

Marja Tuomela¹, Jaana Sorvari², Erika Winqvist³

¹Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto

²Jäteasianyksikkö, Suomen ympäristökeskus

³Bio- ja kemian tekniikan laitos, Aalto-yliopiston

Kemian tekniikan korkeakoulu

Sienikunnostuksesta uusi ekotehokas kunnostusmenetelmä

Pysyvillä orgaanisilla yhdisteillä voimakkaasti pilaantuneiden maa-ainesten puhdistamiseen ei nykyisellään ole kustannustehokkaita menetelmiä. Biologinen käsittely, joka perustuu valkolahosienien kykyyn hajottaa orgaanisia aineita, voi olla perinteisempiä kunnostusmenetelmiä edullisempi ja toteuttamiskelpoisempi menetelmä. Toimiva sienikunnostus edellyttää kuitenkin sopivien sienilajien käyttöä sekä sienille sopivien olosuhteiden ylläpitoa.

Helsingin yliopiston, Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto-yliopiston yhteishankkeessa tutkittiin pilaantuneen maan sienikunnostusta yhteistyössä alan yritysten kanssa. Hanketta rahoittivat Tekes sekä yritykset. Hankkeen painopiste oli kenttämittakaavan kokeissa, joissa puhdistettiin vaikeasti hajoavilla orgaanisilla yhdisteillä, kuten dioksiineilla, polyaromaattisilla hiilivedyillä ja trinitrotolueenilla, pilaantunutta maata.

Mitä sienikunnostus on

Sienikunnostuksessa käytetään hyväksi valkolahosieniä, joita ovat kantasieniin kuuluvat puunlahottajat ja maassa elävät

karikkeenhajottajat (ks. tarkemmin Sienten biologia, 2013). Nämä sienet tuottavat solunulkoisia entsyymejä, jotka hajottavat ligniiniä ja lisäksi monia muita vaikeasti hajoavia orgaanisia yhdisteitä. Näistä yhdisteistä osa aiheuttaa maaperän pilaantumista, esimerkiksi polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), kloorifenolit (CP), polyklooratut dibentso-*p*-dioksiininit ja -furaanit (PCDD/F), trinitrotolueeni (TNT) ja tributyyliini (TBT), joihin olemme tutkimuksissamme keskittyneet.

Tähän mennessä sienikunnostusta on käytetty vain kaivetulle maalle, mutta on olemassa myös suomalainen patentti menetelmästä (Mäentausta ja Steffen 2008), jossa sienikunnostusta voitaisiin käyttää



Kuva 1. Höyrytetyllä männynkaarnalla kasvatettu sienisiirros. Siirros pakattiin verkkomaiseen putkeen ennen lisäystä maahan.

pilaantuneella alueella maata kaivamatta eli in situ menetelmänä. Nykyisessä sienikunnostusmenetelmässä kaivetun maan joukkoon lisätään sienisiirros, joka kasvaa orgaanisella alustalla. Omissa tutkimuksissamme käytimme kasvualustana männyn kaarnaa, joka toimii sekä sienien kantomateriaalina että sen ravinnonlähteenä. Ravintoa tarvitaan, sillä sieni ei saa energiaa pilaavien yhdisteiden hajottamisesta. Sieni hajottaa ligniiniä (ja niin ollen myös pilaavia yhdisteitä), koska se pääsee siten lähemmäksi ravintolähdettään eli selluloosaa ja hemiselluloosaa ja hajotus tapahtuu

solunulkoisesti. Nämä kaikki kolme yhdistettä ovat toisiinsa sitoutuneina puussa ja karikkeessa. Vaikka sienet ovat tehokkaita vierasaineiden hajottajia, maaympäristö tuo omat haasteensa. Tutkimme hankkeessa myös siirroksen valmistusta suuremmassa mittakaavassa sekä siirrostusta maahan ja totesimme, että kaarnan höyrytys (pintasterilointi) nopeuttaa selvästi sienien kasvua (kuva 1 ja 2). Oleellista sienikunnostuksen onnistumiselle on, että sieni kasvaa riittävän nopeasti ja kattavasti maan sisään (kuva 3, tarkemmin sienikunnostuksesta Steffen ja Tuomela 2010).



Kuva 2. Sienisiirros biohajoavan muoviverkon sisässä. Siirros jää maakerrosten väliin.



Kuva 3. Nukkaorvakka (*Phanerochaete velutina*) kasvaa PAH-pilaantuneessa maassa.

Mitä ominaisuuksia sieniltä vaaditaan

Hankkeessa sopivimmiksi maan puhdistajiksi osoittautuivat seuraavat sienilajit: nukkaorvakka (*Phanerochaete velutina*), karvaslakki (*Gymnopilus luteofolius*) ja viljelykaulussieni (*Stropharia rugosoannulata*). Viljelykaulussieni on viljeltävä ruokasieni, kuten nimestäkin voi päätellä. Viljeltäviä sieniä, erityisesti osterivinokasta (*Pleurotus ostreatus*), onkin tutkittu paljon myös maan puhdistussovelluksia varten. Tämä johtuu siitä, että viljeltäviksi on valittu mahdollisimman kestäviä sienikantoja, jotka pystyvät kilpailemaan muiden mikro-organismien kanssa. Tätä ominaisuutta tarvitaan, sillä pilaantuneet maat sisältävät monia erilaisia organismeja, eikä suuria määriä pystytä steriloimaan. Karikkeenhajottajat kasvavat luonnossa maan pintaosissa, toisin kuin puuta lahottavat sienet, joten ne kasvavat helposti maan sisään ja säilyvät siellä aktiivisina. Sieniltä vaaditaan myös kykyä hajottaa maata pilaavia yhdisteitä tehokkaasti sekä sietää erilaisia maassa olevia haitta-aineita. Pilaantuneet maa-alueet ovat usein

monipilaantuneita useilla haitta-aineilla, joten olisi toivottavaa, että sieni sietäisi orgaanisten yhdisteiden lisäksi myös esimerkiksi raskasmetalleja. Edellä mainittujen orgaanisten haitta-aineiden hajottamiseen soveltuvien sienilajien seulomisessa hyödynsimme Helsingin yliopiston sienikokelmaa, jossa on noin 2000 valkolahosientä.

Sienikunnostus verrattuna muihin kunnostusmenetelmiin

Pilaantuneen maan puhdistusmenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään. Maa-aineksen kaivu ja kaatopaikkasijoitus ja erilaiset pilaantuneella alueella tai alueen ulkopuolella tehtävät stabiloinnit ovat menetelmiä, joissa maa-aines tehdään vaarattomaksi eristämällä se muusta ympäristöstä. Pilaavat yhdisteet eivät siis näissä menetelmissä häviä. Erilaiset biopuhdistusmenetelmät, maan poltto sekä haihdutus- ja kemialliset menetelmät, sen sijaan perustuvat pilaavien aineiden hajottamiseen eli niiden tuhoamiseen lopullisesti. POP-yhdisteiden (Persistent organic pollutants) kohdalla on esitetty

suositus (E ne tulisi tu suosia jälk vasti Suon nut esime: dalla., joill mm. eristä

Sienikuu telmä, jon maan rak maa tuho teiden ka samme sa PCDD/F- keessa 70 takaavan vähenem.

PAH-pi kunnostu että sien: topaikka: kaampi i edellyttä den opti mointia määrää maahan kin maai vievät er kaasupä tehtäväs tyttäisiin tavasti n

Sieniku

Suomes mittaka mes Oy myöhen kunnos kälti me kunnos

Tulev nostam eri suu teiden i menete hyödyr sa tulle

suositus (EU Regulation No 850/2004), että ne tulisi tuhota pysyvästi. Tällöin tulisi siis suosia jälkimmäisiä menetelmiä. Valitettavasti Suomessa tämä tavoite ei ole toteutunut esimerkiksi PCDD/F-yhdisteiden kohdalla, joilla pilaantuneita maita on käsitelty mm. eristämällä.

Sienikunnostus on biopuhdistusmenetelmä, jonka etuna polttoon verrattuna on maan rakenteen säilyminen, sillä poltossa maa tuhoutuu yhdessä pilaavien yhdisteiden kanssa. Omissa laboratorionkokeissamme saavutimme parhaimmillaan 64 % PCDD/F-yhdisteiden vähenemän, pilot-kokeessa 70 % TNT:n vähenemän ja kenttämittakaavan kokeissa 94 % PAH-yhdisteiden vähenemän (Winquist ym. 2013).

PAH-pilaantuneelle maalle tekemämme kunnostusvaihtoehtojen vertailu osoitti, että sienikunnostus voi olla polttoa, kaatopaikkasijoitusta ja stabilointia ekotehokkaampi menetelmä (Räsänen 2012). Tämä edellyttää kuitenkin kunnostusolosuhteiden optimointia kuten ilmastuksen minimoointia ja riittävää orgaanisen aineksen määrää käsiteltävässä maa-aineksessa tai maahan lisättävässä sienisiirroksessa. Etenkin maan kaivaminen ja mahdollinen siirto vievät energiaa ja aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Paikalla tai paikan päällä tehtävässä sienikunnostuksessa näiltä välttyttäisiin, mikä parantaisi edelleen huomattavasti menetelmän ekotehokkuutta.

Sienikunnostuksen tulevaisuus

Suomessa sienikunnostusta kaupallisessa mittakaavassa on aluksi kehittänyt Mzymes Oy, mutta menetelmä on siirtynyt myöhemmin Ekokem-Palvelu Oy:lle. Sienikunnostuksen yleistymiseen vaikuttaa pitkälti menetelmän kilpailukykyisyys muihin kunnostusmenetelmiin verrattuna.

Tulevaisuudessa sieniin perustuvaa kunnostamista on mahdollista kehittää kolmeen eri suuntaan eli 1) jätevesien ja jätevesilietteiden puhdistukseen, 2) maaperän in situ menetelmäksi ja 3) vain sienien entsyymejä hyödyntäväksi tekniikaksi. Tulevaisuudessa tullaan todennäköisesti vaatimaan, ettei

purkuvesistöön johdettava puhdistettu jätevesi eikä lannoitteena hyödynnettävä jätevesiliete saa sisältää hormonihäiritsijöitä tai lääke- ja kosmetiikkajäämiä. Näitä yhdisteitä voitaisiin hajottaa sovelletulla sienikunnostusmenetelmällä. Sienikunnostus in situ mahdollistaisi, että lähes kaikkien muiden kunnostusmenetelmien edellyttämältä maan kaivuulta välttyttäisiin. Sienikunnostus voitaisiin mahdollisesti yhdistää myös pilaantuneen pohjaveden käsittelyssä käytettävään reaktiiviseen seinämään. Sienten entsyymien hyödyntämisessä ilman sienioorganismia vältettäisiin taas elävän organismin käyttöön liittyvät epävarmuustekijät. Menetelmä voitaisiin yhdistää toisiin in situ tekniikoihin, kuten ravinteiden siirtoon sähkön avulla. Tämä sovellus on kuitenkin toistaiseksi kaikkein kauimpana suuren mittakaavan kaupallisesta toteutuksesta.

Kirjallisuusviitteet

- EU Regulation No 850/2004 on Persistent Organic Pollutants and Amending Directive 79/117/EEC.
- Mäentausta O., Steffen K.T. (2008) Menetelmä saastuneen maa-aineksen puhdistamiseksi. PCT/FI 2008050326 (Patenttinumero 119501).
- Räsänen M. (2012) Pilaantuneen maaperän puhdistukseen käytettävän sienikäsittelymenetelmän ekotehokkuustarkastelu. Diplomityö, Aalto-yliopiston Kemian tekniikan korkeakoulu, Espoo, 135 s. <https://aaltodoc.aalto.fi/>
- Steffen K., Tuomela M. (2013) Karikkeenhajottajasienet. Teoksessa: Sienten biologia, Timonen S., Valkonen J. (toim.), Gaudeamus, Tallinna, Viro, ss. 273–283.
- Steffen K.T., Tuomela M. (2010) Fungal soil bioremediation: Development towards large-scale applications. In: Mycota X, 2nd ed., Esser K. (ed.), Hofrichter M. (volume ed.), Springer, Berlin Heidelberg, ss. 451–467.
- Winquist E., Björklöf K., Schultz E., Räsänen M., Salonen K., Anasonye F., Cajthaml T., Steffen K.T., Jørgensen K.S., Tuomela M. (2013) Bioremediation of PAH-contaminated soil with fungi – from laboratory to field scale, International Biodeterioration & Biodegradation, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.09.012> ■