

Tutkimusprofessori *Hannu Komulainen*
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Tutkija *Antti Kallio*
Säteilyturvakeskus

Johtava tutkija *Jouni Tuomisto*
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Kaivostoiminnan ympäristöterveysriskit

Tiivistelmä

Kaivoksiin ja niillä tapahtuvaan kaivostointaan saattaa liittyä päästöjä, jotka aiheuttavat terveysriskejä ja haittaa kaivoksen ympäristössä asuvalle väestölle (ympäristöterveysriskit ja viihtyvyshaitat). Tässä käsitellään mineraalikaivostointaan liittyvien päästöjen terveysriskinarviota kaivoksen ympäristön väestössä. Haitat ja riskit ovat kaivoskohtaisia. Ne riippuvat kaivostyypistä, sen prosesseista, kaivoksen ympäristöstä ja sijainnista suhteessa asutukseen. Todennäköisimpiä ympäristöterveyshaittaa aiheuttavia päästöjä ovat pöly, melu ja päästöt pintavesiin (joki- ja järvivedet, veden pilaantuminen). Paha haju saattaa aiheuttaa viihtyvyshaittaa. Viih-

tyvyshaitat (melu, haju, värinä, esteettiset ja maisemalliset haitat) saattavat vaikuttaa pitkittyessään haitallisesti myös terveyteen (stressi, unihäiriöt, keskittymishäiriöt). Kaivosympäristö voi lisätä altisteiden kokonaissaantia (muut lähteet + kaivosympäristö), mutta harvoin sellaiselle tasolle, jotka aiheuttavat terveyshaittaa. Osin tämä on seurausta siitä, että altistumista pilaantuneessa ympäristössä joudutaan tietoisesti välttämään. Ympäristön pilaantumiseen liittyvät viihtyvyshaitat ja pilaantumiseen liittyvät sosioekonomiset seikat ovat useimmiten todennäköisempiä kuin suoranaiset terveyshaitat ympäristön väestölle. Ympäristön pilaantuminen rajoittaa sen virkistyskäyttöä, pahimmillaan vuosikymmeniksi, mikä jo yksinään on vakava haitta.

Johdanto

Kaivostoiminta vaikuttaa ympäristöön-
sä kaivoksen luonteesta riippuen. Maa-/
kallioperän louhinnasta, malmin murska-
uksesta ja rikastuksesta syntyy päästöjä,
jotka saattavat levitä ympäristöön (Kaup-
pila ym. 2013). Myös ajoneuvoliikenne
kaivosalueella ja sen ulkopuolella saattaa
aiheuttaa pöly- ja pakokaasupäästöjä. Kiin-
teästi vesistöön yhteydessä olevasta kai-
voksesta saattaa päästä päästöjä vesistöön.
Kun kaivos aikanaan suljetaan, jäljelle
jäävät kaivosalueelle jätteet ja toiminnasta
kuormittunut ympäristö. Ympäristö- ja ter-
veysvaikutukset olisi arvioitava kaivoksen
koko elinkaaren ajalle.

Kukin kaivos on erilainen. Kaivoksen ympäristö- ja terveysriskejä aiheuttavat päästöt ovat kaivoskohtaisia. Päästöjen aiheuttamat ongelmat riippuvat päästöjen luonteesta, määrästä ja kaivoksen sijainnista ympäristössään. Lähellä asutusta sijaitsevaan kaivokseen liittyy potentiaalisesti erilaisia ongelmia kuin kaukana asutuksesta sijaitsevaan kaivokseen (esimerkiksi meluhaitta). Malmin rikastusprosessit ja niistä syntyvät päästöt voivat olla erilaisia. Kaivoksiin liittyy kuitenkin ympäristö- ja terveysriskejä, jotka ovat todennäköisiä ja yleisiä kaikilla kaivoksilla. Seuraavassa käsitellään kaivokseen liittyviä ympäristöterveysriskejä ja mahdollisia potentiaalisia haitallisia vaikutuksia kaivosalueen ympäristön väestölle. Yksittäiseen kaivokseen liittyvät riskit ja haitat on arvioitava aina kaivoskohtaisesti, ja ne voivat poiketa huomattavasti toisistaan.

Päästöt

Kaivostoiminta tuottaa erilaisia päästöjä: Pölyä, kaasumaisia aineita, melua, hajua, tärinää, kemiallisten aineiden päästöjä ja radioaktiivisia aineita, jotka voivat levitä ilmaan, maaperään ja ympäröiviin vesistöihin. Päästön vaikutusalue on päästökohtainen. Päästöistä syntyvät pitoisuudet ympäristöön ovat suurimmat päästölähteen lähistöllä, varsinaisella kaivosalueella.

//

*Haitat ja riskit ovat kaivoskohtaisia.
Ne riippuvat kaivostyypistä, sen
prosesseista, kaivoksen ympäristöstä ja
sijainnista suhteessa asutukseen.*

Päästöstä riippuen ne leviävät ja laimenevat ympäristössä etäisyyden kasvaessa. Esi-
merkiksi malmin louhintaan ja käsittelyyn
liittyvä mineraalipöly leviää pääasiassa
muutaman sadan metrin etäisyydelle kai-
vosalueelta. Maaperässä on nähtävissä
pitoisuusgradientti kaivokselta pois-
päin. Melu, maastosta ja melun luonteesta riip-
puen, saattaa kuulua kilometrien päähän
kaivokselta. Rikkivedyn haju on tunnistet-
tu sopivalla tuulella kauimmillaan vielä
kymmenien kilometrien päässä kaivoksel-
ta. Päästöt vesiin saattavat kulkeutua vesis-
töreitillä kilometrejä ja näkyä vielä vesissä
kymmenienkin kilometrien päässä kohon-
neina pitoisuuksina.

Haittojen kannalta oleellista on päästön
ympäristössä olevat pitoisuudet ja kertymä
tai ilmenevä taso (melu, tärinä) ja sen yleis-
yys. Pääasiassa ne määräävät aiheutuvan
haitan ja riskin suuruuden. Koska ihmiset
kaivoksen ympäristössä altistuvat päästöil-
le isoksi osaksi ympäristön kautta (maape-
räästä, vedestä, hengitysilmaasta), näitä samo-
ja pitoisuuksia käytetään niin ekologisten
kuin terveyshaittojenkin arviointiin. Niin-
pä eri vaikutuksia on perusteltua arvioida
samanaikaisesti pitoisuuksiin asti, mutta
pitoisuuksista vaikutuksiin menevät tarkas-
telut eriävät ekologisten ja terveyshaittojen
osalta.

Haitat ja terveysriskit

Altisteet ja altistuminen

Kaivoksen lähellä asuvat ihmiset altistuvat kaivokselta tuleville päästöille **hengittä-
mällä, suun kautta ja iholle**. Tärkeimpiä
lähteitä, altistumistapoja ja esimerkkiainei-
ta on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Kaivosympäristön väestön altistumistapoja ja lähteitä kaivosperäisille päästöille.

Päästö tai altistumislähde	Altistumistapa	Esimerkkejä tavallisista ongelma-altisteista
Päästöt pintaveteen (joki-järvivesi)	Saanti kaloissa, uimavesi, pesuvesi, löylyvesi, kasvimaan kasteluvesi	Metallit (kadmium, uraani, nikkeli, arseeni, mangaani), happamuus, levät; veden huonontunut laatu kokonaisuutena)
Pohjavesi (kaivosvesi)	Juomavesi	Alkuaineet ja metallit (nikkeli, mangaani, uraani)
Maaperä	Maan syönti, ihokosketus maa-ainekseen, ympäristön syötävät ravintokasvit	Metallit (nikkeli, kadmium, arseeni)
Pöly (hiukkaset)	Hengitysilma, laskeuma ympäristöön	PM ₁₀ , PM _{2.5} , grafiitti ja muut ympäristöä likaavat aineet/pöly
Kaasumaiset epäpuhtaudet (pakokaasut, polttoprosessit, haihtuvat kemialliset aineet)	Hengitysilma	NO ₂ , CO, SO ₂ , muut rikkiyhdisteet, VOC
Haju	Haistetaan ilmasta	Hajurikkiyhdisteet (rikkivety)
Melu	Kuullaan	Lisääntynyt melu, impulssimainen melu
Tärinä (räjäytykset, liikenne)	Aistitaan tärähtelynä, paineaalto	
Säteily (radioaktiiviset aineet)	Ravinto, hengitettynä (hiukkaset, radonkaasu), juomavesi	Radon, uraani ja niiden hajoamistuotteet

Altisteiden merkitys vaihtelee kaivoksittain. Kaikkia päästöjä ei ole kaikilla kaivoksilla ja niiden suhteellinen merkitys myös vaihtelee kaivoskohtaisesti.

Terveyshaitat

Arvioitaessa päästöjen haitallisia vaikutuksia on syytä arvioida sekä mahdollinen **viihtyvyshaitta** ihmisille että varsinainen **terveyshaitta** tai riski. Viihtyvyshaitalla tarkoitetaan mieltä rasittavia asioita: mieli-

paha, harmitus, esteettinen haitta ja stressi, joita kaivos tai sen päästöt aiheuttavat. Melu, haju, tärinä, ympäristön pilaantuminen ja siitä johtuva virkistyskäytön rajoittuminen (likaava pölylaskeuma, uintirajoitukset järvissä, kalankäyttörajoitukset, muutokset kalansaaliissa, löylyveden käyttörajoitukset) tyypillisesti aiheuttavat viihtyvyshaittaa. Sitä aiheuttaa myös päästöihin liittyvä pelko.

Terveyshaitalla tarkoitetaan päästön suoraa toksista vaikutusta elimistössä: altis-

tu
eli
arv
on
Vii
kit
esi
mu
ver
huc
del
sik
unc
ses
arv
C
ja r
pän
aiva
laac
nen
sest
Myö
kau
pysy
ren
ja va
hävi
kaai
Ka
riske
vioiu
peru
käsit
milu
tulol
arvio
netto
den
mat
Kaiv
käytä
sityis
Suon
tuote
toteu
NER.
kaivo
arvio
lisest

tuminen on niin suurta, että se vaikuttaa elimistössä haitallisesti. Haittana tai riskinä arvioidaan erikseen syöpäriski (jos päästö on karsinogeenista) ja muut terveyshaitat. Viihtyvyyshaitta voi voimakkaana ja pitkittyessään aiheuttaa myös terveyshaittaa esimerkiksi jatkuvana stressinä (unettomuus, keskittymiskyvyn puute, kohonnut verenpaine), joka erityisesti pahentaa jo huonontunutta terveydentilaa. Riskien todellisia suuruuksia on vaikea hahmottaa, ja siksi helposti pelätään merkityksettömiä tai unohdetaan merkittäviä riskejä. Tämä entistään mutkistaa pelon ja viihtyvyyshaitan arviointia.

On todennäköistä että useimmat haitat ja riskit ovat sitä suuremmat, mitä lähempänä kaivosaluetta asutaan, suurimmat aivan kaivoksen vieressä asuville. Vesistön laadun muutokset (mm. aineiden kertyminen vesistöön ja sedimenttiin) todennäköisesti vaikuttavat kauimpana kaivoksesta. Myös paha haju saattaa kulkeutua ajoittain kauaksi. Epäorgaaniset epäpuhtaudet ovat pysyviä ja kertyvät koko kaivoksen elinkaaren ajan ympäristöön. Ne voivat kulkeutua ja vaihtaa paikkaa, mutta eivät alkuaineina häviä kaivoksen toiminnan lopettamisen jälkeen.

Kaivosympäristön aiheuttamia terveysriskejä arvioidaan ympäristövaikutusarviointiprosessissa (YVA-selvitys) kaivosta perustettaessa ja kaivokseen liittyviä lupia käsiteltäessä. Jo toimivalla kaivoksella toimiluvan edellyttämän velvoitetarkkailun tulokset ja niissä tapahtuneet muutokset arvioidaan säännöllisesti. Poikkeus- ja onnettomuustilanteessa arvioidaan syntyneiden poikkeuksellisten päästöjen aiheuttamat riskit ja seuraukset tapauskohtaisena. Kaivosympäristön terveysriskinarvion käytännön toteuttamiseen ei ole ollut yksityiskohtaisia ohjeita. GTK:n, THL:n ja Itä-Suomen yliopiston MINERA-hankkeessa tuotettiin suositus ja työkaluja riskinarvion toteuttamiseen (Kauppila ym. 2013). MINERA-hankkeen puitteissa ja yksittäisten kaivosten ympäristöterveysvaikutuksia arvioidessa on syntynyt käsitys potentiaalisesti keskeisistä haitoista ja riskeistä, joita

kaivosympäristöön saattaa liittyä. Niitä on käsitelty seuraavassa yksityiskohtaisemmin.

Pintavedet

Pintavesiin (järvet, joet) päätyvät päästöt pahimmillaan pilaavat kokonaisen järven, jolloin vettä ei voida käyttää ja sen virkistyskäyttö rajoittuu. Siinä ei voi uida eikä käyttää vettä löylyvetenä ja peseytymiseen. Tästä on esimerkkinä Talvivaaran kaivoksen lähijärvet (Kivijärvi, Kalliojärvi), joille on jouduttu antamaan vedenkäyttösuosituksia ja -rajoituksia kipsisakka-allasvuotojen seurauksena. Talvivaaralla kysymyksessä on poikkeustilanne, jossa päästöt ympäristöön ovat olleet suuria ja selvästi todettavissa. Virkistyskäytön rajoittaminen on viihtyvyyshaitta, ja sillä on sosioekonomisia vaikutuksia omaisuuden arvoon. Alueella, jossa kaivos sijaitsee, pintavesien koostumus ja pitoisuudet saattavat jo luontaisesti poiketa tavanomaisesta. Kallioperä heijastuu pintavesiin, koska pohjavesiä purkautuu pintavesiin.

Ihmisten todennäköisin ja merkittävin altistumistapa pintavesissä oleville kaivoksen epäpuhtauksille on saanti vesistöistä pyydytyssä kalassa. Epäorgaaniset aineet ja metallit eivät erityisesti kerry kalan syötäviin osiin, mutta pitoisuudet saattavat nousta. Kun kalojen metallipitoisuudet määritetään, kalansyöntiin liittyvä riski voidaan arvioida. Jos kaivostoiminnan päästöt lisäävät suorasti tai epäsuorasti metyylielohopean muodostumista vesistöissä, se kertyy petokaloihin ja tämä on todennäköisesti suurin kalaan liittyvä riski. Tiedossa ei kuitenkaan toistaiseksi ole, että Suomessa olisi jouduttu rajoittamaan kalansyöntiä kaivoksen lähiympäristön vesistöistä kalojen kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien vuoksi. Yksittäisten metallien saantia ne ovat lisänneet.

On suositus, että järvi- ja jokivettä tai pintavettä ylipäänsä ei käytettäisi juomavetenä, koska siihen liittyy mikrobiologisia riskejä. Jos kaivosympäristöjen pilaantuneita vesiä juotaisiin, se olisi tärkein altistumisreitti ja aiheuttaisi suoranaisten myrkytysten riskin.

Annos elimistöön olisi niin suuri, että siitä todennäköisesti seuraisi veden jatkuvassa käytössä haittavaikutuksia. Vedenjuontikieltosuosituksen noudattaminen on erityisen tärkeää vesistöissä, joissa tiedetään olevan epätavallisen paljon epäpuhtauksia.

Metallit ja epäorgaaniset aineet imeytyvät huonosti terveeseen ihoon läpi ja eivät todennäköisesti vedessä olevina pitoisuuksina vaikuta iholla vielä haitallisesti esimerkiksi uitaessa ja vedellä peseytyessä (ihoärsytys, allergiset reaktiot). On psykologinen kysymys, kuinka "likaisessa" vedessä kukin haluaa uida. Sen sijaan huono veden laatu kokonaisuudessaan saattaa aiheuttaa ihoärsytystä (limalevät, sinilevät, hapan vesi). Esimerkiksi Kivijärvellä Talvivaaran kaivoksen lähellä on raportoitu iho-oireita uimareilla. Niiden lopullista syytä ja yhteyttä kaivoksen päästöihin ei kuitenkaan ilmeisesti tiedetä ja on vaikea varmistaa.

Toistaiseksi tutkimustiedon puuttuessa ei myöskään tiedetä, missä määrin epäorgaanisille ja muille aineille altistutaan saunassa löylyvedestä. Kiukaalle heitetty vesi höyrystyy aerosoleiksi ja hengitettäväksi. Teoreettiset laskelmat esimerkiksi Talvivaaran Kivijärven veden mangaanipitoisuuksista tuottavat saunan ilmaan pitoisuuksia, joita on pidettävä haitallisina. Siksi varovaisuusperiaatteen mukaisesti on toistaiseksi suositeltu, että vettä ei käytettäisi löylyvetenä.

Altistuminen metalleille kasvimaiden ja puutarhan kasteluvedestä järvivettä käytettäessä on useimmiten vähäistä, mutta mahdollisuus syytä tiedostaa. Metalleja voi kertyä maasta syötäviin kasvinosiin ja jäädä kasteluvedestä salaatin tai marjojen pinnalle. Altistuminen lisää enimmillään kokonaissaantia elimistöön eikä todennäköisesti yksin aiheuta terveysriskiä.

Pohjavesi

Kaivosalueen lähiympäristössä pohjavedessä saattaa luontaisesti olla hieman koholla olevia pitoisuuksia epäorgaanisia aineita, poikkeavasta kallioperän koostumuksesta johtuen. Lisäksi kaivostoiminta saattaa

vaikuttaa pohjaveden tasoon ja virtauksiin. Maan pinnalle pölyssä tulevasta laskeumasta pohjaveteen aineita ei juuri päädy, ellei pintavettä pääse valumaan suoraan kaivoon.

Kaivoveden laatu ja kaivon käytettävyys on helppo todeta analysoimalla vedestä vedenlaatuparametrit ja epäorgaaniset aineet, ja se tulisi aina tehdä veden käytettävyyden arvioimiseksi. Kaivostoiminta ei vaikuttane herkästi etäämpänä kaivoveden laatuun. Todennäköisempää on, että veden laadun ongelmat ovat kaivoksesta riippumattomia, luontaisia muutoksia. Tiedossa ei ole kaivovesien systemaattista pilaantumista kaivosten lähialueilla Suomessa. Kaivosalueella vedenlaatumuutoksia on havaittu. Juomavesi on vedessä oleville kemiallisille epäpuhtauksille suurimman altistuksen tuottava lähde ja reitti. Siihen liittyvä terveysriski voidaan kuitenkin useimmiten hyvin arvioida, koska altistuminen voidaan tarkasti laskea (juotu vesimäärä päivässä \times aineen pitoisuus vedessä).

Pöly

Kaivosympäristön potentiaalisesti yksi merkittävin ongelmallinen päästö on toiminnasta syntyvä **mineraalipöly**. Sitä syntyy räjäytyksistä erityisesti avolouhoksella, malmin murskauksesta, jauhamisesta ja kuljettamisesta (Kauppila ym. 2013). Kiuvalta rikastushiekka-altaalta saattaa tuulella levitä pölyä, samoin peittämättömistä jäteläpölyistä. Kaivospöly on pääasiassa hiukkaskooltaan suurikokoista, mutta siinä on myös PM_{10} -jaetta ja ilmeisesti vaihtelevasti hienojakoisempaa pölyä ($PM_{2,5}$ ja sitä pienempiä jakeita). Kaivosten ympäriltä on monitoroitu pääasiassa pölylaskeumaa (TSP, Total Suspended Particles) ja leijumasta PM_{10} -pitoisuutta. Pölylaskeumamittaukset ovat osoittaneet, että kaivospölystä suurin osa laskeutuu lähelle kaivosta noin 500 m säteelle, mutta esimerkiksi $PM_{2,5}$:n tiedetään leviävän ilmassa kaukokulkeumana satoja kilometrejä. Samoin grafiittipöly kevyenä pölynä saattaa levitä tuulen mukana etäällekin.

Kaivoksen monet kuljetus- ja energiantuotantoprosessit tuottavat myös pakokaasua, savua ja nokea, jotka sisältävät pienhiukkasia. Vaikka ne poikkeavat päästölähteiltään ja kemialliselta koostumukseltaan kaivoksen pölylähteistä, ne leviävät ympäristöön aivan samalla tavalla kuin muut saman kokoluokan hiukkaset eli $PM_{2,5}$. Siksi niitä on syytä leviämisen osalta tarkastella pölyjen yhteydessä.

Kaivokselta ilmaan pääsevä pöly likaa laskeuduttuaan ympäristöään. Se aiheuttaa laskeumana maaperän kontaminoitumista. Pölyä syntyy kaivostoimintaan liittyen myös ajoneuvokuljetuksista, erityisesti kaivosalueella (päälystämättömät tiet) ja pienhiukkasia erilaisista polttoprosesseista (dieselpakokaasut) sekä piippupäästöinä lämmitysjärjestelmistä.

Pölyn varsinainen terveyshaitta liittyy potentiaalisesti hengitettäviin **pienhiukkasiin** (PM_{10} - ja $PM_{2,5}$ -jakeet). Pienhiukkaset hengitettyinä aiheuttavat terveysriskin, jonka suuruus riippuu hiukkasten pitoisuudesta ilmassa. Kun se mitataan ja tiedetään, terveysriskiä voidaan arvioida. Pienhiukkaset vaikuttavat haitallisesti hengitysteissä aiheuttaen tulehdusta, pahentaen astmaa sekä hengitystie- ja sydäntautioireita ja aiheuttaen enneaikaista kuolleisuutta (Lanki ja Pekkanen 2008). Pienhiukkasiin liittyvä terveysriski on todennäköisin kaivoksen lähellä asuvilla, mutta yleensä tautitaakasta suurempi osa tulee kaukana asuville. Tämä johtuu siitä, että se väestö on paljon suurempi vaikka altistuukin huomattavasti laimentuneelle päästölle.

Maaperä

Kaivosympäristön maaperään päätyy laskeumana kaivokselta pölyä, jonka koostumus vastaa useimmiten pääasiassa louhitavan mineraalin koostumusta. Maaperän pinta- ja humuskerrokseen kertyy metalleja ja muita epäorgaanisia aineita. Jossakin määrin aineita saattaa valua kaivosalueelta pintavesien mukana, riippuen pintavesien ohjauksesta kaivosalueella.

Ihmiset altistuvat todennäköisimmin

maaperässä oleville epäpuhtauksille, jos he syövät aivan kaivoksen lähiympäristöstä kerättyjä marjoja tai sieniä tai kasvimaata tai peltoa sijaitsee kaivoksen laskeuma-alueella. Kasveissa ja marjoissa voi olla pintalaskkeumaa, mutta esimerkiksi metalleja voi kertyä syötäviin osiin myös maaperästä. Altistuminen käsistä suuhun maa-ainesta koskettelemalla tai pienten lasten osalta suoraan maata syömällä on yksi tärkeä altistumistapa pilaantuneista maista. Sen merkitys kaivosympäristössä on täysin tapauskohtainen ja riippuu asutuksesta aivan kaivoksen vieressä. Saanti maaperästä lisää osaltaan aineiden kokonaissaantia ja tulisi tarvittaessa huomioida riskinarvioissa. Saanti maaperästä ei useimmiten ole



Kaivosympäristön aiheuttamia terveysriskejä arvioidaan ympäristövaikutusarviointiprosessissa (YVA-selvitys) kaivosta perustettaessa ja kaivokseen liittyviä lupia käsiteltäessä.

merkittävä terveysriski yksinään. Kaivosympäristön maaperä kuitenkin kuormittuu kumulatiivisesti kaivoksen toiminnan ajan ja jää epänormaalksi kaivoksen toiminnan loputtuakin. Maaperä altistumislähteenä on pitkäaikainen, koska saastuminen on pysyvä.

Kaasumaiset epäpuhtaudet

Kaivokselta tulevia kaasumaisia epäpuhtauksia voivat olla esimerkiksi rikkidioksidi (SO_2), rikkivety (H_2S) ja muut haisevat rikkiyhdisteet (TRS), typpidioksidi (NO_2), hiilimonoksidi (CO) ja haihtuvia orgaanisia aineita (VOC). Kaasumaisia epäpuhtauksia saattaa syntyä malmin rikastusprosessissa, polttoperäisinä päästöinä tai kemikaaleina saattaa olla haihtuvia aineita (VOC-päästöt).

Kaasumaiset epäpuhtaudet laimenevat nopeasti ulkoilmaan ja niiden pitoisuudet kaivosalueen ulkopuolella ovat useimmiten niin pieniä, että ne eivät aiheuta kaivoksen normaalitoiminnassa suoria terveyshaittoja ympäristön väestölle (esimerkiksi hengitysteiden tai silmien ärsytystä). Ongelmia voi syntyä poikkeustilanteissa, jos kaivokselta pääsee esimerkiksi prosessihäiriön seurauksena päästöpilviä tai jos säätila estää päästön laimenemisen ylempäs ilmekehään.

Todennäköisin ongelmallisin kaasumainen aine on **rikkivety**, jos sitä kaivoksella käytetään tai syntyy sen prosesseissa. Rikkivety on hyvin toksista, mädäntyneeltä kananmunalta haisevaa kaasua, joka ilmaa raskaampana painuu maanpintaan ja kertyy painanteisiin. Kaivosalueella se aiheuttaa vakavan työterveysriskin, jopa kuolemanvaaran, mutta kaivosalueen ulkopuolella ensisijassa hajuongelman (katso kohta Haju). Rikkivety on suurina pitoisuuksina petollista, koska sen hajuun kehitty nopeasti toleranssi: suuria pitoisuuksia ei enää jonkin ajan kuluttua haisteta, mikä voi olla kohtalokasta. Rikkivety on myös limakalvoja ja hengitysteitä ärsyttävää (Komulainen 2013a). On epätodennäköistä, että kaivoksen ympäristöön leviää rikkivetyä niin suuria pitoisuuksia, että ne aiheuttaisi-

vat kaivoksen ympäristön väestölle hengenvaaran. Vahva rikkivetypilvi voi aiheuttaa alatuulella limakalvojen ja hengitysteiden ärsytystä. Suuret rikkidioksidipitoisuudet voivat myös olla ärsyttäviä. Kaasumaiset ilman epäpuhtaudet, hajuongelmaa lukuun ottamatta, ovat kokonaisuutena pienempi ongelma kaivosalueen ympäristössä kuin ilman kautta leviävä pöly ja pienhiukkaset.

Haju

Paha haju on yksi merkittävimmistä ongelmista kaivosten ympäristössä, jos sitä esiintyy. Syynä on pääasiassa rikkivety ja muut hajurikkiyhdisteet, joita voi olla prosessikemikaaleina malmin rikastusprosessissa tai syntyä prosessista. Esimerkiksi rikkivedyn hajukynnys on niin pieni, että se haistetaan ja pienimpinäkin pitoisuuksina ilmasta helposti (Komulainen 2013a). Rikkivedyn haju leviää tuulen mukana jopa kymmeniä kilometrejä. Voimakkainta se on tietenkin lähinnä kaivosta ennen laimenemista ilmaan.

Paha haju on ensisijassa viihtyvyyshaitta (Komulainen 2013a). Ihmiset kokevat hajun yksilöllisesti haitalliseksi. Kun se koetaan haittana, hajun pelkkä tunnistaminen riittää haittakokemukseen. Toistuvasti tunnistettu paha haju saattaa aiheuttaa stressiä, keskittymiskyvyn puutetta ja mielihapaa, ja pitkittyessään vaikuttaa haitallisesti myös terveyteen. Osa ihmisistä tottuu pahaan hajuun eikä reagoi siihen pidemmän päälle yhtä voimakkaasti, toiset eivät totu siihen lainkaan. Siten on suotavaa, että kaivoksen hajuongelmat saadaan kuriin, jos niitä esiintyy. Hajulle altistuvia ihmisiä voi olla paljon, koska haju leviää kauas. Hajuongelma on potentiaalisesti alueellisesti laajin ympäristöterveysongelma kaivoksen ympäristössä, jos kaivos sijaitsee lähellä asutustaajamia ja jos hajua esiintyy.

Melu

Kaivokselta kuuluva melu on potentiaalisesti toinen laajempi ympäristöterveysongelma, erityisesti kaivoksen lähellä asuville, mutta

maastosta ja kaivoksen sijainnista riippuen vielä kilometrien päässä asuville. Räjähdykset louhoksella, malmin murskaaminen ja jauhaminen sekä laitteiden ja työkoneiden aiheuttama melu ovat tavallisimpia melun lähteitä. Melun haitallisuuteen vaikuttavat sen luonne, voimakkuus, kokemisen ajan-kohta ja kuinka usein sitä esiintyy.

Melu on viihtyvyyshaitta, mutta ongelman suuruudesta riippuen myös terveyshaitta. Melun haitallisuus koetaan yksilöllisesti. Noin kolmasosa ihmisistä on meluherkkiä eli reagoivat meluun muita herkemmin (Heinonen-Guzejev ym. 2012). Melu on yleisesti häiritsevää. Se voi häiritä myös unta. Melulla voi olla sekä lyhyt- että pitkäaikaisia vaikutuksia sydän- ja verenkiertoelimistöön sekä pitkään jatkuessaan se saattaa lisätä verenpaine-taudin, sepelvaltimotaudin ja sydäninfarktin riskiä (Heinonen-Guzejev ym. 2012). Melu on todennäköisesti haitallisinta kaivoksen vieressä asuville. He kokevat sen voimakkaimpana ja havaitsevat vähäisemminkin melun, joka ei muualle kuulu. Melutasoja voidaan mitata haitallisuuden arvioimiseksi. Oleellista on sisätiloihin kuuluva melu, koska suurin osa ajasta vietetään sisällä. Kaivoksen prosesseja suunniteltaessa pitäisi erityisesti välttää yöaikaista melua.

Tärinä

Räjähdykset malmia louhittaessa aiheuttavat maaperässä tärinää, joka on mitattavissa ja tunnistettavissa jopa kilometrien päässä. Tärinä aiheuttaa pahimmillaan rakennusvaurioriskin, mutta lievempänäkin se voidaan myös aistia ja tunnistaa. Räjähdyksiin liittyy myös paineaalto, joka vahvistaa tärinän havaitsemista ja kokemista (Komulainen ja Karlsson 2013).

Tärinää toistuvasti esiintyvänä voidaan pitää viihtyvyyshaittana. Räjähdyksissä se yhdistyy usein samanaikaisesti meluun. Kaivosympäristössä esiintyvällä tärinällä ei itsessään voi olettaa olevan suoria fysiologisia vaikutuksia. Se koetaan haittana yksilöllisesti kuten haju ja melu, mutta se koettaneen vähemmän haitallisena, kos-

ka esimerkiksi räjähdyksiä on harvemmin. Kaivosalueella voi esiintyä tärinää myös malminkäsittelylaitteista, mutta se ei välity edemmäksi ympäristöön. Myös ohiajava raskasajoneuvoliikenne voi aiheuttaa tärinää aivan tienvarressa asuville malmia kuljetettaessa, jos sitä kuljetetaan kaivokselta muualle rikastettavaksi.

Säteily

Säteily (ionisoiva säteily) on kokonaan erityyppinen kuin muut kaivosympäristön altisteet ja johtuu maa- ja kallioperässä luontaisesti esiintyvistä radioaktiivisista aineista. Kallioperässä on kaikkialla esimerkiksi uraania vähintäänkin pieninä pitoisuuksina. Malmin ja sivukivien louhiminen siirtää näiden sisältämät radioaktiiviset aineet maan pinnalle. Malmien rikastuksessa luonnon radioaktiiviset aineet saattavat prosessista riippuen kertyä jossain prosessin vaiheessa tuotteisiin, jätteisiin tai prosessivesiin. Radioaktiivisia aineita saattaa näin ollen päätyä rikastushiekka-alkaisiin tai muihin kaivosten jätejakeisiin. Myös kaivosten kuivatusvesissä voi esiintyä radioaktiivisia aineita. Luonnon radioaktiiviset aineet ja säteily liittyvät kaikkiin mineraalikaivoksiin pelkästään jo luonnon taustapitoisuuksista johtuen, mutta säteily on merkittävämpää, jos malmassa on radioaktiivisia aineita tavanomaista enemmän.

Luonnon radioaktiiviset aineet **uraani, torium, radium, radon, polonium** ja **lyijy** ja niiden muihin hajoamistuotteisiin liittyvä säteily ovat keskeisimpiä arvioitavia asioita. Luonnon uraani itsessään on säteilyltään matala-aktiivista ja sen kemiallista toksisuutta pidetään ihmiselle haitallisempina kuin uraanin aiheuttamaa säteilyä (Komulainen 2013b). Uraanin hajoamisketjussa esiintyvät muut aineet ovat säteilyvaarallisia. Radon, uraanin hajoamisketjun yksi välituote, on väritön, hajuton ja mauton kaasu, joka pääsee elimistöön hengityksen mukana. Radonin hajoamistuotteet voivat aiheuttaa merkittävää sisäistä säteilyannosta, jos radonpitoisuus ilmassa on korkea. Radonia voi esiintyä kaivoksilla erityisesti

//
*Riskin kuvaus ja se miten
tulokseen on päädytty,
tulisi esittää selkeästi ja läpi-
näkyvästi, jotta sen osuvuut-
ta voisi jokainen arvioida.*

maalaisissa tiloissa (työterveyskysymys), mutta hieman taustasta kohonneita pitoisuuksia on mitattu myös rikastushiekan päältä (URAKKA 2007). Radonpäästöt kaivoksilta ympäristöön ovat pieniä. Kaasuna radon laimenee nopeasti ulkoilmaan. Kaivosalueen ulkopuolella sitä ei yleensä ole ilmassa taustasta erottuvia pitoisuuksia, vaikka malmissa olisi uraania. Ihmiset eivät siten altistu radonille kaivoksen ulkopuolella tavanomaista enempää. Altistuminen asuntojen sisäilmasta, luontaisesti maaperästä tulevaa radonia hengittäen, on huomattavasti merkittävämpää kuin ulkoilmasta saatu radonaltistus.

Kaivostoiminnasta voi kulkeutua radioaktiivisia aineita ympäristöön kaivosalueen ulkopuolelle lähinnä pinta- ja pohjavesien sekä pölyn mukana. Vesistöissä altistuminen olisi todennäköisintä kalojen ja juomaveden kautta. Pölyn leviäminen voi mahdollisesti vaikuttaa luonnon keräilytuotteiden tai viljeltyjen tuotteiden radioaktiivisuuteen kaivosalueen lähellä. Aineiden pitoisuus nautittavassa ravinnossa määrää terveysriskin tason. Oleellista on tietää, mikä on luonnollisen taustasäteilyn osuus ja mikä on mahdollinen kaivostoiminnan aiheuttama lisäys säteilyannokseen. Ympäristön radiologinen perustilaselvitys on tärkeää taustatietoa riskinarviointiin (STUK 2011), erityisesti jos malmi tai sivukivet sisältävät kohonneita pitoisuuksia luonnon radioaktiivisia aineita.

Ionisoiva säteily lisää **syöpäriskiä** (Paile 2002). Se on pienten säteilyannosten ai-

heuttama pahin terveyshaitta. Koko elinaikainen, myös pätkissä saatu, säteilyannos vaikuttaa. Kaivoksesta johtuva lisäys säteilyannoksessa kaivoksen ympäristössä on todennäköisesti kuitenkin enimmilläänkin vähäinen suhteessa muualta saatavaan taustasäteilyannokseen. Syöpäriskin suuruus ja lisäys on arvioitavissa väestötasolla ympäristössä esiintyvistä säteilytasoista (montako lisäsyöpää tai syöpäkuolemaa elinaikana per 100 000 säteilylle altistuvaa henkilöä). Yksittäisen ihmisen riskiä saada kaivosympäristöön liittyvästä säteilystä johtuva syöpä ei voida todeta tai vahvistaa.

Säteilyyn ja uraaniin liittyy vahvasti pelko. Pelkkä näiden sanojen mainitseminen kaivoksiin liittyen aiheuttaa negatiivisen miellelyhtymän. Radioaktiivisten aineiden terveysriskejä kaivosympäristössä voidaan kuitenkin arvioida yhtä hyvin kuin muidenkin altisteiden aiheuttamia terveysriskejä, säteilyn vaikutuksia jopa paremmin kuin monen kemiallisen aineen aiheuttamia riskejä, jos säteilytaso tiedetään. Vaatimukset väestön, työntekijöiden ja ympäristön säteilyturvallisuudelle luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa koskevat myös kaivostointia ja kaivosympäristöjä (STUK 2011).

Haasteita

Kaivoksia koskevissa terveysriskinarvioinneissa **riskin kuvaus** on usein puutteellista. Se ei ole konkreettista vaikka tarvittavat tiedot olisivat käytettävissä. Laadullisten riskinarvioiden käyttöä on suositeltu kaivostoiminnassa (Välisalo 2014). Hyvässä riskinarviossa esitetään turvamarginaalin suuruus haitalliseen tasoon (Komulainen ja Kollanus 2013). Jos haitallinen taso ylitetään, tulisi esittää riskin suuruus. Pelkkä on/ei -vastaus riskistä ei ole vielä kovin hyödyllistä. Riskin kuvaus ja se miten tulokseen on päädytty, tulisi esittää selkeästi ja läpinäkyvästi, jotta sen osuvuutta voisi jokainen arvioida. Riskikeskustelussa usein unohtuu, että pelkkä hyvinkin haitallisen aineen löytyminen ympäristöstä ei aiheuta terveysriskiä ellei altistuminen ylitä haitallisenä pidettyä tasoa. Altistumisen koros-

taminen synnyttää helposti vaikutelman, että terveystahtaa vähätellään varsinkin, jos altistuminen lisääntyy, muttei haitalliseksi tasolle. Turvamarginaalien esittäminen kvantitatiivisesti konkretisoisi asiaa. Terveysriskinarvion tarkkuus ja osuvuus riippuvat käytettävissä olevista tiedoista. Jos altistumistieto puuttuu tai altisteen haitallisuutta ja haitallisia tasoja ei tunneta, riskinarvio jää kovin yleiselle tasolle. Oleellista olisi myös kohdekohtaisesti verrata ja esittää, kohdistuvatko haittavaikutukset ja riskit ensisijaisesti ympäristöön (ekotoksikologiset ja ekologiset riskit) vai ihmisten terveyteen ja mikä on näiden vaikutusten suhde (integroitu riskinarvio, esimerkiksi Komulainen ja Makkonen 2013). Tämä auttaisi kokonaisuuden arviointia ja hallintointia.

Viitteet

- Heinonen-Guzejev, M., Jauhiainen, T., Sala, E., Ström, U., Vuorinen, H. S. 2012. Metallilla on monia vaikutuksia terveyteen. Suomen Lääkärilehti, 36:2445–2450.
- Kauppila, T., Komulainen, H., Makkonen, S., Tuomisto, J. (toim.). 2013. Metallikaivosalueiden ympäristöriskinarviointiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199. (http://arkisto.gtk.fi/tr/tr_199.pdf)
- Komulainen, H. 2013a. Hajun aiheuttaman terveys- ja viihtyvyyshaitan arviointi. Kauppila, T. (ym.) 2013. Metallikaivosalueiden ympäristöriskiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199, ss.153–162. (http://fi.opasnet.org/fi/Hajuhaitan_arviointi_kaivostoiminnassa, 22.10.2014)
- Komulainen, H. 2013b. Säteilyn aiheuttaman terveysriskin arviointi. Kauppila, T. (ym.). Metallikaivosalueiden ympäristöriskiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199, ss.162–185. (<http://fi.opasnet.org/fi/Säteily>, 22.10.2014)
- Komulainen, H., Karlsson T. 2013. Tärinän haittavaikutusten arviointi. Kauppila, T. (ym.). Metallikaivosalueiden ympäristöriskiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199, ss.150–153. (http://fi.opasnet.org/fi/Kaivostöiden_aiheuttama_tärinä, 22.10.2014)
- Komulainen, H., Kollanus, V. 2013. Terveysriskin kuvaus. Kauppila, T. (ym.). Metallikaivosalueiden ympäristöriskiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199, ss.185–193. (http://fi.opasnet.org/fi/Terveysriskin_kuvaus, 22.10.2014)
- Komulainen, H., Makkonen, S. 2013. Integroitu riskinarvio. Kauppila, T. (ym.). Metallikaivosalueiden ympäristöriskiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199, s. 209. (http://fi.opasnet.org/fi/Integroitu_riskinarvio, 22.10.2014)
- Lanki, T., Pekkanen, J. 2008. Kaupunkilman hiukkaset ja sydänsairaudet. Suomen Lääkärilehti, 11:1059–1065.
- Paile, W. (toim.) 2002. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteilyturvakeskus. Säteily ja Ydinturvallisuus 4. 186 s. (http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja4/)
- STUK. 2011. Säteilyturvallisuus luonnon-säteilylle altistavassa toiminnassa, STUK ohje ST 12.1 / 2.2.2011. (<http://www.finlex.fi/data/normit/3793-ST12-1.pdf>)
- URAKKA 2007. Uraanimalmin koelouhinnan ja -rikastuksen ympäristövaikutukset (URAKKA). Säteilyturvakeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen projektiryhmän loppuraportti ympäristöministeriölle. 42 s.
- Välisalo, T. (toim.). 2014. Kaivosten stressitestit 2013. Ympäristöministeriön raportteja 2/2014. 113 s. (http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra_22014_Kaivosten_stressitestit_2013%2828221%29) ■