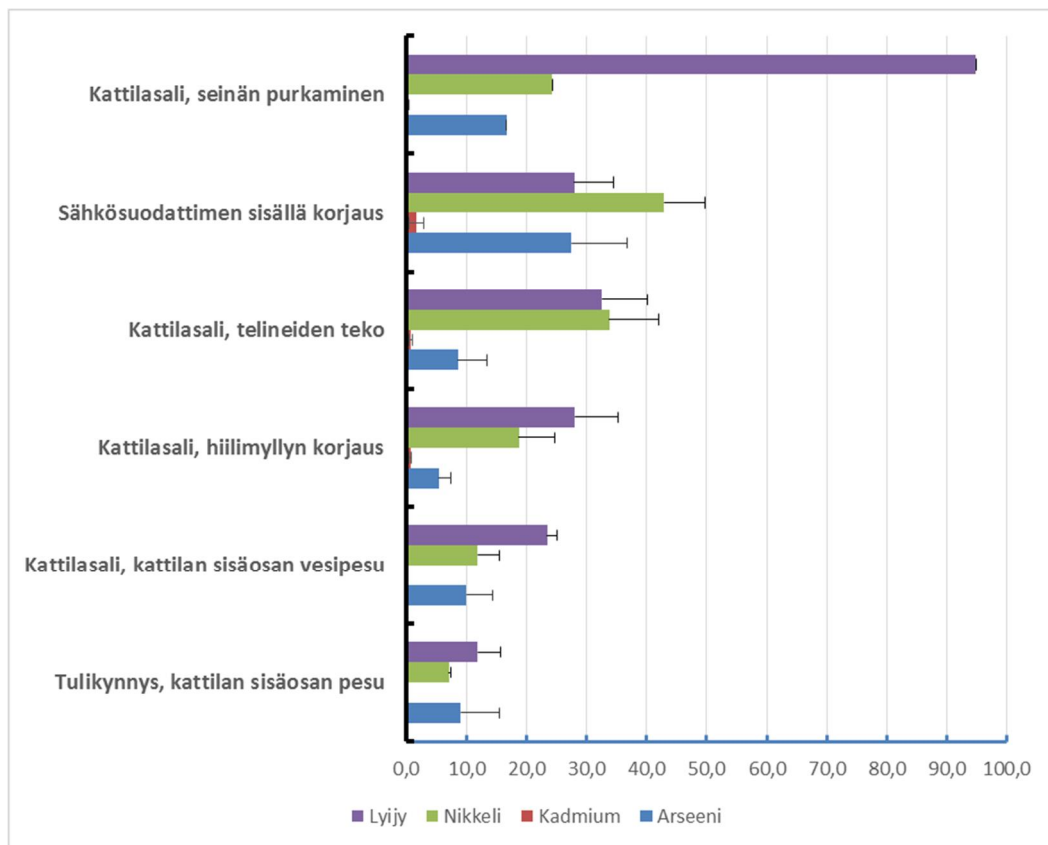
Kuva 4. Kaasupitoisuuksien vaihtelut eri työvaiheissa.



Kuva 5. Kaasupitoisuuksien vaihtelut eri työvaiheissa.

4.2 Käsienpesunäytteet

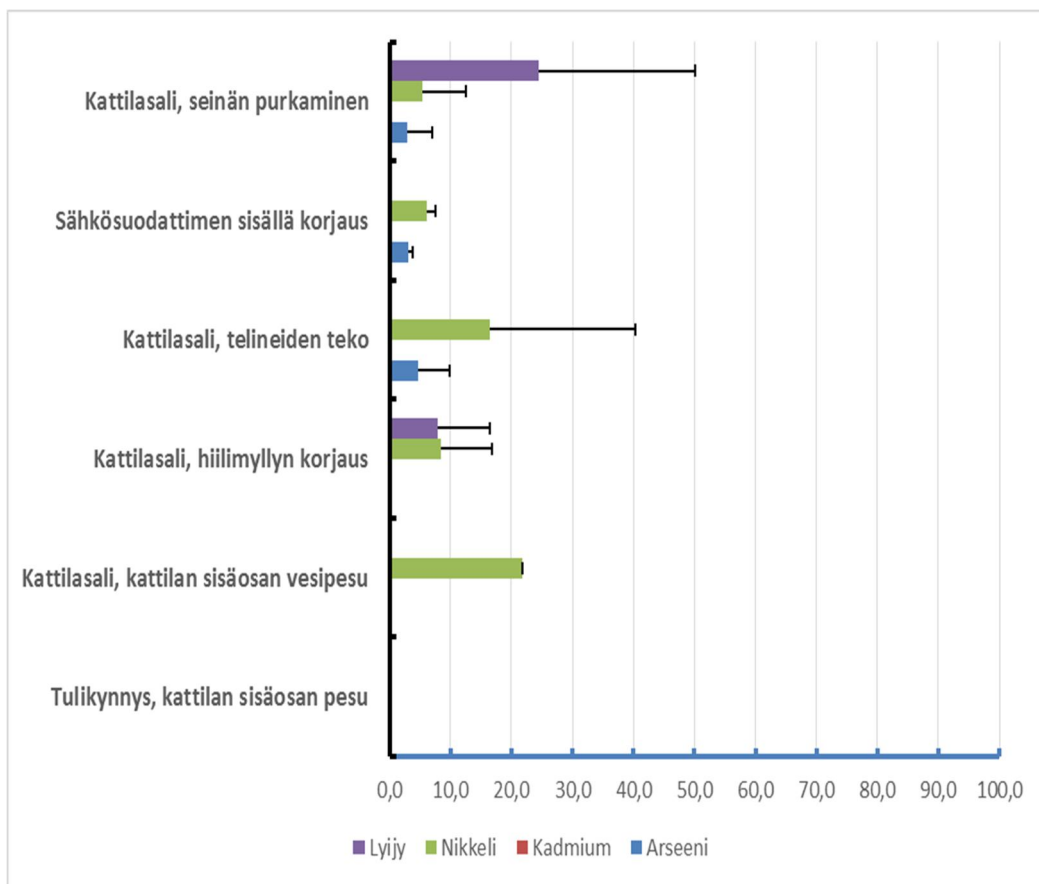
Kuvassa 6 on esitetty työntekijöiden käsienpesunäytteiden keskimääräiset metallitulokset (ng/cm²) työvaiheittain.



Kuva 6. Keskimääräiset metallipitoisuudet työntekijöiden käsissä.

4.3 Iholappunäytteet

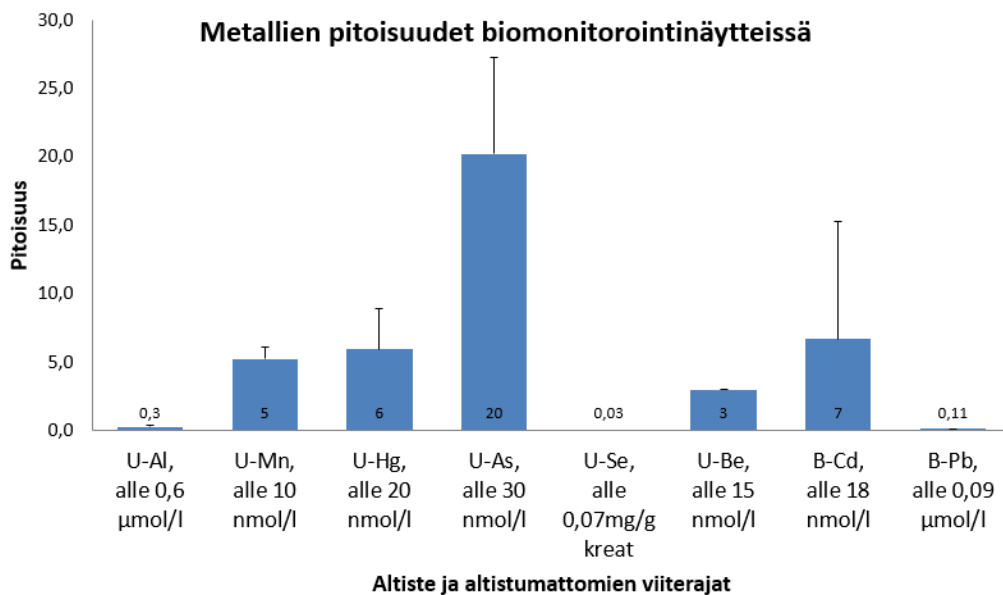
Kuvassa 7 on esitetty iholappujen keskimääräiset metallitulokset (ng/cm²) työvaiheittain.



Kuva 7. Keskimääräiset metallipitoisuudet työntekijöiden työvaatteiden alla iholla rinnassa.

4.4 Biomonitorointinäytteet

Kuvassa 8 on esitetty biomonitorointinäytteiden tulokset kivihiltä polttavissa laitoksissa.



4.5 Tuhkanäytteet

Taulukossa 11 on esitetty tuhkanäytteiden alkuaineiden pitoisuudet mg/kg .

Taulukko 11. Tuhkien alkuainepitoisuudet (mg/kg).

Alkuaine	Kivihiihivoimala 1		Kivihiihivoimala 2		Kivihiihivoimala 3		
	Lento tuhka (^A)	Myytävä lentotuh- ka (^B)	Lento tuhka (^A)	Myytävä lento- tuhka (^B)	Lento tuhka (^A)	Ekono- maiserin alapuoli- nen tuhka (^A)	Myytävä lento tuhka (^B)
Kalsium (Ca)	23400	31600	36100	34650	21200	21200	21400
Kalium (K)	2820	2535	2370	3240	1960	4205	2805
Magnesium (Mg)	6240	7545	8210	8390	5810	14350	6035
Rauta (Fe)	16700	20950	48900	23850	36650	113000	23500
Mangaani (Mn)	136	212	411	246	361	391	241
Alumiini (Al)	17400	19050	19300	22100	11650	19650	19850
Fosfori (P)	2700	1825	1790	1870	1735	1740	1410
Natrium (Na)	3370	2150	2910	2405	2320	4065	3480
Rikki (S)	8190	1495	5880	1535	8040	8780	5290
Barium (Ba)	483	918	811	1155	537	806	835
Strontium (Sr)	802	1110	1140	1075	701	655	812
Titaani (Ti)	561	644	810	756	582	842	691
Boori (B)	479	387	188	406	117	281	243
Rubidium (Rb)	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	8,3
Sinkki (Zn)	61	40	113	54	23	444	54
Kupari (Cu)	28	20	60	22	35	684	55
Kromi (Cr)	26	25	198	27	22	544	28

Taulukko 11. jatkuu.

Alkuaine	Kivihiihivoimala 1		Kivihiihivoimala 2		Kivihiihivoimala 3		
	Lento tuhka (^A)	Myytävä lento- tuhka (^B)	Lento tuhka (^A)	Myytävä lento- tuhka (^B)	Lento tuhka (^A)	Ekono- maiserin alapuoli- nen tuhka (^A)	Myytävä lento- tuhka (^B)
Nikkeli (Ni)	29	22	55	29	44	662	32
Vanadiini (V)	82	54	76	61	52	100	57
Molybdeeni (Mo)	14	8,2	11	10	5,6	72	10
Arseeni (As)	42	29	63	35	19	155	29
Koboltti (Co)	10	7,3	52	10	18	467	12
Lyijy (Pb)	12	6,3	5,3	8,4	10	354	12
Kadmium (Cd)	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	2,3	0,4
Antimoni (Sb)	4,4	2,4	1,5	2,5	1,0	16	2,3
Hopea (Ag)	alle 0,2	alle 0,1	alle 0,2	0,1	alle 0,2	0,4	0,3
Seleen (Se)	2,3	1,4	6,9	1,3	0,7	1,1	4,6
Beryllium (Be)	1,5	1,3	1,8	1,5	1,4	2,0	1,8
Uraani (U)	3,9	3,0	3,0	3,4	1,8	3,4	3,5
Vismutti (Bi)	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	6,0	0,4
Torium (Th)	5,1	4,7	5,8	5,2	4,7	4,4	5,7
Tallium (Tl)	0,4	alle 0,6	0,4	alle 0,6	0,4	0,7	0,6
Litium (Li)	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	23,7	alle 0,1

Taulukko 11. jatkuu.

Alkuaine	Kivihiihivoimala 1		Kivihiihivoimala 2		Kivihiihivoimala 3		
	Lento tuhka (A)	Myytävä lento- tuhka (B)	Lento tuhka (A)	Myytävä lento- tuhka (B)	Lento tuhka (A)	Ekono- maiserin alapuoli- nen tuhka (A)	Myytävä lento- tuhka (B)
Lantaani (La)	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	21,3	alle 0,1
Volframi (W)	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	5,4	alle 0,1
Yttrium (Y)	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	alle 0,1	16,8	alle 0,1

^(A) = Näytteet otettu tiloista, joissa työntekijät työskentelivät,

^(B) = Viiden vuorokauden kokoomanäyte.

4.6 Kemiallisten analyysien ja toksikologisten testien tulokset

Taulukoissa 12-14 on esitetty tuhkanäytteistä tehtyjen kemiallisten analyysien tulokset.

Taulukko 12. Tuhkan kemialliset analyysitulokset (PAH-yhdisteet, mg/kg).

Voimalaitokset	Kivihiihi 1.	Kivihiihi 2.	Kivihiihi 3.	Turve 4.	Puupelletti 5.	Turve, hake ja REF 6.	Puru ja kuori 7.
Pääasialliset polttoaineet	Kivihiihi 80 % / 20 % sahan- puru	Kivihiihi I 100 %	Kivihiihi II 100 %	Palaturve 100 %	Puupelletti 100 %	Turve 50 %, met- sätähde- hake 25 % ja kier- rätyspuu 25 %	Sahan- puru 70 %, kuori 30 %
Naftaleeni	<0,08	<1,1	1.0	<0,2	<0,5	<0,3	<0,2
Fenantreeni	<0,08	<1,1	<0,4	<0,2	<0,5	<0,3	<0,2
Antraseeni	<0,08	<1,1	<0,4	<0,2	<0,5	<0,3	<0,2
Fluoranteeni	<0,08	<1,1	<0,4	<0,2	<0,5	<0,3	<0,2

Taulukko 13. Tuhkan kemialliset analyysitulokset (Hengittyvä pöly, mg/kg).

Voimalaitokset	Kivihilli 1.	Kivihilli 2.	Kivihilli 3.	Turve 4.	Puu- pelletti 5.	Turve, hake ja REF 6.	Puru ja kuori 7.
Pääasialliset polttoaineet	Kivihilli 80 % / 20 % sahan- puru	Kivihilli I 100 %	Kivihilli II 100 %	Pala- turve 100 %	Puupel- letti 100 %	Turve 50 %, met- sätähde- hake 25 % ja kier- rätyspuu 25 %	Sahan- puru 70 %, kuori 30 %
Elohopea (Hg)	alle 5,2	alle 4,5	alle 2,1	alle 11,3	alle 3,9	alle 5,5	alle 6,9
Arseeni (As)	45,7	131	0,9	216,0	5,4	325	8,9
Kadmium (Cd)	0,8	0,9	alle 0,3	3,4	9,1	36,8	7,2
Koboltti (Co)	39,0	75,4	alle 0,5	24,1	10,5	13,5	18,2
Kromi (Cr)	88,3	173	alle 10,5	179	42,4	268	328
Kupari (Cu)	82,2	136	alle 5,2	209	225,6	1516	143
Mangaani (Mn)	172	249	alle 2,1	543	23342	1405	4435
Lyijy (Pb)	61,2	43,7	alle 0,5	102	10,7	4277	41,3
Nikkeli (Ni)	101	120	2,4	204	77,2	109	739
Antimoni (Sb)	7,4	4,5	alle 1,0	alle 5,6	4,5	143	alle 3,4
Tallium (Tl)	2,1	2,5	alle 0,1	1,1	0,6	0,3	alle 0,3
Vanadiini (V)	148	236	alle 2,1	120,1	9,9	33,0	48,8

Taulukko 14. Tuhkan kemialliset analyysitulokset (Alveolijakeinen pöly, mg/kg).

Voimalaitokset	Kivihilli 1.	Kivihilli 2.	Kivihilli 3.	Turve 4.	Puu- pelletti 5.	Turve, hake ja REF 6.	Puru ja kuori 7.
Pääasialliset polttoaineet	Kivihilli 80 % / 20 % / sahan- puru	Kivihilli I 100 %	Kivihilli II 100 %	Pala- turve 100 %	Puupel- letti 100 %	Turve 50 %, met- sätähde- hake 25 % ja kier- rätyspuu 25 %	Sahan- puru 70 %, kuori 30 %
Kvartsi	53,5	46,5	89,8	38,3	alle 7,6	alle 7,7	alle 7,8
Hopea (Ag)	0,06	0,04	0,05	0,3	1,9	32,1	0,3
Vismutti (Bi)	0,57	0,37	0,3	0,9	0,1	8,1	0,2
Kadmium (Cd)	0,49	0,57	0,2	2,4	8,1	37,0	4,9
Molybdeeni (Mo)	22,4	24,5	8,6	10,4	5,3	45,3	3,4
Antimoni (Sb)	5,3	3,0	1,9	3,2	3,5	111	0,9
Seleeni (Se)	2,0	1,5	0,6	1,0	0,6	4,5	0,5
Torium (Th)	5,3	7	6,5	6,8	0,7	2,2	2,5
Tallium (Tl)	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4	0,3	0,1
Uraani (U)	4,8	4,9	3,5	1,5	0,2	6,2	0,5
Volframi (W)	3,0	31,1	2,2	0,3	4,3	3,9	2,3
Alumiini (Al)	20300	26600	12800	28700	4670	10100	15700
Arseeni (As)	56,0	148	30,0	181	2,0	295	3,0
Boori (B)	497	396	204	15,0	473	67,0	83,0
Barium (Ba)	734	1080	751	221	2360	275	567
Beryllium (Be)	2,0	3,0	2,0	1,3	0,1	1,6	0,353
Kalsium (Ca)	17000	24100	12900	60300	232000	101000	94300
Koboltti (Co)	14,7	37,0	11,3	17,0	7,5	10,1	6,5
Kromi (Cr)	32,0	74,0	27,0	112	50,0	205	197
Kupari (Cu)	43,0	122	67,0	170	203	1530	42,0

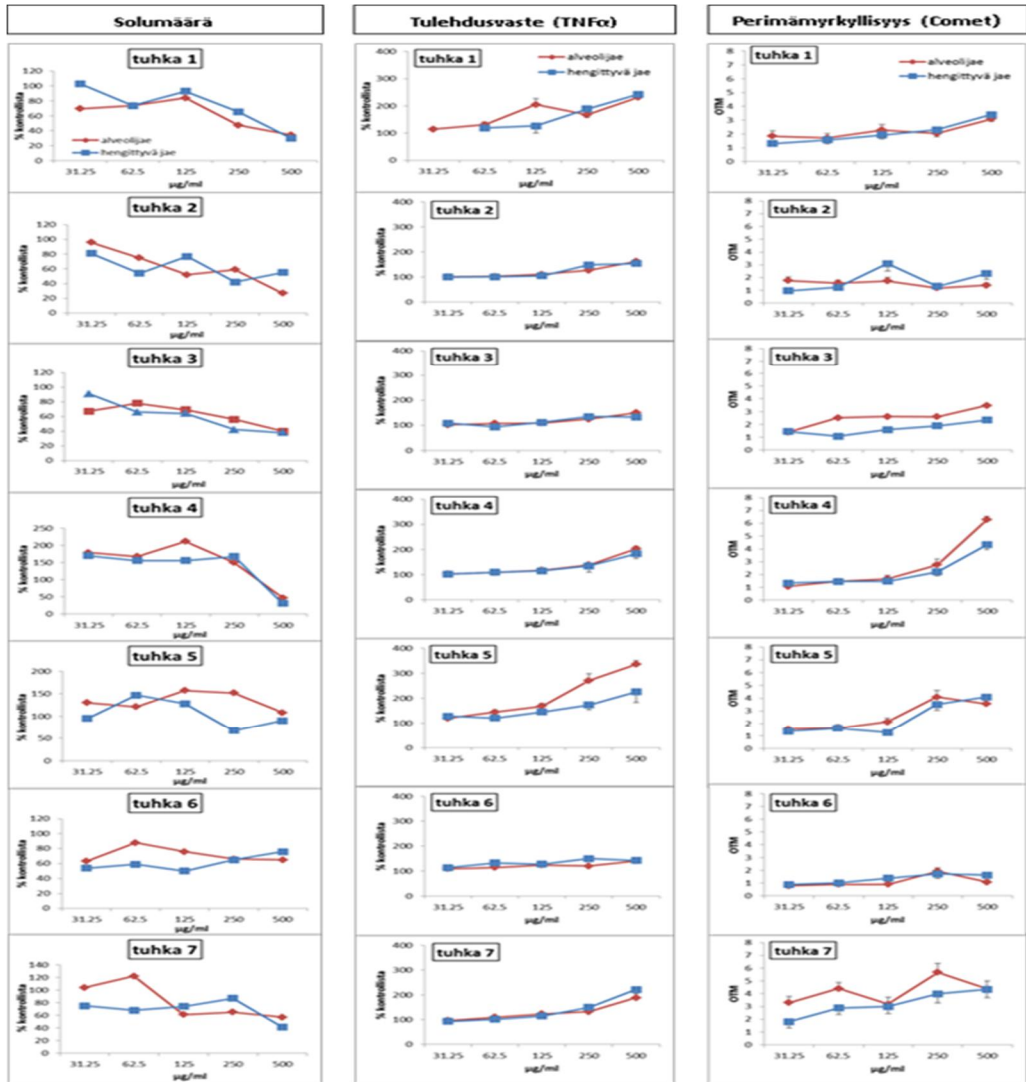
Taulukko 14. jatkuu.

Voimalaitokset	Kivihilli 1.	Kivihilli 2.	Kivihilli 3.	Turve 4.	Puu- pelletti 5.	Turve, hake ja REF 6.	Puru ja kuori 7.
Pääasialliset polttoaineet	Kivihilli 80 % / 20 % sahan- puru	Kivihilli I 100 %	Kivihilli II 100 %	Pala- turve 100 %	Puupel- letti 100 %	Turve 50 %, met- sätähde- hake 25 % ja kier- rätyspuu 25 %	Sahan- puru 70 %, kuori 30 %
Rauta (Fe)	12500	23500	11400	95500	8210	11100	13500
Kalium (K)	3440	4180	3230	1270	91300	139000	19500
Litium (Li)	30,0	41,0	57,0	4,0	23,0	17,0	7,0
Magnesium (Mg)	4880	6950	3380	7170	40000	6320	27100
Mangaani (Mn)	105	220	110	411	24100	1290	3320
Natrium (Na)	3620	4960	3700	1270	9620	37000	9440
Nikkeli (Ni)	41,0	52,0	47,0	94,0	33,0	22,0	162
Fosfori (P)	3350	2770	2130	12000	14600	3510	3870
Lyijy (Pb)	19,0	13,0	9,0	54,0	12,0	3730	13,0
Rikki (S)	7700	9800	11800	42300	4530	151000	5470
Skandium (Sc)	5,4	12,2	5,7	12,1	0,6	2,7	2,1
Mangaani (Mn)	105	220	110	411	24100	1290	3320
Boori (B)	497	396	204	15,0	473	67,0	83,0
Natrium (Na)	3620	4960	3700	1270	9620	37000	9440
Nikkeli (Ni)	41,0	52,0	47,0	94,0	33,0	22,0	162
Fosfori (P)	3350	2770	2130	12000	14600	3510	3870
Lyijy (Pb)	19,0	13,0	9,0	54,0	12,0	3730	13,0
Rikki (S)	7700	9800	11800	42300	4530	151000	5470
Skandium (Sc)	5,4	12,2	5,7	12,1	0,6	2,7	2,1

Taulukko 14. jatkuu.

Voimalai- tokset	Kivihilli 1.	Kivihilli 2.	Kivihilli 3.	Turve 4.	Puu- pelletti 5.	Turve, hake ja REF 6.	Puru ja kuori 7.
Pääasialliset polttoaineet	Kivihilli 80 % / 20 % sahanpuru	Kivihilli I 100 %	Kivihilli II 100 %	Pala- turve 100 %	Puupel- letti 100 %	Turve 50 %, met- sätähde- hake 25 % ja kier- rätyspuu 25 %	Sahan- puru 70 %, kuori 30 %
Strontium (Sr)	755	1300	776	422	1380	390	258
Titaani (Ti)	580	1070	880	503	151	1500	538
Vanadiini (V)	108	122	78,0	86,0	7,0	29,0	33,0
Yttrium (Y)	15,3	27,9	18,4	28,5	1,4	24,6	3,6
Sinkki (Zn)	89,0	150	35,0	98,0	571	3120	648
Vesiliukoiset kromiyhdis- teet (CrVI) Cr:na	4,2	9,6	5,1	0,9	16,2	62,5	75,4
pH	9,2	12,4	7,4	8,1	13,2	11,5	11,5

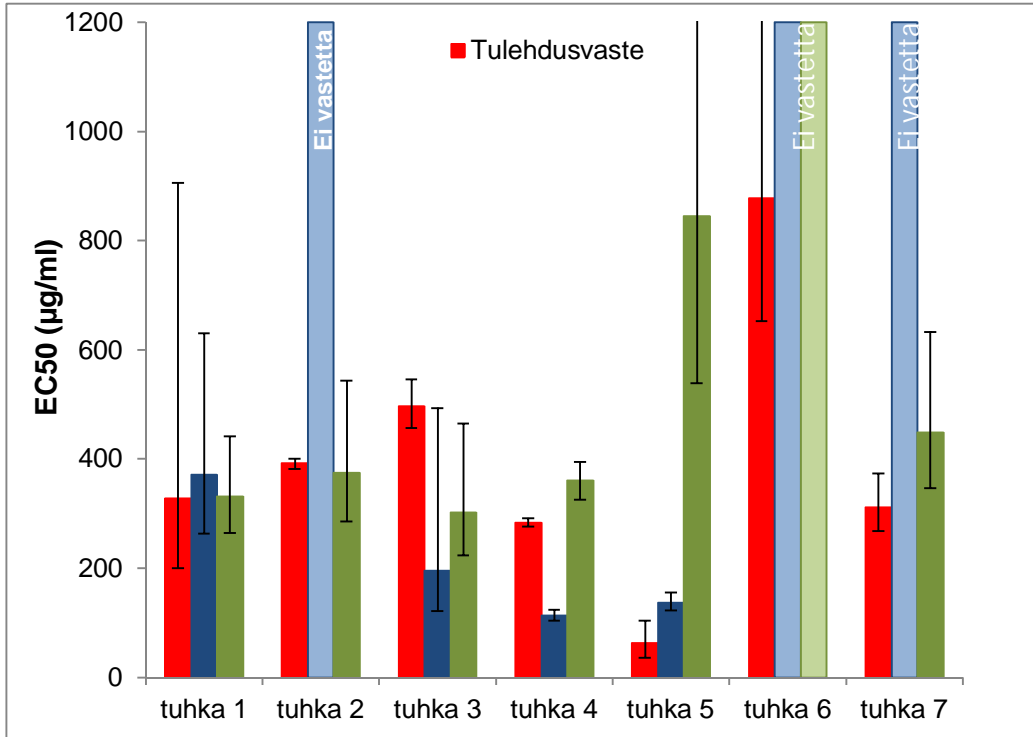
Solutoksisuustestien tulokset yleisen solutoksisuuden, tulehdusvasteen ja perimämyrkyllisyyden osalta on esitetty kuvassa 9 ja annos-vaste – mallinnusten tulokset taulukossa 15 ja kuvassa 10. Solutoksisuuden ja perimämyrkyllisyyden osalta 3 ja 24 h altistukset antoivat pitkälti samansuuntaisia tuloksia. Tulehdusvasteiden osalta lähetti-RNA – tasojen muutokset olivat odotusten mukaisesti voimakkaammat 3 h:n kohdalla. Tässä yhteydessä esitetään vain 3 h tulokset, koska niissä annos-vasteet olivat selvimmät ja soveltuivat siten parhaiten Benchmark dose – mallinnukseen. Yleisen solutoksisuuden osalta eri voimalaitosten tuhkat eivät poikenneet suuresti toisistaan, mutta tuhka 6 ei ollut solutoksinen ja tuhka 5:n vaste oli kaikkein heikoin. Sen sijaan tuhka 5 oli kaikkein potentein tulehdusvasteen osalta ja tuhka 6 vähiten potentti. Kaikki tutkitut tuhkat aiheuttivat selvän, altistuspotoisuudesta riippuvan tulehdusvasteen. Perimämyrkyllisyyden osalta tuhkat 4, 5 ja 3 olivat potenteimpia ja tuhka 1 vähiten potentti. Sen sijaan tuhkat 2, 6 ja 7 eivät aiheuttaneet lainkaan genotoksista vastetta Comet-testissä.



Kuva 9. Eri voimalaitosten tuhkien vaikutus alveolaariseen makrofaagisolulinjaan RAW264.7. Vasen palsta: yleistä solutoksisuutta kuvaava solumäärä; keskialpasta: tulehdusvastetta kuvaava TNF α :n lähetti-RNA:n ilmentyminen; oikea palsta: genotoksisuutta kuvaava Comet-testin OTM-indeksi. Altistusaika 3 h. Mittaustulokset ovat kahden eri kokeen keskiarvoja, joissa kummassakin oli kolme rinnakkaisviljelmää (paitsi solumäärässä 2). Keskiarvo \pm keskiarvon keskivirhe.

Taulukko 15. Solutoksisuustestien tulosten perusteella tuhkien alveolaarijakeesta lasketut toksisten vasteiden voimakkuutta kuvaavat EC50-arvot (ja niiden 95 %:n luottamusvälit). Mitä pienempi arvo sitä potentimpi tuhka. Arvot on laskettu Benchmark dose – menetelmällä niistä tuhista, jotka aiheuttivat pitoisuudesta riippuvan vasteen.

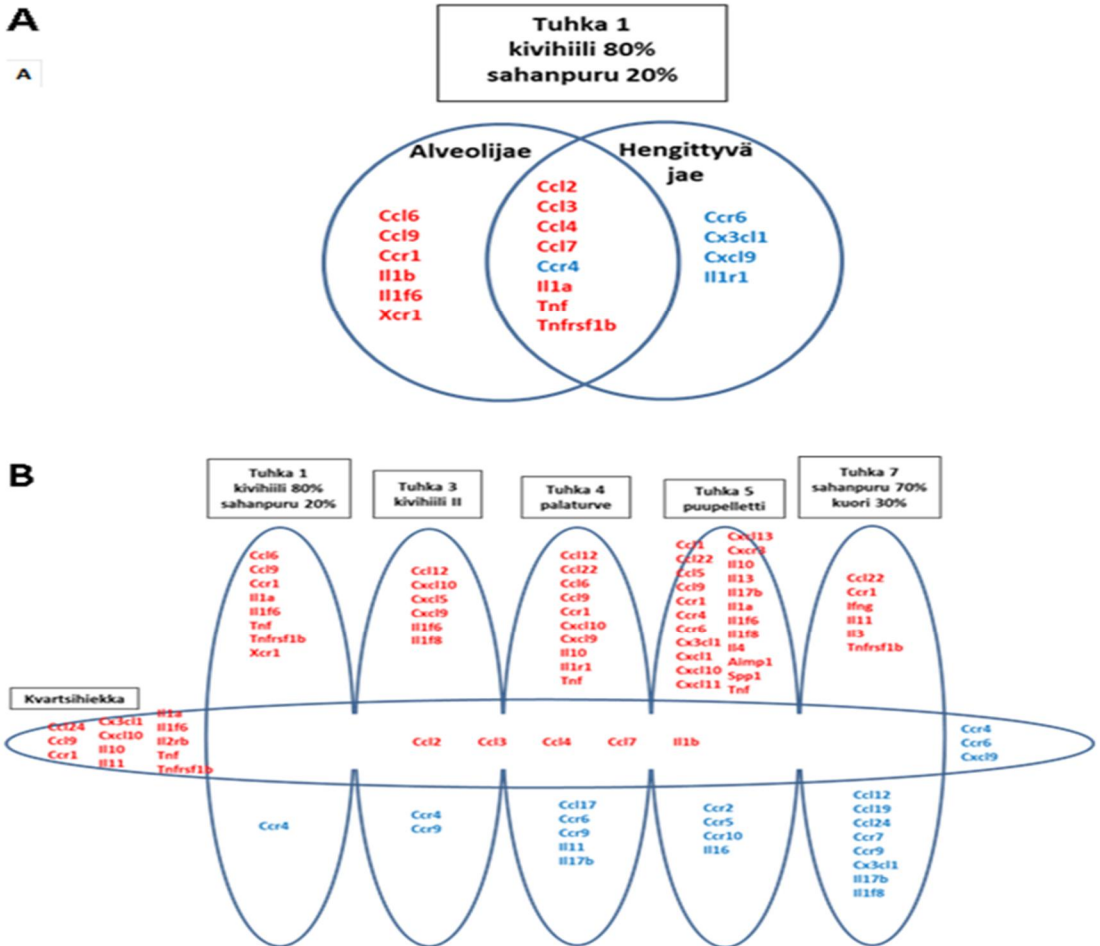
Tuhka	Polttoaineen koostumus	Solutoksisuus EC50 (µg/ml)	Tulehdusvaste EC50 (µg/ml)	Perimämyrkyllisyys EC50 (µg/ml)
Tuhka 1	Kivihilli 80%, sahanpuru 20%	331 (265-441)	328 (200-906)	371 (263-630)
Tuhka 2	Kivihilli I 100%	375 (286-544)	392 (382-401)	ei vastetta
Tuhka 3	Kivihilli II 100%	302 (224-465)	497 (457-546)	195 (122-493)
Tuhka 4	Palaturve 100%	361 (326-395)	284 (276-291)	113 (104-124)
Tuhka 5	Puupelletti 100%	845 (539-1966)	63 (36-104)	137 (123-155)
Tuhka 6	Turve 50%, metsätähdehake 25%, kierrätyspuu 25%	ei vastetta	877 (653-1338)	ei vastetta
Tuhka 7	Sahanpuru 70%, kuori 30%	448 (346-633)	312 (268-373)	ei vastetta



Kuva 10. Solutoksisuustestien tulosten perusteella tuhkien alveolijakeesta lasketut toksisten vasteiden voimakkuutta kuvaavat tulehdusvasteen, perimämyrkyllisyyden ja solutoksisuuden EC50-arvot ja niiden 95 %:n luottamusvälit. Mitä pienempi arvo sitä potentimpi tuhka. Arvot on laskettu Benchmark dose –menetelmällä niistä tuhista, jotka aiheuttivat pitoisuudesta riippuvan vasteen. Kuvassa niiden tuhkien EC50-arvo, jotka eivät aiheuttaneet vastetta, on asetettu 1200:een ja pylväät esitetään vaaleampina.

PCR-array – testin tulokset on esitetty Kuvassa 11. Tuhka 1:n alveolijakeen ja hengittyvän jakeen vertailussa 8 geenin vaste oli muuten samanlainen, mutta lisäksi alveolijake aiheutti 6 geenin ilmenemän lisääntymisen ja hengittyvä jake 4 geenin ilmenemän vähenemisen (Kuva 11A). Kaikkien tutkittujen tuhkien ja kvartsihiekan aiheuttamien geenien ilmentymän muutosten vertailussa jokaisella altisteella on oma tyypillinen ”sormenjälkensä” eli niiden aiheuttamat muutokset ovat suurimmaksi osaksi erilaisia (Kuva 11B). Eri tuhkat vaikuttivat myös osittain samojen geenien ilmentymiseen. Kaikki altisteet aiheuttivat selvästi enemmän tulehdukseen liittyvien geenien ilmenemän lisääntymistä kuin vähenemistä. Kvartsin aiheuttamista muutoksista vain 6 geenin ilmenemän lisääntyminen on yhteinen tuhkien

kanssa. TNF α -vasteen osalta potenteimmat tuhkat 5, 4 ja 7 (Taulukko 13) aiheuttivat myös määrällisesti eniten tulehdukseen liittyvien geenien ilmenemän muutoksia.



Kuva 11. Venn-diagrammi PCR-array –testin tuloksista. Eri voimalaitosten tuhkien aiheuttamat vähintään kaksinkertaiset muutokset tulehdukseen liittyvien geenien ilmentymässä kontrolliin verrattuna. Punaisella merkittyjen geenien ilmentymä on lisääntynyt ja sinisellä merkittyjen vähentynyt. A. Tuhka 1:n alveolijakeen ja hengittävän jakeen vertailu. B. Kaikkien tutkittujen tuhkien alveolijakeen ja kvartsihiekan vertailu. Altistus aika 3 h, altistuspiitoisuus 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ paitsi tuhalla 5 muita tuhkia voimakkaasta vaikutuksesta johtuen 250 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Lyhenteiden selitykset ovat Liitteessä 2.

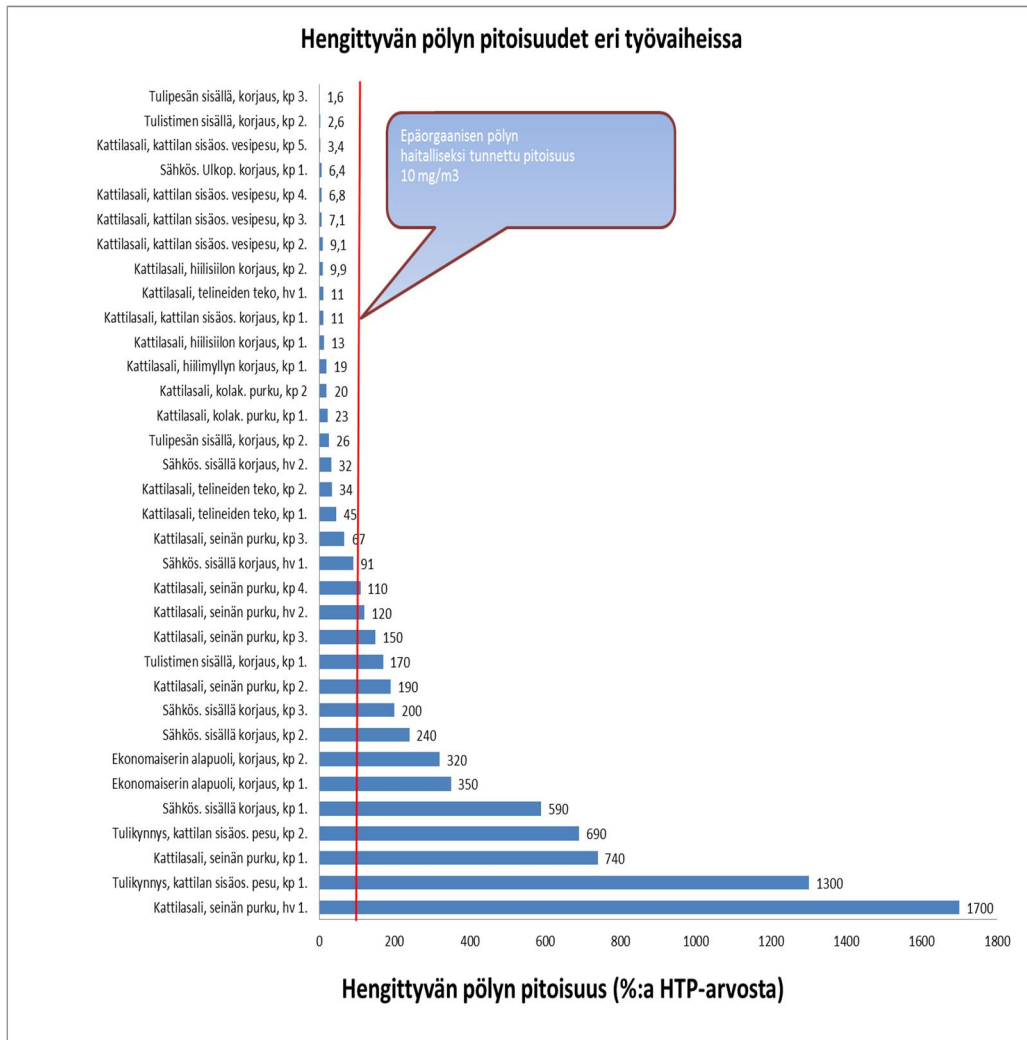
5 TULOSTEN TARKASTELO

5.1 Hengitystiealtistuminen

Hengittyvä pöly ja metallit

Hengittyvän pölyn mittaustuloksia verrataan Sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (268/2014). Kahdeksan tunnin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus on ilmoitettu lyhenteellä HTP_{8h} . Tähän on verrattu altistumisia, joiden katsotaan esiintyvän kokonaisen työpäivän ajan. Viidentoista minuutin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus on ilmoitettu lyhenteellä HTP_{15min} . Tähän on verrattu altistumisia, joiden kesto aika on hyvin lyhyt. Haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP_{8h}) epäorgaaniselle pölylle on 10 mg/m^3 . HTP_{15min} -arvoa epäorgaaniselle pölylle ei ole asetettu.

Kuvassa 12 on esitetty hengittyvän pölyn pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa epäorgaanisen pölyn haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).



Kuva 12. Hengittyvän pölyn pitoisuudet eri työvaiheissa.

Suurimmat hengittyvän pölyn pitoisuudet mitattiin kattilan seinän purkamisen ja kattilan sisäpesun aikana, jolloin pitoisuudet ylittivät 13-17 –kertaisesti HTP_{9h}-arvon (kuvat 13 ja 13). Hengittyvän pölyn pitoisuudet ylittivät epäorgaanisen pölyn haitalliseksi tunnetun pitoisuuden selvästi myös sähkösuodattimen korjauksen, ekonomaiserin alapuolella korjauksen aikana (kuvat 15 ja 16) ja tulistimen sisällä korjauksen aikana. Kyseisistä työvaiheista

voi ilmaantua työntekijälle häiritseviä vaikutuksia, jos työvaiheissa ei suojauduta pölyn aiheuttamilta haitoilta. Tulipesässä ja tulistimessa hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat pieniä. Hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat pieniä myös kattilasalissa kattilan sisäosan vesipesun aikana ja hiilisillon korjauksen aikana, mutta kyseisissä työvaiheissa mitattiin hetkellisesti suuria pölypitoisuuksia (kuvat 2 ja 3), jolloin työvaiheista voi ilmaantua työntekijälle hetkellisiä häiritseviä vaikutuksia, jos työvaiheissa ei suojauduta pölyn aiheuttamilta haitoilta.



Kuva 13. Kattilasalin seinän purku.



Kuva 14. Tulikynnys, kattilan sisäosan pesu.



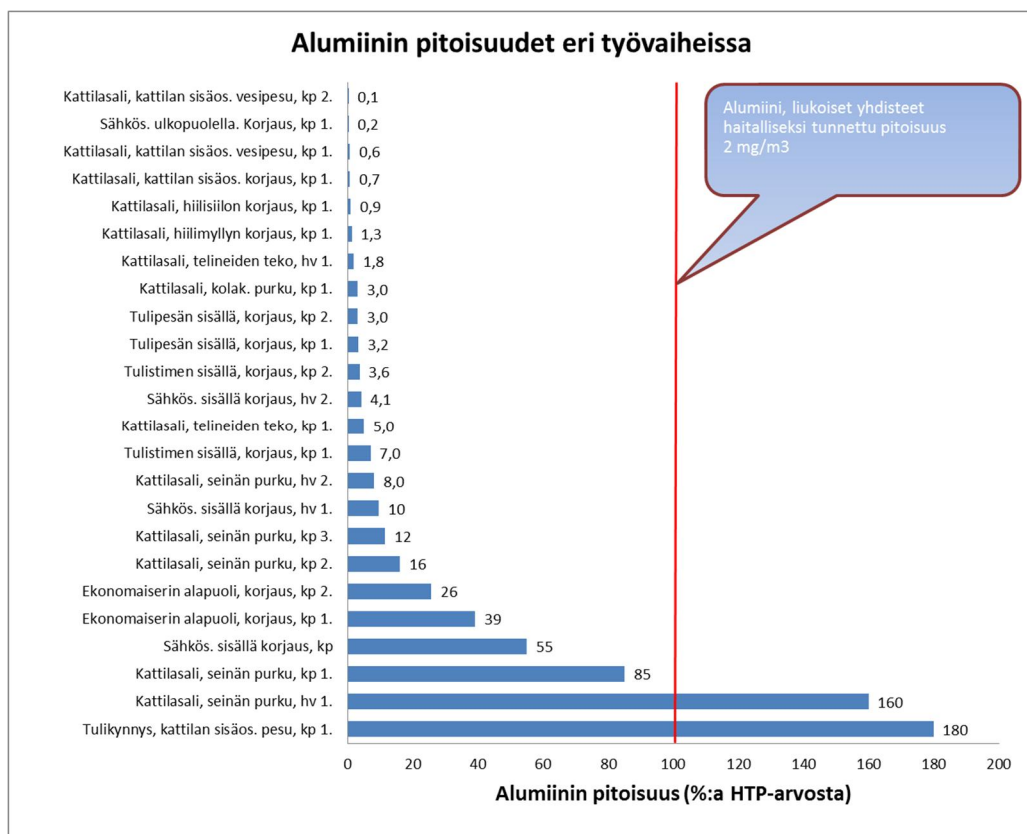
Kuva 15. Sähkösuodatin, korjaustyöt.



Kuva 16. Ekonomaiserin alapuolella.

Biopolttolaitosten kattilan puhdistajien ja korjaajien altistumista käsittelevässä tutkimuksessa (Jumpponen ym., 2011) havaittiin myös, samansuuntaisia tuloksia, että kattilalaitteiden sisällä tehtävien puhdistustyövaiheiden aikana työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä epäorgaanisen pölyn HTP_{8h} -arvo ylittyi kaikkien polttolaitosten osalta. Epäorgaanisen pölyn HTP_{8h} -arvo ylittyi myös työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä kattiloiden sisällä myös turvetta polttavien laitosten korjaustöiden aikana.

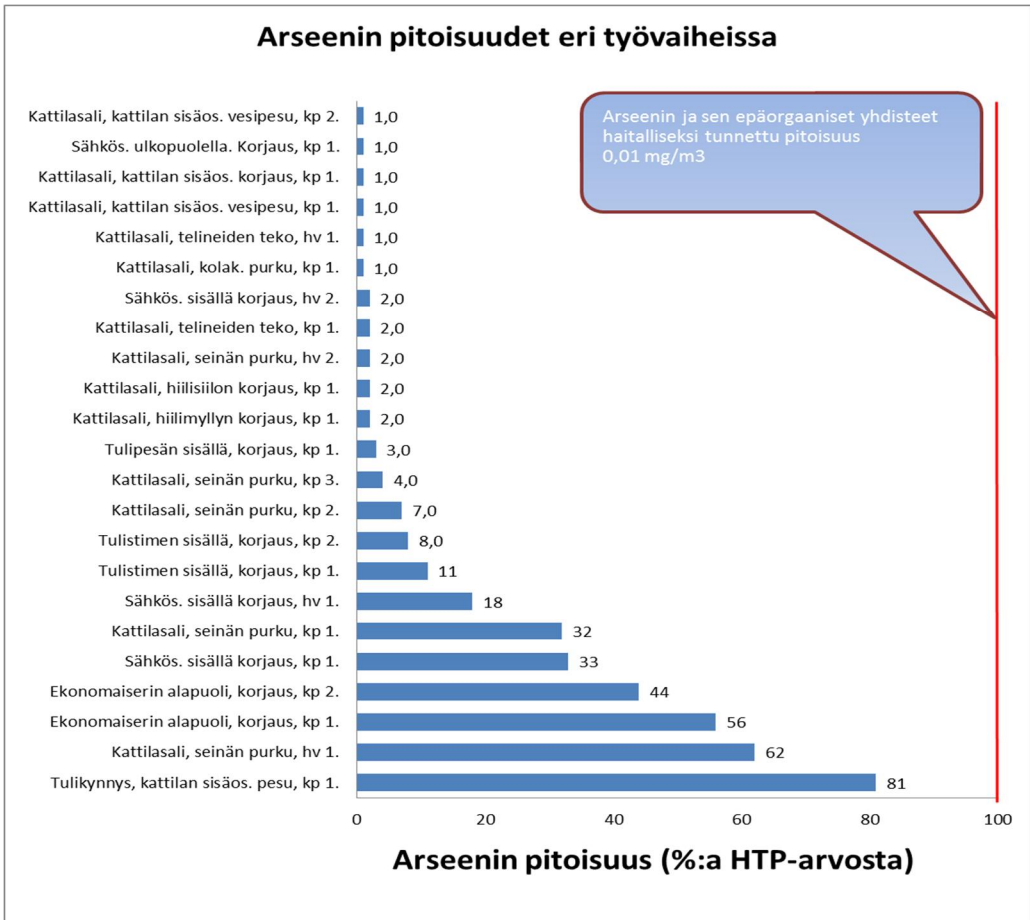
Kuvassa 17 on esitetty alumiinin pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa alumiinin (liukoiset yhdisteet) haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).



Kuva 17. Alumiinin pitoisuudet eri työvaiheissa.

Suurimmat alumiinin pitoisuudet mitattiin kattilan seinän purkamisen ja kattilan sisäpesun aikana, jolloin pitoisuudet ylittivät 1,6-1,8 -kertaisesti HTP_{8h} -arvon (kuva 17). Kyseisistä työvaiheista voi ilmaantua työntekijälle haittavaikutuksia, jos altistuminen on pitkäaikaista ja työvaiheissa ei suojauduta alumiinin aiheuttamilta haitoilta. Alumiinin pitoisuudet olivat pieniä mm. kattilasalissa kattilan sisäosan vesipesun aikana, sähkösuodattimen ulkopuolella sähkösuodattimen sisällä tehtävien korjaustöiden aikana, hiilisiilon ja hiilimylyn korjauksen aikana, kattilasalissa tehtävien telineiden teon aikana ja kolakuljettimen purkamisen aikana, jolloin haittavaikutusten ilmaantuminen työntekijälle on hyvin epätodennäköistä. Alumiinin keskiarvopitoisuudet ovat olleen biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana 4-130 % HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Kuvassa 18 on esitetty arseenin pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa arseenin ja sen epäorgaanisten yhdisteiden haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).

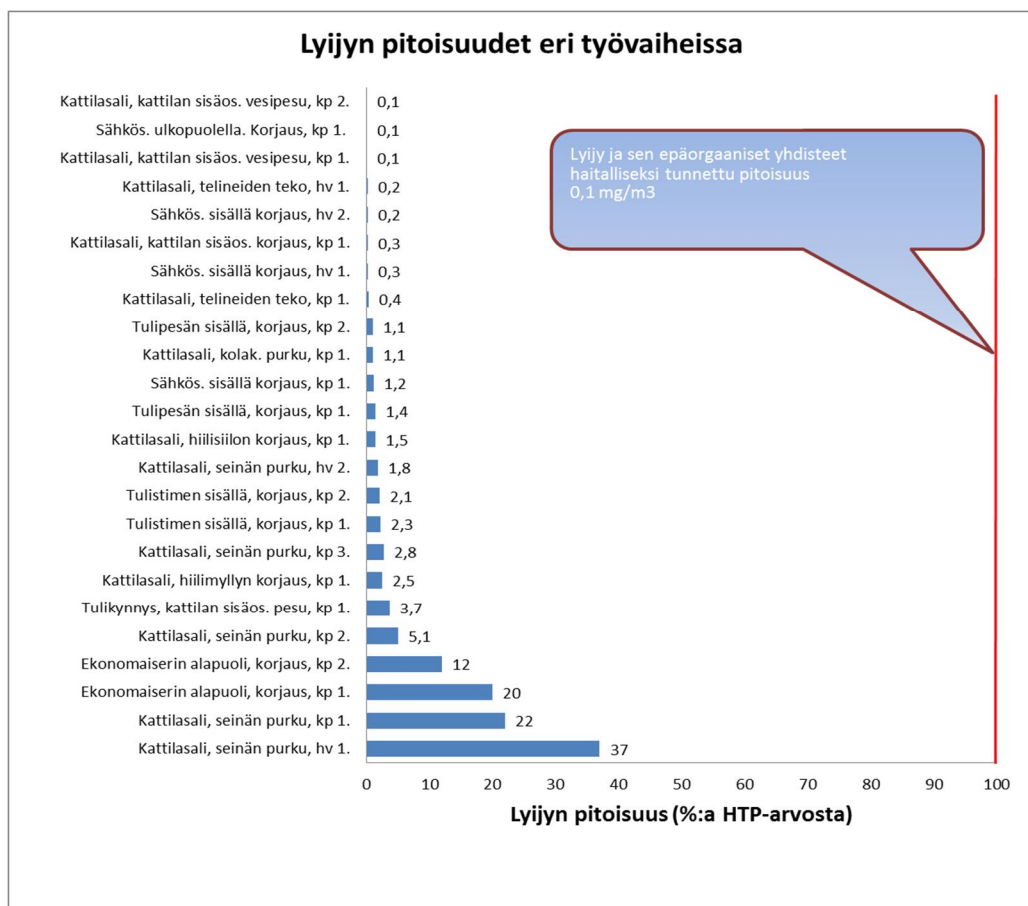


Kuva 18. Arseenin pitoisuudet eri työvaiheissa.

Arseenin pitoisuudet eivät ylittäneet mitattujen työvaiheiden aikana arseenille ja sen epäorgaanisille yhdisteille asetettua haitalliseksi tunnettua pitoisuutta. Suurimmat arseenin pitoisuudet mitattiin kattilan seinän purkamisen ja kattilan sisäpesun aikana, jolloin pitoisuudet olivat 62 – 81 – prosenttia HTP_{8h}-arvosta (kuva 18). Erityisesti näissä työtehtävissä on tärkeää huolehtia suojautumisesta, koska arseenin syöpävaarallisuuden takia terveystarve ei pystytä poissulkemaan. Arseenin pitoisuudet olivat pieniä mm. kattilasalissa kattilan sisäosan vesipesun ja korjaustöiden aikana, sähkösuodattimen ulkopuolella sähkösuodattimen sisällä tehtävien korjaustöiden aikana, kattilasalissa tehtävien telineiden teon aikana, kolakuljettimen purkamisen aikana, sähkösuodattimen korjaamisen aikana ja hiilisiilon ja

hiilimylyyn korjauksen aikana, jolloin haittavaikutusten ilmaantuminen työntekijälle on epätodennäköistä jolloin myös altistumiseen liittyvät potentiaaliset terveysriskit ovat minimaaliset. Arseenin keskiarvopitoisuudet ovat vaihdelleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana 1-200 % HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

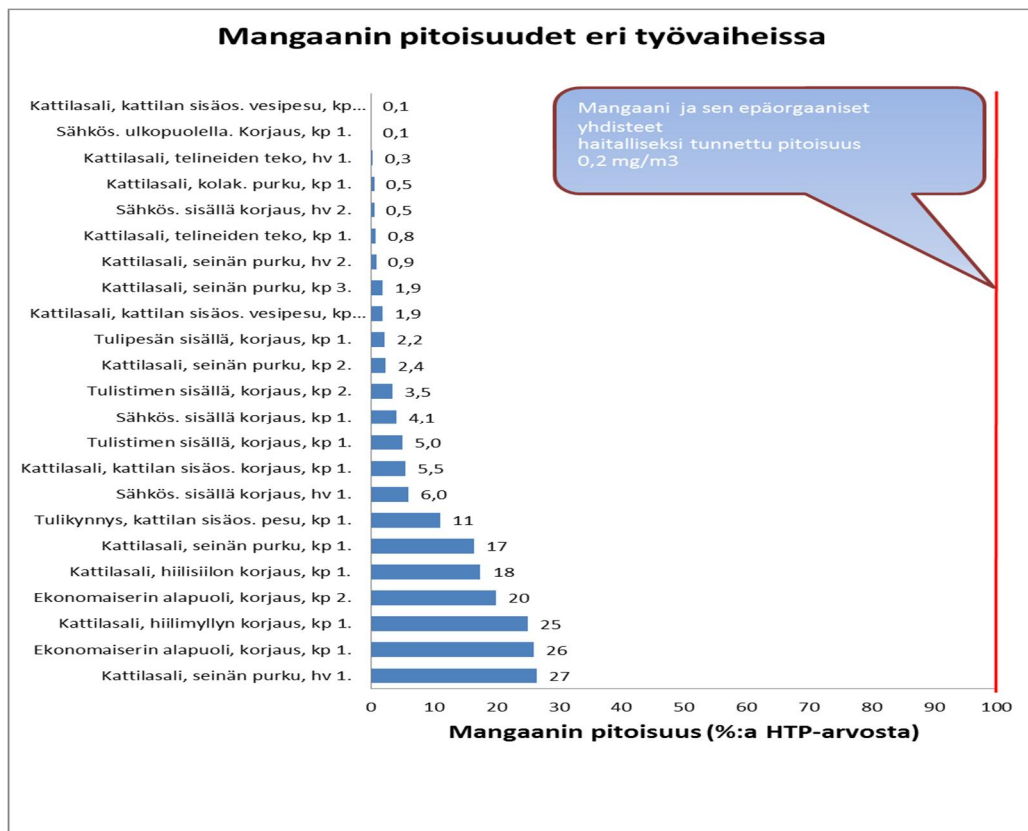
Kuvassa 19 on esitetty lyijyn pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa lyijyn ja sen epäorgaanisten yhdisteiden haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).



Kuva 19. Lyijyn pitoisuudet eri työvaiheissa.

Lyijyn pitoisuudet olivat kaikissa mitatuissa työvaiheissa alle 40 % HTP_{8h} -arvosta. Suurimmat lyijypitoisuudet mitattiin kattilan seinän purkamisen ja ekonomaiserin alapuolella korjaustöiden aikana, jolloin pitoisuudet olivat 12 - 37 % HTP_{8h} -arvosta (kuva 19). Kyseisistä työvaiheista merkittävien haittavaikutusten ilmaantuminen työntekijälle on epätodennäköistä. Muissa työvaiheissa lyijyn pitoisuudet olivat pieniä. Lyijyn keskiarvopitoisuudet ovat olleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana 1% - 1840% HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Kuvassa 20 on esitetty mangaanin pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa mangaanin ja sen epäorgaanisten yhdisteiden haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).



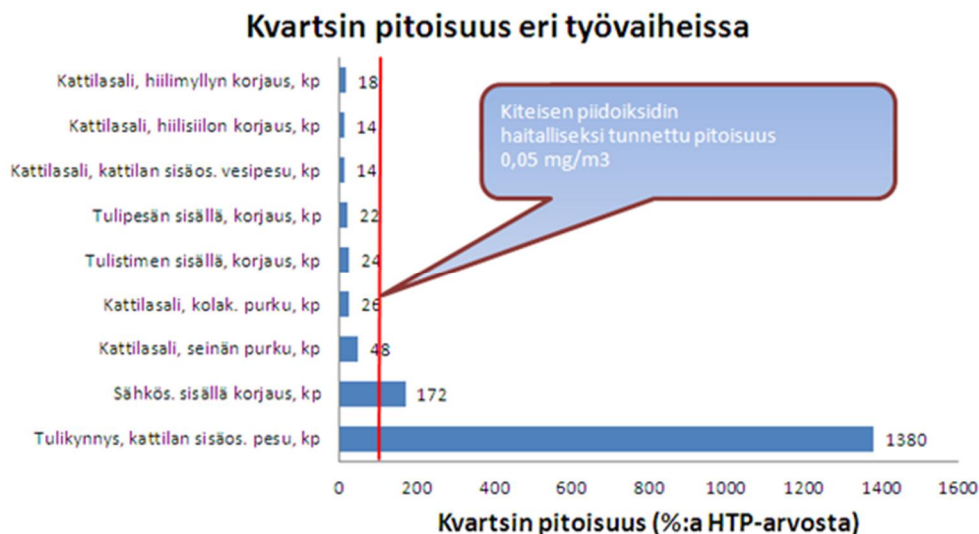
Kuva 20. Mangaanin pitoisuudet eri työvaiheissa.

Mangaanin pitoisuudet olivat kaikissa mitatuissa työvaiheissa alle 30 % HTP_{8h} -arvosta. Suurimmat mangaanipitoisuudet mitattiin kattilan seinän purkamisen aikana, ekonomaiserin alapuolella korjaustöiden aikana, hiilimylyn ja hiilisiilon korjaamisen aikana ja kattilan sisäosan pesun aikana, jolloin pitoisuudet olivat 11 - 27 % HTP_{8h} -arvosta (kuva 23). Kyseisistä työvaiheista merkittävien haittavaikutusten ilmaantuminen työntekijälle on epätodennäköistä. Mangaanin keskiarvopitoisuudet ovat olleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana 11% - 620 % HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Edellä mainituissa kaikissa mittauspaikoissa mitatut berylliumin pitoisuudet olivat kaikki alle 100 % HTP_{8h} -arvosta, seleenin pitoisuudet enintään 0,8 % HTP_{8h} -arvosta ja kadmiumin pitoisuudet enintään 0,5 % HTP_{8h} -arvosta. Toriumin pitoisuudet olivat enimmillään 0,0004 mg/m³. Biopolttolaitosten tuhkan puhdistus ja korjaustyövaiheissa berylliumin pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä alle 100% - 200% HTP_{8h} -arvosta, seleenin keskiarvopitoisuudet ovat olleen enintään 4,2 % HTP_{8h} -arvosta ja kadmiumin keskiarvopitoisuudet enintään välillä 1% - 28% HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Kvartsi

Kuvassa 21 on esitetty kvartsin pitoisuudet eri työvaiheissa. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa kvartsin haitalliseksi tunnettua pitoisuutta (HTP_{8h} -arvo).



Kuva 21. Kvartsin pitoisuudet eri työvaiheissa.

Suurimmat kvartsipitoisuudet mitattiin kattilan sisäosan pesun aikana ja sähkösuodattimen korjauksen aikana, jolloin pitoisuudet ylittivät 1,7-13,8 –kertaisesti HTP_{8h}-arvon (kuva 24). Silikoosiriskin välttämiseksi on näissä työtehtävissä käytettävä suojaimia. Muissa työvaiheissa kvartsipitoisuudet olivat alle 14 - 48 % HTP_{8h}-arvosta. Kvartsipitoisuudet ovat olleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana alle 1240 % HTP_{8h}-arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Asbesti

Asbestikuituja mitattiin kattilan sisältä, sähkösuodattimen sisältä, kattilasalista seinän purkamisen ja kattilan korjaamisen aikana, tulistimen vesipesun ja korjaamisen aikana, hiilisiilon korjaamisen ja telineiden teon aikana. Kaikki mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat pieniä, alle 0,01 kuitua/cm³.

PAH-yhdisteet

Taulukossa 16 on esitetty yhteenveto polttolaitoksien eri tiloista mitattujen PAH-yhdisteiden seoksien toksisuusekvivalenteista (Priha ym., 2007). Seoksien toksisuusekvivalentit on määritetty siten, että PAH-yhdisteiden toksisuusekvivalenttikertoimilla on kerrottu vastaavien PAH-yhdisteiden pitoisuudet (15 kpl), jonka jälkeen ko. luvut on laskettu yhteen. Kyseinen summa on PAH-yhdisteiden seoksen toksisuusekvivalentti. PAH-yhdisteiden toksisuusekvivalenttikertoimet kuvaavat yhdisteiden haitallisuutta (syöpävaarallisuutta) suhteessa bentso[a]pyreeniin.

Taulukko 16. Yhteenveto altistumisesta PAH-yhdisteille polttolaitoksissa tehtävien töiden aikana.

Voimalaitoksen tunnus	Mittauspaikka, työntekijä, työvaihe	PAH-seoksen osuus bentso[a]pyreenin HTP-arvosta (%)
Kivihillivoimala 1	Sähkösuodattimen sisällä,	alle 2,3
	korjaustyövaihe	
Kivihillivoimala 2	Kattilasali, seinän purku	alle 1,2
	Kattilasali, tulistimen vesipesu tankkipesuri	alle 1,6
Kivihillivoimala 3	Hiilisiilon yläosa, korjaustyövaihe	alle 0,9
	Kattilasali, telineiden teko	alle 0,9
	Tulipesä, korjaustyöt	alle 1,4
	Tulistin, korjaustyöt	alle 1,6

Mitatut PAH-seosten pitoisuudet vastaavat bentso[a]pyreenin pitoisuuksia, jotka olivat alle 0,9 – alle 2,3 %:n bentso[a]pyreenin HTP_{gh} -arvosta. Suurimmat pitoisuudet olivat sähkösuodattimen sisällä tapahtuvan korjauksen aikana. Biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan

puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana PAH-seosten pitoisuudet ovat olleet enintään 7 % bentso[a]pyreenin HTP_{8h} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Kaasut

Suurin hiilimonoksidipitoisuuden keskiarvo oli kattilan sisällä tulikynnyksen vesipesun aikana, jolloin pitoisuus oli 67 % HTP_{8h} – arvosta ja hetkellinen pitoisuus 69 % HTP_{15min} – arvosta. Sähkösuodattimessa tehtävien korjaustyövaiheiden aikana hiilimonoksidipitoisuus oli 13 % HTP_{8h} – arvosta. Työvaiheista on mahdollista, että haittavaikutuksia voi työntekijälle ilmaantua, jos työvaiheissa ei suojauduta hiilimonoksidin aiheuttamilta haitoilta. Muissa työvaiheissa altistuminen hiilimonoksidille oli vähäistä, alle 0,5 % HTP_{8h} – arvosta. Hiilimonoksidipitoisuuden keskiarvot ovat vaihdelleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana välillä 7 % - 37 % HTP_{8h} -arvosta ja hetkelliset välillä 9 % - 61 % HTP_{15min} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Suurin rikkidioksidipitoisuuden keskiarvo oli kattilarakenteiden polttoleikkauksen aikana, jossa pitoisuus oli 40 % HTP_{8h} – arvosta ja hetkellinen pitoisuus 63 % HTP_{15min} – arvosta. Työvaiheista on mahdollista, että haittavaikutuksia voi työntekijälle ilmaantua, jos työvaiheissa ei suojauduta rikkidioksidin aiheuttamilta haitoilta. Muissa työvaiheissa altistuminen rikkidioksidille oli vähäistä, alle 10 % HTP_{8h} – arvosta. Rikkidioksidipitoisuuden keskiarvot ovat vaihdelleet biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana välillä 10 % - 170 % HTP_{8h} -arvosta ja hetkelliset välillä alle 3 % - 180 % HTP_{15min} -arvosta (Jumpponen ym., 2011).

Typpidioksidipitoisuuden keskiarvot olivat kaikissa mittauspaikoissa alle 3,5 % HTP_{8h} – arvosta, rikkivety alle 2 % HTP_{8h} – arvosta, ammoniakki alle 0,5 % HTP_{8h} – arvosta ja typpimonoksidi alle 0,4 % HTP_{8h} – arvosta. Biopolttolaitoksissa kattiloiden tuhkan puhdistamisen ja kattiloiden korjaamisen aikana typpidioksidipitoisuuden keskiarvopitoisuudet ovat olleet myös alle 3,5 % HTP_{8h} – arvosta, rikkivetypitoisuuksien keskiarvot myös alle 2 % HTP_{8h} – arvosta, ammoniakki niin ikään alle 0,5 % HTP_{8h} – arvosta ja typpimonoksidi myös alle 0,4 % HTP_{8h} – arvosta (Jumpponen ym., 2011), joten näiden kaasujen osalta tulokset kivihillivoimalaitosten ja biopolttolaitosten välillä ovat hyvin samanlaiset

5.2 Ihon altistuminen

Käsien ihon altistuminen

Työntekijöiden käsien iholta ennen ruokailua ja työpäivän jälkeen otetuissa näytteissä esiintyi lyijyä, nikkeliä, arseenia ja kadmiumia. Suurimmat lyijypitoisuudet olivat työvaiheista kattilasalissa tapahtuneen kattilan seinän purkamisen aikana, jossa lyijypitoisuus oli 95 ng/cm². Muissa työvaiheissa lyijyn pitoisuudet vaihtelivat välillä 12 – 33 ng/cm². Suurimmat nikkelipitoisuudet olivat sähkösuodattimen sisällä tapahtuneiden korjaustöiden aikana (43 ng/cm²). Muissa työvaiheissa pitoisuudet vaihtelivat välillä 7 – 24 ng/cm². Kadmium- ja arseenipitoisuudet (Cd = 2 ng/cm² ja As = 28 ng/cm²) olivat suurimmat myös sähkösuodattimen sisällä tapahtuneiden korjaustöiden aikana. Muissa työvaiheissa kadmiumpitoisuudet vaihtelivat välillä alle 0,1 µg – 0,8 ng/cm² ja arseenipitoisuudet välillä 5 – 17 ng/cm². Biopolttolaitoksissa työntekijöiden käsissä oleva lyijyn pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 3 – yli 130 ng/cm², nikkelin pitoisuudet välillä 8 – 39 ng/cm², kadmiumin pitoisuudet välillä 0,4 – 4 ng/cm² ja arseenin pitoisuudet välillä 3 – 24 ng/cm² (Jumpponen ym., 2011).

Koko kehon altistuminen

Työntekijöiden työvaatteiden alla iholta työpäivän jälkeen otetuissa näytteissä esiintyi pieniä määriä kadmiumia, lyijyä, arseenia ja nikkeliä. Kyseisten metallien pitoisuudet olivat työvaatteiden alla pääasiassa pienemmät kuin vastaavien metallien pitoisuudet työntekijöiden käsien iholta. Suurin lyijyn pitoisuus, joka mitattiin työntekijöiden työvaatteiden alta, oli kattilasalissa tapahtuneen kattilan seinän purkamisen aikana, jossa lyijypitoisuus oli 25 ng/cm². Muissa työvaiheissa lyijyn pitoisuudet vaihtelivat välillä alle 0,1 – 8 ng/cm². Suurimmat nikkelipitoisuudet (22 ng/cm²) olivat kattilasalissa kattilan sisäosan vesipesun aikana. Muissa työvaiheissa nikkelin pitoisuudet vaihtelivat välillä alle 0,1 – 16 ng/cm². Suurimmat arseenipitoisuudet (5 ng/cm²) mitattiin kattilasalissa tapahtuneen telineiden teon aikana. Muissa työvaiheissa arseenipitoisuudet vaihtelivat välillä 0,1 – 3 ng/cm². Kadmiumpitoisuudet olivat kaikissa työvaiheissa alle 0,1 ng/cm². Biopolttolaitoksissa työntekijöiden lyijyn pitoisuus koko keholla on vaihdellut välillä 4 – 110 ng/cm², nikkelin pitoisuus on ollut alle 45 ng/cm², arseenipitoisuudet ovat olleet välillä alle 25 – 30 ng/cm² ja kadmiumin alle 5 ng/cm² (Jumpponen ym., 2011).

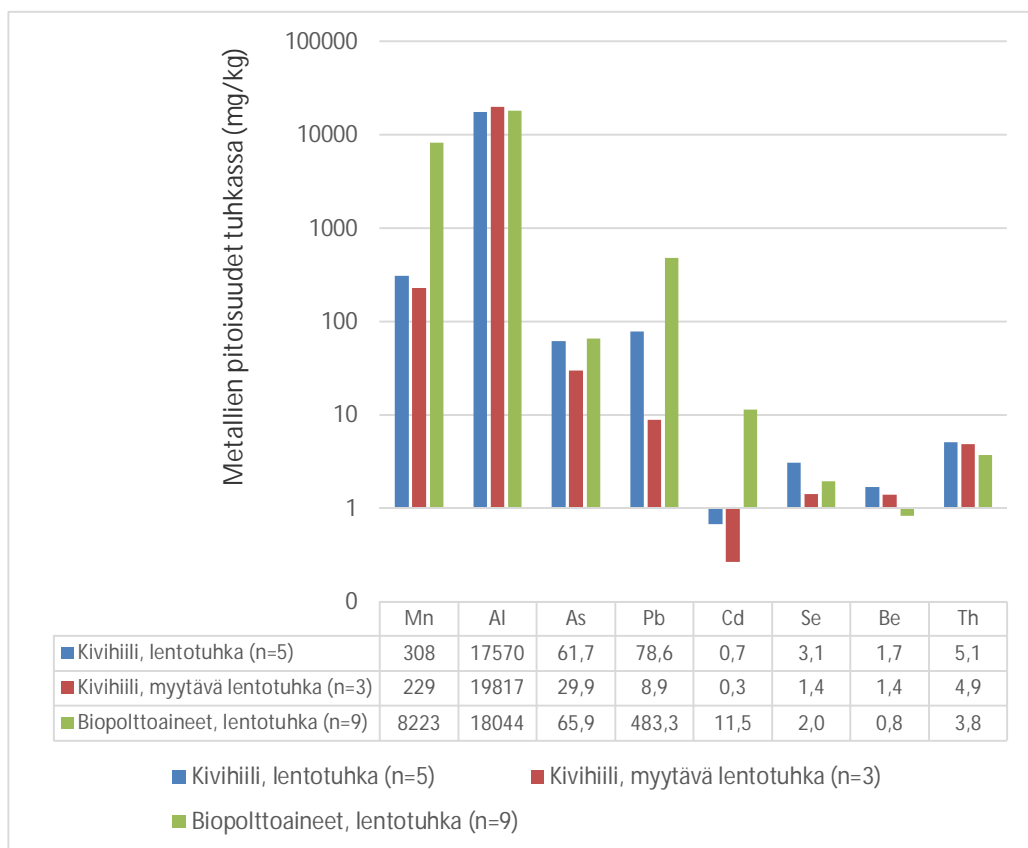
5.3 Kokonaisaltistuminen

Biomonitorointitulokset

Työntekijöiltä verestä määritettiin lyijyn ja kadmiumin pitoisuudet. Lyijyn pitoisuuksien keskiarvo oli lievästi yli altistumattomien viite-arvon, kadmiumin pitoisuuksien jäädessä alle altistumattomien viite-arvon. Työntekijöiden virtsanäytteistä määritettiin lisäksi alumiinin, mangaanin, elohopean, arseenin, seleenin ja berylliumin pitoisuudet. Kyseisten metallien keskiarvotulokset olivat kaikki alle altistumattomien viite-arvojen. Biopolttolaitoksissa tuhkan puhdistajien ja kattilan korjaajien virtsan kadmium, mangaani-, arseeni- ja seleenipitoisuuksista ylittivät altistumattomien viiterajan. Puuta polttavissa laitoksissa ja kierrätyspoltoainetta polttavassa laitoksessa altistumattomien viiterajat ylittyivät alumiinin, lyijyn ja seleenin osalta ja turvetta polttavissa laitoksissa alumiinin ja seleenin osalta (Jumpponen ym., 2011).

5.4 Tuhkanäytteiden aikuainepitoisuudet

Kivihillivoimalaitosten lentotuhkanäytteistä (n=7) määritettiin n. 40 erilaisten alkuaineiden pitoisuudet (mg/kg). Vertailun vuoksi myös biopolttolaitosten lentotuhkanäytteiden (n=9) alkuaineiden keskiarvopitoisuudet on esitetty kuvassa 22. Alkuaineiden suurten pitoisuuserojen vuoksi kuvan pitoisuusakseli on logaritminen.



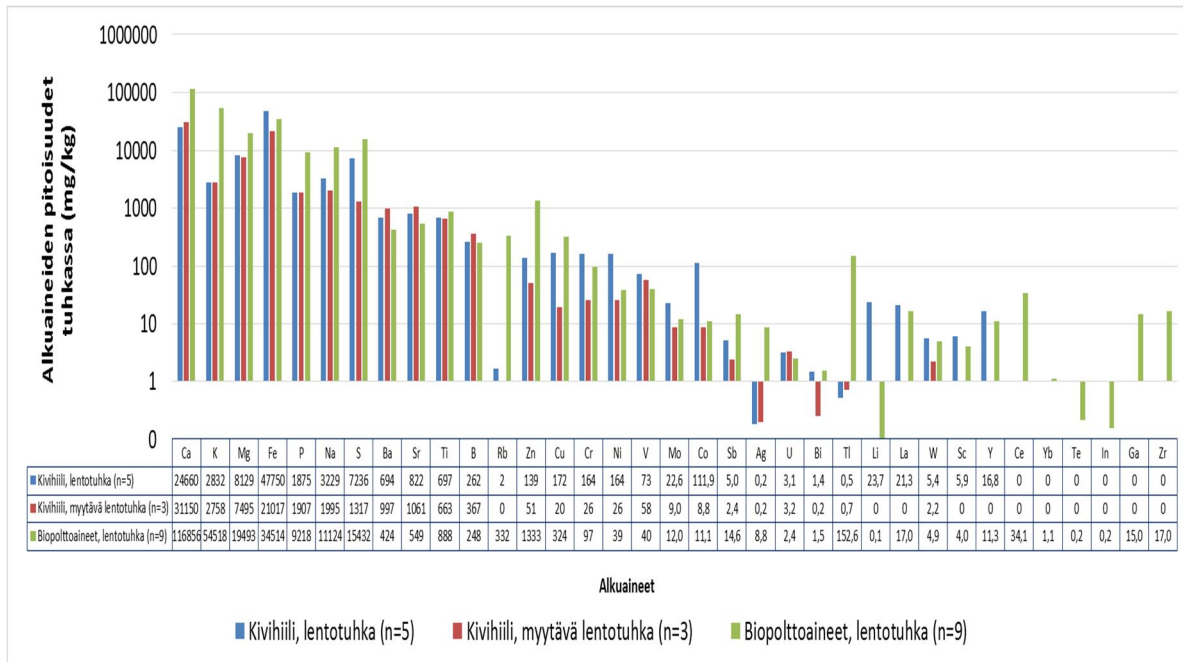
Kuva 22. Tuhkanäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot 1/2.

Työntekijöiden metallialtistumisen kannalta katsottuna, kivihillivoimalaitosten ja biopolttoainetta polttavien voimalaitosten alkuainepitoisuudet lentotuhkissa (Jumpponen ym., 2011) erosivat toisistaan huomattavasti mangaanin, lyijyn ja kadmiumin osalta (kuva 25). Näitä alkuaineita oli kivihillivoimalaitosten lentotuhkissa huomattavasti paljon vähemmän kuin biopolttoainetta polttavien voimalaitosten lentotuhkissa. Kivihillivoimalaitosten tuhka sisälsi mangaania keskimäärin n. 27 – kertaa vähemmän, lyijyä keskimäärin 6 – kertaa vähemmän ja kadmiumia keskimäärin 16 – kertaa vähemmän kuin biopolttoainetta polttavien voimalaitosten lentotuhkat. Alumiinin ja arseenin pitoisuudet tuhkissa olivat suurin piirtein

samalla tasolla. Kivihiilivoimalaitosten lentotuhkat sisälsivät työntekijöiden metallialtistumisen kannalta keskimäärin 1,6 – kertaa enemmän seleeniä, keskimäärin 1,3 – kertaa enemmän toriumia ja n. 2 – kertaa enemmän berylliumia.

Kivihiilivoimaloista otetuissa lentotuhkanäytteissä mangaanin, arseenin, lyijyn, kadmiumin, seleenin pitoisuudet olivat pienimmät myytävässä kivihiilituhkassa. Berylliumin ja toriumin pitoisuudet olivat myytävissä lentotuhkissa myös pienemmät kuin kivihiilivoimaloista otetuissa lentotuhkanäytteissä yleensä. Sen sijaan alumiinin pitoisuudet olivat tuhkista suurimmat myytävissä lentotuhkissa.

Kuvassa 23 on esitetty kivihiilivoimalaitosten ja bioenergiaa polttavien laitosten lentotuhkanäytteiden alkuaineiden keskiarvot. Alkuaineiden suurten pitoisuserojen vuoksi kuvan pitoisuusakseli on logaritminen.



Kuva 23. Tuhkanäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot 2/2. Kuvan alkuaineiden tulos 0 = tulos on alle menetelmän määrittäysrajan.

Muiden alkuaineiden osalta kalsiumin (Ca), kaliumin (K), mangaanin (Mg), fosforin (P), natriumin (Na), rikin (S), titaanin (Ti), Rubidiumin (Rb), sinkin (Zn), kuparin (Cu), antimoinin (Sb), hopean (Ag), vismutin (Bi), talliumin (Tl), ceriumin (Ce), ytterbiumin (Yb), telluurin (Te), indiumin (In), galliumin (Ga) ja zirkoniumin (Zr) pitoisuudet olivat suurimmat biopolttoaineita polttavien voimalaitosten lentotuhkissa (Jumpponen ym., 2011). Alkuaineet rauta (Fe), kromi (Cr), nikkeli (Ni), vanadiini (V), molybdeeni (Mo), koboltti (Co), litium (Li), lantani (La), volframi (W), skandium (Sc) ja yttrium (Y) pitoisuudet olivat suurimmat kivihii-voimaloiden lentotuhkissa. Sen sijaan alkuaineet barium (Ba), strontium (Sr), boori (B) ja uraani (U) pitoisuudet olivat suurimmat kivihiiivoimaloiden myytävässä lentotuhkissa (kuva 23).

5.5 Tuhkan sisältämät kromaatit ja laskennalliset pitoisuudet työpaikan ilmassa

Kivihillivoimaloiden tuhkat sisälsivät vesiliukoisia kromiyhdisteitä (Cr_{VI}) 4,2-9,6 mg/kg. Biopolttolaitosten tuhkissa oli vesiliukoisia kromiyhdisteitä poltettavasta polttoaineesta riippuen välillä 0,9 – 75,4 mg/kg. Tuhkanäytteiden ja polttolaitoksissa työvaiheiden aikana mitattujen pölypitoisuuksien avulla laskennallisesti arvioituna, kivihillivoimaloissa työntekijöiden altistumien kromi (VI) yhdisteille oli alle 0,1-14,3 %, palaturvetta polttavassa laitoksessa alle 0,1-3,8 %, puupellettiä polttavassa laitoksessa 1,1 - 1,2 %, turvetta, haketta ja REF-polttoaineita polttavassa laitoksessa 0,2 – 150 % ja purua ja kuorta polttavassa laitoksessa 0,5 – 437 % kromi (VI) ja sen yhdisteille asetetusta haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (HTP_{8h} -arvo).

5.6 Solutoksisuustestit

Voimalaitostuhkien soluille aiheuttamista vasteista tulehdusvaste (TNF α :n lähetti-RNA:n ilmentymä) ja perimämyrkyllisyys (Comet-vaste) olivat herkimpä, ja näissä vasteissa oli eri tuhkien välillä huomattavia eroja (taulukko 9). Yleisen solutoksisuuden osalta eri tuhkien väliset erot vaikutuksen voimakkuudessa olivat selvästi pienempiä.

Tuhka 5:n (puupelletti) vaikutus tulehdusvasteeseen oli kaikkein voimakkain, ja sen vaikutus perimämyrkyllisyyteen oli myös voimakas. Sen sijaan tuhka 5:n aiheuttama solutoksisuusvaste oli melko heikko, eikä solutoksisuus siten näytä korreloivan tulehdusvasteen tai perimämyrkyllisyyden kanssa. Tuhka 4 (palaturve) oli kaikkein voimakkain perimämyrkyllisyyden osalta ja se oli myös suhteellisen voimakas sekä tulehdusvasteen että solutoksisuuden osalta. Tuhkat 3 (kivihilli II) ja 1 (kivihilli 80%, sahanpuru 20%) olivat melko lähellä toisiaan kaikkien vasteiden osalta, mutta tuhkat 2 (kivihilli I) ja 7 (sahanpuru 70%, kuori 30%) poikkesivat niistä siten, etteivät ne olleet perimämyrkyllisiä. Tuhka 6 (turve 50%, metsä-tähdehake 25%, kierrätyspuu 25%) oli kaikista heikoin tulehdusvasteen aiheuttaja eikä se ollut myöskään perimämyrkyllinen eikä solutoksinen.

5.7 Kemiallisten analyysien ja toksikologisten testien tulokset

Tuhkanäytteistä määritettiin hengittyvän - ja alveolijakeisen pölyn alkuaineiden pitoisuudet sekä hiukkasmaisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet, sekä tulehdusvasteiden, genotoksisuuden ja yleisen myrkyllisyyden tulokset. Alkuaineiden ja PAH-yhdisteiden tuloksia verrattiin tilastollisesti tulehdusvasteiden, genotoksisuuden ja yleisen myrkyllisyyden tuloksiin ja kyseisten altisteiden ja solutoksisuustietojen tuloksista laskettiin ensin Spearmanin korrelaatiokertoimet ja p:n arvot, jonka perusteella altistejoukosta valittiin merkittävimmät altisteet, joista analysoitiin taulukoiden 17-19 tunnusluvut, jotka parhaiten selittävät kyseisiä solutoksisuustuloksia.

Taulukko 17. Tulehdusvasteeseen liitetyt altisteet ja niiden tunnusluvut.

Altiste	Parametrin arvio	keski- virhe	95 %:n luottamus- välit	Seli- tysaste (R ²)	p-arvo	
LogFosfori	-0,81923	0,31956	-1,64068	0,00222	0,5679	0,0504
LogMagnesium	-0,65382	0,26525	-1,33567	0,02803	0,5486	0,0569
Altisteiden LOG-Summa				0,690		

Tulehdusvasteita selittäviä altisteita tuhkassa olivat alkuaineista fosfori ja magnesium. Kyseiset altisteet yhdessä selittivät 69 prosenttia tulehdusvasteiden kokonaisvaihtelusta, kun altisteet katsotaan toisiinsa nähden summautuviksi.

Taulukko 18. Genotoksisuuteen liitetyt altisteet ja niiden tunnusluvut.

Altiste	Para- metrin arvio	keski- virhe	95 %:n luottamus- välit		Seli- tysaste (R ²)	p-arvo
LogFosfori	-1,15604	0,79819	-3,20787	0,89578	0,2955	0,2072
LogKvartsi	-0,25583	0,28961	-1,00030	0,48864	0,1350	0,4175

Genotoksisuutta selittäviä altisteita tuhkassa olivat alkuaineista hengittyvän pölyn fosfori ja alveolijakeisen pölyn kvartsi. Fosfori selitti n. 30 prosenttia genotoksisuuden kokonaisvaihtelusta ja kvartsi n. 14 prosenttia, kun altisteiden vaikutukset arvioitiin erikseen.

Taulukko 19. Yleiseen myrkyllisyyteen liitetyt altisteet ja niiden tunnusluvut.

Altiste	Para- metrin arvio	keski- virhe	95 %:n luottamus- välit		Seli- tysaste (R ²)	p-arvo
LogKvartsi	-0,34586	0,17620	-0,79880	0,10708	0,4352	0,1069
LogBoori	-0,17548	0,40225	-1,20951	0,85854	0,0367	0,6808
LogRauta	-0,45794	0,60932	-2,02425	1,10838	0,1015	0,4862
LogNikkeli	-1,07652	0,63782	-2,71608	0,56304	0,3630	0,1522
Altisteiden LOG- Summa					0,6696	

Yleistä myrkyllisyyttä selittäviä altisteita tuhkassa olivat alkuaineista hengittyvän pölyn nikkeli, boori ja rauta ja alveolijakeisen pölyn kvartsi. Kyseiset altisteet yhdessä selittivät n. 67 prosenttia yleisen myrkyllisyyden kokonaisvaihtelusta, joista kvartsin osuus yksistään oli 66 %:a, kun altisteet katsotaan toisiinsa nähden summautuviksi.

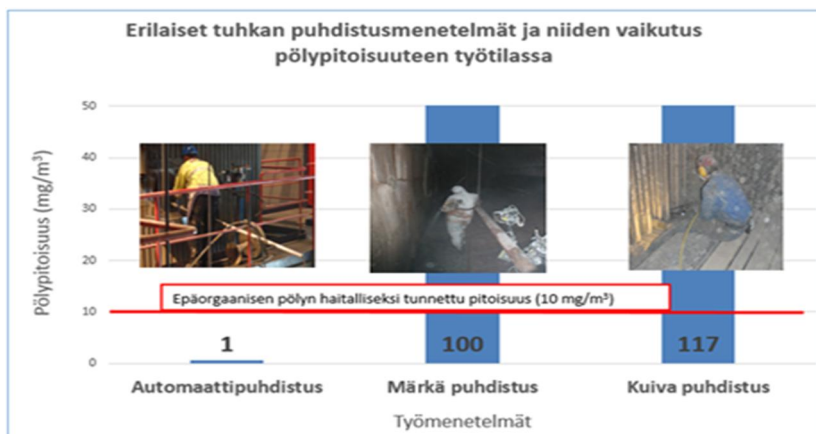
Tuhkanäytteissä olevien vesiliukoisten kromi (VI) yhdisteiden pitoisuuksien ja tulehdusvästeiden, genotoksisuuden ja yleisen myrkyllisyyden välillä ei havaittu olevan juurikaan lineaarista korrelaatiota.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Hengitystiealtistuminen

Tuhkapitoisuus ilmassa (hengittyvä pöly)

Hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat suuria kattilan seinän purkamisen, kattilan sisäpesun aikana ja sähkösuodattimen korjauksen aikana kattilan sisällä. Näissä työvaiheissa epäorgaanisen pölyn haitalliseksi tunnettu pitoisuus ylittyi selvästi. Tutkimuksessa havaittiin myös työvaiheita (kattilasali kattilan sisäosan vesipesun aikana ja hiilisiilon korjauksen aikana), joiden aikana altistuminen hengittyvälle pölylle oli vähäistä, mutta työvaiheissa mitattiin hetkellisesti suuria, epäorgaanisen pölyn HTP_{8h}-arvon hetkellisesti ylittäviä pölypitoisuuksia. Toimenpiteitä tarvitaan työntekijöiden altistumisen pienentämiseksi. Hengitystiealtistumisen vähentämisestä ja havaitusta suojainten käytöstä on kerrottu tarkemmin kapaleessa 7.1 sivulla 70. Työmenetelmien vaikutus työntekijöiden pölyaltistumisessa on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Automaattipuhdistuksen aikana työntekijän altistuminen pölylle on vähäisintä koska työntekijän ei tarvitse olla kattilalaitteiden sisällä puhdistamisen aikana.

Metallialtistumisen mahdollisten yhteisvaikutusten arviointi

Taulukossa 20 on esitetty yhteenveto altistumisesta metalleille polttolaitoksissa tehtävien kaikkien töiden aikana ottaen huomioon potentiaaliset yhteisvaikutukset. Yhteisvaikutusten arviointiin on käytetty Kanadalaista Mixie-ohjelmaa ja sen 1. tason analyysia, joka soveltuu potentiaalisten yhteisvaikutusten karkeaan kartoittamiseen ja antamaan viitteitä siitä, että voivatko yhteisvaikutukset olla merkityksellisiä vai eivät. Jos ohjelman antaman tuloksen arvo ylittää 100 %, metalliseoksen laskennallinen raja-arvo kyseisen vaikutuksen suhteen ylittyy. Laskelman taustalla on oletus, että samalla tavalla vaikuttavien aineiden vaikutus on summautuva (additiivinen).

Taulukko 20. Yhteenveto altistumisesta metalleille polttolaitoksissa tehtävien töiden aikana.

Kohde-elin, vaikutukset ja metallit, jotka on yhdistetty kyseisiin vaikutuksiin				
Vaikutukset	Syövät eri kohde-elimissä	Keskushermostovaikutukset	Ylähengitysteiden ärsytys	Alahengitysteiden ärsytys
Metallit, jotka on yhdistetty kyseisiin vaikutuksiin	Arseeni, kadmium, lyijy ja beryllium	Lyijy, mangaani ja seleeni	Alumiini, arseeni ja seleeni	Mangaani, kadmium, beryllium ja seleeni
Polttolaitos	Metallialtistumisen suuruus (%)			
Kivihilli	32	13	43	19

MIXIE-ohjelmalla tehdyn analyysin perusteella mahdollisen metallien aiheuttaman yhteisvaikutusten merkitys on vähäinen. Metallien yhteispitoisuudet eivät ylittäneet metalliseoksen laskennallista raja-arvoa, vaan jäivät 13 – 53 %:iin raja-arvosta. Yksittäisistä metalleista alumiinin pitoisuudet olivat kattilan seinän purkamisen ja kattilan sisäpesun aikana HTP_{8h} -arvoa suuremmat. Suurimmat arseenin pitoisuudet mitattiin myös kattilan seinän purkamisen ja kattilan sisäpesun aikana, jolloin pitoisuudet olivat 62 – 81 – prosenttia HTP_{8h} -arvosta. Lyijyn pitoisuudet olivat kaikissa mitatuissa työvaiheissa alle 40 % HTP_{8h} -arvosta. Mangaanin pitoisuudet olivat kaikissa mitatuissa työvaiheissa alle 30 % HTP_{8h} -arvosta. Berylliumin pitoisuudet olivat kaikki alle 100 % HTP_{8h} -arvosta, seleenin pitoisuudet enintään 0,8 % HTP_{8h} -arvosta ja kadmiumin pitoisuudet enintään 0,5 % HTP_{8h} -arvosta. Toriumin pitoisuudet olivat enimmillään $0,0004 \text{ mg/m}^3$. Jotta näiltä metallien mahdollisilta haitallisilta vaikutuksilta voidaan välttyä, tarvitaan erityisesti pölyisissä työvaiheissa toimenpiteitä (tekniset torjuntaratkaisut / hengityksensuojaimen käyttö), joilla vähennetään hengitystiealtistumista metalleille.

Kvartsi

Suurimmat kvartsipitoisuudet mitattiin kattilan sisäosan pesun aikana ja sähkösuodattimen korjauksen aikana, jolloin pitoisuudet ylittivät HTP_{8h} -arvon. Muissa työvaiheissa kvartsipitoisuudet olivat alle 14 - 48 % HTP_{8h} -arvosta. Erityisesti pölyisissä työvaiheissa, on mahdollista altistua merkittävästi kvartseille ja toimenpiteitä tarvitaan näissä työvaiheissa altistumisen vähentämiseksi. Työmenetelmien vaikutus työntekijöiden kvartsi-altistumisessa on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Automaattipuhdistuksen aikana työntekijän altistuminen kvartsilille on vähäisintä, koska työntekijän ei tarvitse olla kattilalaitteiden sisällä puhdistamisen aikana.

Asbesti

Kaikki mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat pieniä, alle 0,01 kuitua/cm³ ja eivät edellytä toimenpiteitä.

PAH-yhdisteet

Suurimmat PAH-pitoisuudet olivat sähkösuodattimen sisällä tapahtuvan korjauksen aikana. Kaikki mitatut PAH-seosten pitoisuudet vastaavat bentso[a]pyreenin pitoisuuksia, jotka olivat enimmillään pieniä, 2,3 %:n bentso[a]pyreenin HTP_{9h} -arvosta.

Kaasualtistumisen mahdollisten yhteisvaikutusten arviointi

Taulukossa 21 on esitetty yhteenveto altistumisesta kaasuille polttolaitoksissa tehtävien kaikkien töiden aikana ottaen huomioon potentiaaliset yhteisvaikutukset. Yhteisvaikutusten arviointiin on käytetty Kanadalaista Mixie-ohjelmaa ja sen 1. tason analyysia, joka soveltuu potentiaalisten yhteisvaikutusten karkeaan kartoittamiseen ja antamaan viitteitä siitä, että voivatko yhteisvaikutukset olla merkityksellisiä vai eivät. Jos ohjelman antaman tuloksen arvo ylittää 100 %, kaasuseoksen laskennallinen raja-arvo kyseisen vaikutuksen suhteen ylittyy. Laskelman taustalla on oletus, että samalla tavalla vaikuttavien aineiden vaikutus on summautuva (additiivinen).

Taulukko 21. Yhteenveto altistumisesta kaasuille polttolaitoksissa tehtävien töiden aikana.

Kohde-elin, vaikutukset ja kaasut, jotka on yhdistetty kyseisiin vaikutuksiin			
Vaikutukset	Hapenkuljetuksen häiriöt	Keskushermostovaikutukset	Ylähengitysteiden ärsytys
Kaasut, jotka on yhdistetty kyseisiin vaikutuksiin	Hiilimonoksidi ja typpioksidi	Hiilimonoksidi ja rikkivety	Ammoniakki, typpimonoksidi, rikkidioksidi, typpidioksidi ja rikkivety
Polttolaitos	Kaasuille altistumisen suuruus (%)		
Kivihilli	9	28	44

MIXIE-ohjelmalla tehdyn analyysin perusteella mahdollisen kaasujen aiheuttaman yhteisvaikutusten merkitys on vähäinen. Kaasujen yhteispitoisuudet kyseisten vaikutusten suhteen eivät ylittäneet raja-arvoa, ollen 9 - 44 % kyseisten vaikutusten raja-arvosta. Yksittäisistä kaasuista hiilimonoksidille altistutaan erityisesti työvaiheissa, joissa töitä tehtiin katti-

lan (keskiarvopitoisuus 67 % HTP_{8h} – arvosta) tai sähkösuodattimen sisällä (keskiarvopitoisuus 13 % HTP_{8h} – arvosta). Rikkidioksidille voidaan altistua kattilarakenteiden polttoleikkauksen aikana, jossa pitoisuus oli 40 % HTP_{8h} – arvosta ja hetkellinen pitoisuus 63 % HTP_{15min} – arvosta. Tyypidioksi-, rikkivety-, ammoniakki- ja typpimonoksidipitoisuudet olivat mitatuissa työvaiheissa pieniä.

6.2 Ihon altistuminen

Polttolaitosten puhdistajien ja korjaajien käsiin joutui työntekijöiden käyttämistä suojakäsineistä huolimatta tuhkassa olevia metalleja kuten arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Näitä metalleja voi joutua lisäksi työntekijöiden elimistöön esimerkiksi tupakoinnin tai ruokailun yhteydessä, jos käsiä ei pestä ennen tupakointia ja ruokailua. Toimenpiteitä siis tarvitaan käsien ihon metallialtistumisen vähentämiseksi.

Työntekijöiden työvaatteiden alla iholta otetuissa näytteissä esiintyi pieniä määriä kadmiumia, lyijyä, arseenia ja nikkeliä. Tulokset osoittavat sen, että työntekijöiden käyttämät työvaatteet pääasiassa suojasivat (nikkeliä lukuun ottamatta) kehon ihoa tuhkapölyn sisältämillä kyseisiltä metalleilta paremmin kuin suojakäsineet.



Kuva 26. Vasen kuva: Ihon tuhka-altistuminen on tapahtunut, koska käsineen ja suojahaalarin välinen liitos ei ollut tiivis. Oikea kuva: Pitkävartiset nahkakäsineet suojaavat käsiä ja rannetta tuhka-altistumiselta lyhytvartisia käsineitä paremmin.

6.3 Kokonaisaltistuminen

Työntekijöiden verestä määrityn lyijyn pitoisuuden keskiarvo ylitti lievästi altistumattomien viite-arvon (alle 0,09 $\mu\text{mol/l}$). Tämä osoittaa, että lyijyaltistumista on todennäköisesti tapahtunut, mutta se on niin vähäistä, ettei terveyshaittoja ole odotettavissa. Lyijy kertyy kuitenkin jatkuvassa altistumisessa elimistöön. Altistumistilanne on syytä selvittää, jos on syytä epäillä tilanteen muuttuneen, muutoin kahden vuoden välein. Kadmiumin pitoisuudet veressä olivat alle altistumattomien viite-arvon. Työntekijöiden virtsanäytteistä määritettyjen metallien: alumiinin, mangaanin, elohopean, arseenin, seleenin ja berylliumin pitoisuudet olivat kaikki alle altistumattomien viite-arvojen.

Tuhkan alkuainekoostumus

Työntekijöiden altistumisen kannalta katsottuna, kivihillivoimalaitosten ja biopolttoainetta polttavien voimalaitosten tuhkat erosivat toisista huomattavasti. Alkuaineista mangaania, arseenia, lyijyä ja kadmiumia oli kivihillivoimalaitosten tuhkissa merkittävästi vähemmän kuin biopolttoainetta polttavien voimalaitosten tuhkissa. Kivihillivoimalaitosten lentotuhkat sisälsivät työntekijöiden metallialtistumisen kannalta enemmän toriumia ja berylliumia. Koska kivihillivoimalaitosten tuhkat sisälsivät edellä mainittuja alkuaineita vähemmän kuin biopolttoaineita polttavien voimalaitosten tuhkat, metallien aiheuttamat mahdolliset tuhka-altistumiseen liittyvät terveydelliset riskit ovat kivihillivoimalaitoksissa raportissa mainituissa työtehtävissä samalla tasolla tai pienemmät kuin mitä ne ovat biopolttoaineita polttavissa laitoksissa tehtävissä vastaavissa töissä. Samansuuntainen tulos on nähtävissä tuhkan alkuainekoostumuksen lisäksi myös metallien ilmanäytteiden tuloksista ja työntekijöiden kokonaisaltistumisen tuloksissa.

Tuhkan jatkokäyttö

Myytävissä kivihillivoimalaitosten tuhkissa mangaanin, arseenin, lyijyn, kadmiumin, seleenin, berylliumin ja toriumin pitoisuudet olivat pienemmät

verrattuna kattiloiden sisältä otettujen lentotuhkanäytteiden metallien pitoisuuksiin. Ainoastaan alumiinin pitoisuudet olivat myytävissä lentotuhkissa suurimmat verrattuna kattiloiden sisältä otettujen lentotuhkanäytteiden metallien pitoisuuksiin. Näiden kahden lentotuhkanäytteen tulosten perusteella myytävissä kivihiiuvoimaloiden lentotuhkissa on mahdollisesti hermostoon vaikuttavia metalleja vähemmän kuin muissa voimalaitoksen lentotuhkissa.

6.4 Solutoksisuustestit

Solutoksisuuskokeiden perusteella voimalaitostuhkat aiheuttavat suhteellisen pieninä pitoisuuksina tulehdusvasteita keuhkojen makrofageissa. Lisäksi monet tuhkat ovat perimämyrkyllisiä ja siten potentiaalisesti syöpävaarallisia. Tuhkien välillä on kuitenkin tässä suhteessa selviä eroja.

Puupellettiä ja palaturvetta polttoaineinaan käyttävien voimalaitosten tuhkat oli tulehdusvasteiltaan ja perimämyrkyllisyydeltään kaikkein voimakkaimmat. Kivihiihi + sahanpuru ja kivihiihi II olivat vaikutuksiltaan melko voimakkaita, mutta kivihiihi I ja sahanpuru + kuori poikkesivat niistä siten, etteivät ne olleet lainkaan perimämyrkyllisiä. Turvetta, metsätähdehaketta ja kierrätyspuuta käyttävän voimalaitoksen tuhka oli toksisilta vasteiltaan kaikkein heikoin.

7 TOIMENPIDESUOSITUKSET ALTISTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI

7.1 Altistumisen vähentäminen kattiloiden sisällä tehtävissä töissä

Hengitystiealtistumisen vähentäminen

Mittausten aikana kivihillivoimalaitoksissa työskennelleistä työntekijöistä osa ei käyttänyt hengityksensuojaimia ja osa käytti moottoroituja P3 luokan suojaimia ja kasvonsuojata. Ylivoimaisesti suosituimmat hengityksensuojaimet olivat kertakäyttöiset hengityksen suojaimet. Työntekijät, jotka eivät käytä suojaimia tai käyttävät kertakäyttöisiä hengityksensuojaimia kattilalaitteiden sisällä, eivät ole välttämättä suojassa pölyn ja metallien aiheuttamilta haitallisilta vaikutuksilta. Tämän takia suositamme työntekijöitä käyttämään kivihillivoimalaitosten kattilasalissa seinän purkamisen aikana ja kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä (sähkösuodattimen korjaus, kattilan pesu, ekonomaiserin korjaus ja tulistimen korjaus) moottoroituja hengityksensuojaimia, jossa on ABEK+P3 suodatinpatruunat ja kasvonsuojain (suojaa myös silmät). Lisäksi työntekijän tulee käyttää mukana kuljetettavaa kaasuhälytintä, jossa on hiilimonoksidi- ja/tai rikkidioksidikenno(t), jotta työntekijät voivat seurata näiden altisteiden pitoisuutta kyseessä olevissa työvaiheissa. Kyseisen suojaimen käyttö ei suojaa työntekijöitä esimerkiksi hiilimonoksidin haitallisilta vaikutuksilta. Tämän takia kaasuhälyttimen käyttö on ensiarvoisen tärkeää, että tiedetään voiko kattilaan ylipäätään mennä ja minkälaiset olosuhteet kattilan sisällä on siellä työskentelyn aikana. Muissa työvaiheissa kattiloiden ulkopuolella voidaan käyttää vähintään P3-luokan hengityksensuojaimia, joiden avulla vähennetään työntekijöiden altistumista hengittävälle pölylle ja metalleille. Kyseinen hengityksensuojain ei suojaa kattihuoneessa olevilta kaasuilta (mm. hiilimonoksidi).

Ihoaltistumisen vähentäminen

Mittausten aikana kivihillivoimalaitoksissa työskennelleistä työntekijöistä osa ei käyttänyt käsineitä, mutta suurin osa käytti. Käsinevalikoiman havaittiin vaihtelevan työntekijän työtehtävän mukaan. Lähes kaikki työntekijät käyttivät työvaatteita, joiden päällä oli osalla työntekijöistä kertakäyttöiset suojahaalarit, erityisesti pölyisimmissä työvaiheissa. Kaikki työntekijät käyttivät turvajalkineita.

Hitsaajan työssä tarvitaan standardin EN ISO 11611 mukainen suojavaate, joka suojaa syttymisvaaralta, hitsauskipinöiltä ja tietyssä määrin myös kuumuudelta. Vaatetus voi olla yksi- tai kaksiosainen. Tarpeen mukaan tulee käyttää lisäsuojia, kuten hitsaajan huppua, irtohihoja tai säärystimiä. Suositamme työntekijöitä käyttämään kivihillivoimalaitosten kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä ensisijaisesti yksiosaista hupullista työhaalaria ja pitkävartisia (esimerkiksi nahkaisia) suojakäsineitä ihoaltistumisen vähentämiseksi. Työhaalarin tulisi olla hupullinen, jotta pölyn ja metallien pääsyä pään ja kaulan alueille voitaisiin vähentää. Jos havaitaan että tuhkapölyä pääsee merkittävästi työntekijöiden ranteiden alueelle tai nahkaisten pitkävartisten käsineiden käyttö töissä koetaan hankalaksi, voidaan käyttää lyhytvartisia pölyltä suojaavia työkäsineitä ja irtohihoja. Suositamme käyttämään kattiloiden sisällä tapahtuvissa töissä kipinöiltä, säteilylämmöltä, pölyltä ja lialta suojaavia turvajalkineita. Parhaimman suojan nilkan alueelle antaa puolivarsi- tai saapasmallinen nahkajalkine. Turvajalkineissa tulee olla varvas- ja/tai naulaan astumissuojus ja jalkineen on oltava kuumankestävä. Kyseisiä jalkineita voidaan käyttää myös kattiloiden hitsaustöiden aikana.

Kattilan ulkopuolella voidaan käyttää hitsaajan työssä standardin EN ISO 11611 mukaista suojavaatetta, joka suojaa syttymisvaaralta, hitsauskipinöiltä ja myös kuumuudelta. Vaatetus voi olla yksi- tai kaksiosainen. Tarpeen mukaan tulee käyttää lisäsuojia, kuten huppua, irtohihoja tai säärystimiä. Suositamme työntekijöitä käyttämään kattilan ulkopuolella tehtävissä tuhkan puhdistus ja kattilan korjaustöissä yksi - tai kaksiosaisia työvaatteita, pölyltä suojaavia työkäsineitä ja nahkaisia puolivarsi- tai saapasmallisia turvajalkineita.

Ruansulatuskanavan kautta tapahtuvan altistumisen vähentäminen

Et syö, juo tai tupakointia kattilan sisäpuolella, jotta ruansulatuskanavan kautta tapahtuvaa altistumista mm. syöpävaarallisille metalleille voidaan vähentää. Jos kattilan sisällä tupakoidaan työvaiheiden välillä, voidaan altistua hetkellisesti suurille alumiinin ja kvartsin pitoisuuksille ja samalla käsien iholta voi siirtyä syöpävaarallisia altisteita suoraan suuhun ja altistuminen näille aineille lisääntyy.

7.2 Kokonaisaltistumisen ja henkilön käyttämien suojainten toimivuuden arvioiminen

Suositamme seuraamaan kivihillivoimalaitosten tuhkan puhdistajien ja polttolaitosten korjaajien altistumista, henkilönsuojainten ja teknisten torjuntaratkaisujen riittävyyttä työntekijöiden verestä ja virtsasta tehtävien biomonitorointinäytteiden (B-Pb, U-As, U-Al, U-Mn) avulla. Veren lyijy (B-Pb) -määritys kuvaa pitemmän ajan altistumiskuormaa ja sopii erityisesti niiden työntekijöiden altistumisen arvontaa, joiden pääasiallinen työ on kivihillikattiloiden tuhkasta puhdistamien tai kattiloiden korjaaminen. Näissä töissä altistumista on hyvä seurata vuosittain tai kahden vuoden välien (tarvittaessa useamminkin, jos epäillään aiempaa runsaampaa altistumista).

7.3 Toimenpiteet työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi

Luvat ja tiedottaminen

- Sinulla on tarvittavat luvat työn tekemiseen
- Töiden aloittamisesta on tiedotettu
- Työtilat on erotettu prosessista
- Tiedotat myös työn lopettamisesta

Ennen kun menet kattilalaitteiden sisälle

- Tilassa käytettävät työvälineet täyttävät tilan ja ympäristön vaatimukset (mm: palo- ja räjähdysvaaralliset tilat)
- Kattilan sisällä ei ole kytevää polttoainetta ja lämpöolot kattilalaitteiden sisällä ovat tölle turvalliset
- Kattilalaitteet on tuuletettu ja riittävän korvausilman saanti on varmistettu
- Kattilalaitteiden sisällä ei ole haitallisia määriä kaasuja ja happipitoisuus ei ole alentunut

Kattilalaitteiden sisällä työskentely

- Työskentelet yhdessä varmistushenkilön kanssa
- Sinulla on käytössäsi työkohteeseen sopivat henkilönsuojaimet
- Tiedän miten toimia hätätilanteissa
- Käytät työkohteessa riittävää valoa, tarvittavia putoamissuojaimia ja telineitä tai työalustoja, joilla minimoit mahdolliset tapaturman vaarat (kaatuminen / kompastuminen / putoaminen)
- Et syö, juo tai tupakoi kattilalaitteiden sisällä
- Tiedät työskennelläänkö esim. kattilassa ylä- tai alapuolellasi (töiden jaksottaminen)

Ennen taukoa

- Riisu likaiset/pölyiset vaatteet ennen tauolle menoa ja pese kätesi
- Huolehdi riittävästä nesteen saannista

Siivoaminen

- Kattilan tuhkasta puhdistamisen ja kattiloiden korjaustyövaiheiden jälkeen kattilasali tulee siivota, jotta kattilasaliin mahdollisesti levinneen pölyn, metallien ja kvartsin määrää pinnoilla saadaan vähennettyä. Jos kattilasalin pintoja ei siivota, kattilasalin pinnat toimivat altistelähteinä myös talviaikaan kattilan normaalin käytön aikana.
- Siivoustöitä voidaan tehdä myös kattilan käytön ja puhdistus – ja korjaustoimenpiteiden aikana, niin mahdollisia altisteita ei pääse kertymään tällöin kattilasaliin.

8 OHJEET TYÖTERVEYSHUOLLOILLE

ASA-rekisteröinti

Polttolaitosten tuhkan puhdistajat ja kattiloiden korjaajat sekä käyttömiehet tulee ilmoittaa syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille ja menetelmille ammatissaan altistuvien rekisteriin (ASA-rekisteri), koska useimmilla näistä työntekijöistä ASA ilmoitusvelvollisuus täyttyy, jos työntekijät altistuvat 2-4 tuntia päivässä, vähintään 20 työpäivän aikana vuodessa tai kerta-altistuminen on merkittävää, kuten se kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä on. Työntekijöiden ilmoitusvelvollisuus on työntekijöiden työnantajilla. Polttolaitosten tuhkan puhdistajat ja korjaajat altistuvat syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille kuten lyijylle, PAH-yhdisteille, kiteiselle piidioksidille ja mahdollisesti kromi(VI)-yhdisteille. Tämä tarkoittaa sitä, että työntekijöiden altistumista ja terveyttä on seurattava säännöllisesti.

Altistumisen arvioiminen

Suositamme seuraamaan kivihillivoimalaitosten tuhkan puhdistajien ja polttolaitosten korjaajien altistumista, henkilönsuojainten ja teknisten torjuntaratkaisujen riittävyttä työntekijöiden verestä ja virtsasta tehtävien biomonitorointinäytteiden (B-Pb, U-As, U-Al, U-Mn) avulla.

Uuden työntekijän alalle soveltuvuuden arviointi

Euroquest-kyselyä voidaan käyttää mahdollisten keskushermostohaittojen seulontaan niillä työntekijöillä, joilla on pitkä (>10) työhistoria edellä mainituista tehtävistä ja mitattuja kohonneita veren lyijypitoisuuksia. Selkeät kliiniset keskushermostohaitat ovat näillä altistumistasoilla epätodennäköisiä, vaikka otettaisiin huomioon potentiaalinen yhteisvaikutuskin. Työhön liittyviä hengitystieoireita voi kartoittaa oirekyselyin ja tarvittaessa selvittää keuhkofunktio (spirometria).

Tuhkan puhdistajien ja kattiloiden korjaajien iho on kosketuksissa tuhkan sisältämien metallien kanssa. Metallien ihoaltistumisen seurauksena työntekijöille voi tulla tuhkan puhdistamisen tai kattiloiden korjaamisen aikana tai sen jälkeen iho-oireita. Jos työntekijän alkutarkastuksessa ilmenee lisääntynyt ihottumariski, työntekijälle neuvotaan oikeaa työtekniikkaa ja asianmukaisten suojainten käyttöä, jotta altistuminen on mahdollisimman vähäistä.

LÄHTEET

Arsenic and arsenic compounds. Environmental Health Criteria 224. IPCS, 2001: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm#8.6>

Arsenic and arsenic compounds. IARC Monographs -100C. 2012. WHO.

Celik, M., Donbak, L., Unal, F., Yüzbasioglu, D., Aksoy, H., Yilmaz, S. 2007. Cytogenic damage in workers from a coal-fired power plant. Mutation Research 627, 158-163.

Cowan, D.M., Zheng, W., Zou, Y., Shi, X., Chen, J., Rosenthal, F.S., Fan, Q. 2009. Manganese exposure among smelting workers: Relationship between blood manganese-iron ratio and early onset neurobehavioral alterations. NeuroToxicology 30, 1214-1222

Dormans, J.A.M.A., Steerenberg, P.A., Arts, J.H.E., van Bree, L., de Klerk, A., Verlaan, A.P.J., Pruijnjes, J.P., Beekhof, P., van Soelingen, D., van Loveren, H. 1999. Pathological and immunological effects of respirable coal fly ash in male wistar rats. Inhalation Toxicology 11, 51-69.

Energiateollisuus 2013, 1: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet>

Energiateollisuus 2013, 2: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energi-lahteet/kivihiili>

Energiateollisuus 2013, 3: <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2012-kaukolampo>

Garcon, G., Leleu, B., Marez, T., Zerimech, F., Haguenoer, J.M., Furon, D., Shirali, P. 2007. Biomonitoring of the adverse effects induced by the chronic exposure to lead and cadmium

on kidney function: Usefulness of alpha-glutathione S-transferase. *Science of Total Environmental* 377, 165-172.

Halatek, T., Sinczuk-Walczak, H., Rabieh, S., Wasowicz, W. 2009. Association between occupational exposure to arsenic and neurological, respiratory and renal effects. *Toxicology and Applied Pharmacology* 239, 193-199.

Hicks, J. and Yager, J. 2006. Airborne crystalline silica concentrations at coal-fired power plants associated with coal fly ash. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3, 448-455.

Jumpponen, M., Rönkkömäki, H., Tuomi, T., Santonen, T., Laitinen, J. 2011. Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit – Altistuminen ja torjunta. Työterveyslaitos 2011

Khan, A.A., de Jong, W., Jansens, P.J., Spliethoff, H. 2009. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel processing technology* 90, 21-50.

Mani, U., Prasad, A.k., Kumar, V.S., Lal, K., Kanojia, R.K., Chaudhari, B.P., Murthy, R.C. 2007. Effect of the ash inhalation on biochemical and histomorphological changes in rat liver. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 68, 126-133.

Priha Eero, Anttila Piia, Niskanen Juhani. Työympäristön haittatekijöiden yhteisvaikutukset. Työterveyslaitos 2007. <http://www.tsr.fi/tsarchive/files/TietokantaTutkittu/2006/106296Loppuraportti.pdf>

Pöykö R., Rönkkömäki H., Nurmesniemi H., Perämäki P., Popov K., Välimäki I. and Tuomi T. 2009. Chemical and physical properties of cyclone fly ash from the grate-fired boiler incinerating forest residues at a small municipal district heating plant (6 MW), *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2009) 1059 - 1064

Pöykiö Risto, Rönkkömäki Hannu, Nurmiesniemi Hannu, Tenno Toomas, and Paama Lilli. 2008. Extractability of heavy metals in cyclone ash. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 57, 2, 100–106

Rantanen, S. ja Pääkkönen, R. 2008. Työhygieniä. Kemialliset ja fysikaaliset tekijät. Työsuojelujulkaisu 86. Työsuojeluhallinto, Tampere.

Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for lead and its inorganic compounds SCOEL/SUM/83 January 2002. European Commission.

Riihimäki V, Aitio A. Occupational exposure to aluminum and its biomonitoring in perspective. *Crit Rev Toxicol*. 2012 Nov;42(10):827-53. doi: 10.3109/10408444.2012.725027. Epub 2012 Sep 27.

Santonen T and Aitio A. (2012) Manganese and Rhenium. In: Bingham E and Cohn B. *Patty's Industrial hygiene and Toxicology*. Published Online: 27 JAN 2012 DOI: 10.1002/0471435139tox039pub2

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060591>

Van Maanen, J.M.S, Borm, P.J.A., Knaapen, A., Van Herwijnen, M., Schilderman, P.A.E.L., Smith, K.R., Aust, E.A., Tomatis, M., Fubini, B. 1999. In vitro effects of coal fly ash: Hydroxyl Radical Generation, Iron Release, and DNA Damage and Toxicity in Rat Lung Epithelial Cells. *Inhalation Toxicology* 11, 1123-1141.

Walton, J.R. 2011. Bioavailable Aluminum: Its Effects on Human Health. *Encyclopaedia of Environmental Health*, 331-342.

Öztürk, S., Vatensever, S., Cefle, K., Palanduz, S., Güler, N.E., Erk, O., Karan, A., Taşciog˘lu, C. 2002. Acute Wood or Coal Exposure with Carbon Monoxide Intoxication Induces Sister Chromatid Exchange. *Clinical Toxicology* 40, 115-120.

LIITTEET

1. Malliratkaisu voimalaitosten huolto- ja korjaustöihin – Työt kattilalaitteiden sisällä.
2. PCR-array –testin geenien lyhenteiden selitykset.

Liite 1. Malliratkaisuja VOIMALAITOSTEN HUOLTO- JA KORJAUSTÖIHIN – Työt kattilalaitteiden sisällä

Suomi on uusiutuvien energialähteiden ja erityisesti bioenergian hyödyntämisessä yksi edelläkävijöistä Euroopassa ja maailmassa. Lähes jokaisesta kaupungista ja taajamasta löytyy kivihilltä tai bioenergiaa käyttävä laitos, jonka tuotannossa syntyy merkittävä määrä tuhkaa.

Tuhkan loppusijoitus tai -käyttö altistaa sen käsittelijöitä, kuljettajia ja lastaajia. Voimalaitoksien huolto- ja korjaustöissä työntekijät voivat altistua merkittävästi tuhkan epäpuhtauksille kuten epäorgaaniselle pölylle, metalleille, kiteiselle piidioksidille, eli kvartsille ja erilaisille kaasuille.

Tähän malliratkaisuun on koottu voimalaitosten kattilalaitteiden sisällä tehtäviin huolto- ja korjaustöihin liittyviä keskeisiä vaaratekijöitä. Merkittävimmille vaaratekijöille eli metalleille, kiteiselle piidioksidille ja kaasuille on esitetty ratkaisuja hyviksi ja turvallisiksi todetuista toimenpiteistä altistumisen vähentämiseksi.

Voimalaitosten kattilalaitteiden sisällä huolto- ja korjaustöissä esiintyvät vaarat

Voimalaitoksilla erilaisissa huolto- ja korjaus-töissä työskentelee vuosittain noin 5000 työntekijää (kuva 1). Nämä työntekijät voivat altistua työssään voimalaitosten pohjatuhkalle tai lentotuhkalle ja niissä oleville epäpuhtauksille hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. Suurinta altistuminen on tuhkan puhdistuksessa ja sitä seuraavissa huoltotöissä. Huoltotöissä altistumisen on sitä suurempaa mitä huonommin tuhkan puhdistus on onnistunut. Erilaisissa huolto- ja korjaustöitä tehdään voimalaitoksilla mm. kattilan, ekonomiserin ja sähkösuodattimen sisältä, joissa on mitattu ilmapitoisuuksia, jotka ylittävät epäorgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden.



Kuva 1. Huolto- ja korjaustyöt kattilalaitteiden sisällä.



Kuva 2. Kertakäyttöiset hengityksensuojaimet eivät anna riittävää suojaa työntekijälle kattilan sisäpuolisten työvaiheiden aikana.

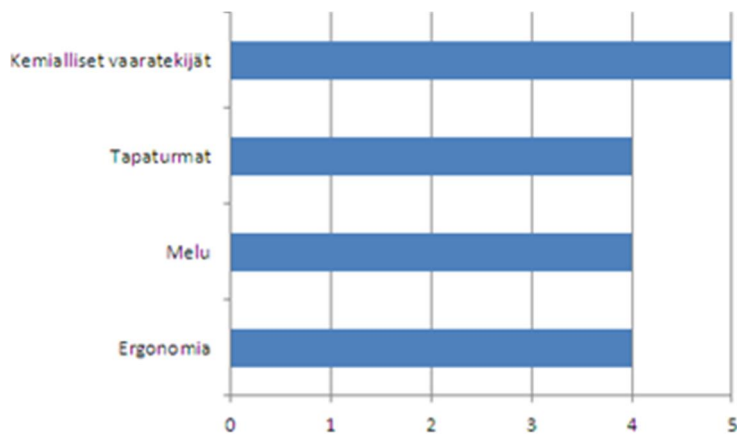
Likaisten työvaiheiden ansiosta myös viitteitä ihon suojauksen puutteista, on myös löytynyt. Työntekijöiden käsistä ja suojahaalarin alta ihon pinnalta on löydetty mm. arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Raskasmetallipitoisuudet ihon pinnalla lisäävät merkittävästi myös altistumisriskiä ruuansulatuskanavan kautta ja riskiä metallien aiheuttamiin ihosairauksiin.

Huolto- ja korjausmiesten keskimääräiset virtsan ja veren raskasmetallipitoisuudet ovat ylittäneet lyijyn altistumattoman väestön viiterajan kivihiiltä polttavissa laitoksissa ja kadmiumin, mangaanin ja arseenin viiterajan pellettiä polttavissa laitoksissa. Lisäksi työntekijöiden kokonaisaltistuminen on ylittänyt alumiinin ja lyijyn altistumattoman väestön viiterajan puuta ja kierrätyspolttoainetta käyttävässä laitoksessa sekä alumiinin viiterajan turvetta polttavissa laitoksissa.

Pohjatuhkan ja lentotuhkan on todettu sisältävän merkittäviä määriä syöpävaarallista ki-teistä piidioksidia ja suurimmat pitoisuudet ovat ylittäneet monikertaisesti sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden.

Mitä nopeammin työntekijät joutuvat menemään korjauksiin kattilan sammutuksen jäl-keen, sitä suurempi todennäköisyys on, että he altistuvat myös tuhkaista peräisin oleville kaasumaisille ilman epäpuhtauksille, kuten hiilimonoksidille (häkäkaasulle). Huoltotoissa on mitattu hetkellisiä jopa yli haitalliseksi tunnetun pitoisuuden ylittäviä hiilimonoksidi-, rik-kidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuuksia erityisesti kattilalaitteiden hitsauksen, polttoleik-kauksen ja kulmahiontakoneen käytön aikana. Riskiä lisää jos huoltokohteessa on tuhkaa korjauksen aikana.

Puhdistus- ja korjaustyövaiheiden aikana esiintyvistä vaaratekijöistä (kuva 3) kemialliset tekijät ovat suurin riski, koska epäorgaanisen pölyn, metallien ja kvartsin raja-arvot ylitty-vät näissä työvaiheissa. Tapaturmien riskiä lisää kattiloiden sisällä oleva heikko valaistus ja hankalat työasennot sekä liikkuminen. Kaatumisesta johtuvat seuraukset voivat olla vaka-via (useamman päivän sairausloma). Kattiloiden korjaustyövaiheiden aikana melutasot voi-vat olla usein korkeita ja melujaksoja esiintyy työssä usein. Ergonomia on huonoa liikutta-essa työvaiheiden aikana ryömien tai kontaten kattilalaitteiden sisällä ahtaissa tiloissa ja kattilaan sisälle ja ulos mentäessä.



Kuva 3. Vaaratekijöiden riskinarviointi

Terveysvaikutukset

Epäorgaanisen pölyn kriittisimmät vaikutukset kohdentuvat sen hiukkaskoon mukaan. Tuhkan alveolijae sisältää kvartsia eli kiteistä piidioksidia, joka aiheuttaa kivipölykeuhkosairautta eli silikoosia. Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos IARC on luokitellut kvartsin syöpävaaralliseksi ihmisille jo vuonna 1997. Tämän lisäksi hengitystiealtistuminen epäorgaaniselle pölylle ja sen sisältämille metalleille voi lisätä ala- ja ylähengitysteiden ärsytystä, keskushermoston oireilua ja kohde-elimien syöpäriskiä. Ihoaltistuminen metalleille voi lisätä riskiä ihon sairauksille ja ihon läpi imeytyessään tai kulkeutuessaan käsien kautta ruuansulatuskanavaan, metallit aiheuttavat koko kehoon kohdistuvia vaikutuksia, mutta hermosto on erityinen kohde-elin metalleille. Kaasumaisille aineille altistuminen lisää ylempien hengitysteiden ärsytystä, vaikeuttaa hapen kuljetusta elimistössä ja vaikuttaa keskushermoston toimintaan.

Ohjeita altistumisen vähentämiseksi

1. Oikeaoppinen korjaustyömenettely

- Kattilan sammutus, tuuletus ja jäähdytys tulee tehdä ajoissa ennen töiden aloittamista kattilan sisällä
- Kattilan tuuletus ja tarvittaessa ilmanvaihdon järjestäminen kattilaan töiden aikana
- Säilytysohjeita tulee noudattaa (mm. pareittain työskentely)

2. Työmenetelmät

- Käytetään automaattipuhdistusta, jossa työntekijän ei tarvitse olla kattilan sisällä puhdistuksen aikana. Märkä – ja kuivapuhdistus on yli 100 – kertaa pölyisempää automaattipuhdistukseen verrattuna.

3. Suojautuminen

- Normaalit työolosuhteet (tuhkan poisto ja korjaustyöt)
 - Suojakypärä, jossa kasvonsuojain (suojaa myös silmät), kuulonsuojaimet ja moottoroitu hengityksensuojain, jossa on ABEK – P3 - suodattimet (suojaimen suodatustehokkuus tulee olla TH3P tai TM3P) kaasuhälytin, ensisijaisesti yksiosainen hupullinen työhaalari (hitsaustöissä standardin EN ISO 11611 mukainen suojavaate) ja pitkävärtiset (esim. nahkaiset) suojakäsineet.
- Ongelmatilanteet kattiloiden sisällä lämmityskaudella
 - Jos kattiloiden sisälle joudutaan menemään lämmityskaudella jostain syystä, tulevat olosuhteet olla työntekijöille turvalliset ja työntekijöiden tulee käyttää paineilmaletkulaitteita ja muita edellä mainittuja suojaimia

Hyödyllistä lisätietoa

- Haitalliset kemialliset aineet kivihiiuvoimaloissa – Altistuminen ja torjunta – hankkeen loppuraportti: (Työsuojelurahasto)
- Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit – Altistuminen ja torjunta – hankkeen loppuraportti: https://www.tsr.fi/c/document_library/get_file?folderId=13109&name=DLFE-5606.pdf
- Työpaikka-, työtehtävä- ja alakohtaisia suojainratkaisuja: http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/henkilonsuojaimet/suojainratkaisuja/sivut/default.aspx

Liite 2. PCR-array –testin geenien lyhenteiden selitykset

Lyhenne	Kuvaus (geenin nimi)
Ccl1	Chemokine (C-C motif) ligand 1
Ccl12	Chemokine (C-C motif) ligand 12
Ccl17	Chemokine (C-C motif) ligand 17
Ccl19	Chemokine (C-C motif) ligand 19
Ccl2	Chemokine (C-C motif) ligand 2
Ccl22	Chemokine (C-C motif) ligand 22
Ccl24	Chemokine (C-C motif) ligand 24
Ccl3	Chemokine (C-C motif) ligand 3
Ccl4	Chemokine (C-C motif) ligand 4
Ccl5	Chemokine (C-C motif) ligand 5
Ccl6	Chemokine (C-C motif) ligand 6
Ccl7	Chemokine (C-C motif) ligand 7
Ccl9	Chemokine (C-C motif) ligand 9
Ccr1	Chemokine (C-C motif) receptor 1
Ccr2	Chemokine (C-C motif) receptor 2
Ccr4	Chemokine (C-C motif) receptor 4
Ccr5	Chemokine (C-C motif) receptor 5
Ccr6	Chemokine (C-C motif) receptor 6
Ccr7	Chemokine (C-C motif) receptor 7
Ccr9	Chemokine (C-C motif) receptor 9
Cx3cl1	Chemokine (C-X3-C motif) ligand 1
Cxcl1	Chemokine (C-X-C motif) ligand 1
Cxcl10	Chemokine (C-X-C motif) ligand 10

Cxcl11	Chemokine (C-X-C motif) ligand 11
Cxcl13	Chemokine (C-X-C motif) ligand 13
Cxcl5	Chemokine (C-X-C motif) ligand 5
Cxcl9	Chemokine (C-X-C motif) ligand 9
Cxcr3	Chemokine (C-X-C motif) receptor 3
Ccr10	Chemokine (C-C motif) receptor 10
Ifng	Interferon gamma
Il10	Interleukin 10
Il11	Interleukin 11
Il13	Interleukin 13
Il16	Interleukin 16
Il17b	Interleukin 17B
Il1a	Interleukin 1 alpha
Il1b	Interleukin 1 beta
Il1f6	Interleukin 1 family, member 6
Il1f8	Interleukin 1 family, member 8
Il1r1	Interleukin 1 receptor, type I
Il2rb	Interleukin 2 receptor, beta chain
Il3	Interleukin 3
Il4	Interleukin 4
Aimp1	Aminoacyl tRNA synthetase complex-interacting multifunctional protein 1
Spp1	Secreted phosphoprotein 1
Tnf	Tumor necrosis factor
Tnfrsf1b	Tumor necrosis factor receptor superfamily, member 1b
Xcr1	Chemokine (C motif) receptor 1

Kivihiili on maailmassa eniten käytetty sähköntuotannon polttoaine. Suomessa kivihiilen käyttö pääpolttoaineena on keskittynyt lähinnä isoihin lauhde- ja kaukolämpövoimalaitoksiin. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kivihiilivoimalaitosten tuhkien koostumusta, sen haitallisia vaikutuksia keuhkojen soluille ja työhygieenisää riskitekijöitä kivihiilivoimalaitosten polttokattiloihin huolto- ja korjaustöissä.

Polttokattiloiden huolto- ja korjaustöiden aikana mitattiin suuria pölypitoisuuksia erityisesti kattilalaitteiden sisällä tehtävien työvaiheiden aikana. Näissä työvaiheissa mitattiin myös kohonneita alumiinin, arseenin sekä lyijyn pitoisuuksia ja suuria kiteisen kvartsin pitoisuuksia. Kaasuista hiilimonoksidia esiintyi kattilalaitteiden sisällä ja rikidioksidia puolestaan kattilarakenteiden polttoleikkaamisen aikana. Työntekijöiden käsistä ja iholta mitattiin työntekijöiden käyttämistä suojakäsineistä ja työhaalareista huolimatta arsenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Solutoksisuuskoekokeiden perusteella voimalaitostuhkat aiheuttavat suhteellisen pieninä pitoisuuksina tulehdusvasteita keuhkojen makrofageissa. Lisäksi monet tuhkat ovat perimämyrkyllisiä ja siten potentiaalisesti syöpävaarallisia.

Tutkimustulosten perusteella turvallinen työskentely kivihiilivoimalaitosten kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä edellyttää moottoroitujen hengityksensuojaimien käyttöä. Lisäksi työntekijöiden on hyvä käyttää kattilalaitteiden sisällä tehtävissä töissä käsien ihoa suojaavia pitkävartisia nahkaisia käsineitä ja kehon ihoa suojaavia työvaatteita sekä turvajalkineita.

TYÖTERVEYSLAITOS

Työterveyslaitos, Työpaikan työhyvinvoinnin ratkaisut
Topeliuksenkatu 41 a A, 00250 Helsinki

www.ttl.fi

ISBN 978-952-261-404-9 (nid.)
ISBN 978-952-261-405-6 (PDF)



Työterveyslaitos



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund