



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Nicolas Peart

# Alavudenjärven kunnostus hakebioreaktorilla

Lähtötilanteen kartoitus valuma-alueelle

Tekniikka  
2022

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Nicolas Peart
Opinnäytetyön nimi	Alavudenjärven kunnostus hakebioreaktorilla
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	37+3 liitettä
Ohjaaja	Asseri Laitinen

---

Alavudenjärveen kohdistuu ravinteita laajalta valumaalueelta. Järveä on kunnostettu ja kunnostusta halutaan lisätä. Esimerkiksi vesistöön laskevaan ojaan tai puroon asennettava bioreaktori on yksi keinoista vähentää ravinteiden kulkeutumista järveen. Se toimii parhaiden pintavesien puhdistukseen, jossa konsentraatio on suhteellisen pieni ja viipymä pitkäkestoinen.

Puuhakereaktori on varsin harvinainen, mutta voi olla typenpoistoon varsin kustannustehokas keino. Tässä työssä perehdytään tutkimuksiin bioreaktorin puhdistustehosta, sekä sen ominaisuuksiin. Bioreaktorin biologinen reaktio on bakteerien luoma denitrifikaatio, jossa jäteveden typpimuoto muuntuu kaasumaiseksi typeksi. Denitrifikaatiobakteerit vaativat vähähappiset olosuhteet, sekä ravintoa hiilen muodossa puuhakkeesta. Tässä selvitetään mitkä keinot edesauttavat reaktiota, ja paljonko typenpoistoa yleisesti tapahtuu. Tutkimukset ovat enimmäkseen Pohjois-Amerikasta, mutta myös lähiseudulta.

Tutkimuksista käy ilmi, että hyvää typenpoistoa voi odottaa, mikäli olosuhteet kohtaavat. Tutkimuksessa myös havaittiin, että viipymä, lämpötila, toksiset yhdisteet, pH, happiolosuhteet ja ravinteet luovat muuttujan, joka voi merkittävästi vaikuttaa reaktioon. Viipymän täytyisi olla niin pitkä, että reaktiolla on aikaa toteutua. Reaktiossa voi syntyä myös muita aineita kuten typenoksideja tai typpi voi pelkistyä takaisin ammoniakiksi, mutta näiden muodostumisosuus on hyvin pientä.

## ABSTRACT

Author	Nicolas Peart
Title	Woodchip bioreactor at the lake of Alavus
Year	2022
Language	Finnish
Pages	37+ 3 liitettä
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

---

The lake of Alavus has been contaminated from fertilizers within a broad drainage area. Work has been done to prevent it from eutrophication. More precaution is measured. For example a bioreactor installed in a ditch or stream flowing into the lake is one possible solution to prevent fertilizers from entering the lake. Bioreactor works best purifying surface water where concentrations are relatively low and residence time is long.

A wood chip bioreactor is still rare but may be cost-effective way to remove nitrogen. This thesis introduces studies on bioreactors properties and its effectiveness. In a bioreactor biological reaction occurs called denitrification created by bacteria, in which the nitrogen in the effluent is converted to gaseous nitrogen. Denitrification bacteria require low oxygen conditions, as well as nutrients in form of carbon from the wood chip. Studies find out what means contribute to the reaction and how much nitrogen removal can be expected. The studies are mostly from North America but also from the surrounding area.

Studies show that good removal can be expected if conditions arise. The study also found that residence time, temperature, toxic compounds, pH, oxygen conditions and nutrients create a variable that can significantly affect the reaction. The residence time should be long enough for the reaction to take place. Other substances such as nitrogen oxides may also be formed in the reaction or the nitrogen may reduce back to ammonia, but these possibilities are small.

---

Keywords            drain water purification, wood chip bioreactor, denitrification, biological purification

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	JÄRVIEN KUNNOSTUSTAVOITTEET .....	9
	2.1 Pintavesien tilan luokitus .....	10
	2.2 Järvien ravinnekuormitus .....	10
	2.3 Vesienpuhdistustekniikoita.....	11
	2.4 Fosfori .....	12
	2.5 Typpi.....	12
3	KOKEMUKSIA PUUHAKEBIOREAKTORISTA .....	14
	3.1 Tukkipuu biologisena kasvualustana .....	16
	3.2 Nitrifikaatio ja denitrifikaatio.....	16
	3.3 Muita typpikaasuja .....	18
	3.4 Fosforinsidonta .....	19
	3.5 Samanaikainen typenpoisto ja fosforinsidonta .....	19
	3.6 Puuhakebioreaktorin haasteita .....	20
4	PUUHAKEBIOREAKTORI ALAVUDENJÄRVELLE.....	21
	4.1 Perustietoa Alavudenjärvestä.....	21
	4.1.1 Valuma-alueen maankäyttö.....	22
	4.2 Hakereaktorin toimintaperiaate .....	23
	4.3 Hakereaktori sijainnit.....	25
	4.4 Kenttätutkimus .....	28
	4.4.1 Ravinnepitoisuuden nykytila .....	28
5	BIOREAKTOREIDEN SEURANTA .....	31
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	32
	6.1 Kehitysajatuksia .....	32
	LÄHTEET: .....	33

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Typen kierto yksinkertaistettuna. /15/ .....	13
Kuva 2. Jäteveden ja hakkeen suhde. ....	17
Kuva 3. Järven valuma-alue on 194 km <sup>2</sup> (QGIS). ....	22
Kuva 4. Valuma-alueen maankäyttöluokkien osuudet. ....	23
Kuva 5. Reaktorin toimintaperiaate. ....	24
Kuva 6. Alavudenjärven itäpuolelle asennettava bioreaktori. ....	25
Kuva 7. Reaktoreiden sijainnit. ....	26
Kuva 8. Neljännen bioreaktorin sijainti. ....	27
Kuva 9. Kokonaistyyppi kesäkuussa ja lokakuussa. ....	30
<b>Taulukko 1.</b> Kohteiden tiedot. ....	28
<b>Taulukko 2.</b> 16.6 ja 1.10.2021 otetut vesinäytteet. Näytteet on analysoitu SeiLab Oy:n toimesta. ....	29

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** SeiLab Oy Kesäkuun mittaustulokset osa 1/2.

**LIITE 2.** SeiLab Oy Kesäkuun mittaustulokset osa 2/2.

**LIITE 3.** SeiLab Oy Lokakuun mittaustulokset.

## 1 JOHDANTO

Alavuden kaupunki suunnittelee Alavudenjärven ekologisen tilan parantamista hakebioreaktoripuhdistamoilla.

Tämän työn tarkoitus on alustaa ja dokumentoida biosuodatinreaktorien rakennusvaihe Alavudenjärven valuma-alueille. Työssä myös tutkitaan puuhakereaktorin toimintaperiaatetta ja hyötyjä. Varsinainen Alavudenjärven ja sen valumavesien puhdistus on projekti, joka aloitettiin 2021 ja on monivuotinen prosessi. Alavudenjärvi on pitkään kärsinyt rehevöitymisestä. Aikaisempaan toimenpiteenä alueella on rakennettu Pahajoen kosteikko järven läheisyyteen. Kosteikon tarkoitus on toimia pidätysaltaana sekä sitoa kiintoaineita ja ravinteita. Toimenpidesuosituksen mukaan alueelle pitäisi rakentaa useampia kosteikkoja. Tässä työssä esitettävällä biosuodattimella halutaan osaratkaisua järven kuormitukseen. /1/

Opinnäytetyöprojektin kulku alkoi yhteydenotolla Alavuden kaupungin projektipäällikkö Timo Rintalan kanssa keväällä 2021. Silloin päätimme projektin ajanjaksoista. Alkukesästä otettaisiin ensimmäiset vesinäytteet, joiden tulokset kertovat tilasta ennen bioreaktorin rakentamista. Toiset vesinäytteet otettaisiin syksyllä ennen varsinaisen rakentamisen aloitusta. Itse rakentaminen tapahtuu loppuvuodesta 2021.

Järven ekologinen tila on hyvä. Se halutaan kunnostaa, jotta se pysyisi hyvässä kunnossa myös tulevaisuudessa. Mahdollisia toimenpiteitä on useita. Sen rantoja on siivottu, järveä on ruopattu 74 000 m<sup>3</sup>, haitallista särkikalaa on poistettu ja kosteikkoja on laajennettu vuonna 2020. Alueen maatalousharjoittajien kanssa on käyty myös keskusteluja reaktoreiden sijainneista. Biosuodattimen asettaminen maa-alueisiin on vaatinut yhteistyötä paikallisten kanssa, ja mukana on useita maatalousharjoittajia. Suodattimet sijaitsevat eri kohteissa.

Tämä työ on kirjallinen katsaus sekä dokumentoituva työ vesistöjen rehevöitymistä estävistä toimenpiteistä Alavudenjärven alueella. Työssä käydään läpi vesistöjen rehe-

vöitymistä vähentävät valtakunnalliset sekä paikalliset tavoitteet, selvitetään rehevöitymistä edistävien ravinteiden luonnetta ja miten ravinteiden kulkuun voidaan vaikuttaa. Suomessa hakebioreaktori on harvinaisuus. Tämä projekti on eräänlainen pilottihanke. Puuhakebioreaktori on enimmäkseen biologinen puhdistuskeino.



## 2 JÄRVIEN KUNNOSTUSTAVOITTEET

Valtakunnallisena tavoitteena on saavuttaa ja ylläpitää pintavesien luokittelussa minimissään hyvä tilaluokitus. Tämä tarkoittaa myös, että erinomaisiksi tai hyväksi luokiteltuja vesiä ei saa heikentää. Kunnostuksella parannetaan ja hoidolla ylläpidetään vesistön kuntoa. Järviökosysteemi on herkkä, ja sen olotila voi muuttua pienistäkin haittatekijöistä. On huomioitava, että myös luonnolliset tekijät vaikuttavat järven tilaan, kuten esimerkiksi maan kohoaminen.

Maakuntatasolla vesienhoito-ohjelma käsittää useita hoitoalueita. Hoitosuunnitelmissa perehdytään vesien tilaan ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Usein niille on asetettu tavoitteita, miten ja milloin saavutetaan vähintään hyvä tilaluokitus. Vesien tila arvioidaan ELY-keskuksen arvion mukaan. Suunnittelu jaksottuu kuuden vuoden välein. Alavudenjärvi sijaitsee Lapuanjoen valuma-alueella. Tämä projekti myös edistää osin Lapuanjoen hoito-ohjelman tavoitteita, sillä Alavudenjärven vedet valuvat Lapuanjoen kautta Perämerelle. /2/

Pintavesien suojelua, parantamista ja ennallistamista varten on vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä laki 1299/2004. Ympäristöministeriö sekä maa- ja metsätalousministeriö ohjaavat lain täyttöön panoa. ELY-keskus taas hoitaa lain mukaiset tehtävät. Seurannassa tehdään yhteistyötä myös Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen kanssa, sekä yhteistarkkailun voimin /3/. Talousvesien käsittelystä viemäriverkoston ulkopuolisilla alueilla on säädetty laki 157/2017. Asetuksella halutaan vähentää haja-asutuksen jätevesien vaikutusta vesistöihin. Myös maatalouden lannoitteiden käytöstä ja niiden haittavaikutusten pääsemisestä vesistöihin on säädetty nitraattidirektiivin mukainen asetus 1250/2014. Kaikilla yllä mainituilla asetuksilla halutaan vähentää ihmisten suoraa ja epäsuoraa kuormitusta vesistöihin.

## 2.1 Pintavesien tilan luokitus

Järven tilan tarkastelussa tutkitaan sen kemiallinen ja ekologinen tila. Kemiallisen tilan luokituksessa tarkastellaan vesissä olevien haitallisten tai vaarallisten aineiden pitoisuuksia verrattuna säädettyihin ympäristölaatunormeihin. Luokittelu on joko hyvä tai huono. Ekologisen tilan luokituksessa tarkastellaan kolmea seuraavaa laatutekijää:

1. Biologiset laatutekijät kuten plankton, pohjan piilevät, vesikasvit, pohjaeläimet ja kalat.
2. Fysikaalis-kemialliset tekijät kuten ravinteet, näkösyvyys, pH, lämpö ja happiolosuhteet.
3. Hydrologis-morfologiset tekijät kuten virtausolot ja vesistömuokkaus.

Näiden pohjalta järvi luokitellaan joko erinomaiseen, hyvään, tyydyttävään, välttävään tai huonoon luokkaan.

Järville annetaan ominaispiirre, kuten onko järvi luonnostaan matala, humuksinen tai ravinteikas. Järvet poikkeavat maaperältään, kooltaan tai valuma-alueen ominaisuuksiltaan toisiltaan jo luonnostaan. Tämän takia on tärkeää viitata järviin niiden luontaisten olojen mukaan. Järven tilaa verrataan sellaiseen tilaan, johon ei ole kohdistunut ihmisten aiheuttamaa vaikutusta. /4/

## 2.2 Järvien ravinnekuormitus

Nykyaikaisen maatalouden viljavuuden ja karjatalouden tehostamiseksi on käytetty lannoitteita. Ravinteet ovat tärkeä sadon määrää lisäävä tekijä. Silloin kuin ravinnetase on tasapainossa, ei ravinteista ole haittaa. Epätasapainoinen ravinnetase, missä ylimääräinen ravinne kulkeutuu muualle, on ongelma. Ravinteiden liukeneminen ja kulkeutuminen esimerkiksi vesistöjen kautta ympäristöön luo epätoivottua kasvua luontoon. Maatalous on suurin fosforin- ja typpipäästöjen lähde. /5/

Vesistön lisääntynyt ravinnekuormitus lisää kasvien kasvua ja vesistön rehevöitymistä. Ravinnekuormituksella voidaan viitata sisäiseen tai ulkoiseen kuormitukseen. On huomioitava, että tyrehdyttäessä ulkoisen kuormituksen, voi sisäinen kuormitus silti kasvaa esimerkiksi hapenpuutteen takia. Hapettomissa oloissa pohjasedimenttiin kiinnittynyt fosfori irtaantuu jälleen vesistöön.

Alavudenjärveen jää ravinteita, kun verrataan tulevan veden ja lähtevän veden fosforin- ja typen ainevirtaamia. Tätä todistavat M. Kalliolinnan vuonna 1999 tekemä kuormitus selvitys, J. Laakson tutkimukset vuonna 2017 sekä VEMALA-simulaation tulokset. /6, s.30-33/

### **2.3 Vesienpuhdistustekniikoita**

Puhdistustekniikoita on laajasti käytössä puhtaan juomaveden luomiseksi sekä yhdyskuntien jätevesien ja valumavesien puhdistamiseksi. Pintavesien puhdistuksessa käytetään yleensä edullisempia ratkaisuja kuten suodattimia. Suodattimet voivat toimia fysikaalisina suodattamina, jossa mekaanisesti siivilöidään suurimmat partikkelit. Biologisessa suodatuksessa toimintaperiaate perustuu bakteeritoimintaan, biofilmiin, jossa suodattimen pinnalla kasvavat bakteerit hyödyntävät ravinteita ravintonaan. Kemiallisessa suodatuksessa toimintaperiaate perustuu kemialliseen reaktioon, jossa veden laadussa tapahtuu muutos. Esimerkiksi saostuksen avulla molekyylit tarttuvat suodatusmateriaaliin. Jäteveden puhdistuksessa halutaan eroon sekä orgaanisista että epäorgaanisista yhdisteistä. Ne muodostuvat kiintoaineisina sekä liuonneina muotoina. Tässä työssä keskitymme biologiseen vesienpuhdistukseen. Puuhakereaktori on biologinen, jossa hakkeen pinnalle muodostuu biofilmi ja pinnalla olevat bakteerit voivat käyttää ravinteita. Puuhake toimii sekä kasvualustana että hiilen lähteenä. /7/ Aikaisempien tutkimusten valossa tällä tekniikalla fosforinpoisto ei ole kaikkein tehokkainta. Bioreaktori vähentää kiintoaineen kulkeutumista. Siten myös siihen kiinnittynyt fosfori puhdistuu. Hyötyteho riippuu pitkälti mallista ja materiaalista. /8/

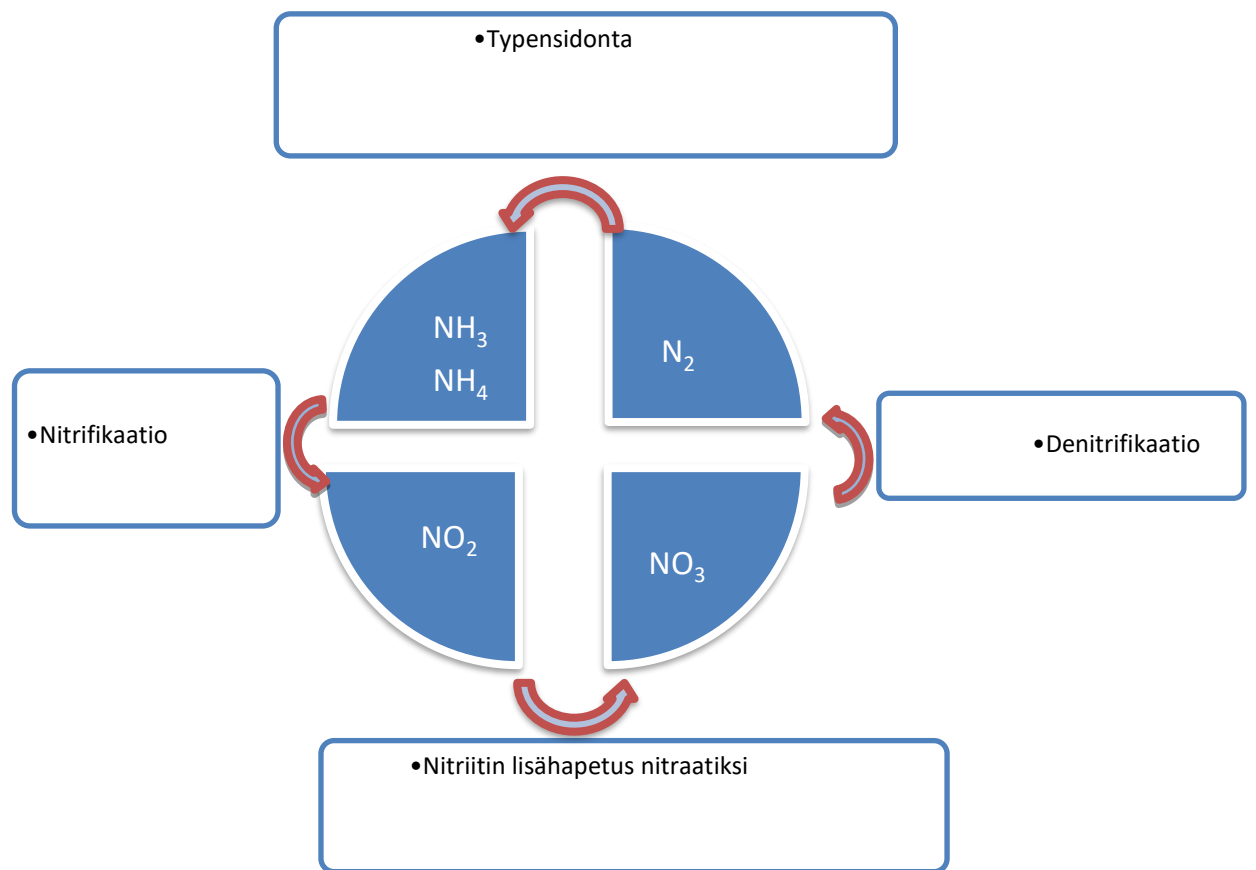
## 2.4 Fosfori

Fosfori on tärkeimpiä ravinteita pieneliöille ja kasveille. Usein se on ravinteista tärkein, eli kasvi ei kykene kasvamaan fosforipuutteen takia. /9, s.210/ Järven fosforipitoisuuden lisääntyessä järvi rehevöityy. Järvissä syntyvä happikato edistää myös pohjasedimentissä olevan fosforin liukenemisen uudelleen vesistöön. Fosforin kierto poikkeaa typen kierrosta. Fosfori kiertää kasvien ja eläinten kesken, kunnes se sedimentoituu taas osaksi vedenpohjaa. Fosforivarat ovat kivi-massassa, fosforimalmissa. Niinpä yleisesti lannoitteissa käytetty fosfori on louhittua. /10/ Maatalous on merkittävä fosforipäästöjen lähde vesistöihin /11/. Fosforimuodot jätevesissä ovat ortofosfaatteina, polyfosfaatteina sekä orgaanisina fosfaatteina. Fosfori on joko liuenneessa muodossa tai sitoutunut orgaaniseen aineeseen/12, s.63/.

## 2.5 Typpi

Typpi on myös rehevöitymistä edistävä tekijä vesistöissä. Typpi kiertää ilmakehän, kasvien ja vesistöjen kesken. Se on ilmakehän yleisin aine ja kasveille elintärkeä. Maataloudessa typpeä sidotaan satoon joko palkokasvien, karjanlannan tai teollisen tuotteen avulla. Typpeä esiintyy erilaisina typpiyhdisteinä (kuva 1), ja se liukenee veteen, yleisimmin nitraattina  $\text{NO}_3^-$ . Teolliseen lannoitustarkoitukseen sopivaa ammoniakkia ( $\text{NH}_3$  ja  $\text{NH}_4^+$ ) valmistetaan Haber-Boschmenetelmällä käyttäen ilman typpeä. Typen sitominen kasveille sopivaan muotoon tapahtuu bakteerien avulla. Nitrifikaatiobakteerit muuttavat ammoniakkin aerobisessa tilassa nitriitiksi ja nitraatiksi. Kasvit voivat käyttää tätä typpimuotoa, kuten myös ammoniumtyppeä  $\text{NH}_4^+$ . Typpi-ioni päättyy joko kasvin ravinteeksi, valumavesiin tai denitrifikoituu anaerobisessa tilassa takaisin typpikaasuksi. Nitrifikaatio ja denitrifikaatio ovat bakteeritoiminnan alaisia reaktioita. /13/

Typpimuodot jätevesissä ovat orgaaninen typpi, ammoniakki  $\text{NH}_3$ , ammoniumioni (pelkistynyt ammoniakki), nitraatti sekä pieniä määriä nitriittiä esiintyy jätevesissä. /14/



Kuva 1. Typen kierto yksinkertaistettuna. /15/

### 3 KOKEMUKSIA PUUHAKEBIOREAKTORISTA

Kokeellisia hakesuodattimia on tutkittu Pohjois-Amerikassa ja muutamia myös Suomessa. Suodattimen puhdistustehoon vaikuttavat puhdistettavan veden virtaus ja veden ominaisuus, kuten millaisia valumavesiä pyritään puhdistamaan ja millaisessa olosuhteessa.

Raportoitua pilotointia maatalouden salaojavesien puhdistamisesta hakkeella ja biohiilellä on tehty Sirppujoen (Satakunta) valuma-alueelta vuonna 2018. Vuoden kestänyt pilottihanke osoitti biohiilen sekä hakkeen suodattavan kokonaistyyppiä ja kokonaisfosforia hiukan. Kokonaistyyppien puhdistusteho oli pilotoinnin loppuvaiheessa hieman parempi. Suodatinmassojen eli hakkeen kokonaistyyppien pitoisuus kasvoi, kun taas kokonaisfosforin kasvu oli olematon. /16/

Avo-ojaan asennettavaa puuhakesuodatinta on testattu Satakunnan alueella vuosina 2004-2005. Malli poikkeaa merkittävästi muista malleista siten, että tässä kokeessa hake on pussitettu ja asennettu suoraan virtaaviin puroihin ja ojiin. Tämä koe ei ole verrannollinen, mutta antaa jonkinlaisen käsityksen aiheesta. Tuolloin puhdistusteho oli ensimmäisellä tutkimusajanjaksolla (5.2004- 4.2005) kokonaisfosforille 8-24 % ja kokonaistyyppelle 2-10 %. Kiintoainepuhdistus oli kuitenkin 20-50 % luokkaa. Toisella tutkimusajanjaksolla (5-8.2005) tulokset olivat heikommat ja joissakin tapauksessa jopa negatiiviset. Eli ravinnearvot saattoivat olla suuremmat hakkeen jälkeen. Tämä johtunee hakkeen sisältämästä irtoaineksestä, jotka ovat voineet lähteä liikkeelle. /17/

Molempien kokeiden loppupäätelmät kuvaavat hakesuodattimen korkeakustantaiseksi verrattuna hyötyihin. Molemmat olivat lyhytaikaisia kokeita (1 vuosi).

Pohjois-Amerikassa L. Christianson (2011) tutkima neljä bioreaktoria poisti nitraattia usean vuoden ajan välillä 11,7 -75,7 %. Kaikkien reaktoreiden, sekä vuosien keskiarvo oli 45,3 %± 21,6 %. Siellä tehdyn tutkimuksen mukaan viipymän pitäisi olla 15 tuntia tai enemmän. Alle 5 tunnin viipymä ei anna yhtä hyviä tulok-

sia. Viipymän pitäisi olla niin pitkä, että luonnolliset reaktiot toteutuvat /18/. Esimerkiksi tutkimuksessa C. Greenan jopa 50 mg/l konsentraatioinen nitraatti vaati viisi päivää täydellisen denitratifikaation toteutumiseksi. /19/

M. David (2015) tutki joen valuma-alueelle asennetussa reaktiossa kolmen vuoden ajalta. Tässä tutkittiin maissi- ja soijapapupeltojen nitraatin tulo- ja lähtömäärä reaktoriin. Tulokset olivat vaihtelevia, ensimmäisenä vuotena nitraattitypen poisto oli 81 %, toisena vuotena 3 % ja kolmantena vuotena 7 %. Kokonaisfosforin määrä kasvoi reaktorin jälkeen. /20/

Laajassa pohjoisamerikkalaisessa metatutkimuksessa havaittiin seuraavanlaisia havaintoja. Tutkimus käsittelee 26 julkaistua raporttia ja näiden yhteensä 57 erilaista bioreaktiota. Reaktiotyyppejä myös tutkittiin. Erilaisia reaktiotyyppejä oli kolme: vaakasuorainen peti kentällä, pystysuorainen peti laboratorio-oloissa sekä seinämä. Vaakasuorainen peti (samanlainen kuin tässä hankkeessa) osoittautui laboratoriomallin ohella tehokkaimmaksi malliksi /21/. Tutkimuksessa käy ilmi, että nitraattipoistumatehokkuus on suurempi mitä korkeampi on jäteveden tyypimäärän konsentraatio /22/. Voimme päätellä, että bioreaktorit eivät tule kyläläiseksi tyypestä. Pitoisuuksien ylin arvo tutkimuksessa oli 30 milligrammaa tyypeä per litra, ja tämä oli luultavasti kylläisyysasteen alapuolella.

Nitraattipoistuma oli tehokkaampaa kuuden tunnin ja sitä pidemmässä viipymässä. Tehokkuus on parhaimmillaan yli 20 tunnin viipymällä. Reaktioiden tehokkuus ajan funktiona on parhaimmillaan alle vuoden ikäisenä. Tehokkuus laskee ensimmäisen vuoden jälkeen. Tämän jälkeen tehokkuuden oletetaan stabiloituvan, tosin pitkäaikaisista, 3- 10 vuotta kestävästä tutkimuksista on puutetta. Tämän metatutkimuksen typenpoiston keskiarvo vaakasuorisella malilla oli 4.7 g N/m<sup>3</sup> päivässä. Tässä metatutkimuksessa käytettiin tilavuutena bioreaktorin tilavuutta, eikä veden tilavuutta. /22/

J. Audet (2021) tutkimus Tanskasta kertoo kokonaistypen poiston vaihtelevan 17-73 %. Useana vuonna tehdyt mittauksen tulosten keskiarvo oli 36,84%. Tutkinta

kohteena oli kahdeksan reaktoria 2-4 vuoden ajan. Tutkimus osoitti poistotehon parantuvan pitempien viipymien kanssa. Alle 40 tunnin viipymät osoittivat alle 40 % poistoteho, kun taas kaikkein pidempiaikaisten (117-153 tuntia) poistoteho oli 44-73 %. Nitraatin osuus tulevan kokonaistypen osuudesta oli korkea 80-90 % luokkaa. Reaktorit olivat pinnaltaan paljaita, eli päällä ei ollut maa-ainesta. /23/

C. Lepine (2015) tutkimuksessa vertailtiin viipymän vaikutusta typenpoiston tehokkuuteen. Tutkimuksesta tuli ilmi, että bioreaktorin tulevan ja lähtevän veden hyötysuhde kasvaa pidemmän viipymän ansioista. Itse poistuman tahti  $g\ N/m^3$  per aika pysyi kuitenkin suhteellisen vakiona. /24/

### **3.1 Tukkipuu biologisena kasvualustana**

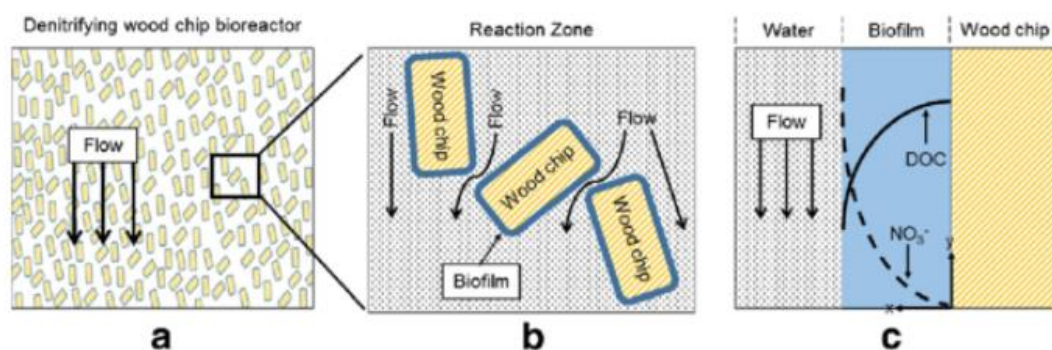
Kelluvan tukin pinnalle muodostuu päällyskasvustoa, biofilmiä, joka on pohjaleviä, bakteereita, sieniä ja alkueläimiä. Nämä tarvitsevat ravinteita ja metalleja kasvaakseen. Tärkeitä aineita kasvuun ovat pusta saatavan hiilen lisäksi typpi ja fosfori. Tässäkin kasvualustassa enemmän kasvua havaitaan korkeammassa lämpötiloissa. Tukkien mahdollisuutta toimia yksinkertaisena biologisena valumavesien puhdistajana on tutkittu PuuMaVesi-hankkeessa (2018-2020). Vesistöihin asennettiin rankapuita pinoittain. Hankkeella vähennettiin kiintoainekulkeutumista ja edesautettiin päällyskasvuston muodostumista. Tämä tutkimus perustui metsätalousvaltaisille alueille. On huomattava, että lyhyen ajan (1kk) laboratoriotutkimuksissa puusta vapautuivat helppoliukoiset yhdisteet, jonka seurauksena veden laatu heikkeni. Tämä ei ole hakebioreaktori, mutta samalla tavalla pyritään hyödyntämään puuta vesienpuhdistuksessa. /25/

### **3.2 Nitrifikaatio ja denitrifikaatio**

Nitrifikaatio on biologinen prosessi, jossa kahden vaiheen kautta bakteerit hapettavat ammoniumintypen ( $NH_4^+$ ) nitriitin ( $NO_2^-$ ) kautta nitraatiksi ( $NO_3^-$ ). Nitrifikaatiobakteeri tarvitsee happea, jotta prosessi toimii. /26, s.212-216/



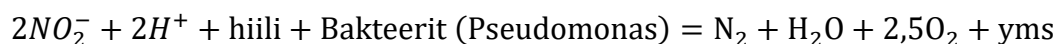
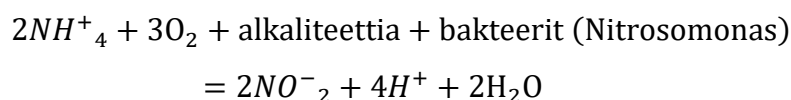
Denitrifikaatio, toisin sanoen typenpoisto, on reaktio, jossa bakteerit pelkistävät nitraatin  $\text{NO}_3$  kaasumaiseksi, haihtuvaksi typeksi  $\text{N}_2$ . Reaktio vaatii hapettomat olosuhteet, sillä bakteerin halutaan käyttävän happimolekyylin nitraattitypestä /27, s.11/. Hapellisissa oloissa happi saatetaan ottaa vedestä, tai veden pitäisi olla vähintään anoksinen/28/. Denitrifikaatiota varten tulevan typen muodon tulee olla ensisijaisesti nitraattia  $\text{NO}_3$ .



Kuva 2. Jäteveden ja hakkeen suhde.

A. Veden kulkeutuminen bioreaktorissa. B. Biofilmin muodostuminen hakkeen pinnalle. C. Liuenneen hiilen ja nitraatin suhde biofilmissä. X-akseli kuvaa biofilmin syvyyttä. Y-akseli kuvaa konsentraatioita. Kuva on muokattu lähteestä /46/.

Kiinteälustainen biofilmi muodostaa kaksi kerrosta. Ulompi on aerobinen ja sisempi anaerobinen kerros. Reaktiossa tarvitaan myös hiiltä, jota saadaan puun aineksista. Denitrifikaatiobakteerit voivat saada osan energialähteestä myös mukana kulkeutuvista orgaanisista aineista. Typen kiertokulkua voidaan denitrifikaation avulla muuttaa pois pintavesiä vaikuttamasta. Tämä vaatii sen, että typpiyhdisteitä hajottavat bakteerit pääsevät vaikuttamaan ennen kuormitetun veden valumista järviin. Lämpötila vaikuttaa myös, joten talviaikaan ei voida odottaa suurta typenpoistoa. Aiemmista tutkimuksista käy ilmi, että denitrifikaatiota tapahtuu vielä alle  $6^\circ$  celsius asteessa /29/. Biokemiallinen kaava voidaan merkitä seuraavalla tavalla:



Kaava on muokkaus P. Rantanen työstä /30/ ja Biological nutrient removal kirjasta /31/.

Optimaalinen tila nitrifikaatiolle vaatii nitrifikaatiobakteereille seuraavanlaiset olosuhteet. Otollinen pH on välillä 7 ja 8. Liuenutta happea on mielellään 2-3 mg/l, ja käymisaikaa riittävästi, jossa lämpötila mielellään yli 7°C astetta (Optimaalisinta 30-35°C). Myrkyllisiä aineita ei saa olla, eikä korkeaa orgaanisen aineen määrää, sillä nitrifikaatiobakteerit kilpailevat orgaanisten bakteerien kanssa.

Optimaalinen tila denitrifikaatiolle on anoksinen tila, jossa happea on vähemmän kuin 0,1 mg/l ja hiililähde on olemassa. Huomioitavaa on, että hiililähtöinen biologinen hapenkulutus on 2,86-kertainen jokaista milligrammaa denitrifikoitua nitraattia kohden /31/, /26/.

### 3.3 Muita typpikaasuja

Pitää myös huomioida mahdollisia syntyviä typenoksideja N<sub>2</sub>O ja NO, jotka ovat kasvihuonekaasuja. Nämä voivat muodostua varsinkin kylmissä ja happamissa oloissa /32, s.23-24/. Typenoksidi syntyy, kun reaktio ei ole täydellinen, esimerkiksi kun hiiltä on vähän ja nitraatin konsentraatio korkea /33/. Näiden kasvihuonekaasujen muodostuminen on kuitenkin pientä. S. Aallon (2018) tutkimuksen mukaan epätäydellisen denitrifikaation osuus, jossa muodostuu N<sub>2</sub>O, oli 1-6 %.

On myös mahdollista, että nitraatti pelkistyy takaisin ammoniumiksi. Tätä on vältettävä, sillä se kuormittaa jälleen vesistöjä. Tämä voi tapahtua, jos hiilen osuus on suuri verrattuna nitraattiin. Nitraatin pelkistyminen ammoniumiksi on tutkimuksen mukaan 5-23 % välillä. /33/

### 3.4 Fosforinsidonta

Puuhakebioreaktoreissa fosforinpoistosta on vaihtelevia tuloksia. Ne voivat olla pieniä poistoja, tai fosfori sitoutuu kiintoaineeseen. Tulokset voivat olla poiston suhteen negatiiviset, eli suodattimen läpimittauksessa havaitaan korkeampia fosforiarvoja. /34, s.135-143/

Biologinen fosforinpoisto perustuu prosessille, jossa hapellisessa ja hapettomassa tilassa bakteerit joko vapauttavat fosforia tai sitovat sitä. Fosforin sidonta perustuu siihen, että aerobisessa tilassa bakteerit sitovat enemmän fosforia itseensä kuin sitä vapautuu anaerobisessa tilassa. Näin ollen fosforin sidonnalla on positiivinen nettovaikutus /31/. Bioreaktorin fosforinpuhdistustekniikka ei ole varmistettu. Voi myös olla, että puun metalliyhdisteet sitovat fosforia /35, s.13/. Kansainvälisesti yhdyskuntien fosforinpuhdistuksessa käytetään yleisesti biologista fosforinpoistoa. Suomessa yhdyskuntien jätevesissä fosforinpoistoon käytetään biologisen poiston lisäksi kemiallisia keinoja, kuten rautasulfaattia tiukkojen lupamääräyksien vuoksi. /36/

Puuhakereaktorissa fosforinpoisto on hankalaa, sillä prosessia ei pysty aktiivisesti hallitsemaan. Tärkeimpiä prosessin hallitsemiskeinoja on lisähapetus. Lisäksi kiintynyt fosfori pitäisi poistattaa jatkuvasti reaktorista. /37/

### 3.5 Samanaikainen typenpoisto ja fosforinsidonta

Anaerobisessa tilassa nitraatti häiritsee PAO-bakteeria (phosphorus Accumulating organisms), joka vaatii tiukat anaerobiset olosuhteet biologiselle fosforinpoistolle. Denitrifikaatio-prosessi vaatii myös orgaanista ainetta, mikä vaikuttaa fosforinpoistoon/38/. Tämä vaatii tiukkaa kontrollia olosuhteista. Reaktion jälkeen täytyisi asettaa aerobinen vaihe, jossa vapautunut fosfori voi absorboitua. /30/

### 3.6 Puuhakebioreaktorin haasteita

Jotta puhdistusteho olisi kaikkien tehokkainta, olisi saavutettava optimaaliset olosuhteet bakteereille. Tähän vaikuttavat merkittävästi pH, ravinteet, toksiset yhdisteet, happiolosuhteet sekä lämpötila. Esimerkiksi bakteeritoiminta hidastuu/kasvaa kaksinkertaisesti jokaista kymmenen asteen muutosta kohti.

Aerobisten ja anaerobisten tilojen hallinta on yksi haasteista. Molempia olotiloja tarvitaan erilaisten prosessien saavuttamiseksi. Yhdyskuntien vesienpuhdistuksessa on yhdistettyjä prosesseja typen ja fosforin poistamiseksi, ja näiden kaavio-toiminta noudattaa lietteen kierrättämistä anaerobisen, anoksisen ja aerobisen tilan välillä.

Puhdistustehon määrittäminen prosenttiyksiköllä ei ota huomioon jäteveden konsentraatiota. Tämä on siis huomioitava esimerkiksi silloin kun vertaillaan tuloksia toisiinsa. Voidaan olettaa, että puhdistusteho vaihtelee konsentraation kanssa, sillä prosessilla on optimaalinen ravinnesuhde. Vaihtelevat kohteet, vuodenajat ja sääolot luovat vaihtelevia konsentraatioita. Myös viipymä luo muuttujan, joka vaikuttaa puhdistustehoon. Puhdistustehon yksikkönä voidaan käyttää poistettu typen massa per kuutio päivässä.  $N \text{ g/m}^3 \text{ d}$ .

Prosessi on passiivinen eli ulkopuolisesti siihen ei vaikuteta. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessia ei voida optimoida. Mikäli lämpötila, happimäärä tai pH muuttuu, taikka myrkyllinen aine sekoittuu, ei siihen pystytä vaikuttamaan. Tällöin bakteerit eivät tee suunniteltua työtä, eikä toivottua typenpoistoa tapahdu.

## 4 PUUHAKEBIOREAKTORI ALAVUDENJÄRVELLE

Alavudenjärven bioreaktorien rakentamisesta ja suunnittelemisesta vastaa suunnittelubiologi Juha Siekkinen. Puuhakebioreaktorit asennettiin alkutalvesta 2021.

Hakereaktorit sopivat parhaiten valumavesien ja hulevesien puhdistamiseen. Tällaisia vesiesiintymiä ovat poisjohdettavat sulamis- ja sadevedet maatalous-, metsätalous- ja asuinalueilta. Käyttö perustuu luontaiseen materiaaliin, eikä se vaadi ulkoista energiaa toimiakseen. Biologinen toiminta tapahtuu luonnostaan valitsevissa olosuhteissa. Reaktori vähentää parhaiten typpiyhdisteitä sekä kiintoaineita. Se poistaa nitraattia vesistä muuttaen sen kaasumaiseksi typeksi, joka poistuu ilmakehään. Bioreaktorin toimintakyky on vuosia, jopa vuosikymmen ja enemmän. /21/, /39/

### 4.1 Perustietoa Alavudenjärvestä

Järvi on pintavesityypiltään luokiteltu matalaksi runsashumuksiseksi järveksi. Alavudenjärvi ja sen vesistö kuuluu Lapuanjoen vesienhoitoalueeseen. Vesistö saa alkunsa Sapsalammesta, josta se valuu Pahajoen kautta Alavudenjärvelle. Alavudelta vesi valuu Lapuanjoen kautta Perämereen. Järven ekologinen tila on luokiteltu hyväksi, mutta vuosien 2016-2021 vesienhoidon toimenpideohjelmasa sen tilan arvioitiin olevan riskissä huonontua. Rehevyys ja kiintoainekuormitus arvioitiin pääsylliseksi. Ravinnepitoista vettä tulee yläjuoksusta sekä järveen valuvista muista lähteistä järven ympärillä. Järven valuma-alue on hyvin laaja. /40/

”Ehdotus vesienhoidon toimenpideohjelma 2022-2027”-raportti kuvaa Alavudenjärven kohdistuvan maa- ja metsätalouden kuormitusta niin, että sen tila on uhattuna. Tavoite on vähentää ravinnekuormitusta < 10 % sekä humuspitoisuuden kasvun pysäyttäminen. /41, s. 177-178/

Järvi on pinta-alaltaan 1,59 km<sup>2</sup> ja rantaviiva on noin 9 km verran. Valuma-alue on suuri 194 km<sup>2</sup> (kuva 3). Sen keskisyvyys on 2,7 m ja suurin syvyys 9,4 m.

Järveen laskeutuva Pahajoen alkupää on Sapsalampi. Viipymä on M. Kalliolinnan vuoden 2000 selvityksen mukaan 1,1 kuukautta ja Vemala-simulaation mukaan 0,9 kuukautta. Pahajoen pituus on 15 km ja valuma alue 176 km<sup>2</sup>. Siihen laskeutuu myös Edesjärven puro. /42/














Kuva 3. Järven valuma-alue on 194 km<sup>2</sup> (QGIS).

#### 4.1.1 Valuma-alueen maankäyttö

Työssä käytettiin GIS (Geographic Information System)-ohjelmaa valuma-alueen tunnistamiseksi, sekä valuma-alueen maankäytön luokituksen määrittämiseen.

Ohjelman vesimuodostuman tiedot ovat peräisin SYKE:n avoimen tietopalvelun kautta ladatusta paikkatietoaineistosta. Valuma-alueen tiedot ovat peräisin VALUE-valuma-alueen rajaustyökalun kautta /43/. Työkalu hyödyntää virtaussuuntamallia ja SYKEN:n uomaverkostoa. Maankäyttöjakauma on Corine Land cover 2018-maanpeiteainestoa. Aineisto luodaan maastotietokannasta, satelliittikuvis- ta, peltolohkokasteristä sekä rakennusrekisten tiedoista.

	Havumetsät kivennäismaalla	39 %
	Pellot	15 %
	Havumetsät turvemaalla	9 %
	Sekametsät kivennäismaalla	8 %
	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla	6 %
	Järvet	4 %
	Havumetsät kalliomaalla	3 %
	Harvapuustoiset alueet , cc <10%	2%
	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla	2 %
	Pientaloalueet	1 %
	Turvetuotantoalueet	1 %

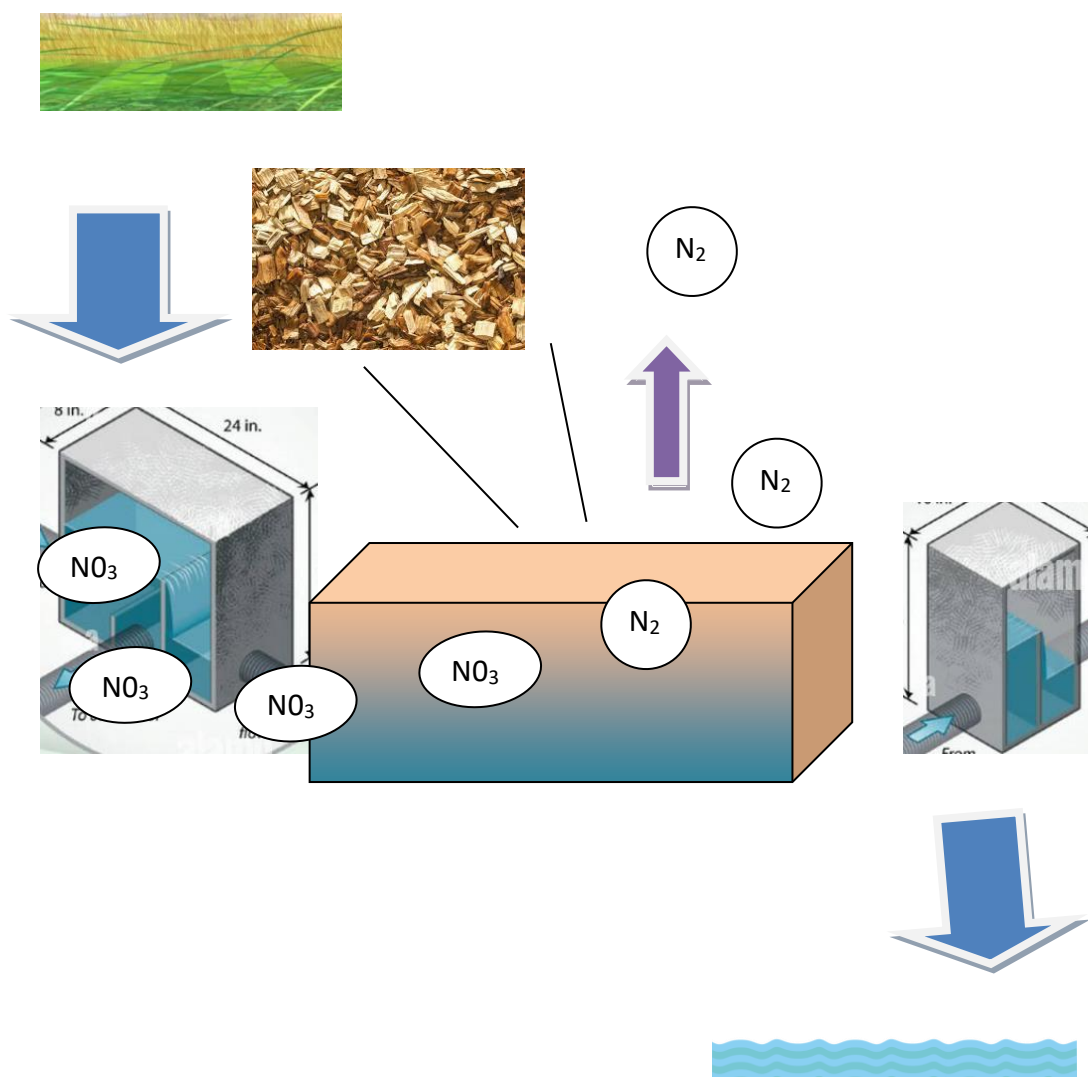
Kuva 4. Valuma-alueen maankäyttöluokkien osuudet.

#### 4.2 Hakereaktorin toimintaperiaate

Vesi johdetaan vedensäätölaitteiston kautta hakekentälle (kuva 5). Kentällä vedellä on viipymä, jonka aikana reaktiot puuhakkeessa tapahtuvat. Hakekenttä voi olla vaakasuunnassa tai pystysuunnassa järveen nähden. Vesi valuu tästä toisen vedensäätölaitteiston läpi järveen. On huomioitava, että hake menettää puhdistustehoaan, joten sitä on tarpeen vaihtaa vuosien saatossa. Kylläinen hake voidaan käyttää maanparannusaineena jälkepäin.

Reaktori on tulvasuojattu. Mikäli vettä valuu normaalia enemmän ojissa, vesi juoksee vedensäätölaitteiston läpi ja ohittaa hakekentän, päätyen näin samassa yhteydessä rakennettuun mineraaliseen suodatuspetiin. Tämän avulla liiallinen vesimäärä estetään. Tämä auttaa myös siihen, ettei reaktorin eteen muodostu

lampea. Toinen vedensäätölaitteisto reaktorin alapuolella toimii vesimäärän sää-  
timenä reaktorin sisällä. Tällä toteutetaan reaktorin tilavuudellinen vesimäärä, ja  
viipymää voidaan hallita /38/.



Kuva 5. Reaktorin toimintaperiaate.

Seuraava kuva (kuva 6) on reaktorin asennuspaikasta. Kuoppa rakennettiin  
kaivinkoneella. Väliin laitettiin muovisuoja, jotta vesi ei sekoitu maaperään.  
Hakkeen kasaamisen jälkeen päälle asennettiin vielä hiukan multaa.

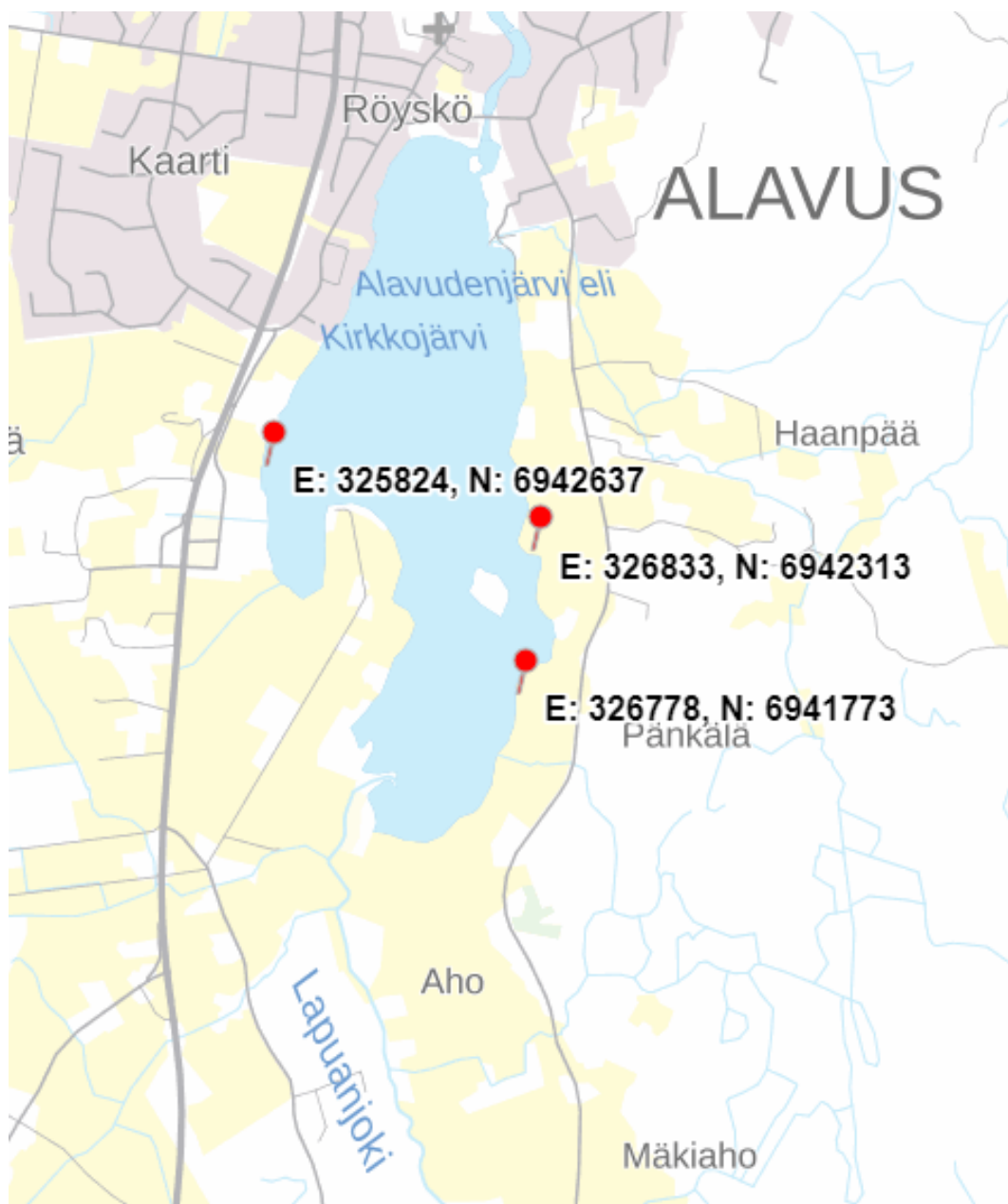




Kuva 6. Alavudenjärven itäpuolelle asennettava bioreaktori.

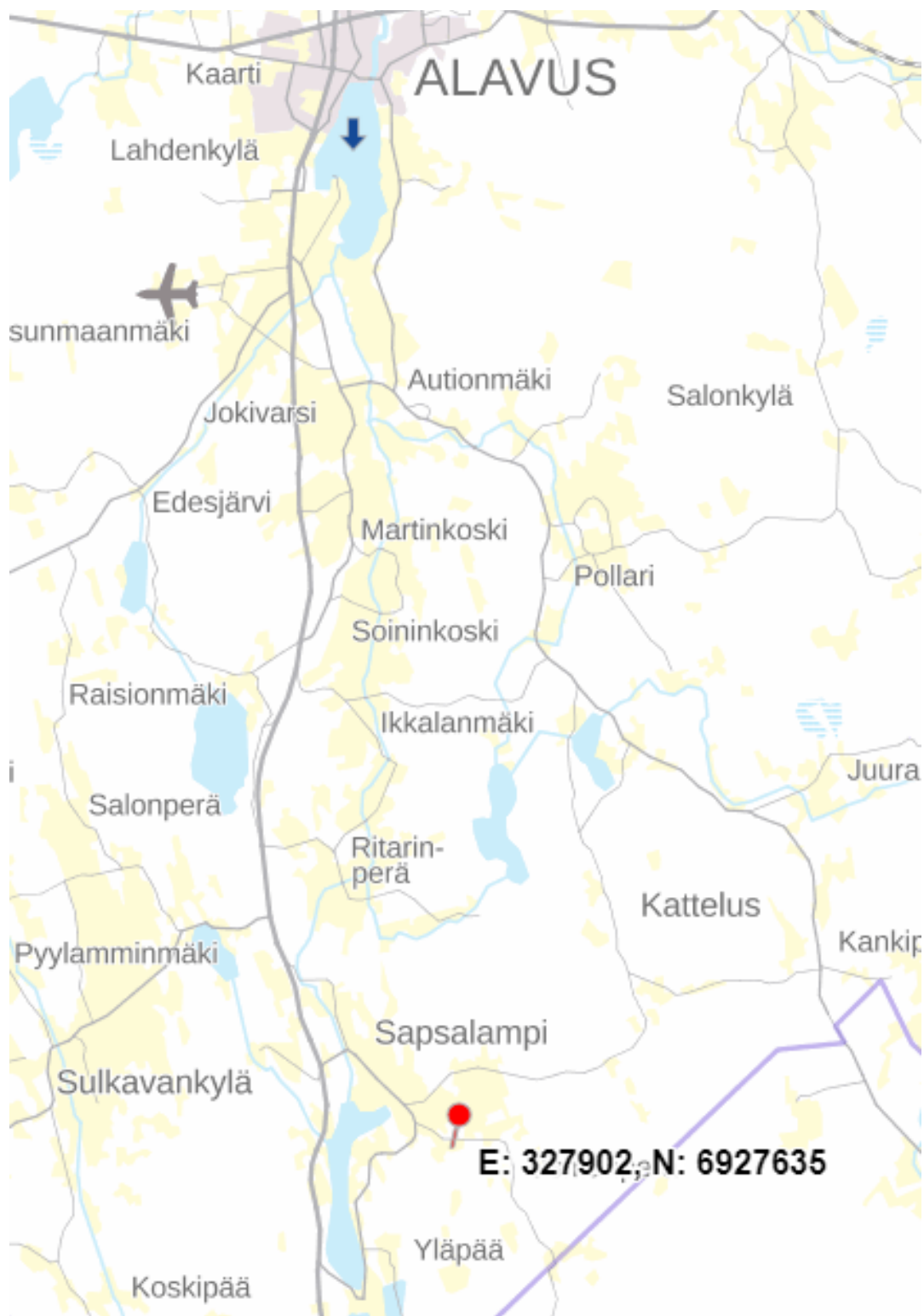
### **4.3 Hakereaktorien sijainnit**

Bioreaktoreiden sijainnit vastaavat näytteenottosijainteja (kuva 7). Ne on määritetty lähelle järven ja ojitusten yhtymäkohtia, jotta ne keräisivät mahdollisimman alueen ojiin muodostuvista valumavesistä.



Kuva 7. Reaktoreiden sijainnit.

Neljäs bioreaktori sijaitsee Sapsalammen lähetyvillä (kuva 8). Alavudenjärven vesi saa alkunsa Sapsalammesta. Yksi kohde jäi rakennusvaiheessa pois, mutta saattaa mahdollisesti toteutua myöhemmin.



Kuva 8. Neljännen bioreaktorin sijainti.

**Taulukko 1.** Kohteiden tiedot.

Kohteen nimi	Pyylampi	Tusa	Kirmanen	Korpi
Kohteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-järjestelmä	N:6942637 E:325824	N:6942313- E:326833	N:6941773 E:326778	N:6927635 E:327902
Tilavuudet	21m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	52 m <sup>3</sup>	45 m <sup>3</sup>

#### 4.4 Kenttätutkimus

Kenttätutkimukset eli vesimittaukset, suoritetaan moninkertaisesti. Ensimmäinen tehtiin kesällä 2021, toinen syksyllä 2021 ja muut suoritetaan rakentamisen jälkeen. Syksyn mittaukset suoritettiin ennen työvaiheen aloittamista. Kenttätutkimuksilla halutaan dokumentoida ravinteiden arvoja. Näitä arvoja ovat kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, kiintoaine ja biologinen hapenkulutus (BOD7). Ensimmäinen kenttätutkimus suoritettiin kesäkuun 11. päivä vuonna 2021. Tällöin otettiin näytteet Vaasan ammattikorkeakoulun laboratoriotutkimukseen. Näytteitä otettiin myös kesäkuun 16. päivä, jolloin näytteet lähetettiin SeiLab Oy Haapaveden toimipisteeseen. Syksyn mittaukset suoritettiin 1.10.2021.

##### 4.4.1 Ravinnepitoisuuden nykytila

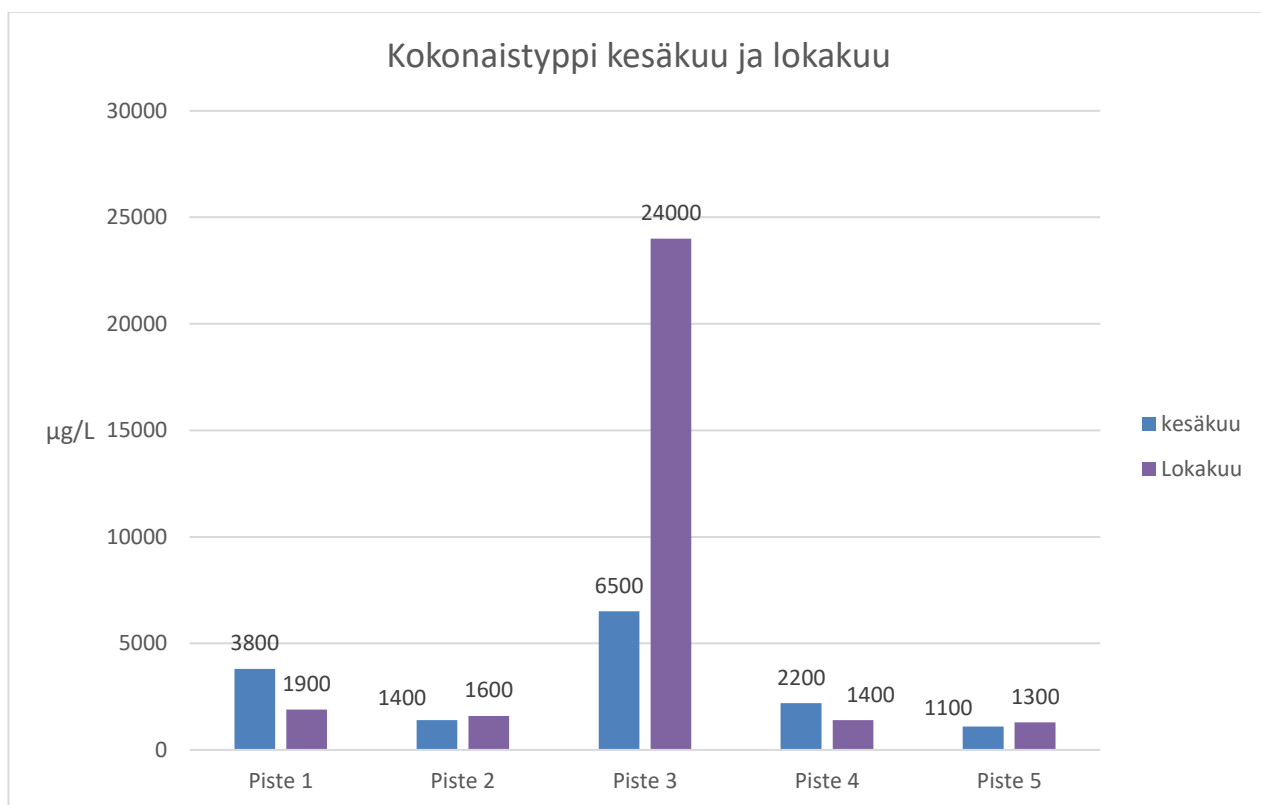
Kesällä ja syksyllä otetut vesinäytteet on otettu ennen reaktorin asentamista (taulukko 2). Ne on otettu niiltä pisteiltä ja ojilta, joihin reaktorit asennetaan. Ne ovat siis jäteveden arvoja. Niiden arvojen on tarkoitus osoittaa kohteen ominaisravinnepäästöt vallitsevien olosuhteiden puitteissa ennen reaktoreiden rakentamista.

**Taulukko 2.** 16.6 ja 1.10.2021 otetut vesinäytteet. Näytteet on analysoitu SeiLab Oy:n toimesta.

	Kokonaisfosfori		Kokonaistyyppi		Kiintoaine		BOD7	
	16.6	1.10	16.6	1.10	16.6	1.10	16.6	1.10
<b>Piste 1</b>	1217	151	3800	1900	33	7	12	3.2
<b>Piste 2</b>	242	141	1400	1600	12	14	2.5	1.3
<b>Piste 3</b>	830	1962	6500	24000	6	67	3.8	6.7
<b>Piste 4</b>	2066	575	2200	1400	36	8	10	3.8
<b>Piste 5</b>	278	368	1100	1300	40	24	1.2	4.9
<b>yksikkö</b>	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<b>epävarmuus%</b>	18	18	15	15	16	16	15	15

16.6 ja 1.10.2021 otetut vesinäytteet. Näytteet on analysoitu SeiLab Oy:n toimesta.

Kokonaisfosfori selvittää kaikkia vedessä olevien erimuotoisten fosforeiden määrän. Kokonaistyyppi selvittää veden kaikkien tyyppien esiintymismuotoja (kuva 9) /44/. Kesäkuussa otetut näytteet vastaavat ominaisuuksiltaan vettä, joka on virtauksen suhteen pieni tai pysähtynyt. Vesinäytteiden konsentraatio voi olla täten korkea.



Kuva 9. Kokonaistyyppi kesäkuussa ja lokakuussa.

## 5 BIOREAKTOREIDEN SEURANTA

Tutkimuksia Alavudenjärven ja sen valuma-alueen kuormituksesta löytyy Johanna Laakson Pohjanmaan Vesi ja Ympäristö ry:n teettämästä raportista ”Alavudenjärven valuma-alueen toimenpidesuunnitelma” /6/. Lisäksi siinä käydään läpi vuonna 1999 tehtyä selvitystä kuormituksesta sekä VEMALA simulaation tuloksia.

VEMALA on vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä, jonka avulla voidaan simuloida seuraavia asioita. VEMALA-N simuloi maankäyttömuotojen, viljelykasvien ja lannoitusten nitraatin huuhtoutumista ja niihin liittyvät reaktiot. VEMALA-ICECREAM simuloi fosforin kuormitusta. SVemalla voidaan simuloida vähentyneen ravinnetaseen vaikutusta järveen. Nämä auttavat vesienhoidon suunnittelussa.

Reaktoreista voidaan ottaa määrittelevät vesinäytteet, joko nitraattina, jolloin voidaan määritellä tarkasti reaktion puhdistustehoa, tai kokonaistypen kautta, jolloin myös muut typenmuodot vaikuttavat tulokseen. Typpimuotojen suhteelliset muutokset tulo- ja lähtövesinäytteissä kertovat nitrifikaation ja denitrifikaation toiminnasta /44/. Hienosäätöä voidaan harkita, mikäli näytteet viittaavat epätäydelliseen denitrifikaatioon. Esimerkiksi matala nitraatti osuus kokonaistypestä, voi viitata siihen, että reaktiossa tapahtuu ammonifikaatiota. Vesimittauksia on määrää ottaa käyttövuosien aikana.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Voimme odottaa tehokasta typenpoistoa reaktorista. Kun olosuhteet kohtaavat suotuisasti, voimme odottaa korkeahkoa denitrifikaatiota, eli typen liuennut muoto eli nitraatti poistuu kaasuna ilmaan. Positiivisena seurauksena ravinnetta on vähemmän järvessä, siitä valuvassa joessa ja meressä. Vesistön kasvillisuuden rehevöityminen pienenee siellä missä typpiravinne on kasvua edistävä tekijä. Fosforin poistosta ei tutkimuksien valossa voida odottaa suuria reduktioita. Fosfori vaatii erilaisen prosessin typenpoistoprosessin ohella. Yhtäaikainen typpi- ja fosforinpoisto on hankala, eikä se ole tehokasta hallitsemattomissa olosuhteissa. Bioreaktorin vahvuuksiin kuuluu passiivisuus, joten monia hallitsemiskeinoja ja tapahtumia ei haluta lisätä. Näin ollen typenpoistotehokkuus vaihtelee varmasti paljon vuodenaikojen välillä.

Jotta typenpoisto olisi optimaalisinta, tulisi miettiä, miten jäteveden nitraattipitoisuus voidaan maksimoida. Pitäisi tutkia paljonko reaktoriin tulevassa jätevedessä on muita typpiyhdisteen muotoja. Ammonium-muotoinen typpi on myös kaloille myrkyllinen. Mikäli muiden typpiyhdisteiden osuus on korkeahko, voidaan miettiä lisähapetuksen tarvetta /26, s.211/. Tällöin saavutetaan denitrifikaatiolle sopivin typen muoto  $\text{NH}_3$ . Hakkeen kulumista pitäisi valvoa ajan saatossa, sekä kyllästymisen muodossa että maatumisen muodossa. Hiililähteestä voi tulla reaktiota rajoittava tekijä.

### 6.1 Kehitysajatuksia

Yllä mainitun nitraattiosuuden kasvattamisen lisäksi voidaan miettiä, miten muita ravinteita saataisiin puhdistettua mahdollisimman tehokkaasti. Olisi suotavaa miettiä myös tehokasta fosforinpoistoa. Tämä voidaan tehdä lisäämällä fosforia absorboivaa metallirouhetta. Puhdistusteho voi olla noin 50 % luokkaa. /45, s.129-139/



**LÄHTEET:**

1. Salomäenpää M. 2019. Alavudenjärveä uhkasi rehevöityminen-järveä on kunnostettu nyt kahden vuoden ajan. Yle uutinen. Viitattu 4.2.2022 <https://yle.fi/uutiset/3-10789401> .
2. Ympäristö.fi. 2021. Vesienhoidon suunnittelu ja yhteistyö. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Viitattu 11.5.2022 [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/vesienhoidon\\_suunnittelu\\_ja\\_yhteistyö](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö)
3. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 2016. Pintavesien tilan seuranta. Viitattu 4.2.2022.
  - a. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Vesi/Pintavesien\\_tila/Pintavesien\\_tilan\\_seuranta?f=EtelaPohjanmaan\\_ELYkeskus](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_tilan_seuranta?f=EtelaPohjanmaan_ELYkeskus)
4. Luonnontila.fi 2014. sisävesien ekologinen tila. Viitattu 16.3.2022 <https://www.luonnontila.fi/fi/elinymparistot/sisavedet/sv8-sisavesien-ekologinen-tila>
5. Ympäristö.fi. 2019. Vesistöjen kuormitus ja luonnon huuhtouma. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Viitattu 11.5.2022 [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/vesistöjen\\_kuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesistöjen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma)
6. Laakso J. 2017. Alavudenjärven valuma-alueen toimenpidesuunnitelma. Pohjanmaan Vesi ja ympäristö ry.
7. Uusheimo S. SYKE. RE: kysymyksiä Puuhakesuodattimesta koskien op-pinäytetyötä. Sähköpostiviesti 7.2.22
8. Karttunen E. 1999. Vesihuoltotekniikka. Hakapaino Oy. Helsinki.
9. Karttunen E. 2004. Vesihuolto 2. Vammalan kirjapaino Oy. Sivuu 210.
10. Pelastajarvi.fi. 2013. Fosforin kierto. Viitattu 16.3.2022 [http://www.pelastajarvi.fi/fosforin\\_kierto](http://www.pelastajarvi.fi/fosforin_kierto)

11. Luonnontila.fi. 2014. Sisävesien fosforikuormitus. Viitattu 16.3.2022  
<https://www.luonnontila.fi/fi/elinymparistot/sisavedet/sv1-fosforikuormitus>
12. Tchobanoglous. 2003. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4.painos. Metcalf and Eddy Inc.
13. Savonia. Ravinnerenki. Typpi ja typpilannoitemäärät.  
[https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Typpi\\_ja\\_typpilannoitem%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t.pdf](https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Typpi_ja_typpilannoitem%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t.pdf)
14. Aalto S.L, Suurmäki S, Ahmen von M. 2020. Nitrate removal microbiology in woodchip bioreactors: A case study with full-scale bioreactors treating aquaculture effluents. Science of the total environment. Table 2.
15. Rantanen P. 1999. Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia. Suomen ympäristökeskus.
16. Kaseva A. Laine K, Ajosenpää T, Niemi J ja Mononen M. 2020. Biohiili- ja hakesuodattamo salaojavesien käsittelyssä; tulosraportti 2019.
17. Lanto J. Lindfors I. 2005. Juotsijärven ja tuurujärven vesiensuojelusuunnitelma, hakesuodatuskokeet. Pori.
18. Christianson L. 2011. Design and performance of a denitrification bioreactors for agriculture drainage. Iowa State University.  
<https://dr.lib.iastate.edu/server/api/core/bitstreams/0f389f72-12e6-4a9a-b12a-afd354125c54/content>
19. Grenan C. 2009. Denitrification in wood chip bioreactors at different water flows. Journal of environmental quality.
20. David M. 2015. Temperature and substrate control woodchip bioreactor performance in reducing tile nitrate loads in East-Central Illinois.
21. Schipper L. 2010. Denitrifying bioreactors-an approach for reducing nitrate loads to receiving waters.
22. Addy K. Gold A. Christianson L. David M. Schipper L. Ratigan A. 2016. Denitrifying bioreactors for nitrate removal: meta-analysis. Journal of

environmental quality.  
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq2015.07.0399>

23. Audet J. Nitrogen removal and nitrous oxide emissions from woodchip bioreactors treating agricultural drainage waters. 2021.
24. Lepine C. 2015. Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater.
25. Vuori k-M. Leppänen M. Koljonen S. Jämsen J. Vaso A. keskinen E. Hämäläinen H. Nieminen M. Huotari E. Soimasuo J. 2021. PuuMaVesi-hankkeen loppuraportti. SYKE.
26. Karttunen E. 2004. Vesihuolto 2. Vammalan kirjapaino Oy.
27. Rantanen P. 1999. Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia. Suomen ympäristökeskus.
28. Puustinen K. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnitteli ja mitoitus. Suomen ympäristö.
29. Addy K. Gold A. Christianson L. David M. Schipper L. Ratigan A. 2016. Denitrifying bioreactors for nitrate removal: meta-analysis. Journal of environmental quality.
  - a. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq2015.07.0399>
30. Rantanen P. 2010. Biologinen typen- ja fosforinpoisto jätevesistä. Lissensiaatintyö. Aalto yliopisto.
31. Curtin K. Duerre S. Fitzpatrick B. Meyer P. 2011. Biological nutrient removal. Minnesota pollution control.
32. Kokkila M. 2014. Biopidätysrakenne kohdennetussa huleveden laadunhallinnassa.
33. Aalto S.L, Suurmäki S, Ahmen von M. 2020. nitrate removal microbiology in woodchip bioreactors: A case study with full-scale bioreac-

tors treating aquaculture effluents. Science of the total environment. Sivu 3.

34. Sharrer K. Christianson L. 2016. Modelling and mitigation of denitrification woodchip bioreactor phosphorus releases during treatment of aquaculture wastewater. Ecological engineering.
35. Puustinen K. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnitteli ja mitoitus. Suomen ympäristö.
36. Laitinen J. 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Suomen Ympäristö. Ympäristöministeriö. Helsinki.
37. Pitkäjärvi S. 2020. Rinnakkaissaostuksesta biologiseen fosforinpoistoon. Diplomityö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta.
38. Kaakinen E. 2021. Uudet reaktorit pysäyttävät pelloilta valuvat ravinteet jo rannalle. Yle uutinen. Viitattu 2.6.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-12205599>
39. W.D Robertson. 2010. Nitrate removal rates in woodchip media of varying age.
40. Laakso J. 2017. Alavudenjärven valuma-alueen toimenpidesuunnitelma. Pohjanmaan Vesi ja ympäristö ry.
41. ELY-keskus. Ehdotus vesienhoidon toimenpideohjelmasta 2022-2027. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen ympäristövastualueen toimialue. Viitattu 2.6.2022. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon suunnittelu ja yhteistyö/Vesienhoi-to ELYkeskuksissa/EtelaPohjanmaa Pohjanmaa ja KeskiPohjanmaa/Toimenpideohjelmat/Toimenpideohjelmat ja toimenpiteiden tot\(12815\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö/Vesienhoi-to_ELYkeskuksissa/EtelaPohjanmaa_Pohjanmaa_ja_KeskiPohjanmaa/Toimenpideohjelmat/Toimenpideohjelmat_ja_toimenpiteiden_tot(12815)).
42. Westberg V, Koivisto A-M, Mykrä M, Teppo A. 2016. Lapuanjoen vesistöalueen vesienhoidon toimenpideohjelma 2016-2021. ELY-keskus/julkaisut

43. Suomen ympäristökeskus. VALUE-valuma-alueyökalu.  
<http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>
44. Oravainen R. 1999. Vesistötulosten tulkinta-opasvihkonen.
45. Christianson L. 2017. Denitrifying woodchip bioreactor and phosphorus filter pairing to minimize pollution swapping. Water research.
46. E. V. Lopez-Ponnada. 2017. Application of denitrifying wood chip bioreactors for management of residential non-point sources of nitrogen.

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Testausseloste 2021-1322  
 Teknologiakylä, Teknotalo 1 Kytökyläntie 11 Luonnonvesitutkimus  
 86600 HAAPAVESI

1(2)  
 01.07.2021

**Alavuden kaupunki/  
 C/o Timo Rintala**  
 Pahajoki hyväksi hanke  
 Taitotei 1  
 63300 Alavus



**Näyte**      Näyte                      Järvivesi  
 Näyte otettu              16.06.2021              Näytteen ottaja      Timo Rintala  
 Vastaanotettu            17.06.2021              Tutkimuksen syy      Veden laadun selvitys  
 Tutkimus alkoi            17.06.2021  
 Tutkimus valmis            01.07.2021

Analyysi	Menetelmä	1322-1 Järvivesi Piste 1 Alavudenjärvi Hannu Tusa	1322-2 Järvivesi Piste 2 Alavudenjärvi Päivi Kirmanen	1322-3 Järvivesi Piste 3 Alavudenjärvi Juha Ikola	1322-4 Järvivesi Piste 4 alavudenjärvi Pyylampi	Yksikkö	Epävarmuus-%
Kokonaisfosfori	* SFS-EN ISO 6878:2004	1 217	242	830	2 066	µg/l	18
Kokonaistyyppi,N	* SFS-EN ISO 11905-1	3 800	1 400	6 500	2 200	µg/l	15
	1 )						
Kiintoaine	* SFS-EN 872:2005	33	12	6,0	36	mg/l	16
BHT-7-ATU biologinen hapenkulutus	* SFS-EN 1899-1 1998 1 )	12	2,5	3,8	10	mg/l	15

Akkreditointi ei koske lausuntoa. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille.  
 Analyysitodistuksen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopiointista on saatava lupa.  
 Mikrobiologisten analyysien mittausepävarmuus toimitetaan pyydettyäessä.

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Teknologiakylä, Teknotalo 1, 86600 HAAPAVESI. Puh. 0400 216057, sei@sei-lab.fi

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Testausseoste 2021-1322 2(2)  
 Teknologiakylä, Teknotalo 1 Kytökyläntie 11 Luonnonvesitutkimus 01.07.2021  
 86600 HAAPAVESI

Analyysi	Menetelmä	1322-5 Järvivesi Piste 5 Korpi Aatu Sapsalampi				Yksikkö	Epävarmuus-%
Kokonaisfosfori	* SFS-EN ISO 6878:2004	278				µg/l	18
Kokonaistyppi,N	* SFS-EN ISO 11905-1	1 100				µg/l	15
Kiintoaine	* SFS-EN 872:2005	40				mg/l	16
BHT-7-ATU biologinen hapenkulutus	* SFS-EN 1899-1	1,2				mg/l	15

\*=näyte tutkittu akkreditoitulla menetelmällä  
 1)=näytteen tutkija Metropolilab Oy



Taina Haapakoski  
 Laborantti

Akkreditointi ei koske lausuntoa. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille.  
 Analyysitodistuksen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopiointista on saatava lupa.  
 Mikrobiologisten analyysien mittausepävarmuus toimitetaan pyydettyinä.

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Teknologiakylä, Teknotalo 1, 86600 HAAPAVESI. Puh. 0400  
 216057,seilab.haapavesi@seinajoki.fi

Liite 2.

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Testausseoste 2021-2231  
Teknologiakylä, Teknotalo 1 Kytökyläntie 11 Luonnonvesitutkimus  
86600 HAAPAVESI

1(2)  
28.10.2021

Alavuden kaupunki/  
C/o Timo Rintala  
Pahajoki hyväksi hanke  
Taitotie 1  
63300 Alavus



Näyte      Näyte      Luonnonvesi  
Näyte otettu      01.10.2021      Näytteen ottaja      Timo Rintala  
Vastaanotettu      05.10.2021      Tutkimuksen syy      Veden laadun selvitys  
Tutkimus alkoi      05.10.2021  
Tutkimus valmis      25.10.2021

Analyysi	Menetelmä	2231-1 Luonnonvesi Piste 1 Alavudenjärvi Hannu Tusa	2231-2 Luonnonvesi Piste 2 Alavudenjärvi Päivi Kirmanen	2231-3 Luonnonvesi Piste 3 Alavudenjärvi Juha Ikola	Yksikkö	Epävarmuus-%
Kokonaisfosfori	* SFS-EN ISO 6878:2004	151 <i>750-190</i>	141 <i>570-120</i>	1 962 <i>1000-1400</i>	µg/l	18
Kokonaistyppi,N	* SFS-EN ISO 11905-1	1 900 <i>5900</i>	1 600 <i>2000</i>	24 000 <i>25000</i>	µg/l	15
Kiintoaine	* SFS-EN 872:2005	7	14	67	mg/l	16
BHT-7-ATU biologinen hapenkulutus	* SFS-EN 1899-1 1998	3,2	1,3	6,7	mg/l	15

SeiLab Oy Haapaveden toimipiste Testausseoste 2021-2231  
Teknologiakylä, Teknotalo 1 Kytökyläntie 11 Luonnonvesitutkimus  
86600 HAAPAVESI

2(2)  
28.10.2021

Analyysi	Menetelmä	2231-4 Luonnonvesi Piste 4 alavudenjärvi Pyylampi	2231-5 Luonnonvesi Piste 5 Korpi Aatu Sapsalampi	2231-6 Luonnonvesi Piste 6 Alavudenjärvi	Yksikkö	Epävarmuus-%
Kokonaisfosfori	* SFS-EN ISO 6878:2004	575 <i>520-520</i>	368 <i>100-90</i>	103 <i>0-20</i>	µg/l	18
Kokonaistyppi,N	* SFS-EN ISO 11905-1	1 400 <i>1500</i>	1 300 <i>300</i>	800 <i>1000</i>	µg/l	15
Kiintoaine	* SFS-EN 872:2005	8	24	< 2	mg/l	16
BHT-7-ATU biologinen hapenkulutus	* SFS-EN 1899-1 1998	3,8	4,9	< 1	mg/l	15

\*=näyte tutkittu akkreditoitulla menetelmällä  
1)=näytteen tutkija Metropolilab Oy

Taina Haapakoski  
Laborantti