



EUROPEAN UNION  
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND  
INVESTING IN YOUR FUTURE



CENTRAL BALTIC  
INTERREG IV A  
PROGRAMME  
2007-2013

---

**MINWA-PROJECT**  
**Minimization of Wastewater Loads at Sparsely Populated Areas**  
**Project number SFE5**

**JÄTEVEDEN MAAPERÄKÄSITTELY**

***Yhteenveto koti- ja ulkomaisista tutkimustuloksista***

**Sanna Hovirinta**

**Kesäkuu 2011**



VARSINAIS-SUOMEN KESTÄVÄN KEHITYKSEN  
JA ENERGIA-ASIOIDEN PALVELUKESKUS

## Sisältö

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Tiivistelmä                                              | 1  |
| Abstract                                                 | 2  |
| Johdanto                                                 | 3  |
| Maaperäkäsittelyjen pudistustuloksista yleisellä tasolla | 5  |
| Kotimaisia tutkimustuloksia maaperäkäsittelyistä         | 7  |
| Ulkomaisia tutkimustuloksia maaperäkäsittelyistä         | 20 |
| Yhteenveto                                               | 23 |
| English Summary                                          | 25 |
| Lähteet                                                  | 27 |

## Taulukot

|             |    |
|-------------|----|
| Taulukko 1. | 23 |
| Taulukko 2. | 23 |
| Table 1.    | 25 |
| Table 2.    | 25 |

## ***Tiivistelmä***

Jätevesien puhdistusvaatimuksista säädetään valtioneuvoston asetuksella talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla (209/2011). Tässä ns. hajajätevesiasetuksessa määritellään vähimmäisvaatimukset jätevesien puhdistuksesta biologisen hapenkulutuksen (BHK<sub>7</sub>), kokonaisfosforin ja kokonaistypen osalta. Kiinteistöllä jätevesi voidaan puhdistaa joko ns. laitepuhdistamolla tai maaperäkäsittelyssä, joita ovat maasuodatus ja maahan imeytys. Maaperäkäsittelyjä on jo pitkään käytetty jäteveden puhdistuksessa, ja niiden toimivuudesta on tehty useita tutkimuksia. Tähän kirjallisuuskatsaukseen on koottu keskeiset tulokset kotimaisista ja muutamista ruotsalaisista ja yhteispohjoismaisista kenttätutkimuksista, joissa on selvitetty maasuodattimilla saavutettuja jäteveden puhdistustuloksia. Tarkasteluun on otettu mukaan hajajätevesiasetuksessa mainitut parametrit BHK<sub>7</sub>, kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi. Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että maasuodattimet poistavat yleensä tehokkaasti jäteveden orgaanista ainetta ja kokonaistyyppiä, mutta fosforinpoisto on tehottomampaa ja heikkenee käyttövuosien myötä. Maasuodattimen toimintaa onkin syytä tehostaa fosforinpoistoon tarkoitettulla adsorptiomassalla tai kemiallisella esi- tai jälkisaostuksella, jolloin maasuodattimella on mahdollista täyttää hajajätevesiasetuksen puhdistusvaatimukset. Lisäksi maasuodattimen tehokas toiminta edellyttää huolellista asennusta ja säännöllisiä huoltotoimenpiteitä.

## ***Abstract***

Waste water treatment is regulated by the Government Decree on Treating Domestic Wastewater in Areas Outside Sewer Networks (209/2011), which sets the minimum purification levels for biological oxygen demand (BOD<sub>7</sub>), total phosphorus and total nitrogen. Onsite treatment of waste water can be carried out by a package plant or by sand filtration or soil infiltration applications. Soil and sand treatment applications have long been used in waste water treatment, and their functionality has been researched widely. This literature review sums up purification efficiency results collected from Finnish, as well as some Swedish and Nordic field research projects. It includes the parameters BOD<sub>7</sub>, total phosphorus and total nitrogen. Research results reveal that sand filters normally remove organic matter and nitrogen quite efficiently, but have difficulties with phosphorus removal, the level of which even decreases within years of use. It is recommended to increase the phosphorus removal efficiency of a sand filter with an adsorption mass or chemical treatment in order to fulfil the requirements set by the decree. For full functionality of sand filters, careful installation and regular maintenance are essential.

## Johdanto

Ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaan kiinteistöjen jätevedet on johdettava ja käsiteltävä siten, ettei niistä aiheudu ympäristön pilaantumisen vaaraa. Tarkemmin jätevesien puhdistusvaatimuksista säädetään valtioneuvoston asetuksella talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla (209/2011, jäljempänä hajajätevesiasetus). Hajajätevesiasetuksessa määritellään vähimmäisvaatimukset jätevesien puhdistuksesta. Asetuksessa on säädetty vaatimukset orgaaniselle aineelle, typelle ja fosforille. Asetus ei ota kantaa jätevesien käsittelyn tekniseen ratkaisuun, joten kiinteistön omistaja voi valita minkä tahansa puhdistusmenetelmän, jolla saavutetaan asetuksen mukainen puhdistustaso. Kuitenkin kiinteistön ominaisuudet, kuormituksen laatu ja määrä, kustannustaso sekä kiinteistön haltijan aktiivisuus ja sitoutuminen määräävät sen, millainen jäteveden puhdistusjärjestelmä kiinteistölle on järkevää valita.

Hajajätevesiasetuksessa vaadittava puhdistustaso on ilmoitettu prosentteina ns. haja-asutuksen kuormitusluvusta eli laskennallisesta yhden asukkaan käsittelemättömien jätevesien keskimääräisestä vuorokausikuormituksesta. Kuormitusluvuksi on määritelty biologisen hapenkulutuksen (BHK<sub>7</sub>) osalta 50 g/henkilö/vuorokausi, kokonaisfosforin osalta 2,2 g/henkilö/vuorokausi ja kokonaistypen osalta 14 g/henkilö/vuorokausi (Kujala-Räty ym. 2008). Asetuksessa säädetty vähimmäispuhdistustaso on BHK<sub>7</sub>:lle 80 %, kokonaisfosforille 70 % ja kokonaistypelle 30 %. Erityisen herkillä alueilla, kuten pohjavesialueilla tai rantavyöhykkeellä, voidaan määrätä noudatettavan tiukempaa puhdistustasoa, joka on BHK<sub>7</sub>:lle 90 %, kokonaisfosforille 85 % ja kokonaistypelle 40 %. Jäteveden käsittelymenetelmiä voidaan arvioida myös puhdistamolta lähtevän jäteveden laadun perusteella määrittämällä yhdisteiden pitoisuudet vedessä.

Jäteveden kiinteistökohtainen käsittely voidaan toteuttaa ns. laitepuhdistamalla tai maaperäkäsittelyllä. Erilaisia maaperäkäsittelyjä on jo pitkään käytetty jäteveden puhdistuksessa, ja niiden toimivuudesta on tehty useita tutkimuksia. Maaperäkäsittelyjä ovat maasuodatus ja maahan imeytys. Ennen varsinaista maaperäkäsittelyä jätevedestä poistetaan kiintoaineseos saostussäiliössä tai -kairossa, jonka jälkeen selkeytynyt jätevesi johdetaan imeytysputkien kautta maaperään. Maaperäkäsittelyissä jätevesi puhdistuu mekaanisissa, kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa.

Maasuodattimessa jätevesi johdetaan imeytysputkien avulla suodatinkerroksen pinnalle, josta se valuu suodatinmateriaalina toimivan vettä läpäisevän maa-aineksen läpi. Hiekkapatjan läpi kulkeutuessaan jätevesi puhdistuu. Puhdistunut jätevesi kootaan suodattimen pohjalle asennetuilla kookomapatkilla ja johdetaan purkuojaan. Maasuodattimien toimintaa voidaan tehostaa fosforia sitovilla materiaaleilla tai ns. jälkisuodattimilla. Maasuodattimen toimintaedellytyksenä on tehokas tuuletus ja kiintoaineen poisto saostussäiliöissä tai -kaivoissa ennen veden johtamista imeytyskenttään, sillä kiintoaine tukkii nopeasti maasuodattimien. (Vilpas ym. 2005)

Maahanimeytyksessä jätevesi johdetaan imeytysputkien avulla maaperään, jossa se puhdistuu imeytyessään maa-aineksen läpi. Puhdistunut jätevesi päättyy maahanimeyttämössä pohjaveteen, joten maahanimeyttämöjä ei voida käyttää herkillä pohjavesialueilla tai talouskaivojen lähetyvillä. Myös maaperän ominaisuudet voivat rajoittaa maahanimeyttämön rakentamista, sillä maaperän on oltava vettä läpäisevää. Maasuodattimen tavoin myös maahanimeyttämöjen toiminnan kannalta tehokas ilmanvaihto ja kiintoaineiden poisto on tärkeää. (Kujala-Räty ym. 2008)

## ***Maaperäkäsittelyjen puhdistustuloksista yleisellä tasolla***

Jäteveden maaperäkäsittelyä on etenkin Ruotsissa tutkittu ahkerasti jo 1980-luvulla. Suomessa ilmestyi vuonna 1990 Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu Pienet jäteveden maaperäpuhdistamot (Santala 1990), jossa kuvataan yksityiskohtaisesti maapuhdistamojen mitoitus, suunnittelua, rakentamista, huoltoa ja ylläpitoa ja annetaan ohjeita maapuhdistamojen toteuttamiseen. Julkaisuissa myös kootaan yhteen siihenastisia tutkimustuloksia jäteveden maapuhdistamojen toiminnasta.

Pääasiassa Ruotsissa 1980-luvulla tehtyjen tutkimusten perusteella imeytysojastot ja –kentät poistavat jätevedestä tehokkaasti kiintoainetta ja orgaanista ainetta. Biologisen hapenkulutuksen ( $BHK_7$ ) osalta puhdistusasteen on todettu olevan jopa 90 – 95 %. Myös fosforin osalta maahan imeytyksessä saavutetaan hyvä puhdistustulos. Fosforista poistuu maaperäimeytyksessä 60 – 80 % ennen pohjaveden pintaa. Typen on sen sijaan todettu poistuvan imeytyksessä heikommin, noin 20 – 40-prosenttisesti. Bakteerit poistuvat maaperäkäsittelyssä tehokkaasti. (Santala 1990)

Yleisesti ottaen fosfori ja mikro-organismit poistuvat jätevedestä tehokkaammin maaperäimeytyksessä kuin maasuodatuksessa. Typen ja orgaanisen aineen poisto on maasuodattimissa yhtä tehokasta kuin maahan imeytyksessäkin. Fosforin sitoutuminen maasuodattimessa vähenee ajan mittaan. Uudessa maasuodattimessa fosforin poistoteho voi olla jopa 90 %, mutta se laskee melko pian jopa alle 50 %:iin riippuen suodattimessa käytetyn suodatinhiekan laadusta ja jäteveden kuormituksesta. Maahan imeytystä heikommalla puhdistustuloksella johtuvat käytettävissä olevan maaperän rajallisesta tilavuudesta. Maasuodattimilla saavutettu keskimääräinen puhdistusteho on  $BHK_7$ :n osalta 90 – 99 %, fosforin osalta 25 – 50 % ja typen osalta 10 – 40 %. (Santala 1990)

Maasuodattimien fosforinsitomiskykyä voidaan parantaa käyttämällä suodatinhiekan yhteydessä erilaisia lisäaineita joko levitettynä hiekan pinnalle tai kerrokseksi hiekan väliin tai sekoitettuna hiekkaan. Myös suodatinhiekan materiaali vaikuttaa fosforin sitomiseen. Suodatinhiekan keskivaiheille levitetyllä alumiinihydroksidiliitteellä on saatu lupaavia tuloksia Ruotsissa. Typen poiston tehostamisessa on parhaita tuloksia saatu yhdistetyllä imeytys- ja haihdutuskentällä, johon on istutettu energiapajua. Yksinkertaisin tapa vähentää jäteveden typpipitoisuutta on kuitenkin koota

käymäläjätteet erilleen joko käyttämällä kuivakäymälää tai johtamalla käymäläjätteet umpisäiliöön ja sieltä kunnalliselle jätevedenpuhdistuslaitokselle puhdistettavaksi. (Santala 1990)

## ***Kotimaisia tutkimustuloksia maaperäkäsittelyistä***

Tähän lukuun on koottu tuloksia Suomessa toteutetuista maasuodattimien kenttätutkimuksista. Tutkimukset on pyritty käsittelemään kronologisessa järjestyksessä.

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 1992 tutkimuksen, jossa seurattiin neljän kiinteistön maasuodattimien toimintaa (Suunnittelukeskus Oy 1992). Tutkimuksessa oli mukana kaksi koulua ja kaksi omakotitaloa. Kaikissa kohteissa oli maasuodatin, mutta ne erosivat toisistaan käytettyjen suodatinmassojen sekä sen suhteen, miten jätevesi jaettiin imeytysputkistoon. Tutkimuksen tarkoituksena olikin verrata erilaisia suodatinmassoja ja erilaisia tapoja jakaa jätevesi imeytysputkistoon, mutta pienten jätevesimäärien vuoksi vertailuja ei juuri saatu toteutettua. Tutkimuksesta saatiin kuitenkin tietoa maasuodattimien yleisestä toimintatehosta.

Käytetyt suodatinmassat olivat betonisora, pesty katuhiikka, salaojasora, betonihiekan ja katuhiekan yhdistelmä, ferrosulfaatin, kalkin ja katuhiekan yhdistelmä sekä kevytsoran ja katuhiekan yhdistelmä. Näytteitä oli tarkoitus ottaa jokaisesta linjasta erikseen, mutta vähäisten virtaamien vuoksi näytteet jouduttiin yleensä ottamaan linjastojen kokoomanäytteinä. Tässä tutkimuksessa otettiin näytteet sekä maasuodattimeen tulevasta että siitä lähtevästä jätevedestä. Puhdistustulos laskettiin vertaamalla suodattimelta lähtevän jäteveden pitoisuuksia siihen tulevan jäteveden pitoisuuksiin. (Suunnittelukeskus Oy 1992)

Maasuodattimien todettiin poistavan tehokkaasti biologista materiaalia. Biologisen hapenkulutuksen (BHK<sub>7</sub>) osalta puhdistusteho oli kolmessa tutkimuskohteessa 81 – 99 % ja se myös pysyi tällä tasolla koko tutkimusjakson eli kolmen vuoden seurannan ajan. Sen sijaan fosforin poisto oli selvästi tehottomampaa, siinä esiintyi suurta vaihtelua ja se myös heikkeni ajan myötä. Kokonaisfosforista saatiin tutkituissa suodattimissa poistettua keskimäärin 25 – 75 % tutkimuskohteesta, suodatinmateriaalista ja ajasta riippuen. Typen poisto vastasi muissa maasuodattimissa saavutettuja puhdistustehoja. Keskimäärin 30 – 60 % kokonaistypestä poistui maasuodatuksen aikana. (Suunnittelukeskus Oy 1992)

Vuonna 1993 ilmestyivät Vesi- ja ympäristöhallituksen monisteet Maasuodattimien toimivuus (Wirola ym. 1993) ja Haja-asutuksen jätevesien maaperäkäsittely ja pienpuhdistamot (Jäntti 1993).

Maasuodattimien toimivuus -monisteessa raportoitiin kahdeksan Tampereen vesi- ja ympäristöpiirin alueella sijaitsevan maasuodattimen toimintatulokset. Haja-asutuksen jätevesien maaperäkäsittely ja pienpuhdistamot oli kirjallisuuskatsaus Suomessa ja muissa Pohjoismaissa tehdyistä tutkimuksista. Kirjallisuuskatsaus perustui jo yllä esiteltyyn Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuun Pienet jäteveden maapuhdistamot (Santala 1990), joten siinä esitettyjä tuloksia ei tässä yhteydessä enää käsitellä.

Wirolan ym. (1993) tutkimuksessa oli mukana kahdeksan maasuodatinta, jotka sijaitsivat hieman tavallista omakotitaloa suuremmissa kohteissa, kuten kouluissa, kurssikeskuksissa ja rivitaloissa. Osassa kohteista kaikki jätevedet ohjattiin maasuodattimeen, osassa wc-vedet kerättiin erikseen ja maasuodattimeen johdettiin vain harmaat vedet. Yhdessä tutkimuskohteessa fosforin poistoa oli tehostettu ferrosulfaattia sisältävällä adsorptiokerroksella. Maasuodattimien toimivuutta selvitetiin tutkimalla maasuodattimeen tulevan ja siitä lähtevän veden ravinnepitoisuuksia ja laskemalla niistä vastaavat puhdistustehot. Kaikki analyysit tehtiin julkisen valvonnan alaisissa tutkimuslaboratorioissa.

Yhtä kohdetta lukuun ottamatta kaikki tutkimuksessa mukana olleet maasuodattimet poistivat tehokkaasti jäteveden orgaanista ainetta. BHK<sub>7</sub>:n keskimääräinen poistoteho oli yli 90 %. Fosforin poistoteho vaihteli merkittävästi ajan kuluessa ja eri puhdistamojen välillä. Keskimäärin kokonaisfosforista poistui maasuodattimissa noin 50 %. Tehokkainta fosforin poisto oli fosforia sitovalla adsorptioaineella tehostetussa suodattimessa, jossa fosforin reduktio oli yli 95 %. Maasuodattimien typenpoistoteho oli melko heikko, keskimäärin vain hieman yli 20 %. Typen osalta puhdistusteho vaihteli huomattavasti ajan myötä ja eri suodattimien välillä. (Wirola ym. 1993)

Tutkimuksessa ei selvitetty syitä maasuodattimien heikkoihin puhdistustuloksiin. Kuitenkin kahden heikoiden toimineen suodattimen yhdistävänä tekijänä oli se, että molemmat suodattimet oli jaettu suodatinlohkoihin, joita kuormitettiin vuorotellen. Yleensä on ajateltu, että selkeät kuormitus- ja lepojaksot parantavat maasuodattimen toimintaa, joten tämä tulos on ristiriidassa aikaisempien tulosten kanssa. Johtopäätöksenä Wirolan ym. (1993) tutkimuksesta voidaan todeta, että tutkittujen tavallisten maasuodattimien teho ei yltänyt nykyisen hajajätevesiasetuksen vaatimustasolle etenäkään fosforin suhteen. (Wirola ym. 1993)

Alueelliset ympäristökeskukset ovat 1990-luvulla tutkineet maasuodattimien toimintaa useissa kohteissa eri puolilla Suomea. Tutkimuksissa on mitattu maasuodattimien kykyä poistaa jätevedestä orgaanista ainesta, fosforia ja typpeä sekä seurattu niiden toimintatehon muutosta käyttövuosien aikana. Tutkimuksissa on ollut mukana sekä ns. tavallisia maasuodattimia, joiden suodatinmateriaalina käytetään pelkkää luonnonhiekkää, että fosforinpoistoon tarkoitettua adsorptiomassalla varustettuja maasuodattimia. (Hiltula ja Lakso 1996, Mäkinen 1996, Elomaa 1998 ja Wistbacka ja Jakobsson 1999)

Hiltulan ja Lakson (1996) tutkimuksessa kerättiin alueellisten ympäristökeskusten ja joidenkin kuntien tekemistä vesianalyyseistä puhdistustulokset 40 maasuodattimesta ympäri Suomen. Suodattimista 32 oli tavallisia maasuodattimia, joissa suodatinmateriaalina on pelkkä hiekkapatja. Kahdeksan suodatinta oli tehostettu fosforinpoistoaineella. Tutkimuksessa mukana olleiden maasuodattimien asukasvastineluvut (AVL) olivat välillä 4–350. Osassa kohteista oli otettu näytteet sekä suodattimeen tulevasta että siitä lähtevästä jätevedestä, mutta kahdeksasta suodattimesta oli käytettävissä vain lähtevän veden analyysitulokset.

Tavallisissa maasuodattimissa jätevedestä poistui kiintoaineesta keskimäärin 77 %, biologisesta hapenkulutuksesta 88 %, kokonaisfosforista 59 % ja kokonaistypestä 34 %. Käyttövuosien myötä etenkin fosforin poistoteho heikkeni. Tässä tutkimuksessa mukana olleet tavalliset maasuodattimet saavuttavat BHK<sub>7</sub>:n ja typen poiston osalta nykyisen hajajätevesiasetuksen minivaatimustason, mutta fosforin poiston osalta asetuksen vaatimukset eivät täyttyneet. Lisäksi havaittiin, että maasuodattimen fosforinpoistokyky paranee, jos suodatinta kuormitetaan vain vähän tai kuormitukseen tulee taukoja. Myös typenpoisto paranee alhaisen kuormituksen ja käyttökatkojen myötä. (Hiltula ja Lakso 1996)

Tehostetulla fosforinpoistolla varustetut maasuodattimet täyttivät nykyisen hajajätevesiasetuksen minivaatimukset myös fosforin osalta. Fosforinpoistoaineilla tehostetuissa maasuodattimissa keskimääräinen puhdistusteho oli BHK<sub>7</sub>:n osalta 95 %, fosforin osalta 90 % ja typen osalta 26 – 39 %. Kiintoaineen määrässä havaittiin suurta vaihtelua eri adsorptiomateriaalien välillä, koska adsorptiomateriaalia pääsi valumaan jäteveteen. Myös fosforinpoistossa oli suurta vaihtelua eri adsorp-

tiomateriaalien välillä, mutta kaikissa tapauksissa fosforinpoisto oli kuitenkin tehokkaampaa tehostetuissa suodattimissa kuin tavallisissa suodattimissa. (Hiltula ja Lakso 1996)

Hiltula ja Lakso (1996) esittelivät myös uusia maaperäkäsittelymenetelmiä, kuten typpeä poistavan maapuhdistamon ja vaakavirtausmaasuodattimen. Typpeä poistavassa maapuhdistamossa jäteveden typpipitoisuutta alennetaan biologisella denitrifikaatiolla. Tavallisessa maasuodattimessa denitrifikaatio on heikkoa siksi, että sen edellyttämät denitrifioivat bakteerit, nitraatit, hiilihydraatit ja anaerobiset olosuhteet eivät kohtaa samassa paikassa. Typpeä poistavassa maapuhdistamossa on denitrifikaatiolla saatu poistettua jopa 70 % typpestä. Toiminta perustuu jäteveden erilaiseen johtamiseen suodattimeen, jolloin kaikki denitrifikaatioon tarvittavat komponentit ovat samassa paikassa samaan aikaan.

Vaakavirtausmaasuodattimessa jätevesi kulkee suodatinmassan läpi pysty- ja sivusuunnassa, jolloin suodatin voidaan rakentaa normaalia matalammaksi ja vesi silti kulkee suodattimessa pidemmän matkan kuin tavallisessa maasuodattimessa. Vaakavirtausmaasuodattimella saavutetaan samankaltaiset puhdistustulokset kuin tavallisella maasuodattimella. (Hiltula ja Lakso 1996)

Vuonna 1996 ilmestynyt julkaisu Harmaitten jätevesien käsittelymenetelmät ja kenttätutkimus (Mäkinen 1996) koostui kirjallisuuteen perustuvasta harmaiden jätevesien käsittelymenetelmien kuvauksesta sekä kenttätutkimuksesta, jossa kartoitettiin harmaan jäteveden käsittelyyn käytettyjen maasuodattimien toimivuutta. Tutkimuksessa oli mukana yhdeksän maasuodatinta, joista otettiin kokoomanäytteet tulevasta jätevedestä ennen saostuskaivoa ja kertanäytteet lähtevästä jätevedestä purkuputken päästä. Tuloksia arvioitaessa käytettiin vertailukohtana yhden omakotitalon harmaiden jätevesien puhdistukseen käytettävää Sipoossa sijaitsevaa maasuodatinta. Fosforin ja typen poiston osalta tukitut maasuodattimet toimivat tehokkaammin kuin vertailusuodatin, mutta biologisen hapenkulutuksen ja kiintoaineen osalta heikommin. Koska muuttujia oli paljon ja näytteitä otettiin vain lyhyellä aikajaksolla, ei maasuodattimien toiminnasta voi tämän tutkimuksen perusteella vetää varmoja johtopäätöksiä. (Mäkinen 1996)

Elomaan (1998) tutkimuksessa seurattiin aluksi viiden maasuodattimen toimintaa Pyhäjärven valuma-alueella. Kolme tutkimussuodatinta oli rakennettu perinteisesti maan alle ja kaksi maan päälle. Toinen maanpäällinen suodatin oli turvelava, joka kuitenkin tukkeutui nopeasti ja poistettiin

käytöstä. Toinen maanpäällinen suodatin taas oli hiekan ja kalkin seoksella täytetty säiliö, joka myös tukkeutui ja kunnostettiin vaihtamalla massa ja lisäämällä suodattimen pinnalle biosuotimet. Myöhemmässä vaiheessa tutkimukseen tuli mukaan vielä kaksi uutta maasuodatinta, jotka molemmat ovat perinteisiä maan alle rakennettuja suodattimia. (Elomaa 1998)

Tutkimuksen maasuodattimia on seurattu järjestelmällisesti ja tiiviisti. Ensimmäisten kolmen vuoden aikana vuosina 1992 – 1994 niiden tulo- ja lähtöputkista otettiin näytteet kerran kuussa ja sen jälkeen noin kolme kertaa vuodessa. Elomaan (1998) julkaisussa on esitetty tulokset kolmesta alun perin mukana olleesta maanalaisesta suodattimesta sekä hiekka-kalkkiseoksella täytetystä maanpäällisestä suodattimesta.

Keskimääräiset puhdistustulokset olivat biologisen hapenkulutuksen osalta n. 95 %, fosforin osalta 70 - 80 % ja typen osalta 25 – 35 %. Etenkin BHK<sub>7</sub>:n reduktio oli hyvä ja se myös pysyi hyvällä tasolla koko seurantajakson ajan. Fosforin puhdistusteho heikkeni ajan myötä hiukan, mutta oli silti hyvä kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon tulokseksi. Typen poistoteho oli tyydyttävä eikä muuttunut seurantavuosien aikana merkittävästi. Tutkitut maanalaiset maasuodattimet toimivat paremmin kuin maanpäällinen suodatin. (Elomaa 1998)

Elomaan (1998) havaintojen mukaan maasuodattimien pitkäaikaisen toimivuuden edellytys on kiintoaineen tehokas poisto, sillä muuten suodatin tukkeutuu helposti. Myös jätevesien tasainen jakaminen koko suodatinmassaan on tärkeää. Fosforinpoistoteho heikkenee nopeasti, jos suodatinmateriaalina on vain puhdasta luonnonhiekkaa, joten lisänä kannattaa käyttää fosforia sitovaa adsorptiomassaa. (Elomaa 1998)

Vuonna 1999 julkaistiin Länsi-Suomen ympäristökeskuksen raportti omakotiasutuksen jätevesien käsittelystä (Wistbacka ja Jakobsson 1999). Tutkimuksessa oli mukana kuusi maasuodatinta, joista kolmessa oli tehostettu fosforinpoistoa fosforia sitovalla adsorptiomassalla ja kolme perustui pelkään hiekkasuodatukseen. Lisäksi tutkimuksessa oli mukana yksi maahanimeyttämö. Tutkimuslaitoksia seurattiin kolmen vuoden ajan. Niistä otettiin tulevan jäteveden näytteet kolmannesta saostuskaivosta ja lähtevän jäteveden näytteet purkuputkesta. Näytteet otettiin kantanäytteinä lukuun ottamatta neljästä laitoksesta otettuja tulevan veden kokoomanäytteitä, jotka koostuivat neljästä osanäytteestä. (Wistback ja Jakobsson 1999)

Tutkimuksessa mukana olleiden maasuodattimien keskimääräinen puhdistusteho oli biologisen hapenkulutuksen osalta 96 %, fosforin osalta 84 % ja typen osalta 53 %. Tässä tutkimuksessa mukana olleet maasuodattimet siis toimivat keskimäärin erittäin hyvin. Kaikissa tutkituissa suodattimissa BHK<sub>7</sub>:n reduktio oli erittäin hyvä. Sen sijaan fosforin ja typen poistossa oli jonkin verran vaihtelua eri suodattimien välillä, mutta silti kaikki suodattimet yltivät fosforinpoistossa hyviin tuloksiin. Parhaiten fosforia sitoivat fosforia adsorboivalla massalla varustetut suodattimet. Myös typen poiston osalta tässä tutkimuksessa saatiin keskimääräistä parempia tuloksia. (Wistbacka ja Jakobs-son 1999)

Suomen ympäristökeskuksen johdolla toteutettiin vuosina 1998 – 2001 Hajasampo-tutkimushanke, jossa seurattiin useiden erilaisten jätevesijärjestelmien toimintaa. Hankkeeseen sisältyi toimivuustutkimus, jolla pyrittiin luotettavin, laajoin ja perusteellisin analyysin ja toimivuustarkastuksin selvittämään, miten kiinteistökohtainen jätevedenkäsittely toimii normaaleissa käyttöolosuhteissa. Puhdistustuloksen lisäksi kerättiin tietoa siitä, mitkä tekijät huonontavat puhdistustulosta ja miten saavutetaan hyvä toimivuus. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Hankkeessa oli mukana 48 kiinteistökohtaista puhdistamoja, joista analysoitiin yhteensä 290 näytettä. Tutkituista puhdistamoista tavallisia maasuodattimia oli 13 ja fosforinpoistolla tehostettuja maasuodattimia yhdeksän kappaletta. Lisäksi mukana oli neljä maasuodatin + kasettisuodatin - yhdistelmää, yksi vaakavirtausmaasuodatin ja yksi kokeilu, jossa seurattiin hiekan ja muovin toimivuutta suodatinmateriaalina. Maasuodatin + kasettisuodatin yhdistelmässä jätevesi johdetaan tavallisesta maasuodattimesta kasettisuodattimeen, joka sisältää fosforia sitovaa massaa, tässä tutkimuksessa Kemiran Fosfilitia. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Hajasampo-hankkeessa seuratuista puhdistamoista otettiin näytteitä yhteensä kahden vuoden ajan, osasta kuusi kertaa vuodessa ja osasta kaksi kertaa vuodessa. Näytteet olivat kokoomanäytteitä, jotka sekoitettiin neljästä saman päivän aikana otetusta osanäytteestä. Tulevan jäteveden näytteet otettiin saostuskaivojen jälkeen. Tulevan jäteveden pitoisuudet vaihtelivat suuresti kotitalouksien välillä ja myös eri näytteenotokertojen välillä. Tulosten laskennassa ulevan jäteveden pitoisuuksina käytettiin mitattujen pitoisuuksien keskiarvoja. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Tutkimuksessa mukana olleet tavalliset maasuodattimet poistivat jäteveden orgaanisesta aineksesta keskimäärin 97 %, kokonaisfosforista 73 % ja kokonaistypestä 53 %. Fosforinpoistomassalla varustetuissa maasuodattimissa poistui biologisesta aineksesta keskimäärin 93 %, kokonaisfosforista 31 % ja kokonaistypestä 33 %. Maasuodatin + kasettisuodatin yhdistelmällä jäteveden biologinen hapenkulutus väheni keskimäärin 93 %, kokonaisfosfori 49 % ja kokonaistyyppi 5 %. Tehostetulla vaakavirtausmaasuodattimella saatiin poistettua 98 % BHK<sub>7</sub>:sta, 87 % kokonaisfosforista ja 53 % kokonaistypestä. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Kaikissa tutkituissa maasuodattimissa orgaaninen aine oli saatu tehokkaasti poistettua jätevedestä. Yhdeksi syyksi hyvään biologisen hapenkulutuksen vähenemään esitettiin aerobisia olosuhteita suodattimessa. Niissä suodattimissa, joissa biologisen hapenkulutuksen reduktio oli jäänyt vähäiseksi, oli hapettomat olosuhteet. Typenpoisto toimi paremmin tavallisissa maasuodattimissa kuin fosforinpoistolla varustetuissa maasuodattimissa. Tähän syynä voivat olla fosforinpoistomassan aikaansaamat hapettomat olosuhteet, jotka vähentävät typen nitrifikaatiota. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Syystä tai toisesta tavallisilla maasuodattimilla saavutettiin tässä tutkimuksessa huomattavasti parempi fosforinpoistoteho kuin fosforinpoistomassalla varustetuilla maasuodattimilla. Syytä tälle yllättävälle tulokselle ei tutkimuksen puitteissa selvitetty. Lähtevän jäteveden fosforipitoisuudet vaihtelivat huomattavasti eri puhdistamojen välillä ja puhdistamokohtaisesti eri näytteenottokehtojen välillä. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Tehostettu vaakavirtausmaasuodatin ylsi tässä tutkimuksessa hyvin puhdistustuloksiin. Kyseessä oli kuitenkin vain yksi suodatin, joten sen tuloksista ei voitu vetää pidemmälle meneviä johtopäätöksiä. Tutkimuksen perusteella havaittiin, että kaikkien maasuodattimien biologisen toimivuuden edellytys on puhdistustapahtuman hapellisuus. Ilmanvaihdon tulee toimia tehokkaasti kaikissa prosessin vaiheissa. (Kujala-Räty ja Santala 2001)

Hajasampo-hanke sai jatkoa Ravinnesampo-hankkeesta, jonka tavoitteena oli selvittää fosforin ja typen poistomenetelmien tehokkuutta kiinteistökohtaisessa jätevedenkäsittelyssä sekä verrata eri menetelmiä, niiden tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta. Hankkeessa tarkasteltiin myös ravinteiden poistoon vaikuttavia tekijöitä kuten mitoitusta, käyttöä ja ylläpitoa. (Vilpas ym. 2005)

Ravinnesampo-hankkeessa oli mukana 46 kiinteistökohtaista puhdistamoa, joista kahdeksan oli maasuodattimia ja kuusi jälkisuodatuksella tehostettua maasuodatinta. Näytteenotto kesti vuoden ja sinä aikana puhdistamoista pyrittiin ottamaan kuudesta seitsemään lähtevän veden näytettä ja yksi tulevan veden näyte. (Vilpas ym. 2005)

Tutkimuksessa mukana olleista kahdeksasta maasuodattimesta kaksi oli ns. tavanomaisia suodattimia, joissa ei ollut tehostettua fosforin poistoa. Neljä maasuodatinta oli varustettu fosforia poistavalla adsorptiokerroksella. Lisäksi mukana oli kaksi fosforinpoistolla tehostettua vaakavirta-maasuodatinta. Kaikkien maasuodattimien keskimääräiset kuormituksen vähenemät olivat BHK<sub>7</sub>:n osalta 99 %, kokonaisfosforin osalta 82 % ja kokonaistypen osalta 68 %. Fosforin poisto oli fosforinpoistomassalla varustetuissa suodattimissa tehokkaampaa kuin tavanomaisissa suodattimissa. (Vilpas ym. 2005)

Jälkisuodatuksella tehostetut maasuodattimet toimivat typen ja fosforin suhteen keskimäärin hieman paremmin kuin tavanomaiset maasuodattimet. Ne poistivat jätevedestä biologisesta hapenkulutuksesta keskimäärin 97 %, kokonaisfosforista 87 % ja kokonaistypestä 70 %. Tulokset ovat erittäin hyviä. (Vilpas ym. 2005)

Vippaan ym. (2005) mukaan suositeltavimpia jäteveden käsittelymenetelmiä haja-asutusalueella sijaitsevan kiinteistön kaikkien jätevesien puhdistukseen ovat jälkisuodatuksella tehostetut maasuodattimet tai hyvin toimivat laitepuhdistamot. Myös fosforinpoistomassaa sisältävät maasuodattimet toimivat hyvin, mutta niiden fosforinpoistomassa on hankala vaihtaa uuteen fosforinpoistokyvyn heiketessä. Tavallisilla maasuodattimilla, joissa ei ole tehostettua fosforin poistoa, ei päästy fosforin osalta riittäviin poistotuloksiin ainakaan pidemmällä aikavälillä.

Lappajärven alueella toteutettiin vuosien 1999 – 2001 aikana Lappajärvi Life-projekti, johon osallistui alueen viisi kuntaa, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Helsingin yliopisto ja alueen yrittäjiä ja asukkaita. Projektin tavoitteena oli kunnostaa rehevöitynyt Lappajärvi. Osana projektia Lappajärven valuma-alueelle suunniteltiin ja toteutettiin yli 70 asuinkiinteistöjen ja maitohuoneiden jätevesien käsittelyjärjestelmää, joista 25 kohdetta valittiin tehostettuun seurantaan. Näissä tehoseurantakohteissa oli mukana viisi maasuodatinta ja yksi IN-DRÄN-menetelmällä toteutettu maaperäkäsittely. Maasuodattimista kaksi sijaitsee noin 50 oppilaan kouluilla. (Kujala 2002)

Lappajärvi Life-projektin puhdistamoista otettiin kertanäytteet sekä tulevasta että lähtevästä jätevedestä. Kokoomanäytteiden ottoon ei ollut riittävästi resursseja kohteiden suuren määrän vuoksi. Näytteitä otettiin sekä kenttä- että laboratorioanalyysjä varten. Kenttäanalyysjä tehtiin projektin alussa noin kerran kuussa, mutta projektin edetessä näytteenottoa harvennettiin. Laboratorionäytteitä otettiin projektin aikana kahdesta kolmeen kappaletta jokaisesta kohteesta. (Kujala 2002)

Lappajärvi Life-projektissa kerätyt puhdistustulokset esitettiin lähtevän jäteveden ravinnepitoisuuksina, ei prosentuaalisina puhdistustuloksina. Talousjätevesiä käsittelevien maasuodattimien lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet olivat maasuodattimissa BHK<sub>7</sub> 11,1 mg/l, kokonaisfosfori 0,5 mg/l ja kokonaistyyppi 72,4 mg/l. IN-DRÄN-suodattimessa käsitellyn talousjäteveden pitoisuudet olivat BHK<sub>7</sub> 27 mg/l ja kokonaisfosfori 4,5 mg/l. Kokonaistyyppipitoisuutta ei määritetty. Tuloksia voidaan verrata hajajätevesiasetuksessa määriteltäviin puhdistusvaatimuksiin. Jos vedenkulutukseksi määritellään 120 litraa asukasta kohti vuorokaudessa, saadaan asetuksen mukaiseksi ylimmäksi sallituksi pitoisuudeksi puhdistetussa jätevedessä BHK<sub>7</sub>:lle 83 mg/l (tiukempi vaatimustaso 42 mg/l), kokonaisfosforille 5,5 mg/l (tiukempi vaatimustaso 2,8 mg/l) ja kokonaistypelle 82 mg/l (tiukempi vaatimustaso 70 mg/l). Lappajärvi Life-projektissa tutkitut maasuodattimet täyttivät näin ollen BHK<sub>7</sub>:n ja kokonaisfosforin osalta asetuksen tiukemman puhdistusvaatimuksen ja kokonaistypenkin osalta minimipuhdistusvaatimuksen. IN-DRÄN-maasuodatin ylsi BHK<sub>7</sub>:n osalta tiukempaan vaatimustasoon ja kokonaisfosforin osalta minimivaatimustasoon. (Kujala 2002)

Vuonna 2004 ilmestyi Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste Pienpuhdistamoiden toimivuus ja typenpoisto. Monisteessa tarkasteltiin 41 Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevaa puhdistamoa, joiden asukasvastineluvut olivat välillä 50 – 1000. Maaperäkäsittelyjä tutkimuksessa edustivat kaksi maasuodatinta, joista toinen oli yhdistetty biosuotimeen ja kemialliseen saostukseen ja toisessa oli käytössä esisaostus. Tutkimuksen aineistona käytettiin vuosina 2000 – 2003 saatuja tarkkailutuloksia, jotka saatiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen hallussa olleista kertaraporteista ja vuosiyhteenvedoista. (Lehtniemi 2004)

Lehtniemen (2004) mukaan esisaostuksen ja maasuodattimen yhdistelmä poisti biologisesta hapenkulutuksesta 94 %, kokonaisfosforista 97 % ja kokonaistypestä 50 %. Biosuodattimen, kemialli-

sen saostuksen ja maasuodattimen yhdistelmä taas vähensi biologista hapenkulutusta 99 %, kokonaisfosforia 99 % ja kokonaistyppeä 31 %. Tulokset olivat molemmissa puhdistamoissa hyviä, lukuun ottamatta jälkimmäisen typenpoistokykyä. Kyse oli kuitenkin isommista laitoksista kuin yhden perheen talouksista (AVL = 78 ja AVL = 61).

Pohjoismaisessa maasuodatusprojektissa (Valve ym.2006) tutkittiin kahta erityyppistä maasuodatusmenetelmää, joista toinen oli perinteinen maasuodatin ja toisessa prosessi tapahtui isoissa muovisäiliöissä. Tutkittujen suodattimien asukasvastineluvut olivat 2 -6 henkilöä. Puhdistamoista otettiin kokoomanäytteet kerran kuussa.

Tutkimuksessa mukana olleessa perinteisessä maasuodattimessa oli biologinen esisuodatin ja fosforinpoistoon tarkoitettu jälkisuodatuskenttä, jossa adsorptiomateriaalina oli Filtralite P. Tällä suodattimella saatiin erittäin hyvät puhdistustulokset: BHK<sub>7</sub>:n osalta yli 95 %, fosforin osalta 99 % ja typen osalta 40 %. Muovisäiliössä tapahtuvan suodatuksen tulokset vastasivat BHK<sub>7</sub>:n ja typen osalta hyvin perinteisen maasuodattimen tuloksia. Fosforinpoisto oli hieman heikompaa kuin perinteisessä maasuodattimessa. Ongelmia muovisäiliöissä tapahtuvassa suodatuksessa tuottivat fosforinpoistomassan loppusijoitus, lähtevän veden korkea pH sekä korkeat investointikulut. (Valve ym. 2006)

Varsinais-Suomen Agendatoimisto toteutti vuosina 1999 - 2005 AHA 21 -projektin, jonka tarkoituksena oli vähentää hajakuormituksen aiheuttamia rehevöittäviä päästöjä vesistöihin parantamalla haja-asutusalueiden jätevesien käsittelyä. Projektin puitteissa tutkittiin jätevesien käsittelyjärjestelmiä, neuvottiin asukkaita jäteveden käsittelyssä ja koulutettiin alan yrittäjiä ja kuntien viranomaisia. (Nummelin 2006)

AHA 21 -projektissa otettiin näytteitä yhteensä 33 jätevedenpuhdistamosta, joista 13 oli maasuodattimia. Koska tulevan jäteveden pitoisuuksissa tiedettiin olevan suurta vaihtelua, näytteet otettiin yhtä poikkeusta lukuun ottamatta vain lähtevästä jätevedestä näytteenotto- tai kokoomakaivosta tai sellaisen puuttuessa purkuputken päästä tai tarkastuskaivosta. (Nummelin 2006)

Puhdistustehoja laskettaessa lähtevästä jätevedestä määritettyjä pitoisuuksia verrattiin kirjallisuudesta löytyviin ja hajajätevesiasetuksessa annettuihin keskimääräisiin tulevan veden pitoisuuksiin. Käytetyt pitoisuudet olivat kaikkien jätevesien osalta BHK<sub>7</sub>: 50 g/as\*d, fosfori: 2,2 g/as\*d ja typpi:

14 g/as\*d ja pelkkien harmaiden vesien osalta BHK<sub>7</sub>: 30 g/as\*d, fosfori: 0,4 g/as\*d ja typpi: 1,0 g/as\*d. Tutkitut maasuodattimet vähensivät biologista hapenkulutusta keskimäärin 98 %, fosforia 60 % ja typpeä 60 %. Fosforin poistossa oli suurta vaihtelua eri puhdistamoiden välillä. Pelkille harmaille vesille tarkoitetut maasuodattimet poistivat jätevedestä niin orgaanista ainetta, fosforia kuin typpeäkin tehokkaasti. Keskimääräiset puhdistustehot olivat BHK<sub>7</sub>:n osalta 97 %, fosforin osalta 82 % ja typen osalta 56 %. (Nummelin 2006)

AHA 21 -projektissa tuli esiin joitakin puutteita ja ongelmia, jotka vaativat toimenpiteitä. Kiinteistökohtaisten jätevesijärjestelmien havaittiin olevan hyvin herkkiä. Niiden toimintaa heikentävät usein asennusvirheet, puutteellinen tuuletus, tulevan jäteveden laatu, kuormitusvaihtelut ja huollon laiminlyönti sekä rikkoontuvat osat, kuten venttiilit tai pumpput. Maasuodattimien todettiin kuitenkin olevan tässä tutkimuksessa mukana olleista puhdistamoista varmatoimisimpia, vaikka niiden fosforinpoistokyky heikkeni jo muutaman vuoden käytön jälkeen. Maasuodattimiin liittyvänä ongelmana tuli esiin myös käytöstä poistettujen suodattimien maamassojen loppusijoitus, jota ei ollut ratkaistu. (Nummelin 2006)

LokaPuts 2006 - 2007 -hanke tarkkaili vuosina 2006 - 2007 yhteensä kahdeksaa eri puhdistamoa, joista viisi oli erilaisia maapuhdistamotyyppejä. Tutkituista maapuhdistamoista kaksi oli tehostetulla fosforin poistolla varustettuja vaakavirtaussuodattimia, yksi fosforinpoistokaivolla varustettu maasuodatin, yksi tavallinen maasuodatin ja yksi maahan imeyttämö. Puhdistamoja seurattiin vajaan vuoden ajan. Niistä otettiin lähtevän jäteveden kokoomanäytteet, jotka sekoitettiin 3 - 6 tunnin välein otetuista kertanäytteistä. Tulevan jäteveden näytteitä ei otettu, vaan puhdistustulokset laskettiin asetuksen kuormituslukujen ja kohteiden vedenkulutusarvioiden perusteella. (Kurki 2007)

Tutkimuksessa mukana olleessa IN-DRÄN-vaakavirtausmaasuodattimessa oli käytetty maasuodattimen jakokerroksen korvaavia imeytysmoduuleja biologisen toiminnan kasvualustana. Fosforin poistoa on tehostettu biotiitillä. Moduulien lisäksi myös virtaussuunta erottaa IN-DRÄN-vaakavirtaussuodattimen tavallisesta maasuodattimesta. Toisessa tutkitussa vaakavirtausuodattimessa oli kuusi biologista toimintaa tehostavaa suodatuskasettia ja sen perään oli asennettu Filtra P kalkkirautakipsimassalla täytetty fosforinpoistokaivo. Lisäksi tutkimuksessa oli mukana kaksi pe-

rinteistä maasuodatinta, joista toisessa oli tehostettu fosforin poistoa fosforinpoistokaivolla, jossa saostusaineena oli alumiinikloridi. Toista perinteistä maasuodatinta käytettiin harmaiden vesien käsittelyyn. (Kurki 2007)

IN-DRÄN-vaakavirtausmaasuodattimen keskimääräiset reduktiot olivat orgaanisen aineen osalta 98 %, kokonaisfosforin osalta 98 % ja kokonaistypen osalta 36 %. Kaikki tulokset kahden näytteen typpipitoisuutta lukuun ottamatta täyttivät vähintään hajajätevesiasetuksen minimivaatimustason.

Fosforimassakaivolla varustetussa vaakavirtausmaasuodattimessa keskimääräiset reduktiot olivat orgaanisen aineen osalta 93 %, kokonaisfosforinosalta 99 % ja kokonaistypen osalta 68 %. Kaikki näytteet täyttivät hajajätevesiasetuksen tiukennetun vaatimustason. Kolmella näytekerralla näytteet otettiin myös kokoomakaivosta ennen fosforimassakaivoa, jolloin todettiin, että vaakavirtausmaasuodatin yksinäänkin poisti fosforia (96 %) ja typpeä (71 %) asetuksen tiukennetun vaatimustason mukaisesti. Orgaanisen aineen osalta puhdistustulokset olivat keskimäärin 89 %. Vaakavirtausmaasuodatin toimi siis erittäin hyvin. (Kurki 2007)

Fosforinpoistokaivolla (saostusaineena alumiinikloridi) varustettu maasuodatin toimi myös erinomaisesti. Se poisti orgaanista ainesta 98 %, fosforia 99 % ja typpeä 42 % ja ylsi kaikilta osin asetuksen tiukennettuun vaatimustasoon. Se oli toiminut hyvin koko tutkimusjakson ajan. (Kurki 2007)

Toisessa tutkitussa maasuodattimessa käsiteltiin vain harmaat jätevedet. Käymäläjätevedet kerättiin umpisäiliöön ja kuljetettiin kunnan puhdistamolle käsiteltäväksi. Myös tässä maasuodattimessa saatiin hyviä tuloksia orgaanisen aineen osalta (reduktio 98,9 %) ja typen osalta (reduktio 96,7 %). Fosforipitoisuudet vaihtelivat paljon, mutta fosforin keskimääräinen reduktio (84,3 %) täyttää asetuksen minimivaatimustason. (Kurki 2007)

Maahan imeyttämössä ei ollut suoraa näytteenottomahdollisuutta, joten näytteet otettiin pohjavedestä eri etäisyyksiltä imeyttämöstä. Pohjavesinäytteisiin oli joutunut myös pintavesiä, joten jätevedestä peräisin olevien ravinteiden määrää ei voitu arvioida. (Kurki 2007)

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry:n toteuttamassa tutkimuksessa verrattiin toisiinsa kahdeksan maasuodattimen toimintaa Pirkanmaalla (Heino 2008). Suodattimista otettiin kerta-

näytteet kokooma- tai tarkastuskaivosta tai purkuputken päästä. Koska osa ensimmäisen näytteenottokerran näytteistä oli laimentunut valumavesillä, maasuodattimista otettiin vielä uusinta-näytteet noin 1 - 2 kuukautta myöhemmin. (Heino 2008)

Tutkimuksessa mukana olleista maasuodattimista kaikki poistivat tehokkaasti orgaanista ainesta ja typpeä. Kaikki suodattimet pääsivät niiden osalta jopa asetuksen mukaiseen tiukempaan vaatimustasoon. Sen sijaan fosforin poisto oli hieman tehottomampaa, vaikkakin seitsemän suodatinta kahdeksasta saavutti asetuksen minimivaatimustason ja puolet jopa tiukemman vaatimustason. Biologisen hapenkulutuksen osalta tutkitut maasuodattimet päihittivät jopa kunnallisten puhdistamoiden keskiarvon. (Heino 2008)

Myös alan yritykset ovat osallistuneet maapuhdistamojen toiminnan tutkimiseen. Vuonna 2003 julkaistiin tutkimus Propipe Oy:n maasuodattimen ja fosforinpoistokaivon toiminnasta. Tutkimuksessa oli mukana Propipe Oy:n lisäksi Uudenmaan ympäristökeskus, joka vastasi tutkimuksessa näytteenotosta. (Kosunen ja Juva 2003)

Tutkimuskohteena ollut jätevesijärjestelmä koostui saostuskaivosta, maasuodattimesta ja fosforinpoistokaivosta, jossa fosforinpoistomassana oli kalkkia ja savea. Puhdistamoon johdettiin yhden omakotitalon kaikki jätevedet. Järjestelmästä otettiin kuusi lähtevän jäteveden kokoomanäytettä. Tulevan jäteveden laatu määritettiin hajajätevesiasetuksessa mainituista kuormitusluvuista. Tulevan jäteveden laskennallisina pitoisuuksina käytettiin BHK<sub>7</sub>: 454 mg/l, kokonaisfosfori: 20,0 mg/l ja kokonaistyyppi: 127 mg/l ja keskimääräisenä vedenkulutuksena 110 litraa asukasta kohti vuorokaudessa. (Kosunen ja Juva 2003)

Jätevedestä oli maasuodatuksessa poistunut keskimäärin 93 % BHK<sub>7</sub>:sta, 58 % fosforista ja 32 % tyypestä. Kun tuloksiin yhdistetään fosforinpoistokaivolla saavutettu reduktio, poisti järjestelmä BHK<sub>7</sub>:sta 96 %, fosforista 97 % ja tyypestä 49 %. Kaikkien kolmen osalta saavutettiin asetuksen tiukempi puhdistustaso. Puhdistamo toimi tarkkailujakson ajan erinomaisesti. Tutkimuksessa nousi esille saostuskaivojen riittävän tiheän tyhjennyksen tärkeys. (Kosunen ja Juva 2003)

## ***Ulkomaisia tutkimustuloksia maaperäkäsittelyistä***

Ruotsissa on tehty useita tutkimuksia jätevesien maaperäkäsittelyistä. Ruotsissa 49 % ja Suomessa 46 % juomavedestä on peräisin pohjavedestä, joten jätevesien tehokas puhdistaminen pohjavesien suojelemiseksi koetaan tärkeäksi. Vuonna 1985 ilmestyi julkaisu *Infiltration av avloppsvatten* (Brömssen ym. 1985), jossa kuvaillaan yksityiskohtaisesti jäteveden maaperäkäsittelymenetelmiä ja toimintaperiaatteita.

Stockholm Vatten toteutti Ruotsissa vuosina 2000 – 2002 Bra små avlopp -projektin, jossa seurattiin viidentoista kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon toimintaa. Mukana oli neljä maasuodattinta, joihin oli yhdistetty kemiallinen saostus fosforin poistamiseksi. Tutkimuksessa saatiin maasuodattimilla hyviä tuloksia orgaanisen aineen ja fosforin poistosta. Tutkimuksessa tuli esille säännöllisen seurannan ja huollon tärkeys maasuodattimien toiminnalle. (Hellström ja Jonsson 2003) Tuloksista julkaistiin myös englanninkielinen raportti kansainvälisessä tiedejulkaisussa (Hellström ja Jonsson 2006).

Stocholm Vatten jatkoi maasuodatintutkimusta seuraamalla vuosien 2002 – 2005 aikana kahden maasuodattimen toimintaa Tukholman talousveden varalähteenä käytetyn Bornsjön-järven valuma-alueella (Hellström ja Jonsson 2005). Tutkittujen suodattimien fosforinpoistoa oli tehostettu Filtralite-adsorptiomassalla. Suodattimista otettiin automaattisella näytteenkerääjällä sekä tulevan että lähtevän veden kokoomanäytteet. (Hellström ja Jonsson 2005)

Tutkimuksessa saatiin hieman yllättäviä tuloksia maasuodattimien toiminnasta. Toinen tutkittu suodatin poisti jäteveden orgaanisesta aineesta ensimmäisten yhdeksän kuukauden aikana keskimäärin yli 95 % ja koko tutkimusjakson aikana 90 %. Kokonaisfosforista poistui jopa yli 99 %, eikä poistoteho laskenut tutkimusjakson aikana. Kokonaistypestä poistui ensimmäisten yhdeksän kuukauden aikana 75 % ja koko tutkimusjakson aikana 72 %. Toinen suodatin poisti orgaanisesta aineesta ensimmäisten yhdeksän kuukauden aikana 94 %, mutta teho laski ajan myötä niin, että koko tutkimusjakson aikana orgaanisesta aineesta poistui keskimäärin vain 83 %. Kokonaisfosforista poistui yli 99 % eikä se muuttunut tutkimuksen aikana. Kokonaistypestä poistui ensimmäisten

yhdeksän kuukauden aikana keskimäärin 61 % ja koko tutkimusjakson aikana keskimäärin 55 %. (Hellström ja Jonsson 2005)

Tulokset poikkesivat aikaisemmissa tutkimuksissa saaduista, koska orgaanisen aineen poisto oli ollut normaalia tehottomampaa, kun taas fosforia oli saatu poistettua huomattavasti tehokkaammin kuin maasuodattimissa yleensä saadaan. Tosin kuormitus oli molemmissa tutkimuskohteissa vähäisempää kuin oli suunniteltu. Lisäksi tutkimusjakso kattoi vain noin 20 % suodatinten suunnitellusta elinkaaresta, joten tulevaisuudessa fosforin poistotehon uskottiin heikkenevän. (Hellström ja Jonsson 2005)

Hellström ja Jonsson julkaisivat vuonna 2007 seuraavan kiinteistökohtaista jäteveden puhdistusta käsitelleen tutkimuksensa, joka oli jatkoa Bra små avlopp -projektille. Tämän jatkotutkimuksen tarkoituksena oli selvittää laitosten toimivuutta ja luotettavuutta pidemmällä aikavälillä. Seuranassa oli mukana kaksi harmaitten vesien käsittelyyn käytettyä maasuodatinta, yksi kemiallisen saostuskaivon ja maasuodattimen yhdistelmä ja kaksi fosforinpoistomassalla tehostettua maasuodatinta. Kaikista puhdistamoista otettiin kokoomanäytteet automaattisella näytteenkerääjällä sekä tulevasta että lähtevästä jätevedestä. (Hellström ja Jonsson 2007)

Jatkotutkimuksessa harmaitten vesien maasuodattimien havaittiin poistavan jätevedestä hyvin orgaanista ainetta ja typpeä. Fosforin poisto oli tehottomampaa, joten fosforittomien pesuaineiden käyttö on tällaisissa kiinteistöissä erityisen tärkeää. Kemiallisen saostuksen ja maasuodattimen yhdistelmien sekä fosforinpoistomassalla tehostettujen maasuodattimien taas havaittiin poistavan tehokkaasti orgaanista ainetta ja fosforia. Tosin fosforinpoistomassalla tehostettujen maasuodattimien fosforinpoistokyky näytti heikkenevän ajan myötä. (Hellström ja Jonsson 2007)

Kansainvälisestä Wastewater treatment in filter beds – projektista julkaistiin Islantia lukuun ottamatta kaikki Pohjoismaat kattanut loppuraportti vuonna 2005 (Føllesdal 2005). Tutkimukseen osallistui kaiken kaikkiaan 15 yliopistoa, tutkimuslaitosta ja yritystä kaikista Pohjoismaista. Niiden toteuttamissa osaprojekteissa tutkittiin yhteensä yhdeksän esisuodattimella varustetun maasuodattimen toimintaa. Kaikista hankkeessa mukana olleista maasuodattimista otettiin kuukausittain näytteet tulevasta jätevedestä saostuskaivon jälkeen, esisuodattimesta lähtevästä vedestä ja maasuodattimesta lähtevästä vedestä. (Føllesdal 2005)

Biologisen hapenkulutuksen osalta maasuodattimista saatiin yhtä suodatinta lukuun ottamatta kohtalaisen hyviä tuloksia. Yhdessä ruotsalaisessa suodattimessa BHK<sub>7</sub>:sta poistui vain 37 %, mutta muut suodattimet poistivat siitä keskimäärin 91 %. Hankkeen tutkimat maasuodattimet poistivat jätevedestä erittäin tehokkaasti fosforia. Kokonaisfosfori väheni keskimäärin 98 %. Heikoimminkin toimineessa maasuodattimessa Tanskassa fosforista poistui 94 %. Kokonaistypestä poistui kaikissa maasuodattimissa keskimäärin 49 % vaihteluvälin ollessa 39 – 66 %. (Føllesdal 2005)

Wastewater treatment in filter beds – hankkeen tulosten perusteella voitiin arvioida, että esisuodattimella varustetut maasuodattimet poistivat jätevedestä tehokkaasti orgaanista ainetta, fosforia ja typpeä. Niiden toiminnan kannalta on olennaista, että saostuskaivo tyhjenetään riittävän usein ja maasuodattimen suodatinmateriaali vaihdetaan tarvittaessa. Maasuodattimen käyttöiäksi arvioitiin noin 15 vuotta. (Føllesdal 2005)

Pohjoismaiset maasuodatintutkimukset saivat jatkoa, kun Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa tutkittiin yhteensä yhdeksän testisuodattimen toimintaa. Testisuodattimet koostuivat saostuskaivosta, pumppukaivosta aerobisesta biosuotimesta, maasuodattimesta ja kokoomakaivosta. Niistä otettiin kuukausittain tulevan ja lähtevän veden näytteet koko 2 – 3 vuoden seurantajakson ajan. (Jenssen ym. 2010)

Kaikki tutkimuksessa mukana olleet suodattimet osoittautuivat tehokkaiksi niin biologisen hapenpoistin, fosforin, kuin typenkin osalta. Niiden teho myös pysyi hyvänä ja vakaana koko tutkimusjakson ajan. Keskimääräinen puhdistusteho oli biologisen hapenkulutuksen osalta 92 %, kokonaisfosforin osalta 98 % ja kokonaistypen osalta 47 %. Etenkin typenpoistossa oli suuria eroja eri suodattimien välillä. (Jenssen ym. 2010)

## Yhteenveto

Taulukkoon 1 on koottu yhteen keskimääräiset puhdistustulokset yllä käsitellyistä kotimaisista maasuodatintutkimuksista. Taulukossa 2 taas on esitetty ruotsalaisten ja yhteispohjoismaisten tutkimusten tulokset.

**Taulukko 1.** Suomalaisissa kenttätutkimuksissa havaittu maasuodattimien puhdistusteho biologisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen suhteen. Prosentuaalinen tehokkuus on laskettu lähtevän ja tulevan jäteveden suhteesta tai lähtevästä jätevedestä mitatun pitoisuuden ja hajajätevesiasetuksen kuormituslukujen perusteella lasketun tulevan jäteveden pitoisuuden suhteesta. Tulevan jäteveden näytteet on otettu saostuskaivojen jälkeen ennen maasuodatinta.

| Tutkimus                      | Puhdistamojen lukumäärä           | BHK <sub>7</sub> teho-% | Fosfori teho-% | Typpi teho-% |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| Suunnittelukeskus 1992        | 4                                 | 81 – 99                 | 25 – 75        | 30 – 60      |
| Wirola ym. 1993               | 8                                 | > 90                    | 50             | 20           |
| Hiltula ja Lakso 1996         | 32 (tavallisia maasuodattimia)    | 88                      | 59             | 34           |
|                               | 8 (tehostettu fosforinpoisto)     | 95                      | 90             | 26 – 39      |
| Elomaa 1998                   | 4                                 | 95                      | 70 – 80        | 25 – 35      |
| Wistback ja Jakobsson 1999    | 6                                 | 96                      | 84             | 53           |
| Kujala- Rätty ja Santala 2001 | 13 (tavallisia maasuodattimia)    | 97                      | 73             | 53           |
|                               | 9 (tehostettu fosforinpoisto)     | 93                      | 31             | 33           |
| Kosunen ja Juva               | 1                                 | 93                      | 58             | 32           |
| Lehtniemi 2004                | 1 (esisuodatus + maasuodatus)     | 94                      | 97             | 50           |
| Vilpas 2005                   | 8                                 | 99                      | 82             | 68           |
|                               | 6 (jälkisuodatuksella tehostettu) | 97                      | 87             | 70           |
| Valve 2006                    | 2                                 | 95                      | 99             | 40           |
| Nummelin 2006                 | 13                                | 98                      | 60             | 60           |
| Kurki 2007                    | 3                                 | 96                      | 99             | 49           |

**Taulukko 2.** Ruotsalaisissa ja yhteispohjoismaisissa kenttätutkimuksissa havaittu maasuodattimien puhdistusteho biologisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen suhteen. Prosentuaalinen tehokkuus on laskettu lähtevän ja tulevan jäteveden suhteesta. Tulevan jäteveden näytteet on otettu saostuskaivojen jälkeen ennen maasuodatinta.

| Tutkimus                  | Puhdistamojen lukumäärä          | BHK <sub>7</sub> teho-% | Fosfori teho-% | Typpi teho-% |
|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| Hellström ja Jonsson 2005 | 2 (tehostettu fosforinpoisto)    | 87                      | 99             | 64           |
| Føllesdal 2005            | 9 (esisuodatus)                  | 91                      | 98             | 39 - 66      |
| Jenssen ym. 2010          | 9 (aer. biosuodin + maasuodatus) | 92                      | 98             | 47           |

Yleisesti voidaan todeta maasuodattimien toimivan jäteveden puhdistuksessa melko hyvin erityisesti biologisen hapenkulutuksen ja typen poiston osalta. Kaikissa tässä kirjallisuuskatsauksessa mainituissa tutkimuksissa on BHK<sub>7</sub>:n osalta saavutettu hajajätevesiasetuksen vähimmäispuhdistustaso (80 %) ja yhtä tutkimusta lukuun ottamatta myös tiukempi puhdistustaso (90 %), jota sovelletaan erityisen herkillä alueilla. Kokonaistypen osalta on valtaosassa tutkimuksia saavutettu hajajäteasetuksen vähimmäispuhdistustaso (30 %). Useissa tutkimuksissa on päästy typen osalta myös tiukempaan vaatimustasoon (40 %). Fosforinpoisto on ollut tehottomampaa ja yleensä vielä vähentynyt käyttövuosien myötä. Fosforin poistotehoa voidaan kuitenkin parantaa fosforia adsorboivilla massoilla, joita voidaan lisätä maasuodattimeen joko erilliseksi kerrokseksi tai sekoitettuna suodatinhiekan joukkoon. Fosforinpoistoa voidaan tehostaa myös kemiallisella esi- tai jälkisaostuksella. Tehostetulla fosforinpoistolla varustetut maasuodattimet pääsääntöisesti täyttivät vähintään hajajätevesiasetuksen vähimmäisvaatimustason (70 %) ja usein myös tiukennetun vaatimustason. Osa tavanomaisistakin maasuodattimista ylsi asetuksen tavoitteisiin.

Tutkimuksissa tuli esiin erinäisiä seikkoja, joilla voidaan parantaa maasuodattimen toimintaa. Kiintoaineen tehokas poisto, jäteveden jakaminen tasaisesti koko suodatinmassan alueelle, lepojaksot kuormituksen välillä, tehokas ilmanvaihto sekä huolellinen asennus ja säännöllinen huolto nousivat tutkimuksissa erityisesti esille maasuodattimien tehokkaatoiminnan edellytyksinä. Jos näistä asioista pidetään huolta, voidaan etenkin tehostetulla fosforinpoistolla varustetulla maasuodattimella täyttää hajajätevesiasetuksen puhdistusvaatimukset.

## English Summary

Table 1 sums up purification results from Finnish studies of sand filter systems. Table 2 shows results from Swedish and Nordic studies.

**Table 1.** Purification efficiency of sand filters according to Finnish field studies. The efficiency has been calculated as the ratio of discharged and incoming waste water or the discharged waste water and the estimated incoming concentration based on the values given in the decree. Samples from incoming waste water have been taken after septic tanks, before the waste water enters the filtration system.

| Research                       | Number of treatment plants                                   | BOD <sub>7</sub> removal (%) | Phosphorus removal (%) | Nitrogen removal (%) |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| Suunnittelukeskus 1992         | 4                                                            | 81 – 99                      | 25 – 75                | 30 – 60              |
| Wirola et al. 1993             | 8                                                            | > 90                         | 50                     | 20                   |
| Hiltula and Lakso 1996         | 32 (conventional filters)<br>8 (enhanced phosphorus removal) | 88<br>95                     | 59<br>90               | 34<br>26 – 39        |
| Elomaa 1998                    | 4                                                            | 95                           | 70 – 80                | 25 – 35              |
| Wistback and Jakobsson 1999    | 6                                                            | 96                           | 84                     | 53                   |
| Kujala- Rätty and Santala 2001 | 13 (conventional filters)<br>9 (enhanced phosphorus removal) | 97<br>93                     | 73<br>31               | 53<br>33             |
| Kosunen and Juva               | 1                                                            | 93                           | 58                     | 32                   |
| Lehtniemi 2004                 | 1 (pre-precipitation + sand filter)                          | 94                           | 97                     | 50                   |
| Vilpas 2005                    | 8<br>6 (post-precipitation)                                  | 99<br>97                     | 82<br>87               | 68<br>70             |
| Valve 2006                     | 2                                                            | 95                           | 99                     | 40                   |
| Nummelin 2006                  | 13                                                           | 98                           | 60                     | 60                   |
| Kurki 2007                     | 3                                                            | 96                           | 99                     | 49                   |

**Table 2.** Purification efficiency of sand filters according to Swedish and Nordic studies. The efficiency has been calculated as the ratio of discharged and incoming waste water. Samples from incoming waste water have been taken after septic tanks, before the waste water enters the filtration system.

| Research                   | Number of treatment plants       | BOD <sub>7</sub> removal (%) | Phosphorus removal (%) | Nitrogen removal (%) |
|----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| Hellström and Jonsson 2005 | 2 (enhanced phosphorus removal)  | 87                           | 99                     | 64                   |
| Føllesdal 2005             | 9 (pre-precipitation)            | 91                           | 98                     | 39 - 66              |
| Jenssen et al. 2010        | 9 (aer. biofilter + sand filter) | 92                           | 98                     | 47                   |

Sand filters have been found to function quite well in waste water purification, especially for biological oxygen demand and nitrogen. For BOD<sub>7</sub>, all sand filters included in the studies mentioned in this literature review could meet the minimum demand of the decree (80 %), and all but one also

the stricter demand (90 %), which is applied in more sensitive areas. For total nitrogen, most plants could fill the minimum demand of 30 % purification, and some could achieve even the strict demand of 40 % purification. Only the removal of phosphorus was less efficient and even decreased within years of use. However, phosphorus removal could be enhanced by using adsorbents that are added in the sand filter either as a separate layer or mixed with the sand. Chemical precipitation of phosphorus can also be used. Most sand filters with enhanced phosphorus removal were able to reach the minimum demand of the decree, which is 70 % purification, and some even the stricter demand, 85 % purification. Even some conventional sand filters were able to meet the requirements of phosphorus removal.

There are several ways to improve the function of sand filters. Efficient removal of solid matter, even distribution of waste water to the filter area, pauses to the load, efficient ventilation, careful installation and regular maintenance are prerequisites for good functionality of sand filters. If these matters are taken care of, especially sand filters with enhanced phosphorus removal will be able to fulfil the requirements of the Government Decree on Treating Domestic Wastewater in Areas Outside Sewer Networks.

## Lähteet

Brömssen, U., Ensby, S., Gundersen, P., Jensen, P.D., Kristiansen, R., Nilsson, P., Nyberg, F., Pell, M., Stenström, T.A., Stuanes, A.O. ja Willumsen, A. 1985. Infiltration av avloppsvatten – förutsättningar, funktion, miljökonsekvenser. En nordisk samrap-port. Nordisk samproduktion, Naturvårdsverket, Nordiska Ministerrådet, Tukholma

Elomaa, H. 1998. Pyhäjärven valuma-alueen maasuodattimien toimivuus. Vesitalous, Nro 3, 5 – 7

Føllesdal, M. 2005. NI Project 02056 Wastewater treatment in filter beds. Common report from all pilot plants. maxit Group AB, Norja

Heino, S. 2008. Kiinteistökohtaisten jätevesijärjestelmien toimivuus. Kokemuksia 20 kiinteistöltä Pirkanmaalla. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen julkaisu 582. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, Tampere

Hellström, D. ja Jonsson, L. 2003. Bra små avlopp. Sammanfattning – Utvärdering av 15 enskilda avloppsanläggningar. Stockholm Vatten, Tukholma, Ruotsi

Hellström D. ja Jonsson, L. 2006. Evaluation of small on-site wastewater treatment systems. Management of environmental quality. An international journal. Vol 17, No 6, 728 - 739

Hellström, D. ja Jonsson, L. 2007. Bra små avlopp. Uppföljning av enskilda avloppsan-läggningar 2000 – 2007. Stockholm Vatten, Tukholma, Ruotsi

Hiltula, J. ja Lakso, E. 1996. Maasuodattimien toimivuus Suomessa ja haja-asutusalueiden jätevesien uudet käsittelymenetelmät. Vesitalous, Nro 3, 31 – 37

Jenssen, P.D., Krogstad, T., Paruch, A.M., Mæhlum, T., Adam, K., Arias, C.A., Heistad A., Jonsson, L., Hellström, D., Brix, H., Yli-Halla, M., Vråle, L. ja Valve, M. 2010. Filter bed systems treating domestic wastewater in the Nordic countries – Performance and reuse of filter media. Ecological Engineering 36, 1651 - 1659

Jäntti, E. 1993. Haja-asutuksen jätevesien maaperäkäsittely ja pienpuhdistamot. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro. 427. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki

Kosunen, J. ja Juva I. 2003. Kiinteistökohtaisen jätevesien käsittelyn toimivuusselvitys Propipe Oy:n maasuodattimella ja fosforinpoistokaivolla, Vihdissä. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki

Kujala, M., Aho, J. ja Rautio, L.M. 2002. Haja-asutuksen ja maitotilojen jäteveden käsittelyjärjestelmien toimivuus Lappajärvi Life-projektissa. Alueelliset ympäristöjulkaisut 296. Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasa

Kujala-Räty, K. ja Santala, E. (toim.) 2001. Haja-asutuksen jätevesien käsittelyn tehostaminen - Hajasampo-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 491. Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Kujala-Räty, K. (2004) Haja-asutuksen jätevesipulmat. Vesitalous, Nro 3, 11 – 16

Kujala-Räty, K., Mattila, H. ja Santala, E. (toim.) 2008. Haja-asutusalueiden vesihuolto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna

Kurki, P. 2007. Kiinteistökohtaisten jätevesien käsittelyjärjestelmien toimivuus Loka-Puts 2006 – 2007 –hankkeessa. Puhdistamoiden seurantaraportti. Suomen salaoja-keskus Oy, Joensuu

Lehtniemi, L. 2004. Pienpuhdistamoiden toimivuus ja typenpoisto. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 9/2004. Lounais-Suomen ympäristökeskus, Turku

Mäkinen, J. 1996. Harmaitten jätevesien käsittelymenetelmät ja kenttätutkimus. Uudenmaan ympäristökeskus – Monisteita 5. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki

Nummelin, M. (toim.) 2006. AHA 21 –projektin loppuraportti. Varsinais-Suomen Agendatoimiston Haja-asutuksen jätevesien käsittelyn tehostaminen –projekti. Varsinais-Suomen Agendatoimisto, Turku

Santala, E. (toim.) 1990. Pienet jäteveden maapuhdistamot. Ohjeita 1-10 talouden jätevesien maaperäkäsittelystä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja B 1. Valtion painatuskeskus, Helsinki

Suunnittelukeskus Oy (1992) Haja-asutusalueiden vesi-, viemärointi- ja jätehuolto. Ympäristöministeriö, Helsinki

Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. 209/2011. (www-dokumentti) www.finlex.fi 2011

Valve, M., Valpas, R. ja Räty, S. 2006. Pohjoismaainen maasuodatusprojekti tutki eri-tyyppisiä menetelmiä Sipoossa ja Kuusankoskella. Hajajätevesien puhdistamot testissä. Tekniikka ja kunta 5, 40 – 43

Vilpas, R., Kujala-Räty, K., Laaksonen, T. ja Santala, E. (toim.) 2005. Haja-asutuksen ravinnekuorituksen vähentäminen – Ravinnesampo. Osa 1: Asumisjätevesien käsitteily. Suomen ympäristö 762. Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Wirola, H., Tanhuala, T. ja Linho, P. 1993. Maasuodattimien toimivuus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 412. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki

Wistbacka, R. ja Jakobsson, R. 1999. Avloppsvattenrening från egnahemshus. Slut-rapport angående arbeten som utförts 1996 – 1998. Länsi-Suomen Ympäristökeskuksen moniste 49/1999. Länsi-Suomen Ympäristökeskus, Vaasa