



Menetelmäohje kerrostuville järville soveltuvalla alusveden suodatukselle

Leena Nurminen, Jukka Horppila, Soila Silvonen,
Laura H. Härkönen & Kaarina Lukkari

Sisällys

Menetelmän tausta	3
Alusveden suodatusmenetelmälle soveltuvien järvien ominaisuudet	5
Tarvittavat taustaselvitykset alusveden suodatusta edeltävällä avovesikaudella	6
Toteutusvaihtoehtoja hiekkasuodatus teknologiaa soveltamalla	7
Hiekkasuodatus teknologiaan perustuvien ratkaisujen tehokkuus	8
Kymijärven hiekkasuodatus kenttä	8
Linkullasjön väliaikainen suodatus yksikkö	11
Suodatuksessa syntyvän sivuvirran mahdollinen hyötykäyttö	13
Toteutuksen poistolaskelmat ja suunnittelu	15
Luvat ja suostumukset	18
Käytännön toteutus	19
Alusveden pumppaus	19
Suodatus yksikön perustaminen	19
Ylläpito ja suodatus yksikön toiminnan seuranta	19
Sähkönsyöttö	19
Rejektiveden ja -sakan käsittely	20
Kustannusten muodostuminen ja rahoitus pohja	20
Lähteet	21

Kirjoittajat: Leena Nurminen¹, Jukka Horppila¹, Soila Silvonen^{1,2}, Laura H. Härkönen³ & Kaarina Lukkari³

¹ Helsingin yliopisto

² Sitowise Oy

³ Suomen ympäristökeskus

Kannen kuva: Kymijärven hiekkasuodatus kenttä, kuvaaja Leena Nurminen.

Menetelmäohje on tuotettu osana ympäristöministeriön rahoittamaa Ravinteet Poistoon: Alusveden suodatusmenetelmän sovellettavuus (RaPo) -hanketta, joka oli käynnissä vuosina 2023–2024.

Menetelmän tausta

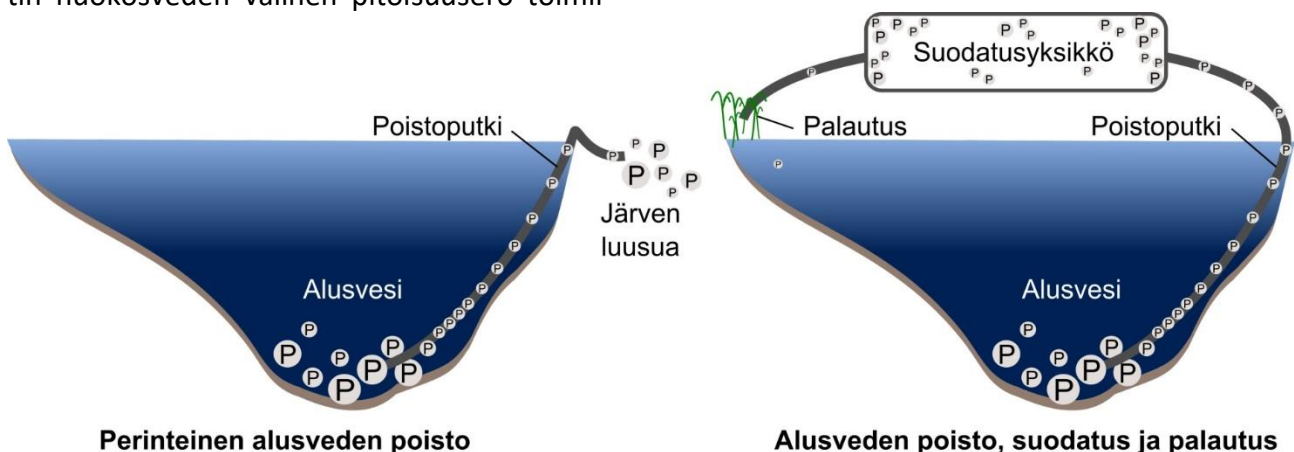
Järvien kestävämpi kunnostus kaipaa tuekseen uusia, ravinteiden poistoon tähtääviä menetelmiä. Kerrostuville järville soveltuva suljetun kierron alusveden suodatusmenetelmä on yksi järveen kertyneiden ravinteiden poistoon tähtäävistä menetelmistä, joka voi parhaimmillaan tuottaa myös kiertotaloushyötyjä. Suljetun kierron alusveden suodatus on perinteisen alusveden poiston sovellus, jossa johdetaan runsaasti ravinteita ja rautaa sisältävää hapetonta alusvettä alapuolisen vesistön sijasta rannalle sijoitettuun suodatusyksikköön ja käsitelty vesi johdetaan ravinnesuodattimen jälkeen takaisin järveen.

Alusveden poisto, suodatus ja palautus kunnostettavaan järveen on innovatiivinen kerrostuville järville soveltuva kunnostusmenetelmä, jossa hyödynnetään rehevän järven sisäistä fosforikuormitusta ja pyritään poistamaan alusvedessä olevia ravinteita kerrostuneisuuskaudella (Nurminen ym. 2021, Silvon ym. 2023).

Alusveden poisto perustuu siihen, että lämpötilakerrostuvien järvien alusvesi ei saa kerrostuneisuuskaudella happitäydennystä ja voimakkaan hajotustoiminnan vuoksi rehevien järvien syvännealueet muodostuvat hapettomiksi. Tällöin järvestä luontaisesti esiintyviin rautayhdisteisiin sekä hajoavaan orgaaniseen aineeseen sitoutunut fosfori vapautuu veteen. Rehevöityneiden järvien syvänteissä alusveden liukoisien fosfaattifosforin pitoisuus on usein korkea. Lisäksi alusveden ja sedimentin huokosveden välinen pitoisuusero toimii

ns. fosforipumppuna, jolloin liukoista fosforia siirtyy diffuusioon perustuen sedimentistä veteen. Tätä fosforivarantoa pyritään alusveden poistossa kunnostusmenetelmänä hyödyntämään (Kuva 1).

Perinteisessä alusveden poisjohtamisessa rehevän järven syvänteen ravinnerikasta alusvettä, johon on konsentroitunut fosforia, johdetaan pumppaamalla tai lappoperaatteella toimivalla purkuputkella luusuan kautta alavirtaan (Nürnberg ym. 2020). Menetelmällä fosforia ei saada talteen ja se saattaa siten aiheuttaa ongelmia purkuvesistössä. Lisäksi johdettava vesimäärä on sidoksissa järven virtaamaan, sillä poistettava vesimäärä ei saa ylittää luonnollista poisvirtaamaa luusuasta, ettei vedenpinta laske. Virtaama on yleensä pienimmillään loppukesällä, jolloin liukoisien fosforin pitoisuus alusvedessä on puolestaan suurimmillaan.



Kuva 1. Havainnekuva perinteisestä alusveden poistosta, jossa alusvettä johdetaan alapuoliseen vesistöön (vasemmalla) sekä perinteisen menetelmän innovatiivisesta sovelluksesta (oikealla), jossa poistettu alusvesi suodatetaan ja palautetaan takaisin kunnostettavaan järveen.

Alusveden suodatus on perinteisen alusveden poiston sovellus, jossa johdetaan runsaasti ravinteita ja rautaa sisältävää hapetonta alusvettä alapuolisen vesistön sijasta rannalle sijoitettuun suodatusyksikköön ja käsitelty vesi johdetaan ravinnesuodattimen jälkeen takaisin järveen (Kuva 1). Koska alusveden suodatuksen sovelluksessa vesi palautetaan samaan järveen, perinteiseen alusveden poistoon liittyviä rajoitteita ei ole.

Alusveden suodatuksen toimintamallissa on kehitetty ja sovellettu kahta erilaista hiekka-suodatus teknologiaan perustuvaa ratkaisua. Lahden Kymijärvellä on hyödynnetty hiekka-suodatuskenttää vuodesta 2018 saakka (Nurminen ym. 2021, Silvonen ym. 2021, Silvonen ym. 2022). Inkoon Linkullasjön-järvellä pilotoitiin kesällä 2024 väliaikaista vedenpuhdistus teknologiaan perustuvaa suodatusratkaisua (Härkönen ym. 2024).

Alusveden suodatus on menetelmä, joka laajentaa ravinteiden poistoon tähtäävien järvikunnostushankkeiden keinovalikoimaa. Tämä menetelmäohje alusveden suodatukselle on tuotettu Kymijärven ja Linkullasjön-järven piloteissa saatujen kokemusten pohjalta ympäristöministeriön rahoittamassa Ravinteet Poistoon: Alusveden suodatusmenetelmän sovellettavuus (RaPo) -hankkeessa. Menetelmäohjeen tavoitteena on helpottaa tulevien alusveden suodatushankkeiden suunnittelua.

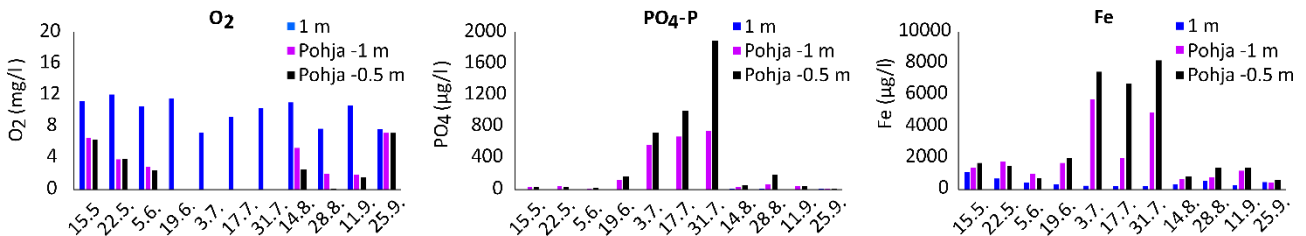
Kuva: Laura Härkönen, Suomen ympäristökeskus



Alusveden suodatusmenetelmälle soveltuvien järvien ominaisuudet

Tärkein edellytys alusveden suodatuksen soveltuvuudelle on lämpötilakerrostuneisuuden muodostuminen, eli menetelmä ei sellaiseen sovellu matalille järville. Muita soveltuvan kohteen reunaehtoja ovat alusveden hapettomusaika kerrostuneisuuskaudella, riittävä alusveden fosforipitoisuus, sisäisen kuormituksen (hajotustoiminnan yhteydessä orgaanisesta aineesta sekä hapettomissa oloissa

rautaoksidaista vapautuva fosfori) suuruus ja alusveteen sedimentoitava fosfori (Nurminen ym. 2021, Silvonen ym. 2021, Silvonen ym. 2022). Monesti näitä kaikkia fosforinkiertoa liittyviä tietoja ei ole saatavilla tai mitattavissa. Tällöin tärkein selvitetävä kunnostusmenetelmän soveltuvuutta kuvaava mittari on pohjanläheisen alusveden fosforipitoisuus, joka osaltaan määrittää fosforin poiston tehokkuuden (Kuva 2).



Kuva 2. Inkoon Linkullasjön-järven happi-, fosfaattifosfori- ja rautapitoisuudet eri syvyyksissä avovesikaudella 2023. Näytesyvytydet olivat päällysvettä kuvaava 1 m sekä alusvettä kuvaavat pohja -1 m ja pohja -0,5 m, jotka tarkoittavat näytesyvytyksiä 1 m ja 0,5 m pohjan yläpuolella. Kerrostuneisuuden aikaan 19.6.-31.7.2023 pohjanläheinen happi (O₂) kului Linkullasjön-järvellä loppuun, jonka seurauksena fosfaattifosforin (PO₄-P) ja raudan (Fe) pitoisuudet kohosivat pohjanläheisessä vedessä voimakkaasti.

Muita tärkeitä tekijöitä soveltuvuuden arvioimiseen ja riittävän poiston mitoittamiseen on alusveden tilavuus, järvioltaan tilavuuden ja pinta-alan suhde, järven yleinen morfologia ja kerrostuneisuuden säilyminen (Nurminen ym. 2021, Silvonen ym. 2021). Lisäksi on hyvä tietää alusveden luontainen rautavaranto, jotta osataan arvioida alusvedessä olevan liukoisien

fosforin käyttäytyminen ja sitoutuminen mm. rautayhdisteisiin käsiteltävän veden hapettumassa suodatusprosessin aikana (Kuva 2). Kuten järvikunnostuksissa yleisesti, reunaehtona on myös järven ulkoisen kuormituksen hallinta. Ilman ulkoisen kuormituksen vähentämistä järvellä tehtävien kunnostustoimien vaikuttavuus jää lyhytkestoiseksi.



Tarvittavat taustaselvitykset alusveden suodatusta edeltävällä avovesikaudella

- ✓ Lämpötilakerrostuneisuusolot (kesto, voimakkuus, harppauskerroksen sijainti)
 - Määritetään kahden viikon välein toukokuulta syyskuulle mittaamalla veden lämpötila vähintään 0,5 m välein pinnasta pohjaan saakka
- ✓ Järven syvyystiedot ja alusveden tilavuuden arviointi
 - Määritetään syvyyskarttojen avulla. Järvi luodataan tarpeen mukaan, jos aiempaa syvyyskartoitusta ei ole saatavilla.
- ✓ Järven tyyppi ja ekologinen tila
 - Tyypikohtaisten fosforin luokkaraja-arvojen perusteella määritellään tavoitteellinen fosforin poistotarve
- ✓ Järven vedenlaatu
 - Määritetään 1 m pinnan alapuolelta sekä 0,5–1 m pohjan yläpuolelta mielellään kahden viikon välein otetuista vesinäytteistä seuraavat muuttujat:
 - Kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kokonaistyyppi, nitraatti-nitriittityppi, ammoniumtyppi, kokonaisrauta, liukoinen rauta, happipitoisuus, kiintoaine, pH ja kemiallinen hapenkulutus
 - Lisäksi päänlyysvedestä mitattu klorofyllipitoisuus sekä edellä mainituista vesisyyvyksistä mitatut orgaanisen kokonaishiilen ja mangaanin pitoisuudet tarkentavat tietoa järven olosuhteista
- ✓ Sisäisen kuormituksen potentiaali
 - Määritetään mahdollisuuksien mukaan sedimentin huokosvesistä ja pohjan yläpuolelta otetuista fosfaattifosforin ja liukoisen raudan näytteistä
- ✓ Järven valuma-alueen ominaisuudet ja kuormitustiedot
- ✓ Vesi- ja ranta-alueen omistussuhteet
- ✓ Suodatusyksikölle soveltuva sijainti ranta-alueella
 - Mahdolliset olemassa olevat kosteikot tai uomat, joita pitkin suodatettu vesi voidaan palauttaa kunnostettavaan järveen
 - Sijainnin saavutettavuus ja teiden kantavuus
 - Sähkönsyötön saatavuus
- ✓ Suunnitelma rejektiveden ja -sakan käsittelylle.
- ✓ Mahdolliset kunnostuksen suunnittelussa huomioitavat erityispiirteet järvellä ja sen ranta-alueella kuten
 - Pohjavesialueet
 - Happamat sulfaattimaat ja mustaliuskealueet
 - Suojelualueet sekä erityistä huomiota vaativat lajit ja luontotyypit
 - Muinaisjäännöskohteet

Samoja järven vedenlaatuun ja sisäisen kuormituksen potentiaaliin liittyviä seurantamenetelmiä suositellaan hyödynnettäväksi myös alusveden suodatuksen aikana ja sen jälkeen. Lisäksi suodatuksen aikana on tarpeen seurata järjestelmään tulevan ja järjestelmästä lähtevän veden laatua. Kattava seuranta on välttämätöntä järvikunnostusten vaikuttavuuden arvioimiseksi.

Toteutusvaihtoehtoja hiekkasuodatus teknologiaa soveltamalla

Fosforin saostaminen ilmastamalla perustuu siihen, että alusveden sisältämä kahden arvoinen rauta saostuu rauta (III) -hydroksidina hapetuksen yhteydessä, jonka jälkeen alusveden liukoinen fosfori sitoutuu rautahydroksideihin (mm. Silvonen ym. 2022).

Suhteellisen alhaisessa pH:ssa (alle 7) saostuminen ei tapahdu välittömästi, koska raudan hapettumisnopeus on riippuvainen pH:sta. Käsittlemättömän alusveden pH esim. Kymijärvellä on n. 6,2–6,7.

Alusveden suodatuksessa hyödynnetään hiekan adsorptiopintojen toimintaan perustuvaa fosforin saostumista raudan kanssa ilmastuksen yhteydessä (Kuva 3). Ilmastuksen tehokkuus riippuu myös ilman ja veden välisestä kontaktipinta-alasta ja kontaktin ajasta. Raudan ja siten myös fosforin poistossa voidaan hyödyntää useampia eri mekanismeja, joiden toimintatehokkuus riippuu mm. pH:sta.

Fysikaalis-kemiallinen raudan poisto tapahtuu kahden eri mekanismin kautta (Sharma ym. 2005). Adsorptiossa esim. suodatuksessa käytetyn hiekan mineraalipinnat katalysoivat prosessia. Optimiolosuhde on melko matala happipitoisuus tai lyhyt hapetus (Sharma ym. 2005).
Pikkuhiljaa hiekkapatjan

adsorptiopinnat täyttyvät rautayhdisteistä ja hiekkakentän pidätyskyky huononee (Horpila ym. 2019, Nurminen ym. 2020). Suurempien saostumien muodostuminen vaatii tehokkaan hapettamisen tai saostuskemikaalin esim. pH:ta nostavia kemikaaleja (Taskinen 2018). Tällöin raudan saostuminen tapahtuu nopeasti ja saostumat muodostuvat pääosin hiekkapatjan pinnalle.

Alusveden suodatus on mahdollista toteuttaa joko erikseen kohteeseen perustettavan hiekkasuodatuskentän avulla kuten Kymijärven tapauksessa (Kuva 4, Kuva 5), tai Linkulajoen pilotin tapaan väliaikaisella hiekkasuodatusyksiköllä, joka ei edellytä erillisen, pysyväkenteisen hiekkakentän perustamista (Kuva 8, Kuva 9). Toteutustavan valinta riippuu alueen ominaisuuksista. Mikäli järven ranta-alueelle on mahdollista perustaa hiekkasuodatuskenttä, se voidaan maanomistajan suostumuksella toteuttaa. Molemmissa tapauksissa alusvesi johdetaan uppopumpulla järven tai järivialtaan syvänteeltä ensin ilmastussammioon, josta alusvesi johdetaan hiekkasuodatusyksikköön. Hiekkasuodatus teknologiaan perustuvien alusvesisuodatusyksiköiden fosforinpoistoteho on ollut verrattain hyvä.



Kuva 3. Kymijärven hiekkasuodattimelle tuleva alusvesi (vasen) ja hiekkakentän läpi kosteikkoon suodattunut vesi (oikea). Kuva: Soila Silvonen.

Hiekkasuodatus teknologiaan perustuvien ratkaisujen tehokkuus

Kymijärven hiekkasuodatuskenttä

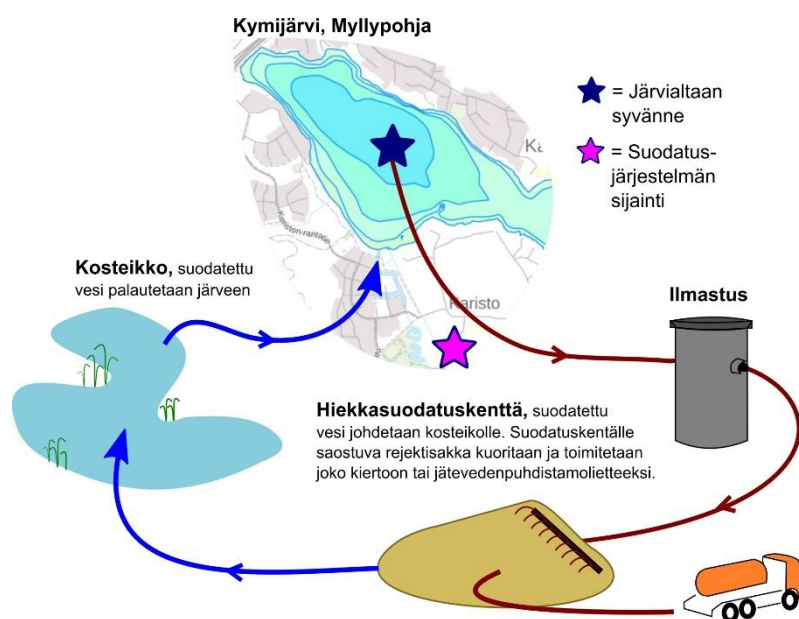
Kymijärvellä (6,5 km², suurin syvyys 11 m, keskisyvyys 2,6 m) alusveden suodatusmenetelmää alettiin kehittää pilottikokoisella (20 m²) hiekkasuodatuskentällä vuonna 2018. Hapetonta alusvettä (pohjanläheisen alusveden kokonaisfosforipitoisuus ka. 320 µg/l ja kokonaisrautapitoisuus ka. 10 mg/l) johdetaan ilmastuksen jälkeen järven lähivaluma-alueelle perustetulle hiekkasuodatuskentälle, jolta suodatettu vesi johdetaan edelleen kosteikolle ja sieltä luonnollista uomaa pitkin takaisin järveen (Kuva 4, Kuva 5).

Kymijärven alkuperäisen, pilottikokoisen hiekkasuodatuskentän keskimääräiset poistotehokkuudet olivat kokonaisfosforin osalta 67 % ja fosfaattifosforin osalta 80 % (Silvonen ym. 2022, 2023). Raudan osalta poistotehokkuus oli n. 90 % (Silvonen ym. 2022). Mangaanin ja liuenneen orgaanisen aineen kohdalla hiekkasuodattimen tehokkuus oli <40 % ja <10 % (Silvonen ym. 2022). Pilottikokoisen hiekkasuodatuskentän kokonaistypen poistotehokkuudeksi arvioitiin puolestaan n. 14 % (Silvonen ym. 2023). Typen poisto edellyttää

tyypillisesti biologisia tai kemiallisia prosesseja tai tyypeä sitovien materiaalien, kuten esimerkiksi zeoliitin hyödyntämistä (Silvonen ym. 2022).

Pilottikokoinen hiekkasuodatin tukkeutui Kymijärven tulevasta alusveden rautakuormasta (5–15 mg/l) melko nopeasti ja suodatuskentän pinta-alaa oli siten kasvatettava.

Kymijärven hiekkasuodatuskenttää laajennettiin pilottikoosta vuonna 2020 n. 200 m² laajuiseksi (raekoko 1–6 mm), jonka jälkeen hiekkasuodattimen kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin poistotehokkuudet vaihtelivat välillä 49–87 % ja 53–94 % (Nurminen ym. 2023) (Kuva 6, Kuva 7). Korkein poistotehokkuus Kymijärven suodattimella saatiin raudan esisuodatuksella ja alhaisin poistotehokkuus hiekkasuodattimella havaittiin loppukesällä, kun alusveden pitoisuudet olivat korkeimmillaan. Vastaavasti loppukesällä kentän hiekkapatja alkoi kasvavan rautakuorman takia tukkeutua nopeammin ja toiminnan varmistaminen edellytti tiheää, noin viikon välein toteutettua hiekkapatjan kuorintaa.



Kuva 4. Havainnekuva Kymijärvellä vuodesta 2018 saakka hyödynnetystä alusveden suodatusjärjestelmästä.



Kuva 5. Ilmakuva Kymijärven hiekkasuodattimesta (hiekkasuodatuskenttä 200 m²) ja kosteikosta vuonna 2020. Kuva: Kari Sainio

Vuonna 2024 suodatinaluetta laajennettiin edelleen sen toiminnan tehostamiseksi Lahden kaupungin toimesta. Nykyisen laajennetun suodattimen (635 m²) poistotehokkuus kokonaisfosforin osalta oli kesällä 2024 n. 62 %.

Laajennettu hiekkakenttä tarvitsi ainoastaan muutamia kertoja rautapitoisen ravinnesakan kuorintahuoltoa kesän 2024 kerrostuneisuusajan suodatusjaksolla n. 10 l/s virtaamalla.

Kymijärvellä on lisäksi erillinen hulevesikosteikko, jonka kautta hiekkakentän läpi suodatettu alusvesi palautetaan takaisin järveen (Kuva 4, Kuva 5). Kosteikko lisää veden

viipymää, jolloin ravinteiden poisto tehostuu. Samalla myös lämpötilaerot kylmemmän käsitellyn alusveden ja järven päällysveden välillä tasoittuvat ennen käsitellyn veden purkautumista järven päällysveteen kosteikon jälkeen (Silvonen ym. 2023). Lisäksi kosteikon luontaiset kiintoainetta ja ravinteita pidättävät prosessit tehostavat puhdistetun alusveden suodatusta mm. typen osalta. Järjestelmän vaikutuksia kunnostettavan järven päällysveden pitoisuuksiin on mahdollista arvioida esim. Silvosen ym. (2023) mukaan sekoittumispitoisuuksina. Yleisesti ottaen suodatetun alusveden johtamisesta aiheutuva riski päällysveden ravinnepitoisuuksien kohoamiselle on vähäinen (Silvonen ym. 2023).



Kuva 6. Kymijärven hiekkasuodatuskenttä, johon ilmastettu alusvesi tulee pitkällä jakoputkella. Kuva: Leena Nurminen.

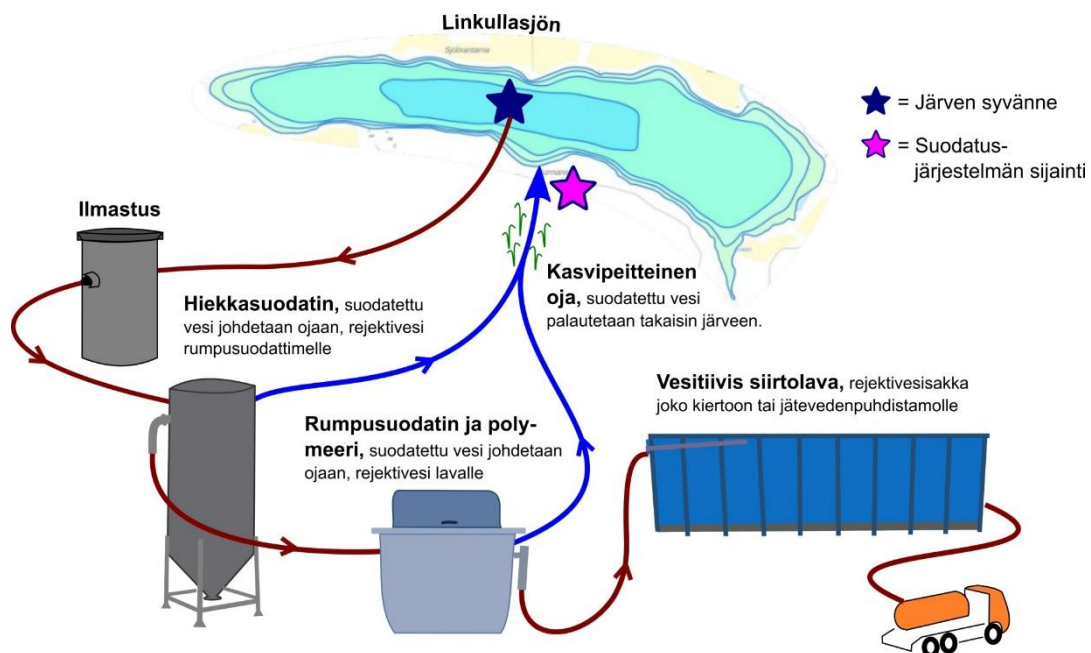


Kuva 7. Jos rautapitoisuus alusvedessä on korkea ja valuma-alueella käytettävissä oleva pinta-ala rajallinen, alusveden raudan esisuodatus esim. kuivasuodattimena toimivan kivipedin läpi on yksi vaihtoehto. Kuva: Leena Nurminen.

Linkullasjön väliaikainen suodatusyksikkö

Linkullasjön (60 ha, suurin syvyys 7 m, keski-syvyys 4,8 m) pilottimuotoisessa vedenpuhdistusteknologiaan perustuvassa väliaikaisessa suodatusyksikössä hapetonta alusvettä (pohjanläheisen hapettoman alusveden kokonaisfosforipitoisuus ka. 941 µg/l ja kokonaisrautapitoisuus ka. 40 mg/l) johdettiin kerrostuneisuuskaudella ilmastussammion kautta järven ranta-alueelle sijoitettuun DynaSand -hiekkasuodattimeen (Kuva 8), jonka toimintaperiaate vastaa karkeasti ottaen

Kymijärven kohteella käytettyä hiekkakenttää: hiekkarakeiden mineraalipinnat muodostavat saostuvalle raudalle kiinteitä adsorptiopintoja. DynaSand –laite kuitenkin huuhtelee suodatettavalla vedellä hiekkää jatkuvasti, jolloin erillistä hiekan kuorinta- tai vaihtotarvetta ei ole, vaan hiekka puhdistuu pesurissa suodatuksen aikana. Pesuvesi, johon on konsentroitunut fosforipitoista rautasakkaa (ns. rejektivesi), ohjautuu suodattimesta erillisenä poistona.



Kuva 8. Havainnekuva Linkullasjön-järvellä kesän 2024 aikana hyödynnetystä väliaikaisesta hiekka- ja rumpusuodatusyksiköstä.

DynaSandin rejektivesi johdettiin edelleen DynaDrum -rumpusuodattimelle, jolla vähennettiin muodostuvan rejektiveden määrää suodatusta tehostamalla (Kuva 8, Kuva 9). Samalla mahdollistettiin fosforipitoisen rautasakan talteenotto. Rumpusuodattimella epäpuhtaudet, kuten kiintoaine tai saostumiksi kertynyt rauta jäävät hyvin hienosilmäisen kangassuodattimen ansiosta suodattimen sisään ja epäpuhtauksien pesu tapahtuu ajoittaisella vastavirtahuuhtelulla.

DynaDrum -suodattimessa suositellaan käytettäväksi sakanmuodostusta edistävää

koagulanttia tai polymeeriä, jotta kangassuodatin toimii paremmin (Rossi ym. 2018). Rejektivettä tulee tällöin huomattavasti vähemmän kuin jos käytettäisiin vain pelkkää DynaSand -hiekkasuodatinta, koska hiekkasuodattimen ravinnesakkapitoinen pesuvesi ajetaan vielä rumpusuodattimen kautta. Linkullasjön-järven pilotissa rumpusuodattimeen lisättiin positiivisesti varautunutta eli kationista vedenerotuspolymeeriä (Flopam 4650 SSH), jonka avulla pyrittiin tehostamaan rejektiveden konsentrointia. Prosessista tulevalle rejektiveden määrällä on oleellinen merkitys

järjestelmän huollon ja ylläpidon jaksottamisessa.

Molemmilta suodattimilta puhdistettu vesi johdettiin olemassa olevaan, järveen laskevaan kasvi- ja sammalpeitteiseen ojaan, josta puhdistettu vesi pääsi vapaasti purkautumaan takaisin noin 70 m päässä sijaitsevan Linkullasjön etelärannalle. Kohteessa käytetty pilottiluonteinen virtaama oli alhainen, 3 l/s. Jäljelle jäänyt fosforin ja raudan sekainen rejektivesi johdettiin saaviin ja saavista uppopumpun avulla tiivistetylle siirtolavalle (Kuva 8, Kuva 9).

Koko suodatusjärjestelmässä, joka käsitti DynaSand- ja DynaDrum -suodatinten muodostaman yksikön sekä sammal- ja kasvipeitteisen ojan, saatiin kesän 2024 suodatusjaksolla pidätettyä keskimäärin 59 % kokonaisfosforista, 63 % fosfaattifosforista ja 52 % kokonaisraudasta (Kuva 10, Härkönen ym. 2024). Kokonaistypen osalta keskimääräinen poistotehokkuus (27 %) oli odotetusti fosforin poistotehokkuutta pienempi. Samansuuruisen poistoprosentti saatiin kiintoaineelle (27 %).

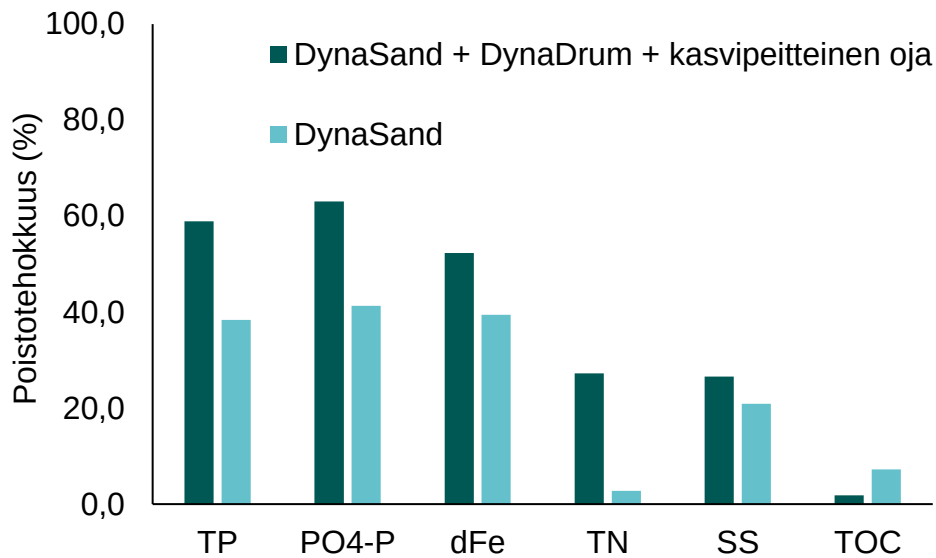
Linkullasjön pilottikokeilussa DynaSand- ja DynaDrum -suodatinten, sekä 70 m pitkän

kasvipeitteisen ojan yhdistelmän poistotehokkuus oli lähes kaikkien muuttujien osalta korkeampi, kuin pelkän DynaSand -hiekkasuodattimen yksinään (Härkönen ym. 2024). Ainoastaan orgaanisen kokonaishiilen osalta poistotehokkuus hiekkasuodattimella oli suurempi (7 %) kuin ojan sisältävän koko järjestelmän (2 %). Tämä kertoo todennäköisesti ojasta luontaisesti kulkeutuneiden humusyhdisteiden sekoittumisesta ojassa virtaavaan suodatusjärjestelmän läpi käyneeseen veteen. Siitä huolimatta ojassa kulkevan veden TOC:n pitoisuudet vastasivat Linkullasjön-järven päällysveden pitoisuuksia, joten riskiä järjestelmästä johtuvalle järven TOC-pitoisuuden kohoamiselle ei havaittu.

Yleisesti ottaen Linkullasjön pilotin perusteella todettiin, että pelkän hiekkasuodattimen hyödyntämisen sijaan alusveden suodatuksen tehokkuutta parantaa suodatetun veden johtaminen joko olemassa olevaan, perkaamattomaan ojaan tai vaihtoehtoisesti kosteikkoon, kuten Kymijärvellä tehdään (Silvonon ym. 2023). Samalla voidaan varmistaa järveen palautettavan, käsitellyn alusveden sekä järven päällysveden välisten lämpötilaerojen tasoittuminen.



Kuva 9. Linkullasjön-järvellä kesän 2024 aikana pilotoitu alusveden suodatusjärjestelmä. Kuva: Laura Härkönen



Kuva 10. Kokonaisfosforin (TP), fosfaattifosforin (PO₄-P), liukoisen raudan (dFe), kokonaistypen (TN), kiintoaineen (SS) sekä orgaanisen kokonaishiilen (TOC) keskimääräiset poistotehokkuudet (%) Linkullasjön koko suodatusjärjestelmällä (ero järjestelmään tulevan ja järveen DynaSand- ja DynaDrum suodatinten sekä kasvipeitteisen ojan kautta purkautuvan veden välillä) sekä pelkällä DynaSand -hiekkasuodattimella (ero järjestelmään tulevan ja DynaSand-hiekkasuodattimella puhdistetun veden välillä).

Suodatuksessa syntyvän sivuvirran mahdollinen hyötykäyttö

Linkullasjön-järven pilottiluonteisessa suodatusyksikössä testattiin prosessissa muodostuvan rejektiveden konsentrointia ja ravinnesakan keräämistä hyötykäyttö- ja kierrätysnäkökulmasta. Fosfori on luonnonvara, jonka lisääntynyt louhinta on johtanut tiedossa olevien fosforivarantojen ehtymiseen ja nostanut fosforin Euroopan kriittisten aineiden listalle (European Commission 2017). Ravinnesuodattimiin sitoutuneen fosforin talteenotto ja kierrätys kasveille käyttökelpoisessa muodossa voi tukea kiertotalouden tavoitteita ja siirtymistä kohti ravinteiden suljettua kiertoa. Alusveden suodatuksessa muodostuva rautapitoinen ravinnesakka on suurelta osin kevyttä ja hienojakoista ferrihydriittiä (Nurminen ym. 2020, Silvonen ym. 2022).

Linkullasjön-järven DynaSand -suodattimen ravinnepitoinen suodatinhiekan käyttöä maanparannusaineena testattiin Luonnonvarakeskuksessa raiheinällä tehdyssä

astiakokeessa (Lemola & Salo 2024). Lisäksi suodatushiekan ja DynaDrum -rumpusuodattimelta johdetun rejektiveden fosforin käyttökelpoisuutta arvioitiin kemiallisella uutolla (ns. fraktioinnilla, Hedley ym. 1982), jolla selvitettiin fosforin saatavuutta kasveille. DynaSandin suodatushiekkassa oli uuton perusteella keskimäärin 173 mg/kg fosforia. DynaDrum -rumpusuodattimelta siirtolavalle johdettavan rejektiveden saostumien kokonaisfosforipitoisuus oli puolestaan keskimäärin noin 2943 mg/kg (Lemola & Salo 2024). Rejektiveden saostumien kokonaisfosforista suhteessa suurempi osa oli kuitenkin kasveille heikommin käyttökelpoisessa muodossa kuin suodatushiekan pinnalle saostunut fosfori (Lemola & Salo 2024).

Astiakokeen perusteella suodatinhieka voi soveltua maanparannusaineeksi etenkin kohteilla, joilla hiekan lisäämisen voisi olettaa parantavan peltomaan fysikaalisia

ominaisuuksia. Suodatinhiekan ei todettu rajoittavan fosforin saatavuutta kasveille. Rejektiveden hyödyntäminen esimerkiksi kastelukäytössä ei Linkullasjön pilotin tulosten perusteella merkittävästi lisänne kasvien kasvua, mutta fraktioinnin perusteella alusveden suodatuksessa muodostuvasta rejektivedestä ei liene myöskään haittaa (Lemola & Salo 2024, Härkönen ym. 2024).

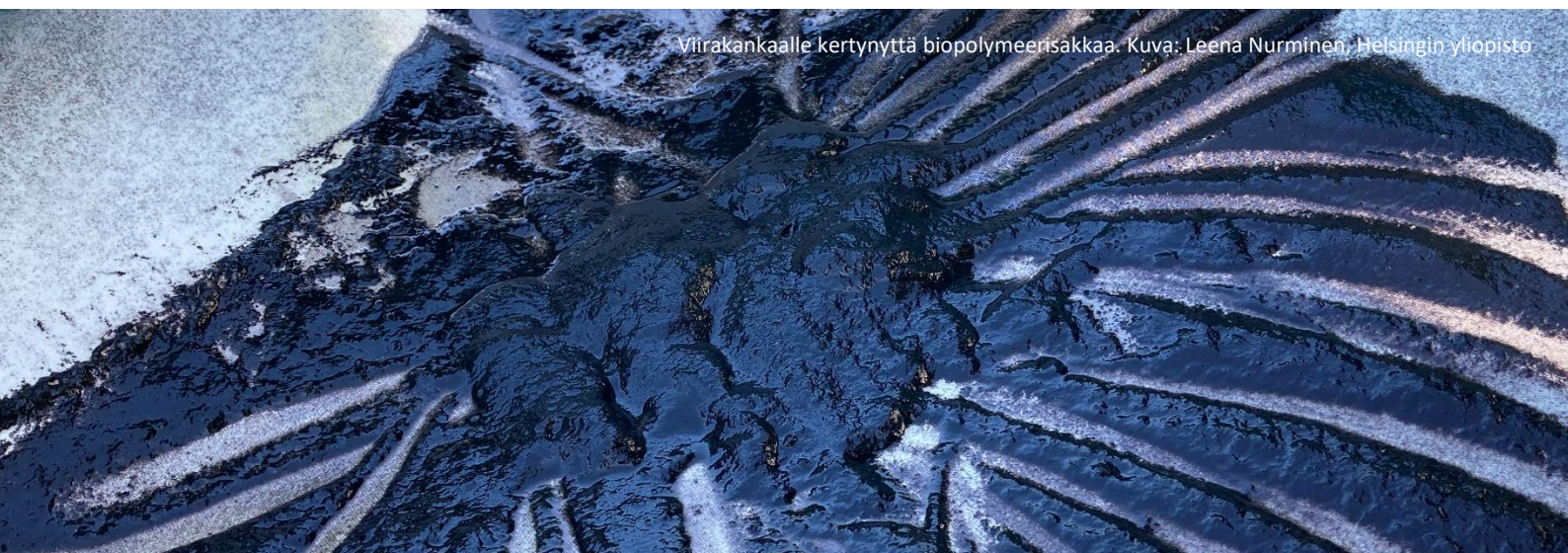
Hyötykäyttönäkökulmien arvioinnissa on huomioitava mahdollisten synteettisten polymeerien hyödyntäminen, sillä niiden pääsy ympäristöön on estettävä. Useat synteettiset polymeerit ovat haitallisia vesieliöille. Osa synteettisistä polymeereistä on myös tunnistettu mikromuovien lähteiksi (Fjäder ym. 2022), jonka vuoksi niiden hyödyntäminen voi olla esteenä rejektiveden hyötykäytölle esimerkiksi lannoitusikäytössä (Härkönen ym. 2024).

Kymijärven hiekkakentän tutkimuksissa testattiin vaihtoehtoisesti myös biopolymeerin (HTH 25) soveltuvuutta ravinnesakan konsentroinnissa (Nurminen ym. 2020, Silvonen ym. 2022). Biopolymeeri muodosti nopeasti kiintoainetta, johon merkittävä osa käsiteltävän alusveden hapettuvasta raudasta ja fosforista sitoutui. Liukoisesta raudasta ja liukoisesta fosforista jopa oli 90 % saatiin poistettua käsitelystä alusvedestä biopolymeerin muodostamaan kiintoaineeseen. Muodostuneet saostumat olivat suuria ja järjestelmässä testattu viirakangas pidatti noin 80 % muodostuneesta kiintoaineesta. Koska käytössä oli tanniinipohjainen biopolymeeri, veden typpipitoisuudet kuitenkin nousivat käsittelyssä (TN n. 200 % ja $\text{NH}_4\text{-N}$ n. 30 %) (Silvonen ym. 2022).

Kymijärven suodatusjärjestelmän kaltaisessa kosteikon ja hiekkasuodattimen yhdistävässä systeemissä kosteikon viipymä ja luontaiset prosessit voivat kuitenkin osaltaan vähentää biopolymeerin käytöstä johtuvaa, järveen päätyvää typpikuormaa.

Mahdollisia rejektiveden sisältämiä haitta-aineita ei myöskään analysoitu Linkullasjön pilotissa ja niiden esiintymisen mahdollisuus on otettava hyötykäyttöä suunniteltaessa huomioon. Kymijärven suodatuskohteella järven sedimentistä tehtiin sen sijaan laaja-alainen haitta-aineanalyysi (Nurminen ym. 2020). Selvityksen pitoisuustulokset eivät ylittäneet pilaantuneiden maa-ainesten haitta-ainepitoisuusrajoja (PIMA – asetus, Reinikainen 2007). Biopolymeerisakan kohdalla kuitenkin lyijyn (Pb), kuparin (Cu) ja sinkin (Zn) pitoisuudet ylittivät jonkun verran maanviljelykäyttöä varten asetetut eurooppalaiset raja-arvot (Amlinger ym. 2004). On hyvä huomioida, että pitoisuudet voivat olla hyvin kohdekohtaisia.

Hyötykäyttönäkökulmien arvioinnissa on lisäksi huomioitava, että Linkullasjön-järven pilotikohteella käsiteltävät vesimäärät ja siten myös ravinnepitoisen rejektiveden määrät olivat huomattavan pieniä. Korkeammilla käsitelyvirtaamilla muodostuvan rejektiveden ja siten myös ravinnesakan määrä on suurempi, mikä voisi esimerkiksi sadetuskäytössä johtaa rautapitoisen ravinnesakan kertymiseen esimerkiksi sadetettaville peltolohkoille. Näin ollen rejektiveden mahdollinen hyötykäyttö on suunniteltava ja arvioitava tapauskohtaisesti. Mahdollisessa sadetuskäytössä on myös varmistettava, etteivät ravinteet pääse huuhtoutumaan takaisin vesistöön.



Viirakankaalle kertynyttä biopolymeerisakkaa. Kuva: Leena Nurminen, Helsingin yliopisto

Toteutuksen poistolaskelmat ja suunnittelu

Päällysveden kokonaisfosforipitoisuuden alenemalle asetetaan Nürnbergin (2007, 2020) mukaisesti laskennallinen tavoite järvien tyyppikohtaisten ekologisen tilan luokkaraja-arvojen perusteella (Aroviita ym. 2019). Tavoiteltavan päällysveden pitoisuuden ja havaittujen alusveden pitoisuuksien sekä järven tilavuuden avulla määritetään alusvedestä poistettavan fosforin määrällinen tavoite, joka

suhteutetaan poistovirtaamaan. Poistettavan fosforin tarve (mg) suhteutetaan järven pinta-alaan (m²), jonka avulla saadaan laskennallinen poistotarve (mg/m²). Alusveden pinta-alaan (m²) sekä teoreettisen poistuman perusteella voidaan arvioida laskennallinen aika vuosina (a), jolloin tavoiteltava muutos ekologisessa tilassa voitaisiin saavuttaa (Nürnberg 2020).

$$TP_{epiChange} = 0.471 - 0.331 * \log(\text{total areal TP export}),$$

jossa $TP_{epiChange}$ = päällysveden kokonaisfosforipitoisuuden prosentuaalinen muutos,

ja total areal TP export = alusveden mukana poistetun fosforin määrä pinta-alayksikköä kohden.

Poistovirtaama mitoitetaan siten, että se ei aiheuta vaaraa kerrostuneisuuden purkautumiselle (Nurminen ym. 2021). Mikäli yksittäiselle kohteelle ei ole mahdollista määrittää sopivaa poistovirtaamaa esim. hydrodynaamisella mallinnuksella, mitoituksessa voidaan karkeana ohjenuorana hyödyntää Silvonen ym. (2021) arviota siitä, että Kymijärvellä kerrostuneisuutta heikentämätön alusveden poisto-osuus voisi kerrostuneisuuskauden aikana olla noin 40 % alusveden tilavuudesta. Poistettavan fosforin määrän ja poistovirtaaman perusteella arvioidaan laskennallinen aika, jonka kuluessa vedenlaadun luokkaraja-arvoihin perustuva muutos ekologisessa tilassa voitaisiin saavuttaa alusveden suodatuksella. Laskennallinen aika toimii suuntaa antavana indikaationa menetelmän soveltuvuudesta kohteelle. Osalla kohteista laskennalliset suodatusajat voivat nousta epärealistisen pitkiksi ulottuen satoihin vuosiin, jolloin alusveden suodatuksen käyttö ainoana kunnostusmenetelmänä ei ole mielekäästä.



Kuva: Laura Härkönen, Suomen ympäristökeskus

Keskeisiä reunaehtoja valuma-alueelle sijoitettavan hiekkasuodatusyksikön mitoitukselle ovat tuleva rautakuorma, haluttu fosforinpoistotehokkuus eli reduktio, valuma-alueen luomat rajoitteet järjestelmälle sekä haluttu huoltoväli (Nurminen ym. 2023). Etenkin hiekkasuodatuskentän mitoitusta suunniteltaessa tuleva pintakuorma on tärkeä arvioida. Pinta-alayksikköä kohden tuleva rautakuorma vaikuttaa hiekkasuodatuskentän tehokkuuteen ja määrittää esim. pinnan kuorintaan perustuvan huoltovälin. Pintakuorma (m/h) eli suodatusnopeus (V_s) lasketaan jakamalla virtaama (Q_{mit}) suodatinkentän pinta-alalla (A) (mm. Taskinen 2018). Suodatusnopeus on sopeutettava kulloisenkin käsiteltävän veden ja rautakuorman mukaan (Taskinen 2018). Laskennallinen rautakuorma on suuntaa antava ja varsinkin luonnonvesissä voi olla aliarvio. Lisäksi järvivesiä käsiteltäessä on hyvä huomioida mm. orgaanisen aineksen kertyminen pumppausjakson aikana suodattimeen ja sen vaikutukset mm. raudan käyttäytymiseen (Silvonen ym. 2022).

Hyvä on huomioida myös alusveden kemian muuttuminen pumppauskauden aikana, sillä kerrostuneisuuskauden edetessä esimerkiksi liukoisen raudan ja fosforin sekä orgaanisen aineksen pitoisuudet kohoavat usein.

Myös suodatuskentällä hyödynnettävän hiekan raekoko vaikuttaa toisaalta veden läpäisevyyteen ja suodattimen tukkeutumisnopeuteen, toisaalta suodatustehoon. Sopivan raekoon tai eri raekokojen yhdistelmän valitseminen vaatii siten riittävän läpäisevyyden ja toisaalta suodatustehon välistä optimointia. Vedenpuhdistusteknologiaan perustuvissa suodatusyksiköissä, joissa hiekka puhdistuu suodatusprosessin aikana ilman erillistä kuorintaa, hiekan raekoko voi usein olla valmistajan suosittelema. Tällöin raekoko on pyritty optimoimaan virtaaman ja puhdistustehon näkökulmasta. Esimerkiksi Linkullasjön-

järvellä hyödynnetyssä DynaSand-hiekkasuodattimessa käytetyn kvartsihiekan raekoko oli valmistajan suosittelema 0,9–1,2 mm.

Kohteissa, joissa suodattimelle tuleva rautakuorma on suuri, esisuodatus ennen hiekkasuodatinta on suodatusta tehostava vaihtoehto (Palomäki 1998, Nurminen ym. 2023, Kuva 7). Tällöin suositellaan, että rautakuorma lasketaan haluttujen pinta-alojen mukaan erikseen esisuodatus- ja varsinaiselle suodatusyksikölle. Esisuodatuksena voi toimia esim. kuivasuodatin, jossa hyödynnetään yhtä tai useampaa peräkkäistä raekokoa. Tällöin vesi pitää jakaa suodattimelle tasaisesti. Lisäksi painovoimainen virtaus ja esim. kuivasuodattimen huuhtomismahdollisuus ovat oleellisia asioita. Kuivasuodattimessa voidaan hyödyntää muutakin materiaalia kuin kiveä tai soraa. Hyödynnettävän hiekan ja kivien raekoon lisäksi virtaama, viipymä ja rautakuorma ovat laskelmissa tärkeitä. Lisäksi on hyvä huomioida, että pohjavesien tapaan hapettomassa alusvedessä raudan lisäksi mangaanipitoisuudet voivat olla korkeita (Palomäki 1998).

Suodatustehokkuutta tehostavana ja muodostuvan rejektiveden määrää rajoittavana vaihtoehtona on myös hyödyntää jossakin prosessin vaiheessa saostuskemikaalia (mm. etu- tai jälkialkalointi) tai polymeeriä (Nurminen ym. 2021, Silvonen ym. 2022, Härkönen ym. 2024). Saostuskemikaalin tai polymeerin hyödyntäminen edistää raudan ja fosforin nopeaa saostumista ja parantaa poistotehokkuutta. Lisäksi kemikaalin tai polymeerin hyödyntäminen voi edistää rautafosforisakan talteenottoa, mutta vaatii kohdekohtaisen valinnan ja annostelun sekä sakan keruuyksikön ja -valmiuden. Tämä vaihtoehto on todennäköisesti kustannuksiltaan kalliimpi mm. kemikaalin käytön takia, mutta toisaalta mahdollistaa ravinnepitoisen rautasakan keskitetyn keräämisen.

Mahdolliset alkalointikemikaalit ja -materiaalit nostavat veden pH:ta, joka on huomiotava käsitellyn veden ohjauksessa eteenpäin, esim. kosteikkoon tai muuhun vesiuomaan. Lisäksi synteettisten polymeerien hyödyntämisessä on huomiotava, ettei niitä tule päästää ympäristöön, joten muodostuva rejektisakka on käsiteltävä erikseen. Synteettisen polymeerin hyödyntäminen voi myös mahdollisesti estää muodostuvan rejektiveden hyödyntämisen esimerkiksi lannoituskäytössä (Härkönen ym. 2024). Kymijärven hiekka-suodatinpilotilla testattiin vaihtoehtoisesti biopolymeerin soveltuvuutta ravinnesakan konsentroituihin ja liukoisten aineiden saostamiseen (Nurminen ym. 2021) (ks. osa ”Suodatuksessa syntyvän sivuvirran mahdollinen hyötykäyttö”).

Kohteen alusveden rautakuorma mitoittaa käytettävän hiekkasuodattimen koon ja kapasiteetin sekä määrittää yleisestikin kohdekohtaiset veden käsittelyprosessit. Muita tärkeitä seikkoja ovat mm. pumpattavan vesitilavuuden käsittelykapasiteetti, mikä liittyy ole-massa olevaan ja/tai paikalle sijoitettavissa olevaan vedenkäsittelylaitteistoon ja sovellet-taviin ratkaisuihin. Laskennallisiin arvioihin ja

todellisiin poistolukemiin ja –tarpeisiin vaikuttavat monet kunnostuskohdekohtaiset ominaisuudet ja ratkaisut, kuten alusveden laatu, valitun suodatinmateriaalin ja –ratkaisun ominaisuudet ja todellinen pumpattu vesimassa.

Toteutustavan valinnassa on lisäksi huomiotava, että kunnostuskohteella sijaitsevat potentiaaliset happamat sulfaattimaat, mustaliuskealueet ja pohjavesialueet rajoittavat kaivutöiden mahdollisuutta. Mikäli näitä esiintyy suodatusyksikön suunnitellulla sijoitusalueella, toteutustavaksi pyritään ensisijaisesti valitsemaan sellainen suodatusyksikkö, joka ei edellytä kaivamalla toteutetun suodatuskentän perustamista.

Suodatuskentän tai -yksikön toteuttava urakoitsija ja mahdollisen suodatusyksikön laite-toimittaja kilpailutetaan. Yksityiskohtainen suunnittelu tehdään urakoitsijan ja laitetoimittajan kanssa yhteistyössä. Suunnittelussa on huomiotava syvänteen ja suodatusyksikön perustamispaikan etäisyys toisistaan sekä niiden välinen korkeusero. Etäisyyden ja korkeuseron perusteella mitoitetaan syvänteelle asennettavan poistoputken pituus, halkaisija ja uppopumpun tarvittava teho, sekä laitteiston edellyttämän sähkövirran määrä.



Kuva: Kaarina Lukkari, Suomen ympäristökeskus

Luvat ja suostumukset

Alusveden suodatuksen toteuttaminen edellyttää vesialueen osakaskunnan suostumusta, joka pyydetään kirjallisesti. Lisäksi taustaselvitysten ja toteutussuunnitelman pohjalta pyydetään lausunto alueelliselta ELY-keskukselta vesi- ja ympäristönsuojelulain mukaisten lupien tarpeesta. Mikäli kunnostettava vesistö tai suodatusjärjestelmän sijoitusalue sisältyvät Natura 2000 -ohjelmaan, tarvitaan lisäksi luonnonsuojelulain 65 §:n mukainen Natura-arvio sekä lausunto poikkeuslupan tarpeesta (Härkönen ym. 2022). Alueella mahdollisesti sijaitsevien munaishäännöskohteiden huomioimisesta suunnittelussa ja toteutuksessa pyydetään puolestaan lausunto museovirastolta.

Kymijärven ja Linkullasjön-järven tapauksissa vesi- tai ympäristönsuojelulain mukaista lupaa ei tarvittu, koska alusveden suodatus- ja

palautusmenetelmä ei vaikuta kunnostettavan järven vedenkorkeuteen tai heikennä alapuolisten vesistöjen vedenlaatua.

ELY-keskuksen lausuntopyynnön lisäksi pyydetään kunnalta arvio toimenpideluvan tarpeesta taustaselvityksiin ja toteutussuunnitelmaan perustuen. Osakaskunnan kirjallinen suostumus liitetään ELY-keskukselle ja kunnalle toimitettaviin lausunto- ja toimenpidelupapyyntöihin.

Kunnostuksen suunnittelu on aloitettava hyvissä ajoin, sillä pelkkiin lausunnon ja toimenpidelupapyyntöjen käsittelyihin on varattava vähintään 1–3 kk aikaa. Mikäli vesi- tai ympäristönsuojelulain mukainen lupa tai poikkeaminen Natura 2000 -alueen suojeluperusteista tarvittaisiin, lupaprosessiin on varattava vähintään vuosi aikaa.



Kuva: Laura Härkönen, Suomen ympäristökeskus

Käytännön toteutus

Alusveden pumppaus. Alusveden suodatusta voidaan toteuttaa kerrostuneisuuskauden ajan. Alusveden pumppauksessa järven syvänteelle asennetaan imuputki noin 1 m pohjan yläpuolelle. Imuputken suu on hyvä rei'ittää noin puolen metrin matkalta, jotta voidaan varmistaa veden tasaisempi imeytyminen ja ehkäistä sedimentin sekoittuminen alusveteen. Koska pumppaus on tehokainta kerrostuneisuuskaudella, toteutuksen suunnittelu edellyttää ennakkotietoa järven kerrostuneisuusoloista. Lisäksi kerrostuneisuuden säilymistä on seurattava säännöllisesti toteutuksen aikana. Mikäli alusveden poistovirtaama on mitoitettu liian suureksi ja kerrostuneisuus uhkaa purkautua menetelmän vuoksi, poistovirtaamaa on pyrittävä säätämään pienemmäksi tai vaihtoehtoisesti keskeytettävä alusveden pumppaus. Kerrostuneisuuden purkautuminen ja ravinteikkaan alusveden sekoittuminen päällysveteen kasvukaudella saattaa johtaa leväkukintojen runsastumiseen.

Suodatusyksikön perustaminen. Suodatusyksikön perustamiseen, ml. pumpun ja putkiston asentamiseen, suodatuskentän perustamiseen tai vaihtoehtoisen liikuteltavan suodatusyksikön asentamiseen sekä tarvittavien perustusten tekemiseen on varattava aikaa noin 1 vk - 3 kk. Liikuteltavan suodatusyksikön alle tarvitaan riittävän laajuihin murskepeti, sekä suodatuslaitteiston painon kantavat raudoitetut betonilaatat. Lisäksi suodatusyksikön ohjauspaneelit ja muu tekniikka pitää suojata sateelta joko kontilla tai esimerkiksi vanerista rakennetulla katoksella.

Ylläpito ja suodatusyksikön toiminnan seuranta. Automatisoimattoman suodatusyksikön ylläpito edellyttää sekä hiekkasuodatuskentän että liikuteltavan, väliaikaisen suodatusyksikön tapauksessa säännöllistä huoltoa ja läsnäoloa. Mikäli suodatus toteutetaan paikalle perustettavan kiinteän hiekkasuodatuskentän avulla,

suodatuskentän pintaan kertynyt rautasakka on varauduttava kuorimaan säännöllisin väliajoin. Väliaikaisen vedenpuhdistusteknologiaan perustuvan suodatusyksikön hyödyntämisessä on puolestaan säännöllisesti varmistettava järjestelmän riittävä tulovirtaama sekä vesikierron yllä pysyminen. Lisäksi on huolehdittava tulo- ja purkuputkien kiinnitysten ja ohjauksen pysyvyydestä. Järjestelmään tulevan ja sieltä lähtevän veden fosfori- ja rautapitoisuuksia on hyvä seurata esimerkiksi kenttäkäyttöisen spektrofotometrin avulla, jotta mahdolliset toimintahäiriöt voidaan tunnistaa ajoissa. Suodatusyksikön käyttöönoton alkuvaiheessa on myös varauduttava hienosäätöön järjestelmän halutun toiminnan varmistamiseksi ja varauduttava siihen, että toiminnan optimoiminen ja käynnistyminen halutulla tavalla vie aikaa. Sitoutuneen paikallisen tahon osallistuminen suodatushankkeeseen helpottaa järjestelmän ylläpitoa ja seuranta.

Myös järviveden laadun kehittymisen seuraamista suodatuskauden aikana suositellaan järven kerrostuneisuusolojen seuraamisen lisäksi. Järven vedenlaadun seurannassa voidaan noudattaa suodatuksen suunnittelua edeltäviä menetelmiä (ks. tietolaatikko "Tarvittavat taustaselvitykset alusveden suodatusta edeltävällä avovesikaudella").

Sähkönsyöttö. Suodatusyksikön käyttö edellyttää jatkuvaa sähkön saatavuutta riittävällä teholla. Mikäli kiinteä sähkönsyöttö on alusveden suodatusyksikön perustamispaikalla mahdollinen, se lisää menetelmän toimintavarmuutta. Uusiutuvien energiantuotantomuotojen hyödyntäminen kunnostuksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi on suositeltavaa. Mikäli kiinteää sähkönsyöttöä ei ole saatavilla, tarvittava sähköenergia voidaan pyrkiä tuottamaan esimerkiksi riittävän tehokkaiden aurinkopaneelien avulla. Tarvittavan sähkövirran määrä riippuu paitsi suodatuslaitteistosta ja uppopumpusta sekä niiden ominaisuuksista ja tehokkuuksista, myös syvänteelle

asennetun imuputken ja suodatusjärjestelmän välisestä korkeuserosta.

Rejektiveden ja -sakan käsittely. Rejektivesi- ja sakka kuljetetaan kunnostusalueelta etukäteen tehdyn suunnitelman mukaiseen sijoituskohteeseen (esim. jätevedenkäsittelylaitokselle) imuautolla tai vastaavalla riippuen ravinnesakan koostumuksesta ja käyttökohteesta. Mahdollisuuksien mukaan muodostuvaa rejektivettä tai -sakkaa voidaan pyrkiä myös hyödyntämään kastelu- tai lannoitekäytössä hyötykäytön reunaehdot huomioiden (ks. osio ”Suodatuksessa syntyvän sivuvirran mahdollinen hyötykäyttö”).

Kustannusten muodostuminen ja rahoituspohja. Alusveden suodatusjärjestelmän kustannukset koostuvat perustamisen materiaali- ja työvoimakustannuksista sekä suodatuslaitteiston mahdollisista vuokrakuluista. Lisäksi kustannuksia muodostuu järjestelmän säännölliseen huoltoon ja ylläpitoon liittyvistä työvoimakuluista. Tarvittavan sähkön kustannukset määräytyvät kulloinkin voimassa olevan energianhinnan ja -lähteen mukaan.

Kustannuksia arvioitaessa on huomioitava myös rejektiveden ja -sakan kuljetus- ja käsittelykustannukset. Rejektiveden käsittelykustannuksissa voidaan säästää, mikäli rejektivettä tai -sakkaa on mahdollista hyödyntää

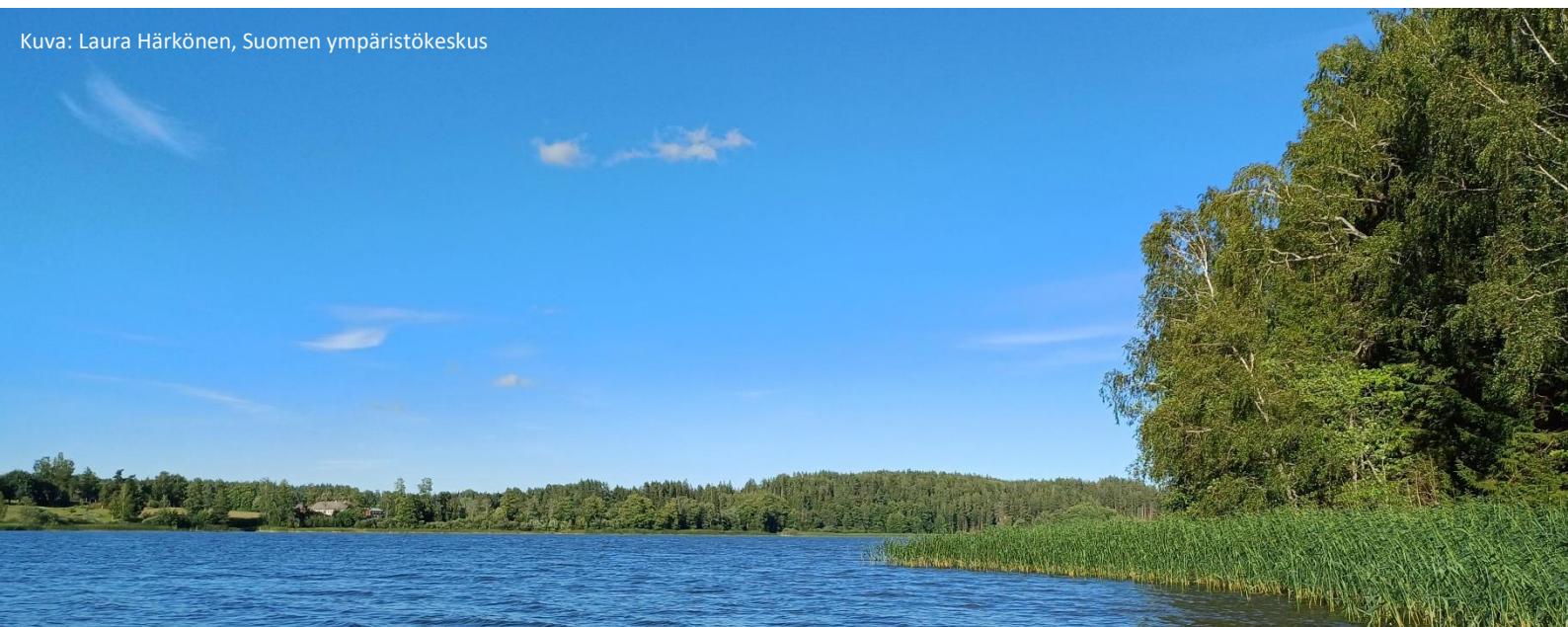
esimerkiksi kastelussa. Hyötykäyttönäkökulmia pohtiessa on kuitenkin huomioitava mahdolliset rajoitteet rejektiveden tai -sakan käytössä (ks. osio ”Suodatuksessa syntyvän sivuvirran mahdollinen hyötykäyttö”).

Fosfori- ja rautapitoisuuksien aleneman seurantaan suodatusjärjestelmällä on varattava riittävästi resursseja, jotta suodatusyksikön toiminnasta voidaan varmistua. Seuran avulla voidaan tunnistaa suodatusyksikön mahdolliset muutostarpeet, joita varten on myös varattava resursseja jo suunnitteluvaiheessa. Varsinkin alkuvaiheessa suodatusyksikköä joudutaan todennäköisesti hienosäätämään useita kertoja toiminnan optimoimiseksi. Lisäksi järviveden laadun kehittymistä suodatuskaudella kannattaa seurata, jotta suodatuksen vaikuttavuutta on mahdollista arvioida pidemmällä tähtäimellä (ks. osio ”Tarvittavat taustaselvitykset alusveden suodatusta edeltävällä avovesikaudella”).

Suodatuksen päätyttyä myös esim. väliaikaisen laitteiston purkuun ja poiskuljetukseen kuluu resursseja, jotka on huomioitava kustannuksia suunniteltaessa.

Vesistökuunnostuksiin saatavilla olevia rahoituslähteitä ja rahoitushakujen aikatauluja on esitetty kattavasti Rahat pintaan -sivustolla (<https://www.rahatpintaan.fi/>).

Kuva: Laura Härkönen, Suomen ympäristökeskus



Lähteet

- Amlinger, F., Pollak, M., Favoino, E., 2004. Heavy Metals and Organics Compounds From Wastes Used as Organic Fertilisers. EU Commission. Final Report. REF. NR. TEND/AML/2001/07/20.
- Aroviita, J., Mitikka, S., & Vienonen, S. (toim.) 2019. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019. 182 s. ISBN 978-952-11-5074-6 (PDF)
- European Commission 2017. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 List of Critical Raw Materials for the EU. COM/2017/0490 final. Brussels, 13.9.2017. <https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490>
- Fjäder, P., Korkalainen, M., Kauppi, S., Lehtiniemi, M., Salminen, J., Selonen, S., Setälä, O., Sillanpää, M., Sorvari, J., Suikkanen, S., Talvitie, J., Turunen, T., Virkkunen, H. & Ala-Ketola, U. 2022. Muovien haitalliset ympäristövaikutukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. & Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science Society of America Journal 46: 970–976.
- Horppila J., Jilbert T., Niemistö J., Nurminen L. & Silvonen S. 2019. Järvien kunnostus ja ravinteiden kierrätys sisäistä kuormitusta hyödyntämällä – alusveden puhdistuksen uusi sovellus Kymijärvi -hanke, Loppuraportti. Helsingin yliopisto.
- Härkönen, L.H., Ilmonen, J., Tolonen, K.T., Vuorio, K., Ahola, M., Vaso, A., Käki, T., Lehtovaara, V., Haapalehto, S., Koljonen, S., Hautamäki, J., Olli, P., Leinonen, K., Tiusanen, M., Leinonen, A., Myllykangas, N. & Hellsten, S. 2022. Vesistö- ja valuma-aluekunnostukset Natura 2000 -alueilla: suunnittelun toimintamalli. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37. 112 s. ISBN 978-952-11-5514-7 (PDF)
- Härkönen, L.H., Nurminen, L., Lukkari, K., Back, M., Grönroos, J. & Lehtoranta, S. 2024. Ravinteet Poistoon: Alusveden suodatusmenetelmän sovellettavuus (2023–2024). Loppuraportti. Suomen ympäristökeskus.
- Lemola, R. & Salo, T. 2024. RaPo-Hyötykäyttöpotentiaalin arviointi. 31.10.2024. Luonnonvarakeskus, julkaisematon raportti.
- Nurminen, L., Niemistö, J., Silvonen, S., Jilbert, T., Horppila, J., Malin, I. & Kotakorpi, M. 2020. Vesistöjen sisäinen kuormitus hyötykäyttöön – uuden sovelluksen jalkauttaminen (VESIKUJA-hanke). Loppuraportti. 33 s.
- Nurminen, L., Silvonen, S., Jilbert, T., Horppila, J., Niemistö, J., Kotakorpi, M. & Malin, I. 2021. Fosforin poistaminen järvestä alusveden suodatus- ja puhdistusjärjestelmällä. Vesitalous 3/2021: 33–37.
- Nurminen, L., Aragao, F., Jilbert, T., Suppala, V., Mykkänen, K.-M., Silvonen, S. & Horppila, J. 2023. Lahden Kymijärven laajennetun alusvesisuodattimen tehostaminen 2022–23. Tutkimusraportti Helsingin yliopisto, Ekosysteemit ja ympäristö –tutkimusohjelma. 34 s.
- Nürnberg, G.K. 2007. Lake responses to long-term hypolimnetic withdrawal treatments. Lake and Reservoir Management, 23: 388–409. <https://doi.org/10.1080/07438140709354026>
- Nürnberg, G.K. 2020. Hypolimnetic withdrawal as a lake restoration technique: determination of feasibility and continued benefits. Hydrobiologia, 847(21): 4487–4501. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04094-z>
- Palomäki, J. 1998. Humus- ja rautapitoisen pohjaveden kemiallis-biologinen käsittely. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Länsi-Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-0315-9.
- Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen perusteet. Suomen ympäristökeskus. Suomen Ympäristö 23.
- Silvonen, S., Niemistö, J., Csibrán, A., Jilbert, T., Torma, P., Krámer, T., Nurminen L. & Horppila J. 2021. A biogeochemical approach to evaluate the optimization and effectiveness of hypolimnetic withdrawal. Science of the Total Environment, 755: 143202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143202>
- Silvonen, S., Niemistö, J., Myrskyläinen, J., Kinnunen, O., Huotari, S., Nurminen, L., Horppila, J. & Jilbert, T. 2022. Extracting phosphorus and other elements from lake water: Chemical processes in a hypolimnetic withdrawal and treatment system. Water Research 218: 118507. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118507>
- Silvonen, S., Nurminen, L., Horppila, J., Niemistö, J. & Jilbert, T. 2023. Closed-circuit hypolimnetic withdrawal and treatment: impact of effluent discharge on epilimnetic P and N concentrations. Limnology 25: 87–95. <https://doi.org/10.1007/s10201-023-00732-7>
- Sharma S.K., Petrusevski P. & Schippers J.C. 2005. Biological iron removal from groundwater: a review. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua 54 (4), 239–247. <https://doi.org/10.2166/aqua.2005.0022>
- Taskinen, M. 2018. Vedenkäsittelyprosessin tehostaminen Nerkkoon vesilaitoksella – raudan ja mangaanin poisto sekä alkalointi. Lappeenranta University of Technology. Master's Thesis.