

9. Hankkeessa käytettyjen menetelmien tarkastelu

Timo Ruskeeniemi¹, Jaana Sorvari², Eija Schultz², Heli Lehtinen², Kirsti Loukola-Ruskeeniemi³,
Birgitta Backman¹, Ritva Mäkelä-Kurtto⁴, Esko Rossi⁵, Kati Vaajasaari⁶, Ämer Bilaletdin⁷

¹ Geologian tutkimuskeskus, PL 96, 02151 Espoo

² Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki

³ Teknillinen korkeakoulu, Geoympäristötekniikka, PL 6200, 02015 TKK

⁴ Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, L-talo, 31600 Jokioinen

⁵ Esko Rossi Oy, Kuokkasenmutka 4, 40520 Jyväskylä

⁶ Golder Associates, Kolmionkatu 5, 33900 Tampere

⁷ Pirkanmaan ympäristökeskus, PL 297, 33101 Tampere

RAMAS-hankkeessa käytettiin kansainvälisten tai kotimaisten standardien mukaisia menetelmiä tai niiden puuttuessa muuten vakiintuneita menettelytapoja. Työn kuluessa tuli esiin kehitystarpeita.



9.1 Tutkimuksen kohdealueet

Pirkanmaa edustaa luontonsa, geologiansa ja elinkeinoelämänsä puolesta tyypillistä etelä-suomalaista seutua. Erilaisen alueesta tekevät vain luonnossa havaitut Suomen keskimääräisiä arvoja korkeammat arseenipitoisuudet. Tosin tässä suhteessa Pirkanmaa ei ole täysin muista maakunnista poikkeava, sillä 1990-luvun alussa julkaistu valtakunnallinen moreeni-geokemiallinen karttoitus osoitti arseenianomalian jatkuvan Pirkanmaalta etelään kohti pääkaupunkiseutua

ja myöskin itään päin (ks. kuva 1 luvussa 1). Geologisin perustein on siis syytä olettaa, että muillakin alueilla Etelä-Suomessa on vastaavia ongelmia, mutta niiltä ei ole vielä tarpeeksi tutkimustietoa. Sen sijaan Pirkanmaalta oli ennestään pohjaveden arseenipitoisuuteen ja kaivostoiminnan ympäristövaikutuksiin liittyvää tutkimusaineistoa, joten valinta tiedon hyödyntämiseen painottuvan EU-hankkeen kohdealueeksi oli helppo. Lisäksi nähtiin, että Suomen

olosuhteissa suhteellisen tiheään asutulla Pirkanmaalla olisi tarvetta hankkeen tuottamalle tiedolle ja että lisätietoja voitaisiin myös konkreettisesti hyödyntää.

Kun alueellisesta mittakaavasta pyritään aineiston yksityiskohtaisempaan tulkintaan ja ymmärtämiseen, tutkimukset kohdennetaan tarkkaan valituille tutkimusalueille. Näin tehtiin myös RAMAS-hankkeessa. Runsaasti kustannuksia ja aikaa vaativat tutkimukset ja selvitykset suoritettiin edustaviksi arvioiduilla mallikohteilla. Erittäin merkittävän panoksen tutkimukselle antoivat ne pirkanmaalaiset maa-

tilat ja yksityiset taloudet, jotka eri tavoin olivat mukana tutkimuksissa. Tavoitteena oli valita joukko maatiloja alueelta, jolla arseenipitoisuuksien tiedetään olevan kallioperässä ja maaperässä luontaisesti keskimääräistä suurempia. Ajatuksena oli tutkia kullakin tilalla maaperästä ja pohjavedestä peräisin olevan arseenin mahdollista kulkeutumista tilojen tuotteisiin ja ihmisten elimistöön.

Ylöjärven Parosjärven kaivosalue ja Kautun puunkyllästämoalue Ruovedellä valittiin mallikohteiksi edustamaan ihmisen toiminnan vuoksi arseenilla pilaantuneita alueita.

9.2 Arseenin pitoisuusaineistojen saatavuus ja käyttökelpoisuus

Riittävän ja edustavan tutkimusaineiston kokoaminen kolmivuotisessa hankkeessa on haasteellista. Aineistoja on saatu mm. tutkimuslaitoksista, viranomaisrekistereistä ja kunnilta. Myös julkaisemattomia opinnäytteitä, konsulttien tekemiä ympäristötekniisiä tutkimuksia, riskinarviointeja ja kunnostussuunnitelmia hyödynnettiin, sikäli kuin niitä saatiin käyttöön. Vuosikymmenten mittaan kertynyt tieto on vaikeasti jäljitettävää, laadultaan kirjavaa ja usein tulkintaan tarvittava taustatieto on puutteellisesti dokumentoitua. Tähän on tietenkin monia syitä. Tavoitteet ja käytössä olevat resurssit ovat vaikuttaneet kohteiden valintaan, näytteenottotapaan, näytteiden käsittelyyn (esim. liuotusmenetelmä) ja analysoitavien alkuaineiden valikoimaan. Kaikki nämä tekijät voivat olla merkittäviä, kun arvioidaan eri aineistojen käyttökelpoisuutta ja käyttötapaa.

Tällainen arviointi tehtiin esimerkiksi silloin, kun piti päättää, miten Geologian tutkimuskeskuksen malminetsinnältä saatu Pirkanmaan moreenigeokemiallinen aineisto integroitiin muun aineiston kanssa. Pirkanmaan keski- ja eteläosassa sijaitsevista malminetsintäkohteista on otettu runsaasti näytteitä (10 823) verrattuna koko maan kattavan moreenigeokemiallisen kartoituksen yhteydessä alueelta otettujen näytteiden lukumäärään (46). Malminetsintä tietenkin kohdistuu alueille, joilla odotetaan olevan poikkeuksellisen suuria metallipitoisuuksia,

mikä näkyy aineistossa. Tietoa käytettiin rajaamaan alueet, joilla maaperä on poikkeuksellisen arseenipitoista, mutta sitä ei voitu kuitenkaan käyttää laskettaessa geokemiallisia tunnuslukuja koko Pirkanmaan alueelle. Jos näin olisi tehty, varsinkin Pohjois-Pirkanmaalle olisi saatu huomattavasti todellista korkeampi keskimääräinen taustapitoisuustaso.

Julkaisematonta tutkimusaineistoa on hajallaan eri toimijoiden hallussa. Samankin organisaation sisällä sitä on tallennettu eri tietokantoihin tai arkistoitu vain paperimuodossa. Esimerkiksi keskeisen geotiedon tuottajan, Geologian tutkimuskeskuksen, monipuolisten aineistojen tallennus digitaalisiin tietokantoihin on aloitettu jo vuosia sitten, mutta työ ei ole vielääkään valmis, sillä työmäärä on valtava. Samantyyppisiä ongelmia on myös viranomaispuolella. Viime vuosina ympäristöhallinnon tarpeisiin on luotu erilaisia tietokantoja, esimerkiksi pilaantuneista maa-alueista (MATTI) ja luonnon vesistä (PI-VET ja POVET), mutta niiden ulkopuolella on vielä runsaasti arvokasta tietoa. On selvää, että tiedon tarvitsijalla ei nykyisellään ole keinoja selvittää, mitä kaikkea aineistoa olisi olemassa.

RAMAS-hankkeessa jouduttiin tekemisiin myös yksityisyyden suojaan liittyvien kysymysten kanssa. Direktiivi 2003/4/EC edellyttää, että yksityisyyden suojan piiriin kuuluvaa tietoa tulee pitää luottamuksellisena ja sitä voidaan julkaista vain muodossa, jossa yksittäisen henkilön tai

kohteen tunnistaminen ei ole mahdollista. Tämän tyyppisiä aineistoja ovat mm. maatilakohtaiset analyysitulokset viljelymaista ja –kasveista, yksityisten omistamien porakaivojen vesianalyysit ja terveystutkimuksiin liittyvät tiedot. RAMAS-hankkeen ja viljelijöiden välisessä sopimuksessa ja Maa- ja metsätalousministeriön maatilarekistereiden käyttöä koskevassa sopimuksessa on erikseen määritelty viljelijöiden identiteettisuoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tutkimusaineisto on ollut hankkeen käytettävissä, mutta kirjallisissa tuotteissa ei käytetä nimi- tai paikkatunnisteita ja julkaistavissa kartoissa mittakaava on sellainen, että tarkkaa näytteenottoa ei voi yksilöidä.

9.3 Riskinarvioinnissa tarvittavan muun aineiston saatavuus ja käyttökelpoisuus

Ekologinen riskinarviointi perustui laskennallisten kertymis- ja altistusmallien ja ekotoksisuustestien käyttöön. Kirjallisuudessa on esitetty useita vaihtoehtoisia laskentamalleja, joilla voidaan arvioida arseenin ja muiden haitta-aineiden siirtymistä ympäristöstä RAMAS-hankkeessa tarkasteltuihin avaineliöihin (kasvit, lierot, linnut). RAMAS:ssa käytettiin USA:ssa ekologisten riskinarviointimenetelmien kehittämisestä vastanneiden organisaatioiden esittämiä malleja. Myös mallien syöttötietoina käytettiin pääosin USA:ssa kerättyjä tietoja, sillä muuta koottua tietoa ei ollut saatavilla. Päästäisen altistuksen arvioinnin osalta tietoja kuitenkin täsmennettiin käyttämällä useissa eri lähteissä saatavilla olevia lajikohtaisia (*Sorex aureus*) muuttuja-arvoja. Arvojen käyttökelpoisuutta ja soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin ei ole selvitetty, eikä tähän ollut mahdollisuuksia RAMAS-hankkeen yhteydessä. Tämän selvittäminen olisi edellyttänyt altistumisen kannalta olennaisten väestön ja eliöstön ominaisuuksien tutkimista (esim. väestön juomaveden käyttö). Tiedot tarkkaa alueellista ekologista riskinarviointia varten puuttuivat. Tarvittavia tietoja ovat etenkin laji- ja yksilömäärät ja näiden alueellinen jakautuminen sekä tarkat pitoisuustiedot kaikista muista ihmistoiminnasta aiheutuvista

Ohje yksityisyyden suojasta rajoittaa joiltakin osin ulkopuolisten mahdollisuuksia arvioida esitettyjä tulkintoja ja estää aineistojen siirron julkisiin tietokantoihin. RAMAS-hankkeen päättymisen jälkeen luottamuksellinen aineisto siirretään sen hankinnasta vastanneen osapuolen hallintaan (Geologian tutkimuskeskus, Maa ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Suomen ympäristökeskus tai Pirkanmaan ympäristökeskus), josta sitä voidaan harkinnan ja sopimuksen mukaan luovuttaa luottamukselliseen tutkimuskäyttöön.

arsenilla pilaantuneista kohteista Pirkanmaalla. Tällaisia kartoituksia ei ole tehty.

Terveysriskien arviointi perustui laskennalliseen altistuksen arviointiin, pienimuotoiseen biomonitorointitutkimukseen (virtsan arseenipitoisuuden määrittäminen) ja pienepidemiologiseen selvitykseen (eri syöpätyyppien esiintymisen tarkastelu). Laskennallisessa arvioinnissa käytettiin yleisiä, kansainvälisesti käytettyjä laskentayhtälöitä, joita on esitetty useissa yhteyksissä. Pitoisuustiedot olivat kohdealueelta ja veden- sekä ravinnonkäyttötiedot kansanterveyslaitoksen tekemästä laajasta kansallisesta tutkimuksesta. Muiden laskentamallien syöttötietojen kohdalla käytettiin kirjallisuudessa esitettyjä arvoja ja jakaumaoletuksia. Eri aineiden biosaatavuutta ja epäorgaanisen arseenin osuutta koskevat arviot koottiin useista eri kirjallisuuslähteistä. Riskilukujen määrittämisessä käytettiin kattavasti eri organisaatioiden (RIVM, USEPA, WHO) esittämiä sallittuja päivittäisannoksia ja yksikkösyöpäriskiä arvoja. Biomonitorointiin voitiin lähinnä resurssien puutteen vuoksi ottaa vain rajattu aineisto (40 henkilöä). Tutkimukseen osallistui kotitalouksia, jotka käyttivät arseenipitoista porakaivovettä mutta myös talouksia, joilla oli jokin muu juomavesilähde (esim. pullovesi, vesilaitoksen

toimittama vesi). Eri juomavesilähteiden osalta aineistoa voidaankin pitää kattavana. Tuloksissa ilmeni keskimääräistä suurempia virtsan arseenipitoisuuksia myös muutamassa sellaisessa tapauksessa, jossa kyseinen henkilö ei ollut altistunut arseenille juomaveden kautta. Tähän ilmiöön ei löydetty tutkimukseen liittyneestä muita mahdollisia arseenilähteitä selvittävästä kyselystä huolimatta selitystä. Henkilökohtaiset haastattelut olisivat voineet olla lomaketta luotettavampi tapa selvittää altistumista muista lähteistä. Myös laajemmat tutkimukset tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden elinympäristössä (esim. maatilojen pihamaat) tai biomonitoroinnin aineiston laajentaminen olisivat voineet tuoda selityksen todettuihin virtsan arseenipitoisuuksien poikkeamiin. Terveysriskien arviointia vaikeutti myös se, että tutkimusalueelta kuten ei muualtakaan maasta ole olemassa tietoa porakaivojen ja niiden käyttäjien lukumäärästä. Pirkanmaalla juomaveden kautta arseenille altistuvien ihmisten lukumäärää ei siis voida luotettavasti arvioida.

Riskinarvioinnin näkökulmasta tutkimusaineistoa voidaan pitää osin puutteellisena. Ekologisen riskinarvioinnin tulosten luotettavuutta olisi voitu lisätä kokoamalla tietoa eliölajeista ja näiden sisältämistä arseenipitoisuuksista tutkimusalueilla. Etenkin laajojen pilaantuneiden alueiden kuten kaivosten osalta eliöstötutkimukset olisivat tuoneet tietoa ekosysteemitason vaikutuksista kuten biodiversiteetistä ja yksilömäärästä, joihin vaikuttavat mm. eliöiden mahdollinen sopeutuminen pilaantuneeseen elinympäristöön, niiden kyky välttää pilaantuneita aineksia sekä mahdollinen lajien korvautuminen. Tietyllä lajilla tehtyjen ekotoksisuustestien määrää lisäämällä olisi voitu saada enemmän tietoa riskinarvioinnin käyttöön. Ekotoksisuustesteissä arseenipitoisuuden muutos näytteessä saattoi aiheuttaa jyrkän muutoksen mitatuissa ekotoksikologisissa vasteissa. Tämän seurauksena ei saatu kaikilta osin riittävästi aineistoa toksisuutta kuvaavien EC50-arvojen laskemi-

seen. Myös riskilukujen laskennassa käytettävä lähtöaineisto jäi siten joiltain osin puutteelliseksi, mikä vähentää tulosten luotettavuutta. Kattavampi aineisto olisi edellyttänyt useampia toksisuuskokeita useammilla näytelaimennoksilla. Tätä ei valitettavasti ollut mahdollista toteuttaa resurssien rajallisuuden vuoksi. Tuloksia tulisi olla huomattavasti enemmän eli käytännössä testeissä tulisi käyttää useampia luontaisen pitoisuuden maanäytteitä ja kehittyneitä tilastomenetelmiä, jotta arseenista mahdollisesti johtuvat ekotoksikologiset vaikutukset voitaisiin selvittää luotettavasti.

Myöskään pilaantuneisuuden laajuudesta tutkitun kaivoksen (Ylöjärvi) maaekosysteemissä ei saatu riittävästi tietoa, sillä RAMAS-hankkeen puitteissa ei selvitetty mm. pölyn kautta tapahtuvan leviämisen alueellista laajuutta. Terveysriskien osalta joitain mahdollisia altistusreittejä jäi selvittämättä kuten altistuminen maatilojen pihamaiden (pintamaat) kautta (esim. pöly). Tiedonpuutteet joistain altistusreiteistä ilmenivät biomonitorointitutkimuksessa selittämättöminä virtsan arseenipitoisuuksina.

Ongelmana etenkin laskentamalleihin perustuvassa arseenista aiheutuvien riskien arvioinnissa on tiedon epävarmuus eli eri lähteissä esitettyjen toksisuustietojen vaihtelu. Näitä on saatavilla kirjallisuudesta sekä useista mm. internetissä ylläpidettävistä tietokannoista. Varsinaisia suomalaisiin olosuhteisiin ”räätälöityjä” toksisuustietoja ei kuitenkaan ole saatavilla. Myös riskilukujen määrittämisessä käytetyt, eri organisaatioiden esittämät viitearvot vaihtelevat huomattavasti. Suomessa ei ollut RAMAS-hankkeen toteutuksen aikaan sen puoleen arseenin kuin muidenkaan haitta-aineiden osalta esitetty suosituksia siitä, mitä toksisuusarvojen tietolähteitä tai viitearvoja tulisi käyttää. Valmisteilla olevassa maaperän pilaantuneisuuden arviointia ja puhdistustarpeen määrittelyä koskevaan valtioneuvoston asetukseen liittyvässä ohjeistuksessa tullaan kuitenkin antamaan suosituksia käytettävistä viitearvoista.

9.4 Riskinhallintatoimien määrittelyssä käytettyjen aineistojen saatavuus ja käyttökelpoisuus

Riskinhallintatoimien määrittelyssä käytetty aineisto koostui kirjallisuudesta (raportit, artikkelit, hallinnolliset dokumentit kuten lupapäätökset, säädökset jne.), haastatteluista, erilaisista rekistereistä ja tietokannoista. Ajankohtainen, vertaileva tieto vedessä olevan arseenin käsittelytekniikoista oli lähes poikkeuksetta ulkomaista. Katsaukseen valittiin eniten aineistoa USA:n ympäristöhallinnon tilaamista tutkimuksista, koska ne olivat uudehkoja (2000-luvulta), helposti löydettävissä, kohtuullisen selkeästi raportoitu ja sovellettavissa pääosin Suomen oloissa. Suomessa toteutettiin talousveden arseenia poistavien laitteiden vertailututkimus 1990-luvun puolivälissä, mutta kyselyn perusteella samoja laitteita ei enää markkinoida tuohon tutkimukseen osallistuneissa yrityksissä. Myöskään pitkäaikaisia käyttökokemuksia myydyistä laitteista ei ole vielä kerätty. Menetelmien soveltuvuuden arviointiin tarvittava aineisto jäi hyvin suppeaksi, sillä RAMAS-hankkeessa toteutettiin arseeninpoistokoe käyttäen ainoastaan yhtä menetelmää (arseenin adsorptio ferrihydroksidimassaan, Kemira Oyj). Menetelmää testattiin sekä porakaivovedelle että Ylöjärven kaivosalueelta laskevalle pintavedelle. Kaivosalueella tehdyssä kokeessa pintaveden humus tukki suodatinta, eikä arseeninpoisto ollut tehokasta. Koska suodattimen käyttöä ei testattu, ei saatu

tietoa menetelmän soveltuvuudesta silloin, kun siihen yhdistetään esikäsittelyä suodatus.

Arseenilla pilaantuneen maa-alueen kunnostusmenetelmistä kysyttiin kymmeneltä alan yrittäjiltä. Kiinnostusta ilmeni *in situ* -stabiloinnin kokeilemiseen esimerkiksi kaivosalueella. Toteutuneista kenttästabiloinneista ei ole kuitenkaan vielä kerätty seurantatietoa yhteen, joten varmuutta pitkän aikavälin toimivuudesta tuntuu olevan vaikea antaa millekään arseenin käsittelytekniikalle.

Työn seuraavassa vaiheessa siirryttiin riskinhallinnan tarpeiden selvittämiseen Pirkanmaalla ja yleisemmin hallinnon alue- ja paikallistasolla. Tärkeimpien toimijoiden (stakeholder) sitouttaminen tuleviin riskinhallinnan päätöksiin ja toteuttamiseen on ensiarvoisen tärkeää. Siksi RAMAS-hankkeessa määriteltiin myös riskinhallinnan toimijoiden rooleja ja vastuunjakoa. Todellisia käytäntöjä ei vielä selvitetty kovin systemaattisesti. Yhteydenpito tärkeiksi tunnistettujen toimijoiden kanssa oli hankkeen resurssien puitteissa vaikea järjestää. Oli valittava muutama avainhenkilö, joiden näkemykset painottuvat riskinhallinnan nykytilan ja kehitystarpeiden arvioinnissa. Paikallishallinnon näkemykset jäivätkin vielä vähälle huomiolle suhteessa sen merkittävään rooliin mm. tiedon välittämisessä alueensa asukkaille.

9.5 Aineiston edustavuus

9.5.1 Luontaiset kohteet

RAMAS-hankkeessa käytetyn geokemiallisen aineiston alueellinen kattavuus on hyvä. Pirkanmaa on kuulunut erilaisten valtakunnallisten kartoitusten piiriin (kallioperä, moreeni, pohjavesi, peltomaat), joiden aikana on saatu vertailukelpoista aineistoa alueellisten erojen selvittämiseksi. Sen lisäksi on tehty kohteellisia tutkimuksia (porakaivojen arseenipitoisuus, malminetsinnän maaperätutkimukset jne.),

jotka ovat tuoneet yksityiskohtaista tietoa Pirkanmaan erityispiirteistä. Näiden aineistojen perusteella voitiin päätellä, että arseeniongelma kulminoituu Pirkanmaan keski- ja eteläosiin ja että terveystarpeiden kannalta porakaivot ovat kuilukaivoja merkityksellisempiä. Geologisista tai muista syistä johtuen aineisto ei ole, eikä voi koskaan ollakaan, täysin tasaisesti jakautunutta. Porakaivoja ei ole kaikkialla, peltomaat keskittyvät savikoille ja niin edelleen.

Ympäristöhallinnon pintavesi- (PIVET) ja pohjavesitietokannat (POVET) sisältävät SYKE:n ja alueellisten ympäristökeskusten omia laboratorioitten analyysien lisäksi myös lukuisten konsulttien ja kaupallisten laboratoriodien velvoitetarkkailuanalyysijä. Kohteiden valinta perustuu seurantarpeeseen, eikä tavoitteena ole ollutkaan alueellinen kattavuus. RAMAS-hankkeen kannalta suurin puute näissä aineistoissa on ollut se, että arseenipitoisuuksia on analysoitu vain harvoissa kohteissa.

Geologiset näyteaineistot ovat näytteenoton kannalta hyvin ”paikkasidonnaisia”. Kalliiossa, jossa on kivilajivaihtelua, kukin näyte edustaa vain yhtä kivilajityyppiä ja yksittäisen analyysituloksen käyttö edellyttää tietoa siitä, miten yleinen kyseinen kivilaji on tarkasteltavalla alueella. Esimerkiksi Tampereen vyöhykkeen metavulkaniiteissa on paljon koostumusvaihtelua verrattuna alueen syväkiviin (graniitti, graniidioriitti, gabro jne.). Tämän vuoksi näytteenototiheyttä kasvatetaan alueilla, joilla kallioperä muodostuu useista kivilajeista. Maaperä ja pohjavesi ovat näytteenoton kannalta helpompia, koska kemialliset vaihtelut ovat tasoittuneet ja sitä kautta näytteiden alueellinen edustavuus on parempi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että esimerkiksi maaperä olisi tasalaatuinen patja, jonka koostumus voidaan määrittää vain muuttaman näytteen avulla.

Jääkauteen liittyvien prosessien tuloksena muodostunut maaperä koostuu syntyvän ja aineksen suhteen erilaisista kerroksista. Tämän ymmärtäminen on tärkeää näytteenoton kohdentamiseksi tutkimuksen kannalta oikeaan kerrokseen ja materiaaliin. Tyypillisesti koostumusvaihtelut johtuvat eripituisesta kuljetusmatkasta aineiden lähtöalueen ja kerrostumispaikan välillä. Heikosti lajittunut moreeni edustaa paikallista kallioperää, kun taas savikoiden aines on voinut kulkeutua hyvinkin kaukaa. Maaperän pintaosan geokemia on edelleen muokkautunut kerrostumisen jälkeisen 10 000 vuoden kuluessa maaperään imeytyvien sadevesien, humushappojen ja mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Tämän geokemialliset uuttumis- ja rikastumiskerrokset sisältävän, maannosvyöhykkeen paksuus on tavallisesti 40-60 cm ja vasta sen alla on muuttumaton pohjamaa. Kaikesta tästä

johtuen sekä arseenipitoisuudet että arseenin esiintymistapa voivat vaihdella maakerroksista toiseen. Maaperän tavoin myös pohjavesien koostumus voi vaihdella melkoisesti näytteenottoisyvyyden, maaperän tai kivilajiympäristön mukaan.

Maaperän rakenteellisten piirteiden ymmärtäminen on välttämätöntä myös kohteissa, joiden arseenipitoisuuksiin ihmisen toiminta on vaikuttanut. Peltomailla muokkauskerroksen kemiallinen koostumus on muotoutunut lannoitteiden ja torjunta-aineiden ja toisaalta huuhtoutumisen ja sadon mukana poistuvien aineiden vaikutuksesta erilaiseksi kuin alla olevan jankon kemiallinen koostumus. Teollisilla alueilla taas pitää kyetä erottamaan luontainen maaperä paikalle tuodusta täyttömaasta.

Alueelliset ja usein myös kohteelliset geokemialliset tutkimukset toteutetaan yleensä suurin piirtein tasavälistä näytteenottoverkkoa käyttäen. Tavoitteena on saavuttaa riittävä horisontaalinen kattavuus kokonaisuuden hahmottamiseksi. Usein kuitenkin vähemmälle huomiolle jää syvyysuuntaisen pitoisuusvaihtelun selvittäminen. Muutenkin näytteenoton suunnittelussa tulisi huomioida tutkittavan alueen geologiset piirteet, esimerkiksi maalajivaihtelu. Kaavaomainen lähestymistapa ei välttämättä anna oikeaa kuvaa kohteesta.

9.5.2 Antropogeeniset kohteet

Ihmisen toimintaan liittyvät, antropogeeniset kohteet ja niiden tutkimus eroavat monelta osin kohteista, joissa on luontaisesti korkeita arseenipitoisuuksia. Kaivoskohteita lukuun ottamatta niiden sijaintiin vaikuttavat enemmän infrastruktuuriin liittyvät tekijät, esimerkiksi asutus, tiestö ja muu teollisuus. Antropogeeniset kohteet ovat toiminnallisesti hyvin erilaisia tuotantoon (puunkyllästämöt, kaivokset, energian tuotanto, maatalous), yhdyskuntaan (kaatopaikat, jätevedet) tai harrastuksiin (ampumaradat) liittyviä. Kaikkien näiden toiminta edellyttää lupia ja niihin liittyy velvoitteita, joiden vuoksi niistä on olemassa tietoja erilaisissa rekistereissä. Nykyään toiminnassa olevista yksiköistä on tietoa suhteellisen hyvin. Rekistereissä ja lupa-

menettelyissä on kuitenkin kehittämistarvetta, sillä on toimintoja, joissa kemiallisia riskejä ei oteta lainkaan tai riittävän monipuolisesti huomioon. Pirkanmaalla tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi maa- ja kiviaineksenotto alueilla, joilla tiedetään olevan runsaasti luontaista arseenia kallioperässä ja maaperässä. Lupachdoissa otetaan kantaa mm. meluun, pölynsidontaan ja polttoaineiden käsittelyyn, mutta louhoksista pois johdettavien vesien laadun seuranta tai tuotantoon kelpaamattoman, mahdollisesti sulfidipitoisen maa- ja kiviaineksen käsittelyä ei erikseen säännellä.

Teollisen toiminnan jäljitettävyyttä heikkenee huomattavasti jo siirryttäessä 1960-1970 luvuille, puhumattakaan varhaisemmista ajoista. Syynä tähän ovat atk-pohjaisen arkistoinnin puuttuminen ja myös sisällöllisesti erilaiset painotukset. Monia ympäristötutkimuksen kannalta keskeisiä asioita ei ole tarvinnut dokumentoida lainkaan. Toiminnan laajuudesta, esimerkiksi käytettyjen kemikaalien määristä, tai toiminnan päätyttyä alueella tehdyistä toimenpiteistä ei ole välttämättä juurikaan tietoa. Paikallisten asukkaiden muistitiedon mukaan

esimerkiksi Ruoveden Kautun puunkyllästäminen toimi huomattavasti laajemmalla alueella kuin nykyään voisi silmämääräisesti päätellä. Osa alueesta on myös peitetty läheiseltä tietyömaalta tuoduilla massoilla, joiden alle mahdollisesti pilaantunutta maata on hautautunut.

Joissakin tapauksissa tuotantomäärät ja niihin liittyvät asiat on ymmärretty liikesalaisuuden piiriin kuuluviksi, eikä niistä ole saatavissa tietoa. Ongelmallisin tilanne on silloin, kun haitallinen aine on tuotannon sivutuote tai epäpuhtaus. Tällöin ainoa tapa arvioida syntyneitä haitta-aineen määriä on tarkastella esimerkiksi tuotantolukuja. Ylöjärven kaivoksessa otettiin viiden vuoden ajan talteen myös arseenirikaste. Tältä ajanjaksolta on raportoitu tuotantoon otetun malmin arseenipitoisuudet, mutta 18 vuoden osalta tarkkoja lukuja ei ole ja näinä vuosina jätealueelle kertyneen arseenin määrä joudutaan arvioimaan louhintamääriin ja edellä mainittuihin pitoisuuksiin nojautuen. Haverin kaivoksesta toiminnan aikaisista arseenipitoisuuksista ei ole säilynyt tietoa lainkaan. Hajaista tietoa on saatavissa vain joistakin julkaisuista ja opinnäytetöistä.

9.6 Kemialliset analyysit

Analyysimenetelmien ripeä kehitys viimeksi kuluneen 20 vuoden aikana on alentanut merkittävästi monien alkuaineiden määrittämisrajoja. Samalla analyysien luotettavuus on parantunut ja eri laboratorioiden tuottamien analyysien keskinäinen vertailu on helpottunut. Arseenin kannalta tilanne on parantunut ratkaisevasti varsinkin analysoitaessa vesinäytteitä. Esimerkiksi Geologian tutkimuskeskuksen kemian laboratorio siirtyi vuoden 1991 lopussa vesinäytteiden osalta ICP-MS/AES analytiikkaan. ICP-MS -analytiikan yleistyminen oli myötävaikuttamassa myös siihen, että WHO saattoi 1990-luvun alussa alentaa juomaveden arseenin suositusarvoa aiemmasta 50 µg/l nykyiseen 10 µg/l. Analyyttinen ongelma korostuu pienissä pitoisuuksissa ja osa vanhemmasta aineistosta on juuri korkeiden määrittämisrajojensa vuoksi jouduttu jättämään pois RAMAS-hankkeesta tehdyistä tilastollisista tarkasteluista.

Ilmeisesti takavuosien analysointeihin liittyvät vaikeudet ovat edelleen vaikuttamassa siihen, mitä alkuaineita tilattavaan analyysipakettiin sisällytetään. RAMAS-hankkeen tiedonkeruuvaiheessa törmättiin valitettavan usein alkuainevalikoimaltaan hämmästyttävän kapea-alaisiin tutkimuksiin ja selvityksiin. Tarveharkintaa on varmaankin tehty osittain kustannussyistä, mutta nykyään kattavan analyysipaketin lisäkustannus ei ole kovinkaan merkittävä verrattuna esimerkiksi näytteenoton kustannuksiin. Mainittakoon, että esimerkiksi kaatopaikkojen suotovesistä edelleenkin analysoidaan pääsääntöisesti vain ravinnekuormitukseen liittyviä komponentteja. Raskasmetalleista tai arseenista ei ole juurikaan tietoa saatavilla.

Kemialliset analyysit ovat arseeniongelman kannalta keskeisessä asemassa. Liukoinen arseeni ei suurinakaan pitoisuuksina aiheuta veden makua tai värjäytymistä, joten analysointi

on ainoa keino varmistaa juomaveden turvallisuus. Valitettavasti arseeni ei aina kuulu kaupallisesti tarjottujen talousvesianalyysipaketien alkuainevalikoimaan, vaan se edellyttää lisätilausta ja huomattavaa lisämaksua. Ainakin Tampereen kaupunki on ollut aktiivinen tässä asiassa ja on kustantanut yksityisille kaivonomaistajille arseenianalyysin. Samalla kaupunki on myös saanut arseenin pitoisuustiedot käyttöönsä. Pirkanmaalla on joukko porakaivoja, joista on otettu vuosien mittaan useita näytteitä. Niitä tarkastelemalla havaittiin joissakin kaivoissa huomattavia pitoisuusmuutoksia. Arseenipitoisuudet olivat nousseet tai laskeneet ja usein nämä muutokset voitiin kytkeä veden käyttömäärien muutoksiin. Veden arseenipitoisuus on riippuvainen siitä, minkälaista kallioperässä vettä johtavat raot ja ruhjeet ovat. Lisääntynyt pumppaus voi aiheuttaa sen, että kalliossa oleva vesivarasto ehtyy ja täydennys tulee jostakin muualta. Tämän perusteella on suositeltavaa toistaa vesianalyysi aika ajoin, ja ainakin silloin, kun käyttömäärissä tapahtuu muutoksia.

Toinen analytiikkaan liittyvä havainto, joka ei yleensä liity käyttövesiin, oli arseenin esiintyminen sekä liukoisena että kiintoainekseen (orgaaninen aines, kolloidinen rauta, mineraaliaines) sitoutuneena. Joissakin analysoiduissa näytteissä kiintoainekseen sitoutunut osuus oli jopa moninkertainen verrattuna liukoiseen arseeniin. Ympäristöanalytiikan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että kiintoainespitoisia näytteitä analysoidessa pitäisi tehdä analyysit sekä suodattetuista että suodattamattomista näytteistä. Myös kaivovesissä, joissa kaliumpermanganaattiluku (KMnO_4 -luku) on korkea, tulisi analysoida arseenin ja metallien kokonaispitoisuudet.

Yhteiskunnan tarvitseman ympäristötutkimuksen kannalta olisi eduksi, että ainakin julkisen sektorin keskeiset tiedonkerääjät, viranomaiset ja tutkimuslaitokset, pyrkisivät tutkimuksissaan analytiikan osalta mahdollisimman kattaviin selvityksiin, vaikka sen hetkiset tavoitteet eivät sitä vaatisikaan. Näin menetellen voi myös tulla esille merkittäviä asioita, joita ei ennakolta osattu odottaa.

9.7 Täydentävät tutkimukset

Hankkeen aikana tehtiin jonkin verran täydentävää porakaivovesien näytteenottoa, jolla pyrittiin täyttämään havaittuja alueellisia tietoaukkoja. Suurin osa kolmivuotisen hankkeen aikana tehdystä lisätutkimuksesta tarkasteli kuitenkin arseenin esiintymistapaa, kulkeutumista, vaikutuksia tai siirtymistä ravintoketjussa. Näitä tietoja tarvittiin tukemaan riskinarviointia ja riskien hallintaa. Merkittävä osa tuotetusta tiedosta oli täysin uutta Pirkanmaalla ja osittain myös Suomessa.

Rajallisista resursseista ja hankkeen tiukasta aikataulusta johtuen jouduttiin näytteiden ja tutkimuskohteiden määrää rajoittamaan, mutta huolellisella kohteiden valinnalla ja etukäteissuunnittelulla pyrittiin varmistamaan, että tuotettu tieto oli edustavaa. Esimerkiksi maatilolta otettujen näytteiden lukumäärä ei ollut kovin suuri, mutta näytteenotto oli kuitenkin pyrittävä keskittämään alueille, joilla moreenien arseenipitoisuudet olivat tavanomaista korkeampia.

Jokainen näyte oli kokoomanäyte yhden aarin (10 x 10 m) alueelta, mikä lisäsi näytteiden kattavuutta. Lisäksi kasvi- ja maanäytteenoton samanaikaisuus lisäsi näytteiden välistä vertailtavuutta. Näytteenotto viljelymaiden eri kerroksista mahdollisti sen, että voitiin selvittää kyseisen näytepisteen geologista taustapitoisuutta ja ihmisen toiminnan vaikutuksia arseenin rikastumiseen viljelymaahan. Peltonäytteille otettiin vertailunäytteet samasta maalajista metsäalueilta, jolloin voitiin selvittää viljelyn vaikutus maaperään.

Tärkeitä tutkimuslinjoja RAMAS-hankkeessa olivat:

- Arseenin hapetusasteen määrittäminen pohjavesistä (spesiaatio)
- Arseenin esiintymistapa ja jakauma moreenissa
- Arseenin kulkeutumisen mallinnus pintavesissä (kaivosalue)
- Arseenipitoisuuksien jakauma järvisedi-

- menttiprofileissa kaivostoiminnan vaikutusten havaitsemiseksi (Ylöjärven ja Haverin kaivosalueet)
 - Pölyn ja siinä olevan arseenin pitoisuus Ylöjärven kaivoksen rikastushiekka-alueen ilmassa
 - Haverin kaivoksen rikastushiekka-alueen arseenipitoisuuksien inventointi
 - Arseenin poistokokeet pohja- ja pintavesistä
 - Arseeni peltomaassa ja sadoissa valituilla testitiloilla
 - Peltomaan ja metsämaan arseenipitoisuuksien vertailu
 - Arseeni marjoissa, sienissä ja koivun mahlassa
- Arseenin toksisuus luontaisissa ja arseenilla pilaantuneissa maissa (ekotoksikologia)
 - Virtsan arseenianalyysit (yhteistyössä Oulun työterveyslaitoksen kanssa)
 - Syöpäsairauksien esiintymisen alueelliset vertailut (yhteistyössä Kansanterveyslaitoksen kanssa)

On toki selvää, että kerätty rajallinen aineisto ei tarjoa aukotonta näkökulmaa näihin ilmiöihin, vaan se on nähtävä tutkimuksellisenä päänavauksena. Monella sektorilla suosittellemmekin jatkotutkimuksia.

9.8 Laboratoriotestit

Tutkimusaineiston laadun ja tiedon hyödyntämisen vuoksi käytettiin kaikissa vaiheissa kansainvälisten tai kotimaisten standardien mukaisia menetelmiä, tai niiden puuttuessa muuten vakiintuneita menettelytapoja. Tuoreessa valtioneuvoston asetuksessa (Vna 2007/214, 01.03.2007) maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista vahvistetaan jo vallitseva käytäntö määräämällä, että haitallisten aineiden tutkimusten tulee perustua standardeihin tai niitä luotettavuudeltaan vastaaviin menetelmiin. Arseenin kokonaispitoisuudet maanäytteissä määritettiin käyttäen kansainvälisen standardin (ISO 11466) mukaista kuningasvesiuuttoa (*aqua regia*), kasveille käytökelpoisen osuuden määrittäminen tapahtui Suomessa vakiintuneen käytännön mukaisesti happamalla (pH 4,65) ammoniumasetaatti-EDTA uutolla, pilaantuneiden maiden haitta-aineiden liukoisuutta testattiin Eurooppalaisen standardin (EN-12457-3) mukaisesti ja ekotoksisuutta standardien ISO SFS-EN-11348-3, ISO 17126, ISO 11268 ja ISO 16387 mukaisesti ja niin edelleen. Kaikki käytetyt näytteenotto-, näytteenkäsittely ja analysointimenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti RAMAS-hankkeen julkaisemissa raporteissa (liite). Menetelmien yhtenäistämiseksi ja aineistojen vertailukelpoisuuden varmistamiseksi käytiin jo hankkeen

alkuvaiheessa erilaisissa työryhmissä yksityiskohtaisesti lävitse hankkeeseen osallistuvien laboratorioden näytteenkäsittelyyn ja analytiikkaan liittyvät käytännöt.

Erityisesti biologisia menetelmiä käytettäessä on niiden soveltuvuus ja tarvittava testien ja testilajien määrä arvioitava kussakin tapauksessa erikseen. Vaikutukset tulisi tutkia käyttäen sekä mikrobeja, kasveja että eläimiä. Lisäksi tulisi tutkia haitta-aineiden liukoisuutta ja kertyvyyttä kasveihin ja eläimiin. Tutkimusta tai selvitystä suunniteltaessa voi olla mahdollista päättää, mitä testieliöitä voidaan käyttää mahdollisen myrkyllisyyden havaitsemiseksi. Näytteen fysikaaliset tai kemialliset ominaisuudet, esimerkiksi pölymäinen koostumus tai liian alhainen pH, voivat estää tiettyjen eliöiden käytön. Tutkimamme Ylöjärven kaivoksen rikastushiekka osoittautui soveltumattomaksi sellaisenaan maaperäeläinkokeisiin. Vastaavissa tapauksissa testejä tekevän tahon tulisi kyetä korvaamaan haluttu tutkimus jollain toisella menetelmällä, josta saadaan käyttökelpoista tietoa. Käytettävissä olevien testien määrän tulisi olla riittävän suuri, jotta tarkoituksenmukainen menetelmävalikoima voidaan toteuttaa.

Ekotoksikologisten testien tulosten tulkintaa helpottaisi, jos olisi enemmän vertailukelpoista tietoa saatavilla Suomen maaperässä luontai-

sesti esiintyvien, mutta haitallisiksi tiedettyjen aineiden vaikutuksista laboratorion eliöihin. Laboratoriossa valmistettujen keinotekoisesti kemikaalien avulla “saastutettujen” maanäyteiden avulla voidaan tutkia yksittäisten aineiden vaikutuksia, mutta tällaiset näytteet eivät vastaa ominaisuuksiltaan luontaisesti suurien pitoisuuksia sisältäviä maita tai edes ihmistoininnan kautta kauan sitten pilaantuneita maita.

Maaperän pilaantumistapauksissa on yleensä kysymys monien haitta-aineiden aiheuttamasta ongelmasta. Toksisuustesteissä tulevat esiin kaikkien haittatekijöiden yhteisvaikutukset. Esimerkiksi tämän hankkeen puitteissa tutkitun puunkyllästämisalueen näytteiden toksiset vaikutukset olivat selvästi havaittavia. Ottaen huomioon kuparin liukoisuuden on todennäköistä, että syynä olivat sekä arseeni että kupari. Pelkästään arseenin aiheuttamiksi pääteltiin kiviaineksen rikastushiekkan aiheuttamat vaikutukset kasvien kasvuun. Koejärjestelyillä varmistettiin, ettei ravinteiden vähyys voinut olla syynä kasvun heikkenemiseen.

Arseenin liukoisuutta tutkittiin standardisoidulla kaksivaiheisella ravistelutestillä (EN-12457-3), jolla pyrittiin arvioimaan arseenin

liukenemista pidemmällä aikavälillä eri neste/kiinteä-seossuhteissa (L/S 2 ja 8) kahdella eri ravisteluajalla (6 h ja 18 h). On laskettu, että esimerkiksi L/S-suhte 2 saavutetaan noin kymmenessä vuodessa, yhden metrin vahvuudessa, tiheydeltään 1t/m^3 jättemateriaalikerroksessa, jos materiaalin läpi suotautuu vettä noin 200 mm/a). Testi on kehitetty varsinaisesti jätteiden laadunvalvontaan ja sijoituskelpoisuuden arviointiin, mutta sitä käytetään myös maanäytteille. Tässä menetelmässä uuttotapahtuman pH-alueen määrää näytteen alkuperäinen pH-arvo. Uuttoliuksena käytetään deionisoitua vettä, jonka pH-arvoa ei testissä säädetä. Arseenin liukoisuus yleensä lisääntyy neutraalissa tai emäksisessä ympäristössä. Koska tutkitut näytteet olivat happamia, ei arseenia liuennut suuria määriä. Tarkemman liukoisuuskäyttäytymisen arvioimiseksi olisi eduksi käyttää liukoisuusmenetelmänä myös pH-riippuvuuden tarkasteluun tarkoitettuja testejä (esim. jätteiden testauksessa EN 14497). Tällöin aineiden liukoisuus myös eri pH-ympäristössä kuten emäksisissä olosuhteissa voitaisiin selvittää. Tällaista menetelmästandardia ollaankin parhaillaan laatimassa myös maanäytteille.

9.9 Riskinarviointi – ja hallintaprosessi

Ekologisessa riskinarvioinnissa käytettiin portaittaista menettelytapaa, mikä on yleinen ja kansainvälisesti suositeltu käytäntö. Ajatuksena on tässä edetä ns. ”pahin mahdollinen tapaus”-tyyppisestä arvioinnista realistisempaan. Ensimmäisessä vaiheessa arviointi perustui pitoisuuksien vertailuun vaikutusperusteisiin ekologisiin viitearvoihin. Tämä menettely vastaa seurantatason arviointia, joka johtaa käytännössä yleensä riskien yliarviointiin ja siten ns. konservatiivisiin riskiarvoihin. Seuraavassa vaiheessa käytettiin laskennallisia kertymis- ja altistusmalleja. Viimeisessä vaiheessa käytettiin sekä kertymis- ja altistusmalleja että ekotoksisuustestejä. Lisäksi viimeisessä arviointivaiheessa määritettiin käytettyjen lukuarvojen luontaisesti vaihtelusta aiheutuva epävarmuus käyttäen tilastollista laskentaohjelmaa (Crystal Ball©).

Mitä realistisempaan ja tarkempaan tulokseen pyritään sitä enemmän tarvitaan lähtötietoja. Tämän vuoksi vaiheesta toiseen siirryttäessä pyritään karsimaan kaikki edellisessä vaiheessa riskien kannalta epäolevaisiksi osoittautuneet tekijät (esim. eliöt, joihin ei viitearvovertailun perusteella arvioituna kohdistu merkittävää riskiä) ja/tai alueet. Portaittainen menettely osoittautui tässäkin käyttökelpoiseksi, sillä sen avulla voitiin mm. tunnistaa eliöt, joihin tarkennetussa arvioinnissa tulisi keskittyä. Samoin voitiin jättää tietyt tutkimusalueet (peltomaat) tarkemman arvioinnin ulkopuolelle.

Ekologisessa riskinarvioinnissa käytetyt kertymistä ja altistumista kuvaavat laskentamallit perustuivat useista eri lähteistä ja eri maista koottuihin tietoihin ja ne olivat käyneet läpi validointimenettelyn. Näitä voidaan siten pitää

huomattavasti luotettavampina kuin yksittäisissä kirjallisuuslähteissä esitettyjä, tietyissä ympäristöolosuhteissa kokeellisen tiedon pohjalta kehitettyjä malleja. Mallien soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin ei tutkittu, sillä tämä olisi edellyttänyt eliöstötutkimuksia. Lieron osalta tehtiin vertailu ekotoksisuustestin aikana kerittyneiden pitoisuuksien ja laskentamallin avulla määritettyjen pitoisuuksien välillä. Tulokset osoittautuivat suuruusluokaltaan samoiksi, joten mallin voitiin todeta näiltä osin ennustaneen hyvin arseenin siirtymistä maaperästä lieroon. Rinnakkaisia tuloksia oli kuitenkin käytettävissä niin vähän, ettei johtopäätös ole yleistettävissä.

Ekologisia riskejä kuvaavien riskilukujen tuottamisessa käytettiin alun perin Hollannissa pilaantuneiden maa-alueiden arvioinnissa käyttöön otetun ns. Triad-menetelyn mukaisia laskentamenetelmiä. Tässä menettelyssä eri tutkimusmenetelmiä käyttäen saadut menetelmäkohtaiset riskiluvut yhdistetään kokonaisriskiluvuiksi. Käytännössä täydellinen Triad-menetely edellyttäisi myös tuloksia ekologisista tutkimuksista, joita ei RAMAS-hankkeessa kuitenkaan tehty lähinnä resurssien puutteen vuoksi. Kuitenkin jo yksinomaan kemiallisiin tutkimuksiin ja malleihin perustuvia riskilukuja ja ekotoksisuustestien tuloksista tuotettuja riskilukuja vertaamalla saatiin realistisempi kuva riskeistä ja pystyttiin tunnistamaan alueet, joissa ekologiset riskit ovat merkittävimmät. Triad-menetely onkin suositeltava, sillä se antaa tuloksena yksinkertaisia, helposti keskenään vertailtavia riskilukuja. Johtopäätösten teossa on kuitenkin tarpeen ottaa huomioon se, mistä riskiluvut muodostuvat. Esimerkiksi kemiallisiin tutkimukseen perustuvassa laskennallisessa arvioinnissa pitoisuuksina käytetään yleensä kokonaispitoisuuksia, etenkin jos ei ole käytössä tietoa biosaatavan haitta-aineen osuudesta. Tämä johtaa käytännössä riskejä yliarvioiviin riskilukuihin. Tulosten tarkastelussa näille tulisikin antaa pienempi paino suhteessa ekotoksisuustestien tulosten tai ekologisten tutkimusten pohjalta tuotettuihin riskilukuihin.

Ekologinen riskiarviointi toteutettiin tekeväällä kohdekohtaiset riskinarvioinnit RAMAS-hankkeen muissa työvaiheissa tunnistetuille,

keskimääräistä suurempia arseenipitoisuuksia sisältäville tyyppialueille (kaivos, puunkyllästäminen, luontaisen arseenin alue). Tällaisella menettelyllä ei käytännössä saada aluetason tietoa riskeistä. Aluetason arviointi olisi edellyttänyt runsaasti lisäaineistoa (ks. luku 9.3). On selvää, että kyseisenlaisen aineiston tuottaminen on sinällään aikaa vievä oma hankkeensa. Alueellisen näkökulman luomiseksi paikkatiedot suojelluista ja tärkeistä luontokohteista yhdistettiin karttatyökalua käyttäen mahdollisia arseenilähteitä esittäviin karttatietoihin. Tämä osoittautui käyttökelpoiseksi tavaksi ilmentää mahdollisia aluetason ekologisia riskejä. Käytännössä ekologisten riskien hallintaa ei aluetasolla lähestytty yhden haitta-aineen kuten arseenin näkökulmasta, kansainvälisellä ja valtakunnallisella tasolla kylläkin (haitta-ainekohtaisten säädösten ja raja- ym. viitearvojen kautta). Alueellisen tason arvioinnissa ja –hallinnassa pyritäänkin yleensä ottamaan huomioon kaikki eliöihin kohdistuvat haittatekijät.

Terveysriskien arviointi perustui laskennalliseen altistuksen arviointiin, pienimuotoiseen biomonitorointitutkimukseen ja pienepidemiologiseen selvitykseen (eri syöpätyyppien esiintymisen tarkastelu). Tavoitteena oli, että käyttämällä useita rinnakkaisia menetelmiä saataisiin parempi kuva riskien suuruudesta ja todennäköisyydestä. Terveysriskien arviointi tehtiin myös kahdessa eri vaiheessa siten, että ensimmäisessä vaiheessa hyödynnettiin ainoastaan ennen RAMAS-hanketta koottua aineistoa. Toisessa vaiheessa tätä aineistoa täydennettiin RAMAS-hankkeessa tuotetulla lisätiedolla. Näin päästiin arvioimaan, mitkä tiedot olivat kriittisiä riskinarvioinnin tulosten kannalta ja mitkä tiedot olivat tarpeellisia mahdollisimman realististen riskiarvojen tuottamiseksi. Menetelmänä pienepidemiologinen tutkimus ei sellaisenaan sovellu nykyisten tai tulevien terveysriskien arviointiin, vaan tulokset tulisi yhdistää tietoihin nykyisestä/tulevasta altistumisesta. Tutkimusalueen laajuuden ja rekisteröinnissä ilmenneiden puutteiden (porakaivojen määräästä ja käytöstä ei ole tietoja saatavilla) vuoksi RAMAS-hankkeessa ei ollut mahdollista koota tietoa todellisesta altistumisesta. Eri terveysriskimenetelmien tulosten yhdistäminen onkin

haasteellista johtuen mm. tästä menetelmien erilaisesta aikajänteestä. Pienepidemiologinen tutkimus antaa kuitenkin viitteitä siitä, millä pitoisuustasoilla erilaisia syöpävaikutuksia voi ilmetä. Biomonitorointi osoittautui hyväksi menetelmäksi altistumisen todentamisessa, sillä tutkimuksessa saatiin huomattava positiivinen korrelaatio virtsan arseenipitoisuuden ja porakaivoveden arseenipitoisuuden välille. Hiuksien ja kynsien arseenipitoisuuden tutkiminen olisi antanut kuvaa pitkäaikaisesta altistumisesta, mutta tällaisen tutkimuksen toteutus ei ollut resurssien puutteen vuoksi mahdollista.

Ympäristön arseeniriskien hallinnan kehitystarpeita lähestyttiin aluksi hyvin laajalla määritelmällä mahdollisista riskinhallinnan keinoista. Näin toimittiin, koska RAMAS-hankkeessa merkittävimpien arseenilähteiden tunnistaminen oli kesken, eikä mallikohteiden riskinarviointia oltu vielä toteutettu. Tuloksena on yleispiirteinen, mutta erittäin monipuolinen katsaus riskinhallinnan keinoista kolmesta eri näkökulmasta: tuotteet ja raaka-aineet, pilaavat toiminnot sekä ympäristön laatu. Katsaus soveltuu

laajaan käyttöön myös Pirkanmaan ulkopuolella. Säädökset ja normit vanhenevat nopeasti ja siksi ajankohtaisen tiedon hankkiminen oli työllästä myös RAMAS-hankkeessa. Katsaukseen haettiin luotettavuutta asiantuntijatarkastuksilla ja –haastatteluilla.

Paikkatietoaineistojen hyödyntämistä alueellisessa ympäristö- ja terveysriskien arvioinnissa voisi edelleen kehittää. RAMAS-hankkeessa tuotetut kartat havainnollistavat riskien alueellista jakautumista mm. suhteessa väestön keskittymiin ja arvokkaisiin luontokohteisiin. Myös aineistojen kattavuutta ja laatua on tarpeen parantaa. Esimerkiksi vesihuollon paikkatietojen kattavuus, ajanmukaisuus ja paikannuksen tarkkuus on ollut puutteellista Pirkanmaalla kuten muissakin maakunnissa. RAMAS-hankkeen aikana tietoja päivitettiin osin muihinkin tarkoituksiin. Hankkeessa kokeiluna tuotettu aineisto Pirkanmaan kylien liittymisestä vesihuoltoverkostoon tuotetaan samaan tapaan kaikista Suomen kylistä, mutta systemaattisemmin ja osana valtakunnallista yhdyskuntarakenteen tietojärjestelmän kehityshanketta.