

LUOKO ry

Haja-asutuksen jätevesien puhdistus

– katsaus maaperäkäsittelyyn



Haja-asutuksen jätevesien puhdistus

– katsaus maaperäkäsittelyyn

Julkaisija

Luonnonhoidon koulutus LUOKO ry
Simonkatu 12 A 11 00100 Helsinki
puh: (09) 694 2100

Julkaisu on saatavissa sähköisenä osoitteesta:

www.salaajakeskus.fi -> julkaisut

Etukannen kuva: Savon Sanomat / Jani Hakala

Multiprint Oy, Helsinki 2007
ISBN 978-952-5345-16-2

Esipuhe

Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla astui voimaan 1.1.2004. Asetuksen edellyttämille toimenpiteille annettiin pääsääntöisesti kymmenen vuoden siirtymäaika. Tähän mennessä vain murto-osa asetuksen piiriin kuuluvista kiinteistöistä on rakentanut edellytetyt jäteveden käsittelymenetelmät.

Asetuksen valmistelun ja voimaantulon jälkeen jätevesijärjestelmien tuotekehitys on ollut varsin vilkasta. Menetelmien runsaus saattaa hämmäntää velvoitteiden piirissä olevia kiinteistöjen omistajia ja pitkittää päätöksentekoa.

Tämän julkaisun tarkoituksena on luoda katsaus helppohoitaisiin menetelmiin, mutta ennen kaikkea antaa perustietoja siitä, miksi jätevesijärjestelmän oikea toteuttaminen on tärkeää ja mitkä tekijät vaikuttavat eniten puhdistustulokseen.

Maaperäkäsittelyä on maailmalla käytetty jo vuosikymmeniä, joten siitä on varsin pitkäaikaisia ja runsaslukuisia kokemuksia. Markkinoilla on myös tehdasvalmisteisia pienpuhdistamoita. Molemmat järjestelmät on tutkimuksissa todettu toimiviksi. Maaperäkäsittelyjärjestelmän asentaminen on vaativampaa kuin pienpuhdistamon. Maaperäkäsittelyjärjestelmä on kuitenkin toimintavarma ja lähes huoltovapaa. Sen vuoksi sen käyttömahdollisuudet kannattaisi aina ensisijaisesti selvittää.

Tämän julkaisun on toimittanut Luonnonhoidon koulutusyhdistys LUOKO ry. Hankkeen rahoitus on saatu täysimääräisesti Salaojituksen tukisäätiöltä, josta säätiölle parhaat kiitokset. Julkaisun tekstin on laatinut DI Johanna Ahonen ja kuvat ja taiton on tehnyt Juha Peltomaa. Erityiskiitos julkaisun taiteellisista kuvista kuuluu Jaakko Arolalle (10 v.). Kiitokset kommenteista Suomen ympäristökeskuksen johtavalle asiantuntijalle Erkki Santalalle Salaojakeskuksen DI Helena Äijölle. Yhdistys esittää parhaat kiitokset kaikille julkaisun valmistumiseen vaikuttaneille henkilöille ja tahoille.

Rajamäellä 27.9.2007
Tarmo Luoma
Puheenjohtaja

Mistä vesi tulee ja mihin se menee?

Maahan tuleva vesi joko haihtuu, imeytyy maahan tai lähtee valumaan maan pintaa pitkin. Pintaa pitkin valuva vesi voi myöhemmin haihtua, imeytyä maahan, jäädä maan pinnan painanteisiin tai valua ojaan tai muuhun uomaan ja siitä edelleen vesistöön, siis jokiin ja järviin tai mereen. Se, kuinka paljon vettä imeytyy maahan, riippuu monista tekijöistä, mm. maan kosteudesta ja maaperän ominaisuuksista.

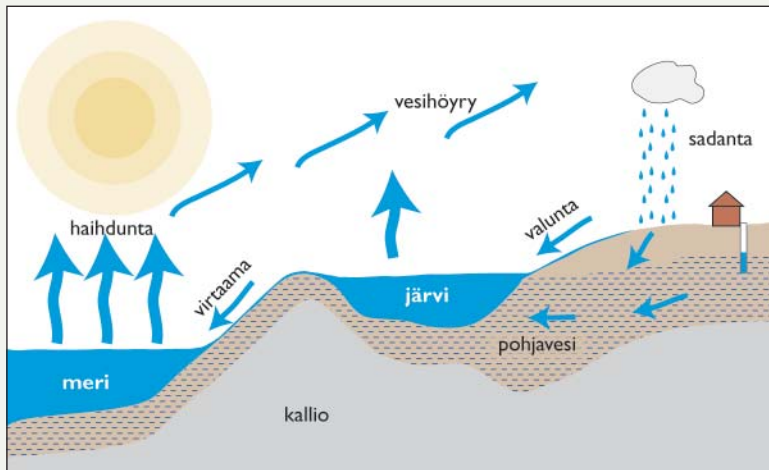
Maahan imeytynyt vesi jatkaa virtaamista alaspäin. Tätä vapaana liikkuvaa vettä kutsutaan maavedeksi. Veden liikesuunta maaperässä riippuu maan hydraulisista ominaisuuksista, maan rakenteesta ja rakeisuudesta ja maahuokosten aikaansaamista vetovoimista. Kohdatessaan läpäisemättömän alustan alkaa vesi kerääntyä sen päälle. Muodostuva vesikerros täyttää maaperässä olevat huokokset. Kerrosta, jossa huokokset ovat veden täyttämiä, kutsutaan pohjavedeksi. Maaperässä saattaa esiintyä varsinaisen pohjavedenpinnan yläpuolellakin kerroksia, jotka ovat vettä johtamattomia. Tällöin myös näiden kerrosten päälle kerääntyy vettä. Veden täyttämiä kerroksia saattaa esiintyä maaperässä päällekkäin useita. Näitä vesiesiintymiä kutsutaan orsivesiksi.

Myös pohjavesi on jatkuvassa liikkeessä. Sen vuoksi pohjaveteen joutuneet aineetkaan eivät pysy paikallaan vaan leviävät laajalle alueelle.

Maahan tuleva vesi

- imeytyy maahan ja muodostaa pohjavettä
- valuu maan pintaa pitkin painanteisiin, vesistöön ja mereen
- haihtuu

Myös maahan johdettu jätevesi joutuu joko vesistöön tai pohjaveteen.

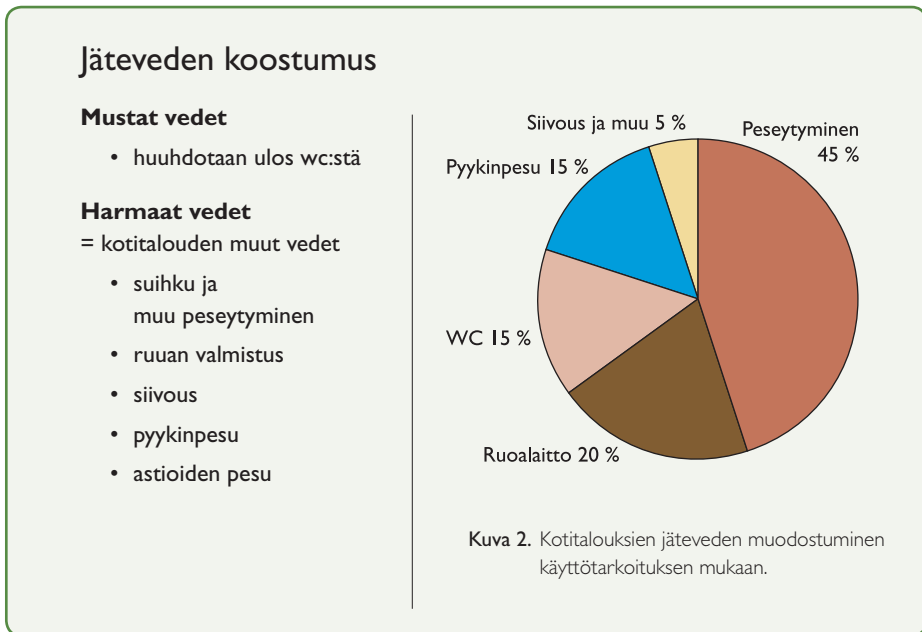


Kuva 1. Hydrologinen kiertoalku

Mistä jätevettä syntyy?

Jätevettä syntyy ihmisen toiminnasta. Kotitalouksien jätevedet jaetaan niiden muodostumistavan mukaan kahteen osaan, ulosteita sisältävät mustat vedet ja muut eli harmaat vedet. Jäteveden käsittelyn kannalta mustat vedet ovat ongelmallisempia.

Järjestelmät, joita tässä julkaisussa käsitellään, soveltuvat kotitalouksien jäteveden käsittelyyn. Karjankasvatusta tai elintarvikkeiden jatkojalostusta harjoittavien maatalojen jätevesien käsittely vaatii tehokkaampia puhdistusjärjestelmiä. Pienyritysten, kuten autokorjaamoiden tai maalaamoiden jätevesien käsittelyssä tulee huomioida öljyjen, maalien ja liuotteiden erottelu, jota tavanomaisessa kotitalouksien jätevesijärjestelmässä ei ole. Toisaalta kantoveden varassa olevissa asunnoissa järjestelmä saattaa olla huomattavasti yksinkertaisempikin.



Miksi jätevedet on puhdistettava?

A) Jätevedet aiheuttavat rehevöitymistä ja heikentävät pohjaveden laatua

Suomessa on noin 300 000 asuntoa, jotka eivät kuulu vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen piiriin. Lisäksi Suomessa on yli 400 000 kesäasuntoa tai -mökkiä, jotka sijaitsevat kunnallisen jätevesijärjestelmän ulkopuolella. Valtaosa niistä on varustettu perinteisillä ulkokäymälöillä, osa sisälle sijoitetuilla kuivakäymälöillä. Koska vapaa-ajan asuntojen ympärivuotinen käyttö on yleistynyt, on niiden varustetaso myös kohonnut. Yhä useammin vapaa-ajan asunto varustetaan vesikäymälällä.

Vanhimmissa ympärivuotisesti asutuissa talouksissa jätevesien käsittelyjärjestelmänä on yksiosainen saostussäiliö. Vielä 1990-luvun loppupuolellakin rakennetuissa taloissa saattoi ainoana jäteveden käsittelyjärjestelmänä olla saostussäiliö. Jäteveden saostukseen perustuva järjestelmä ei kuitenkaan yksistään pysty riittävästi vähentämään jätevedestä aiheutuvaa ympäristökuormitusta.

Vuosikymmenten aikana järviin ja jokiin kulkeutuneet jätevedet ovat lisänneet vesistöjen kuormittumista ja osaltaan aiheuttaneet niiden rehevöitymistä. Esimerkiksi Säkylän Pyhäjärveä tutkittaessa arvioitiin, että asumisperäisten jätevesien osuus järven kuormituksesta oli noin 15%. Jäteveden sisältämä typpi ja fosfori ovat ravinteita, joita muun muassa myrkylliset sinilevät tarvitsevat elääkseen. Sinileväkukinat ovatkin Suomessa nykyään jokakesäinen ongelma.

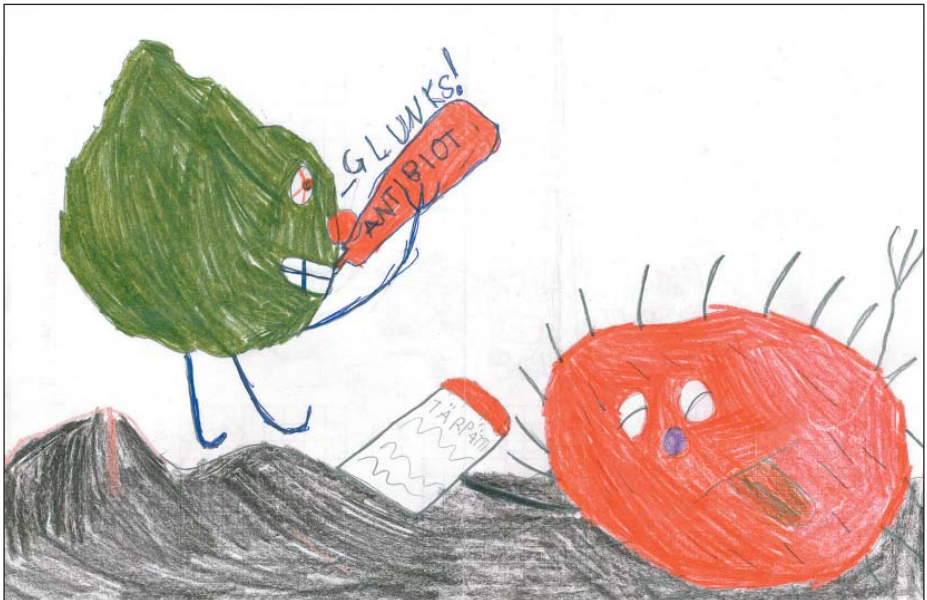
Osa maahan johdetusta jätevedestä imeytyy maaperään ja kulkeutuu syvemmälle, lopulta pohjaveteen. Jätevesi sisältää veteen liukenevia yhdisteitä, jotka joutuessaan pohjaveteen voivat aiheuttaa pohjavedessä makuhaittoja, laadun huonontumista tai jopa myrkyttymistä. Nitraattia runsaasti sisältävän pohjaveden käyttö aiheuttaa terveysriskejä varsinkin imeväisikäisille lapsille. Nitraatista muodostuva nitriitti aiheuttaa häiriötä veren punasolujen happiaineenvaihduntaan, ns. methemoglobinemian.

B) Jätevesissä on eliöille ja ihmisille haitallisia aineita

Ulosteperäiset bakteerit aiheuttavat ihmisille hygieniahaittoja ja terveysriskejä. Jäteveden kautta leviäviä tauteja ovat mm salmonella, oireina ripuli ja kuume, ruuansulatuselinsairaudet ja keltatauti. Riski altistumiselle on suurin jäteveden purkupaikan läheisyydessä, usein siis omassa rannassa. Koska auringonvalo steriloi ajan myötä veden, haitta pienenee purkupaikalta etäännyttäessä. Suolistolaiset, kuten lapamato, leviävät myös jäteveden mukana. Tartuntariski on suuri jätevedelle altistuneita kaloja syödessä.

Kiintoaines, jota jäteveden mukana joutuu luontoon, sameuttaa pintavesiä, estää vesikasvien yhteyttämistä ja pienentää näkösyvyyttä. Orgaanisen aineksen aikaansaama biologisen hapenkulutuksen kasvu voi aiheuttaa happikatoa järvestä.

Orgaaniset liuottimet ja epäorgaaniset kemikaalit, joita on puhdistusaine-, pyykinpesuaine- ja maalijäämissä, ovat eliöstölle haitallisia. Ne usein yksinkertaisesti tappavat maaperän pieneliöitä. Joutuessaan pohjaveteen ja sitä kautta juomaveteen ne aiheuttavat ihmisillekin vaaraa. Kloridit ja sulfidit, joita puhdistusaineet saattavat sisältää, aiheuttavat pohjavedessä makuhaittoja. Orgaaniset liuottimet aiheuttavat maksa- ja munuaisvaurioita, syöpää ja hermostollisia häiriöitä.



Kuva 3. Jätevesissä on eliöille haitallisia aineita

Ihminen tarvitsee ravinnossaan hivenaineina pieniä määriä raskasmetalleja. Niitä kertyy ihmisten ulosteisiin, ja sitä kautta jäteveeten. Myös vanhojen talojen vesiputkista irtoaa metalleja. Jätevedestä raskasmetallit voivat rikastua kaloihin ja joutua sitä kautta takaisin ihmisen elimistöön. Liiallinen raskasmetallien kertyminen aiheuttavat ihmiselle fyysisiä ja psyykkisiä kehityshäiriöitä sekä munuaissairauksia.

Jäteveden mukana luontoon joutuneet lääkeaineet voivat olla myrkyllisiä eliöille. Mikäli eliöt joutuvat usein kosketuksiin tiettyjen lääkeaineiden esimerkiksi antibioottien kanssa, ne saattavat kehittää vastustuskykyisiä eli resistentteja kantoja, joihin kyseinen lääkeaine ei enää vaikuta.

C) Asetus velvoittaa puhdistamaan

Jäteveden johtaminen on lailla säädeltyä toimintaa. Terveysturvallisuuslaki (22 §) edellyttää, että jäteveden johtaminen ja puhdistus tehdään siten, ettei niistä aiheudu terveyshaittaa. Maankäyttö- ja rakennusasetus (62 §) määrää, että kiinteistökohtaisen jätevesijärjestelmän rakentamiselle tai muuttamiselle on haettava toimenpide-lupa. Vesihuoltolaissa (10§) määrätään, että vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella oleva kiinteistö on liitettävä laitoksen viemäriin.

Vuonna 2000 voimaan tullessa ympäristönsuojelulaissa asetetaan yleinen pohjavesien pilaamiskielto (8 §). Lain 103 §:ssä asetetaan yleinen jätevesien puhdistamisvelvollisuus. Lain (18 §) perusteella annettu asetus *talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla* (asetus 542/2003, jatkossa *talousjätevesiasetus*) määrittelee puhdistukselle minimitason, joka on täytettävä. Minimitaso puhdistukselle määritellään fosforin, typen ja biologisen hapenkulutuksen osalta. Prosentuaaliset vähennysmäärät lasketaan asetuksessa annetuista laskennallisista kuormitusluvuista, jotka perustuvat keskimääräisiin asumisjäteveden laatutietoihin. Näistä saadaan päästömaksimi, eli ravinteiden ja BHK:n maksimimäärä (g/as/vrk) ulos johdetussa vedessä. Päästömaksimi ei saa ylittyä.



Kuva 4. Jätevesiasetus velvoittaa puhdistamaan jätevedet

Päästömaksimi

Päästömaksimi määrää, kuinka paljon lika-ainetta järjestelmästä ulos johdettussa jätevedessä saa korkeintaan olla.

Määrää voidaan vähentää paitsi tehokkaalla puhdistusjärjestelmällä, myös välttämällä lika-aineiden päästämistä viemäriin.

Puhdistamisvelvoite koskee aina sellaisia jätevesiä, jotka sisältävät käymäläjätettä. Myös muut jätevedet on puhdistettava, mikäli niiden määrä ei ole vähäinen tai ne aiheuttavat ympäristön pilaantumisen vaaraa. Vähäisellä määrällä tarkoitetaan yleisesti hyväksytyyn käsityksen mukaan kantovettä.

Kuntakohtaisia määräyksiä jäteveden johtamisesta voi sisältyä maankäyttö- ja rakennuslain (14§) perusteella annettuun rakennusjärjestykseen, ympäristönsuojelun

lain (19§) perusteella annettuihin ympäristönsuojelumääräyksiin sekä jätelain (17§) perusteella annettuihin jätehuoltomääräyksiin. Lisäksi vesihuoltolain (5§) perusteella tehdystä kunnan vesihuollon kehittämissuunnitelmasta selviää, miten vesihuoltoa kunnassa kehitetään.

Miksi jätevedet on puhdistettava?

A) Rehevöityminen

- Jätevedet sisältävät ravinteita, joista tärkeimmät ovat typpi ja fosfori
- Ravinteet kuormittavat pintavesiä ja aiheuttavat rehevöitymistä
- Rehevöitymisen seurauksena uimarannat kasvavat umpeen ja sinileväkukinnot estävät uimisen

B) Haitallisuus

Ihmisille vaaraksi

- Ulosteperäiset bakteerit ja taudinaiheuttajat
- Puhdistusaineet, liuottimet, kemikaalit
- Raskasmetallit ja lääkeaineet

Eliöille haitallista

- Kiintoaine ja orgaaninen aines
- Puhdistusaineet, liuottimet, kemikaalit
- Ravinteet

C) Asetus velvoittaa

Taulukko 1. Käsittelemättömän jäteveden laskennallinen kuormitusluku (g/as/vrk), päästöjen maksimimäärät (g/as/vrk) ja puhdistusvaatimukset (%) talousjätevesiasetuksen mukaan

	BHK ₇	N	P
kuormitusluku g/as/vrk	50	14	2,2
päästömaksimi g/as/vrk	5	8,4	0,33
puhdistusvaatimus %	90	40	85

Miksi typpi ja fosfori?

Vesikasvillisuus, kuten myrkylliset sinilevät, tarvitsevat kasvaakseen useita ravinteita. Typpi ja fosfori ovat leväkukinnoille välttämättömiä ravinteita. Vaikka typpeä olisi riittävästi mutta fosforia puuttuu tai päinvastoin, eivät levät kuki. Sitä, kumpaa on vesistössä niukemmin saatavilla, sanotaan minimitekkijäksi. Se on kukintaa rajoittava ravinne. Suomen järvissä kukintaa rajoittaa yleensä fosfori, koska typpeä kulkeutuu järviin joka tapauksessa riittävästi mm. ilmasta, metsämailta ja pelloilta. Jos rajoittavan ravinteen, yleensä siis fosforin, pääsy vesistöihin onnistutaan estämään, eivät levät kuki.

Mikä on BHK₇?

Jätevedessä elää mikroskooppisia pieneliöitä, jotka käyttävät happea elintoimintoihinsa. Tätä kutsutaan biologiseksi hapenkulutukseksi, siis BHK. Kun näitä eliöitä jätevedessä on runsaasti, saattavat ne pikkuhiljaa kuluttaa vedestä kaiken hapen, jolloin vesi muuttuu hapettomaksi. Siitä on merkinä yleensä voimakas haju. Kun hapeton jätevesi joutuu vesistöön ja sekoittuu järviveeseen, joka sisältää happea, alkavat eliöt käyttää järviveden happea. Mikäli happea on järvivedessä niukasti, niinkuin talvisaikaan voi olla varsinkin matalissa järvissä, saattaa biologinen hapenkulutus johtaa happikatoon. Seurauksena on kalojen elinolosuhteiden heikkeneminen ja kalakuolemat.

Typpi ja fosfori

Ravinteita, joiden saatavuus kontrolloi leväkukintoja

Typpi (N)

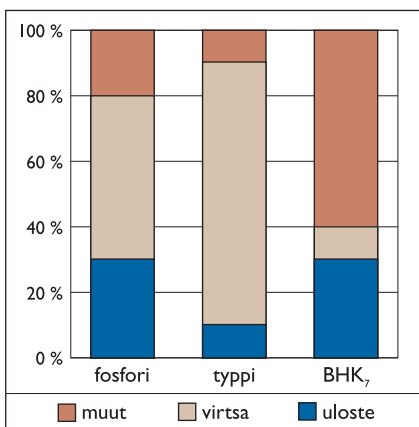
- Typpi on pääasiassa vesiliukoista ammonium-typpeä
- Keskimääräinen kuormitusluku n. 5,1 kg/hlö/vuosi

Fosfori (P)

- Fosfori on ulosteissa orgaanisena fosforina
- Pesuaineiden fosfori on fosfaatteina
- Keskimääräinen kuormitusluku n. 0,8 kg/hlö/vuosi

BHK₇

Biologinen hapen kulutus eli se määrä happea, jonka eliöt kuluttavat elintoimintoihinsa seitsemän vuorokauden aikana.



Kuva 5. Jätevesikuormituksen koostumus

Mistä ravinteet tulevat jäteveeseen?

Jäteveden sisältämästä fosforista 50% tulee ihmisten virtsasta ja 30% ulosteesta. Jäteveden sisältämästä typestä tulee peräti 80% pelkästään virtsasta. Vaikka pesuaineetkin sisältävät ravinteita, tulee siis valtaosa ravinteista mustista vesistä. Myös haitalliset bakteerit ja muut taudinaiheuttajat tulevat jäteveeseen pääasiassa mustista vesistä. Sen vuoksi ihmisten ulosteista sisältävien jätevesien käsittely on huomattavasti vaativampaa, kuin kotitalouksien muiden vesien käsittely.

Millä jätevesiä voi puhdistaa?

Kotitaloudet voivat valita jäteveden puhdistusjärjestelmänsä vapaasti useista markkinoilla olevista vaihtoehdoista. Lainsäädäntö ei aseta rajoituksia valinnalle. Ainoa vaatimus on, että järjestelmä on tehokkuudeltaan sellainen, että sillä saavutetaan asetuksessa säädetty puhdistustulos.

Yleisimmin markkinoilla olevat järjestelmät perustuvat joko maaperäkäsittelyyn tai ne ovat teollisesti valmistettuja pienpuhdistamoja. Maaperäkäsittelymenetelminä käytetään maasuodattamoja ja maahanimeyttämöjä. Pienpuhdistamot toimivat biologisesti tai biologis-kemiallisesti.

Maasuodattamo edeltää jäteveden esikäsittely saostussäiliössä. Selkeytetty jätevesi johdetaan hiekasta tai muusta aineesta rakennettuun suodattamoon (kuva 8). Virratessaan materiaalin läpi vesi puhdistuu biologisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti. Puhdistunut jätevesi johdetaan suodattamosta maastoon tai ojaan.

Maasuodattamo mitoitetaan siten, että suodatinkerroksen yläpinnalle tuleva vesimäärä on enintään 50 l/m²/vrk, mitoitusvesimäärä on 200 l/hlö/vrk. Tällöin viiden hengen taloudelle mitoitettava imeytyspinta-ala on vähintään 20 m². Suodattamo voi olla yhtenäinen kenttä, jossa vesi imeytetään kahdella tai useammalla imeytysputkella. Se voi myös olla imeytysojasto, jolloin kussakin ojassa on yksi imeytysputki.

Valmiin maasuodattamon pohja on yli kahden metrin syvyydessä. Mikäli näin syvä rakenne ei ole mahdollinen, voidaan maasuodattamo rakentaa myös matalaan perustettuna ja joskus jopa kokonaan maan päälle (kuva 13).

Suodattamosta puhdistunut vesi johdetaan maastoon. Tavallisesti jätevesi virtaa koko puhdistusjärjestelmän läpi painovoimaisesti. Mikäli maasto ei salli painovoimaista veden siirtoa, voidaan järjestelmän eteen saostussäiliön jälkeen asentaa pumppukaivo, josta vesi nostetaan johdettavaksi järjestelmään. Veden pumppaaminen voi tulla myös kyseeseen matalaan tai maan päälle perustetun maasuodattamon yhteydessä. Joskus puhdistetun veden johtaminen järjestelmästä ulos ei ole maaston muotojen takia mahdollista ilman pumppausta. Tällöin pumppu asennetaan järjestelmän perään kokoomakaivoon.

Järjestelmän fosforinpidätyskykyä voidaan lisätä joko asentamalla suodattamon sisälle erillinen fosforia sitova kerros tai asentamalla suodattamon perään fosforin sidontakaivo.

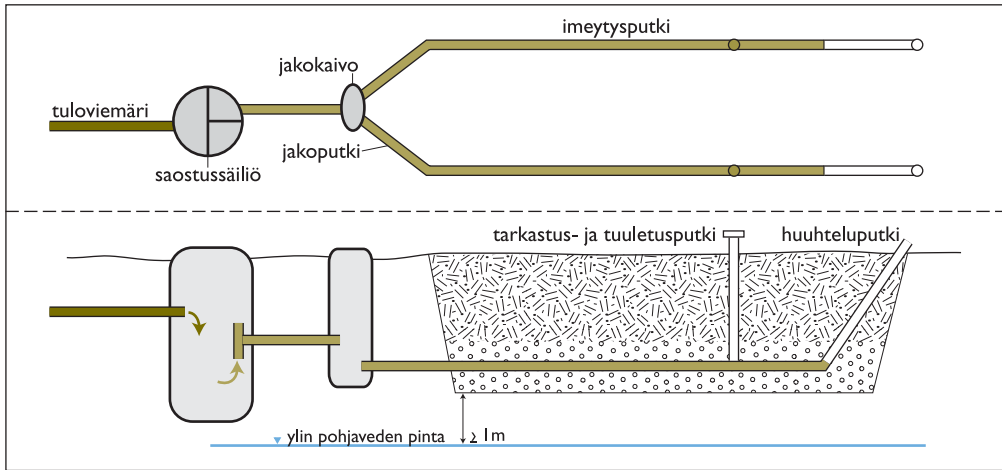
Maahanimeyttämön toimintaperiaate on samankaltainen maasuodattamon kanssa. Erona on, että imeyttämössä puhdistunut vesi suotautuu pohjan kautta maaperään ja pohjaveteen. Imeyttämössä maaperä itsessään toimii suodatinmassana. Sen vuoksi imeyttämön kaivussyvyys on huomattavasti maasuodattamoaa vähäisempi, jopa alle yhden metrin. Myös maahanimeyttämö on mahdollista rakentaa maasuodattamon tapaan matalaan perustettuna tai kokonaan maan päälle. Tällöin saattaa veden pumppaaminen järjestelmään tulla tarpeelliseksi.

Maaperäkäsittely

- Rakennetaan paikan päällä
- Asentaminen huolellisuutta vaativaa
- Käyttö helppoa

Pienpuhdistamot

- Tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia
- Asentaminen maaperäkäsittelyjärjestelmää yksinkertaisempi
- Toimintavarmuus edellyttää jatkuvaa huoltoa ja käyttäjän motivoituneisuutta



Kuva 6. Maahanimeyttämön kaaviokuva

Talousjätevesiasetuksen mukaan tulee järjestelmän puhdistustehokkuus tarvittaessa osoittaa mittauksin. Koska imeyttämöstä puhdistunut jätevesi suotautuu suoraan pohjaveteen, voidaan tehokkuutta arvioida ottamalla näytteitä pohjavesiputkesta. Pohjavesiputki asennetaan maastoon siten että vesi virtaa imeyttämöltä putkelle päin. Tarvetta tarkkailuun on lähinnä silloin, kun alapuolella sijaitsee juomavesikaivoja. Imeyttämön rakentamista tulisi kuitenkin välttää silloin, kun sen alapuolella sijaitsee herkkiä kohteita.

Pienpuhdistamot eli **laittepuhdistamot** ovat yleensä tehdasvalmisteisia jäteveden käsittelylaitteita. Ne voidaan puhdistusprosessinsa mukaan jakaa kolmeen pääryhmään, biologisiin, kemiallisiin ja biologis-kemiallisiin laitteisiin. Biologinen puhdistusprosessi voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla, joista tavallisimmat ovat aktiivilietemenetelmä, biologinen suodatin ja bioroottori. Varsinaista biologista prosessia edeltää usein esiselkeytys, joka voi olla yksi- tai useampiosainen saostussäiliö.

Aktiivilieteprosesseissa jätevettä ilmastetaan, minkä ansiosta jäteveden sisältämät bakteerit muodostavat nk. aktiivilietteen, käyttävät ravinnokseen jäteveden sisältämiä ravinteita ja orgaanista ainetta hajottaen sitä samalla. Osa lietteestä pidetään prosessin kierrossa, osa laskeutetaan ja poistetaan aikanaan puhdistamosta. Viime vuosina nopeasti yleistyneet nk. panospuhdistamot käyttävät aktiivilietemenetelmää.

Biologisissa suodatinpuhdistamoissa ja bioroottoreissa yleensä muovirakenteinen suodatinmateriaali toimii kasvualustana bakteereille, jotka niissäkin käyttävät ravinteita ja orgaanista ainesta ravintonaan ja siten puhdistavat jätevettä.

Mikäli olosuhteet ovat sopivat, saattavat typen yhdisteet hapettua (nitrifikaatio) ja edelleen pelkistyä typpikaasuksi (denitrifikaatio) biologisesti.

Kemiallisella jäteveden käsittelyllä tarkoitetaan menetelmää, jossa jätevedeen syötetään saostuskemikaalia (yleensä rauta- tai alumiinisuoloja), jonka avulla lika-aineet saadaan laskeuttamalla poistettavaan muotoon.

Pelkällä biologisella käsittelyllä ei yleensä saavuteta sellaista tehokkuutta fosforin poistossa, että talousjätevesiasetuksen vaatimukset täyttyisivät. Siksi Suomessa käytettävissä tehdasvalmisteisissa pienpuhdistamoissa käytetäänkin useimmiten biologis-kemiallisia puhdistusprosesseja. Hyvin puhdistettu jätevesi voidaan käsittelyn jälkeen johtaa maastoon tai ojaan.

Maaperäkäsittely

Plussat

- Helppohoitoinen
- Toimintavarma, ei sähkölaitteita
- Ei rikkoutuvia teknisiä laitteita
- Ei materiaalin lisäämistä prosessiin, koska järjestelmään on sisäänrakennettuna kaikki jätevedenpuhdistukseen tarvittavat materiaalit
- Alhaiset käyttökustannukset, ei kuluta sähköä, ei materiaalihankintoja
- Soveltuu useimpiin kohteisiin, jos tila on riittävä
- Sietää hyvin epätasaista kuormittamista (esim. kesämökki)
- Maahanimeyttämössä lisäksi etuna vähäinen massanvaihto

Miinukset

- Rakentaminen vaatii huolellisuutta
- Suuri tilantarve (>20 m²) ja laajat kaivuutyöt (40-100m³)
- Rajoittaa maankäyttöä
- Mikäli tarvitaan veden pumppaamista, lisääntyy huoltotarve ja käytön epävarmuus
- Kun suodatin väsyä ja lakkaa puhdistamasta, täytyy koko suodatin uusia (uusimisväli noin 20 vuotta)
- Maahanimeyttämössä lisäksi haittana ettei puhdistustulosta voi varmentaa

Pienpuhdistamo

Plussat

- Pieni tilantarve, vähän kaivuutöitä (säiliö esim. 3 m³)
- Asennus yksinkertaista, koska tehdasvalmiit osat

Miinukset

- Vaatii teknisiä laitteita -> huollon tarve kasvaa
- Häiriöherkkä esim. sähkökatkojen tai laitteiden rikkoutumisen vuoksi
- Puhdistustulos käyttäjästä riippuvaista. Mikäli käyttäjä ei lisää prosessiin säännöllisesti tarvittavia kemikaaleja, jää puhdistustulos huonoksi
- Omistajan huoltovastuu suuri
- Herkkä jäteveden laadunvaihteluille, tietyt aineet jätevedessä voivat tappaa bakteeritoiminnan kokonaan, jolloin puhdistuminen keskeytyy
- Epätasainen kuormitus heikentää puhdistustulosta

Markkinoilla on lisäksi **muita järjestelmiä**, jotka yleensä toimivat osittain yhden tai useamman edellä mainitun ryhmän periaatteiden mukaisesti mutta toiminta voi olla niistä jonkin verran poikkeava. Muihin järjestelmiin voidaan laskea myös kokonaisuus, jossa ulosteet käsitellään kuivakäymälässä ja harmaat jätevedet jossakin edellä mainituista järjestelmistä. Tällöin fosforinpoistoa ei tarvitse tehostaa. Kuivakäymälöinä markkinoidaan myös käymäläratkaisuja, joissa uloste erotetaan virtsasta ja virtsa johdetaan jätevesien mukana. Kuten kuvasta 5 nähdään, on virtsan typpipitoisuus merkittävä. Sen vuoksi tällaisen järjestelmän jätevedenkäsittelyn tulee vastata tavanomaisen vesikäymälän vaatimustasoa.

Kuivakäymälä ja harmaiden vesien käsittely

Plussat

- Pelkkien harmaiden jätevesien käsittely yksinkertaisempaa
- Jos jälkikäsitteilynä maaperäkäsitteily, toiminta-aika pitenee huomattavasti
- Saostussäiliön tilavuutta voi pienentää ja tyhjennysväliä pidentää vesikäymälään verrattuna

Miinukset

- Käymäläjätteen käsittely vaatii käyttäjältä motivoituneisuutta
- Vanhoihin rakennuksiin asentaminen voi olla teknisesti mahdotonta

Maasuodattamon rakenne ja toiminta

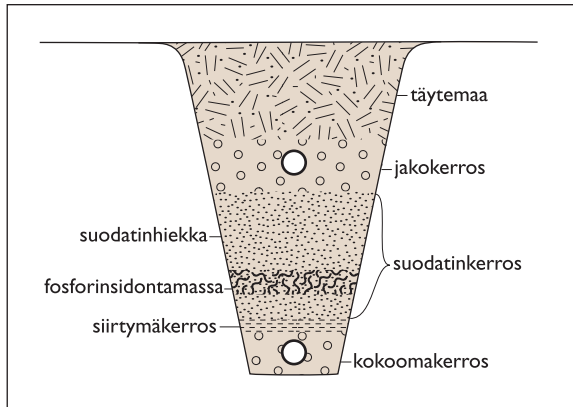
Saostussäiliö

Saostussäiliössä vettä raskaammat aineet painuvat säiliön pohjalle (kuva 4). Vettä kevyemmät aineosat nousevat pintaan. Näin säiliöön muodostuu kerrostuneisuus, jossa puhtain vesi jää pohjan ja pinnan väliin. Saostussäiliö on jaettu kammioihin, joiden välillä vesi virtaa. Säiliön tulee olla niin tilava, että veden viipymä säiliössä on vähintään 2 vuorokautta. Tällöin kiintoaineet ja niihin sitoutuneet muut ainekset ehtivät riittävästi saostua säiliön pohjaan.

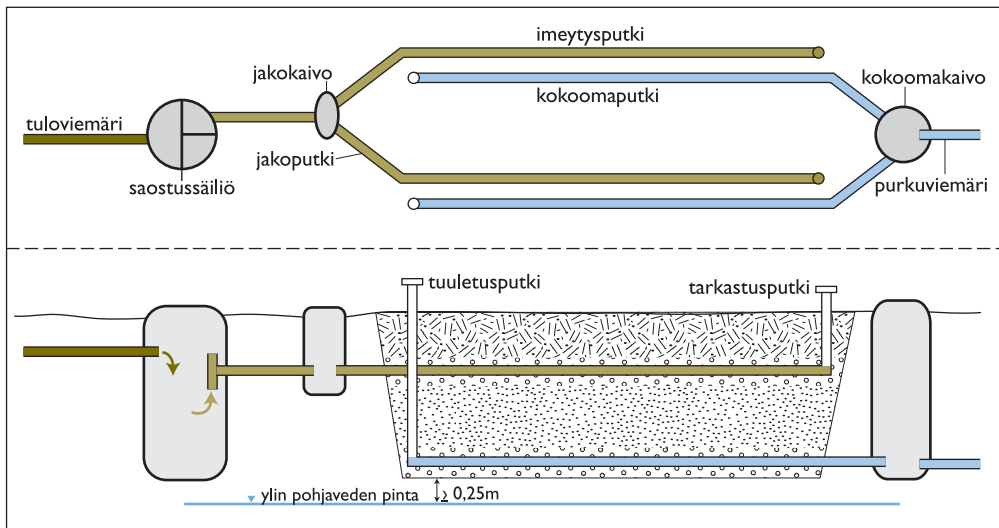
Kammioista toiseen vesi virtaa virtausaukkojen kautta. Aukot on sijoitettu siten, että vesi kulkee seuraavaan kammioon aina pinnan alapuolelta, kirkkaimmasta vesikerroksesta.

Tutkimusten mukaan saostussäiliö pystyy poistamaan jätevedestä kiintoainesta noin 70% . Lisäksi vedestä poistuu suurin osa raskasmetalleista ja pieniä määriä (15-20%) orgaanista ainesta ja ravinteita. Niiden poistumaan vaikuttavat jäteveden happipitoisuus ja siitä riippuvainen bakteeritoiminta.

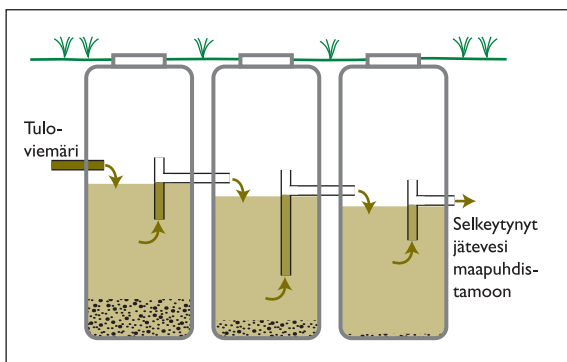
Saostussäiliöön tulevassa vedessä typpi on liukoisena ammonium-typpinä ja orgaanisena typpinä. Typhen mineralisaatio alkaa saostussäiliössä, joten saostussäiliöstä lähtevän veden typpi on



Kuva 7. Maasuodattamon poikkileikkaus



Kuva 8. Maasuodattamon rakenne



Kuva 9. Saostussäiliön periaatekuva

pääasiassa (n. 75%) vesiliukoista ammonium (NH_4^+)-tyyppiä.

Selkeytetty jätevesi johdetaan saostussäiliöstä t-kappaleen kautta ulos. T-kappale ohjaa ulos virtaavan veden tulemaan pinnan alapuolelta, puhtaimmasta vesikerroksesta, purkuputkeen. Saostussäiliön purkuputkesta vesi virtaa jakokaivoon ja edelleen maasuodattamon imeytysputkistoon.

Saostussäiliö

Talousjätevesiasetus:

”Saostussäiliö tarkoittaa yksi- tai useampiosaista, vesitiivistä mekaanista esikäsittelylaitetta, jonka läpi jätevesi virtaa ja jonka pääasiallisena tarkoituksena on pidättää jätevedestä erottuvat kiintoaineet ja vettä kevyemmät aineosat”.

Saostussäiliön pohjalle laskeutuvat

- Kiintoaineet kuten uloste
- Kiintoainekseen sitoutuneena laskeutuu
 - orgaanista ainesta ja ravinteita
 - raskasmetalleja ja liuottimia
 - pinta-aktiivisia aineita

Saostussäiliön pinnalle erottuvat

- Öljyt ja rasvat ja niihin sitoutuneet pinta-aktiiviset aineet

Saostussäiliön täyttyessä sen tehollinen tilavuus pienenee

- Viipymä säiliössä lyhenee
- Kiintoaines karkaa
- Haitta-aineet eivät ehdi laskeutua

Saostussäiliön tyhjennys

Saostussäiliö on tyhjennettävä aina tarvittaessa, vähintään kerran vuodessa. Tyhjennysväliä voidaan kasvattaa suurentamalla saostussäiliön tilavuutta. Jätevesiliete sisältää suuren määrän taudinaiheuttajia. Sen vuoksi sitä ei saa koskaan levittää käsittelemättömänä pellolle.

Jäteveden puhdistuksessa syntyvät lietteet, myös saostuskaivoliete, ovat jätelaissa tarkoitettua asumisessa syntyvää jätettä. Kunnalla on vastuu toteuttaa asumisessa syntyvien jätteiden kuljetus ja hyödyntäminen, käytännön toteutuksesta määrätään kunnan jätehuoltomääräyksissä. Kiinteistön haltijalla on jätelain 10 - 15 §:n mukaisesti velvollisuus liittyä kunnan järjestämään jätteenkuljetukseen ja huolehtia vastuullaan olevan lietteen asianmukaisesta käsittelystä. Omalla tilalla syntynyttä lietettä voidaan käyttää maanparannukseen, kun noudatetaan Maa- ja metsätalousministeriön ja kasvinuotannon tarkastuskeskuksen (nykyinen Evira) 17.6.2005 antamia ohjeita lietteen käsittelystä.

Jakokaivo ja imeytysputket

Jakokaivo on varustettu virtaama-säätimillä, joilla voidaan säätää vesi virtaamaan tasaisesti jakokaivosta kaikkiin maasuodattamon imeytysputkiin. Jos vesi ei virtaa kaikkiin putkiin, on suodattamosta käytössä vain osa ja sen kyky puhdistaa jätevettä huononee nopeasti.

Imeytysputkien kautta vesi imeytyy suodattamon jakokerrokseen. Imeytysputkia ympäröivä maa-aines on melko karkeaa, raekooltaan 16-32 mm. Karkeajakoinen maa-aines:

- a) helpottaa veden imeytymistä, ei pidätä vettä
- b) sisältää ilmaa ja kuljettaa sitä alempiin kerroksiin, jolloin voi tapahtua happea vaativaa biologista ja kemiallista toimintaa.

Putket asetetaan viettämään jakokaivosta pois päin 0,5-1%:n kaltevuudella. Loivalla kaltevuudella taataan se, että vesi liikkuu riittävän hitaasti putkissa, jolloin se imeytyy tasaisesti koko putken pituudelta. Näin maasuodattamon kapasiteetti koko pituudeltaan tulee käyttöön. On tärkeää, että kaltevuus putkissa on oikea. Jos kaltevuus on liian suuri, vesi virtaa nopeasti putken päihin eikä levity tasaisesti koko alueelle. Vastaavasti vaakasuora putki aiheuttaa sen, että vesi imeytyy enimmäkseen putken alkupään reikien kautta maahan.

Imeytysputkien vapaat päät taivutetaan 90 asteen kulmaan ja tuodaan maan pinnalle. Näin imeytysputket toimivat samalla imeytyskerroksen ilmastusputkina eli tuovat kerrokseen happea. Niitä voidaan myös käyttää tarkastusputkina.

Imeytysputket

Imeytysputket loivasti kaltevat

- vesi imeytyy tasaisesti koko putken pituudelta

Jos imeytyminen epätasaista

- suodattamo kuormittuu epätasaisesti
- käyttöaika lyhenee

Suodatinkerros

Puhdistuminen tapahtuu imeytyskerroksen alapuolella sijaitsevassa noin 80 cm paksussa suodatinhiekkakerroksessa. Suodatinkerroksessa tapahtuu fysikaalista eli mekaanista pidättymistä, kemiallisia reaktioita ja biologista puhdistumista. Fosforinpoistoon tarkoitettu massa sijaitsee suodatinkerroksen sisällä. Kun maasuodattamon puhdistusteho laskee riittämättömäksi pitää suodattamo uusia. Sen voi tehdä joko rakentamalla uusi suodattamo eri paikkaan tai vaihtamalla suodatinmassa. Poistetun massan voi käyttää esimerkiksi maanparannukseen. Suodatinkerroksen toimintaperiaatetta on käsitelty yksityiskohtaisemmin myöhemmin.

Suodatinhiekkä

Mitä hienorakeisempaa maa-aines on, sitä tehokkaammin lika-ainekset siihen pidättyvät. Suodattamon täytyy sisältää myös karkeampia lajitteita (raekoko 0-8 mm), jotta vesi läpäisee sen.

Siirtymäkerros, kokoomakerros ja -putket

Suodatinkerroksen alapuolelle rakennetaan 5-10 cm paksu siirtymäkerros, joka on raekooltaan 4-12mm. Kerros estää hienorakeisimpia maa-aineksia kulkeutumasta veden mukana kokoomakerrokseen, kokoomaputkiin ja sitä kautta suodattamosta lähtevän veden mukana ulos. Jos hienommat hiukkaset pääsevät veden mukaan, kasvava lähtevän veden kiintoainespitoisuus ja sameus ja hiukkasiin sitoutuneet ravinteet pääsevät vesistöön.

Siirtymäkerroksen alapuolella on noin 30 cm:n vahvuinen kokoomakerros. Sen maa-ainekset on karkeaa, raekoko 8-16 mm. Kerroksen keskellä sijaitsevat kokoomaputket. Karkean maa-aineksen rakeiden väliin jää huokosia, joihin vesi voi väliaikaisesti varastoitua. Maa-aineksen tulee olla karkeaa myös siksi, etteivät kokoomaputkien reiät tukkiudu.

Kokoomaputket keräävät suodattamon läpi virranneen veden talteen ja johtavat sen suodattamosta ulos. Kohteissa, joissa suodattamon pohjan kautta ei saa tapahtua imeytymistä (pohjavesialue), asetetaan putket 0,5-1%:n kaltevuuteen. Mikäli imeytymistä saa tapahtua, putket voivat olla myös vaakatasossa. Kokoomaputkien vapaat päät taitetaan 90 asteen kulmaan ja johdetaan maan pinnalle. Suodattamon pohja saa ilmaa kokoomaputkien kautta, jolloin hapetta vaativat toiminnot voivat jatkua suodattamon pohjaan asti.

Kerrosten vaikutukset

Siirtymäkerros estää hienorakeisimpia maa-aineksia kulkeutumasta kokoomakerrokseen

Kokoomakerros toimii veden väli-varastona ja voi myös sisältää ilmaa

Kokoomaputkien kaltevuudella säädelään veden ulosvirtausnopeutta

Kokoomakaivo ja fosforinpoistokaivo

Puhdistunut jätevesi johdetaan suodattamosta kokoomakaivoon. Kaivo ei ole maasuodattamon toiminnan kannalta merkityksellinen. Se on kuitenkin hyvä asentaa, sillä siitä voidaan ottaa vesinäytteitä lähtevän veden laadun tarkkailemiseksi. Sen kautta voi muutenkin tarkkailla suodattamon toimivuutta. Kaivo voi myös toimia pumppukaivona, mikäli vesi on pumpattava korkeampaan kohtaan maastoon johdettavaksi.

Mikäli fosforinsidontamassaa ei asenneta suodatinkerroksen sisään, tulee kokoomaputkista virtaavat vedet johtaa fosforinpoistokaivon kautta maastoon. Fosforinpoistomassa asennetaan kaivoon. Fosfori sitoutuu massaan veteen liukenemattomaan muotoon kemiallisen ja fysikaalisen adsorption kautta. Osa saostuu kiinteään, veteen liukenemattomaan muotoon. Saostunut fosfori laskeutuu kaivon pohjalle.

Koska kaivo sisältää huomattavasti vähemmän sidontamassaa kuin maasuodattamoon asennettava kerros, tulee massa vaihtaa useammin. Fosforinpoistomassan laadusta riippuen se on vaihdettava noin viiden vuoden välein.

Miten vesi puhdistuu suodatinkerroksessa?

Fysikaalinen eli mekaaninen puhdistuminen

Fysikaalinen puhdistuminen tapahtuu veden virratessa suodatinhiekkakerroksen läpi. Kerrospaksuus (80 cm) on niin suuri, että jäteveden sisältämät kiintoaineet ehtivät suodattumaan vedestä maa-ainekseen. Toisin sanoen kiintoaines pidättyy maahiukkasten pinnoille ja väleihin. Se ikäänkuin siivilöityy tai laskeutuu (sedimentoituu) huokosiin. Pienimmät hiukkaset kiinnittyvät sähköisin voimin eli adsorboituvat maahiukkasten pinnoille.

Myös bakteerit, virukset ynnä muut taudinaiheuttajat pidättyvät maaperään fysikaalisesti. Maaperään pidätyneet bakteerit saavuttavat vaarattoman tason 2-3 kuukaudessa. Suodatinhiekkassa, jonka yläpintaan on muodostunut täysin kehittynyt biologisesti aktiivinen kerros, patogeenit tuhoutuvat jopa 30 cm:n vaaka- tai pystysuuntaisella matkalla rajapinnasta.

Kun sanotaan, että suodatin lietty tukkoon, tarkoittaa se muun muassa sitä, että kiintoaines tai bakteerit täyttävät maa-aineksen huokokset niin, ettei vesi enää virtaa sen läpi. Saostussäiliön riittävän tiheällä tyhjennyksellä voidaan ennaltaehkäistä suodattamon tukkeutumista.

Siivilöityminen

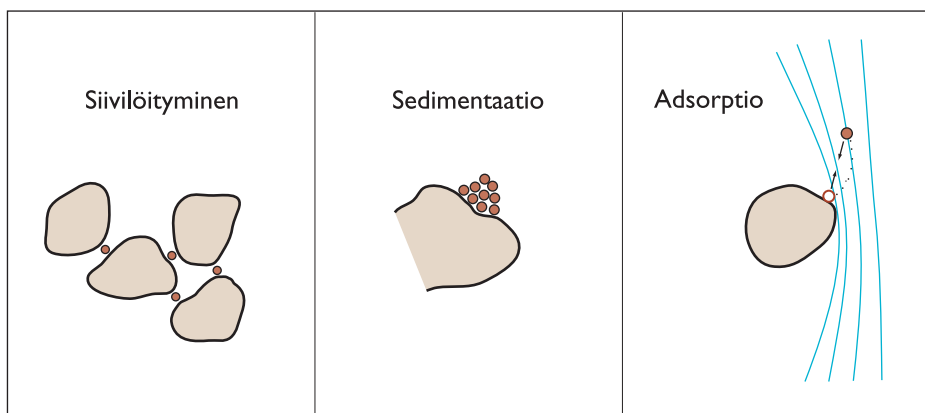
- Kiintoaineshiukkaset, bakteerit ja virukset jäävät kiinni maahiukkasten väliin rakoihin
- Runsas kiintoaines tukkii huokokset

Sedimentoituminen

- Kiintoaines laskeutuu maahiukkasten pinnoille

Fysikaalinen adsorptio

- Sähköiset jännite-erot maahiukkasten ja nesteessä olevien pienten hiukkasten välillä aiheuttavat vetovoimia
- Muun muassa bakteerit ja virukset kiinnittyvät maahiukkasiin vetovoimien vaikutuksesta
- Fysikaalinen pidättyminen on mahdollista, kun veden virtausnopeus maaperässä on pieni
- Hidas virtausnopeus saadaan aikaan riittävän hienolla suodatinhiekkalla



Kuva 10. Fysikaalinen puhdistuminen

Kemiallinen puhdistuminen

Adsorptio ja ioninvaihto

Maavedessä kulkeutuvat ainehiukkaset, ionit, voivat sitoutua eli adsorboitua maahiukkasten pinnoille vastakkaisen latauksen ansiosta. Aineen adsorboitunut määrä kasvaa aineen pitoisuuden (konsentraation) kasvaessa maanesteessä. Kun maa adsorboi ioneja maanesteestä ja luovuttaa vastaavan määrän toisia, samoin latautuneita ioneja maanesteeseen, puhutaan ioninvaihdosta. Kun maahiukkaset ottavat vastaan positiivisesti varautuneita ioneja, puhutaan kationinvaihdosta. Maan kyky sitoa katio- neja kasvaa, kun pH nousee. Negatiivisten ionien kohdalla puhutaan anioninvaihdosta. Anionien sitomiskyky kasvaa kun pH laskee.

Koska maaperä on yleensä negatiivisesti varautunut, ottaa se vastaan ja luovuttaa positiivisesti varautuneita ioneja, kationeja. Jätevedessä niitä ovat ammonium, alumiini, rauta, lyijy, elohopea, nikkeli, kupari, sinkki, barium ja kromi. Tärkeimmät metallien liikkumista säätelevät tekijät imeytymispinnan alapuolella ovatkin maan kationinvaihtokapasiteetti ja maanesteen pH. Myös ammonium voi adsorboitua mutta sitoutuminen on väliaikaista.

Negatiivisesti varautuneita ioneja, anioneja, jätevedessä ovat fosfaatit, boori, sulfaattit ja eräät raskasmetallit sekä nitraattityppi. Fosfaatit voivat adsorboitua maahiukkasiin, jotka sisältävät positiivisesti varautuneita aluminium- ja rautaoksideja. Niitä syntyy rapautumisen tuloksena ja on runsaasti savimaissa. Koska maasuodattamo ei juurikaan sisällä savimineraaleja, on sen kemiallinen adsorptiokyky riittämätön poistamaan vedestä tarvittavaa määrää fosforia pitkiä aikoja. Arvion mukaan suomalaisen hietamaa kykenee merkittävästi sitomaan fosforia vain 4-5 kk. Maahanimeyttämässä adsorptiolla on sitävästoin fosforin sidonnassa merkitystä.

Fosforin kemiallista adsorptiota voidaan lisätä käyttämällä erillistä fosforinpoistomassaa, minkä toiminta perustuu anioninvaihtoon ja kemialliseen adsorptioon. Massa voidaan sekoittaa suodatinhiekkään kauttaaltaan tai laittaa omana kerrokse-

Kemiallinen adsorptio ja ioninvaihto

Maahiukkasten pinnoilla on vapaita paikkoja, joihin vedessä olevat hiukkaset voivat sitoutua. Tapahtuu kemiallista adsorptiota.

Kemiallinen adsorptio = maaveden hiukkasten sitoutuminen maahiukkasten pinnoille vastakkaisen latauksen ansiosta

Hienorakeisessa maassa vapaita paikkoja on enemmän kuin karkeassa maassa.

Maahiukkasella on myös vaihtopaikkoja eli se voi luovuttaa aineosan ja ottaa sen tilalle maanesteestä toisen. Silloin puhutaan ioninvaihdosta.

Ioninvaihto = maa adsorboi ioneja maanesteestä ja luovuttaa vastaavan määrän samoin latautuneita ioneja maanesteeseen

Maahiukkasten ja fosforinpoistomassan vapaat paikat täyttyvät sitä mukaa, kun niihin sitoutuu vedestä aineksia. Kun kaikki vapaat paikat on käytetty, ei puhdistumista enää tapahdu.

naan suodatinkerroksen alaosaan. Massa, jonka koostumus vaihtelee valmistajasta riippuen, sisältää yleensä rauta-, alumiini-, kalsium- ja/tai magnesiumyhdisteitä.

Fosfaattien sitoutuminen fosforia sitovaan massaan nostaa lähtevän veden pH-arvoa. Tällöin bakteeritoiminta lakkaa, minkä seurauksena lähtevän veden bakteeripitoisuus on erittäin pieni.

Maasuodattamo ei voi loputtomasti sitoa lika-aineita. Sen kyky vastaanottaa niitä heikkenee suodatinmateriaalin kyllästyessä aineilla. Suodattamo toimii sitä pidempään mitä puhtaampaa vettä sinne johdetaan.

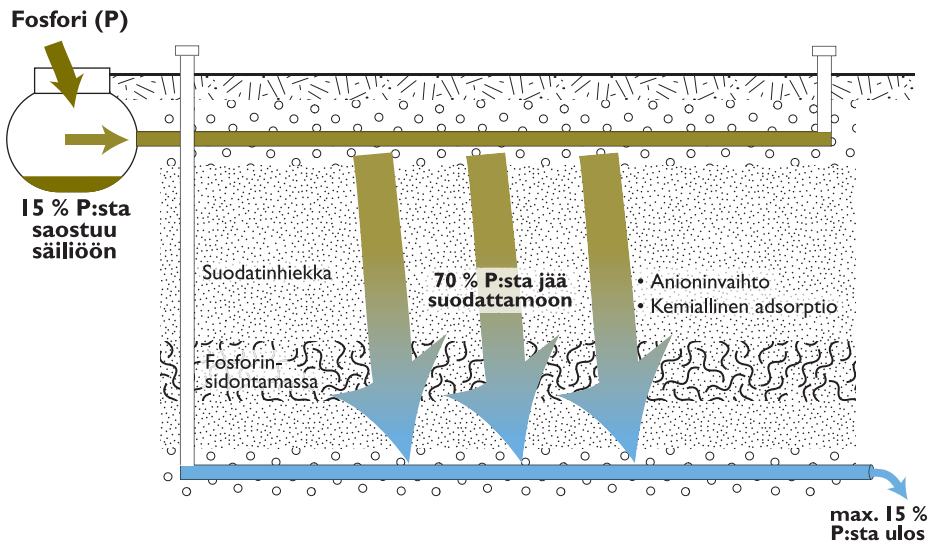
Saostusreaktiot

Jäteveden mukana maahan kulkeutuvat ionit voivat huokosvedessä liittyä toisiinsa ja muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä. Myös mineraalien pinnalle adsorboituneet ionit voivat muodostaa vedessä olevien ionien kanssa yhdisteitä. Nämä yhdisteet ovat kiinteässä olomuodossa. Puhutaan aineen saostumisesta. Saostumiseen vaikuttaa muodostuvien yhdisteiden liukoisuuskertoimen lisäksi muun muassa maan pH.

Fosforinsidontamassa, jota lisätään suodatinkerrokseen, sisältää alumiini-, rauta-, magnesium- tai kalsiumyhdisteitä. Jos fosforikonsentraatio vedessä on suuri, voi edellä mainittujen yhdisteiden pinnoille adsorboitunut fosfori alkaa saostua muodostaen rauta-, alumiini-, ja kalsiumfosfaatteja, jotka ovat kiinteitä, vaikeasti veteen liukenevia yhdisteitä. Saostuminen lisää massan kykyä sitoa fosforia kemiallisesti. Saostunut materiaali siivilöityy ja sedimentoituu suodatinhiekan joukkoon ja jää maasuodattimeen.

Raskasmetallit voivat saostua maassa liukenemattomiksi hydroksideiksi, oksideiksi, fosfaateiksi ja sulfideiksi. Jos maahan johdetaan happamia jätevesiä saattavat raskasmetallit kuitenkin liueta ja kulkeutua pohjaveteen.

Huom! Pienpuhdistamoissa käytettävän saostuskemikaalin toiminta perustuu fosforin saostusreaktioon. Kemikaali ja jätevedessä oleva liukoinen fosfori muodostavat heikosti veteen liukenevan, kiinteässä olomuodossa olevan yhdisteen. Kiinteät hiutalet painuvat säiliön pohjalle ja poistetaan puhdistamon ylijäämälietteen mukana.



Kuva 11. Fosforin poistuminen

Hapetus-pelkistysreaktiot

Aineiden välillä tapahtuvissa hapetus-pelkistysreaktioissa hapettava aine luovuttaa pelkistyvälle aineelle elektroneja. Happi on voimakas hapettaja ja sen vuoksi maaperässä, jossa happea on saatavilla, happi toimii pääasiassa elektronien vastaanottajana. Mikäli happi on kulunut loppuun, voi joku muu happea sisältävä aine toimia hapettajana.

Hapettuneiden ja pelkistyneiden ionien muodostamien yhdisteiden sitoutumislujuus vaihtelee. Hapettuneet ionit muodostavat yleensä vaikeampiliukoisia (varsinkin rauta ja mangaani) yhdisteitä kuin pelkistyneet ionit eli ne sitoutuvat maaperään lujemmin kuin pelkistyneet ionit.

Typpeä poistuu jätevedestä hapetus-pelkistysreaktioiden tuloksena. Jäteveden mukana maahan kulkeutuva orgaaninen typpi mineralisoituu nopeasti ammoniumtypeksi. Hapellisissa olosuhteissa ammonium hapettuu nitriitiksi (NO_2^-) mikä hapettuu nopeasti jälleen nitraatiksi (NO_3^-). Tapahtuu typen nitrifikaatio. Hapettajina toimivat erityiset aerobiset bakteerit eli niiden toiminta vaatii ehdottomasti happea. Sekä ammonium-, nitriitti- että nitraattityppi ovat vesiliukoisia ja voivat siten kulkeutua maaveden mukana pohja- tai pintavesiin.

Hapettomassa tilassa nitraatti- ja nitriittityppi voivat hapettaa orgaanista ainesta ja näin itse pelkistyä. Tätä kutsutaan typen denitrifikaatioksi. Nitraatti pelkistyy nitriitiksi, joka pelkistyy edelleen typpikaasuksi. Typpikaasu voi haihtua ilmakehään, mikäli huokosyhteys on olemassa.

Typen poistumisen kannalta olisi denitrifikaatioprosessi toivottava. Se vaatii kuitenkin hapettoman tilan, esimerkiksi vedellä kyllästyneen kerroksen. Lisäksi prosessiin osallistuvat tietyt hapettomaan tilaan sopeutuneet anaerobiset bakteerit. Koska tavanomaisessa maasuodattamossa on ilmaa läsnä, on denitrifikaation kautta tapahtuva poistuma vähäistä ja typpi pääasiassa hapettuneena nitraattityypinä. Se on suotavaa, sillä hapettunut nitraatti on vähemmän myrkyllistä kuin pelkistynyt nitriitti.

Typen reaktiot

Typen reaktiot ovat biologis-kemiallisia eli tarvitaan bakteeritoimintaa ja kemiallisia hapetus-pelkistys reaktioita.

Hapetus-pelkistysreaktiot säätelevät missä muodossa typpi esiintyy maaperässä.

Biologinen hajoaminen

Jäteveden imeytysputkien alapuolelle kehittyvä aktiivinen kerros, jossa esiintyy olosuhteisiin mukautunut pieneliökanta. Pieneliöt käyttävät ravinnokseen orgaanista ainesta ja hajottavat sitä. Pieneliöiden lajikoostumus riippuu maan happitilasta sekä happamuudesta, lämpötilasta ja jäteveden sisältämistä ravinteista. Biologisesti aktiivinen kerros on noin 15 cm paksu. Suuri osa jäteveden sisältämästä orgaanisesta aineksesta hajoaa tässä kerroksessa hiilidioksidiksi ja vedeksi pieneliöiden ravinnoksi.

Bakteerien toiminta

Bakteerit sopeutuvat myös hapettomaan ympäristöön ja lisääntyvät siinä.

Hapettomassa maassa ei ole bakteereja syöviä eliöitä.

Luontaisten vihollisten puuttuessa saattavat suuret bakteerimäärät tukkeuttaa suodatinmaan!

Jos maakerroksessa on happea, hajoaa orgaaninen aines nopeasti, eikä estä veden imeytymistä alempiin kerroksiin. Hapeton tila taas estää tai hidastaa pieneliötoimintaa, jolloin orgaaninen aines kerääntyy imeytyskohdan alapuolelle ja voi aiheuttaa järjestelmän tukkeutumisen.

Äkilliset vaihtelut jäteveden laadussa saattavat hetkellisesti tappaa pieneliöt, jolloin puhdistustulos heikkenee. Tämä on kuitenkin maasuodattamossa harvinaisempaa kuin pienpuhdistamoissa, koska esikäsittely ja pidempi viipymä ennen suodattamoa tasoittavat jäteveden laatuvaihteluita. Merkittävät määrät voimakkaita kemikaaleja ja vahvasti emäksisiä tai happamia pesuaineita ovat aina haitallisia eikä niitä tule lainkaan johtaa viemäriin.

Jäteveden puhdistukseen osallistuvat pieneliölajit ovat

bakteerit

vallitseva ryhmä

suuruus 1µm

ravinto: orgaaninen aines jota hajotetaan entsyymien avulla

hapelliseen ja hapettomaan ympäristöön sopeutuneita lajeja

sienet

ravinto: orgaaninen aines

hapettomassa maassa yleinen

alkueläimet

koko: 10-500µm

useita lajeja

ravinto: kuollut orgaaninen aines, bakteerit

vaativat happea elääkseen

lieriömadot

koko: 1mm

ravinto: bakteerit ja alkueläimet

vaativat happea

Kertaus:

Kuinka talousjätevesiasetuksen vaatima puhdistuminen maaperäkäsittelyssä tapahtuu?

Fosfori:

- Kiintoainekseen sitoutunut fosfori laskeutuu saostussäiliön pohjalle
- Kemiallinen adsorptio sitoo fosforin suodatusmateriaaliin
- Anioninvaihto sitoo fosforin suodatusmateriaaliin
- Saostusreaktioiden kautta syntyvä kiinteä fosfaatti suodattuu mekaanisesti

Typpi:

- Kiintoainekseen sitoutunut typpi laskeutuu saostussäiliön pohjalle
- Kationinvaihto sitoo väliaikaisesti ammonium-typpiä maahan
- Denitrifikaation kautta syntyvä typpikaasu voi haihtua ilmakehään

BHK:

- Riittävä hapensaanti turvataan läpi koko suodatinmassan, jolloin happea vaativat toiminnot tapahtuvat maaperässä ennen veden virtaamista ulos

Mitä voi tehdä, jotta riittävä puhdistuminen saavutetaan?

1. Mahdollisimman puhdasta vettä viemäriin

- kuivakäymälä
- fosfaatittomat pesuaineet
- välttämällä turhaa pyykinpesua
- ei ruuantähteitä viemäriin – kompostointi
- välttämällä hyvin happamia tai emäksisiä pesuaineita
- ei liuottimia, rasvoja eikä öljyjä viemäriin

2. Saostussäiliön riittävän tiheä tyhjennys

- viipymä pysyy riittävänä lika-aineiden laskeutumiseen
- estää kiintoainesta karkaamasta järjestelmään

Miksi maasuodattamo?

Jätevesijärjestelmän valinta vesi- huoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolella sijaitseviin kohteisiin tulee aina suorittaa tapauskohtaisesti. Suunnittelu tulee aloittaa ottamalla yhteyttä kunnan rakennusvalvontaan. Kunnalla voi olla rakennusjärjestyksessä tai ympäristönsuojelumääräyksissä rajoituksia jätevesijärjestelmiin liittyen. Tällaisia voivat olla tontin minimikoko, rakentamistiheys alueella, vesihuoltolaitoksen toiminta-alueen laajentuminen tai sijoittuminen pohjavesialueelle. Koska saostussäiliö ja maasuodattamo on toimintavarma ja helpohoitoinen järjestelmä, sen käyttömahdollisuudet kannattaa aina selvittää.

Mikäli lähekkäin sijaitsee useita kiinteistöjä, joilla on tarve rakentaa jäteveden käsittelyjärjestelmä, voidaan harkita yhteisen järjestelmän rakentamista. Tällöin kysymykseen tulee esimerkiksi ratkaisu, jossa kullakin asuinrakennuksella on oma saostussäiliö, joista jätevesi johdetaan yhteiseen maasuodattamoon.

Jokaisen jätevesijärjestelmän toimivuus edellyttää laitteiston kunnossapitoa. On ensisijaisen tärkeää valita laitteisto siten, että sen käyttäjät kykenevät ja ovat halukkaita ylläpitämään laitetta oikein. Laitteiston ylläpito ja huoltotoimet ovat kiinteistön omistajan tai haltijan vastuulla. Useimmiten hän haluaa myös suorittaa ne itse vaikka huoltosopimuksia tarjoavia yrityksiäkin on olemassa. Mikäli kiinteistön olosuhteet sallivat maahan imeyttämön tai maasuodattamon rakentamisen, on se omistajan tai haltijan kannalta useimmiten huolettomin ja turvallisin ratkaisu. Se vaatii olemassa olevista järjestelmistä vähiten huoltoa. Sen käyttö ei vaadi sähköä eikä teknisiä apulaitteita.

Miksi maasuodattamo?

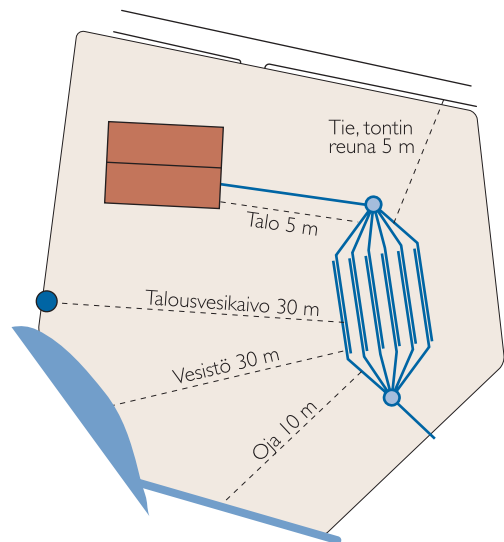
Saostussäiliö ja maasuodattamo on yleensä toimintavarma ja helpohoitoinen järjestelmä, jonka käyttömahdollisuus on syytä aina harkita

(RT-88/10873 Talousjätevesien käsittely haja-asutusalueilla.)

Millaisen tilan suodattamo tarvitsee?

Maasuodattamo edellyttää kohtalaisen suurta kaivuutyötä (40-100 m³) ja sen vaatima tila on laaja (20 m²). Tämä haitta on tietenkin suhteellinen. Mikäli rakennetaan uudisrakennusta, joudutaan kiinteistöllä muutenkin kaivamaan. Tällöin suodattamon rakentaminen ei juurikaan lisää kaivamisesta aiheutunutta haittaa. Tilantarpeesta aiheutunut haitta on suhteellinen tontin kokoon nähden.

Maasuodattamolle soveltuvaa paikkaa arvioitaessa on huomioitava suojaetäisyydet. Etäisyys lähimpään kaivoon tai muu-



Kuva 12. Maasuodattamon suojaetäisyydet

Maaperäkäsittelyä suunniteltaessa ympäristöstä huomioitava:

- Tilantarve
- Suojaetäisyys vesistöön
- Suojaetäisyys vedenottamoon
- Etäisyys naapuriin, tiehen, ojaan

hun vedenottamoon maasuodattamosta on oltava riittävä, ettei aiheuteta kaivon pilaantumisen vaaraa. Vaakasuoran etäisyyden kaivon ja maasuodattamon välillä tulee vastata matkaa, jonka pohjavesi kulkee 2-3 kk:ssa. Tällöin mahdolliset taudinaiheuttajat ehtivät tuhoutua ennen kuin ne saavuttavat kaivon. Kun maalaji on savea, silttiä tai hienoa hiekkaa, on arvioitu riittävä etäisyys 30 m. Karkeammilla maala-

jeilla etäisyyden tulee olla pidempi. Etäisyyttä arvioidessa tulee huomioida myös pohjaveden pinnankaltevuus.

Maaperäkäsittely tulisi rakentaa niin, että pohjaveden virtaussuunnassa alapuolella ei sijaitse talousvesikaivoja. Mikäli kaivoja sijaitsee käsittelyjärjestelmään nähden alajuoksulla, ei imeyttämöä yleensä tulisi rakentaa, sillä imeyttämön pohjasta suodattunut vesi leviää laajalle (kuva 14). Suodattamonkin läpäissyt jätevesi voi maahan imeytyessään pilata kaivoveden. Suodattamon rakentamista voidaan kuitenkin harvita tapauskohtaisesti, jos se toteutetaan pohjastaan vesitiiviisti eristettynä. Suodattamon pohjalle asennetaan tiivis, vettä läpäisemätön pohjakalvo, jolla varmistetaan, että puhdistunut jätevesi purkautuu kokoomaputkien kautta purkuojaan. Maasuodattamon purkuputki tulee johtaa kaivon ohi yllämainittu suojaetäisyys huomioiden.

Kunnan rakennusjärjestyksessä tai ympäristönsuojelumääräyksissä voidaan määrätä suojaetäisyydestä maasuodattamon purkupaikan ja vesistön välillä. Usein suodattamon purkupaikan vähimmäisetäisyys rannasta on 30 m.

Mitä maapohjalta ja maastolta edellytetään?

Maaperätutkimuksilla kartoitetaan, onko maapohja soveltuva maaperäkäsittelyjärjestelmän rakentamiseen. Maasuodattamossa ei maalajilla ole merkitystä, koska alkuperäinen maa korvataan suodatinmassalla. Imeyttämössä maalajilla ja rakeisuudella taas on ratkaiseva merkitys.

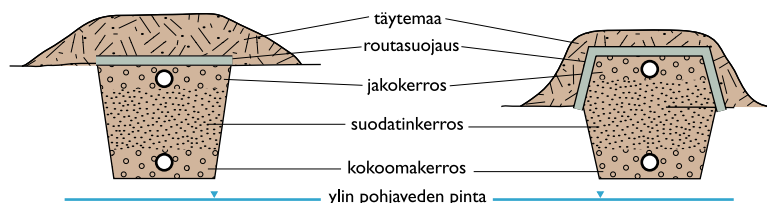
Sekä suodattamon että imeyttämön rakentamismahdollisuuksiin vaikuttavat tontin kaltevuus sekä kallion ja pohjavedenpinnan syvyydet. On hyvä, jos maaperä viettää asuinrakennuksesta maa-

Maapohja

Suojaetäisyydet pohjaveteen ja kallionpintaan huomioitava

Jos kallio tai pohjavesi lähellä, järjestelmän voi rakentaa matalaan perustettuna

Järjestelmä on helppohoitoin jos vesi siirtyy järjestelmän läpi painovoimaisesti.



Kuva 13. Matalaan ja maan pinnalle asennettu maasuodattamo

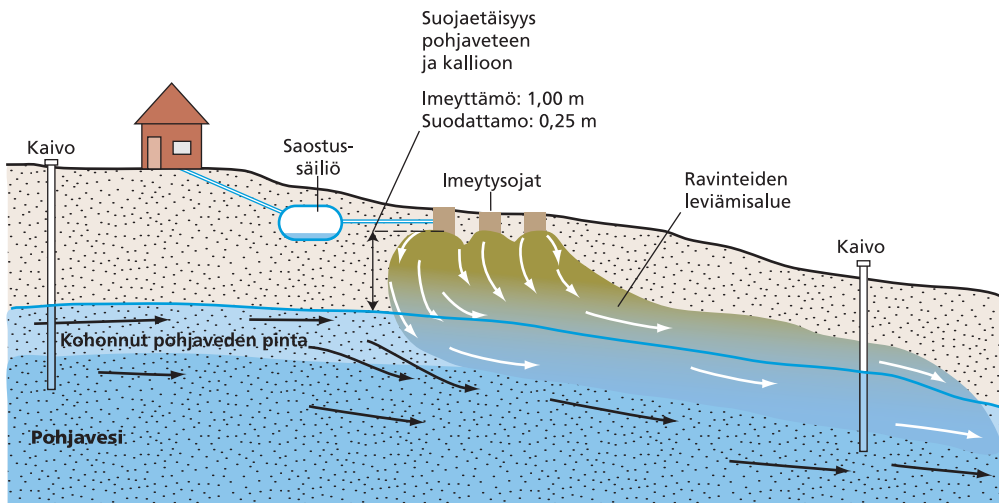
suodattamoon päin niin, että tarvittavat kaadot saadaan järjestettyä painovoimaisesti. Saostussäiliö sijaitsee rakennuksen ja maasuodattamon välissä. Maasuodattamon pohja tulee noin 2 metriä saostussäiliön purkuputken alapuolelle. Jos purkuputki sijaitsee 0,5 metrin syvyydessä, suodattamon pohja tulee noin 2,3-2,5 metrin syvyyteen. Maasuodattamosta purkautuvat vedet johdetaan maastoon tältä syvyydeltä. Mikäli riittävää kaatoa veden purkupaikalle ei ole, voidaan suodattamo kuitenkin yleensä rakentaa matalaan perustettuna. Tällöin suodattamon purkuputken syvyydeksi tulee noin 1,5 metriä.

Jos kiinteistön kaltevuus on riittämätön tai väärän suuntainen soveltuvaan suodattamopaikkaan nähden, voidaan vesi myös pumpata suodattamoon tai suodattamosta pois. Mikäli vedet on nostettava käsittelypaikalle, asennetaan pumppukaivo saostussäiliön jälkeen. Jos pumppausta tarvitaan veden poisjohtamiseksi järjestelmästä, sijoitetaan pumppu kokoomakaivoon. Pumppausta käytettäessä menetetään kuitenkin maasuodattamon toimintavarmuuden yksi perustekijä, sähköistyksen tarpeettomuus.

Suodattamon pohjan ja pohjavedenpinnan maksimikorkeuden välillä tulee olla suojaetäisyys vähintään 0,25 m. Imeyttämössä imeytyspinnan ja pohjavedenpinnan välinen suojaetäisyys tulee olla 1 m. Suojaetäisyydellä varmistetaan, että jätevesi on ehtinyt puhdistua maaperässä ennen pohjaveteen kulkeutumista. Suojaetäisyys myös estää pohjavettä nousemasta kapillaarisesti suodattamoon tai imeyttämöön.

Suodattamon tai imeyttämön ja kalliopinnan väliin on jätettävä vastaava suojaetäisyys. Tähän on kaksi syytä:

1. Kallio voi olla rikkonaista, jolloin jätevedet voivat liikkua vapaasti kallion pinnalta kalliopohjaveteen. Mikäli kallioperässä sijaitsee porakaivo, voi veden laatu vaarantua.
2. Maavesi liikkuu kallion pintaa pitkin. Mikäli suodattamon pohja on kallion pinnassa, on vaarana, että suodattamoon joutuu sivulta päin maavesiä. Maavedet saattavat huuhtoa mukanaan ulosteperäisiä bakteereja suodattamosta, jotka sitten kulkeutuvat veden mukana hyvinkin kauas. Maavesi myös lisää maasuodattamossa liikkuvan veden määrää ja saattaa aiheuttaa hapen puutetta ja toimintahäiriöitä suodattamossa.



Kuva 14. Jäteveden leviämialue

Mitä muuta huomioitava?

1. Toimenpidelupa

Toimenpidelupa kunnalta aina kun rakennetaan kiinteistökohtainen jätevesijärjestelmä. Rakennusjärjestyksessä voi olla määritelty poikkeuksia.

2. Lupahakemus

Lupahakemuksen tai rakentamista koskevan ilmoituksen yhteyteen liitettävä jätevesijärjestelmän suunnitelma. Suunnitelman sisältö on määritelty asetuksen liitteessä 1.

3. Suunnitelman teettäminen

Suunnitelma jätevesijärjestelmästä tulisi aina teettää pätevällä suunnittelijalla, vaikka talousjätevesiasetus ei niin määrääkään. Pätevä suunnittelija on selvillä lain vaatimuksista ja markkinoilla olevista järjestelmistä ja kykenee arvioimaan, millä järjestelmällä on mahdollista päästä asetuksen esittämiin vaatimuksiin. Pätevä suunnittelija osaa myös arvioida, mitä maaperäselvityksiä ja muita lähtötietoja suunnitelman tekeminen edellyttää.

4. Rakentaminen

Maasuodattamon rakentamisohteet löytyvät RT-kortista 66-10873 *Talousjätevesien käsittely haja-asutusalueilla*. Maasuodattamon rakentaminen vaatii huolellisuutta ja rakennusohjeiden tarkkaa seuraamista. Rakentajan on pystyttävä toteuttamaan suunnitelman mukainen järjestelmä. Yllätysten sattuessa (kallioipinta ym.) hänen on kyettävä arvioimaan, miten suunnitelmaa voidaan muuttaa.

Kustannustekijöitä

Seuraavissa taulukoissa on vertailtu erilaisten jätevedenpuhdistamoiden rakentamiseen ja käyttöön liittyviä kustannustekijöitä. Koska laitteiden ja materiaalien hankintahinnat vaihtelevat valmistajasta ja jälleenmyyjästä riippuen ja tiedot vanhenevat nopeasti, ei niitä ole otettu tarkasteltavaksi.

Rakentamisen kustannustekijöinä on arvioitu sähköasennuksiin kuluva työtuntimäärä ja kaivinkonetöihin sekä apumiehen töihin kuluva aika. Apumiestä tarvitaan järjestelmien asennuksessa kaivinkoneen rinnalla, mikäli työtä ei ole tilattu kokonaisuutena maanrakennusurakoitsijalta.

Toistuvista käyttökustannustekijöistä on otettu vertailuun energian kulutus, laitteiston toimintaan ja ylläpitoon tarvittavien materiaalien vaihtoväli ja saostussäiliön tyhjennysväli. Lisäksi on vertailtu laitteiden huoltotarvetta ja kunnan tarkastusväliä.

Taulukko 2. Rakentamiskustannustekijät materiaalihankintojen lisäksi

Puhdistamo	Kaivinkonetöyt	Apumies	Sähköasennukset
Maasuodattamo	16 h	12 h	.*
Maahanimeyttämö	8 h	6 h	.*
Pienpuhdistamo	8 h	7 h	1-2 h
Biosuodin	8 h	7 h	1 h

*mikäli tarvitaan pumppukaivoa, 1h

Suunnittelijoiden pätevytyminen

Asetuksessa jätevesijärjestelmän suunnittelijalle ei ole määritelty erityisiä vaatimuksia. Haja-asutusalueiden jätevesijärjestelmien laadun turvaamiseksi on kuitenkin luotu uusi pätevyysluokitus. Haja-asutusalueella kiinteistön vesihuollon suunnittelusta vastaavan suunnittelijan vapaaehtoiset pätevyysvaatimukset on hyväksytty FISE Oy:n pätevyysjärjestelmän piiriin ja ne löytyvät FISE:n sivuilta (www.fise.fi).

Uusi pätevyysluokitus sisältää kaksi vaativuusluokkaa, a ja b. Kun vesihuollon suunnitelmia tehdään tärkeillä pohjavesialueilla ja muilla ympäristön- ja terveyden- suojelun kannalta herkillä alueilla, vaaditaan a-luokan pätevyys. A-luokan pätevyys edellyttää yliopisto-, korkeakoulu- tai ammattikorkeakoulututkintoa.

Tavanomaiseen asumiseen suunniteltavat kohteet, eli kohteet, joita tässä julkaisussa on käsitelty, kuuluvat b-luokan piiriin. Edellytyksenä on vähintään teknikon tutkinto, maaseudun vesitalouden erikoisammattitutkinto, ympäristöhuollon ammattitutkinto, luonto- ja ympäristöalan perustutkinto tai muu vastaavantasoinen tutkinto

FISE Oy:n rekisteriin pääsee mukaan suorittamalla Suomen LVI-liiton (SULVI ry.) järjestämän tentin, jonka FISE Oy:n pätevyysarviointilautakunta on hyväksynyt.

Koulutusta jätevesijärjestelmien suunnitteluun antavat myös eräät oppilaitokset sekä laitevalmistajat. Myös Suomen ympäristökeskus järjestää ajoittain suunnittelijoille suunnattuja koulutustilaisuuksia.

Taulukko 3. Järjestelmien energiankulutus (kwh/v) ja toimenpiteiden toistuvuusväli (v)

	Sähkön kulutus	P-saostus-kemikaalin kulutus	Saostussäiliön tai lietealtaan tyhjennysväli	P-saostuskemikaalin lisäysväli	P-sidontamassan vaihtoväli	Suodatinmateriaalin uusimisväli	Pumppujen uusimisväli	Pumppujen ja ammustelulaitteiden kunnan tarkastus- ja huoltoväli	Rakenteiden kunnan tarkastusväli
Puhdistamo									
Maa-suodattamo	-	-	1 v*	-	20 v (5 v ^{***})	20 v	-	-	10 v myös imeytysputkien puhdistus
Maa-hanimeyttämö	-	-	1 v*	-	-	20 v	-	-	10 v myös imeytysputkien puhdistus
Biologis-kemiallinen puhdistamo ^{***}	300-900 kWh/v	50-60 l/v	1 v*	4-6 kk	-	-	15 v	1 v	10 v myös altaiden tyhjennys ja puhdistus
Biosuodin	300-500 kWh/v	50-60 l/v	1 v*	4-6 kk	- / (5 v ^{***})	- / (3-4 v ^{****})	15 v	1 v	10 v samalla altaiden tyhjennys ja puhdistus
Kuivakäymälä + maa-suodattamo	-	-	2 v	-	-	yli 20 v	-	-	10 v samalla imeytysputkien puhdistus

* suositus 6 kk

** mikäli fosforinpoisto erillisessä kaivossa

*** lisäksi kompressorin lamellien uusimisväli 2 vuotta

**** kiviliusuodattimilla varustetut laitteet

Lisätietoa

FISE Oy, rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevyudet
www.fise.fi

Haja-asutuksen jätevesien käsittelyn tehostaminen
Hajasampo-projektin loppuraportti
Suomen ympäristö nro 491
www.ymparisto.fi/julkaisut

Haja-asutuksen ravinnekuormituksen vähentäminen - Ravinnesampo
Osa 1: Asumisjätevesien käsittely
Suomen ympäristö nro 762
www.ymparisto.fi/julkaisut

Suomen vesiensuojeluyhdistysten liitto ry
www.jatevesi.fi

SYKE:n puhdistamotiedosto
www.ymparisto.fi/hajajatevesi

Talousjätevesien käsittely haja-asutusalueilla. RT 66-10873

Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä
vesihuoltolaitosten viemäriverkoston ulkopuolisilla alueilla
www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030542

Lähdetietoina lisäksi käytetty

Hartikainen H., 1986. Maaveden kemia. Teoksessa Mustonen S. (toim.). Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y. Helsinki

Kaarikivi-Laine U., 2003. Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. Ympäristöministeriön muistio 6.6.2003

Kröger T, 2005. Käsikirja haja-asutusalueiden jätevesien käsittelystä. Savonia ammattikorkeakoulu, Tekniikka Kuopio. Savonia ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 4/2005.

Laukkanen E., 2005: Kokeet fosforinpoistomassoilla. Liite 7. Teoksessa: Vilpas R, Kujala-Räty K., Laaksonen T. ja Santala E., 2005: Haja-asutuksen ravinnekuormituksen vähentäminen-Ravennesampo, Osa 1: Asumisjätevesien käsittely. ss. 89-108. Helsinki. Suomen ympäristö 762 111 s.

Onsite Wastewater Treatment Systems Manual, 2002. USEPA.

Santala E. (toim.), 1990. Pienet jäteveden maapuhdistamot. Valtion painatuskeskus, Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja- sarja B 1. 117 s.

Silfverberg P., 1981. Jäteveden hyötykäyttö ja puhdistuminen maaperässä. Diplomityö 180s. Helsinki, Valtion painatuskeskus.

Vilpas R, Kujala-Räty K., Laaksonen T. ja Santala E., 2005: Haja-asutuksen ravinnekuormituksen vähentäminen-Ravinesampo, Osa 1: Asumisjätevesien käsittely. Helsinki. Suomen ympäristö 762. 111 s. ISBN 952-11-1977-2 (nid.), ISBN 952-11-1978-0(PDF), ISSN 1238-7312.

www.hohsepartec.fi

Ympäristölainsäädäntö 2007, Talentum 2007, ISBN 978-952-14-1155-7 (nid.)