

## 11. Johtopäätökset

Timo Ruskeeniemi<sup>1</sup>, Kirsti Loukola-Ruskeeniemi<sup>2</sup>, Heli Lehtinen<sup>3</sup>, Birgitta Backman<sup>1</sup>, Esko Rossi<sup>4</sup>, Eija Schultz<sup>3</sup>, Jaana Sorvari<sup>3</sup>, Ritva Mäkelä-Kurtto<sup>5</sup>, Ämer Bilaletdin<sup>6</sup>, Kati Vaajasaari<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Geologian tutkimuskeskus, PL 96, 02151 Espoo

<sup>2</sup> Teknillinen korkeakoulu, Geoympäristötekniikka, PL 6200, 02015 TKK

<sup>3</sup> Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki

<sup>4</sup> Esko Rossi Oy, Kuokkasenmutka 4, 40520 Jyväskylä

<sup>5</sup> Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, L-talo, 31600 Jokioinen

<sup>6</sup> Pirkanmaan ympäristökeskus, PL 297, 33101 Tampere

<sup>7</sup> Golder Associates, Kolmionkatu 5, 33900 Tampere

### 11.1 RAMAS-hankkeen merkitys Pirkanmaan arseenihaittojen rajoittamisessa

RAMAS on ensimmäinen Suomessa toteutettu hanke, jossa on kartoitettu maakunnan kokoiselta alueelta sekä ihmisen toiminnan tuloksena että luontaisesti esiintyvän haitta-aineen esiintymistä. Hankkeesta tekee poikkeuksellisen myös se, että siinä ei ole tyydytty pelkästään tiedon keruuseen, vaan saadusta tiedosta on pyritty tekemään monipuolinen tulkinta riskinarvointiin ja riskinhallintaan asti. Se, että tiedon tuottajat ja sen jatkoohjaintajat tekevät tiivistä yhteistyötä samassa hankkeessa luo hyvät mahdollisuudet työtapojen kehittämiseksi.

Hankkeen tulokset hyödyttävät monella tasolla alueen kuntia, viranomaisia ja muita toimijoita sekä ympäristötutkimusta laajemminkin. Käytettyä tutkimusmetodiikkaa voi soveltaa muualla Suomessa ja myös muille haitallisille alkuaineille. Kaiken ympäristöhuollon pohjana on hyvä käsitys ympäristön tilaa kuvaavista tekijöistä. RAMAS on tuonut tähän merkittävän panok-

sen kokoamalla monipuolisen aineiston arseenin esiintymisestä Pirkanmaalla. Sen perusteella on paikallistettu ne alueet, joilla kallioperässä, maaperässä tai kalliopohjavesissä voi olla arseenia niin paljon, että se tulee ottaa huomioon alueiden käytössä. Samoin on tunnistettu merkittävimmät ihmisen toiminnasta johtuvat arseenilähteet. Jo alueellinenkin aineisto on hyvä apuväline maankäytön suurimittakaavaisessa suunnittelussa. Sen pohjalta voidaan osoittaa kohteita, joilla lisätutkimukset ovat tarpeen.

RAMAS-hanke on jo käynnistänyt konkreettisiäkin toimia. Lähtökohtana on ollut se, että tiedon lisääminen on parasta riskinhallintaa. Esimerkiksi lähellä Viljakkalan kirkonkylää sijaitseva Haverin kaivoksen rikastushiekkalualue on yksi tällainen vähän tutkittu ja riskialttiilla paikalla oleva kohde. Haverissa aloitettiin väitöskirjatyö, jossa tutkitaan rikastushiekkaa ja sen ympäristöön aiheuttamaa kuormitusta.

Toinen esimerkki on Ruoveden Kautussa oleva puunkyllästämö, jonka pilaantumista tutkittiin muun muassa laboratoriotestein ja jonne hankkeen aloitteesta asennettiin kaksi pohjavesiputkea pohjaveden laadun seurantaan varten.

Hanke on pureutunut arseeniongelmaan myös yksityiskohtaisemmin pyrkiessään lisäämään arseenin esiintymiseen, käyttäytymisen ja vaikutuksiin liittyvää tietoa. Osa tutkimustuloksista on kokonaan uutta, osa täydentää aikaisempia tutkimuksia. Merkittävimmät uudet geokemialliset aineistot liittyvät arseenin esiintymistapaan maaperässä, viljelykasvien sekä metsämarjojen, sienten ja koivun mahlan arseenikertymään, pohjaveden arseenin hapetustilaan ja arseenin kulkeutumiseen. Tämän tyyppisen havaintoaineiston kerääminen kotimaasta on välttämätöntä, koska Suomen geologiset ja ilmastoon liittyvät erityispiirteet rajoittavat ulkomaisista kohteista raportoidun aineiston soveltamista.

Laaja-alaisen ja monipuolisen hankkeen toteuttaminen vaatii myös ennakkoluulotonta uusien toimintamallien kokeilua. Juomaveden arseenista aiheutuvien terveyshaittojen arviointia varten toteutettiin tutkimus, jossa kytkettiin toisiinsa alueellinen porakaivovesien pitoisuustieto, altistumista kuvaava biomonitorointiaineisto (virtsan arseeni) sekä epidemiologinen seulonta (syöpärekisteri). Menettelyllä haluttiin varmentaa vuorovaikutussuhteita ja pyrittiin vähentämään suhteellisen pienten aineistojen aiheuttamaa tilastollista epävarmuutta.

Ympäristöriskien arvioinnin apuna käytettiin ekotoksikologisten laboratoriomenetelmien lisäksi järvisedimenttitutkimuksia alueilla, joilla arseenikuormituksen tiedettiin olevan merkittävä. Järven pohjasta kairatuista sedimenttiprofiileista voidaan nähdä valuma-alueelle tyypilliset pitkän aikavälin taustapitoisuudet ja havaita mahdollinen kaivostoiminnan aiheuttama lisäkuormitus. Esimerkiksi Ylöjärven kaivoksen toiminta-aika näkyy selvästi monen kilometrin matkalla kaivokselta virtaavan puro-järvi-ketjun järvistä otetuissa sedimenteissä. Sedimenteistä tutkittiin myös piilevien määrä ja lajisto, jotta voitaisiin arvioida, onko kohonneilla arseenipitoisuuksilla ollut vaikutusta järven ekosysteemiin. Välillisesti ympäristöriskien arviointia ja hallintaa tukee myös Pirkanmaan ympäristö-

keskuksessa kehitetty viranomaisten käyttöön soveltuva arseenin kulkeutumista kuvaava malli. Se perustuu Ylöjärven kaivosalueelta ja sen lähivesistöistä kerättyyn aineistoon. Malli on riittävän tarkka alustaviin tarkasteluihin ja sen kehitystyössä on pyritty helppokäyttöisyyteen ja tarvittavan lähtöaineiston kohtuulliseen määrään. Haitta-aineiden kulkeumamallinnukselle on tarvetta, koska merkittäviä ympäristö- ja terveysriskejä saattaa syntyä, kun esimerkiksi arseenia lähtee liikkeelle ja kulkeutuu alueille, joilla sitä ei entuudestaan ole.

RAMAS-hankkeesta saaduilla tuloksilla voidaan nähdä olevan merkitystä myös kansainvälisesti. Havainnot lisäävät osin melko vähäistä tietämystä arseenin käyttäytymisestä ympäristössä ja ekosysteemissä sekä täydentävät osaltaan geokemiallisia tietokantoja.

Tulevaisuutta ajatellen RAMAS-hanke on nostanut esille hankkeen toteutuksen aikana havaittuja kehitystarpeita. Osa niistä on tutkimukseen ja menetelmiin liittyviä, mutta kaikkein keskeisimmät kehitystarpeet liittyvät tiedonsiirtoon. RAMAS-hanke on omalta osaltaan huomionnut tiedonlevityksen tarpeet siten, että kaikki hankkeen aikana koottu ja tuotettu aineisto on dokumentoitu RAMAS-raporttisarjaan ja siitä on työstetty karttoja. Julkaistu aineisto on saatavilla hankkeen kotisivuilta ([www.gtk.fi/projects/ramas/](http://www.gtk.fi/projects/ramas/)). Tuotetun geokemiallisen aineiston käytettävyyttä pyritään edelleen tehostamaan Pirkanmaalla liittämällä se soveltuvien osin mukaan kaikille avoimeen ja maksuttomaan geologiseen Tampereen Geotieto-järjestelmään, jota kehitetään TAATA-hankkeen puitteissa Geologian tutkimuskeskuksessa (<http://geotieto.gtk.fi>). TAATA-hankkeen keskeisiä aikaansaannoksia tulevat olemaan eri mittakaavaiset Tampereen seudun maaperän ja kallioperän rakennusgeologisia ominaisuuksia koskevat tietoaineistot ja niistä työstetyt visualisoinnit, esim. rakennettavuuskartat. Tässä vaiheessa hankkeessa ovat mukana GTK:n lisäksi Tampereen, Nokian, Oriveden ja Ylöjärven kaupungit, Pirkkalan, Lempäälän, Vesilahden ja Kangasalan kunnat sekä Pirkanmaan ympäristökeskus, Pirkanmaan Liitto, Tampereen Vesi ja Tiehallitus. Hanke toteutetaan vuosina 2007–2011.

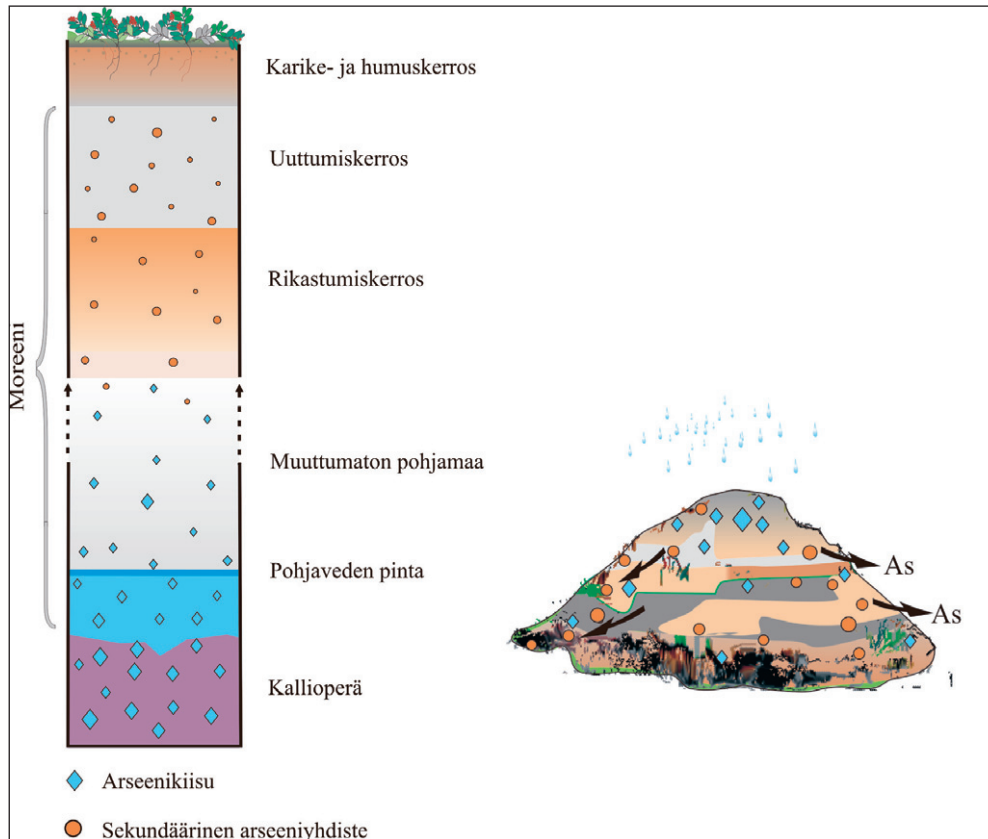
Seuraavissa kappaleissa esitetään aihepiireittäin keskeisimmät RAMAS-hankkeen johtopäätökset.

## 11.2 Arseenin luontainen esiintyminen

- Pirkanmaan keski- ja eteläosan kallioperässä, maaperässä ja kalliopohjavedessä on arseenia enemmän kuin muualla Suomessa. Monin paikoin arseenipitoisuudet ylittävät ohjearvot. Sekä maaperän että kalliopohjaveden arseeni on alunperin kallioperästä lähtöisin. Kallio- ja maaperässä sekä pohjavedessä olevan arseenin alueellinen esiintyminen on geologisin perustein ennustettavissa melko hyvin, mutta esimerkiksi kaivon tarkkuudella arseenipitoisuuksia ei pystytä ennakoimaan
- Tutkituista Pirkanmaan porakaivoista (1273) noin joka viidennessä porakaivos- sa arseenipitoisuus ylittää juomavedelle asetetun rajan, 10 µg/l. Kaivovesi pitää analysoida kaivon käyttöönoton yhteydessä ja myös silloin, kun veden käyttömäärässä on merkittäviä muutoksia. Pintavesissä ja maaperän pohjavedessä arseenipitoisuudet eivät yleensä ole korkeita. Myös vesilaitosvesissä arseenipitoisuudet olivat pieniä
- Maaperä koostuu syntyvän ja aineksen suhteen erilaisista kerroksista. Heikosti lajittunut moreeni edustaa paikallista kallioperää, kun taas savikoiden ja hiekkamaiden aines on voinut kulkeutua hyvin- kin kaukaa. Sen vuoksi näiden maalajien kemiallisessa koostumuksessa voi olla suuria eroja. Maaperän korkeat arseenipitoisuudet liittyvät moreeniin. Korkeimmat pitoisuudet todettiin syvällä, lähellä kallionpintaa olevissa kerrostumissa niillä alueilla, joilla kallioperässäkin on paikoin runsaasti arseenia. Muissa tutkituissa maalajeissa arseenipitoisuudet eivät ole erityisen korkeita, mutta kuitenkin suurempia kuin koko maassa keskimäärin
- Mikäli maankäyttöön liittyy suuria maansiirto- tai louhintatöitä, pitää ennakoselvitykset mitoittaa sen mukaisesti. Pintamaahan kohdistuva näytteenotto ei ole riittävä, jos toimenpiteet ylettyvät koko maapeitteeseen tai kallioon asti. Pirkanmaalla on laajoja alueita, joissa moreenin arseeni- ja raskasmetallipitoisuudet ovat korkeimmillaan lähellä kallion pintaa. Korkeimmat arseenipitoisuudet aiheutuvat vähähappisessa ympäristössä säilyneistä rapautumattomista arseenisulfideista (kuva 64). Sulfidit rapautuvat herkästi joutuessaan hapettaviin olosuhteisiin. Silloin niiden sisältämä arseeni ja raskasmetallit vapautuvat
- Arseenipitoisuudet eivät olleet korkeita luonnonmarjoissa, sienissä tai koivun mahlassa edes alueilla, joissa maaperässä oli kohonneet arseenipitoisuudet

## 11.3 Arseeni maataloudessa

- RAMAS-hankkeeseen valittiin 13 maatilaa, joiden sadoista kerättiin näytteet kunkin viljelykasvin normaalin sadonkorjuun aikaan. Tutkittaviksi kasveiksi valittiin vehnä ja peruna, koska ne ovat yleisesti käytettyjä ravintokasveja sekä lisäksi timotei, koska se on yksi laajimmin viljellyistä rehukasveista Euroopassa
- Tämän tutkimuksen ja myös aiempien tutkimusten mukaan viljelymaiden ja –kasvien arseenipitoisuudet olivat Pirkanmaalla alhaista kansallista tasoa
- Saatujen tulosten perusteella maatalon väki ja karja Pirkanmaalla eivät altistu arseenille peltomaidensa tai satojensa kautta kuten eivät ihmiset ja kotieläimet muuallakaan Suomessa



**Kuva 64.** Maaperän alimmassa osassa lähellä kalliota voi olla jäljellä kalliosta peräisin olevia sulfideja kuten arseenikiisua (FeAsS). Lähellä maanpintaa sulfidit ovat aikojen kuluessa rapautuneet ja arseenikiisusta vapautunut arseeni on sitoutunut sekundäärisiin mineraaleihin. Kun maansiirtotöissä eri kerrokset sekoittuvat keskenään, sulfideja sisältäviä kerroksia voi joutua maaperän vähähappisista alaosista hapettaviin olosuhteisiin, jolloin arseenia vapautuu pintavesiin. Toisaalta myös hapellisista pintaosista pelkistäviin olosuhteisiin siirretystä maa-aineksesta voi löyhästi sitoutunut arseeni lähteä liikkeelle. Kuva Pirkko Kurki ja Harri Kutvonen.

- Viljelymaissa ei todettu myöskään merkittävää ihmisen toiminnasta aiheutuvaa arseenimäärän lisäystä
- Arseeni on Suomen maatalousympäristössä hyvin hallittu. Suomen lainsäädäntö sisältää arseenin enimmäispitoisuudet lannoitevalmisteille ja kaupallisille rehuille.

Suomessa valmistetut lannoitteet sisältävät kansainvälisesti vertaillen poikkeuksellisen vähän arseenia. Arseenipitoiset torjunta-aineet kiellettiin 1960-luvulla ja ilmasta kaukokulkeutumana tulevat arseenipäästöt ovat vuosikymmenien kuluessa pienentyneet

## 11.4 Ihmisen toiminnasta aiheutuvat arseenipitoisuudet

- Ihmisen toiminnasta johtuvan arseenin lähteitä kartoitettiin kirjallisuuden ja viranomaisten rekistereiden avulla. Tunnetut kohteet Pirkanmaalla liittyvät tuotantoon (puunkyllästämöt, kaivokset, energian tuotanto, maatalous), yhdyskuntaan (kaatopaikat, jätevedet) ja harrastuksiin (ampumaradat). Näistä merkittäviksi arvioitiin kaivokset ja puunkyllästämöt.

Luontaisen arseenin kohteisiin verrattuna pilaantuneet maa-alueet ovat pienialaisia, mutta haitta-ainepitoisuudet voivat olla korkeita

- RAMAS-hanke tutki tarkemmin entisen puunkyllästämön pilaamaa maa-aluetta Ruovedellä sekä kolmen toimintansa lopettaneen kaivoksen ympäristöä. Lisäksi arseenipitoisuuksia mitattiin yhdyskun-

- tajäteveden puhdistamoista ennen ja jälkeen jäteveden puhdistuksen. Myös muutamasta kivilouhimosta ja kaatopaikasta analysoitiin pintavesien pitoisuuksia
- Ylöjärven ja Haverin kaivosten rikastushiekka-alueet sisältävät arseenia. Ylöjärvellä arseenin myös tiedetään liikkuvan pintavesien mukana kohti Näsijärveä. Haverin kaivoksen rikastushiekka-alue on asutuksen tuntumassa, joten siellä tarvitaan lisäselvityksiä. Ylöjärven rikastushiekka-alueella mitattiin arseenipitoisuuksia myös pölyssä
  - Pirkanmaalla on toistakymmentä sahaa tai puunkyllästämoä, joilla on käytetty kupari-kromi-arseeni -kylästeitä (CCA). Muutama kohde sijaitsee pohjavesialueilla tai muutoin tarkkailua vaativassa ympäristössä. Joissakin kohteissa on jo tehty kunnostusta
  - Joidenkin kivilouhosten pinta- että pohjavesissä mitattiin kohonneita arseenipitoisuuksia, mikä viittaa siihen, että alueen kallioissa on luontaista arseenia

## 11.5 Arseenista aiheutuvat riskit ympäristölle

- Ekologinen riskinarviointi (ERA) on menetely, jossa arvioidaan ja määritellään jonkun tekijän kasveihin tai eläimiin kohdistamien haitallisten vaikutusten suuruus, todennäköisyys sekä ajallinen ja alueellinen ulottuvuus. Riskinarvioinnin työkaluina voidaan käyttää esimerkiksi kemiallisiin tutkimuksiin pohjautuvia laskentamenetelmiä ja laboratoriossa maaaineksella tai sen vesiuutteella tehtäviä myrkyllisyystestejä (ekotoksisuustestit). Mahdollisuuksien mukaan voidaan tehdä myös maastossa erilaisia kasvillisuus- ja eliöstökartoituksia. RAMAS-hankkeessa ekologinen riskinarviointi kohdennettiin tiettyihin arseenin tyyppikohteisiin (kaivosalue, kyllästämo ja alue, jossa arseenipitoisuus on luontaisesti korkea)
- RAMAS-hankkeessa laskennallisissa ekologisten riskien arvioinnissa arvioitiin tiettyjen avaineliöiden (maaperän lierot, päästäiset, linnut) altistumista ympäristön arseenille. Ekotoksisuuskokeissa käytettiin standardoituja tai näistä hiukan muunneltuja testejä eri eliöillä kuten kasveilla, maaperän lieroilla ja änkyrimadoilla sekä bakteereilla. Näillä tutkittiin tyyppikohteilta otettujen maanäytteiden myrkyllisyyttä. Tarkasteltavia vaikutuksia olivat mm. kasvien siementen itävyys ja kasvu sekä lierojen ja änkyrimatojen poikastuotanto ja kuolleisuus
- Saadut tulokset osoittivat sekä kyllästämoalueen että kaivoksen rikastushiekka-alueen olevan hyvin myrkyllisiä eli arseenin (ja muiden haitta-ainesten) korkeiden pitoisuuksien aiheuttavan suuren riskin maaekosysteemissä. Riskit keskittyivät maaperäeliöihin, kasveihin ja näitä ravintonaan käyttäviin piennisäkkäisiin (päästäiset, myyrät yms.). Riskit ravintoketjussa ylempänä oleville eliöille ovat laskelmien mukaan vähäiset johtuen muun muassa ravintolähteiden monipuolisuudesta ja vaihtelevasta alkuperästä ja arseenin käyttäytymisestä elimistössä (ei kertyvä). Ylöjärven kaivosalueen läheisimpään vesiekosysteemiin arvioitiin kohdistuvan merkittävä riski johtuen korkeista arseenipitoisuuksista. Pitoisuudet vesissä (ja sedimentissä) kuitenkin pienenevät merkittävästi etäännyttäessä kaivosalueelta. Niinpä Näsijärvessä pitoisuudet ovat jo niin alhaiset, että arseenista aiheutuvat riskit vesieliöille jäävät merkityksettömän pieniksi
- Ekotoksisuustestit osoittivat arseenin poikkeavan käyttäytymisen verrattuna samalla alueella esiintyviin muihin haitta-aineisiin (metallit). Havaitut haitalliset vaikutukset saattoivat ainakin osin johtua myös muista, eliöihin haitallisesti vaikuttavista maaperän ominaisuuksista. Luontaisen arseenin alueilla (moreeni, kallio-



perä) ekologinen riski jääkin oletettavasti vähäiseksi, ellei luonnon tasapainoa häiritä ihmisen toimilla

- Yksittäisestä haitta-aineesta kuten arseenista aiheutuvien ekologisten riskien arviointi laajalla alueellisella tasolla on RAMAS -hankkeen kokemusten perusteella vaikeasti toteutettavissa. Tämä johtuu mm. siitä, että arseeni on erittäin harvoin ainoa ekologisia vaikutuksia aiheuttava ympäristötekijä. Käytännössä alueellisen tason riskinarvioinnissa tarkastellaankin yleensä eri haittatekijöiden kokonaisvaikutusta. Riskinarvioinnin laajentamiseksi aluetasolle riskinarvioinnista saatu tieto merkittäviä riskejä aiheuttavista arseenin

tyyppikohteista (ks. yllä) yhdistettiin karttatietoon tärkeimmistä luontokohteista

- Ekotoksisuustestit antavat käytännössä yleensä monipuolisempaa tietoa riskeistä kuin yksinomaan kemiallisiin tutkimuksiin perustuva arviointi, sillä ne ottavat huomioon useita tekijöitä, jotka jäävät menetelmien ja tiedon puutteen vuoksi etenkin haitta-aineiden laskennallisessa arvioinnissa yleensä huomiotta. Haitta-aineiden yhteisvaikutusten lisäksi tällaisia tekijöitä ovat etenkin haitta-aineiden biosaatavuus, eliöiden sopeutuminen ja kyky välttää haitta-ainepitoista ympäristönosaa

## 11.6 Arseenin terveysvaikutukset

- Arseeni on lukuisia epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä muodostava myrkyllinen alkuaine. Äkilliset arseenimyrkytykset ovat harvinaisia, joten merkittävimpänä arseenin vaarana pidetään pitkäaikaisen altistumisen vaikutuksia terveyteen
- Elimistössä epäorgaaninen arseeni metyloituu ja muodostuu orgaanisia arseeniyhdisteitä. Arseenin kemiallinen muoto vaikuttaa sekä arseenin imeytymiseen elimistöön että aineenvaihduntaan ja vaikutuksiin elimistössä. Esimerkiksi merikaloista saatavia orgaanisia arseeniyhdisteitä pidetään vähemmän myrkyllisinä kuin epäorgaanisia arseeniyhdisteitä. Altistavien arseeniyhdisteiden tunnistaminen ja arseenin aineenvaihdunnan tunteminen ovat tärkeitä arseenin aiheuttamien terveysvaikutusten ja -riskien arvioinnissa
- Ihmisen elimistöön imeytynyt arseeni leviää läpi elimistön, mutta suurimmat pitoisuudet ovat ihossa, kynsissä ja hiuksissa. Arseeni poistuu elimistöstä pääasiassa virtsan mukana (90 %) ja vähäisemmässä määrin ulosteissa. Pieniä määriä arseenia voi myös sitoutua kudoksiin. Kerta-annoksena saatu arseeni poistuu elimistöstä aluksi nopeasti, mutta myöhemmin poistuminen hidastuu
- Pitkäaikaisesta arseenille altistumisesta on todettu aiheutuvan monenlaisia terveysvaikutuksia. Yleensä iho on ensimmäinen kohde, jossa vaikutukset näkyvät. Arseenin aiheuttamia ihosairauksia ovat esimerkiksi ihon liikasarveistuminen ja liikapigmentaatio. Arseenin on myös todettu lisäävän verenpainetta ja aiheuttavan lihaskrampeja sekä immuunijärjestelmän heikentymistä. Lisäksi arseenilla epäillään olevan osuutta sydän- ja verisuonisairauksiin, diabetekseen ja munuaissairauksiin. Arseenin on osoitettu aiheuttavan haittavaikutuksia suurilla altistumistasoilla, mutta vähäisen altistumisen vaikutuksista on epäselvyyttä
- Runsaasti arseenia sisältävän juomaveden pitkäaikainen käyttö lisää riskiä sairastua ihon, munuaisten ja virtsarakon syöpään sekä mahdollisesti keuhkosityöpään. Koska arseenin syöpäriskiä lisäävän vaikutuksen mekanismia ei tunneta ja pienille arseenimäärille altistumisen ja syöpäriskin suhde on epäselvä, jo vähäisenkin altistumisen katsotaan lisäävän syöpäriskiä

## 11.7 Arseenista pirkanmaalaisille aiheutuva terveysriski

- Juomaveden ja ravinnon kautta tulevaa arseenille altistumista pidetään yleisesti tärkeimpinä saantireitteinä. Yksilötasolla myös paljon arseenia sisältävästä maasta (esim. kaivosalueet) tai pölystä voi tulla altistumista. Pirkanmaalla arseenipitoisen porakaivovesi on tärkein altistumisreitti
- RAMAS-hankkeessa terveysriskejä arviointiin määrittämällä laskennallisesti mahdollinen ihmisten altistuminen erilaisissa tilanteissa ja eri altistusreittien kautta (ruoansulatus, iho, hengitys). Riskinarviolaskelmien mukaan Pirkanmaan pohjoisosassa ei pitäisi olla arseenista aiheutuvaa yleistä terveysriskiä. Pirkanmaan keskiosassa, Tampereen liuskevyöhykkeellä, juomavedenä käytettävän porakaivoveden sisältämästä luonnon arseenista kalliopohjaveden kautta aiheutuvat terveysriskit ovat ilmeisiä ja terveyshaittojen esiintyminen on todennäköistä ilman riskejä vähentäviä toimenpiteitä. Eri viitearvoihin verrattuna 10-60 % porakaivovesien käyttäjistä voi altistua arseenille haitallisessa määrin. Kuilukaivovesien käyttäjillä arseenista ei aiheudu terveysriskiä tälläkään alueella. Pirkanmaan eteläosassa, Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeellä, arseenista aiheutuvat terveysriskit ovat edellistä pienempiä, mutta kuitenkin 3–30 % porakaivovesien käyttäjistä voi altistua arseenille haitallisessa määrin
- Kaivosalueilta, puunkyllästämisöiltä tai muutoin ihmisen toiminnasta peräisin oleva arseeni aiheuttaa merkittävää terveysriskiä lähinnä herkässä maankäytössä kuten perustettaessa asuinalueita kunnostamattomille kohteille. Kaivosympäristöihin tyypillisesti liittyvät porakaivovesien korkeat arseeni- ja metallipitoisuudet tulee myös ottaa huomioon
- Altistuksen laskennalliseen määrittelyyn perustuvan riskinarvion täydentämiseksi tutkimusalueella tehtiin biomonitorointitutkimus keräämällä virtsanäytteitä. Suurin osa kehoon päätyvästä arseenista erittyy muutaman vuorokauden kuluessa, joten virtsatutkimuksia voidaan käyttää todentamaan lähiaikoina tapahtunut altistus. Tutkimukseen osallistui sekä talouksia, joiden kaivovedestä oli analysoitu korkeita arseenipitoisuuksia että talouksia, jotka olivat liittyneet vesijohdotverkkoon (ei arseenia). Lisäksi tehtiin syöpärekisteritutkimus, jossa selvitettiin pitkäaikaiseen arseenialtistukseen tyypillisesti liittyvien syöpäsairauksien esiintyminen alueilla, joilla on todettu pohjaveden sisältävän luontaisesti korkeita arseenipitoisuuksia. Syöpätapausten määrän vertailualueina olivat muu Suomi sekä sellaiset Pirkanmaan alueet, joilla ei ole todettu normaalista poikkeavia arseenipitoisuuksia. Alustavat tulokset syöpärekisteriselvityksestä viittasivat muutamien arseenialtistumiseen liitettyjen syöpätyyppitapausten lisääntymiseen alueilla, joilla pohjavedestä on mitattu korkeita arseenipitoisuuksia. Tuloksia tulee kuitenkin tulkita varovaisesti, koska tarkastelu oli alustava ja tuloksiin sisältyy monia epävarmuustekijöitä. Biomonitorointitutkimus osoitti altistumista arseenille tapahtuvan, sillä virtsan arseenipitoisuudet olivat keskimäärin suurimpia henkilöillä, joiden käyttöveden arseenipitoisuus oli korkeahko. Esiin tuli kuitenkin myös yksittäisiä tapauksia, joissa virtsan arseenipitoisuus oli tavanomaista korkeampi, vaikka juomavesi ei sisältänyt merkittäviä pitoisuuksia arseenia. Tämä saattoi aiheutua esim. työssä tai harrastuksissa tapahtuneesta altistumisesta. Selkeää selitystä ilmiölle ei kuitenkaan löydetty

## 11.8 Riskinhallintakeinot

- Riskinhallinnalla tarkoitetaan kaikkia niitä toimia, joilla riskejä pyritään välttämään tai minimoimaan. Arseenista aiheutuvia riskejä voidaan rajoittaa joko vähentämällä tunnistettuja arseenin lähteitä tai välttämällä ja vähentämällä altistumista. Tätä varten on käytössä esimerkiksi hallinnollisia, teknisiä ja tiedollisia keinoja
- Arseenin esiintymistä kemikaaleissa ja tuotteissa on jo voimakkaasti rajoitettu Suomessa ja rajoitetaan muuallakin maailmalla yhä laajemmin. Arseenidirektiivin myötä volyymitään suurimmat markkinat, arseenin käyttö suojauskemikaaleissa, siirtyy EU-maiden ulkopuolelle
- Useiden haitallisten aineiden, kuten myös arseenin, riskinhallintaa koskevat säädökset ovat olleet muutosvaiheessa RAMAS-hankkeen aikana. Uusien säädösten merkitystä on vielä vaikea arvioida. Tähän mennessä yksi merkittävimmistä muutoksista on ollut arseenin enimmäispitoisuuden laskeminen  $50 \mu\text{g/l} > 10 \mu\text{g/l}$  juomaveden laatuvaatimuksissa. Uusia säädöksiä ovat:
  - Lannoitevalmisteiden enimmäispitoisuudet (MMMa 12/2007)
  - Rehujen ja rehuaineiden laatuvaatimukset (MMa 2/2006)
  - Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi (VNa 214/2007)
  - Jätteen kaatopaikkakelpoisuus (VNa 202/2006)
  - Laatuvaatimukset maarakentamisessa hyödynnettäville jätteille (VNa 591/2006)
  - Ilman laadun tavoitearvo ulkoilmassa (VNa 164/2007)
- Suurin osa nykyisistä hallinnollisten säädösten ja määräysten nojalla esitetystä ohje- ja viitearvoista perustuu arseenista aiheutuvien terveysriskien rajoittamiseen. Ekologisiin riskeihin pohjautuvia pitoisuusrajoja on annettu mereen uudelleen sijoitettaville ruoppaus sedimenteille ja maaperän pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen määrittelyä varten. Pohjaveden osalta seurattavien prioriteettiaineiden määrittely on juuri meneillään. Tulevissa raja-arvoissa tullaan ottamaan huomioon erityisesti vaikutukset vesiekosysteemeihin
- Suomessa ei ole annettu makean veden ekosysteemeille arseenin aiheuttamiin ekologisiin riskeihin perustuvia viite- tai ohjearvoja. Tämä vaikeuttaa tutkimus- ja kunnostustarpeen arviointia ympäristönäkökulmasta
- Luontaisesti kallio- tai maaperässä esiintyvän arseenin ympäristöriskejä ei ole otettu huomioon rakentamista, jätteitä tai jätteiden käsittelyä koskevassa hallinnollis-oikeudellisessa ohjauksessa. On mahdollista, että arseenialueiden rakentamisen ylijäämämassoja tai hyödynnettäviä jakeita päätyy kohteille, joissa ne aiheuttavat riskin ympäristölle tai ihmisten terveydelle. Hyötykäyttöön kelpaamattomia ylijäämämassoja sijoitetaan tyypillisesti maankaatopaikoille, joissa sekoittuminen esim. happamiin aineksiin voi saada arseenin liikkeelle. Maankaatopaikoilta ei myöskään vaadita muilta kaatopaikoilta edellytettäviä eristäviä pohjarakenteita, eikä niillä ole päästöjen seurantavelvoitteita. Hyötykäyttöön maarakentamisessa liittyy vastaavanlaisia ongelmia. Maarakentamiseen käytettävien jätteiden kuten esim. pilaantuneilta alueilta peräisin olevien maa-ainesten, teollisuuden tuhkien ja kuonien ympäristökelpoisuus on selvitettävä tarkoin, kun sen sijaan pilaantumattomilta alueilta - joiksi arseenianomia-alueetkin luetaan – peräisin oleville maa- ja kiviaineksille ei ole asetettu tutkimusvelvoitetta
- Altistumista ympäristössä olevalle arseenille voi välttää tai ainakin vähentää. Tiedollinen ohjaus arseenin esiintymisestä, kulkeutumisesta ja altistumistilanteista on perusedellytys riskien hallinnalle



- Arseenipitoisen aineksen käsittely on vaativaa, koska arseeni muuttaa herkästi olomuotoaan ympäristön olosuhteiden (erityisesti hapetus-pelkistysolot) muuttuessa ja samalla sen myrkyllisyys ja liikkuvuus muuttuvat. Arseenin ominaisuutta muodostaa suhteellisen pysyviä rauta-, mangaani-, ja alumiiniyhdisteitä käytetään hyväksi riskien hallinnassa, kuten veden puhdistuksessa
- Ennaltaehkäisevät, jo kaavoitus- ja suunnitteluvaiheessa tehtävät ratkaisut ovat tehokkainta ympäristön arseenista aiheutuvien riskien hallintaa
  - Kuntien vesihuoltosuunnitelmissa arseenialueet olisi huomioitava riittävällä tarkkuudella.
  - Yleis- ja asemakaavoihin voidaan osoittaa alueita, joilla on kehittämistarvetta. Esimerkiksi pilaantuneen alueen puhdistaminen on tällainen kehittämistarve ja sille ympäristöministeriö on antanut (2003) omat kaavamerkinnot.
- Ympäristöterveydenhuollon viranomaisilla on valvonnan lisäksi merkittävä vastuu tiedon välittäjinä myös yksittäisille kotitalouksille. Arseenialueilla on tarpeen varmistaa, että viranomaisilla on ajanmukaiset tiedolliset valmiudet.
  - Valvonnassa tulisi ottaa huomioon mm. arseenipitoisuuksien vaihtelu yksittäisessä kaivossa
  - Yksittäisille kotitalouksille voi olla tarpeen antaa neuvoja arseenia poistavista laitteista, joita kehitetään jatkuvasti lisää
- Terveysriskien rajoittamiseksi vedenhankinnan riippuvuutta kalliopohjavedestä on syytä edelleen vähentää arseenialueilla. Pirkanmaalla on käytetty menestyksellisesti tukena valtion korotettua investointitukea
- Toistaiseksi maa-ainesten poisto ja käsittely muualla on ollut yleisin pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusmenetelmä. Arseenipitoista maata on myös stabiloitu kenttärakenteisiin. Etenkin laajoilla, arseenilla pilaantuneilla alueilla tarvitaan muitakin ratkaisuja. Eristäminen erilaisilla arseenin kulkeutumista estävillä pysty- ja pintarakenteilla on myös yksi vaihtoehto. Maailmalla on kaivosalueilla kokeiltu esimerkiksi fyto-remediaatiota eli kunnostamista kasvien avulla. Suomen lyhyt kasvukausi kuitenkin rajoittaa kasvien hyödyntämistä kunnostamisessa, menetelmän hitaus myös rajoittaa sen käyttöä yksinomaisena kunnostusmenetelmänä. Suomessa on Harjavallan sulattoalueella testattu maaperän kunnostamista mm. sekoittamalla pintamaahan orgaanista ainesta, jonka avulla maaperän mikrobitointi voisi elpyä. Harjavallassa arseeni on metallien ohella yksi pilaantumista aiheuttaneista haitta-aineista. Toteutuneissa maaperän kunnostuksissa arseeni ei ole ollut ylitsepääsemätön tekninen ongelma, mutta voimakkaasti arseenilla pilaantuneet luonnonvedet ovat edelleen vaikeasti puhdistettavissa. Toistaiseksi Suomessa ei ole kunnostettu arseenilla pilaantuneita järvi- tai jokiympäristöjä

## **11.9 Riskinhallinnan kehitystarpeita ja ratkaisumalleja Pirkanmaalla**

- Pirkanmaalla terveystarpeiden hallinnan kannalta on olennaisinta varmistaa puhtaan juomaveden saanti. Muussa talousvesikäytössä (esim. suihku- ja saunavesi) arseenille ei altistuta merkittävässä määrin. Vesihuoltoverkoston rakentamista arseeniongelmaisille alueille tulee edistää.
  - Eteläisellä Pirkanmaalla on kaikkiaan 30 000–47 000 asukasta omien kaivojen varassa. Merkittävällä osalla näistä asukkaista veden lähteenä lienee kalliopora-kaivo. Uusien porakaivojen rakentamista arseenialueille on syytä harkita ja vesi on joka tapauksessa analysoitava luotettavassa laboratorioissa

- Riskinarvioinnissa tarkastellut arseenilla pilaantuneet maa-alueet (puunkyllästä-möt, Ylöjärven kaivosalue) eivät sijaitse arvokkaiden luontokohteiden läheisyydessä. Sen sijaan ainakin Haverin ja Kutemajärven kaivosten läheisyydessä on arvokkaita luontokohteita. Näiden kaivosten vaikutusalueen todellista laajuutta ei kuitenkaan tunneta, joten lisätutkimukset olisivat tältä osin tarpeen
- Ylöjärven kaivosalueella voitaisiin muodostaa vyöhykkeitä, joihin riskinhallintatoimet kohdennetaan. Ydinvyöhykkeellä hyväksyttäisiin pilaantuminen ja alueen käyttöä rajoitettaisiin voimakkaasti altistuksen välttämiseksi. Entisillä kyllästä-mökiinteistöillä ympäröivän alueen käytötapoja voi olla tarpeen rajoittaa nykyistä enemmän ja merkitä voimakkaimmin pilaantuneet alueet myös maastoon
- RAMAS-hankkeen puitteissa ei selvitetty tarkkaan Ylöjärven kaivosalueen pilaantuneisuuden laajuutta maaekosysteemisissä. Alueella tehtävät räjäytykset aiheuttavat pölypäästöjä, joiden leviäminen ympäristöön olisi syytä selvittää. Toiminnan rajoittamista alueellisesti on myös syytä harkita. Rikastushiekkakasasta aiheutuvien päästöjen rajoittamiseksi pintaeristys riittävän paksun puhtaan maakerroksen (vähintään juuristovyöhykkeen paksuisella) avulla ja kasvitus voisivat olla hyviä ratkaisuja päästöjen pienentämiseksi
- Ylöjärven kaivosalueen ympäristössä sijaitsevien kosteikkojen on todettu pidättävän arseenia ja estävän sen kulkeutumista. Pilaantuneiden sedimenttien riskinhallintatoimia voivat olla muun muassa alueelliset käyttörajoitukset, peittäminen tai eristäminen tai ruoppaus ja sedimenttien poisto. Pilaantuneen sedimentin peittämisellä pyritään estämään haitta-aineiden leviäminen ja heikentämään aineiden saataavuutta vesieliöille. Peittämisellä voidaan jäljitellä luonnollista sedimentaatiota
- Maankäytön suunnittelutyössä kaikkien kaivosten toiminta-alueet on Pirkanmaalla jätetty yleiskaavoituksen ulkopuolelle. Kaivosten mahdollisella vaikutusalueella voi kuitenkin olla kaavoituksen piirissä olevia toimintoja, lähinnä asutusta. Kaavojen tarkistamisen ja uusien kaavojen laatimisen yhteydessä onkin tarpeen selvittää tarkemmin lähistöllä olevien kaivosten ympäristövaikutusten alueellinen ulottuvuus. Osa Pirkanmaan toimintansa lopettaneista CCA-kyllästä-möistä sijaitsee ensimmäisen luokan pohjavesialueella. Näillä alueilla onkin tarpeen ottaa huomioon mahdolliset riskit pohjaveden laadulle. Puunkyllästä-möalueilla arseenin ohella pohjaveteen voi siirtyä myös kromia ja kuparia. Vanhojen kunnostamatta jääneiden, rakentamattomien kyllästä-möalueiden merkitseminen maastoon on myös suositeltavaa ihmisten altistumisen minimoimiseksi
- RAMAS-hankkeessa riskinhallintaa varten tuotetun kartta-aineiston jalostaminen käyttökelpoiseksi muun muassa maankäytön ja vesihuollon suunnittelua varten on tehtävä jatkossa yhteistyössä käyttäjien kanssa. Kartta-aineiston tuottamisessa ongelmana on mittakaava. Viranomaisytyössä on tarve erittäin yksityiskohtaiselle paikkatiedolle, mutta käytännössä esimerkiksi yksityisyyden suojaan liittyvät näkökohdat rajoittavat tällaisen työkalun tuottamista. Eri rekisterien sisältämien tietojen yksityiskohtaisuuden tasossa on myös eroja. Esimerkiksi mahdollisesti pilaantuneita maa-alueita koskeva kiinteistökohtainen paikkatieto (MATTI-rekisteri) on nykyään julkista, mutta yksityisistä kaivoista ei ole saatavissa paikka- eikä vedenlaatutietoja

## Kiitokset

Monet henkilöt ja yhteisöt ovat vuosien mittaan myötävaikuttaneet eri tavoin RAMAS-hankkeen työskentelyyn. He ovat omalta osaltaan olleet mukana tekemässä sitä tulosta, jota käsillä olevassa kirjassa ja muissa RAMAS-hankkeen raporteissa ja julkaisuissa esitellään. Haluamme erityisesti tuoda esille seuraavien henkilöiden ja organisaatioiden roolin.

Kiitämme kaikkia niitä pirkanmaalaisia, jotka ovat antaneet ottaa näytteitä kaivoistaan ja maaltaan ja aivan erityisesti niitä, jotka vielä osallistuivat biomonitorointitutkimukseenkin. Monet kiitokset myös monille kaupunkien ja kuntien terveystarkastajille ja muille viranhaltijoille, joiden kanssa on käyty useaan otteeseen rakentavia keskusteluita arseenin aiheuttamista käytännön ongelmista. Erityisesti kiitämme Tuula Sillanpäättä ja Tampereen kaupunkia sekä Oriveden kaupunkia siitä, että RAMAS-hanke sai käyttöönsä kaupunkien porakaivovesien arseenipitoisuustiedostot. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos oli hyvin joustava ja antoi mahdollisuuden moniin näytteenottoihin Ylöjärven kaivoksen rikastushiekka-alueella. Lisäksi he avustivat pölytutkimuksen toteutuksessa. Tästä kiitos Kari Lahdenperälle, Alpo Kariniemelle, Tellervo Vormistolle sekä heidän esimiehilleen. Kiitämme Säijän koulun henkilökuntaa ja Lempäälän kuntaa heidän avustaan arseenipitoistokokeiden järjestelyissä. Maa- ja metsätalousministeriön luvalla RAKAS-hankkeen (Raskasmetallikuormitusten selvittäminen ja vähentäminen Suomen maatalousekosysteemeissä) julkaisemattomia, koko Suomea koskevia aineistoja oli RAMAS-hankkeen käytössä.

GTK:n ammattitaitoiset ja kokeneet tutkimusassistentit Mikael Eklund ja Arto Pullinen

tekivät suuren työn kerätessään maaperä- ja vesinäytteet ja hoitivat siinä sivussa niin ansiokkaasti suhdetoimintaa ja tiedotusta, että näytteenottolupa saatiin lähes poikkeuksetta. MTT:n näytteenottajat Pekka Kivistö ja Ari Seppänen tekivät laadukasta työtä ottaessaan viljelysmaaja kasvinäytteet testitiloilta. Kiitämme myös Marko Lyttistä ja Satu Järvistä Pirkanmaan ympäristökeskuksesta heidän panoksestaan antropogeenisten kohteiden tutkimuksissa sekä Anu Peltosta monipuolisesta teknisestä avusta.

Ekotoksikologisten testien tekemisestä kiitämme SYKE:stä Riitta Meroa, Ritva Väisästä ja erityisesti Minna Sepposta, jonka työpanos maaperäeläintesteissä oli korvaamaton sekä Timo Sara-Ahoa ja Lea Kervistä biologisen materiaalin kemiallisesta analysoinnista.

Maaperä- ja pohjavesinäytteiden kemiallisesta analysoinnista kiitämme lämpimästi GTK:n geolaboratoriota (nykyään Labtium Oy) ja laboratoriopäällikkö Eeva Kalliota henkilökuntineen. Hanna Kahelinia kiitämme hänen avustaan arseenin hapetustilojen määrittämisessä. Sirkka Vartiainen teki suuren työn erilaisten geokemiallisten aineistojen käsittelyssä. Kiitämme myös Leila Lindstedtiä ja Päivi Allénia sekä muuta MTT:n laboratorion henkilöstöä viljelysmaiden ja -kasvien analysoinnista sekä Sirpa Thessleria monipuolisen kuva- ja karttamateriaalin tuottamisesta. Hanna Huitu auttoi GIS-osaamisellaan tutkimustilojen valinnassa.

Geofysikaalisiin tutkimuksiin osallistuivat TKK:lla Tero Hokkanen, Jalle Tammenmaa ja Janne Kaukolinna. Kiitämme myös kemisti Riitta Juvosta, joka erinomaisella ammattitaidolla analysoi TKK:lla kaivosalueiden näytteitä.

Biomonitorointiin liittyvät analyysit tehtiin

Oulun työterveyslaitoksen laboratoriossa Erkki Hakalan johdolla. Kiitämme myös TTL:n Helsingin toimipisteessä työskentelevää Antero Aitiota hänen avustaan biomonitorointitutkimuksen suunnittelussa. Pia Verkasalo ja Kari Pasanen Kansanterveyslaitoksen ympäristöterveyden osastolta tekivät vaativan epidemiologisen tutkimuksen.

RAMAS-raporttien ennakkotarkastus jouduttiin tekemään usein hyvinkin kiireisellä aikataululla. Kiitämme Timo Assmuthia, Jussi Leveistä, Taina Nysteniä, Jussi Reinikaista, Reijo Salmista ja Jyri Seppälää asiantuntevasta kommentoinnista. Carrie Turunen tarkasti ja korjasi useiden raporttien englannin kielen.

Tämän kirjan ennakkotarkastajat joutuivat toimimaan erityisen tiukassa aikataulussa. Kiitämme kirjan ennakkotarkastajia Karita Åkeria ja Sirpa Kurppaa, joiden kommentit loppuraporttiin olivat tärkeitä ja selkeyttivät monin paikoin tutkijoiden sanomaa. Pirkko Kurjen ihastuttava piirroshahmo toi ripauksen inhimillisyyttä kirjan tiiviiseen asiasisältöön.

Kiitämme Pirkko Kurkea paitsi piirroksista myös monien kuvien muokkaamisesta lukijaystävällisempään muotoon. Kiitämme Olli Loukolaa RAMAS-logon ja esitteen sekä tämän kirjan kannen suunnittelusta erinomaisella ammattitaidolla. Kirjan taittoi Merja Koskinen Multiprint Oy:stä. Kiitämme häntä huolellisesta ja tehokkaasta työstä.

Kiitämme kaikkia hankkeeseen osallistuneita organisaatioita hankkeen saamasta tuesta ja erityisesti RAMAS-ohjausryhmän jäseniä Karita Åkeria, Timo Ruskeeniemeä, Sirpa Kurppaa, Kirsti Loukola-Ruskeeniemeä, Tom Friskiä, Jyri Seppälää, Esko Rossia ja Vesa Kettusta. Terhi Immosen johdolla toiminut, kaikkien osallistujaorganisaatioiden talousasiantuntijoista koottu tiimi hoiti ansiokkaasti hankkeen toisinaan monimutkaistakin taloutta.

Lopuksi haluamme kiittää EU-Life Environment -ohjelmaa RAMAS-hankkeen saamasta rahoitustuesta sekä Pekka Hännistä (Astrale GEIE – ELLE LTD) hankkeen hallinnointiin ja taloudenpitoon liittyvästä opastuksesta.