

Pohjois-Savon entiset puunkyllästämöt

**Vesannon ja Kekkolan kyllästämöiden maaperä- ja
kasvillisuustutkimusten tulokset ja yhteenveto kaikkien
kyllästämöalueiden nykytilasta**

Veli-Matti Vallinkoski, Jouko Mannonen ja Kristina Servomaa



Pohjois-Savon entiset puunkyllästämöt

Vesannon ja Kekkolan kyllästämöiden maaperä- ja kasvillisuustutkimusten tulokset ja yhteenveto kaikkien kyllästämöalueiden nykytilasta

Veli-Matti Vallinkoski, Jouko Mannonen ja Kristina Servomaa



POHJOIS-SAVON
YMPÄRISTÖKESKUS

RAPORTTEJA 3 | 2006
Pohjois-Savon ympäristökeskus

Taitto: Leena Tiukka
Kansikuva: Savon Voima Oy:n kuva-arkisto
Sisäsivujen kuvat: Savon Voima Oy:n kuva-arkisto, Veli-Matti Vallinkoski

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Kainuun Sanomat Oy, Kajaani 2006

ISBN 952-11-2306-0 (nid.)
ISBN 952-11-2307-9 (PDF)
ISSN 1796-1858 (pain.)
ISSN 1796-1866 (verkkokj.)

ESIPUHE

Tässä työssä tutkittiin kahden entisen suolakyllästämön maaperän pilaantuneisuutta vuosikymmenten kuluttua kyllästämötoiminnan päättymisestä. Tavoitteena oli selvittää puunsuojauksessa käytettyjen CCA-kyllästeiden tehoaineiden - arseenin, kromin ja kuparin - kokonaispitoisuuksia ja alueellista jakautumista maaperässä. Toisena tavoitteena oli kartoittaa entisille kyllästämöille luontaisen sukkession myötä muodostuvaa kasvilajistoa ja kasvillisuuden runsautta. Kasvillisuuskartoitukset tehtiin ruutumenetelmällä ja ruutujen sijainti yhdennettiin maaperänäytteenoton kanssa pyrkimyksenä arvioida maaperän haitta-aineiden ja kasvillisuuden mahdollista vuorovaikutusta. Molemmilla kohteilla vastaavanlainen kartoitus tehtiin myös maaperältään puhtaalle vertailualueelle. Kolmantena tavoitteena oli käydä läpi kaikkien Pohjois-Savossa sijainneiden kyllästämöiden taustatiedot sekä tehdyt selvitykset ja arvioiden kohdealueiden maaperän pilaantuneisuutta uusimpien arviointikriteerien mukaisesti.

Tutkimuksen maastotyöt ja raportointi on toteutettu ympäristöministeriön ympäristönhoitotöiden hankerahoituksella. Raporttia kommentoivat Jorma Lappalainen ja Viivi Hassinen Pohjois-Savon ympäristökeskuksesta sekä Arvi Kääriäinen Savon Voima Oy:stä. Aineiston keruussa avusti Mikko Laakso ja raportin taittoi Leena Tiukka Pohjois-Savon ympäristökeskuksesta. Selvitys on osa Pohjois-Savon ympäristökeskuksen valtakunnallisen erikoistumisalueen (Haitalliset aineet ja bioteknologia) tutkimuskokonaisuutta, jossa selvitetään fytoimediaation käyttömahdollisuuksia raskasmetalleilla lievästi pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmänä.

Kuopiossa toukokuussa 2006

Tekijät

SISÄLLYS

1 Johdanto	7
1.1 Maaperän pilaantuminen ja kunnostus	7
1.2 Puun lahosuojaus	8
1.3 CCA-kyllästeiden tehoaineet.....	10
1.4 Fytoremediaatio kunnostusmenetelmänä	12
2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät.....	13
2.1 Vesannon kyllästämön yleiskuvaus.....	13
2.2 Kekkolan kyllästämö yleiskuvaus	14
2.3 Maaperänäytteenotto ja analyysit.....	15
2.4 Kasvillisuuskartoitukset	16
2.5 Aineistojen käsittely ja analyysit.....	16
3 Tulokset	17
3.1 Arseeni- ja raskasmetallipitoisuudet.....	17
Vesanto.....	17
Kekkola.....	20
3.2 Kasvillisuus.....	21
Vesanto.....	21
Kekkola.....	23
4 Tulosten tarkastelu	26
4.1 Arseeni- ja raskasmetallipitoisuudet.....	26
4.2 Kasvillisuus.....	27
5 Pohjois-Savon entisten puunkyllästämöiden nykytila	28
1. Mikan kyllästämö, Siilinjärvi.....	28
2. Konnuslahden kyllästämö, Leppävirta.....	30
3. Stora Enso Oyj:n kyllästämö, Varkaus.....	30
4. Tehdaskadun kyllästämö, Kuopio.....	30
5. Kerkonkosken kyllästämö, Rautalampi	31
6. Riihirannan kyllästämö, Leppävirta	31
7. Kohoniemen kyllästämö, Pielavesi.....	32
8. Säviän kyllästämö, Pielavesi	32
9. Jokilahden kyllästämö, Nilsiä.....	33
10. Taskisen saha, Varkaus.....	34
11. Liistelahden kyllästämö, Tuusniemi	34
12. Tuusjärven kyllästämö, Tuusniemi	35
13. Jauhojärven kyllästämö, Suonenjoki.....	35
14. Niiralan kyllästämö, Kuopio	36
15. Savilahden kyllästämö, Kuopio.....	36
16. Pellesmäen kyllästämö, Kuopio.....	36
17. Meijerinrannan kyllästämö, Kiuruvesi.....	36
18. Pikonniemen kyllästämö, Juankoski	36
6 Yhteenveto	37
Lähteet.....	39
Liite I	41
Kuvailulehti	42

1 Johdanto

1.1

Maaperän pilaantuminen ja kunnostus

Pilaantuneiden maiden järjestelmällinen kartoittaminen aloitettiin Suomessa 1980-luvulla saastuneiden maa-alueiden selvitysprojektin (SAMASE-projekti) myötä. Projektissa kartoitettiin noin 10 000 pilaantuneeksi epäiltyä kohdetta ja arvioiden mukaan yksityiskohtaisemmalla selvitystyöllä kokonaismäärä olisi saattanut olla jopa 25 000 kohdetta (Puolanne ym. 1994). Myöhemmin tarkentuneiden tietojen mukaan Suomessa arvioidaan olevan nykyisin yli 20 000 aluetta, joilla on ollut tai on yhä maaperän pilaantumista aiheuttavaa toimintaa (Sorvari & Antikainen 2004). Eniten pilaantumista ovat aiheuttaneet metalliteollisuus, kaatopaikat, polttoaineen jakelu, autokorjaamot, ampumaradat, sahat ja suolakyllästämöt (Tarvainen ym. 2004).

Viimeisten viidentoista vuoden aikana pilaantuneiden maiden kunnostusmäärä on ollut 150-400 kohdetta vuodessa ja arvioidut kokonaiskustannukset 200 miljoonan euron luokkaa (Häikiö ym. 2000, Sorvari & Antikainen ym. 2004). Kunnostustarve on lisääntynyt ja tällä hetkellä vuosittainen kunnostusmäärä on noin 400 kohdetta ja kunnostuksiin käytetään vuosittain 50-70 miljoonaa euroa (Sorvari 2005). Ensisijaisia kunnostuskohteita ovat olleet tärkeiden pohjavesialueiden läheisyydessä sijaitsevat alueet ja toisaalta kohteet, joiden maankäyttöä suunnataan tulevaisuudessa uusiin käyttömuotoihin (Markkanen 1998). Mittavia kunnostustöitä on tehty mm. kaatopaikoilla, ampumaradoilla ja vanhoilla saha-alueilla. Lukumääräisesti runsaimmin on toteutettu kuitenkin vanhojen huoltoasematonttien kunnostuksia (Tarvainen

2004). Monissa tapauksissa kunnostuksessa on käytetty ex-situ-menetelmiä, mikä useimmissa tapauksissa tarkoittaa pilaantuneiden maamassojen siirtoa muualle jatkokäsiteltäväksi. Massanvaihtoa on käytetty noin 90 %:ssa kunnostuksista ja loppusijoittamista kaatopaikalle noin 70 %:ssa tapauksista (Sorvari 2005). Siirrettyjen massojen jatkokäsittelymenetelminä on käytetty mm. kapselointia, kiinteytystä ja polttoa. Orgaanisten haitta-aineiden kohdalla on hyödynnetty myös kompostointia ja muita mikrobiologisia menetelmiä.

Päätökset kunnostushankkeen toteutumisesta perustuvat pilaantuneesta alueesta aiheutuviin terveysriskeihin, maankäyttötarpeessa tapahtuviin muutoksiin ja kunnostuksesta aiheutuviin kustannuksiin (Sorvari & Antikainen ym. 2004). Ympäristö- ja terveysriskejä sekä kunnostustarvetta on tarkasteltu yleensä ympäristöministeriön asettaman SAMASE-työryhmän laatimien raja- ja ohjearvojen mukaisesti (Puolanne ym. 1994). Tärkeimpien pilaantumista aiheuttavien aineiden osalta pitoisuusarvoja on myöhemmin päivitetty (esim. Assmuth 1997). Edellä mainituissa selvityksissä ohjearvot on annettu lähes 200 epäorgaaniselle ja orgaaniselle aineella, perustuen pääosin Hollannissa käytössä oleviin maaperän laatuksiteereihin. Taulukossa 1 (sivulla 11) on esitetty em. raja- ja ohjearvot yleisimmin maaperän pilaantumista aiheuttaville raskasmetalleille. Ohjearvot ovat maaperän ekologisen monimuotoisuuden turvaavia pitoisuusrajoja ja niiden ylittyminen antaa viitteitä riskeistä. Raja-arvojen ylittyminen puolestaan edellyttää riskien tarkempaa arviointi ja yleensä niiden vähentämistä.

Maaperän pilaantumisen ja kunnostustarpeen arviointi tulee jatkossa perustumaan valtioneuvoston asetukseen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (jatkossa PIMA-asetusluonnos) ja tätä täydentävään sovellusoppaa-

seen. Vuoden 2006 aikana voimaan astuvan asetuksen myötä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa on otettava huomioon mm. haitta-aineiden pitoisuudet, kokonaismäärät ja luontaiset taustapitoisuudet. Lisäksi tulee selvittää pilaantuneeksi epäillyn alueen maaperä ja pohjavesiolosuhteen haitallisen aineiden leviämisreitien kartoittamiseksi. Altistumistarkasteluissa on huomioitava sekä lyhyen että pitkän ajan kuluessa aiheutuvat riskit niin ympäristölle kuin ihmisten terveydellekin. Asetus korostaa lisäksi pilaantuneen alueen nykyisten ja tulevien käyttömuotojen tapauskohtaista huomioimista arvioitaessa kohteen puhdistustarvetta.

Uuden PIMA-asetuksen myötä ympäristöriskin ja kunnostustarpeen arvioinnissa käytettävät haitallisten aineiden pitoisuusrajat muuttuvat. Jatkossa tullaan käyttämään kolmiportaista luokittelua (tavoitearvo – alempi ohjearvo – ylempi ohjearvo) ja raja-arvoja sovelletaan tapauskohtaisesti huomioiden muun muassa taustapitoisuuksien luontainen vaihtelu. SAMASE-arvojen kaavamaisen soveltamisen on havaittu johtaneen eräissä tapauksissa ylimitoitettuihin kunnostuksiin ja uudessa PIMA-asetuksessa esitettävät pitoisuusrajat poikkeavat useiden aineiden kohdalla aikaisemmin käytetyistä ohjeellisista arvoista (kts. taulukko 1). Asetusluonnoksen 3§ mukaan maaperää pidetään pilaantuneena, mikäli teollisuus-, varasto- tai liikennealueen maaperässä yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus ylittää säädetyn ylempään ohjearvon. Muualla kuin edellä mainittuihin maankäyttömuotoihin varatuilla alueilla maaperä on pilaantunutta, mikäli yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus ylittää säädetyn alemman ohjearvon.

Suomessa ei ole erillistä pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamista koskevaa lakia. Lainsäädännöllisesti pilaantuneiden maiden kunnostukset perustuvat pääosin jätelakiin (JäteL 1072/1993), jätehuoltolakiin (JHL 673/1978) ja ympäristönsuojelulakiin (YSL 86/2000). Lakien soveltamiseen vaikuttaa muun muassa pilaantumista aiheuttaneen toiminnan ajankohta. Edellä mainittujen lakien mukaisesti pilaantuneen maan kunnostusvastuu on ensisijaisesti pilaajalla (YSL 75 §) ja toissijaisesti alueen haltijalla (YSL 75.2 §). Ennen jätehuoltolain voimaantuloa tapahtuneissa pilaantumisissa pilaajaa asetetaan harvoin puhdistusvastuuseen, etenkin jos pilaaja ei ole alueen nykyinen omistaja tai haltija. Tällöin puhdistusvastuu siirtyy kunnalle, mutta käytännössä ennen jätehuoltolain voimaantuloa pilaantuneita alueita ei voida velvoittaa kunnan puhdistettaviksi. Esimerkiksi tällaisissa tapauksissa voi valtio osallistua kunnostushankkeeseen teettämällä työn niin sanottuna jätehuoltotyönä.

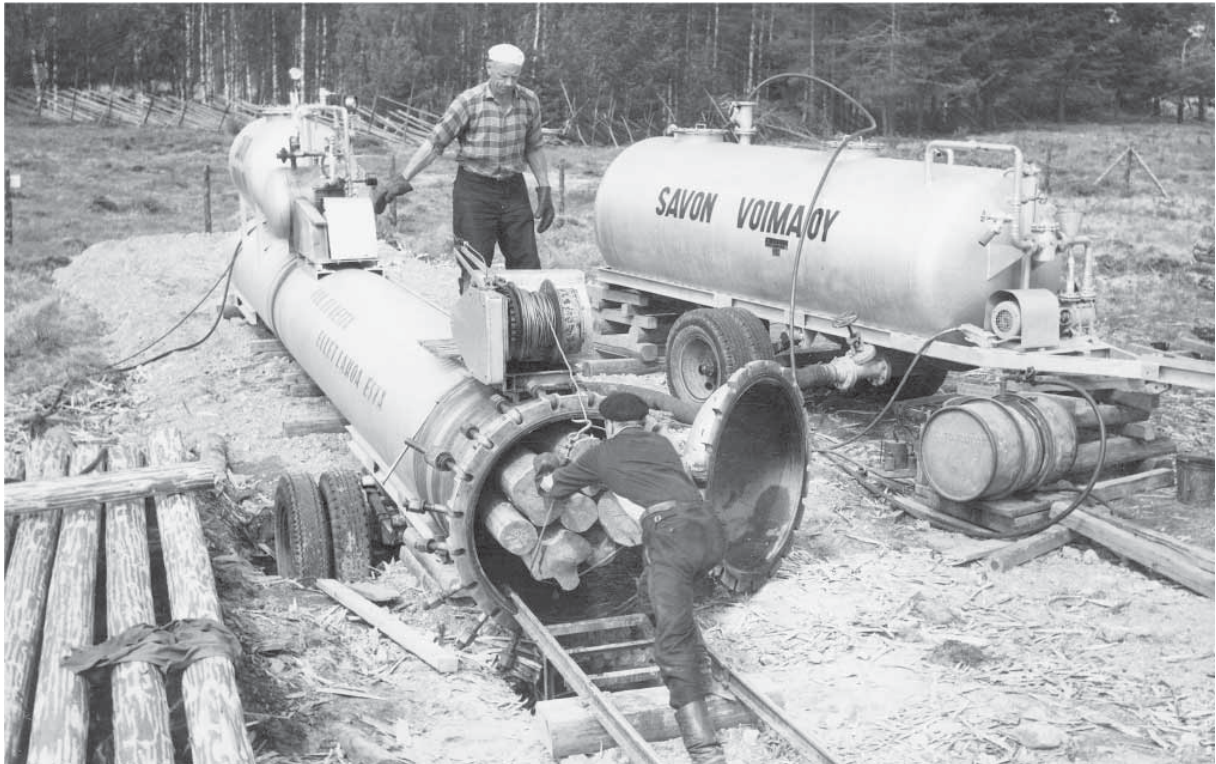
Pilaantuneen maa-alueen puhdistamiseen ja maa-ainesten käsittelyyn vaaditaan ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa tai ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle. Valtaosa (95-99%) pilaantuneiden maiden kunnostushankkeista päätetään nykyään ilmoitusmenettelyn kautta (Sorvari & Antikainen, 2004). Pilaantuneen maa-aineksen käsittely, loppusijoitus ja mahdollinen hyötykäyttö vaativat lisäksi oman päätöksensä.

1.2

Puun lahosuojaus

Puutavaran lahosuojaukseen vaativissa käyttökohteissa kosteuden, homeen sekä bakteerien aiheuttamalta vaurioitumiselta on käytetty Suomessa vuosikymmenten ajan erilaisia kyllästysaineita. Suolakyllästeitä puunsuojauksessa tiedetään käytetyn ainakin 1940-luvun alusta saakka ja vielä 1980-luvulla noin viidenneksellä sahoista oli oma kyllästämö (Linqvist ym. 1985). Sahoja suuremman joukon omana toiminta-aikanaan muodostivat kuitenkin niin sanotut siirrettävät painekyllästyslaitteistot, joiden toiminta-aika yhdellä paikalla saattoi olla suhteellisen lyhyt, mutta toimintapaikkojen kokonaismäärä sen sijaan suuri. Monesti siirrettävät laitteistot toimivat ympäristöltään herkillä alueilla, kuten vesistöjen rannoilla ja pohjavesialueilla tai niiden lähistöllä.

Painekyllästys (puserruskyllästys) on yleisnimitys niille menetelmille, joissa puutavaraa käsiteltiin terässylinterissä ali- ja ylipainetta käyttäen. Mikäli sylinterissä ei ollut vuotoja, ei varsinaisessa kyllästystapahtumassa päässyt kyllästysainetta maaperään. Suurimmat maaperään joutuneet kyllästysainemäärät löytyvät tällaisilla kyllästämöillä yleensä kyllästysylinterien edestä, jonne sylinteristä ulos otetusta puutavarasta valui kyllästysainetta. Kyllästäminen tapahtui ulkona ja letkurikkojen ja muiden teknisten häiriöiden vuoksi maahan valui usein suuriakin määriä kyllästysaineliuosta. Varhaisimmissa kyllästämöissä kyllästysainetta imeytettiin puutavaran tyvipäähän tehtyihin reikiin niin kauan, että kyllästysainetta tuli läpi pylvään toisesta päästä. Menetelmässä ei käytetty lainkaan sylinteriä, vaan aineen annettiin valua omalla paineella säiliöstä letkujen avulla puun rungon läpi, jonka vuoksi näissä kohteissa pilaantuneisuus on erityisen laaja-alaista. Kyllästysaineen kiinnittyminen puuhun riippuu lämpötilasta ja mikäli kyllästettyä puutavaraa ei säilytetty lämpimässä tilassa, saattoi esimerkiksi sadevesi huuhtoa kiinnittymisvaiheen



Kuva 1. Puunkyllästystä siirrettävällä painekyllästyslaitteella Pielaveden Kekkolassa vuonna 1959.

aikana osan kyllästysaineesta maaperään. Tämän vuoksi korkeita kyllästysainepitoisuuksia löytyy usein myös kyllästetyn puutavaran varastointialueelta. Monilla kyllästämöillä maaperää on suojeltu levittämällä kyllästysalueelle kuorta ja puuhaketta. Näin mahdollisesti maahan valunut kyllästysaine on imeytynyt kuoreen ja puuhakkeeseen, eikä ole päässyt kulkeutumaan syvemmälle maaperään.

Pääosin painekyllästysmenetelmällä puutavaran lahosuojausta tehneiden kyllästämöiden jäljiltä pilaantuneita alueita arvioidaan olevan Suomessa vähintään 185 kappaletta (Vaajasaari ym. 2002). Pohjois-Savon alueella tutkittavia ja kunnostettavia entisiä kyllästämöjä on Häikiön ym. (2000) selvityksen mukaan 17 kappaletta. Todennäköisesti alueita on tätäkin enemmän, sillä tämän selvityksen yhteydessä tietoja löytyi 20:stä kyllästämöstä. Näistä valtaosa on ollut Savon Voima Oy:n pylväiden kyllästykseen käyttämiä kyllästämöjä, joiden toiminta on jatkunut yhdellä paikalla tyypillisesti vain muutaman vuoden ajan.

Kyllästyksessä käytetyt aineet ovat haitallisia ympäristölle ja terveydelle suojauskäsittelyn yhteydessä, mutta voivat altistaa lähiympäristönsä tehoaineiden haitoille vielä pitkään kyllästystoiminnan jälkeenkin. Käytetyt kyllästysaineet ovat olleet 95 %:sti arseenia, kromia ja kuparia tehoaineina sisältäviä CCA-kyllästeitä (chromated copper arsenate) tai kromia ja kuparia sisältäviä CC-kylläs-

teitä (chromated copper). Näiden lisäksi lahontorjunta-aineina on käytetty myös kreosoottöljyjä, kivihiilitervaa sekä pentakloorifenoleita, mutta näiden aineiden käytöstä luovuttiin ympäristö- ja terveyshaittojen vuoksi jo aikaisemmin (Vaajasaari ym. 2002). Myös korvaavat CCA-kyllästeet ovat terveydelle ja ympäristölle haitallisia.

CCA-kyllästeiden laimennettujen käyttöliuosten väkevyys on ollut keskimäärin 2,0 -2,5 %. Tehoaineina käytettyjen oksidien osuudet yleisesti käytetyissä valmisteissa ovat Viitasaaren (1991) mukaan olleet suuruusluokkaa CuO (10-14%), CrO₃ (26-38%), CuSO₄ (0-3), As₂O₅ (0-24%) ja H₂S (25-60%). Vanhojen tietojen mukaan siirrettävillä kyllästämöillä käytetyt ainemäärät ovat olleet huomattavan suuria; esimerkkitapauksessa 3 m³ puuerän painekyllästyskäsittelyyn mainitaan käytetyn 900 litraa 2 % lahonsuojaliuosta. Nykyisin kyllästetty pintapuu sisältää CCA-kyllästettä noin 12-15 kg/m³ (Vaajasaari ym. 2002).

CCA- ja CC-kyllästeiden käyttöehtoja tiukennettiin EU:n vaatimusten mukaisesti Valtioneuvoston 5.6.2003 antamalla asetuksella. Lisäksi terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisemiseksi kyseisten puunsuojakemikaalien käyttöä on rajoitettu Suomen ympäristökeskuksen päätöksillä vuodesta 1996 lähtien. Nykyisin CCA- ja CC-kyllästeitä saa käyttää vain teollisissa prosesseissa niiden puurakenteiden suojaamiseksi, jotka ovat jatkuvassa maa- tai vesikosketuksessa ja muissa erityisen

suurta säänkestävyyttä vaativissa rakenteissa. Suojäkäsitteltyä puutavaraa ei myöskään saa luovuttaa käsittelylaitoksesta ennen kuin puun vesipitoisuus kuivatuksen jälkeen on alle 30 %. Jokaiseen tavaraerään tulee lisäksi merkitä yksityiskohtaiset tiedot sisältävä tunniste, jossa tulee olla tiedot käsittelyajasta, tehoaineista ja suojausluokasta. Lisäksi toimituksen yhteydessä vaaditaan tiedottamista muun muassa puutavan hyväksytystä käyttötarkoituksesta ja -rajoituksista sekä ongelmajätteenä käsiteltävän jätteen loppusijoituksesta. Yksittäisille kuluttajille CCA-kyllästeiden luovuttaminen kiellettiin kokonaan 30.6.2004.

1.3

CCA- kyllästeiden tehoaineet

Arseeni (As)

Arseeni esiintyy maaperässä alkuaineena, mineraaleina, oksideina, arsenaatteina ja arseniitteinä keskimäärin 5 mg/kg pitoisuuksina (Koljonen 1992). Hapellisessa maaperässä arseeni on pääosin arsenaattina ja kasveissa orgaanisina arseeniyhdisteinä. Anaerobisisissa olosuhteissa viisiarvoinen arseeni As^{5+} pelkistyy kolmiarvoiseksi As^{3+} :ksi, joka on hapetusmuodoista toksisempi ja maaperässä liikkuvampi (Vaajasaari ym. 2002). CCA-kyllästeissä arseeni on viisiarvoisena epäorgaanisena yhdisteenä. Happiolosuhteiden lisäksi arseenin sitoutumiseen vaikuttavat maaperän redox-potentiaali sekä raudan ja alumiinin oksidien sekä hydroksidien määrät. Mikrobien vaikutuksesta arseeni voi metyloitua epäorgaanista arseenia vähemmän vaaralliseksi monometyylihapoksi tai dimetyyliarsinihapoksi. Toisaalta mikrobitoiminnan seurauksena arseeni voi muuttua myös erittäin myrkylliseksi kaasumaiseksi arsiiniksi (Ruokolainen ym. 2000).

SAMASE-raportissa arseenin kokonaispitoisuuden ohjearvoksi maaperässä on esitetty 10 mg/kg (Puolanne ym. 1994). Ohjearvoa pienempiä pitoisuuksia pidetään ympäristölle ja terveydelle turvallisina, eikä ohjearvon alittavilla alueilla ole käyttörajoituksia. Maaviljelyksessä sekä orgaanisten että kivennäismaiden ns. tavanomaisen pelto- maan rajana on niin ikään 10 mg/kg (Mäntylähti ym. 2002). Arseenin kokonaispitoisuuden SAMASE- raja-arvo maaperässä on 50 mg/kg ja tämän pitoisuuden ylittävillä kohteilla on tähän saakka tehty tarkempia riskinarviointeja ja tarvittaessa vähennetty havaittuja riskejä. Assmuthin (1997) lisätarkastelujen myötä arseenin ohjeelliseksi tavoitearvoksi maaperässä (vrt. entinen ohjearvo)

asetettiin 60 mg/kg ja PIMA-asetusluonnoksessa arseenin alemmaksi ohjearvoksi esitetään 50 mg/kg ja ylemmäksi ohjearvoksi 100 mg/kg (kts. taulukko 1).

Asetetut raja-arvot ovat tarpeellisia, mutta yksinomaan kokonaispitoisuuksien analysoiminen voi olla harhaanjohtavaa; esimerkiksi kaasumaisen arsiinin pitoisuudet voivat olla haitallisella tasolla myös kokonaispitoisuudeltaan matalilla alueilla (Vaajasaari ym. 2002). Pitoisuustarkasteluissa on tarpeen tuntea myös alueelliset taustapitoisuudet, sillä noin 1-2 % Suomen kallioperän kivilajeista sisältää luontaisesti arseenia yli 10 mg/kg. Tavallisesti kallioperän arseenipitoisuudet ovat 1-5 mg/kg (Eilu & Lahtinen 2004). Mineraalimaaperässä arseenin keskimääräinen luontainen pitoisuus on 6 mg/kg (0,1-50 mg/kg). Humus- ja turvepitoisessa maaperässä pitoisuudet voivat olla selvästi korkeampiakin, 16-340 mg/kg välillä (Vaajasaari ym. 2002). Yleisesti voidaan todeta, että runsaasti orgaanista ainesta ja savea sisältävässä maaperässä voidaan sallia lievästi ohjearvoa korkeampia pitoisuuksia.

Myös perustuottajille arseenin aiheuttamat haittavaikutukset riippuvat osaksi kasvuolosuhteista; savipitoisilla alueilla 1000 mg/kg kokonaispitoisuuksien on todettu aiheuttavan kasveissa selvää kasvun hidastumista. Hiekkaisilla mineraalimailla arseenin toksiset vaikutukset kasveihin ovat sen sijaan nähtävillä jo 100 mg/kg pitoisuuksissa (Cameron 1992). Erityisen haitallisia arseeniyhdisteet ovat vesiympäristössä eläville eläimille, kasveille sekä leville. Maaperäeliöille myrkylliset arseenipitoisuudet ovat toksisuustesteissä vaihdelleet 10-90 mg/kg välillä. Erityistä kertymistäipumusta kasveihin tai eläimiin arseenille ei sen sijaan ole havaittu (Vaajasaari ym. 2002).

Kromi (Cr)

Kromi esiintyy luonnossa useimmiten hapetusluvuilla Cr^{3+} ja Cr^{6+} , joista kolmiarvoinen kromi on pysyvämpi ja sitoutuu maaperässä tiukasti saveen, muihin orgaanisiin aineisiin sekä metallihydroksideihin. Ympäristön happamuuden lisääntyessä lisääntyy myös kolmiarvoisen kromin liikkuvuus. Kuusiarvoinen kromi ei vastaavalla tavalla sitoudu orgaaniseen humus- ja saviainekseen ja on maaperässä herkemmin kulkeutuvaa. pH-tasosta riippuen se kuitenkin sitoutuu positiivisesti varautuneille pinnoille, kuten rauta-, alumiini- ja mangaanioksideihin tai -hydroksideihin (Vaajasaari ym. 2002). Emäksisissä olosuhteissa kuusiarvoisesta kromista tulee pääsääntöisesti vallitseva esiintymismuoto (Heikkinen 2000).

Kyllästeissä kromi on kuusiarvoisessa muodossa, mutta etenkin orgaanisessa maaperässä kuusiarvoinen kromi pelkistyy sopivissa olosuhteissa kolmiarvoiseksi kromiksi (Vaajasaari ym. 2002). Myös mikrobit pelkistävät kuusiarvoista kromia (Lehto ym. 1993). Kolmiarvoisena kromi on eliöille välttämätön hivenaine, mutta kuusiarvoisena ja suurina pitoisuuksina se on eliöille myrkyllistä ja helpommin biokertyvää (Vaajasaari ym. 2002). Myös kasveille kuusiarvoisen kromin on todettu olevan toksisempi esiintymismuoto (Mehra & Farago 1994). Pilaantuneilla maa-alueilla kromin vallitsevana esiintymismuoto on yleensä kolmiarvoinen kromi.

SAMASE -raportissa kromin ohjearvoksi maaperässä on esitetty 100 mg/kg (Puolanne ym. 1994). Maanviljelyksessä tavanomaisen viljelymaan ohjearvona sekä kivennäismaassa että orgaanisissa maalajeissa on 70 mg/kg (Mäntylähti ym. 2002). Hyvin puhtaana viljelymaata pidetään kromipitoisuuden ollessa alle 20 mg/kg. Riskitarkastelua ja mahdollisia maaperän kunnostustoimia on tähän saakka tehty kokonaiskromipitoisuuden ylittäessä pitoisuuden 400 mg/kg (SAMASE -raja-arvo). Assmuthin (1997) lisäselvityksessä maaperän kromin tavoitearvoksi määritettiin 80 mg/kg ja raja-arvoksi 500 mg/kg. PIMA -asetusluonnoksessa kromin alemmaksi ohjearvoksi esitetään 200 mg/kg ja yleemmäksi ohjearvoksi 300 mg/kg (kts. taulukko 1).

Kupari (Cu)

Kupari on eliöiden tarvitsema hivenaine, jota kasvit tarvitsevat yhteyttäessä, soluhengityksessä sekä typen kierrossa. Kupari kertyy eliöihin, mutta

ei rikastu edetessään ravintoketjussa. Luonnossa kuparilla on vahva taipumus muodostaa yhdisteitä rikin kanssa; näistä yleisempiä ovat kuparikiisu, borniitti ja kuparihohde (Heikkinen 2000). Kupari sitoutuu voimakkaasti maaperän saveen sekä orgaaniseen ainekseen ja saostuu mm. hydroksideina, karbonaateina ja sulfideina, ollen näin maaperässä suhteellisen pysyvä raskasmetalli. Ympäristön happamuus (pH < 4-5) lisää selvästi kuparin liikkuvuutta maaperässä, missä kupari esiintyy tällöin hapetusluvulla Cu²⁺. CCA- kyllästeissä kupari on kuparioksidina tai -sulfaattina.

Kuparin SAMASE-ohjearvo maaperässä on 100 mg/kg. Maanviljelyksessä kuparin osalta tavanomaisen peltomaan raja-arvona on 35 mg/kg ja hyvin puhtaan viljelysmaan rajana 10 mg/kg (Mäntylähti ym. 2002); nämä arvot ovat SAMASE:n rajoihin verrattuna varsin matalia. Assmuthin (1997) lisäselvityksessä kuparin tavoitearvoksi maaperässä ehdotetaan selvästi matalampaa 32 mg/kg pitoisuutta ja raja-arvoksi samaa 400 mg/kg pitoisuutta. Uudessa PIMA-asetusluonnoksessa kuparin alemmaksi ohjearvoksi esitetään 150 mg/kg ja yleemmäksi ohjearvoksi 200 mg/kg (kts. taulukko 1). Suomen maaperässä kuparin kokonaispitoisuus on keskimäärin 20 mg/kg (Braunschweilerin 1996).

Tässä raportissa maaperän pilaantumisen arviointiin on sovellettu valmisteilla olevassa PIMA-asetusluonnoksessa (valtionneuvoston asetus maaperän pilaantuneiden ja puhdistustarpeen arvioinnista) esitettyjä ohjearvoja. Poikkeuksena tästä Vesannon (kappale 2.1) ja Kekkolan (kappale 2.2) aikaisempien näytetulosten tarkastelussa on käytetty SAMASE-raja- ja ohjearvoja (kts. taulukko 1).

Taulukko 1. Eri lähteissä esitetyt pilaantuneen maan pitoisuusrajat arseenille ja yleisimmille raskasmetalleille.

	SAMASE-ohjearvot (Puolanne ym. 1994)		Assmuth 1997		PIMA-asetusluonnoksen ohjearvot (2006)	
	Ohjearvo (mg/kg)	Raja-arvo (mg/kg)	Tavoitearvo (mg/kg)	Raja-arvo (mg/kg)	Alempi ohjearvo (mg/kg)	Ylempi ohjearvo (mg/kg)
Arseeni (As)	10	50	13	60	50	100
Kromi (Cr)	100	400	80	500	200	300
Kupari (Cu)	100	400	32	400	150	200
Kadmium (Cd)	0,5	10	0,3	10	10	20
Elohopea (Hg)	0,2	5	0,2	5	1	5
Nikkeli (Ni)	60	200	40	300	100	150
Lyijy (Pb)	60	300	38	300	200	750
Sinkki (Zn)	150	700	90	700	250	400

Fytoremediaatio kunnostusmenetelmänä

Suomessa käytetyin menetelmä pilaantuneiden maiden kunnostuksessa on massanvaihto ja pilaantuneen alueen eristäminen puhtaalla maakerroksella (Sorvari ym. 2004, 2005). Menetelmän etuina ovat tehokas riskinhallinta ja kokemus käytännön työssä vaadittavista toimenpiteistä. Usein vaihtoehtoisten menetelmien toimivuudesta tai tehokkuudesta vastaavaa varmuutta ei ole. Massanvaihto vaatii pilaantumisasteesta sekä haitta-aineesta riippuen lisätoimenpiteenä pilaantuneiden massojen jatkokäsittelyä; esimerkiksi kompostointia, polttoa, pesua, kiinteytystä tai stabilointia. Haitta-ainepitoisuuksien jäädessä alle raja-arvojen, on loppusijoituspaikkakana ilman välikäsittelyä pääsääntöisesti yhdyskuntajätteen kaatopaikka (Häikiö ym. 2000). On site-kunnostusmenetelmänä käytetään muun muassa pilaantuneen alueen pinta- ja pystyeristystä, millä pyritään minimoimaan aineiden kulkeutuminen ja kontakti systeemin ulkopuolisten eliöiden kanssa. Menetelmä soveltuu parhaiten heikosti liikkuville haitta-aineille, kuten raskasmetalleille.

Pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa on mahdollista käyttää yhtenä vaihtoehtoisena menetelmänä fytoremediaatiota; kasvien avulla tapahtuvaa pilaantuneen maan puhdistusta (Hassinen 2002). Fytoremediaatiomenetelmät perustuvat kasvien kykyyn sitoa itseensä tai tehdä inaktiivisiksi kasvuympäristönsä haitta-aineita. Fytoremediaatiossa voi olla kyse haitta-aineiden liikkuvuuden vähentämisestä, mikä pienentää esimerkiksi pohjavesien pilaantumisriskiä ja pintamaan eroosion myötä tapahtuvaa haitta-aineiden leviämistä. Fytostabilointimenetelmiä on käytetty muun muassa kaivosalueiden jätekasojen stabilointiin (Saarela 1990). Orgaanisten haitta-aineiden kohdalla kasvien fytoremediaatio voi perustua myös juurien tai verson kykyyn hajottaa haitta-aineet vähemmän toksisiksi yhdisteiksi (fytotransformaatio), joita kasvi tai symbioottiset mikrobit kykenevät käyttämään energian lähteinään.

Tietyt kasvilajit, ns. hyperakkumulaattorit, kykenevät erityisen tehokkaasti keräämään epäorgaanisia haitta-aineita maaperästä juuristoonsa tai maanpäälliseen versoon (fytoekstraktio). Esimerkiksi kevättaskuruoho (*Thlaspi caerulescens*) akkumuloi tehokkaasti sinkkiä, jopa 2 % kuivapainostaan (Baker ym. 1994). Edellytyksenä tehokkaalle akkumulaatiolle on metallien biosaataavuus ja kasvien

suhteellisen hyvä metallitoleranssi. Raskasmetallien biosaataavuutta voidaan tehostaa kelaattoreilla, kuten EDTA:lla (synteettinen aminohappo), jotka lisäävät metallien liukoisuutta maaperässä. Kasvukauden jälkeen haitta-aineita versoonsa keränneet kasvit voidaan poistaa ja siirtää jatkokäsittelyyn, esimerkiksi kompostoitavaksi tai poltettavaksi.

Fytoremediaatio on lupaava, mutta runsaasti kehitystyötä vaativa maaperän kunnostusmenetelmä. Kasvikunnostus sopii parhaiten laajoille, lievästi pilaantuneille alueille. Menetelmän rajoitteita ovat muun muassa kasvien juuriston ulottuminen useimmiten vain pintamaahan ja Suomen olosuhteissa suhteellisen lyhyt kasvukausi. Lisäksi fytoremediaation käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat kasvupaikan kosteusolosuhteet ja ravinnetaso, maaperän rakenne, maaperän pH ja käytettävien kasvien kannalta mahdollisesti liian korkeat haitta-ainepitoisuudet. Monet tehokkaasti raskasmetalleja keräävät lajit ovat lisäksi varsin pienikokoisia ja hidaskasvuisia. Geeniteknologian avulla voi tulevaisuudessa olla mahdollista eristää ja siirtää metallien akkumulaatioon vaikuttavia geenejä muilta ominaisuuksiltaan fytoremediaation paremmin soveltuviin kasvilajeihin. Tähän saakka tutkituista luonnonkasveista hyperakkumulaattoreita on löytynyt hyvin monista eri elomuotoryhmistä ja taksonista (noin 400 lajia). Esimerkiksi *Brassicaceae*-heimon ruohokasveihin (ristikukkaiset) ja *Populus*-suvun puihin (haavat ja poppelit) kuuluvien lajien fytoremediaatiokykyä on testattu lupaavin tuloksin (esim. Baker & Brooks 1989, Schnoor 1997). Molempiin edellä mainittuihin taksonisiin ryhmiin kuuluvia lajeja esiintyy luontaisesti myös Suomen kasvuolosuhteissa.

2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät

2.1

Vesannon kyllästämön yleiskuvaus

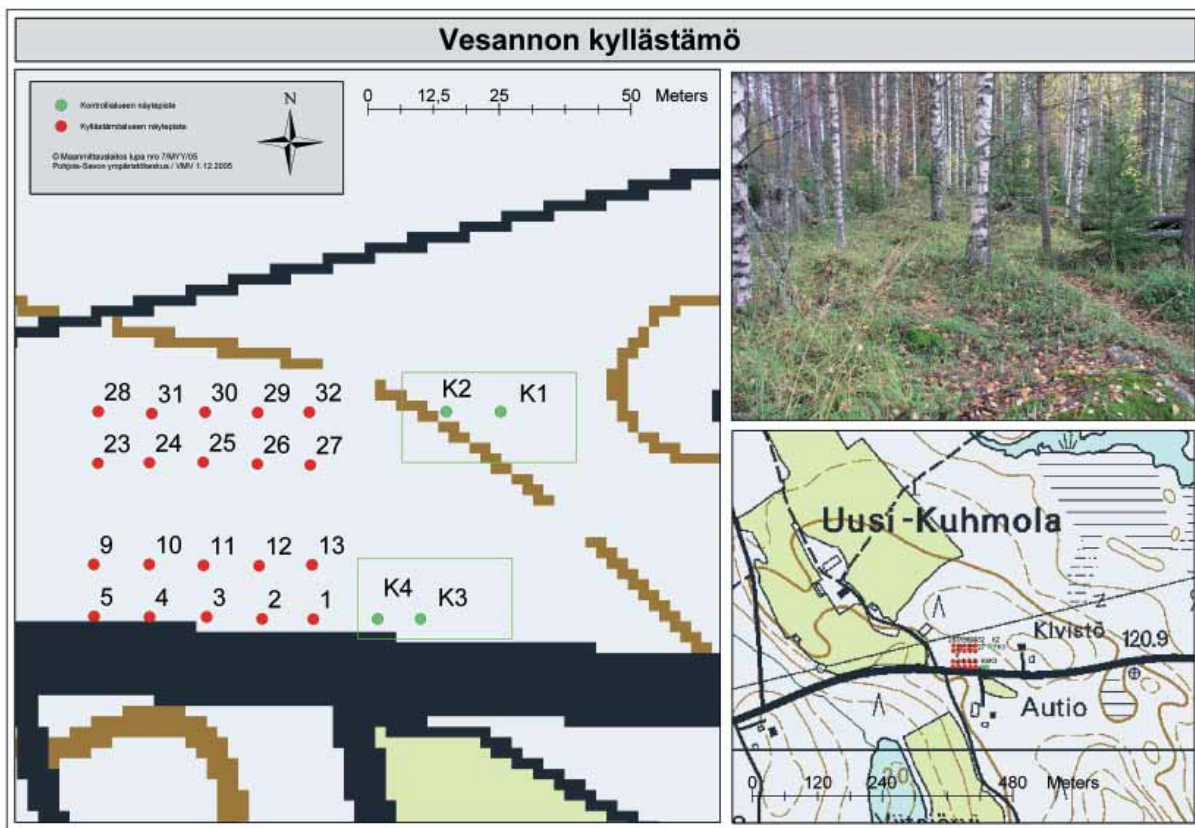
Vuonna 2003 tutkimuskohteena oli Vesannon entinen kyllästämö, missä toimi vuoteen 1969 saakka Savon Voima Oy:n siirrettävä painekyllästyslaitteisto. Tarkkaa tietoa toiminnan aloittamisen ajankohdasta tai kestosta ei ole. Kyllästyssylinterin oletettu sijaintipaikka oli sitä vastoin suhteellisen tarkasti tiedossa aikaisempien selvitysten (Ahola 1997) ja alueen asukkailta saatujen tietojen perusteella. Kyllästämön toiminta-aikana alueella käytettiin CCA-kyllästettä.

Alueen pilaantumista on tutkittu useaan otteeseen. Pohjois-Savon ympäristökeskus teki kohteella maaperätutkimuksia vuonna 1996 (Ahola 1997). Tällöin laboratoriossa analysoiduista 11 maaperänäytteestä arseenin SAMASE- raja-arvopitoisuudet (50 mg/kg kuiva-ainetta) ylittyivät kahdeksassa näytteessä ja ohjearvopitoisuudet (10 mg/kg kuiva-ainetta) kahdessa näytteessä. Kromin ja kuparin pitoisuudet olivat kaikissa mittauspisteissä alle raja-arvon 400 mg/kg, mutta kahdessa pisteessä kuitenkin yli ohjearvon 100 mg/kg. Tutkittu alue todettiin tällöin selvästi arseenilla pilaantuneeksi ja lievästi kuparilla sekä kromilla pilaantuneeksi. Kunnostettavan alueen rajaamisen todettiin vaativan tarkempaa tietoa maaperän laadusta ja pohjaveden pinnantasosta, virtaussuunnista sekä laadusta.

Tarvittavat jatkotutkimukset toteutti kesällä 1998 Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy. Näytteitä otettiin 11 pisteestä kahdesta syvyydestä; pintamaasta ja 30 cm syvyydeltä. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin pintamaan näytteistä. Arseenin SAMASE-rajaa arvon todettiin ylittyvän viidessä pisteessä ja ohjearvon neljässä mittauspisteessä. Kuparin raja-arvo ylittyi kahdessa ja ohjearvo

yhdessä mittauspisteessä. Kromilla raja-arvon ylityksiä ei ollut, mutta ohjearvo ylittyi neljässä mittauspisteessä. Näytteenoton yhteydessä arviointiin myös pohjaveden pinnantasoa yhden metrin syvyyteen lyödyllä pohjavesiputkella, johon ei kuitenkaan tullut vettä. Savon Voima Oy:n teettämien selvitysten mukaan (1996 ja 1998) mukaan Vesannon kyllästämöllä pilaantuneen ja kunnostusta vaativan alueen laajuus on 280 m² ja arvioitu maansiirtotarve noin 500 m³.

Entinen kyllästämöalue on nykyisin yksityisomistuksessa, eikä toiminta-ajan aikaisia rakenteita ole enää juurikaan havaittavissa. Alue on nuorta sekapuustoista kasvatusmetsää ja osaksi joutomaata (kuva 2.). Puusto on pääosin luontaisesti syntynyttä mäntyä ja koivua, sekapuuna esiintyy kuusta, harmaaleppää, pihlajia sekä pajuja. Metsätyypiltään kasvillisuus on kohteen eteläreunassa lähinnä tuoretta MT-tyypin kangasmetsää ja koilliskulmassa kuivempaa VT-tyypin kangasmetsää. Maaperä alueella on pääosin silttistä hiekkamoreenia. Alueella on melko runsaasti maaperää ja kasvillisuutta kuluttavaa toimintaa; alueen halki kulkee mm. vanha traktoritie ja useita polkuja. Lisäksi entisen kyllästämöalueen länsireunalla varastoidaan edelleen pieniä määriä puutavaraa ja maatalouskoneita. Etenkin teiden ja polkujen pientareilla sekä muissa avoimissa kasvupaikoissa vallitsevat piennarajat. Lähimpään asutukseen kohteelta on matkaa 100 m ja lähimpään järveen noin 180 m.



Kuva 2. Vesannon kyllästämön sijainti, näytepisteet ja valokuva alueen kasvillisuustyypistä (kuvattu näytepisteestä 23 itään).

2.2

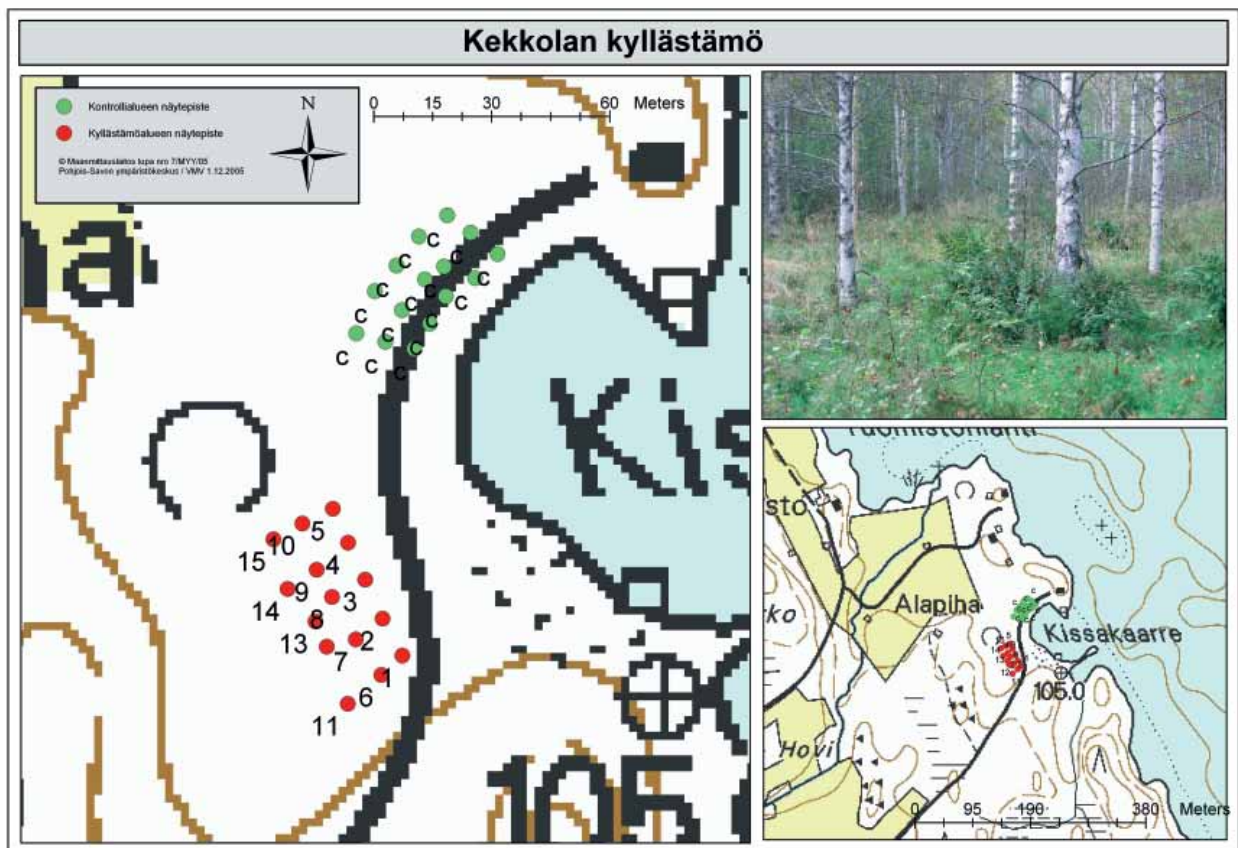
Kekkonen kyllästämön yleiskuvaus

Vuonna 2004 tutkimuskohteena oli Pielavedellä sijaitseva Kekkonen kyllästämö, jossa Savon Voima Oy lahosuojasi puutavaraa siirrettävällä painekyllästyslaitteistolla 1950-luvulla 4-5 kesän ajan. Suojauksessa käytettiin CCA-kyllästettä kauppanimeltään K-33. Tehoaineena kyseisessä tuotteessa ovat kuparioksidi (CuO), kromitrioksidi (CrO_3) ja arseenipentoksidi (As_2O_5).

Pohjois-Savon ympäristökeskus tutki alueen raskasmetallipitoisuuksia vuonna 1996 (Ahola 1997). Kenttäanalyysointia (X-MET) tehdyissä tutkimuksissa selvitettiin pintamaan pilaantuneisuutta yhteensä 21 näytepisteessä (23 näytettä). Arseenin SAMASE-raja-arvopitoisuudet ylittyivät 12 näytepisteessä ja ohjearvopitoisuudet lisäksi 4 näytepisteessä. Kuparilla raja-arvopitoisuudet ylittyivät 7 mittauspisteessä ja ohjearvopitoisuudet lisäksi 12 pisteessä. Maaperän kromipitoisuuksia X-MET-kenttäanalyysointia ei pystytty tässä yhteydessä mittaamaan. Kenttämittausten varmentamiseksi alueelta otettiin kaksi näytettä laboratorioanalyysiin; kaikkien tutkittujen haitta-aineiden

(AS, Cr, Cu) pitoisuudet ylittivät raja-arvot. Arseenilla raja-arvot ylittyivät myös 30 cm syvyydeltä otetuista näytteistä.

Savon Voima Oy:n vuonna 1996 laatiman erikoiskaatopaikan ympäristövaikutusten arviointiohjelman mukaan Kekkonen kyllästämön pilaantuneiden maiden kokonaismäärä on noin 720 m^3 . Vuoden 1996 (Ahola 1997) tutkimusten perusteella ei pystytty riittävällä tarkkuudella arvioimaan kyllästyslaitteiston ja varastointipaikkojen sijoittumista, eikä pilaantuneen alueen tarkkaa rajausta. Myöskään CCA-kyllästeiden kolmannen tehoaineen, kromin, pitoisuuksista maaperässä ei ollut riittävästi tietoa kunnostussuunnitelman laadintaa varten. Tarvittavat jatkotutkimukset alueella toteutti Savon Tekmi Oy kesällä 1998. Maaperätutkimukset suoritettiin ottamalla painokairamalla näytteet 12 näytepisteestä, yhteensä 26 näytettä. SAMASE-raja-arvon ylittävä arseenipitoisuus (276 mg/kg) havaittiin yhdessä pintamaan näytepisteessä. Samassa näytteessä myös kromipitoisuus (515 mg/kg) ylitti SAMASE-raja-arvon. Kuparilla pitoisuudet sitä vastoin jäivät raja-arvojen alle kaikissa näytepisteissä. Jatkotoimenpiteiksi Savon Tekmi Oy esitti alueen kunnostamista kaivamalla



Kuva 3. Kekkolan kylästäjän sijainti, näytenpisteet ja valokuva alueen kasvillisuustyypistä (kuvattu näytenpisteestä 3 länteen). Vertailualueen näytenpisteet (c) sijaitsevat todellisuudessa kokonaan tien länsipuolella.

pilaantuneet maa-ainekset pois 20-30 cm:n syvyydeltä, jolloin arvioitu massanvaihtotarve olisi noin 900 m³. Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy on laatinut alueelle alustavan kunnostussuunnitelman vuonna 1999.

Kekkolan entisellä kylästäjällä ei ole enää nykyisin havaittavissa rakenteita puutavaran käsittely- tai varastointipaikoista ja painesylinterin oletettu sijainti perustuu alueen asukailta saatuihin tietoihin ja havaintoihin alueen luontaisesta kasvittumisesta. Alueen omistaa nykyisin yksityinen maanomistaja. Alueella on harvahko koivuvaltainen puusto ja kenttäkerros on heinä- ja ruohovaltainen (kuva 3.). Rannan läheisyys ja pintavesivaikutus näkyvät alueen kasvilajistossa luhta- ja suolajien esiintymisenä. Lähimpään pysyvään asutukseen alueelta on matkaa noin 400 m ja järveen alle 20 metriä. Lähin kesämökki sijaitsee alle 100 metrin etäisyydellä entisestä kylästäjäalueesta. Alueen maaperä on pintaosaltaan laihaa savea, joka muuttuu syvemmällä vaihteittain hiekaksi.

2.3

Maaperänäytteenotto ja analyysit

Maaperänäytteitä otettiin kaikista pilaantuneelle alueelle tehdyistä kasvillisuusruuduista (kts. kuvat 2 ja 3). Vertailualueiden maaperän puhtaus varmistettiin pienemmällä näytemäärillä. Vesannon kylästäjältä otettiin yhteensä 20 pintamaan näytettä (5-20 cm) ja neljä vertailunäytettä. Kekkolan kylästäjällä näytemäärä oli 17, joista 15 otettiin 15-35 cm syvyydeltä. Vertailualueen maaperäanalyysit tehtiin Kekkolassa kahdesta kokoomänäytteestä (yht. 6 näytenpistettä). Näytteenoton keskittämällä edellä mainittuihin syvyyksiin pyrittiin saamaan käsitys haitta-ainepitoisuuksista kasvien juuriston tasolla. Näytteenottoa aivan pintakerroksista vältettiin maaperän heterogeenisuuden ja orgaanisen aineksen laadun ja määrän vaihtelun vuoksi. Kekkolan kylästäjällä otettiin vertailun vuoksi kaksi näytettä (1A, 3A) myös aivan pintamaasta (0-15 cm).

Näytteenottimena käytettiin Auger-painokairaa, jonka sisähalkaisija on 35 mm ja vaihdettavan sisäholkkin pituus 150 mm. Yhdellä näytteenottokerralla saadaan analyysiä riittävä, noin 200 g suuruinen näytemäärä. Näytteenottopisteistä poistettiin lapiolla karike- ja humuskerros, jonka jälkeen muovikaapimella kaavittiin pois ohut pintakerros pyrkimyksenä välttää teräslapiosta mahdollisesti irtoavien hiukkasten aiheuttama analyysivirhe. Näytteenotto toteutettiin Vesannon kyllästämyllä lokakuun alussa 2003 ja Kekkolon kyllästämyllä syyskuussa 2004.

Jokainen näyte otettiin uudella, puhtaaksi vaihdetulla sisäholkilla. Näytteet pakattiin minigrip-pusseihin ja toimitettiin analysoitavaksi Jyväskylän yliopiston Ympäristötutkimuskeskukselle. Analysoitavat maaperänäytteet esikäsiteltiin ilmakeinon avulla, seulomalla 2 mm seulalla ja liuottamalla väkevän typpihapon ja vetyperoksidin seokseen. Näytteet analysoitiin ICP-OES monialkuainemenetelmällä ja tuloksena oli pitoisuusmääritykset seuraavista alkuaineista: Al, As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V ja Zn.

2.4

Kasvillisuuskartoitukset

Molempien kyllästämyiden kasvillisuuskartoitukset tehtiin loppukesällä; Vesannolla kartoitukset toteutettiin 6.-7. elokuuta vuonna 2003 ja Kekkolassa 2.-7. syyskuuta vuonna 2004. Kartoitusmenetelmänä käytettiin yhden neliömetrin kasvillisuusruutuja, joita sijoitettiin tasavälein läpi tutkittavan maa-alueen. Vesannolla ruutujen kokonaismäärä oli yhteensä 62, joista 20 oli vertailualueella. Alueen heterogeenisuuden vuoksi jatkotarkasteluun otettiin kyllästämyalueelta ainoastaan 20 ruutua vähintään häiriintyneeltä osa-alueelta. Valitulla osa-alueella raskasmetallipitoisuudet olivat aikaisempien mittausten mukaan suuret. Kekkolon kyllästämyllä vastaavia kasvillisuusruutuja tehtiin yhteensä 30, joista puolet sijaitsi kontrollialueella. Kontrollialueiksi molemmilla kohteilla valittiin pilaantuneen kyllästämyksen kanssa mahdollisimman samankaltaista kasvupaikkatyypin edustavat alueet. Tutkituilta koaloilta määritettiin havaitut putkilokasvilajit ja yleisimmät metsäsammalet pääosin lajitasolle ja lajien peittävyudet arvioitiin prosenttiasteikolla (0,5, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30...90, 100). Näyteruutujen sijaintitiedot tallennettiin GPS-paikantimella (Trimble GeoExplorer 3, Trimble GeoXT). Näyteruutujen väliset etäisyydet olivat keskimäärin 10 metriä.

2.5

Aineistojen käsittely ja analyysit

Maaperänäytteistä määritetyistä aineista jatkotarkasteluun valittiin arseeni, kokonaiskromi, kupari, kadmium, nikkeli, lyijy ja sinkki. Kyseisten aineiden näytekohtaisia pitoisuuksia verrattiin PIMA-asetusluonnoksen alempiin ohjearvoihin. CCA-kyllästeissä käytettyjen tehoaineiden alueellista jakautumista tarkasteltiin interpoloimalla pitoisuudet läpi tutkitun alueen. Analyysit tehtiin mitattujen pitoisuuksien perusteella Spline interpolointina ArcGis 8.0 -paikkatieto-ohjelmistolla. Näytteenotto ei kattanut kumpaakaan kohdealuetta kokonaisuudessaan, joten interpolointi käsitti vain osan alueista. Lisäksi verrattiin Vesannon kyllästämyllä vuoden 2003 As-, Cu- ja Cr-määritysten pitoisuuksia vuosien 1996 ja 1998 pitoisuuksiin. Vuoden 1998 analyysitulosten perusteella tarkasteltiin myös näytteenottoisyvyyden vaikutusta havaittuihin arseeni-, kupari- ja kromipitoisuuksiin.

Kyllästämyiden ja vertailualueiden kasvillisuutta verrattiin lajimäärän, lajien yleisyyksien ja peittävyksien, lajiston monimuotoisuuden ja samankaltaisuuden perusteella. Lajimääriä tarkasteltiin sekä näytealakohtaisina lajimäärinä että aluekohtaisina kokonaislajimäärinä. Yleisyydet ja runsaudet esitettiin lisäksi kasvillisuusindeksinä (esim. Leka ym. 2003), joka yhdistää edellä mainitut tekijät. Lajiston monimuotoisuutta arvioitiin Shannon-Wiener monimuotoisuusindeksillä. Indeksien arvo on sitä suurempi, mitä enemmän lajeja ja mitä tasaisemmin peittävydeltään ne esiintyvät. Lajiston samankaltaisuutta pilaantuneen kasvupaikan ja vertailualueen välillä arvioitiin puolestaan Jaccardin binaarisella similariteetti-indeksillä. Indeksillä saa arvoja välillä 0-1 ja kuvaa käytännössä sitä, kuinka suuri osa lajeista prosentuaalisesti on samoja (esim. arvo 0,8 -> lajeista 80 % samoja). Tutkittujen alueitten ryhmittymistä kasvialajiston perusteella testattiin myös monimuuttuja-analyysillä (NMS-ordinaatio) perustuen sekä havaittuun lajistoon että lajien runsauteen. Lisäksi tutkittiin maaperän haitta-ainepitoisuuksien suhdetta lajikohtaisiin yleisyyksiin ja runsauksiin sekä näytealakohtaiseen lajimäärään ja kokonaispeittävyteen (Spearmanin järjestyskorrelaatio).

3 Tulokset

3.1

Arseeni- ja raskasmetallipitoisuudet

Vesanto

PIMA-asetusluonnoksessa arseenille asetettu alempi ohjearvopitoisuus ylittyi 10:ssä pintamaan

näytepisteessä (taulukko 2.). Myös ylempi teollisuus- ja liikennealueille sovellettava ohjearvo ylittyi yhdeksässä mittauspisteessä. Kromille asetettu ylempi tavoitearvo ylittyi kahdessa ja kuparille asetettu alempi ohjearvo kolmessa näytepisteessä. Muiden raskasmetallien osalta ainoastaan sinkkipitoisuus oli yhdessä näytepisteessä taustapitoisuutta korkeampi, mutta ei ylittänyt kuitenkaan pisteessä alempaa ohjearvoa. Vertailualueella ar-

Taulukko 2. Vesannon kyllästämön (I-32) ja vertailualueen (K1-K4) maaperänäytteiden raskasmetalli- ja arseenipitoisuudet. PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvon (kts. taulukko 1) ylittävät pitoisuudet merkitty lihavoituna.

Ruutu nro	Arseeni mg/kg ka.	Kok.kromi mg/kg ka.	Kupari mg/kg ka.	Kadmium mg/kg ka.	Nikkeli mg/kg ka.	Lyijy mg/kg ka.	Sinkki mg/kg ka.
1	420	210	330	<0,5	6	8	28
2	110	17	25	<0,5	5	6	32
3	18	12	11	<0,5	7	10	48
4	10	5,3	7	<0,5	2	7	26
5	4	9,8	6	<0,5	5	5	27
9	100	15	25	<0,5	3	4	28
10	130	51	69	<0,5	2	7	28
11	49	21	13	<0,5	5	6	53
12	690	280	970	<0,5	10	13	170
13	120	100	110	<0,5	3	7	21
23	290	18	18	<0,5	5	25	95
24	180	18	27	<0,5	5	5	35
25	12	7,8	12	<0,5	2	5	28
26	340	46	270	<0,5	7	4	33
27	62	12	17	<0,5	4	4	20
28	4	9,9	5	<0,5	4	4	38
29	4	17	5	<0,5	7	4	27
30	<3	4	2	<0,5	2	3	20
31	26	13	23	<0,5	5	4	25
32	3	14	4	<0,5	4	8	23
K1	<3	3	2	<0,5	1	11	14
K2	<3	3	2	<0,5	1	4	9,9
K3	<3	5	2	<0,5	2	6	14
K4	30	7,6	19	<0,5	2	8	15

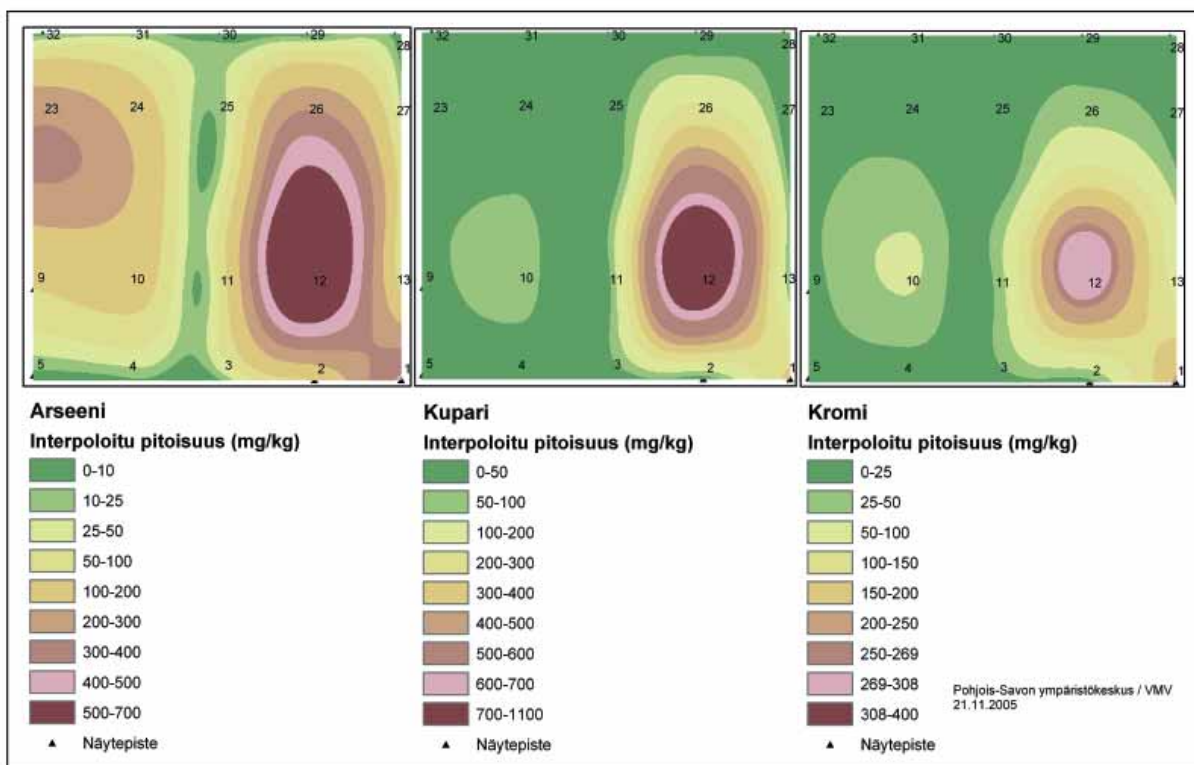
seeni- ja raskasmetallipitoisuudet olivat taustapitoisuuksien tasolla lukuun ottamatta näytepistettä K4, jossa etenkin arseenipitoisuudet olivat lievästi taustatasoa korkeampia.

Arseenin, kuparin ja kromin alueellinen jakautuminen pintamaassa oli varsin yhdenmukainen, erityisesti kuparin ja kromin kohdalla (kuva 4). Selvimmin pilaantunut alue sijaitsi kaikkien kolmen haitta-aineen pitoisuuksien perusteella näytepisteessä 12. Samassa kohdassa havaittiin kohonneita sinkkipitoisuuksia. Kyllästäminen siirrettävällä painekyllästyslaitteella on todennäköisesti tapahtunut juuri kyseisessä kohdassa. Lisäksi kuvassa 3 erottuvat näytepisteiden 23-24 ja näytepisteen 10 lähiympäristöt. Näillä kohdilla on todennäköisesti varastoitu ja kuivattu käsiteltyä puutavaraa.

Vuoden 2003 arseeni- ja raskasmetallipitoisuuksien vertaaminen aikaisempiin määritystuloksiin on vaikeaa, sillä vuosien 1996 ja 1998 näytepaikoista ei ole olemassa riittävän tarkkoja sijaintitietoja. Edellä esitetyn perusteella haitta-aineiden alueellinen pitoisuusvaihtelu ovat suurta ja toisaalta myös näytesyvyuden vaihtelulla on vaikutusta havait-

tuihin pitoisuuksiin (kts. kuva 5.). Eri vuosien välisiä eroja on joka tapauksessa verrattu taulukossa 3. Erot keskimääräisissä pitoisuuksissa ovat suuria eri havaintokertojen välillä, erityisesti arseenin kohdalla. Kuparin ja kromin kohdalla tulokset ovat yhdenmukaisempia. Havaittujen maksimipitoisuuksien vertaaminen ei ole mahdollista edellä mainituista vaihtelulähteistä johtuen.

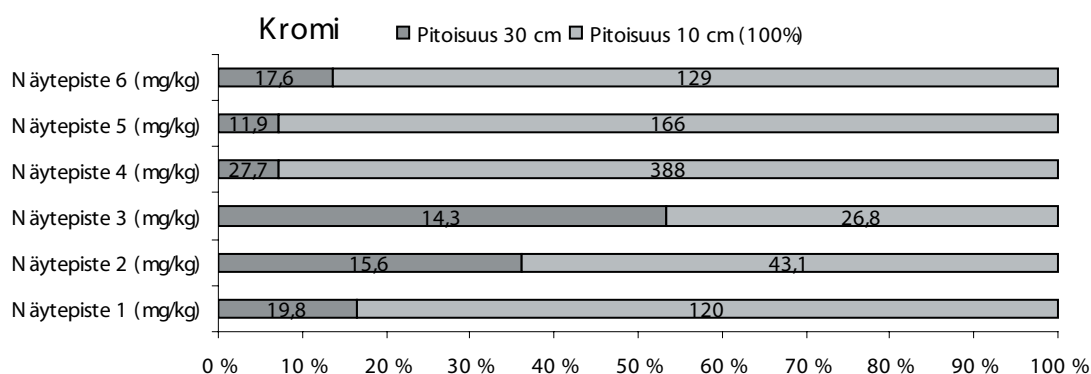
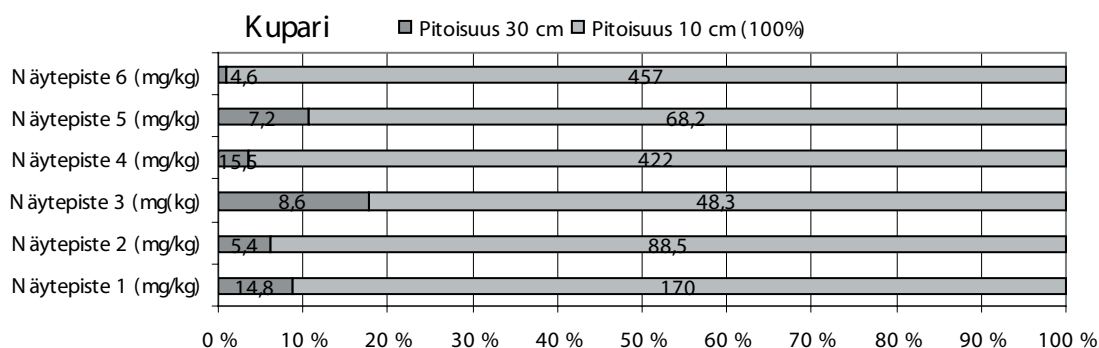
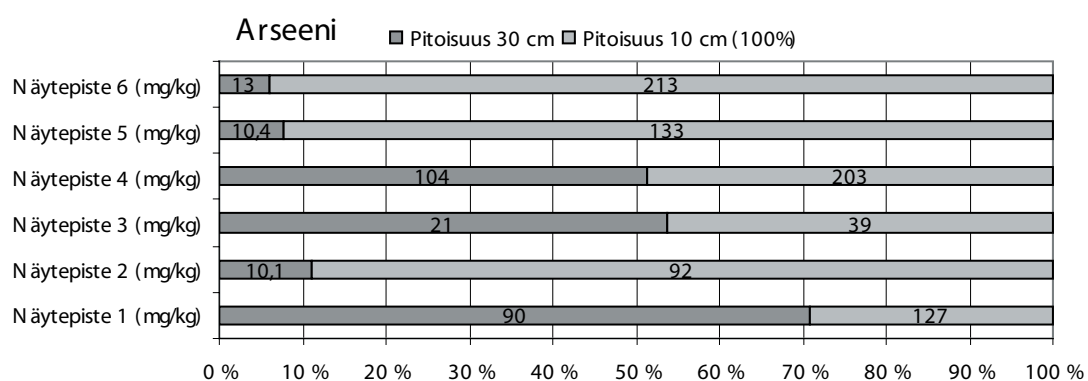
Näytteenottoisyvyys vaikutti selvästi havaittuihin pitoisuuksiin (kuva 5). Vesannon kyllästämisellä, missä maaperä on pääosin silttistä hiekkamoreenia, CCA-tehoaineiden pitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä jo 30 cm syvyydessä verrattuna pintamaan pitoisuuksiin (10 cm); arseenin kohdalla kokonaispitoisuudet putosivat keskimäärin noin kolmasosaan, kromilla neljäsosaan ja kuparilla alle kymmenesosaan pintamaan pitoisuuksista (kuva 5). Näytepaikkojen väliset erot olivat kuitenkin suuria etenkin arseenilla. Kupari- ja kromipitoisuuksien suhteellinen väheneminen oli sitä selvempää mitä suurempi oli pintamaan pitoisuus. Arseenilla vastaavaa korrelaatiota ei ollut.



Kuva 4. Arseenin, kuparin ja kromin interpoloidut pitoisuudet Vesannon kyllästämisön pintamaassa.

Taulukko 3. Vesannon kyllästämön pintamaan arseeni-, kupari- ja kromipitoisuuksien keski- ja maksimiarvot vuosien 1996, 1998 ja 2003 tutkimuksissa.

Vuosi	Näytesyvyys	Arseeni (mg/kg)		Kupari (mg/kg)		Kromi (mg/kg)	
		ka.	max	ka.	max	ka.	max
1996	0-10 cm	197	1203	35	240	38	180
1998	0-30 cm	74	213	57	388	71	457
2003	15-30 cm	129	690	98	970	44	280



Kuva 5. Näytteenottosyvyyden vaikutus arseeni-, kromi- ja kuparipitoisuuksiin Vesannon kyllästämöllä. Syvemmän näytekerroksen (30 cm) pitoisuus esitetty kuvassa prosentteina pintamaan (10 cm) pitoisuudesta.

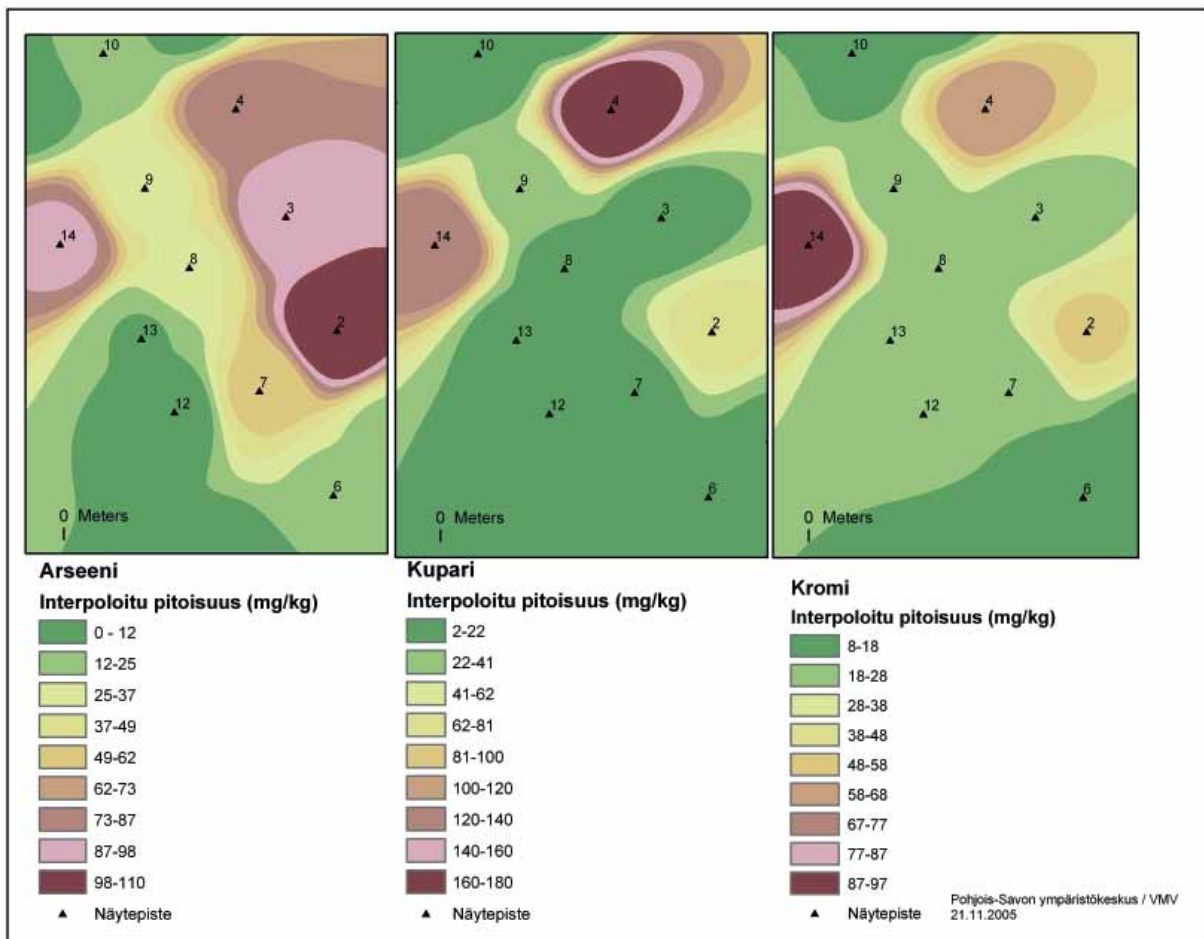
Kekkola

PIMA-asetusluonnoksessa arseenille asetettu alempi ohjearvopitoisuus ylittyi Kekkolan kyllästämöllä 5:ssä näytepisteessä (taulukko 4). Ylempi ohjearvopitoisuus ylittyi kuitenkin vain yhdessä näytepisteessä. Kuparilla alempi ohjearvopitoisuus ylittyi niukasti yhdessä näytteessä. Kromin kokonaispitoisuus jäi kaikissa näytteissä selvästi alle alemman ohjearvon, vastaten taustapitoisuuden tasoa. Kokonaisuutena alueen voidaan todeta pilaantuneen lähinnä arseenilla.

Arseenin, kuparin ja kromin alueellinen ja-kautuminen oli varsin yhdenmukaista, erityisesti kuparin ja kromin kohdalla (kuva 6). Pahiten pilaantunut alue sijaitsi näytepisteen 2 ympäristössä. Todennäköisesti kyllästyslaitteisto on sijainnut juuri kyseisen näytepisteen läheisyydessä. Interpolatiokuvassa (kuva 6) erottuvat lisäksi näytepiSTEIDEN 14 ja 4 lähiympäristöt, joissa on mahdollisesti varastoitu ja kuivattu kyllästettyä puutavaraa.

Taulukko 4. Kekkolan kyllästämön (I-15) ja vertailualueen (K28, K30) maaperänäytteiden raskasmetalli- ja arseenipitoisuudet. PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittävät pitoisuudet lihavoituna.

Näyte nro	Arseeni mg/kg ka.	Kok.kromi mg/kg ka.	Kupari mg/kg ka.	Kadmiun mg/kg ka.	Nikkeli mg/kg ka.	Lyijy mg/kg ka.	Sinkki mg/kg ka.
IA	14	10	17	<0,5	3	6	6
I	21	15	19	<0,5	2	4	7
2	110	48	66	<0,5	4	4	8
3A	38	32	57	<0,5	8	7	18
3	93	21	8	<0,5	4	3	14
4	81	62	180	<0,5	9	5	11
5	7	14	4	<0,5	4	<3	16
6	23	10	7	<0,5	2	<3	6
7	51	18	15	<0,5	6	<3	22
8	36	20	15	<0,5	6	<3	18
9	34	23	36	<0,5	6	4	10
10	14	10	4	<0,5	2	<3	7
11	<3	8	2	<0,5	2	<3	10
12	5	20	7	<0,5	7	3	28
13	12	18	15	<0,5	10	12	12
14	88	97	140	<0,5	20	11	23
15	5	19	8	<0,5	4	4	14
K28	<3	7	2	<0,5	2	<3	6



Kuva 6. Arseenin, kuparin ja kromin interpoloidut pitoisuudet Kekkolan kyllästämön pintamaassa.

3.2

Kasvillisuus

Vesanto

Vesannon kyllästämöllä esiintyi yhteensä 34 ruohovartista kasvilajia ja lisäksi 5 puuvartista kasvilajia (Taulukko 5). Näytealoilla kasvoi lisäksi metsäsammalia, kuten seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*), kynsisammalia (*Dicranum sp.*) ja karhunsammalia (*Polytricum sp.*). Alueen heterogeenisuuden vuoksi jatkotarkasteluun valittiin vain osa pilaantuneen alueen kasvillisuusruuduista alueelta, joka kasvupaikkatyypiltään vastasi parhaiten vertailualueita. Näillä 20 näyteruudulla havaittujen lajien kokonaismäärä oli 26, mikä oli myös vertailualueen vastaavalla ruutumäärällä havaittu kokonaismäärä. Ruutukohtainen lajimäärä oli sen sijaan kyllästämöllä selvästi vertailualueita pienempi (ka 6.5 ja 10, $p = 0.008$, Mann-Whitney U).

Kyllästämöllä havaitut putkilokasvilajit olivat pääosin tavanomaisia pientareiden ja teiden varsien sekä avoimien, nuorten metsien lajeja (Taulukko 6.). Yleisimpiä lajeja olivat hietakastikka (*Calamagrostis epigejos*), metsälauha (*Deschampsia flexuosa*), puolukka (*Vaccinium vitis-idea*), nurmirölli (*Agrostis capillaris*) ja ahomansikka (*Fragaria vesca*). Peittävimpinä kasvustoina esiintyivät edellä mainittujen metsälauhan, hietakastikan ja puolukan lisäksi metsälvejuuri (*Dryopteris castrhusiana*) ja mustikka (*V. myrtillus*).

Yleisyyden ja peittävyuden yhdistävän kasvillisuusindeksin perusteella kyllästämön ja vertailualueen tyyppilajit olivat pääosin samoja - hietakastikka, metsälauha ja puolukka. Vertailualueella yleisiä olivat lisäksi kevätpiippo (*Luzula pilosa*) ja lillukka (*Rubus saxatilis*). Vertailualueella varsin yleisenä esiintynyttä metsätähteä ei sen esiintynyt lainkaan pilaantuneella alueella. Muita ainoastaan vertailualueella esiintyneitä lajeja olivat vanamo

(*Linnea borealis*), rohtotädyke (*Veronica officinalis*), vadelma (*Rubus idaeus*) ja punaherukka (*Ribes rubrum*). Kasvillisuuden kokonaispeittävydessä ei ollut eroja kyllästämöalueen ja vertailualueen välillä.

Lajikoostumuksen samankaltaisuutta kyllästämön ja vertailualueen välillä analysoitiin Jaccardin binaarisella similariteetti-indeksillä ja lajiston mo-

nimuotoisuutta Shannon-Wienerin monimuotoisuusindeksillä. Jaccardin similariteetti-indeksin arvoksi tuli 0,63, eli 63 % kasvilajeista oli samoja em. alueiden välillä. Shannon-Wiener-monimuotoisuusindeksin arvo kyllästämöalueella oli 2,8 ja kontrollialueella 3. Indeksien arvo on sitä suurempi, mitä enemmän lajeja ja mitä tasaisemmalla peittävydellä ne esiintyvät.

Taulukko 5. Vesannon kyllästämön ja vertailualueen näytealoilla esiintyneiden putkilokasvien ruutufrekvenssit, keskimääräiset peittävydet ja kasvillisuusindeksit.

	Ruutufrekvenssi (%)		Keskimääräinen peittävyys (%)		Kasvillisuusindeksi	
	Kyllästämö	Vertailu- alue	Kyllästämö	Vertailu- alue	Kyllästämö	Vertailu- alue
<i>Achillea millefolium</i> (siänkärsämö)	30,0	10,0	0,6	0,8	64	32
<i>Agrostis capillaris</i> (nurmiorholi)	45,0	70,0	2,1	2,3	128	256
<i>Calamagrostis epigejos</i> (hietakastikka)	95,0	95,0	11,0	7,6	1024	1024
<i>Carex nigra</i> (jokapaikansara)	5,0	-	1,0	-	64	-
<i>Deschampsia flexuosa</i> (metsälauha)	85,0	95,0	16,3	18,5	1024	1024
<i>Dryopteris carthusiana</i> (metsäälvejuuri)	5,0	-	20,0	-	64	-
<i>Epilobium angustifolium</i> (maitohorsma)	25,0	5,0	4,5	5,0	64	32
<i>Fragaria vesca</i> (ahomansikka)	35,0	25,0	3,9	2,9	128	64
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (metsäimarre)	10,0	-	1,0	-	32	-
<i>Hieracium</i> sp. (ukonkeltanot)	20,0	5,0	1,5	0,5	64	8
<i>Linnea borealis</i> (vanamo)	-	5,0	-	2,0	-	16
<i>Luzula pilosa</i> (kevätipiippo)	15,0	65,0	0,5	1,0	16	64
<i>Melampyrum</i> sp. (maitikka)	30,0	60,0	1,1	1,0	128	62
<i>Orthilia secunda</i> (nuokkunalvikki)	5,0	-	1,0	-	16	-
<i>Oxalis acetosella</i> (käenkaali)	10,0	30,0	0,8	1,8	32	128
<i>Ribes rubrum</i> (punaherukka)	-	5,0	-	3,0	-	32
<i>Rubus idaeus</i> (vadelma)	-	5,0	-	3,0	-	32
<i>Rubus saxatilis</i> (lillukka)	10,0	65,0	7,8	3,8	128	256
<i>Solidago virgaurea</i> (kultapiisku)	5,0	5,0	3,0	15,0	32	64
<i>Stellaria</i> sp. (tähtimö)	5,0	-	0,5	-	8	-
<i>Trientalis europea</i> (metsätähti)	-	60,0	-	1,1	-	128
<i>Vaccinium myrtillus</i> (mustikka)	25,0	50,0	15,2	14,4	128	256
<i>Vaccinium vitis-idea</i> (puolukka)	85,0	90,0	14,9	7,3	1024	1024
<i>Veronica chamaedrys</i> (nurmitädyke)	5,0	10,0	3,0	1,0	32	32
<i>Veronica officinalis</i> (rohtotädyke)	-	10,0	-	0,8	-	32
<i>Viola canina</i> (aho-orvokki)	20,0	55,0	1,4	1,2	64	256
<i>Alnus incana</i> (harmaaleppä)	5,0	5,0	1,0	1,0	16	16
<i>Picea abies</i> (kuusi)	20,0	5,0	7,3	3,0	128	32
<i>Pinus sylvestris</i> (mänty)	5,0	5,0	3,0	0,5	32	8
<i>Populus tremula</i> (haapa)	5,0	-	1,0	-	16	-
<i>Salix</i> sp. (pajut)	-	10,0	-	1,0	-	32
<i>Sorbus aucuparia</i> (pihlaja)	5,0	35,0	5,0	1,9	32	128

Kekkola

Kekkolan kyllästämöllä esiintyi yhteensä 24 ruohovartista kasvilajia ja kaksi puulajia. Vertailualueen kokonaislajimäärä oli selvästi suurempi; yhteensä 45 lajia, joista puuvartisia oli 5 lajia. Myös ruutu-kohtainen lajimäärä oli vertailualueella selvästi suurempi (6.5 ja 11.4, $p = 0.000$, Mann-Whitney U). Jaccardin similariteetti-indeksin arvoksi saatiin 0,41, eli vain 41 % lajeista oli samoja tutkittujen alueiden välillä. Shannon-Wiener monimuotoisuusindeksin arvo oli kyllästämöllä 3,3 ja kontrollialueella vastaavasti 4,4.

Kyllästämön alueella yleisimpiä lajeja olivat luhtakastikka (*C. stricta*), nurmirölli, lillukka, metsätähti ja suo-orvokki (*Viola palustris*). Peittävimpinä

kasvustoina esiintyivät edellä mainitut luhtakastikka ja nurmirölli. Suuren kasvillisuusindeksi-arvon saivat myös metsäimarre ja koiranputki, mutta molempia esiintyi ainoastaan yhdellä näytealalla. Vertailualueen yleisimmät lajit olivat osin samoja lajeja kuin pilaantuneella kasvupaikalla (luhtakastikka, lillukka ja suo-orvokki). Vastaavasti runsaimpina kasvustoina vertailualueella esiintyivät luhtakastikka, lillukka, suo-ohdake ja metsälauha. Useat lajit, jotka puuttuivat täysin kyllästämöltä, esiintyivät melko yleisinä vertailualueella. Tällaisia lajeja olivat mm. karhunputki, metsäkurjenpolvi, oravanmarja, rönsyleinikki, vadelma, niittysuolaheinä ja mustikka.

Taulukko 6. Kekkolan kyllästämön ja vertailualueen näytealoilla esiintyneiden putkilokasvien ruutufrekvenssit, keskimääräiset peittävydet ja kasvillisuusindeksit.

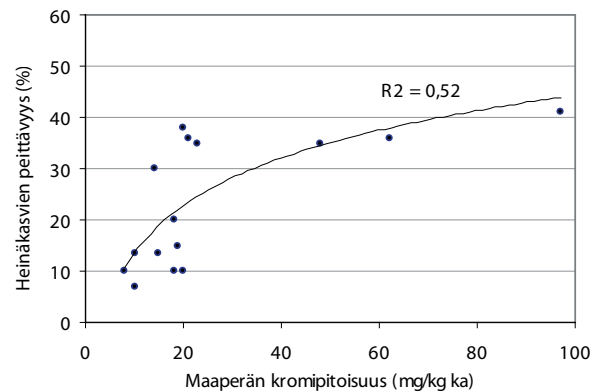
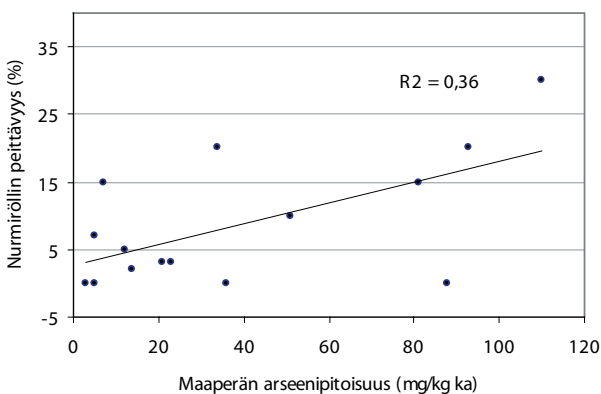
	Ruutufrekvenssi (%)		Keskimääräinen peittävyys (%)		Kasvillisuusindeksi	
	Kyllästämö	Vertailu-alue	Kyllästämö	Vertailu-alue	Kyllästämö	Vertailu-alue
<i>Agrostis capillaris</i> (nurmirölli)	73,3	46,7	14,3	4,0	1024	128
<i>Angelica sylvestris</i> (karhunputki)	-	46,7	-	2,4	-	128
<i>Anthriscus sylvestris</i> (koiranputki)	6,7	-	30,0	-	256	-
<i>Athyrium filix-femina</i> (hiirenporras)	-	6,7	-	10,0	-	128
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (metsäkastikka)	20,0	26,7	5,0	13,8	64	256
<i>Calamagrostis purpurea</i> (korpikastikka)	-	6,7	-	10,0	-	128
<i>Calamagrostis stricta</i> (luhtakastikka)	86,7	100,0	14,3	9,1	1024	1024
<i>Cirsium palustre</i> (suo-ohdake)	13,3	53,3	2,5	5,4	64	512
<i>Cornus suecica</i> (ruokokanukka)	-	13,3	-	1,0	-	32
<i>Deschampsia flexuosa</i> (metsälauha)	26,7	53,3	0,9	6,1	128	512
<i>Dryopteris carthusiana</i> (metsäalvejuuri)	26,7	46,7	9,0	17,6	512	256
<i>Epilobium angustifolium</i> (maitohorsma)	26,7	13,3	5,0	2,0	256	64
<i>Equisetum sylvaticum</i> (metsäkorte)	33,3	40,0	2,4	1,7	256	128
<i>Equisetum arvense</i> (peltokorte)	26,7	40,0	1,0	0,8	128	64
<i>Filipendula ulmaria</i> (mesiangervo)	6,7	13,3	1,0	3,0	32	64
<i>Galium uliginosum</i> (luhtamatara)	-	13,3	-	0,8	-	32
<i>Galium palustre</i> (rantamatara)	6,7	6,7	0,5	20,0	32	128
<i>Geranium sylvaticum</i> (metsäkurjenpolvi)	-	33,3	-	2,2	-	128
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (metsäimarre)	6,7	6,7	80,0	1,0	1024	32
<i>Juncus filiformis</i> (johvihivilä)	33,3	-	0,8	-	128	-
<i>Luzula pilosa</i> (kevätipippo)	33,3	33,3	2,3	2,8	256	128
<i>Lycopodium clavatum</i> (katinlieko)	-	6,7	-	3,0	-	64
<i>Maianthemum bifolium</i> (oravanmarja)	-	53,3	-	1,4	-	256
<i>Oxalis acetosella</i> (käenkaali)	13,3	20,0	0,8	1,7	32	64
<i>Peucedanum palustre</i> (suoputki)	13,3	6,7	1,0	0,5	32	16
<i>Potentilla erecta</i> (rätvänä)	-	26,7	-	1,5	-	128

Taulukko 6 jatkuu...

	Ruutufrekvenssi (%)		Keskimääräinen peittävyys (%)		Kasvillisuusindeksi	
	Kyllästämö	Vertailu-alue	Kyllästämö	Vertailu-alue	Kyllästämö	Vertailu-alue
Rubus idaeus (vadelma)	-	33,3	-	9,0	-	256
Rubus saxatilis (lillukka)	73,3	100,0	7,4	2,4	512	512
Rumex acetosa (niittysuolaheinä)	-	26,7	-	2,3	-	128
Scutellaria galericulata (luhtavuohennokka)	-	6,7	-	0,5	-	16
Solidago virgaurea (kultapiisku)	-	13,3	-	1,0	-	32
Stellaria palustris (luhtatähtimö)	-	6,7	-	0,5	-	16
Trientalis europea (metsätähti)	53,3	46,7	0,8	0,6	64	64
Vaccinium myrtillus (mustikka)	-	33,3	-	5,8	-	256
Vaccinium vitis-idea (puolukka)	-	20,0	-	1,5	-	64
Veronica chamaedrys (nurmitädyke)	-	6,7	-	1,0	-	32
Veronica officinalis (rohtotädyke)	-	13,3	-	2,0	-	64
Vicia cracca (hiirenvirna)	-	6,7	-	1,0	-	32
Viola canina (aho-orvokki)	-	6,7	-	3,0	-	64
Viola palustre (suo-orvokki)	40,0	66,7	5,5	3,0	256	256
laji 1	6,7	0,0	0,5	0,0	32	0
laji 2	13,3	0,0	1,0	0,0	32	0
Alnus incana (harmaaleppä)	13,3	13,3	5,0	11,0	64	128
Betula pubescens (hieskoivu)	-	6,7	-	7,0	-	128
Rhamnus frangula (korpipaatsama)	-	6,7	-	5,0	-	64
Salix sp. (pajut)	-	6,7	-	7,0	-	128
Sorbus aucuparia (pihlaja)	6,7	33,3	1,0	7,4	32	256
Kokonaislajimäärä	24	45				

Maaperän arseeni-, kromi- ja kuparipitoisuudet eivät juurikaan vaikuttaneet lajikohtaisiin peittävyksiin, näytealakohtaisiin lajimääriin tai näytealakohtaisiin kokonaispeittävyksiin. Vesannon kyllästämöllä ainoa suuntaa antava positiivinen korrelaatio havaittiin nurmiröllin näytealakohtaisen peittävyyden ja kromipitoisuuden välillä ($r = 0.42$, $p = 0.067$). Kekkonen kyllästämöllä vastaavainen suuntaa antava positiivinen korrelaatio oli

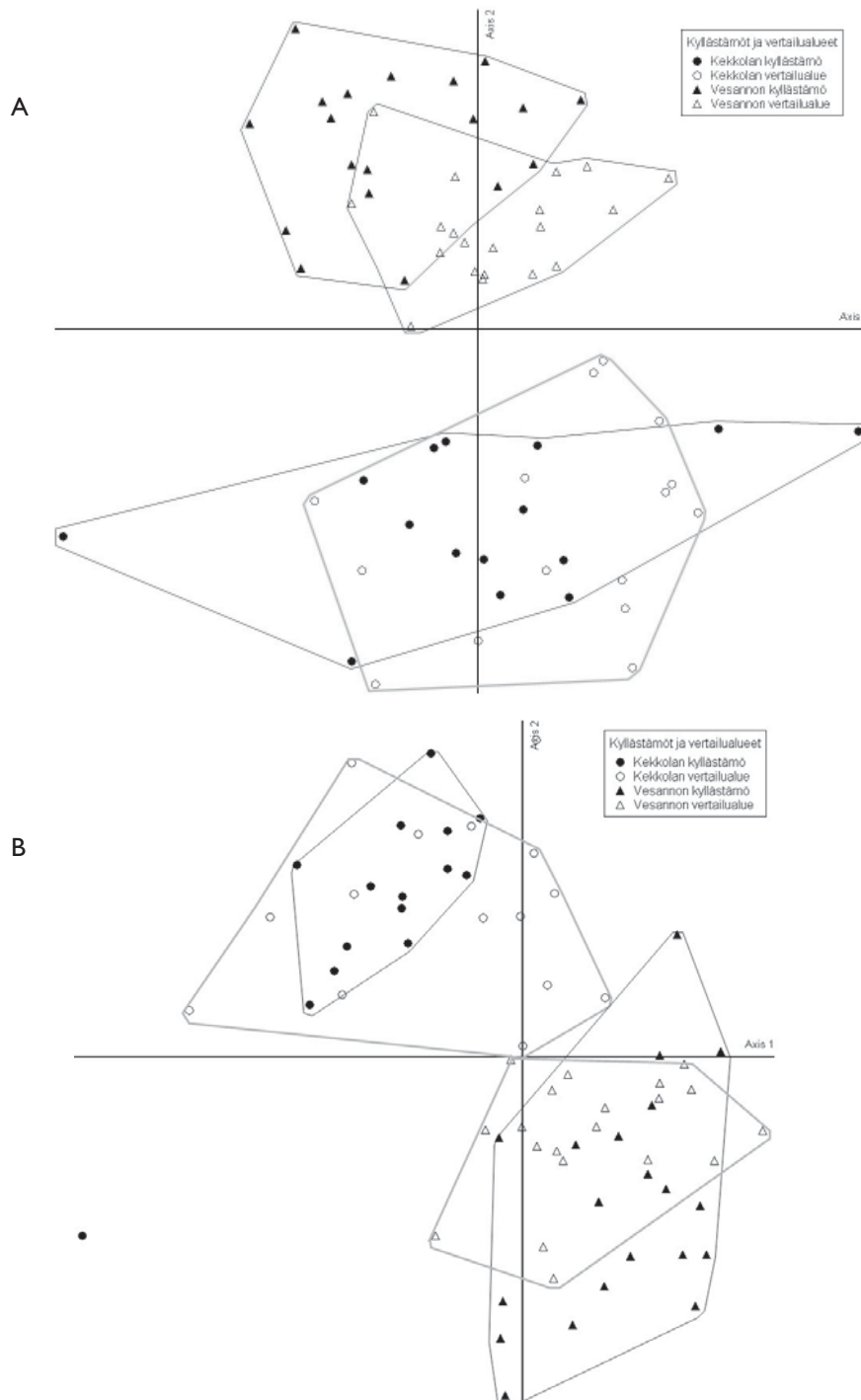
nurmiröllin peittävyyden ja arseenin välillä (kuva 7A). Myös lillukan peittävyydet korreloivat Kekkonen kyllästämöllä positiivisesti arseeni-, kromi- ja kuparipitoisuudet kanssa. Tarkasteltaessa heinäkasvien runsautta ryhmänä (metsälauha, nurmiröllin, kastikat), havaittiin heinien peittävyyden lisääntyvän maaperän kupari- ja kromipitoisuuksien kasvun myötä (kuva 7B). Vastaavaa yhteyttä ei kuitenkaan havaittu Vesannon kyllästämöllä.



Kuva 7. A) Maaperän arseenipitoisuuden vaikutus nurmiröllin runsauteen B) maaperän kromipitoisuuden vaikutus heinäkasvien runsauteen.

Vesannon ja Kekkolan alueet erottuivat selvästi toisistaan kasvilajiston ja lajien runsaussuhteiden perusteella tehdyissä ordinaatioanalyysissä (kuva 8). Kyllästämö- ja vertailualueet sen sijaan ryhmityivät erilleen melko heikosti. Lajistoltaan yhdenmukaisia ja samalla myös parhaiten ryhmittyviä olivat Vesannon kyllästämön ja vertailualueen näytealat (kuva 8A). Kekkolassa sekä kyllästämö- että

vertailualueilla sijainneiden näytealojen sisäinen vaihtelu oli runsaampaa, eivätkä alueet erottuneet lajikoostumuksen tai runsaussuhteiden perusteella juurikaan toisistaan. Ryhmittymistä selittivät parhaiten maaperän mangaani-, rauta-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet, mikä johtunee luontaisista eroista Vesannon ja Kekkolan koalueiden välillä.



Kuva 8. Kyllästämöiden ja vertailualueiden ryhmittyminen näyteruudittain tehdyissä NMS-ordinaatioissa A) lajikoostumuksen ja B) lajien runsaussuhteiden perusteella.

4 Tulosten tarkastelu

4.1

Arseeni- ja raskasmetallipitoisuudet

CCA- kyllästeiden tehoaineet pysyvät maaperässä korkeina pitoisuuksina varsin pitkään. Erityisesti arseenin ja kuparin on liukoisuustesteissä todettu irtoavan maaperästä hitaasti, mutta tietyllä vakio- tasolla hyvin pitkäkestoisesti (Vaajasaari ym. 2002). Vesannon kyllästämön toiminta loppui 34 vuotta sitten ja Kekkolan vastaavasti noin 50 vuotta sitten. Tästä huolimatta etenkin arseenipitoisuudet ylittivät molemmilla alueilla pilaantuneelle maalle asetetut raja-arvot. Arseenin, kromin ja kuparin alueellinen leviäminen pintamaassa oli melko yhdenmukaista; molemmilla kyllästämöillä oli kaksi tai kolme selvästi muuta ympäristöä selvemmin pilaantunutta osa- aluetta. Oletettavasti juuri näillä kohdoin on sijainnut siirrettävä kyllästyssylinteri tai käsitellyn puutavaran kuivatus- ja varastointipaikka. Pintamaan pitoisuudet antavat todennäköisesti näissä tapauksissa melko luotettavan kuvan haitta- aineiden sijoittumisesta myös syvemmissä maaker- roksissa. Vesannon kyllästämöllä, jossa maaperä oli pääosin silttistä hiekkamoreenia, haitta-aineiden pitoisuudet pienenevät nopeasti syvemmälle edet- täessä. Esimerkiksi kuparipitoisuudet olivat keski- määrin kymmenen kertaa pienemmät jo 30 cm:n syvyydestä otetuissa näytteissä verrattuna 10 cm: n syvyydestä otettuihin näytteisiin. Pilaantuneen alueen esiselvitysvaiheessa näytteenottosyvyyteen tuleekin maalajista riippuen kiinnittää erityistä huomiota ja ottaa näytteitä kattavasti useista sy-

vyyksistä. Analyysitulosten jatkokäytön kannalta on lisäksi tärkeää, että näytepaikat määritetään tarkasti joko kiinteillä merkeillä tai riittävän tarkkoilla GPS-paikantimilla.

Vesannon kyllästämön maaperä on pilaantunut etenkin arseenilla. Pitoisuudet ylittävät useissa kohdin PIMA-asetusluonnoksessa annetut alemmat ohjearvot ja voivat vaikuttaa esimerkiksi alu- een maaperäeliöstöön. Ekotoksisuustesteissä maa- perän eliöyhteisön keskeisille lajiryhmille, kuten änkyrimadoille, lieroille ja hyppyhäntäisille, jo 10- 90 mg / kg arseenipitoisuuksien on havaittu olevan toksisia (Loukola-Ruskeeniemi & Lahermo 2004). Vesannolla lähes puolessa tutkituista näytteissä ar- seenipitoisuudet olivat yli 100 mg / kg. Kupari- ja kromipitoisuudet olivat Vesannon kyllästämöllä vertailualueelta määritettyä taustatasoa korkeam- pia, mutta kuitenkin suhteellisen matalia. Useissa näytteissä pitoisuudet vastasivat Suomen maape- rän luontaisia pitoisuuksia (Braunschweilerin 1996, Vaajasaari 2002). Vain yhdessä kohdassa kromin ja kuparin pitoisuudet olivat selvästi koholla, ylittäen kromin osalta selvästi jopa raja-arvon. Haitta-ai- neiden kulkeutuminen pohjaveteen ei Vesannon kyllästämöllä ole todennäköistä huomioiden ainei- den pysyvyys pintamaassa ja pohjaveden korkeus- taso. Alueen helpon saavutettavuuden ja asutuk- sen läheisyyden vuoksi olisi kuitenkin perusteltua asettaa kyllästämön alueelle varoituskylttejä, joilla varoitetaan maaperän haitta-aineista ja kielletään marjastus sekä sienestys alueella. Alueella kasvaa sieniiä ja etenkin reunaosissa myös mustikoita ja puolukoita.

Kekkolan kyllästämön maaperä on pilaantunut paikoitellen arseenilla, jonka kokonaispitoisuus ylitti PIMA -asetusluonnoksen alemman tavoitearvon joka kolmannessa näytteessä. Kupari- ja kromipitoisuudet alueella olivat sen sijaan matalia. Kekkolan kyllästämö on sijainniltaan syrjäinen, eikä alueella ole erityistä monikäyttöarvoa esimerkiksi marjastus- tai sienestysalueena. Merkittävin riskitekijä em. kohteella on pintaveden läheisyys. Pielaveden rantaan kyllästämöltä on matkaa lyhimmillään alle 20 metriä ja lisäksi on todennäköistä, että useana keväänä vedenpinta on nousut aina kyllästämölle saakka. Tätä johtopäätöstä tukevat kyllästämön kunnostussuunnittelun yhteydessä tehnyt vaatukset (Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy 1999) ja Pielaveden vedenkorkeuden seuranta-aineisto (Ympäristötietojärjestelmä Hertta; Pintavesien tilan tietojärjestelmä).

4.2

Kasvillisuus

Kasvilajien kokonaislajimäärä ei poikennut Vesannon kyllästämöllä vertailualueella havaitusta lajimäärästä, mutta Kekkolan kyllästämön lajimäärä oli lähes puolet vertailualueen lajimäärää pienempi. Molemmilla kyllästämöillä näytealakohtainen lajimäärä oli selvästi vertailualueilla havaittua lajimäärää pienempi. NMS-ordinaatiossa kyllästämöalueet ja vertailualueet eivät kuitenkaan erotuneet toisistaan erityisen selvästi kasvillisuuslajikoostumuksen tai runsaussuhteiden perusteella.

Useat ainoastaan vertailualueella esiintyneet lajit kasvoivat vain yhdellä tai kahdella näyteruudulla, jolloin sattuman merkitys korostuu. Muutamat kasvilajit, kuten oravanmarja, vadelma, karhunputki, metsäkurjenpolvi ja rönsyleinikki olivat puhtaalla kasvupaikalla sen sijaan hyvin yleisiä vaikka puuttuivat täysin pilaantuneelta kasvupaikalta. Osalla näistä lajeista (karhunputki, metsäkurjenpolvi, rönsyleinikki) kyse lienee kuitenkin enemmän eroista kasvupaikkaolosuhteissa kuin maaperän pilaantumisesta. Kyllästämöiden kasvillisuuden pienempi monimuotoisuus (lähinnä Kekkolassa) voi viitata joka tapauksessa siihen, että maaperän paikoittelun korkeat arseeni-, kromi ja kuparipitoisuudet estävät tiettyjen herkkien lajien esiintymisen pilaantuneella kasvupaikalla. Kyllästämöillä yleiset ja runsaana esiintyvät lajit, kuten nurmirölli, metsälauha ja kastikat, ovat puolestaan eräänlaisia pioneirilajeja. Osa edellä mainituista heinälajeista esiintyi tosin runsaina myös vertailualueilla.

Kasvillisuuskartoituksen tuloksia tarkasteltaessa tulee muistaa, ettei käytetty vertailuasetelma (kyllästämö vs. vertailualue) ole kontrolloitu koeasetelmana. Maaperän arseeni-, kromi- ja kuparipitoisuuksien lisäksi kasvuolosuhteisiin vaikuttavat monet muut tekijät, jotka voivat vaikuttaa erittäin merkittävästi kasvupaikan ominaisuuksiin ja kasvilajistoon. Näitä ovat mm. maaperän kosteus, ravinteisuus, happamuus, maalaji ja orgaanisen aineksen määrä. Lisäksi kenttäkerroksen kasvillisuuteen vaikuttaa puuston aiheuttaman varjostuksen määrä. Näiden tekijöiden vaikutusta ei tässä lähinnä kuvailevassa tutkimuksessa pystytty arvioimaan riittävän tarkasti. On myös todettava, että Vesannolla vertailualue sijaitsi liian lähellä kyllästämöä (kts. taulukko 2, näyte K4). Lisäksi asetelman luotettavuuden parantamiseksi vertailualueita olisi pitänyt olla kaksi molemmilla kohteilla, mikä olisi mahdollistanut lajikoostumuksen vertaamisen myös maaperältään puhtaiden kasvupaikkojen välillä.

Tässä selvityksessä tutkitut entiset suolakyllästämöt olivat kasvittuneet luontaisesti ja kylästykseseen käytettyjen aineiden haittavaikutukset näkyivät lähinnä yksipuolisempina lajistona ja tiettyjen herkkien lajien puuttumisena. Molemmat kyllästämöt olivat pilaantuneet eniten arseenilla, jolla ei ole selvää kertymistaipumista kasveihin ja suhteellisen suurienkin pitoisuuksien on todettu olevan esimerkiksi siementen itävyydelle vain lievästi toksisia (Vaajasaaren ym. 2002). Kupari- ja kromipitoisuudet olivat molemmilla kyllästämöillä kasvillisuuden kannalta suhteellisen matalia ja todennäköisesti kasveille haitattomalla tasolla.

Koska arseenin rikastuminen kasveihin on vähäistä (Vaajasaari ym. 2004), fytoekstraktion käyttäminen suolakyllästämöjen kunnostusmenetelmänä ei liene mahdollista. Toisaalta on olemassa tuloksia yksittäisistä lajeista, jotka pystyvät akumuloidaan todella korkeita arseenipitoisuuksia pilaantuneelta kasvupaikalta. Eräästä pilaantuneella kasvupaikalla kasvaneesta saniaislajista on analysoitu jopa 3200-4990 mg/kg arseenipitoisuuksia (Ma ym. 2001). Todennäköisesti kyllästämöille parempi kasvukunnostusmenetelmä olisi kuitenkin fytostabilaatio. Useiden kotimaistenkin kasvilajien (mm. mänty, rauduskoivu, lampaannata) on havaittu vähentävän arseenin liikkuvuutta estämällä As^{5+} :n muuttumisen As^{3+} :ksi (Turpeinen 2002). Tämän selvityksen perusteella esimerkiksi nurmirölli saattaisi olla tolerantti ja kilpailukykyinen kasvilaji raskasmetalleilla lievästi pilaantuneiden alueiden maaperän stabilointiin.

5 Pohjois-Savon entisten puunkyllästämöiden nykytila

Ympäristöhallinnon maaperän pilaantumisen tietojärjestelmän (Matti-tietojärjestelmä) mukaan Pohjois-Savossa on kaksikymmentä entistä suolakyllästämöä, joiden maaperä on pilaantunut tai mahdollisesti pilaantunut kyllästyksessä käytetyillä aineilla. Näistä kohteista kolmen maaperä on puhdistettu ja yhden kohdealueen kunnostaminen aloitettiin kesällä 2005 (kts. kuva 9). Lisäksi on kunnostettu yhden kyllästämön läheisyydessä sijaitsevan omakotitalon kyllästysaineilla pilaantunut piha-alue.

1. Mikan kyllästämö, Siilinjärvi

Mikan kyllästämö on Siilinjärven kunnassa Alapitkän kylällä tiloilla Rno 15:10 ja 16:2 toiminut pylväskyllästämö. Kiinteistö on Savon Voima Oy:n omistuksessa. Kyllästämö sijaitsee pohjavesialueella ja

matkaa lähimmälle vedenottamolle on 3600 m. Etäisyyttä lähimpään asutukseen on noin 150 m ja lähimpään järveen 390 m. Kyllästämö aloitti toimintansa vuonna 1950 ja toiminta loppui 1993. Toiminta-aikana pylväitä käsiteltiin 3000-4000 m³ vuodessa, yhteensä noin 156 000 m³. Kyllästysaineenä käytettiin Celcure-A Oxide ja Kemira K33 -nimesiä kromin, kuparin ja arseenin oksideja sisältäviä suolakyllästeitä. Käytettyjen kyllästysaineiden kokonaismäärä on ollut lähes 1090 tonnia

Kyllästämön alueella vuosina 1988-1995 tehdyissä lukuisissa pohjavesi- ja maaperätutkimuksissa sekä maaperän että pohjaveden todettiin pilaantuneen kyllästyksen käytetyillä aineilla (taulukko 7). Mikan kyllästämölle laadittiin kunnostussuunnitelma, jonka mukaisesti alue kunnostettiin vuosien 1999 ja 2000 aikana eristämällä pilaantuneet maa-ainekset muusta ympäristöstä.

Taulukko 7. Analyysituloksia Mikan kyllästämöltä otetuista maaperä- ja vesinäytteistä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1998 JY/Ymtk	maanäytteitä (6)	13 – 13000	10 – 6900	12 – 14600
1999 Kuvy	maanäytteitä (3)	25 – 630	53 – 63	147 – 2720
1992 Oku Oy Geolab	maanäytteitä, syvyys 0 – 2 m	1,5 – 5869	5 – 550	13 – 2805
1992 Oku Oy Geolab	maanäytteitä	0,9 – 889	74 – 311	80 – 140
1993 Oku Oy Geolab	vesinäytteitä	3 – 15010 µg/l	1 – 79000 µg/l	24 – 165000 µg/l
1994 Oku Oy Geolab	maanäytteitä, syvyys 2 – 6 m	6 – 541	1277 – 2498	20 – 29
1995 GTK	maanäytteitä (10), 2 näytepistettä	12 – 805	26,2 – 377	15,9 – 166



Kuva 9. Pohjois-Savon entisten puunkyllästämöiden sijainti

2. Konnuslahden kyllästämö, Leppävirta

Leppävirran kunnassa sijainnut Savon Voima Oy:n entinen pylväskyllästämö. Kyllästämön toiminta-aika oli noin 4-5 vuotta ja puusuojaus alueella loppui vuonna 1951. Kyllästäminen tapahtui pusserruskylästysmenetelmällä. Kyllästämöalueelta on matkaa lähimpään asutukseen noin 200 m ja lähimpään järveen 35 m. Vanhojen tietojen mukaan alueella laiduntaneita lehmiä kuoli tuntemattomasta syystä vuonna 1957. Eläinten kuolinsyystä ei ole kuitenkaan olemassa lopullista varmuutta.

Kyllästämöalueelta otettiin vuosina 1993 ja 1997 maaperänäytteitä, joissa havaittiin korkeita kromi- ja arseenipitoisuuksia (taulukko 8). Taustatasosta kohonneita kromi-, arseeni- ja kuparipitoisuuksia mitattiin myös kyllästämöalueen vieressä sijaitsevan omakotitalon piha-alueen maaperästä. Kyseiselle pihalle oli tuotu täyttömaata kyllästämön alueella sijainneelta pellolta, mikä selittää em. havainnot. Omakotitalon piha-alueen maaperä kunnostettiin massanvaihdoilla vuonna 2000.

3. Stora Enso Oyj:n kyllästämö, Varkaus

Stora Enso Oyj:n Varkauden tehtailla sijainnut kyllästämö, jossa käsiteltiin painekyllästyksellä sähköpylväitä, ratapölkkyjä ja sahatavaraa. Kyllästämö toimi vuosina 1947-1954 ja kyllästysaineina käytettiin arseeni- ja kromiyhdisteitä sisältäviä suoloja (Boliden ja Wolman, K-33). Kyllästämö sijaitsee teollisuusalueeksi kaavoitetulla alueella. Lähimpään asutukseen on etäisyyttä 100-150 m ja lähimpään pintaveteen, Huruslahteen, noin 300-400 m.

Alueen maaperää on tutkittu X-MET-kenttämittarilla ja ottamalla varmentavia maaperänäytteitä. Lisäksi alueelta on otettu useita pohjavesinäytteitä. Määrittystulosten perusteella kyllästämön maaperän todettiin pilaantuneen etenkin arseenilla (max havainto 27 000 mg/kg ka.) ja kohonneita arseeni- sekä kromipitoisuuksia havaittiin myös pohjavedessä.

Kunnostussuunnitelman mukaisesti alue kunnostettiin kaivamalla arseenilla voimakkaimmin pilaantuneet maa-ainekset pois (n. 3600 m³ktr) ja keskimäärin kahden metrin syvyinen kaivanto täytettiin puhtailla maa-aineksilla. Lisäksi poistettiin kyllästämön läheisyydestä pintamaita noin 500 m³ktr, joten stabiloitujen maa-ainesten kokonaismäärä oli noin 4100 m³ktr.

4. Tehdaskadun kyllästämö, Kuopio

Kuopion kaupungissa Haapaniemen kaupunginosassa 1960-luvulla toiminut Savon Voima Oy:n pylväskyllästämö. Tontilla sijaitsi vuodesta 1954 alkaen myös Kuopion Liikenne Oy:n varikko, jossa suoritettiin linja-autojen huolto- ja korjaustointia sekä polttoaineen jakelua. Alueella vuonna 1998 tehtyjen maaperätutkimusten perusteella kohdealueen maaperä todettiin pilaantuneen dieselöljyllä polttoaineen tankkauspaikoilla ja lisäksi pintamaan arseenipitoisuudet ylittivät paikoin pilaantuneelle maalle asetetut raja-arvot. Pilaantunut maa-alue kunnostettiin vuonna 2004 massanvaihdoilla.

Taulukko 8. Analyysituloksia Konnuslahden kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1993 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (5)	ka. 495 (4)	ka. 327 (3)	ka. 27 (0)
1997 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (20), syvyys 0-0,1 m	ka. 182 (11)		ka. 47 (0)
1997 GTK	maanäytteitä (2), pintamaa	ka. 301 (2)	ka. 950 (2)	ka. 40 (0)

5. Kerkonkosken kyllästämö, Rautalampi

Rautalammin kunnassa Vesterilän kylässä Kyllästysranta –nimisellä tilalla (Rno 4:21) toiminut pylväiden ja sahatavaran kyllästämö. Kiinteistö on Savon Voima Oy:n omistuksessa. Lähimpään asutukseen kyllästämöltä on matkaa noin 50 m ja järveen 35 m. Vuosien 1949-1956 aikana alueella kyllästettiin puutavaraa puserruskyllästyksenä. Kokonaismäärän arvioidaan olleen noin 5300 m³. Kyllästysaineena oli vuoteen 1951 asti Wolman sekä Boliden suoloja ja vuodesta 1951 eteenpäin Lahontuho K33- kyllästysaine. Myös aikaisemmin käytetyt aineet ovat sisältäneet ainakin kromitrioksidia ja arseenipentoksidia. Vuodesta 1957 vuoteen 1969 asti kyllästysmenetelmänä oli painekyllästys. Painekyllästetyn puutavaran kokonaismäärä on ollut yhteensä noin 29 000 m³. Painekyllästyksessä kyllästysainetta käytettiin keskimäärin 6 kg/m³ ja puserruskyllästyksessä jonkin verran vähemmän, noin 4 kg/m³. Käytetyn kyllästysaineen kokonaismäärän arvioidaan olleen noin 195 tonnia.

SAMASE-kartoituksen yhteydessä vuonna 1991 otetuissa näytteissä havaittiin korkeita arseeni-, kupari- ja kromipitoisuuksia maaperän pintakerroksessa (taulukko 9). Myös alueelle asennetuista pohjavesiputkista ja näytekupista otetuissa vesinäytteissä havaittiin kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Niiniveden rannasta otetuissa vesinäytteissä arseeni- ja kromipitoisuudet eivät olleet kuitenkaan koholla. Suojatoimenpiteenä kyllästämön ympärille kaivettiin savikerrokseen asti (1-1,5 m: n syvyyteen) ulottuvat niskaojat estämään pinta- ja suotovesien valuntaa. Tämän lisäksi alueen ympärille rakennettiin 1,6 m korkea verkkoaita ja siihen kiinnitettiin 30 m:n välein varoituskyllit, joilla kieltettiin marjastus ja sienestys alueella sekä varoitetiin maaperän haitta-aineista.

Kerkonkosken entisen kyllästämön kunnostaminen aloitettiin vuonna 2005 ja kunnostusmenetelmänä käytettiin massanvaihtoa. Kyllästämöalueelta poistetut pilaantuneet maamassat käytettiin stabiloituina Suonenjoen moottoriurheilukeskuksen pysäköintialueen pohjarakenteisiin.

Taulukko 9. Analyysituloksia Kerkonkosken kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1991 SAMASE- kartoitus	maanäytteitä (5)	ka. 7034 (5)	ka. 3140 (4)	ka. 2056 (4)
1992 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (3)	ka. 542 (3)	ka. 132 (2)	ka. 32 (0)

6. Riihirannan kyllästämö, Leppävirta

Leppävirran kunnassa, Riihirannan kylässä Riijärvi –nimisellä tilalla (Rno 9:50) toiminut Savon Voima Oy:n siirrettävä painekyllästämö. Kyllästyksessä käytettiin kuparin, kromin ja arseenin oksideja sisältävää suolakyllästettä. Kyllästystoiminta alueella päättyi vuonna 1969, jonka jälkeen kyllästämö siirrettiin Kerkonkoskelle.

Asuin- ja vapaa-ajan alueiden osuus Riihirannan kyllästämön lähiympäristössä on vähäinen, mutta vesistöjen suhteellinen osuus on suuri (kts. liite 1). Lähimpään asutukseen kyllästämöltä on etäisyyttä noin 260 m, järveen 40 m ja pohjavesialueeseen vajaa kilometri.

Riihirannan kyllästämöltä on otettu sekä maaperä- että pohjavesinäytteitä. Vesinäytteitä on otettu lisäksi läheisen omakotitalon kaivosta. Näytteiden

Taulukko 10. Analyysituloksia Riihirannan kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1997 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (23), syvyys 0–0,1 m	ka. 370 (20)		ka. 522 (19)
1998 Juvegroup Oy	maanäytteitä (9), syvyys 0 m	ka. 214 (8)	ka. 219 (4)	ka. 131 (4)
1999 Juvegroup Oy	maanäytteitä (9), syvyys 0,6 m	ka. 46 (3)	ka. 35 (0)	ka. 62 (1)
2000 Juvegroup Oy	maanäytteitä (9), syvyys 1,0 m	ka. 45 (5)	ka. 35 (0)	ka. 49 (0)

perusteella alueen maaperä on pilaantunut kyllästyksessä käytetyillä haitta-aineilla. Erityisesti arseenin kokonaispitoisuudet ylittävät laajalti PIMA-asetusluonnoksen mukaiset alemmat ohjearvot, mutta paikoittelen myös kromin ja kuparin määrä maaperässä ylittää pilaantuneella maalla asetetun alemman ohjearvon (taulukko 10).

7. Kohoniemen kyllästäjä, Pielavesi

Pielaveden kunnan Pielaveden kylässä Niskalanimisella tilalla vuosina 1958 -1972 toiminut Savon Voima Oy:n pylväskyllästäjä. Kyllästyksessä käytettiin siirrettävää painekyllästyslaitteistoa ja CCA-kyllästysaineita. Kohoniemen kyllästäjältä on etäisyyttä lähimpään vesistöön 140 metriä, asutukseen 150 m ja pohjavesialueelle noin 1,2 kilometriä. Nykyisin aluetta käytetään puiden varastointipaikkana.

Pohjois-Savon ympäristökeskus tutki alueen maaperää X-MET-kenttämittarilla ja otti maaperänäytteitä vuosina 1992, 1993 ja 1996. Näissä tut-

kimuksissa etenkin arseenipitoisuuden havaittiin ylittävän useissa kohdin pilaantuneelle maalle asetetun alemman ohjearvon (taulukko 11). Vuonna 1998 otetuissa kahdeksassa maanäytteessä yhdenkään haitta-aineen pitoisuudet eivät sen sijaan ylittäneet pilaantuneen maan ohjearvoa. Etenkin arseenin kohdalla tulokset poikkeavat aikaisemmista analyysituloksista, mikä saattaa johtua eroista näytepaikkojen tai näytesyvyyksien valinnassa. Arseenin luontainen väheneminen kyllästäjän maaperästä on hidasta, eikä se selitä havaittuja eroja (kts. kappale 4.1).

Vuonna 1997 Insinööritoimisto Savon Suunnittelu Oy laati alueelle alustavan tutkimussuunnitelman maaperän pilaantumisen ja ympäristöriskien kartoittamiseksi. Suunnitelman mukaiset maastotutkimukset toteutti Savon Tekmi Oy. Vuonna 1999 Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy laati kohteelle kunnostussuunnitelman, jossa kunnostusmenetelmäksi ehdotettiin massanvaihtoa. Arvioiden mukaan alueelta tulisi poistaa noin 1000 m³ ktr pilaantunutta maa-ainesta.

Taulukko 11. Analyysituloksia Kohoniemen kyllästäjältä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1992 Oku Oy Geolab	maanäyte (I), syvyys 0,1 m	469 (I)	413 (I)	621 (I)
1992 Oku Oy Geolab	maanäyte (I), syvyys 0,2 m	93 (I)	78 (0)	42 (0)
1996 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (16), syvyys 0–0,6 m	ka. 219 (11)		ka. 395 (15)
1996 Oku Oy Geolab	laboratoriomääritys (I), pintamaa	178 (I)	30 (0)	63 (0)

8. Säviän kyllästäjä, Pielavesi

Pielaveden kunnan Taipaleen kylässä tilojen Rno 10:110 ja Rno 10:113 alueilla sijainnut Savon Voima Oy:n entinen pylväskyllästäjä. Kyllästysmenetelmänä on käytetty puserruskyllästystä ja kyllästeinä CCA-kyllästeitä. Kohteen lähiympäristössä on runsaasti asutusta ja vesistöä (kts. liite 1). Lähimpiin asuinrakennuksiin entiseltä kyllästäjäalueelta on etäisyyttä noin 100 m ja lähimpään vesistöön, Säviänvirtaan, vain 20 m. Alueelle on tehty osayleiskaavan muutos vuonna 2002.

Pohjois-Savon ympäristökeskus on tutkinut alueen maaperää X-MET -kenttämittarilla ja ottanut lisäksi maaperänäytteitä haitta-aineiden tarkempia laboratorioanalyysijä varten (taulukko 13). Jatkotutkimukset ja alustavan kunnostussuunnitelman alueelle on tehnyt Insinööritoimisto Savon Suunnittelu Oy. Selvitysten mukaan alueen maaperä on pilaantunut suolakyllästyksessä käytetyillä aineilla useista kohdin ja paikoittelen varsin syvältä (yli 0,9 m). Erityisesti arseenilla pilaantuminen on ollut selvää lähes kaikissa näytepisteissä (taulukko 12). Myös kromille asetetut SAMASE-raja-arvot

ovat ylittyneet useassa näytteessä. Savon Tekmi Oy on kartoittanut alueen maaperää ja todennut sen olevan pääosin silttistä hiekka- ja hietamoreenia. Lokakuussa 1997 tehdyissä maaperätutkimuksissa pohjaveden pinta oli paikoitellen varsin korkealla; yhdessä havaintopisteessä vain noin 50 cm maapinnan alapuolella. Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy on laatinut alueelle alustavan kunnostussuunnitelman ja esittänyt kunnostusmenetelmäksi mas-sanvaihtoa. Alustavan arvion mukaan poistettavan maa-aineksen määrä olisi noin 1500 m³.

Taulukko 12. Analyysituloksia Säviän kyllästäimöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyytit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1996 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (17), syvyys 0–0,2m	ka. 420 (16)		ka. 201 (13)
1996 Oku Oy Geolab	laboratoriomäärytyksiä (4), 0–0,1m	ka. 257 (3)	ka. 182 (1)	ka. 35 (0)
1998 Juvegroup Oy	maanäytteitä (6), syvyys 0–0,6m	ka. 81 (4)	ka. 59 (0)	ka. 14 (0)
1998 Juvegroup Oy	maanäytteitä (7), syvyys 0–0,9m, näytteet märkiä	ka. 827 (7)	ka. 980 (4)	ka. 24 (0)

9. Jokilahden kyllästäimö, Nilsjä

Nilsjään kunnassa Jokilahdessa toiminut Savon Voima Oy:n kyllästäimö. Kyllästysmenetelmänä on käytetty puserruskyllästystä ja tehoaineina CCA-kyllästeitä. Toiminta-aika on ollut todennäköisesti 2–3 vuotta. Nykyisin alue on varattu seutukaa-vassa taajamatoimintojen alueeksi ja kyllästäimön lähiympäristössä on erittäin runsaasti asutus- ja vapaa-ajan alueita (liite 1). Lähimpään asutukseen kohteelta on matkaa noin 50 m. Kohteen välittömässä vaikutuspiirissä on myös vesialueita; lähimpään pintaveteen (sekä järvi että joki) on matkaa noin 20 m ja Kirkonkylän I-luokan pohjavesialueelle noin 400 metriä.

Jokilahden kyllästäimön maaperän pilaantumista on tutkittu vuonna 1997 ottamalla alueelta neljä maaperänäytettä. Tulosten perusteella alue ei ole pilaantunut kyllästyksessä käytetyillä aineilla (taulukko 13). Huomioiden kyllästyksessä käytettyjen aineiden alueelliset pitoisuusvaihtelut (kts. esim. kappale 3.1), on neljä eri syvyyskerroksista otettua näytettä liian pieni näytemäärä luotettavien joh-topäätösten tekemiseen. Alueelle on tuotu lisäksi runsaasti täyttömaita, mikä entisestään vaikeuttaa maaperän pilaantumisen arvioimista.

Taulukko 13. Analyysituloksia Jokilahden kyllästäimöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyytit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1997 GTK	maanäytteitä (4), syvyys 0,1–2,0m	ka. < 10 (0)	ka. 9 (0)	ka. 27 (0)

10. Taskisen saha, Varkaus

Varkauden kaupungin Unnukansalon kylässä Sahalan tilalla (Rno 1:31) toiminut puutavaran kyllästämö. Kyllästystoiminta aloitettiin vuonna 1970 ja lopetettiin vuonna 1992. Tämän jälkeen alueella on käsitelty vain muualla kyllästettyä puutavaraa. Kohteella kyllästettiin puutavaraa CCA -aineilla ja kyllästysaineena käytettiin Kemira K 33 -kyllästettä. Nykyisin alue on Taskisen Puu Oy:n omistuksessa ja saha on edelleen toiminnassa. Lähimpään asutukseen kyllästämöltä on etäisyyttä noin 100 m ja järveen reilut 100 metriä. Lähimpiin talousvesikaivoihin saha-alueelta on etäisyyttä 200-300 metriä.

Vuonna 1988 entisen kyllästämön alueelta otettiin maanäytteitä viidestä pisteestä kolmelta eri sy-

vyydeltä. Kahdessa näytepisteessä (3 näytteessä) arseenin kokonaispitoisuudet ylittivät PIMA-asetusluonnoksessa annetut ylempät ohjearvot, joita sovelletaan arvioitaessa teollisuuskäytössä olevien alueiden maaperän pilaantumista. Toisessa edellä mainituista näytepisteistä myös kromin ja kuparin kokonaispitoisuudet ylittivät ylempät ohjearvot. Vuonna 1996 Pohjois-Savon ympäristökeskus tutki sahan maaperää X-MET-kenttämittarilla. Tällöin arseenille asetettu ylempi ohjearvo ylittyi viidessä mittauspisteessä ja kuparipitoisuuden ylempi ohjearvo vastaavasti neljässä mittauspisteessä (taulukko 14). Alueelta tehtyjen mittausten ja analyysien perusteella saha-alueen maaperä on pilaantunut etenkin arseenilla, mutta paikoitellen myös kromi- ja kuparipitoisuudet ylittävät teollisuusalueiden pilaantuneisuuden arvioinnissa käytettävät ohjearvot.

Taulukko 14. Analyysituloksia Taskisen sahan kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen ylempien ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1988 JY/Ymtk	maanäytteitä (15), syvyys 0–0,75 m	ka. 178 (7)	ka. 127 (2)	ka. 147 (3)
1996 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (21) syvyys 0–0,7 m	ka. 43 (9)		ka. 116 (9)
1996 Oku Oy Geolab	laboratoriomääriä (5), 0,1–0,7m	ka. 109 (2)	ka. 58 (0)	ka. 71 (0)

11. Liistelahden kyllästämö, Tuusniemi

Tuuslahden Liistelahdessa sijainnut entisen Posti- ja lennätinlaitoksen kyllästämö. Kyllästäminen alueella aloitettiin vuonna 1932 ja se jatkui ainakin kahden kesän ajan. Puutavaraa kyllästettiin kolmi-vuorotyönä, joten käsitelty puumäärä on ollut huomattavan suuri lyhyestä toiminta-ajasta huolimatta. Kyllästysmenetelmänä käytettiin puserruskyllästystä ja käsitellyt pylväät olivat kuorimattomia. Lähimpään asutukseen entiseltä kyllästysalueelta

on matkaa noin 100 metriä ja järven rantaan noin 30 metriä. Entinen kyllästyspaikka sijaitsee I-luokan pohjavesialueella (Tuusniemen pohjavesialue).

Pohjois-Savon ympäristökeskus tutki Liistelahden kyllästämön maaperän pilaantumista X-MET-kenttämittarilla vuonna 1998. Yhteensä seitsemäsätoista mittauspisteessä tehdyissä 40 mittauksessa arseenipitoisuudet ylittivät alemman ohjearvon kahdessa ja kuparipitoisuudet viidessä näytteessä (taulukko 15).

Taulukko 15. Analyysituloksia Liistelahden kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1998 Pohjois-Savon ympäristökeskus	X-MET mittauksia (40)	ka. 16 (2)		ka. 92 (5)

12. Tuusjärven kyllästämö, Tuusniemi

Tuusniemen kunnan Tuusjärven kylässä toiminut entisen Posti- ja lennätinlaitoksen kyllästämö. Alue oli Telen vuokratyössä 1950-luvun alusta vuoteen 1995 saakka. Alueella on sekä kyllästetty että varastoitu suojakäsiteltyä puutavaraa. Varastointia jatkettiin ilmeisesti vielä vuoden 1955 jälkeenkin. Entisen kyllästämöalueen maaperän pilaantumista on selvitetty useaan otteeseen vuosien 1994-1997 välisenä aikana (taulukko 16). Vuoden 1994 analyysien

perusteella maaperä on pilaantunut arseenilla ja kromilla; molempien haitta-aineiden pitoisuudet ylittivät miltei jokaisessa tutkitussa näytteessä alemmat ohjearvot. Myös vuosien 1995 ja 1997 yksittäisissä maaperänäytteissä havaittiin arseenilla hyvinkin korkeita kokonaispitoisuuksia.

Tuusjärven entinen kyllästämöalue sijaitsee I-luokan pohjavesialueella (Tuusjärven pohjavesialue) ja lähimpään vedenottamoon on etäisyyttä noin 500 metriä. Lähimpään pintaveteen (Kourulampi) on matkaa vain kymmeniä metrejä ja lähimpään asutukseen noin 100 metriä.

Taulukko 16. Analyysituloksia Tuusjärven kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyytit	Näytetiedot	Arseni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1994 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (6), syvyys 0–1,0m	ka. 220 (5)	ka. 333 (6)	ka. 52 (0)
1995 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (1), syvyys 0,25 m	304 (1)	110 (0)	59 (0)
1997 GTK	maanäytteitä (1), syvyys 0,03 m	1470 (1)	253 (1)	110 (0)

13. Jauhojärven kyllästämö, Suonenjoki

Suonenjoen kaupungin Jauhojärven kylässä sijaitseva entinen kyllästämöalue, jonka Suonenjoen Sähkö oli vuokrannut vuosina 1959-1969 kyllästystoimintaa varten. Alueen omistaa Juhani Lukkarinen. Suonenjoen kaupungin tekemän selvityksen mukaan pylväiden kyllästys tapahtui avoimena painekyllästyksenä telojen päällä. Kyllästysaineenä käytettiin Wolman- suolakyllästettä noin 400 kg vuodessa. Kyllästyspaikkojen sijaintia ei ole voinut historiatietojen perusteella luotettavasti selvittää. Alueen nykyinen omistaja on todennut, että edellinen omistaja on antanut yli 30 vuotta sitten tietämättömyyttään alueen Suonenjoen Sähkön käyttöön kyllästämöalueeksi. Suonenjoen Sähkön suurin omistaja oli aikoinaan Suonenjoen kaupunki.

Pohjois-Savon ympäristökeskus (aikaisemmin Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri, Kuvy) on tutkinut aluetta vuosina 1992, 1993 ja 1996 X-MET-kenttämittarilla ja ottanut maa- ja sedimenttinäytteitä (taulukko 17). Tulosten perusteella entisen kyllästämön maaperä on pilaantunut paikoitellen arseenilla ja kromilla. Alueellinen vaihtelu haitta-aineiden

kokonaispitoisuuksissa on suurta ja useimmissa näytepaikoissa pitoisuudet ovat PIMA-asetusluonnoksessa esitettyjä alempia ohjearvoja pienempiä. Toisaalta osassa mittauspisteistä haitta-ainepitoisuudet ovat erittäin suuria. Myös eri näytekertojen välinen vaihtelu havaituissa haitta-ainepitoisuuksissa on huomattavan suurta.

Suunnittelukeskus Oy:n on laatinut Jauhojärven kyllästämölle vuonna 1996 alustavan kunnostussuunnitelman, jossa kunnostettavan maaperän määräksi esitetään 1500 m³ ktr ja taloudellisesti parhaaksi vaihtoehdoksi massojen kapseloimista olemassa oleville kaatopaikoille. Jauhojärven kyllästämö sijaitsee järven rannalla ja aluetta on käytetty valvomattomana uima- ja venerantana. Lähimpään asutukseen ja talousvesikaivoihin entiseltä kyllästämöalueelta on matkaa noin 250 metriä. Lähin pohjavesialue (Lintharju, I-luokka) sijaitsee noin 1,5 kilometrin etäisyydellä entisestä kyllästämöstä.

Taulukko 17. Analyysituloksia Jauhojärven kyllästämöltä otetuista näytteistä. Suluissa näytemäärät ja PIMA-asetusluonnoksen alemman ohjearvopitoisuuden ylittäneiden näytteiden lukumäärä.

Analyysit	Näytetiedot	Arseeni mg/kg	Kromi mg/kg	Kupari mg/kg
1992 Jymtk	maanäytteitä (6)	ka. 6 (0)	ka. 17,5 (0)	ka. 7,5 (0)
1993 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (5)	ka. 113 / med. 3 (1)	ka. 425 / med. 79 (1)	ka. 141 / med. 28 (1)
1993 Kuvy	X-MET mittauksia (46) syvyys 0,1-1,5 m	ka. 231 / med. 57 (25)	ka. 403 / med. 30 (10)	ka. 555 / med. 60 (13)
1993 Oku Oy Geolab	maanäytteitä (6)	2 – 1872	26 – 4800	7 – 1155
1996 Suunnittelukeskus	maanäytteitä (27) syvyys 0,2-1,0 m	ka. 31 (1)	ka. 121 (1)	ka. 20 (1)
1996 Suunnittelukeskus	pohjavesinäytteitä (2)	0,177, <0,003	0,024, <0,003	0,009, <0,003

14. Niiralan kyllästämö, Kuopio

Kuopion kaupungissa Niiralan kaupunginosassa sijainnut Savon Voima Oy:n pylväskyllästämö. Alueen maaperää on tutkittu X-MET-kenttämittarilla vuonna 1998 yhteensä 37 näytestä (76 mittauksia). Kenttämittausten perusteella arseeni- ja kuparipitoisuudet alueen maaperässä ovat pieniä, eivätkä ne ylitä pilaantuneelle maalle asetettuja alempia ohjearvoja.

15. Savilahden kyllästämö, Kuopio

Kuopion kaupungissa Savilahdentiellä sijainnut Savon Voima Oy:n pylväskyllästämö. Alueen maaperää on tutkittu vuonna 1997 yhteensä 15 näytestä (29 mittauksia) X-MET-kenttämittarilla. Kenttämittauksissa arseenin kokonaispitoisuudet ylittivät kolmessa mittauspisteessä lievästi alemman ohjearvopitoisuuden. Mittaustulosten varmentamiseksi otetussa laboratorionäytteessä haitta-ainepitoisuudet, mukaan lukien arseeni, jäivät alle pilaantuneen maan ohjearvojen.

16. Pellesmäen kyllästämö, Kuopio

Kuopion Pellesmäessä sijainnut Savon Voima Oy:n siirrettävä kyllästämöalue, jossa käsitelty TVH:n kaideparruja. Kyllästämön maaperän arseeni- ja kromipitoisuuksia on tutkittu kenttämittarilla vuonna 1998 yhteensä 24 näytestä (49 näytettä). Kenttämittauksissa arseenin kokonaispitoisuudet ylittivät pilaantuneelle maalle asetetun alemman ohjearvon niukasti neljässä mittauspisteessä ja kromille asetetut vastaavat ohjearvot ylittyivät lievästi kuudessa mittauspisteessä.

Entisen kyllästämön lähiympäristössä on nykyisin aikaisempaa enemmän asutusta ja vapaa-ajanalueita (kts. liite 1). Lähimpään asuinrakennukseen entiseltä kyllästyspaikalta on etäisyyttä noin 50 metriä. Lisäksi aluetta halkoo puro, jonka varressa kyllästämö ja kyllästysylinteri on aikoinaan sijainnut. Pellesmäen I-luokan pohjavesialueelle kohteelta on etäisyyttä noin 800 metriä.

17. Meijerinrannan kyllästämö, Kiuruvesi

Kiuruvedellä Meijerinrannassa sijainnut Savon Voima Oy:n siirrettävä painekyllästyslaitteisto. Kyllästämön todennäköiseltä sijaintipaikalta on etäisyyttä asutukseen noin 100 m ja lähimpään järveen vajaan 10 metriä. Tiedot Meijerinrannan kyllästämöstä ovat vähäisiä.

18. Pikonniemen kyllästämö, Juankoski

Juankosken Pikonniemessä toiminut Savon Lahonsuojayhdistyksen siirrettävä painekyllästyslaitteisto. Kyllästämö on sijainnut Kymi Oy:n sahan vieressä ja olemassa olevien tietojen perusteella sen voidaan olettaa olleen Pikonniemessä. Tiedot Pikonniemen kyllästämöstä ovat vähäisiä.

6 Yhteenveto

Pohjois-Savon kahdestakymmenestä entisestä suolakyllästämoalueesta neljän maaperä on puhdistettu. Pääasiallisena kunnostusmenetelmänä on käytetty massanvaihtoa. Kunnostamattomien kyllästämojen maaperän pilaantumista ja pilaantumisesta aiheutuvaa ympäristöriskiä on arvioitu useilla kohdealueilla sekä kenttämittauksilla että ottamalla maaperä- ja vesinäytteitä. Näiden tutkimustulosten perusteella alustavat kunnostussuunnitelmat on laadittu viidelle kyllästämolle. Kahden kyllästämon osalta tiedot kyllästystoiminnasta ja maaperän mahdollisesti pilaantumisesta ovat yhä varsin vähäisiä (taulukko 18).

Pilaantuneiden maiden kunnostustarvetta on arvioitu viimeisimmäksi Pohjois-Savon alueellisen jätesuunnitelman tarkistuksessa vuonna 2003 (Koponen, 2003). Alueellisessa jätesuunnitelmassa esitetyistä 21 kunnostuskohteesta yhdeksän on entisiä suolakyllästämöjä. Suunnitelmassa kunnostettavaksi esitetyistä kohteista Konnuslahden kylästämon läheisyydessä sijainneen omakotitalon piha-alue on sittemmin kunnostettu ja Kerkonkosken kyllästämon kunnostaminen aloitettu kesällä 2005. Muita alueellisessa jätesuunnitelmassa kunnostettaviksi esitettyjä ovat Tuusjärven, Jauhojärven, Riihirannan, Säviän, Kekkolan, Kohoniemen ja Vesannon kyllästämöt. Myös tässä selvityksessä kerättyjen tietojen perusteella edellä mainitut kylästämöt ovat alueellisesti ensisijaisia kunnostuskohteita.

Jatkossa kunnostuskohteiden valintaan ja priorisointiin tulee vaikuttamaan valtionneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Asetuksen myötä tulee huomioida entistä tarkemmin kunnostettavan kohdealueen nykyinen ja tuleva käyttömuoto. Lisäksi kyllästämojen maaperän pilaantuneisuuden tarkastelussa käytetyt ohjearvopitoisuudet

poikkeavat kromilla ja kuparilla aikaisemmin yleisesti käytetyistä raja-arvopitoisuuksista; sekä kromin että kuparin kokonaispitoisuudelle asetettu pilaantuneen maan alempi ohjearvo on selvästi SAMASE-raja-arvoa matalampi. Toisaalta maaperän puhdistustarpeen arvioinnin tulee perustua ennen muuta mitattujen haitta-ainepitoisuuksien keskilukuihin, ei yksittäisiin ääriarvoihin. Edellä esitetyt muutokset maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa eivät kuitenkaan muuta merkittävästi Pohjois-Savossa sijaitsevien suolakyllästämojen kunnostustarvetta ja kunnostuskohteiden valintaperusteita.

Taulukko 18. Pohjois-Savon entiset puunkyllästämykset (tilanne vuoden 2005 lopussa).

Nimi	Sijaintikunta	Tila
Mikan kyllästämykset	Siilinjärvi	kunnostettu eristämällä
Konnuslahden kyllästämykset	Leppävirta	kunnostettu massanvaihdolla (osittain)
StoraEnso Oyj:n kyllästämykset	Varkaus	kunnostettu massanvaihdolla
Tehdaskadun kyllästämykset	Kuopio	kunnostettu massanvaihdolla
Kerkonkosken kyllästämykset	Rautalampi	kunnostus aloitettu 2005
Riihirannan kyllästämykset	Leppävirta	kunnostamatta
Kohoniemen kyllästämykset	Pielavesi	kunnostamatta
Säviän kyllästämykset	Pielavesi	kunnostamatta
Kekkolan kyllästämykset	Pielavesi	kunnostamatta
Vesannon kyllästämykset	Vesanto	kunnostamatta
Jokilahden kyllästämykset	Nilsjä	kunnostamatta
Taskisen saha	Varkaus	kunnostamatta
Liistelahden kyllästämykset	Tuusniemi	kunnostamatta
Tuusjärven kyllästämykset	Tuusniemi	kunnostamatta
Jauhojärven kyllästämykset	Suonenjoki	kunnostamatta
Niiralan kyllästämykset	Kuopio	kunnostamatta
Savilahden kyllästämykset	Kuopio	kunnostamatta
Pellesmäen kyllästämykset	Kuopio	kunnostamatta
Kiuruveden kyllästämykset (Meijerinranta) kyllästämykset	Kiuruvesi	kunnostamatta, tiedot puutteelliset
Juankosken kyllästämykset (Pikonniemi)	Juankoski	kunnostamatta, tiedot puutteelliset

LÄHTEET

- Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä. Suomen ympäristökeskuksen moniste 92. Suomen ympäristökeskus
- Ahola, S. 1997. Puunkyllästyksen saastuttamien maa-alueiden tutkimukset Pohjois-Savossa. Julkaisematon yhteenvetoraaportti vuonna 1996 tehtyjen tutkimusten tuloksista. 26 s.
- Baker, A.J.M. & Brooks, R.R. 1989. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements -A Review of their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery* Vol 1. pp 81-126.
- Baker, A.J.M., Reeves, R.D. & Hajar, A.S.M. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl (Brassicaceae). *New Phytol* 127:61-68
- Braunschweiler, H. 1996. Ecotoxicological hazard assessment of copper, copper sulphate and copper oxide. Selvitys. SYKE, kemikaaliyksikkö 3.4.1996. 27s.
- Cameron, R.E. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Volume 1: metals. U.S. EPA /600/4-91/029.
- Eilu, P. & Lahtinen, R. 2004. Arseeni kallioperässä ja malmiutuneissa vyöhykkeissä. Teoksessa Loukola-Ruskeeniemi & Lahermo (toim.) 2004. Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus s. 29 - 43.
- Hassinen, V. 2002. Raskasmetallien fytoimediaation hyödyntämismahdollisuudet. Suomen ympäristö 547. Pohjois-Savon ympäristökeskus, 72 s.
- Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Tutkimusraportti 150.
- Häikiö, M. (toim.) 2000. Pilaantuneiden maa-ainesten käsittelylaitosten tarveselvitys – Etelä-Savo, Keski-Suomi, Pohjois-Karjala ja Pohjois-Savo. Pohjois-Savon ympäristökeskuksen alueelliset ympäristöjulkaisut 64 s.
- Insinööritoimisto Vihreä Putki Oy 1999. Savon Voima Oyj. Kyllästäväalueen tutkimus, Kekkola, Pielavesi. 6 s.
- Koljonen, T. (toim.) Suomen Geokemian Atlas, osa 2. Moreeni. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 218 s.
- Koponen, L. Pohjois-Savon alueellisen jätesuunnitelman tarkistus 2003. Alueelliset ympäristöjulkaisut 297. Pohjois-Savon ympäristökeskus. 85 s.
- Lehto, O., Järvinen, H.-L., Breilin, O., Nevalainen, J. & Dahlbo, H. 1998. Mallisuunnitelma suolakyllästysalueiden maaperän tutkimiseen ja kunnostamiseen. Suomen ympäristö 245. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 113 s.
- Leka, J., Valta-Hulkkonen, K., Kanninen, A., Partanen, S., Hellsten, S., Ustinov, A., Ilvonen, R. & Airaksinen, O. 2003. Vesimakrofyytit järvien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa – Maastomenetelmien ja ilmakuvatulokinnan käyttökelpoisuuden arviointi Life Vuoksi- projektissa. Etelä-Savon ympäristökeskuksen alueelliset ympäristöjulkaisut. Etelä-Savon ympäristökeskus ja Pohjois-Savon ympäristökeskus. 96 s.
- Lindqvist, H., Kylä-Harakka, T., Isoaho, S., Karjalainen, A., Lameranta, J. & Matinvesi, J. 1985. Saha- ja kyllästystoiminnan sekä uiton ja tukkien varastoinnin vesiensuojelukysymyksiä (työryhmän loppuraportti). Vesihallituksen monistesarja 329. Vesihallitus, Helsinki.
- Loukola-Ruskeeniemi, K. & Lahermo, P. (toim.) 2004. Arseeni Suomen luonnossa – ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi - valtioneuvoston asetuksen sovellusopas. Luonnos 2.2.2006, Ympäristöopas-sarja
- Ma, L.Q., Komar, K.M., Tu, C., A, Zang, W., Cai, Y. & Kennelley, E.D. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature* 409, p.579.
- Markkanen, T. 1998. Selvitys saastuneiden maamassojen alueellisesta käsittelystä eteläisessä Suomessa. Suomen ympäristö 227, Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Mehra, A. & Farago, M.E. 1994. Metal ions and plant nutrition: In *Plants and the Chemical Elements. Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity*, Ed. Farago. VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany.
- Mäntylahti, V. 2002. Laatumaa – luokittelurajat käytäntöön. Viljavuuspalvelu Oy. www.viljavuuspalvelu.fi
- Puolanne, J., Pyy, O. & Jeltsch, U. (toim.) 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa – Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojektin loppuraportti. Helsinki, ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosaston muistio nro 5/1994
- Ruokolainen, M., Pantsar-Kallio, M., Haapa, A. & Kairesalo, T. 2000. Leaching, runoff and speciation of arsenic in a laboratory mesocosm. *The Science of the Total Environment* 258, 138-147.
- Saarela, J. 1990. Kaivosjätteiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja nro 64.
- Salla, A. 1999. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsinki. 25 s.

- Schnoor, J. L. 1997. Phytoremediation: Technology Evaluation Report. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Centre, Pittsburgh
- Sorvari, J. & Antikainen, R. (toim.) 2004. Katsaus pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan nykykäytäntöihin. Suomen ympäristökeskuksen moniste 316. Suomen ympäristökeskus.
- Sorvari, J. 2005. Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden riskinhallinnan nykykäytännöt (esitys). Valtakunnalliset ympäristöntutkimuspäivät, Kuopio 1.-2.11.2005.
- Tarvainen, T., Jarva, J. & Pyy, O. 2004. Megasite-luokan pilaantuneet alueet, milloin tarvitaan EU-seuranta. Teoksessa Seppälä, J. & Idman, H. (toim.) 2004. Maaperänsuojelu. Geologian tutkimuskeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen tutkimusseminaari 5.11.2004. s. 7-14.
- Turpeinen, R. 2002. Interactions between metals, microbes and plants – bioremediation of arsenic and lead contaminated soils. Reports from department of ecological and environmental sciences, University of Helsinki, Lahti. 48p.
- Vaajasaari, K., Joutti, A., Shultz, E. & Priha, E. 2002. CCA-suolakyllästeen ja kuparipohjaisen kyllästeen käyttäytyminen maaperässä: Liukoisuus ja ekotoksisuus. Pirkanmaan ympäristökeskuksen monistesarja 18. Pirkanmaan ympäristökeskus.
- Vaajasaari, K., Schultz, E. & Sorvari, J. 2004. Arseeni pilaantuneissa maissa, ympäristöriskien arviointi ja arseenin ekotoksikologia. Teoksessa Loukola-Ruskeeniemi, K. & Lahermo, P. (toim.). Arseeni Suomen luonnossa – ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. s. 135-152.
- Viitasaari, S. (toim) 1991. Kyllästämöiden ympäristö ja turvallisuus. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja sarja B 11.

Liite 1.

Pohjois-Savon entisten puunkyllästäneiden lähiympäristön maankäyttö SLICES-aineistojen (Valtakunnallinen maankäyttö-, peitteisyys- ja maaperäaineisto) perusteella. Analyysit ulotettu 250 m etäisyydelle kyllästäneiden oletetusta keskipisteestä.

	Asuinalueet ja vapaa-ajan alueet (%)	Liiketoimintojen alueet (%)	Teollisuuden, liikenteen yms. alueet (%)	Käytössä olevat maatalousalueet (%)	Muut maatalouden alueet (%)	Vesistöt (%)	Metsät ja joutomaat (%)
Kekkola	3,3	0,0	0,0	14,6	1,3	44,4	36,3
Vesanto	3,2	0,0	3,5	20,6	2,8	6,2	63,7
Kerkonkoski	2,4	0,0	4,2	26,0	1,5	44,4	21,4
Jokilahti	27,5	0,3	3,5	5,2	15,4	27,2	21,0
Kohoniemi	4,6	0,0	8,4	3,0	0,6	16,5	66,9
Niirala	19,6	10,1	25,7	1,4	0,0	1,1	42,1
Pellessmäki	21,5	0,5	4,6	11,2	7,6	0,7	53,8
Riihiranta	3,2	0,0	3,9	6,7	2,5	33,7	50,0
Savilahti	5,0	26,2	27,0	1,4	0,0	11,5	28,9
Säviä	12,2	0,9	6,9	0,3	3,6	30,7	45,4
Taskisen saha	15,7	0,0	9,9	0,0	1,7	17,2	55,5
StoraEnso	17,2	3,9	22,4	0,0	0,0	7,6	48,8
Tuusjärvi	7,9	0,2	7,7	29,7	1,0	9,5	44,0
Liistelahti	6,9	0,0	7,6	5,3	1,8	18,4	60,0
Konnuslahti	3,1	0,0	0,0	33,7	1,6	26,8	34,7
Mlikka	1,0	0,0	9,2	45,0	0,6	0,0	44,1
Tehdaskatu	30,6	7,2	38,7	0,0	0,0	0,9	22,7
Jauhojärvi	1,3	0,0	4,9	0,0	0,0	25,6	68,2
Meijerinranta	15,2	1,0	4,3	15,4	1,4	24,1	38,5
Pikoniemi	13,5	0,8	3,0	0,6	0,8	52,7	28,6

KUVAILEHTI

Julkaisija	Pohjois-Savon ympäristökeskus		Julkaisu-aika Toukokuu 2006	
Tekijä(t)	Veli-Matti Vallinkoski, Jouko Mannonen ja Kristina Servomaa			
Julkaisun nimi	Pohjois-Savon entiset puunkyllästämöt Vesannon ja Kekkolan maaperä- ja kasvillisuustutkimusten tulokset ja yhteenveto kaikkien kyllästämöalueiden nykytilasta			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Pohjois-Savon ympäristökeskuksen raportteja 3/2006			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Tässä työssä tutkittiin kahden entisen puutarhakyllästämön (Vesanto ja Kekkola) maaperän pilaantuneisuutta ja kyllästämöalueille luontaisesti muodostuneen kasvillisuuden lajikoostumusta verrattiin puhtaan kasvupaikan kasvilajistoon. Lisäksi käytiin läpi kaikkien Pohjois-Savossa sijainneiden kyllästämöiden taustatiedot, tehdyt selvitykset ja arvioitiin alueiden pilaantuneisuutta viimeisimpien arviointiperusteiden mukaisesti.</p> <p>Suolakyllästyksessä käytettyjen CCA-kyllästeiden tehoaineet pysyvät maaperässä korkeina pitoisuuksina pitkään. Vesannon kyllästämöllä puunsuojaus loppui noin 50 vuotta ja Kekkolan kyllästämöllä 34 vuotta sitten, mutta etenkin arseenipitoisuudet ylittivät yhä paikoitellen pilaantuneelle maalle asetetut pitoisuusrajat molemmilla kohteilla. Kromi- ja kuparipilaantuneisuus oli molemmilla kohteilla vähäisempää. Maaperän pilaantumisen huolimatta kyllästämöalueet olivat kasvittuneet luontaisesti eikä kasvillisuuden runsaus poikennut vertailualueista. Kasvilajien lukumäärä oli Kekkolan kyllästämöllä sen sijaan vertailualueen lajimäärä pienempi ja näytealakohdainen lajimäärä oli molemmilla kyllästämöillä selvästi vertailualueita pienempi. Lisäksi Kekkolan kyllästämöllä heinäkasvien runsaus lisääntyi maaperän kromipitoisuuden kasvun myötä. Havainnot antavat viitteitä siitä, että kyllästyksessä käytettyjen aineiden kasvillisuushaitat voivat ilmetä näillä kyllästämöillä lähinnä yksipuolisempana lajistona ja tiettyjen herkkien lajien puuttumisena.</p> <p>Pohjois-Savossa on ainakin kaksikymmentä entistä suolakyllästämöä, joista kahdeksantoista maaperän pilaantumista ja pilaantumisen aiheutuvaa ympäristöriskiä on arvioitu ottamalla maaperä- ja vesinäytteitä tai tekemällä kenttämittauksia. Tutkituista kyllästämöistä kolmen maaperä on kunnostettu, yhden kohteen lähiympäristöä on puhdistettu ja yhdellä kohteella massanvaihto aloitettiin kesällä 2005. Lisäksi alustavat kunnostussuunnitelmat on laadittu viidellä kohdealueella. Alueellisessa jättesuunnitelmassa kunnostettaviksi on esitetty seitsemän entistä kyllästämöä. Valmisteilla oleva valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista muuttaa tietyiltä osin kyllästämöiden pilaantuneisuudet arviointiperusteita, mutta ei muuta merkittävästi alueellisessa jättesuunnitelmassa esitettyä kunnostustarvetta tai kunnostusten priorisointeja.</p>			
Asiasanat	kyllästämö, suolakylläste, maaperä, pilaantuminen, kasvillisuus, fytoimediaatio, kunnostus			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö / Pohjois-Savon ympäristökeskus			
	ISBN 952-11-2306-0 (nid.)	ISBN 952-11-2307 (PDF)	ISSN 1796-1858 (pain.)	ISSN 1796-1866 (verkkoj.)
	Sivuja 42	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %) 9
Julkaisun myynti/ jakaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus, PL 1049, Sepänkatu 2 B, 70101 Kuopio puh. 020 490 4777, telefax 020 490 4777, sähköposti: kirjaamo.psa@ymparisto.fi www.ymparisto.fi/julkaisut			
Julkaisun kustantaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus			
Painopaikka ja -aika	Kainuun Sanomat Oy, Kajaani 2006			

Puutavaran suojaaminen suolakyllästeillä aloitettiin Suomessa jo 1950-luvulla ja tällöin kyllästykseen käytettiin varsin yleisesti paikasta toiseen siirrettäviä painekyllästyslaitteita. Ympäristönsuojelullisesti puutteellisten käsittely- ja varastointimenetelmien seurauksena kyllästeissä tehoaineina käytettyä arseenia, kromia ja kuparia valui usein myös maaperään. Nykytiedon valossa Suomessa arvioidaan olevan miltei 200 kyllästysaineiden pilaamaa maa-aluetta.

Tässä raportissa on esitetty kahdella Pohjois-Savossa sijaitsevalla suolakyllästämyllä vuosina 2003-2004 tehtyjen maaperä- ja kasvillisuustutkimusten tulokset. Raportissa tarkastellaan maaperän pilaantuneisuutta vuosikymmenten kuluttua kyllästystoiminnan päättymisestä ja verrataan alueille luontaisesti muodostunutta kasvillisuutta vastaavan, maaperältään puhtaan kasvupaikan kasvilajistoon.

Raportissa esitetään lisäksi yhteenveto kaikista Pohjois-Savon entisistä kyllästämöalueista ja arvioidaan alueiden maaperän pilaantuneisuutta viimeisimpien arviointiperusteiden mukaisesti.



POHJOIS-SAVON
YMPÄRISTÖKESKUS

Pohjois-Savon ympäristökeskus
Sepänkatu 2 B
70100 Kuopio
020 490 4777

ISBN 952-11-2306-0 (nid.)

ISBN 952-11-2307-9 (PDF)

ISSN 1796-1858 (pain.)

ISSN 1796-1866 (verkköj.)