

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Ympäristötekniikka

Tutkintotyö

Saija-Liisa Posio

**TUPASVILLATURPEEN JA PUUN KUORIKKEEN SOVELTUVUUS HARMAA-
VESISUODATTIMIEN SUODATINMATERIAALIKSI**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2005

Lehtori Eeva-Liisa Viskari
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Ympäristötekniikka

Saija-Liisa Posio

Tupasvillaturpeen ja puun kuorikkeen soveltuvuus harmaavesisuodattimien suodatinmateriaaliksi

Tutkintotyö

42 sivua + 9 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Eeva-Liisa Viskari

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2005

Hakusanat

harmaajätevesi, jäteveden suodatus, tupasvillaturve, puun kuorike

TIIVISTELMÄ

Puutteellinen jätevesien käsittely haja-asutusalueilla voi aiheuttaa vesistöjen ja pohjavesialueiden pilaantumista. Haja- ja loma-asutus on toiseksi suurin ryhmä, joka kuormittaa vesistöjä. Suurimmat ongelmat aiheutuvat typen, fosforin sekä orgaanisen aineksen päätyemisestä vesistöihin. Tästä syystä lainsäädäntöä on uudistettu ja jäteveden käsittelyvaatimuksia tiukennettu. Uuden asetuksen mukaisesti orgaanisen aineksen vähenemän tulisi olla 90 %, typen 40 % ja fosforin 80 % verrattuna käsittelemättömään jäteveeseen.

Tässä työssä tutkittiin tupasvillaturpeen ja puun kuorikkeen soveltuvuutta toimimaan Biolan Oy:n kehittelemissä harmaavesisuodattimissa suodatinmateriaalina. Harmaavesisuodattimet on suunniteltu kiinteistökohtaiseen jäteveden puhdistukseen haja-asutusalueilla. Suodattimia oli yhteensä neljä, joista kaksi sisälsi puun kuoriketta ja kaksi tupasvillaturvetta. Osa tupasvillaturpeesta ja puun kuorikkeesta lämpökäsiteltiin uunissa ennen tutkimuksen aloittamista. Suodatinmateriaaleja testattiin 75 vrk:n ajan juoksuttamalla niiden läpi keinoitekoisesti tehtyä harmaata jätevettä, jonka koostumus vastasi viisihenkisen perheen tuottamaa jätevesimäärää vuorokaudessa, kun mukaan ei lasketa käymäläjätteitä.

Suodatinmateriaaleja tutkittiin sekä silmämääräisesti arvioiden että laboratorioanalyysin. Näytteet käsitelystä ja käsittelemättömästä jätevedestä otettiin joka toinen viikko, jonka jälkeen niistä tutkittiin fosforin, typen ja biologisen hapenkulutuksen määrä käyttäen standardisoituja menetelmiä. Käsiteltyssä jätevedessä olevia pitoisuuksia verrattiin käsittelemättömän jäteveden pitoisuuksiin, jolloin saatiin selville suodatinmateriaalien tehokkuus jäteveden puhdistamisessa.

Tulokset, joita tutkimuksessa saatiin, olivat melko vaihtelevia. Mikään suodatinmateriaaleista ei puhdistanut jätevettä riittävän tehokkaasti. Puun kuorike oli paras materiaali vähentämään typpeä jätevedestä, kun taas tupasvillaturve oli tehokkaampi fosforin poistoon ja biologisen hapenkulutuksen vähentämiseen. Parhaimpana materiaalina näistä voidaan pitää lämpökäsiteltyä kuoriketta, joka antoi tasaisimmat tulokset koko tutkimusjakson ajan. Harmaan jäteveden ollessa kyseessä kaikkia suodatinmateriaaleja voisi käyttää typen poistoon jätevedestä, mutta fosforin poiston ja biologisen hapenkulutuksen osalta materiaalit eivät olleet riittävän tehokkaita.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering

Environmental Engineering

Saija-Liisa Posio

Applicability of cotton grass peat and bark chip for filter material in grey water filter

Final Thesis

42 pages, 9 appendices

Thesis Supervisor

Senior Lecturer Eeva-Liisa Viskari

Commissioned by

Tampere Polytechnic

May 2005

Keywords

grey wastewater, wastewater filtration, cotton grass peat, bark chip

ABSTRACT

Improper wastewater treatment in rural areas can cause pollution of ground and surface water. Scattered settlement is the second biggest group to cause nutrient load watercourses and especially nitrogen, phosphorus and organic matter load cause eutrophication. Legislation has been renewed and according to new decree organic matter load should be reduced 90 %, nitrogen 40 % and phosphorus 85 % compared to untreated wastewater.

The aim of this study was to find out the suitability of cotton grass peat and bark chip as a filtration material to clean grey wastewater. Materials were tested in grey wastewater filters manufactured by Biolan Ltd. Artificial wastewater made of treacle, washing powder and urea was lead through the filters. There were four filters consisting of heat treated and untreated cotton grass peat and bark chip. The total time of the test was 75 days. Filter material was studied by visible check and the efficiency of wastewater purification by analyzing total nitrogen, total phosphorus and organic matter (BOD₇) concentrations of the wastewater before and after filtration.

Results were variable. None of the tested filter material showed good enough results to meet the requirements of the new decree. Bark chip reduced total nitrogen amounts best while cotton grass peat was more efficient in removing phosphorus and organic matter. On average treated bark chip worked best which gave the steadiest results during the test. All materials are suitable for nitrogen removal but do not meet the requirements concerning phosphorus and organic matter.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO.....	4
1 JOHDANTO	6
2 JÄTEVESIEN HAITAT YMPÄRISTÖSSÄ.....	6
3 LAINSÄÄDÄNTÖ	7
4 JÄTEVESIEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOT HAJA-ASUTUSALUEELLA	8
4.1 Saostussäiliöt.....	8
4.2 Maapuhdistamot.....	9
4.3 Pienpuhdistamo	10
4.4 Umpisäiliöt.....	10
5 TYÖN SUORITUS	10
5.1 Suodattimet	12
5.2 Laitteiston huolto	12
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	13
6.1 Kokonaistypen määrittäminen	13
6.2 Kokonaisfosforin määrittäminen.....	13
6.3 BOD ₇ eli biologisen hapenkulutuksen määrittäminen	14
7 TULOKSET	15
7.1 Kokonaistypen tulokset.....	15
7.1.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	15
7.1.2 Lämpökäsittely kuorike.....	16
7.1.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	16
7.1.4 Lämpökäsittely tupasvillaturve	17
7.2 Fosforinmäärityksen tulokset.....	17
7.2.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	17
7.2.2 Lämpökäsittely kuorike.....	18
7.2.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	19
7.2.4 Lämpökäsittely tupasvillaturve	19
7.3 Biologinen hapenkulutus (BOD ₇)	19
7.3.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	20
7.3.2 Lämpökäsittely kuorike.....	20
7.3.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	20
7.3.4 Lämpökäsittely tupasvillaturve	21
8 SUODATTIMIEN TOIMINTA SILMÄMÄÄRÄISESTI ARVIOITUNA	21
8.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	21
8.2 Lämpökäsittely kuorike.....	22
8.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	23
8.4 Lämpökäsittely tupasvillaturve	24
9 JOHTOPÄÄTÖKSET LABORATORIOANALYYSIEN MUKAAN	25
9.1 Typen määrän vaihtelut.....	25
9.1.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	26
9.1.2 Lämpökäsittely kuorike.....	27
9.1.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	28
9.1.4 Lämpökäsittely tupasvillaturve	29
9.1.5 Yhteenveto materiaalien soveltuvuudesta typen poistoon	29
9.2 Fosforin määrän vaihtelut	30
9.2.1 Lämpökäsittämättömän kuorike.....	31
9.2.2 Lämpökäsittely kuorike.....	31
9.2.3 Lämpökäsittämättömän tupasvillaturve	32

9.2.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve	32
9.2.5 Yhteenveto materiaalien soveltuvuudesta fosforin poistoon	34
9.3 Biologisen hapenkulutuksen muutokset	34
9.3.1 Lämpökäsittelemätön kuorike	35
9.3.2 Lämpökäsitelty kuorike	35
9.3.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve	36
9.3.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve	37
9.3.5 Yhteenveto materiaalien soveltuvuudesta biologisen hapenkulutuksen vähentämiseen ..	38
9.4. Jäteveden todellinen koostumus	38
10 MITTAUKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	40
11 YHTEENVETO	40
LIITTEET	

1 Jäteveden koostumus

2 Typpimittausten tulokset

3 BOD₇-tulokset

4 Veden kulutus tutkimuksen aikana

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on selvittää, soveltuvatko tupasvillaturve ja puun kuorike suodatinmateriaaleiksi Biolan Oy:n kehittämiin harmaavesisuodattimiin, jotka puhdistavat jätevedettä. Soveltuvuutta tutkitaan laboratorioanalyysien, joiden avulla mitataan biologinen hapenkulutus sekä typen ja fosforin määrä käsittelemättömässä ja käsitellyssä jätevedessä. Saatujen tulosten perusteella arvioidaan, toimivatko materiaalit riittävän tehokkaasti jäteveden puhdistuksessa.

2 JÄTEVESIEN HAITAT YMPÄRISTÖSSÄ

Suomessa on paljon erilaisia vesialueita. Suomen vesistöt ovat kuitenkin pääasiallisesti melko pieniä, matalia ja niiden muoto on rikkonainen. Näiden syiden ja pitkän talven takia ne ovat herkkiä veden laadun muutoksille. Näitä laatua heikentäviä muutoksia aiheuttavat lähinnä ihmiset omalla toiminnallaan. Tällaisina voidaan pitää mm. maatalouden päästöjä, maan ja metsien muokkaustoimia sekä haja- ja loma-asutuksen että teollisuuden ja taajamien jätevesiä. Nämä jätevedet kuormittavat sekä vesistöjä että pohjavesialueita. Tässä työssä keskitytään käsittelemään haja-asutusalueen jätevesien puhdistamista sekä tupasvillaturpeen ja puun kuorikkeen soveltuvuutta suodatinmateriaaliksi jätevesien puhdistuksessa. /1/

Suurimmat haitta-aineet jätevesissä ovat kiintoaineet, ravinteet sekä mikrobit. Näiden lisääntyminen aiheuttaa järvissä veden laadun huonontumista, jolloin sen käyttö rajoittuu, vesistöjen monimuotoisuuden häviämistä, virkistystoiminnan heikentymistä ja kalastuksen vähenemistä. /1/

Suomen pohjavedet ovat pääasiallisesti hyvälaatuisia ja kelpaavat sellaisenaankin juoma- ja talousvedeksi. Pohjavettä syntyy, kun maanpäälliset sade- ja valumavedet imeytyvät maakerrosten läpi ja muodostavat vesitaskun maan pinnan alle. Maakerrokset, joiden alle vesi imeytyy, suodattavat mahdolliset epäpuhtaudet vedestä ja antavat sille makua. Toisaalta maakerrosten läpäisykyky altistaa pohjavedet myös mahdollisille epäpuhtauksille, sillä maan pintakerrokseen kerääntyneet haitta-aineet valuvat sadetvesien mukana pohjavesiin asti. Pohjavettä on myös kallioperässä rakoilu- ja murrosvyöhykkeissä. /1/

Puutteellinen jätevesien käsittely haja-asutusalueilla voi aiheuttaa pohjavesien saastumista ja heikentää erityisesti pienten vesialueiden hygieenistä tilaa. Jätevesien huollaton käsittely vaikuttaa etenkin typpi- ja fosforipitoisuuksien kasvuun. Suuret ra-

vinnehuuhtoutumat ja -laskeutumat aiheuttavat kasvillisuuden ja eliötuotannon lisääntymistä ja sitä kautta järvien rehevöitymistä, järvien umpeen kasvamista, suurten leväkukintojen esiintymistä, liman lisääntymistä vesien pinnoilla sekä joidenkin kalalajien häviämistä. Varsinkin fosfori on Suomen luonnossa ollut kasvava ongelma. /2/

Ravinteiden lisäksi ongelmia aiheuttaa myös vesistön orgaaninen kuormitus, joka on peräisin mm. jätevesissä olevasta kiintoaineesta. Tällainen aines kuluttaa hajotessaan vesistön happea ja siten se voi aiheuttaa happikatoa ns. alusvedessä. Jos alusvesi on hyvin vähähappista, se lisää ongelmaa entisestään vapauttamalla pohjassa olevia ravinteita, joka puolestaan lisää rehevöitymistä. /2/

3 LAINSÄÄDÄNTÖ

Lainsäädäntöä on uudistettu vähentämään haja-asutusalueilta tulevaa jätevesikuormitusta. Noin 25 % suomalaisista asuu viemäröintiverkoston ulkopuolella, jolloin heidän on täytynyt järjestää jätevesien käsittely muulla tavoin. Tämän lisäksi on arvioitu, että noin miljoona ihmistä asuu loma-asunnoilla osavuotisesti näiden palveluiden ulkopuolella. Haja- ja loma-asutus on valtakunnallisesti toiseksi suurin ryhmä, joka kuormittaa vesistöjä fosforilla. On myös esitetty, että ”yhteiseen viemäriin liittymättömän asutuksen osuus on lähes kaksi kolmasosaa asutuksen kokonaiskuormituksesta, vaikka yhteisen viemäriverkoston asukasmäärä on vain yksi viidesosa koko asukasmäärästä”. Typpikuormituksen osuus on noin 15 % asutuksen aiheuttamasta yhteiskuormituksesta. Näiden syiden vuoksi on tärkeää kiinnittää huomiota haja-asutuksen jätevesien käsittelyyn, koska sen avulla voidaan parantaa vesistöjen laatua ja turvata puhtaan veden saanti kaikille. /2/

Ympäristönsuojelulain 103. pykälä määrittää, että jätevesien yleisen puhdistamisvelvollisuuden. Tässä ei tarkkaan määritellä puhdistamismenetelmää, mutta todetaan, että menetelmän tulee olla riittävän tehokas, jotta se vastaa 18. pykälän perusteella annetun asetuksen käsittelyvaatimuksia. 11.6.2003 valtioneuvosto hyväksyi asetuksen (543/2003), jonka mukaan vesihuoltolaitosten viemäriverkkojen ulkopuolelle jäävien kiinteistöjen jätevesihuoltoa tarkastettiin ja käsittelyvaatimuksia tiukennettiin. Suuri osa nyt vallitsevista ongelmista johtuu siitä, että järjestelmät ovat toimimattomia, vanhentuneita tai teholtaan riittämättömiä. Uuden asetuksen mukaan nykyään kiinteistöjen omistaja on vastuussa laitteiston riittävästä tehokkuudesta, laitteiden toimivuudesta sekä laitteiden huollosta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen kiinteistön haltijan on tiedettävä, kuinka oma jätevedenpuhdistusmenetelmä toimii ja kuinka sitä pidetään yllä. Tämä asetus on tullut voimaan 1.1.2004. Aluksi se koskee lähinnä uu-

disrakentamista sekä kiinteistöjä, joissa tehdään rakennus- tai toimenpidelupaa edellyttäviä muutostöitä. Talousjätevesien käsittelystä on tehtävä kirjallinen suunnitelma, joka tulee liittää rakennus- tai toimenpidelupahakemukseen. Vanhojen kiinteistöjen on saatava jätevesien käsittely lain vaatimalle tasolle kymmenen vuoden aikana asetuksen voimaantulosta, eli 1.1.2014 mennessä. Kiinteistön omistajan on kuitenkin annettava kahden vuoden sisällä eli 1.1.2006 mennessä selvitys jätevesilaitteista, joita kiinteistöllä on sekä näitä laitteita koskevat hoito-ohjeet. Mikäli kiinteistöllä ei kuitenkaan ole vesikäymälää, selvitys tulee tehdä neljän vuoden kuluessa asetuksen voimaantulosta. Kymmenen vuoden määräaika on mahdollista pidentää 14 vuoteen, mikäli vaatimusten noudattaminen tulee kiinteistön omistajalle kohtuuttoman kalliiksi ja vaikeasti toteutettavaksi ja ympäristön kuormitus on vähäistä. /7/9/

Valtioneuvoston asetuksessa nro 543, joka on määritys talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitoksen viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla, on 4. pykälässä kerrottu yleisistä käsittelyvaatimuksista. Sen mukaan ympäristöön talousvesistä joutuvaa kuormitusta on vähennettävä siten, että orgaanisen aineen kohdalla vähenemä on vähintään 90 %, kokonaistypen osalta vähenemä on vähintään 40 % ja kokonaisfosforin osalta vähintään 85 %. Joissakin tilanteissa kunta voi antaa omat ympäristönsuojelumääräykset, jolloin vähennyksen on oltava orgaanisen aineksen kohdalla 80 %, typen kohdalla 30 % sekä kokonaisfosforin osalta 70 %. /2/9/

4 JÄTEVESIEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOT HAJA-ASUTUSALUEELLA

Kun tutkitaan jätevesien erilaisia mahdollisia puhdistusmenetelmiä, tulisi ensimmäisenä ottaa selvää, onko kiinteistön mahdollista liittyä jo olemassa olevaan viemäriverkostoon. Mikäli verkostoa ei kyseisellä alueella vielä ole, kannattaisi tutkia asutuksen tiheyttä alueella. Joissakin tapauksissa, mikäli alueella on paljon asutusta, esim. mökkejä, kannattaisi harkita kokonaan uuden viemärintihaaran rakentamista alueelle tai vaihtoehtoisesti alueen kattavaa paikallisjärjestelmää, johon kaikki kiinteistöt voisivat liittyä. Kaikissa tapauksissa tämä ei ole mahdollista, jolloin on silloin syytä alkaa pohtia kullekin kiinteistölle omaa, riittävän tehokasta puhdistusmenetelmää sekä käymäläjätteille että jätevesille.

4.1 Saostussäiliöt

Useilla kiinteistöillä on käytössään saostussäiliö, jonka avulla erotetaan kiinteä aine jätevedestä. Saostussäiliössä kiinteä aine ja sakka laskeutuvat säiliön pohjalle ja neste jää pinnalle. Saostussäiliö on mekaaninen käsittelymenetelmä, joka varastoi myös tal-

teen sakan. Saostussäiliö täytyy tyhjentää riittävän usein. Tyhjennysväli määräytyy käytön mukaan. /3/

Saostussäiliöstä tehdään usein moniosainen, jotta laskeutunut ja kelluva liete ei kulkeudu pois säiliöstä. Sekajätevedelle esim. olisi syytä käyttää kolmiosaista saostussäiliötä. Oikein mitoitettu säiliö vähentää laskeutuvien ja liettyneiden aineiden määrää n. 70 %. /3/

Saostussäiliö on yleisin esikäsittelymenetelmä haja-asutusalueilla. Mikäli kyse on vakituisesta asumisesta, se ei kuitenkaan yksinään riitä jätevesien käsittelyksi. Sen puhdistustehokkuus ei ole riittävä, vaikka mukaan ei laskettaisi käymäläjätteitä. Fosforin, typen ja orgaanisen aineksen vähenemä on tavallisesti vain 10–20%, kun se lain mukaan pitäisi olla 30–80% aineesta riippuen. /3/

4.2 Maapuhdistamot

Maapuhdistamoita on kahta erilaista tyyppiä, maasuodattamo ja maahaimeyttämö. Molemmissa menetelmissä tarvitaan esikäsittelylaitteeksi saostussäiliö, joka tyhjenetään säännöllisin väliajoin. Maapuhdistamossa hyödynnetään luonnollisen maaperän ominaisuuksia, koska jätevesi puhdistuu biologisesti maaperän ja jäteveden mikrobien avulla sekä fysikaalis-kemiallisesti ja mekaanisesti maaperän aineksessa. Näiden menetelmien käyttöön vaikuttaa maaperän laatu, irtomaakerroksen paksuus, pohjaveden syvyys ja tontin koko. Tämän menetelmän käyttö vaatii esiselvityksiä maan soveltuvuudesta mainituille menetelmille. /3/

Maasuodattamo rakennetaan siten, että maahan sijoitetaan imetysputket. Jätevesi johdetaan näihin imeytysputkiin saostussäiliöstä jakokaivon kautta jakoputkien avulla. Rei'itetyistä imeytysputkista jätevesi valuu jakokerrokseen, josta se leviää tasaisesti suodatinhiekkakerrokseen. Tämän suodatinhiekkakerroksen pinnalle muodostuu biologisesti aktiivinen kerros, jossa pieneliöt hajottavat jäteveden sisältämän orgaanisen aineksen. Jätevesi puhdistuu, kun se painuu hiekkakerroksen läpi. Sen alla on pestyä sepeliä, josta lähtee kokoomaputket. Näistä putkista puhdistettu jätevesi johdetaan joko ojiin tai maastoon. Maasuodattamon pohjan on oltava tiivis, jotta vesi ei pääse valumaan pohjavesiin. Koska maasuodattamo ei kykene sitomaan ravinteita kovinkaan paljoa, voidaan suodatinhiekkakerrokseen lisätä kemikaalimassa, joka tehostaa typen ja fosforin sitoutumista kerrokseen. /3/

Maahanimeyttämö toimii hiukan eri tavoin kuin maasuodattamo. Saostuskaivosta jätevesi johdetaan jakokaivon kautta imeytyskenttään. Imeytysputkista vesi johdetaan sepelistä tai somerosta tehtyyn jakokerrokseen. Tästä jakokerroksesta vesi valuu luonnolliseen maaperään, joka toimii suodattimena. Lopulta vesi valuu pohjaveteen. Tätä menetelmää ei saa käyttää pohjavesialueilla eikä talousvesikaivojen välittömässä läheisyydessä. Maaperän on oltava myös riittävän vedenläpäisykykyistä eikä menetelmä sovellu käytettäväksi alueilla, jotka ovat avokallioita tai savimaita. /3/

4.3 Pienpuhdistamo

Pienpuhdistamot voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: biologiset, kemialliset tai biologiskemialliset puhdistamot. Biologinen poistaa jätevedestä orgaanista ainesta, kemiallinen fosforia ja biologiskemiallinen vähentää molempia. Näistä menetelmistä biokemiallinen on yleisimmin käytössä. Pienpuhdistamot ovat yleensä tehdasvalmisteisia ja niitä löytyy eri tyyppejä: panospuhdistamot, suodattimet, bioroottorit. Biopuhdistamot tarvitsevat myös saostussäiliön esikäsittelymenetelmäksi. Tällaiset puhdistamot vaativat säännöllistä huoltoa, sillä useimmiten puhdistamon toimimattomuus tai heikkotehoisuus johtuu riittämättömästä hoidosta ja asiantuntemattomasta käsittelystä. Pienpuhdistamo sopii mm. sellaisiin kiinteistöihin, joissa maaperäkäsittely on vaikeaa tai jopa mahdotonta, kuten kallio- tai pohjavesialueilla. /3/

4.4 Umpisäiliöt

Umpisäiliöt ovat nimensä mukaisesti tiiviitä, umpinaisia säiliöitä, joihin johdetaan kaikki taloudesta tulevat jätevedet. Säiliön täytyttyä jätevedet kuljetetaan lähimpään jätevedenpuhdistamoon käsiteltäväksi. Jätevesi on myös mahdollista levittää pellolle tai kuljettaa kaatopaikalle. Toisin sanoen kyseessä ei ole varsinaisesti jäteveden puhdistusmenetelmä, vaan jäteveden siirtäminen käsiteltäväksi muualle. Menetelmä on suhteellisen kallis käytössä, mikäli kaikki kiinteistöstä tulevat jätevedet johdetaan siihen. Kustannuksiksi on arvioitu monta sataa euroa vuotta kohden. /3/

5 TYÖN SUORITUS

Työssä testattiin Biolan Oy:n kehittämiä harmaavesisuodattimia kahdella uudella suodatinmateriaalilla, tupasvillaturpeella ja puun kuorikkeella. Suodatinmateriaalien kestoä tutkittiin silmämääräisesti ja niiden tehokkuutta laboratoriossa kokein, joissa määritettiin suodattimiin menevän ja ulostulevan jäteveden typpi- ja fosforipitoisuus sekä BOD₇ eli biologinen hapen kulutus.

Suodattimia testattiin käyttämällä keinotekoisia jätevettä. Väkevyydeltään vesi oli suunniteltu vastaamaan mustaa jätevettä eli jätevettä, jossa ovat mukana sekä pesuvedet että käymäläjätteet. Jätevettä, joka koostuu pelkästään pesuvesistä ilman käymäläjätteitä, kutsutaan harmaaksi vedeksi. Veden tulo oli ajastettu siten, että se rytmitykseltään vastaa vuorokausirytmiiä (taulukko 1). Sen mukaan aamulla kulutetaan paljon vettä, keskipäivän jälkeen ei lainkaan, kun taas iltaa kohti kulutus lisääntyy. Myöskään yöaikaan vettä ei kulu lainkaan. Testilaitteistossa tämä rytmi oli käännetty ympäri siten, että päivätauco sijoittui kello kahdeksan ja neljäntoista väliin, jolloin tauon ollessa päällä oli helpompi mm. huoltaa laitteistoa, ottaa tarvittavat näytteet ja lisätä jätevettä säiliöihin. Vettä syötettiin kuutena päivänä viikossa.

Pumppuina laitteistossa toimivat Gemini SCH 200 -sarjan sähkökäyttöiset uppopumput, joiden avulla vettä pumpattiin jätevesisäiliöistä suodattimiin. Pumput on suunniteltu käytettäväksi puhdasvesipumppuina eikä niitä saisi käyttää jatkuvatoimiseksi, kuten tässä työssä tehtiin. Pumput oli ajastettu syöttämään vettä suodattimiin 400 l vuorokautta kohti. Ajastimena käytettiin GRÄSSLIN Gewiss GW 40002 4 -kanavaista vuosikelloa, johon ohjelmoitiin pumppujen käyntiajat käyttäen apuna taulukkoa yksi.

Taulukko 1. Vedenkulutuksen vuorokausijakauma

Todellinen vuorokausirytmii	Testauksessa käytetty rytmi	%kokonaiskuormituksesta	Vesimäärä (l)
06-09	02-05	30	120
09-12	05-08	15	60
12-18	08-14	0	0
18-20	14-16	40	160
20-23	16-19	15	60
23-06	19-02	0	0
yhteensä		100	400

Jäteveden koostumuksen piti vastata BOD₇-, typpi- sekä fosforipitoisuuksiltaan mustaa jätevettä. Koska kulutus on 400 l vuorokautta kohti, sen arvioitiin suunnilleen vastaavan kolmen ihmisen tuottamaa jätevesimäärää vuorokaudessa. Jätevesi koostui mellassiirapista, ureasta sekä jauhemaisesta pyykinpesuaineesta. Näiden lähtöaineiden typpi-, hiili- ja fosforipitoisuuksien perusteella arvioitiin tarvittava käyttömäärä ja laskettiin kulutustarve (Liite 1). Tutkimuksen aikana saatujen mittaustulosten mukaan kävi ilmi, että vesi ei kuitenkaan vastaa pitoisuuksiltaan täysin mustaa jätevettä, vaan sijoittuu mustan ja harmaan veden väliin. Näin myöskään vähennystavoitteet eivät ole yhtä suuria kuin mustan jäteveden ollessa kyseessä.

5.1 Suodattimet

Suodattimia oli yhteensä neljä kappaletta, mitoiltaan 1235 x 600 x 940 mm joista jokainen sisälsi yhdeksän laatikkoa. Laatikot täytettiin suodatinmateriaalilla siten, että kahdessa suodattimessa käytettiin materiaalina puun kuoriketta ja kahdessa tupasvillaturvetta. Tupasvillaturve on hiukan maatunutta turvetta, jota pienissä määrissä käytetään lähinnä kangaskuiduissa. Puun kuorike on haketta, joka on valmistettu puun kaarnasta eikä se sisällä puun solukkoa, nilaa. Kuoriketta kului yhden laatikon täyttämiseen kaksi kilogrammaa eli yhteensä 36 kiloa ja tupasvillaturvetta 500 grammaa eli yhteensä 9 kiloa. Molemmista materiaaleista testattiin sekä lämpökäsiteltyä että lämpökäsittämätöntä materiaalia. Tupasvillaturvetta ja kuoriketta poltettiin uunissa kahdeksan tunnin ajan siten, että lämpötila nostettiin hitaasti aina 180 °C:een saakka. Tässä lämpötilassa materiaalit olivat noin neljän tunnin ajan. Lisäksi kuorike suodatettiin siivilällä, jonka reikien halkaisija on kaksi millimetriä. Näin estettiin partikkeli-kooltaan pienimmän kuorikkeen joutuminen suodattimeen ja putkistoihin sekä sen aiheuttaman mahdollisen tukoksen syntyminen. /8/



Kuva 1. Kuva laitteistosta. Suodattimet ovat harmaat laatikot, joita pitkin jätevesi suodattuu mustalla muovilla peitettyihin muovisäiliöihin.

5.2 Laitteiston huolto

Laitteistoa huollettiin viikoittain. Joka maanantai, keskiviikko ja perjantai täytettiin jätevesisäiliöt vedellä, jonka joukkoon lisättiin keinotekoisesti valmistettua jätevettä.

Täyttösuhde oli 997,5 l vettä ja 2,5 l keinotekoista jätevettä, jolloin pitoisuudet laime-
nivat halutuiksi. Samalla tyhjennettiin säiliöt, joihin vesi suodattimien läpi meni.
Näytteet otettiin aina parillisen viikon tiistaiamuna päivätauon aikaan. Päivätauon ai-
kana suoritettiin myös mahdolliset pumpun vaihto- tai muut huoltotoimenpiteet.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Näytteet otettiin joka toinen viikko jätevedestä ennen suodatinta ja suodattimen jäl-
keen. Näin päästiin helposti vertailemaan tuloksia sallituista typpi- ja fosforipitoisuuksista sekä biologisesta hapen kulutuksesta. Näytteiden analysoinnit ja pitoisuuksien mittaamiset tehtiin laboratoriossa käyttäen hyväksi standardisoituja menetelmiä.

6.1 Kokonaistypen määrittäminen

Kokonaistyyppi määritettiin käyttämällä modifioitua Kjeldahl-menetelmää, SFS 5505. Tyypellä tarkoitetaan ammoniakin, ammoniumin, nitraatin, nitriitin sekä orgaanisesti sitoutuneen typen summaa. Menetelmä soveltuu käytettäväksi näytteille, jotka sisältävät typpeä vähintään 1 mg/l, enintään 30 mg/l. Työssä nitraatti ja nitriitti pelkistetään. Orgaaninen aine hajotetaan rikkihappopoltossa, jossa muodostuneesta ammoniumsulfaatista ammoniakki vapautetaan lisäämällä natriumhydroksidia. Ammoniakki tislataan boorihappoliuokseen. Ammonium määritetään tisleestä titraamalla se rikkihapolla. Lopuksi tulokset lasketaan kaavasta

$$x = \frac{(V_3 - V_4) * c * 14 * 2 * 1000}{V} \quad (1)$$

jossa

x = näytteen typpipitoisuus, mg/l

V₃ = näytteen titraukseen kulunut rikkihappomäärä, ml

V₄ = nollanäytteen titraukseen kulunut rikkihappomäärä, ml

c = rikkihapon konsentraatio, g/mol

V = märkäpolttoon otettu näytemäärä, ml

Laskuissa on muistettava ottaa vielä huomioon, mikäli näytteitä on laimennettu. Tällöin saatu tulos tulee kertoa vielä laimennuskertoimella. Tässä työssä laimennussuhde oli 1:10. /4/

6.2 Kokonaisfosforin määrittäminen

Kokonaisfosforinmääritys perustuu standardiin SFS 3026. Jotta kokonaisfosfori voitaisiin määrittää näytteestä, näytettä täytyy käsitellä niin, että kaikki fosfori saadaan

reaktiiviseen muotoon. Tämän standardin mukaisesti käytetty peroksidisulfaattihajotus riittää useimmille luonnonvesille, ja kuten tässä, useimmille asumajätevesille. Joillekin teollisuuden jätevesille, joissa on paljon orgaanista ainetta, menetelmä ei sovellu. Määrittäminen suoritetaan useimmiten kestävädyistä näytteistä, mutta mikäli määrittäminen aloitetaan vuorokauden sisään näytteen otosta, kuten tässä tapauksessa, kestävädyä ei tarvita. Näytettä ei myöskään tarvitse suodattaa. Suurin fosforipitoisuus, joka menetelmällä voidaan määrittää, on noin 800 µg/l, pienin noin 2 µg/l. Tässä työssä aluksi kokeiltiin laimennussuhdetta 1:50, mutta laimennus oli aivan liian pieni. Laimennussuhteeksi päätettiin lopulta 1:500, joka osoittautui toimivaksi. Näytettä otettiin 25 ml, jonka jälkeen siihen lisätään peroksidisulfaattiliuosta. Tämän jälkeen näytettä autoklavoitiin 120 °C:n lämpötilassa puolen tunnin ajan. Kun näyte on tämän jälkeen jäädytetty ja siihen on lisätty molybdaattisulfaattia ja askorbiinihappoa, siitä mitataan UV/VIS-laitteiston avulla absorbanssi. Työtä suoritettaessa on huomioitava mm. astioiden oikeanlainen pesu, eli astioita ei saa puhdistaa fosforipitoisilla pesuaineilla. /5/

6.3 BOD₇ eli biologisen hapenkulutuksen määrittäminen

Määrittäminen perustuu standardiin SFS-EN 1899–1. Menetelmä soveltuu käytettäväksi sellaisille näytteille, joiden biologinen hapenkulutus on 3 mg/l happea ja enintään 6000 mg/l happea. Määrittäminen suoritetaan laimentamalla näyte hapetetulla laimennusvedellä. Mikäli laimennussuhde on suurempi kuin 1:100, laimennus on tehtävä kahdessa osassa. Tässä työssä käytettiin laimennusta 1:200. Laimennusvesi on valmistettu lisäämällä 500 ml:a kohti yksi millilitra fosfaattipuskuriliuosta, magnesiumsulfaattiheptahydraattiliuosta, kalsiumkloridiliuosta sekä rauta(III)kloridiheksahydraattiliuosta. Laimennettuun näytteeseen lisätään allyylitiourealiuosta kaksi millilitraa yhtä litraa näytettä kohti ja sekoitetaan varovasti. Kullakin laimennoksella täytetään inkubointipullot piripintaan. Tämän jälkeen niistä mitataan näytteeseen liunneen hapen konsentraatio. Kun pitoisuus on mitattu, pullot siirretään pimeään vesihauteeseen jonka lämpötila on 20°C ja pidetään siinä seitsemän vuorokauden ajan. Sen jälkeen näytteistä mitataan uudelleen liunneen hapen pitoisuudet. Biologinen hapenkulutus litraa kohti lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{BOD}_7 = \left[(c_1 - c_2) - \frac{V_t - V_e}{V_t} * (c_3 - c_4) \right] * \frac{V_t}{V_e}, \quad (2)$$

jossa

c1 = näyteliuoksen liunneen hapen konsentraatio nollahetkellä, mg/l

c2 = saman liuoksen konsentraatio 7 vrk:n kuluttua, mg/l

c3 = nollanäytteen hapen konsentraatio nollahetkellä, mg/l

c_4 = nollanäytteen hapen konsentraatio 7 vrk:n kuluttua, mg/l

V_e = näyteliuoksen valmistukseen otetun näytteen tilavuus, ml

V_t = näyteliuoksen kokonaistilavuus, ml

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että näytteessä olevat erilaiset aineet saattavat vaikuttaa tulokseen. Mikro-organismeille myrkylliset aineet, kuten bakteerisidit, toksiset metallit ja vapaa kloori, estävät biokemiallista hapettumista. Levät tai nitrifioivat mikro-organismit voivat aiheuttaa liian suuria tuloksia. /6/

7 TULOKSET

Tässä osiossa on esitetty kaikki saadut tulokset taulukoituna. Mahdollisista laskuista on esitetty aina yksi esimerkki, lopuista ilmoitetaan pelkkä tulos. Jokainen suodatinmateriaali on yksinään erillään muista, mikä helpottaa tulosten vertailua puhdistustehon osalta. Suodatinmateriaalien toimivuutta ja käyttökelpoisuutta arvioidaan tarkemmin seuraavassa luvussa. Taulukoissa on myös esitetty keskiarvo sisäänmenevän ja ulostulevan jäteveden pitoisuudesta keskiarvona.

7.1 Kokonaistypen tulokset

Typen määrä näytteissä on saatu, kun on sijoitettu saadut titraustulokset kaavaan 1. Koska näytteitä otettiin aina kaksi per suodatin, on taulukkoon otettu näiden kahden tuloksen keskiarvo. Kaikki tulokset löytyvät liitteestä 2.

$$x = \frac{(0,806\text{ml} - 0,3025\text{ml}) * 0,005\text{mol} / \text{l} * 14\text{g} / \text{mol} * 2 * 1000\text{mg} / \text{l}}{50\text{ml}} = 1,4098\text{mg} / \text{l} \quad (1.)$$

Tämä tulos on viikolla 4 otetusta ulostulevasta näytteestä, jossa suodatinmateriaalina oli lämpökäsitlemätön tupasvilla. Tulos on kerrottu vielä kymmenellä, koska laimennussuhde oli 1:10. Tutkimuksen aikana rikkihapon kulutus titrauksessa vaihteli 0,7 ja 2 ml:n välillä.

7.1.1 Lämpökäsitlemätön kuorike

Taulukko 2. Typen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	13,3	14,0	5,3
3	31,9	8,5	-73,4
5	20,9	15,9	-23,9
7	29,9	35,2	17,7
9	32,9	25,9	-21,3

11	35,8	41,2	15,1
keskiarvo	27,5	23,5	-13,4

Taulukossa 2 on esitetty tulokset jokaisella mittauksella, kun suodatinmateriaalina oli lämpökäsittelymätön kuorike. Ensimmäinen sarake kertoo, kuinka monta viikkoa laitteisto on ollut toiminnassa. Sisäänmenevä kuvaa jätevettä, jota ei ole vielä käsitelty ja ulostuleva käsiteltyä jätevettä. Muutos-kohdassa on ilmoitettu, kuinka paljon typen määrä on vähentynyt tai lisääntynyt suodatuksen aikana. Negatiivinen luku kertoo, että typen määrä on vähentynyt, kun taas positiivinen luku kertoo typen määrän lisääntymisestä suodatuksen aikana.

7.1.2 Lämpökäsittely kuorike

Taulukko 3. Typen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	12,2	11,5	-5,7
3	32,5	28,0	-13,8
5	20,0	18,6	-7,5
7	30,0	44,0	47,3
9	29,6	24,7	-16,6
11	28,5	26,9	-5,6
keskiarvo	25,5	25,6	-0,3

Taulukossa 3 on esitetty tulokset jokaisella mittauksella. Suodatinmateriaalina oli lämpökäsittely kuorike.

7.1.3 Lämpökäsittelymätön tupasvillaturve

Taulukko 4. Typen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	10,3	10,3	0,0
3	29,1	17,0	-41,6
5	19,0	17,5	-7,9
7	31,8	42,6	34,0
9	30,0	27,6	-8,0
11	24,2	32,6	-25,8
keskiarvo	24,1	24,6	0,3

Taulukossa 4 on esitetty tulokset lämpökäsitlemättömän tupasvillaturpeen osalta jokaisella mittaukerralla.

7.1.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve

Taulukko 5. Typen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	8,8	14,4	63,6
3	19,4	21,1	8,8
5	18,1	11,8	-34,8
7	22,3	43,2	93,7
9	30,5	22,2	-28,0
11	23,3	23,7	1,7
keskiarvo	20,4	22,7	17,6

Taulukkoon 5 on kirjattu typen määrät sekä käsitellyssä (ulostuleva) että käsittelemättömässä (sisäänmenevä) jätevedessä. Tulokset on esitetty myös prosentteina siten, että on laskettu typen määrä käsitellyssä vedessä suhteessa käsittelemättömään veteen. Suodatinmateriaalina oli lämpökäsitelty tupasvillaturve.

7.2 Fosforinmäärityksen tulokset

Tulokset ovat UV/VIS-määrityksessä saatuja. Mukaan on otettu näytteen ja rinnakkaisnäytteen keskiarvo. Yksittäiset tulokset ovat liitteessä 2. Ensimmäisellä mittaukerralla ei tuloksia saatu, koska laimennussuhde oli liian pieni. Siitä syystä fosforituloksista puuttuu tulokset, jotka on saatu, kun laitteistoa on pidetty viikko käynnissä.

7.2.1 Lämpökäsitlemätön kuorike

Taulukko 6. Fosforin määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (µg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
3	9028	9828	8,9
5	11064	11682	5,6
7	9550	13669	43,1
9	11743	15948	35,8
11	15857	15572	-1,8
keskiarvo	11448	13340	18,3

Taulukossa 6 on ilmoitettu fosforin määrä jokaisella mittaukerralla sekä sisäänmenevässä että ulostulevassa vedessä, kun materiaalina oli lämpökäsitlemätön kuorike.

Taulukko 7. Fosforin määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (µg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
3	9241	7247	-21,6
5	11524	13863	20,3
7	12045	15778	31,0
9	17826	32041	79,7
11	17008	15839	-11,1
keskiarvo	13529	16954	19,7

Tulokset lämpökäsitellyn kuorikkeen osalta on ilmoitettu taulukossa 7.

7.2.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve

Taulukko 8. Fosforin määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (µg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
3	10228	8429	-17,6
5	14542	11794	-18,9
7	15705	13360	-14,9
9	12633	19832	57,0
11	14069	15263	8,5
keskiarvo	13435	13736	2,8

Taulukossa 8 on ilmoitettu tulokset, kun suodatinmateriaalina oli lämpökäsittelemätön tupasvillaturve.

7.2.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve

Taulukko 9. Fosforin määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (µg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
3	10052	10664	6,1
5	11046	11252	1,9
7	34350	13082	-61,9
9	10106	10119	0,1
11	14263	18638	30,6
keskiarvo	15963	12751	-4,6

Taulukossa 9 on tulokset jokaiselta mittaukselta, kun suodatinmateriaalina oli lämpökäsitelty tupasvillaturve.

7.3 Biologinen hapenkulutus (BOD₇)

Biologinen hapen kulutus on laskettu käyttämällä kaavaa kaksi. Kaikista näytteistä on tehty myös rinnakkaismääritykset. Näiden kahden määrityksen keskiarvo on otettu mukaan taulukkoon. Tarkat tulokset kaikista mittauksista löytyvät liitteestä kolme (3.).

$$BOD_7 = [(9,65 \text{ mg/l} - 6,64 \text{ mg/l}) - 1 * (9,53 \text{ mg/l} - 7,94 \text{ mg/l})] * \frac{200}{1} = 284 \text{ mg/l} \quad (2)$$

Laskussa on käytetty tuloksia, jotka on saatu viikolla neljä otetuista puhdasvesinäytteistä. Suodatinmateriaali oli lämpökäsittelemätön kuorike.

7.3.1 Lämpökäsittelemätön kuorike

Taulukko 10. Biologisen hapenkulutuksen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	205	278	35,6
3	241	183	-24,1
5	274	155	-43,4
7	661	492	-25,6
9	361	267	-26,0
11	295	257	-12,9
keskiarvo	340	272	-16,1

Taulukossa 10 on esitetty tulokset jokaiselta mittaukselta. Materiaalina oli lämpökäsittelemätön kuorike. Tulokset on esitetty myös prosentteina, jolloin biologinen hapenkulutus käsitellyssä vedessä on helposti verrattavissa biologiseen hapenkulutukseen käsittelemättömässä vedessä.

7.3.2 Lämpökäsitelty kuorike

Taulukko 11. Biologisen hapenkulutuksen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	198	318	77,7
3	248	179	-27,8
5	264	169	-36,0
7	685	493	-28,0
9	323	179	-44,6
11	227	182	-19,8
keskiarvo	324	253	-13,1

Taulukossa 11 on tulokset, jotka on saatu, kun suodatinmateriaalina oli lämpökäsitelty kuorike.

7.3.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve

Taulukko 12. Biologisen hapenkulutuksen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	177	310	75,1
3	219	230	5,0
5	282	193	-31,6
7	673	492	-26,8
9	278	254	-8,6
11	214	261	22,0
keskiarvo	307	290	5,9

Taulukkoon 12 on sijoitettu tulokset jotka on saatu, kun on mitattu biologista hapenkulutusta sekä käsitellyssä että käsittelemättömässä jätevedessä ja materiaalina oli lämpökäsittelimätön tupasvillaturve.

7.3.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve

Taulukko 13. Biologisen hapenkulutuksen määrä suodattimeen sisäänmenevässä ja ulostulevassa jätevedessä (mg/l) ja pitoisuuden muutos (%)

viikkoa	sisäänmenevä	ulostuleva	muutos (%)
1	190	298	56,8
3	222	119	-46,4
5	197	71	-64,0
7	567	396	-30,2
9	270	74	-72,6
11	188	85	-54,8
Keskiarvo	272	173	-35,2

Biologinen hapenkulutus on esitetty taulukossa 13 sekä käsitellyn että käsittelemättömän jäteveden osalta, kun suodatinmateriaalina oli lämpökäsitelty tupasvillaturve.

8 SUODATTIMIEN TOIMINTA SILMÄMÄÄRÄISESTI ARVIOITUNA

Suodatinmateriaaleja testattiin 75 päivän ajan. Tänä aikana kaikissa suodattimissa huomattiin samankaltaisia reaktioita, toisissa voimakkaampina ja toisissa lievempinä. Kaikki suodattimet kehittivät mm. limaa, joka aluksi ilmeni veden tippumiskohdissa ja joissakin suodattimissa levisi myös laatikoihin. Liman määrä oli selkeästi suurempi ylemmissä laatikoissa kuin alemmissa. Liman ilmaantumista ja kerääntymistä suodatinmateriaaleihin voidaan pitää hyvänä merkinä, sillä se kertoo, että suodattimissa on alkanut bakteeritoiminta, joka osaltaan auttaa puhdistamaan vettä ja parantaa näin olleen puhdistustulosta. Jokainen suodatin kehitti myös hiukan lämpöä tästä samasta syystä.

8.1 Lämpökäsittelimätön kuorike

Silmämääräisesti tarkasteltuna lämpökäsittelimätön kuorike vaikutti melko hyvältä. Vesi läpäisi suodatinmateriaalia hyvin eikä kerääntynyt laatikoihin. Ensimmäisten viikkojen aikana kuorikkeen pintakerros pysyi kuivana, mutta muutaman viikon käytön jälkeen pintakin kostui. Jo ensimmäisen viikon jälkeen laatikoihin alkoi kertyä limaa kohtiin, joista vesi tippui laatikosta toiseen. Liman määrä kuitenkin pysyi melko vähäisenä lähes loppuun saakka. Viimeisten kahden viikon aikana liman tulo lisääntyi reilusti ja laatikoihin alkoi kertyä hiukan vettä pohjalle. Suodatin kuitenkin säilytti

miellyttävän tuoksun koko testauksen ajan. Tuoksu oli puinen ja muistutti hiukan kosteaa maata.



Kuva 2. Lämpökäsittelmätön kuorike

Suodatin kehitti myös lämpöä testausperiodin aikana. Tämä kuitenkin keskeytyi, kun suodattimet olivat kuivana viikolla 9, jolloin testauksessa pidettiin viikon mittainen tauko. Suodatinmateriaaleja keskenään verrattaessa silmämääräisesti tämä suodatin pysyi kaikkein siisteimpänä ja liman erityis vähäisimpänä lähes koko testauksen ajan. Suurin muutos tapahtui viimeisen kahden viikon aikana, jolloin liman erityis kasvoi runsaasti ja vettä alkoi kertyä laatikoihin.

8.2 Lämpökäsitelty kuorike

Lämpökäsittelyllä saattoi olla vaikutusta siihen, että kuorikkeen pinta säilyi kuivana lähes koko testauksen ajan. Limaa alkoi kertyä toisen testausviikon aikana laatikoiden tippumiskohtiin. Se ei kuitenkaan levinnyt syvemmälle laatikoihin, vaan pysyi tippumiskohdissa ja niiden alla. Puolivälissä testausta lima alkoi muuttua kellertäväksi. Kuukauden testauksen jälkeen suodattimen laatikoihin alkoi kertyä vettä. Tämä ongelma kuitenkin poistui, kun suodatin sai olla viikon kuivana testauksen välissä. Kuivauksen jälkeen vesi meni taas erittäin hyvin läpi eikä jäänyt seisomaan laatikoiden pohjalle. Kuivana olon jälkeen kuorikkeen pinta oli täysin kuiva ja pinnalla näkyi nukkamaista, valkeaa höytyvää, joka todennäköisesti oli sienirihmasto, joka oli alkanut kasvaa suodattimen pinnalla.



Kuva 3. Käsitelty kuorike. Keskellä kuvaa valkoista limaa

Suodatin kehitti myös hiukan lämpöä testauksen aikana, joskaan ei niin paljoa kuin lämpökäsittelemätön kuorike. Liman määrä kasvoi tasaisesti. Testauksen päättyessä voitiin todeta, että tässä suodattimessa liman määrä oli kaikkein vähäisin neljästä tutkitusta materiaalista. Suodattimen tuoksu säilyi myös miellyttävänä koko tutkimuksen ajan. Tuoksu oli salmiakkimainen, muistutti hiukan palanutta puuta ja kosteaa maata, mikä viittaa hajotustoimintaan.

8.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve

Tupasvillaa oli vaikea saada levittymään laatikoihin tasaisesti. Se tuli myös ilmi tutkimuksen aikana, kun päällimmäinen osa tupasvillasta pysyi kuivana lähestulkoon koko 75 päivää kestäneen testauksen ajan. Heti alussa suodatin alkoi kehittää hiukan lämpöä, mutta lämmöntuotanto pysähtyi jossain vaiheessa. Limaa alkoi alusta asti kehittyä veden tippumiskohtiin ja sen määrä lisääntyi nopeasti. Mitä lähemmäs tutkimusten loppua tultiin, sitä syvemmälle laatikoihin lima levisi.



Kuva 4. Käsittelemätön tupasvilla.

Kuvasta 4 näkyy erityisen hyvin se, että vesi läpäisi tupasvillaa melko huonosti ja vesi jäi seisomaan laatikoihin. Tämän myötä myös liman tuotanto kasvoi runsaasti ja kuten kuvasta huomataan, lima on levittäytynyt erittäin pitkälle laatikossa. Suodatin pysyi pitkän aikaa tuoksultaan melko neutraalina, mutta kahden kuukauden jälkeen se alkoi levittää epämiellyttävää, hiukan mädäntynyttä kananmunaa muistuttavaa tuoksua ympäristöön. Tämä materiaali kehitti kaikkein eniten limaa neljästä tutkitusta suodatinmateriaalista.

8.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve

Tarkastelutulokset olivat melko samankaltaisia tässä kuin lämpökäsittelemättömällä tupasvillallakin. Tupasvilla pysyi päältä kuivana lähes koko mittauksen ajan. Limaa alkoi kertyä heti mittausten alusta asti ja pikkuhiljaa se alkoi levitä myös laatikoiden sisään. Suodatin kehitti hiukan lämpöä, kuten kaikki muutkin suodattimet, mutta lämmöntuotanto lakkasi jossakin vaiheessa tutkimusta. Vesi läpäisi tupasvillaa melko huonosti ja kertyi laatikoihin. Haju oli pitkään melko neutraali, mutta loppuvaiheessa, liman määrän lisääntyessä se alkoi kehittää hiukan epämiellyttävää tuoksua.



Kuva 5. Käsitelty tupasvilla. Kuvasta näkyy hyvin, kuinka vesi seisoo laatikoissa. Myös tupasvillan pintakuivuus erottuu

Limaa erittyi kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin käsittelemättömän tupasvillan kohdalla. Tämä voi johtua sekä siitä, että lämpökäsittely on vaikuttanut tupasvillaan tai siitä, että tämän suodattimen pumpun kanssa oli ongelmia koko mittauksen ajan eikä sitä saatu toimimaan yhtä tehokkaasti kuin muut pumput.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET LABORATORIOANALYYSIEN MUKAAN

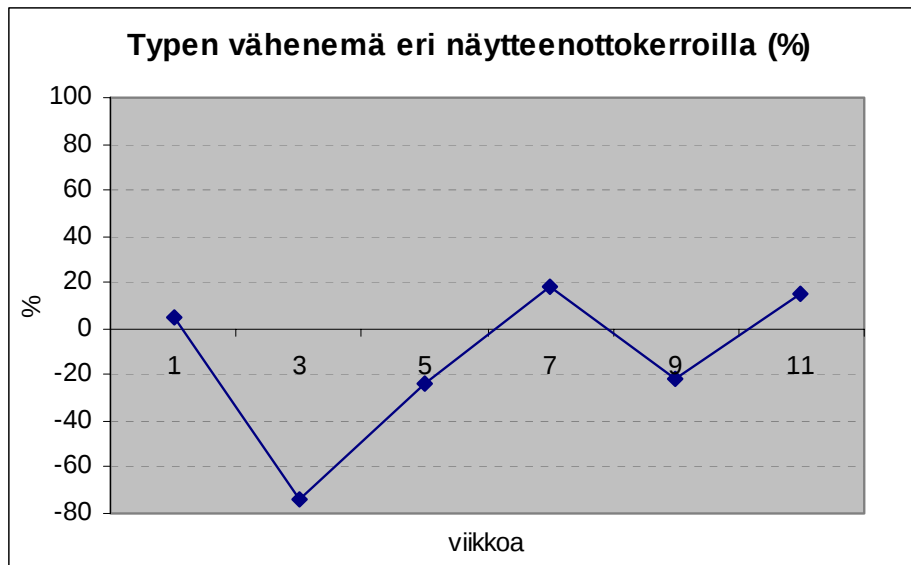
Laboratorioanalyysillä määritetyt tulokset olivat melko vaihtelevia. Saadut mittaustulokset vaihtelivat todella paljon eri mittauskerroilla ja tuloksista on vaikea vetää selkeitä johtopäätöksiä suodatinmateriaalien tehokkuudesta. On huomattava, että myös jätevedessä vaihtelut ovat suuria, vaikka teoriassa jätevedessä pitäisi jokaisella kerralla olla sama määrä typpeä ja fosforia ja biologisen hapenkulutuksen pitäisi myös olla sama, koska jätevesiliete on tehty samalla tavoin jokaisella kerralla ja jäteveden koostumus säiliöissä on pyritty pitämään samassa. Jokaisella täyttökerralla veden lisäyksen jälkeen laskettiin, kuinka paljon lietettä kuhunkin säiliöön tulee laittaa. Tulosten mukaan myös typen ja fosforin määrä osalla mittauskerroista lisääntyi käsitellyssä jätevedessä verrattuna käsittelemättömään. Tämä voi johtua siitä, että mikrobit jätevedessä ovat alkaneet hajottaa itse suodatinmateriaalia, mikä lisää typen ja fosforin määrää käsitellyssä vedessä.

9.1 Typen määrän vaihtelut

Typen määrä vaihteli reilusti jokaisella mittauskerralla. Osalla määrityskerroista saatiin tulos, jonka mukaan typen määrä on lisääntynyt suodattimen läpi kulkeutuessaan

ja puhtaassa vedessä oli enemmän typpeä kuin jätevedessä. Jotta suodatin olisi riittävän tehokas, sen tulisi poistaa typpeä mustasta jätevedestä vähintään 40 %, kun verrataan käsiteltyä ja käsittelemätöntä jätevettä toisiinsa. Alla on esitelty kukin suodatinmateriaali omana kokonaisuutenaan ja arvioitu sen soveltuvuutta harmaavesisuodattimen suodatusmateriaaliksi.

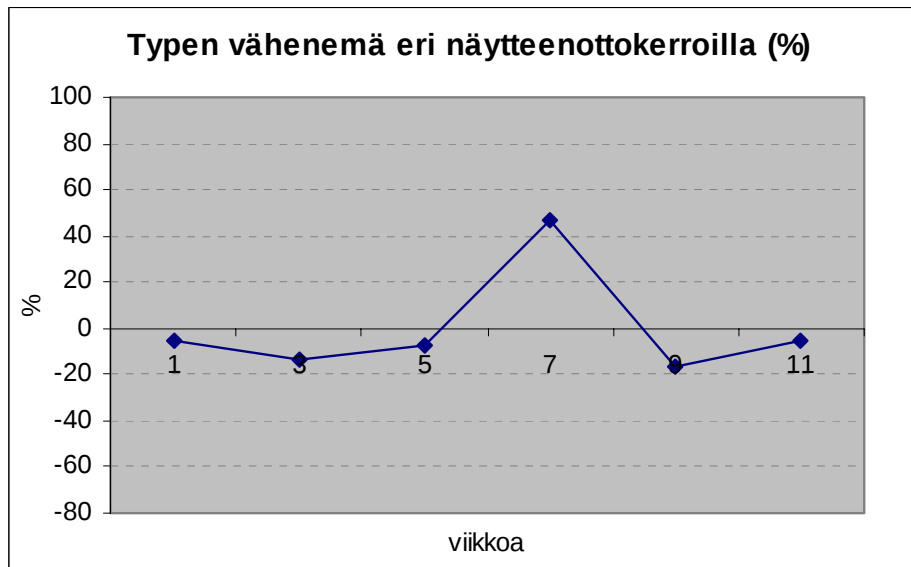
9.1.1 Lämpökäsittelemätön kuorike



Kuva 6. Typen määrän muutokset käsitellyn ja käsittelemättömän jäteveden välillä lämpökäsittelemättömällä puun kuorikkeella

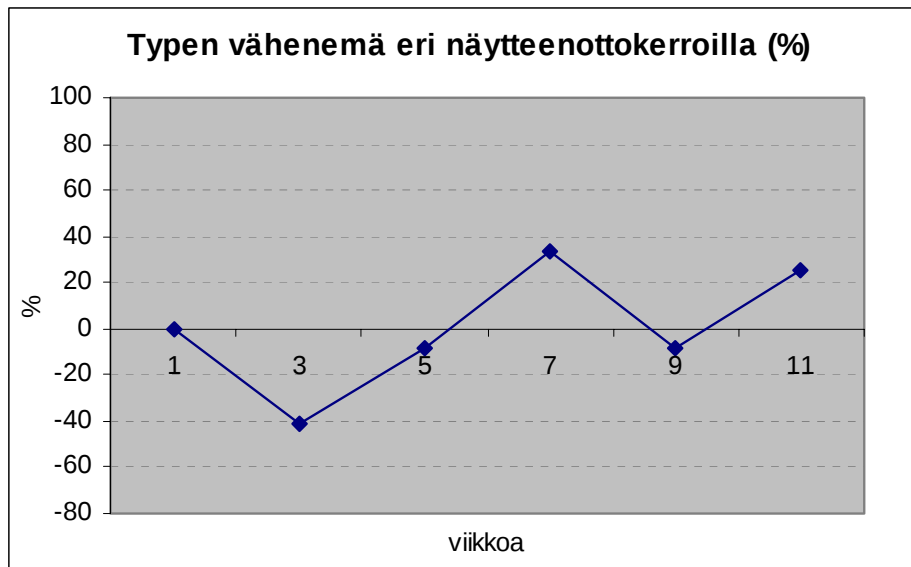
Kuvassa 6 on esitetty typen määrän vaihtelu prosentteina mittausjakson aikana, kun suodatinmateriaalina on ollut käsittelemätön kuorike. Kuten kuvasta nähdään, vaihtelu puhdistustehossa on melko suurta ja tulokset todella vaihtelevia. Kun lasketaan keskiarvo taulukossa 2 esitetyistä typen määrän vaihteluista prosentteina, saadaan tulokseksi -13,4 %, eli typen määrä olisi koko tutkimuksen aikana vähentynyt tämän verran. Se kertoo siitä, että suodatinmateriaalina lämpökäsittelemätön kuorike kyllä toimisi typen poistajana, mutta niin pienessä mittakaavassa, että materiaalin ei voida katsoa soveltuvan sellaisenaan käytettäväksi typen poistoon jäteveden puhdistuksessa, koska puhdistusteho ei ole riittävä.

9.1.2 Lämpökäsitelty kuorike



Kuva 7. Typen määrän muutokset käsitellyn ja käsittelemättömän jäteveden välillä lämpökäsitellyllä puun kuorikkeella

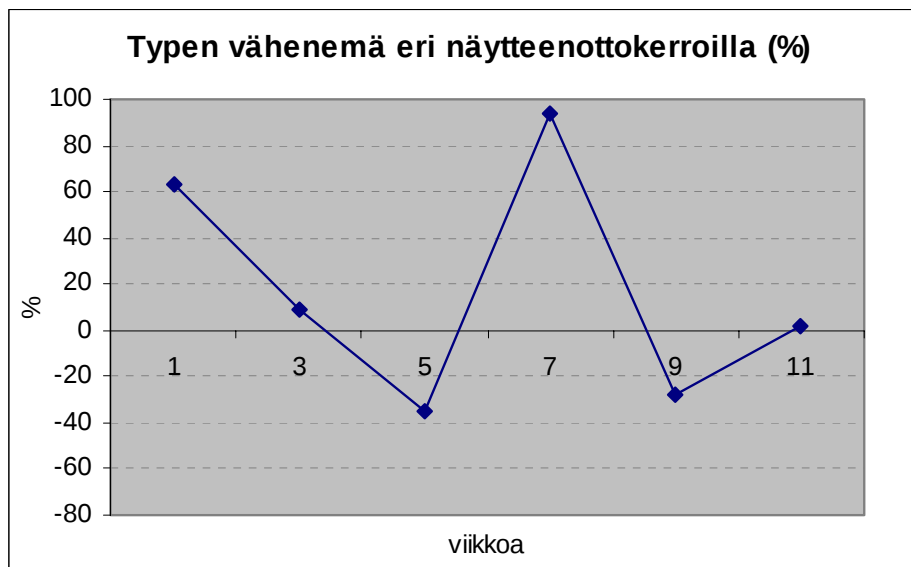
Kuvassa 7 on esitetty typen määrän vaihtelu prosentteina, kun suodatinmateriaalina on ollut lämpökäsitelty kuorike. Typen määrä on vähentynyt viidellä kerralla kuudesta mittauskerrasta, mitä voidaan pitää hyvänä merkinä. Kun laskettiin keskiarvo typen määrän vaihteluista prosentteina, saadaan tulokseksi se, että typen määrä on koko tutkimuksen aikana vähentynyt 0,3 % suodatuksen aikana. Tätä lukua nostaa arvo, joka on saatu silloin, kun suodatin on ollut käynnissä seitsemän viikkoa. Ilman tätä arvoa typen määrä olisi tutkimuksen aikana vähentynyt 9,8 %. Korkeaan arvoon on voinut vaikuttaa se, että laitteisto oli pois päältä viikon ajan ennen mittausta ja suodatinmateriaali kuivui osittain. Jos jätetään tuloksissa huomioimatta tämä yksi korkea arvo, voidaan todeta että lämpökäsitelty kuorike poisti tasaisesti typpeä jätevedestä, mutta jää silti kauas tavoitellusta poistotehosta, joka on 40 %.



Kuva 8. Typen määrän muutokset käsitellyn ja käsittelemättömän jäteveden välillä lämpökäsittelemättömällä tupasvillaturpeella

Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve vähensi typen määrää 8,2 %, kun verrataan käsiteltyä ja käsittelemätöntä jätevettä keskenään. Saadut tulokset eri mittauskerroilta vaihtelevat reilusti. Välillä typpeä poistui reilusti, mutta välillä typen määrä taas lisääntyi suodatuksen aikana. Myös tässä mittauksessa on huomattava, että laitteiston oltua viikon pois päältä typen määrä käsittelyn aikana väheni runsaasti. Ilman tätä piikkiä puhdistusteho olisi ollut 16,7 %. Tämä on kuitenkin alle puolet siitä määrästä, mitä jätevedestä puhdistuksen aikana pyritään vähentämään typpeä, eikä käsittelemätöntä tupasvillaturvetta voida pitää sopivana jäteveden puhdistamiseen typen poiston osalta.

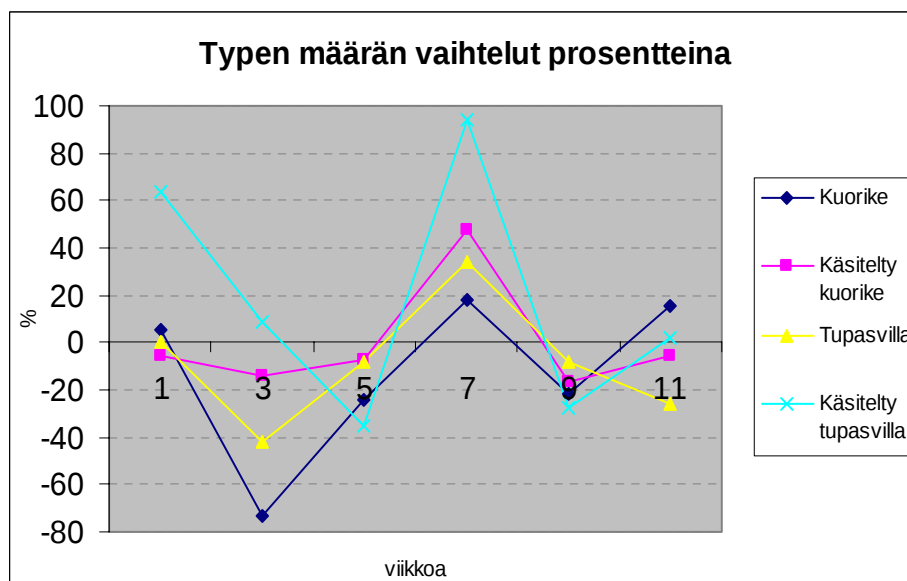
9.1.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve



Kuva 9. Typen määrän muutokset käsitellyn ja käsittelemättömän jäteveden välillä lämpökäsitellyllä tupasvillaturpeella

Lämpökäsitelty tupasvillaturve oli ylivoimaisesti huonoin materiaali poistettaessa jätevedestä typpeä. Typen määrä väheni vain kahdella mittauksella kuudesta ja keskiarvoksi saatiin tulos, jonka mukaan typen määrä olisi lisääntynyt käsitellyssä vedessä 17,6 % tutkimuksen aikana. Tätä materiaalia voidaan pitää täysin soveltumattomana typen poistoon jätevedestä. Todennäköisesti mikrobitoiminta on alkanut hajottaa suodatinmateriaalia, jonka takia typen määrä suodatuksen aikana jättevedessä on lisääntynyt.

9.1.5 Yhteenveto materiaalien soveltuvuudesta typen poistoon



Kuva 10. Typen määrän vaihtelut

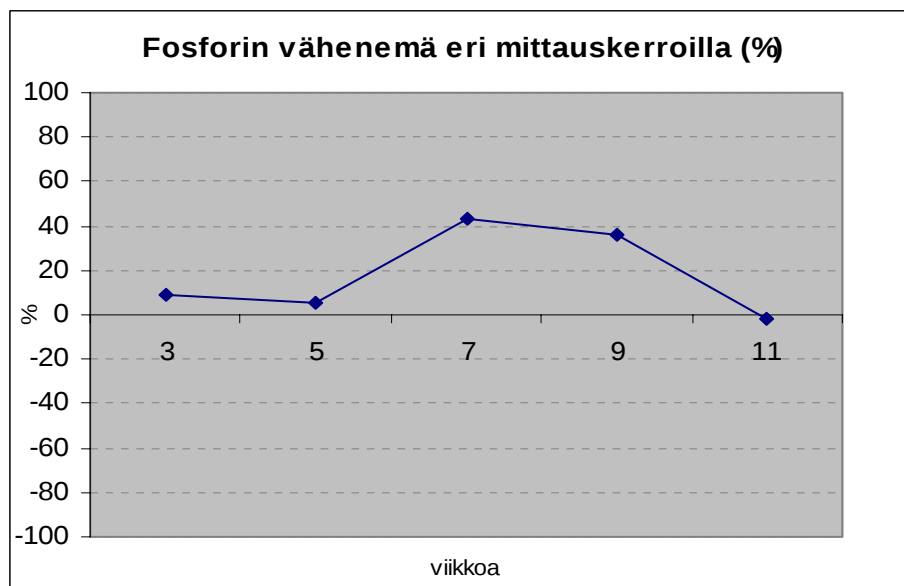
Kuvassa 10 on esitetty vielä kertaalleen, kuinka paljon typen määrä mittauksissa on vähentynyt tai lisääntynyt kunkin suodatinmateriaalin kohdalla. On huomattava, että jokaisen materiaalin kohdalla typen määrä on lisääntynyt seitsemännen mittausviikon kohdalla. Tällöin laitteisto oli viikon pois päältä ja materiaalit saivat hiukan kuivahtaa. Kun laitteisto jälleen käynnistettiin, puhdistusteho jokaisen suodattimen kohdalla oli heikentynyt. Suodatinmateriaalin tulisi kuitenkin olla sellaista, että se kestää myös hetkellisen käyttämättömyyden ja pystyy jatkamaan toimintaa tehokkaasti myös tauon jälkeen.

Huonoin materiaali typen poistoon jätevedestä oli selkeästi tupasvillaturve, joka oli lämpökäsitelty. Muiden suodattimien välillä erot olivat hiukan pienempiä. Parhaana materiaalina voidaan pitää lämpökäsiteltyä kuoriketta, koska se poisti typpeä jätevedestä yhtä kertaa lukuun ottamatta jokaisella kerralla. Minkään suodattimen puhdistusteho ei kuitenkaan ollut riittävä siihen, että niitä voisi käyttää suodatinmateriaalina kun halutaan poistaa jätevedestä typpeä, koska typen vähenemä jätevedessä tulisi olla vähintään 40 %.

9.2 Fosforin määrän vaihtelut

Myös fosforin määrä vaihteli suuresti mittauksen aikana. Fosforin vähentämisessä jätevedessä suodatinmateriaalit olivat todella huonoja. Fosforin poisto jätevedestä on ollut aina ongelmallista ja yleensä se vaatii biologisen puhdistuksen mukaan kemikaalin, joka sitoo fosforia itseensä ja poistaa sitä jätevedestä.

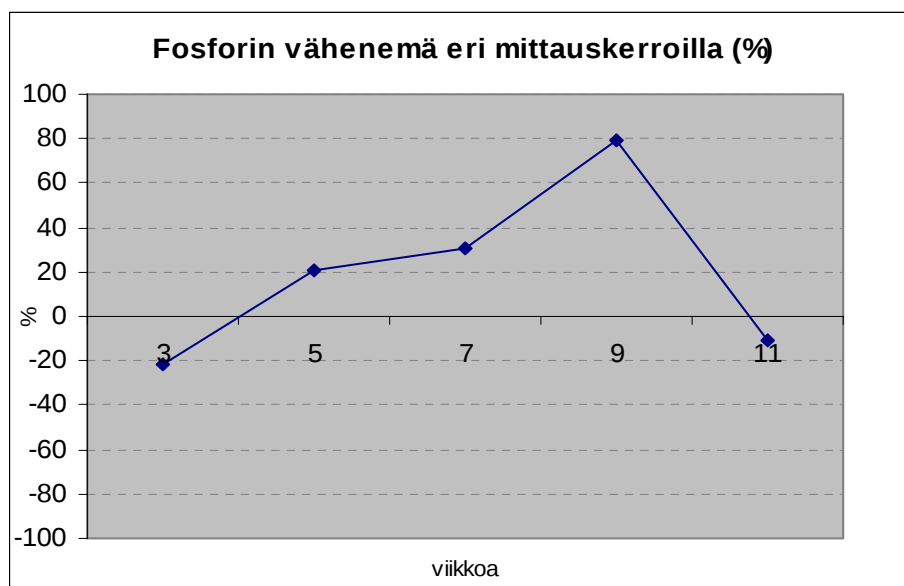
9.2.1 Lämpökäsittelemätön kuorike



Kuva 11. Fosforimäärän muutokset jätevedessä, kun materiaalina lämpökäsittelemätön kuorike

Kuvasta 11 nähdään selvästi, kuinka fosforin määrä viimeistä mittauskertaa lukuun ottamatta on jokaisella kerralla lisääntynyt jätevedessä suodatuksen aikana. Jos lasketaan keskiarvo muutosprosentteista, päästään tulokseen, jonka mukaan fosforin määrä koko tutkimuksen aikana on lisääntynyt jätevedessä yli 18 %. Käsittelemätöntä kuoriketta ei voi käyttää fosforin poistoon jätevedestä ainakaan yksinään, vaan se vaatisi mukaan kemikaalinlisäyksen tehostamaan puhdistustehoa.

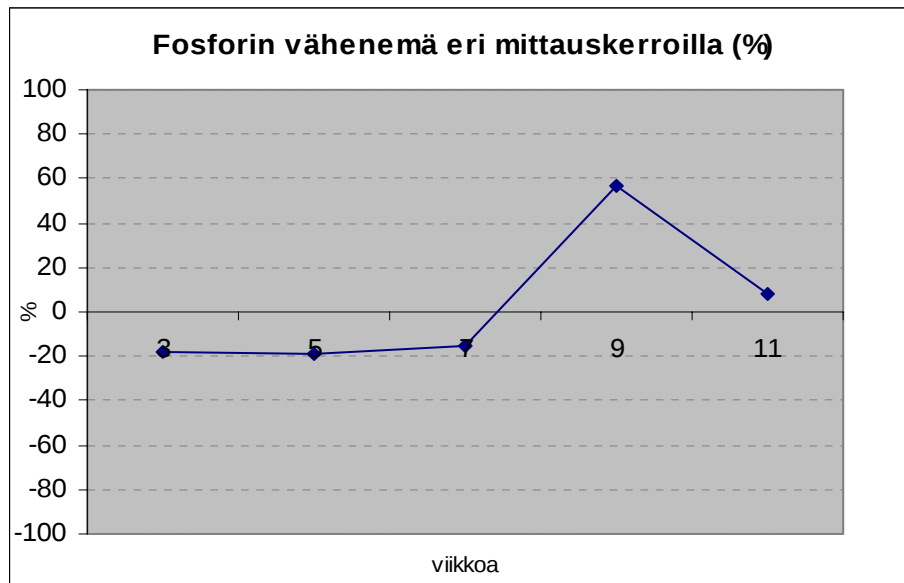
9.2.2 Lämpökäsitelty kuorike



Kuva 12. Fosforimäärän muutokset jätevedessä, kun materiaalina lämpökäsitelty kuorike

Lämpökäsitelty kuorike vähensi fosforin määrää käsittelyn aikana kahdella mittauskerralla viidestä. Vaihtelut tuloksissa olivat todella suuria. Kun lasketaan keskiarvo tuloksista koko mittausjakson aikana, saadaan tulos, jonka mukaan fosforin määrä on lisääntynyt lähes 20 %. Tulos on todella huono eikä lämpökäsiteltyä kuoriketta voida käyttää ainakaan yksinään fosforin poistoon jätevedestä.

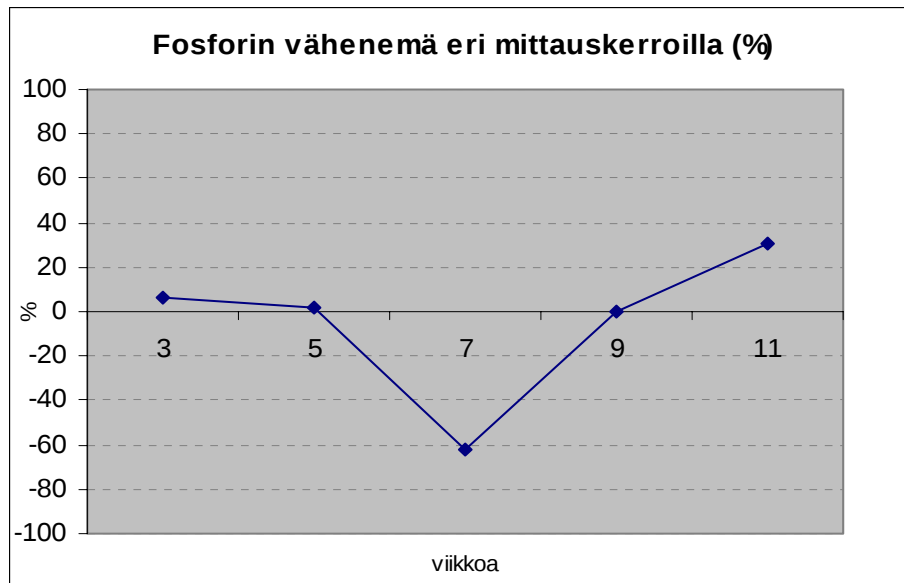
9.2.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve



Kuva 13. Fosforimäärän muutokset jätevedessä, kun materiaalina käsittelemätön tupasvillaturve

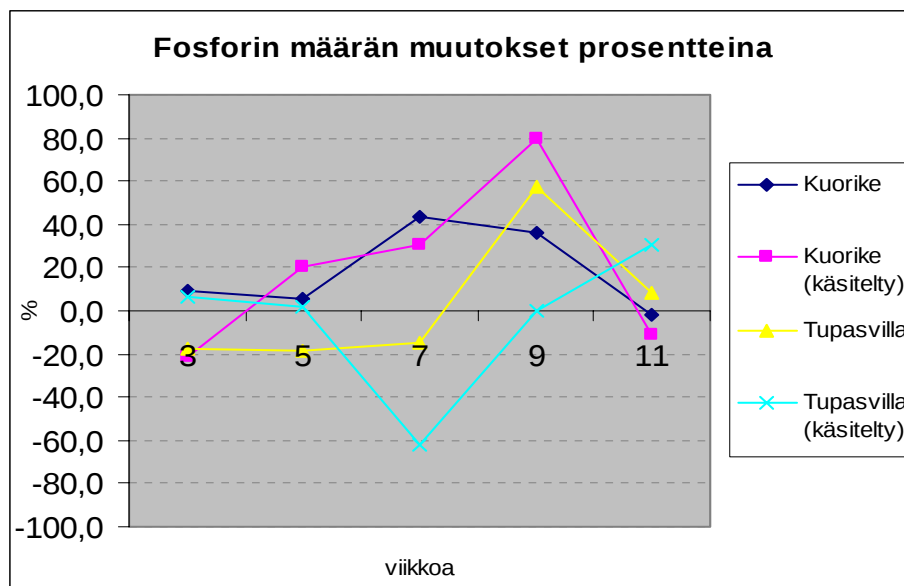
Käsittelemätön tupasvillaturve poisti fosforia jätevedestä käsittelyn aikana kolmella kerralla viidestä. Kuvan 13 perusteella näyttää siltä, että materiaali toimi tutkimuksen ensimmäisen seitsemän viikon ajan vähentäen fosforia käsittelyn aikana, mutta sen jälkeen teho alkoi huonontua. Kun taas lasketaan muutosprosentit yhteen, saadaan tulos jonka mukaan fosforin määrä jätevedessä käsittelyn aikana on lisääntynyt 2,8 %. Tutkituista materiaaleista käsittelemätöntä tupasvillaturvetta voidaan pitää parhaana, mutta senkään puhdistusteho ei ole riittävä, jotta materiaalia voitaisiin käyttää fosforin poistoon jätevedestä.

9.2.4 Lämpökäsitelty tupasvillaturve



Kuva 14. Fosforimäärän muutokset jätevedessä, kun materiaalina käsitelty tupasvillaturve

Lämpökäsitelty tupasvillaturve poisti fosforia jätevedestä vain yhdellä mittauskerralla viidestä. Fosforin määrä jätevedessä ei kuitenkaan lisääntynyt yhtä paljon kuin muiden materiaalien kohdalla ja keskiarvoa laskettaessa päästään tulokseen, jonka mukaan fosforin määrä koko tutkimuksen aikana on vähentynyt 4,6 %. Tämä oli ainoa suodatin, jonka kohdalla saatiin sellainen tulos, että fosforin määrä on vähentynyt, kun se muiden suodattimien kohdalla on päinvastoin lisääntynyt. Tätäkään materiaalia ei kuitenkaan voida pitää tehokkaana, sillä fosforin määrä käsittelyn aikana oli vähentynyt vain kerran. Tupasvillaturve, jota on lämpökäsitelty, ei myöskään sovellu toimimaan suodatinmateriaalina jäteveden puhdistuksessa.



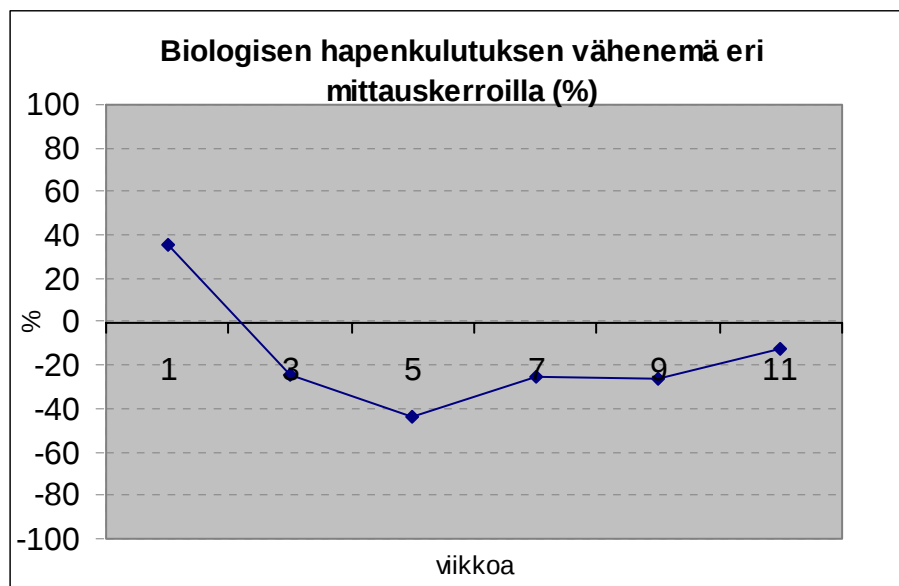
Kuva 15. Fosforimittausten tulokset prosentteina

Kuvaa 15 tarkasteltaessa huomataan, että tuloksia ei voida pitää hyvänä. Mikään suodattimista ei onnistunut vähentämään fosforin määrää vedessä, kun tarkastellaan mittauskertojen keskiarvoa. Parhaan tuloksen kuitenkin antoi lämpökäsittelemätön tupasvillaturve. Vähennystä tapahtui kolmella mittauskerralla viidestä. Myös lämpökäsittely tupasvillaturve oli tehokkaampi suodatinmateriaali kuin kumpikaan kuorikkeista. Mitään näistä suodatinmateriaaleista ei kuitenkaan voi käyttää fosforinpoistoon jätevedestä, sillä uusien asetusten mukaisesti fosforin tulisi vähentyä 80 % käsittelyn aikana ja tässä tutkimuksessa jäätii todella kauas niistä lukemista.

9.3 Biologisen hapenkulutuksen muutokset

Biologisen hapen kulutuksen osalta suodatinmateriaaleja voidaan pitää kohtuullisen hyvinä. Ensimmäisellä mittauskerralla kaikki tulokset olivat positiivisia, eli suodattimet lisäsivät hapen kulutusta, mutta muilla mittauskerroilla suodatinmateriaalit alkoivat toimia ja vähensivät tasaisesti biologista hapenkulutusta jätevedessä. Tämä voi johtua mm. siitä, että suodatinmateriaaleihin kertynyt lima kertoo alkaneesta mikrobi-toiminnasta, joka parantaa puhdistustehoa.

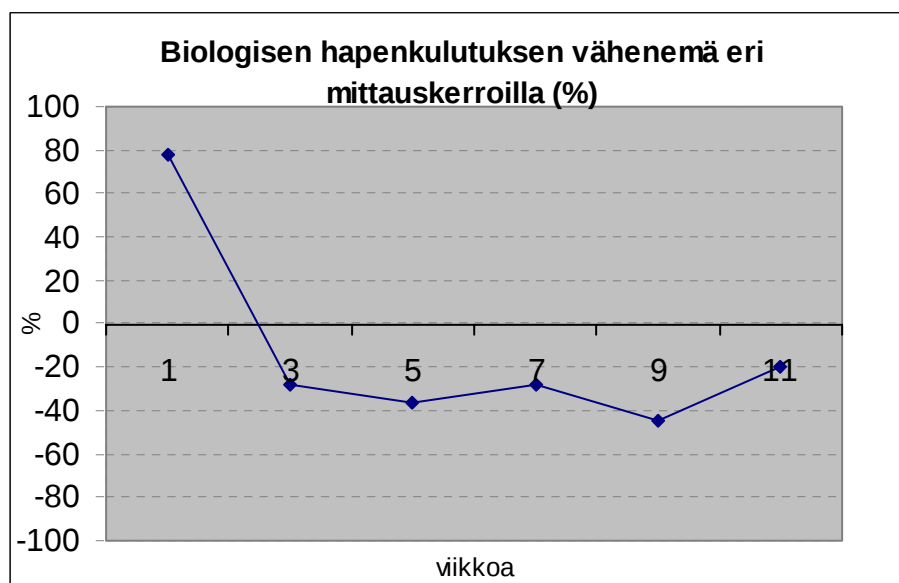
9.3.1 Lämpökäsittelemätön kuorike



Kuva 16. Biologisen hapenkulutuksen muutokset, kun materiaalina käsittelemätön kuorike

Käsittelemätön kuorike vähensi biologista hapenkulutusta tutkimuksen aikana keskimäärin 26 %. Tähän lukuun ei ole otettu ensimmäisen mittauskerran tulosta, joka olisi hiukan vääristänyt lukemaa. Suodatinmateriaali alkoi alun jälkeen toimia melko hyvin, mutta silti ei päästy asetusten vaatimaan puhdistustehoon, jonka mukaan biologisen hapenkulutuksen tulisi vähentyä 90 % puhdistuksen aikana.

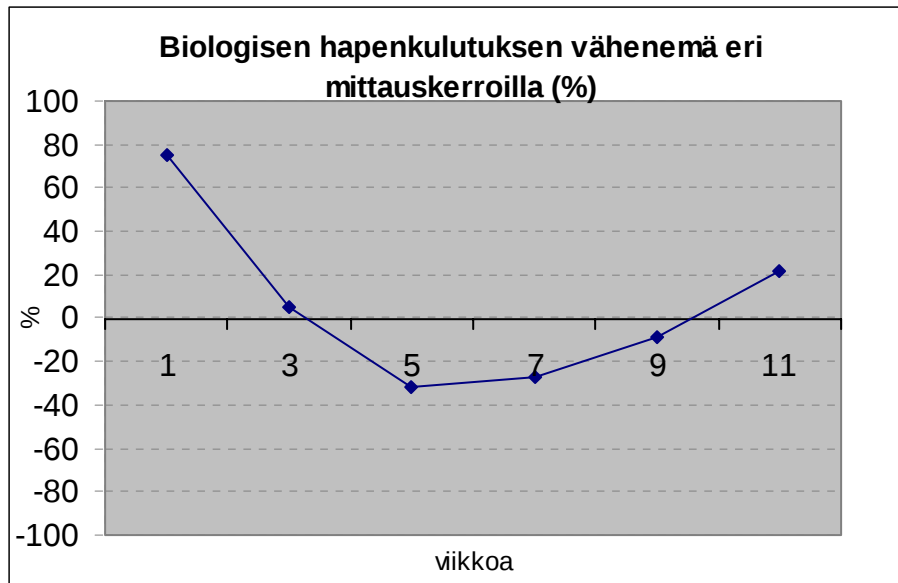
9.3.2 Lämpökäsitelty kuorike



Kuva 17. Biologisen hapenkulutuksen muutokset, kun materiaalina käsitelty kuorike

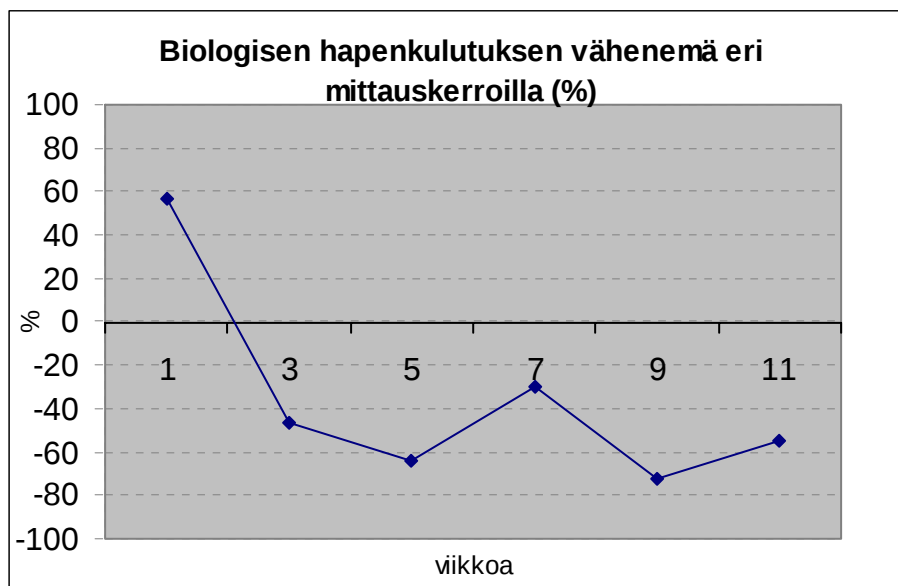
Lämpökäsitelty kuorike alkoi myös toimia ensimmäisen mittauskerran jälkeen hyvin. Keskimäärin se vähensi biologista hapenkulutusta 31 %, kun mukaan ei lasketa ensimmäisen mittauskerran tulosta. Kuvaa 17 katsottaessa huomataan, että suodatustulokset ovat olleet melko tasaisia koko tutkimuksen ajan. Vaikka materiaali on toiminut ja vähentänyt biologista hapenkulutusta jätevedessä, se ei ole silti toiminut riittävän tehokkaasti jotta materiaalia voisi käyttää jäteveden puhdistukseen.

9.3.3 Lämpökäsittelemätön tupasvillaturve



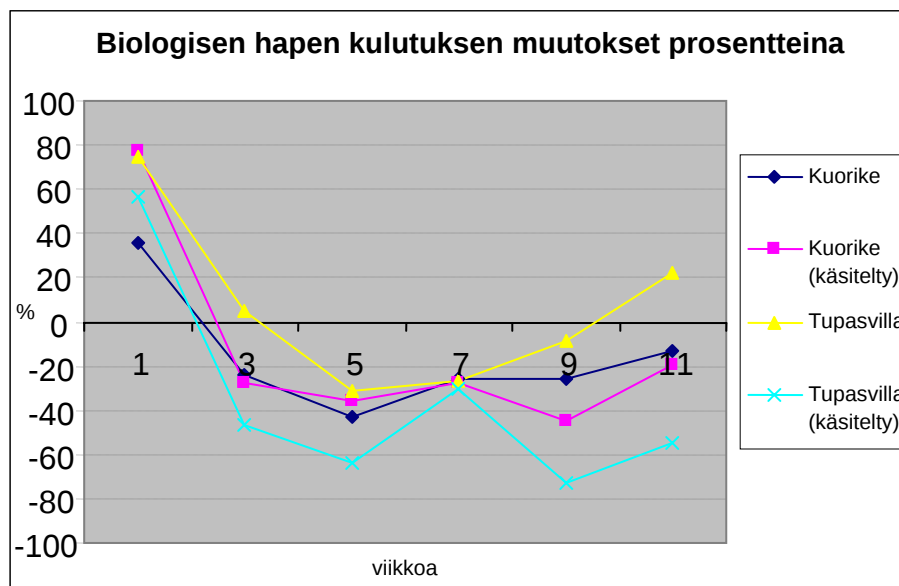
Kuva 18. Biologisen hapenkulutuksen muutokset, kun materiaalina käsittelemätön tupasvillaturve

Kuvasta 18 käy selkeästi ilmi, että lämpökäsittelemätön tupasvillaturve toimi materiaaleista huonoiten. Sen puhdistusteho oli vain 8 % ilman ensimmäisen kerran tulosta. Suodattimen teho näytti myös huonontuvan mittauksen loppua kohti eikä myöskään tätä materiaalia voi käyttää vähentämään biologista hapenkulutusta jätevedestä.



Kuva 19. Biologisen hapenkulutuksen muutokset, kun materiaalina käsitelty tupasvillaturve

Käsitelty tupasvillaturve toimi materiaaleista parhaiten. Se vähensi biologista hapenkulutusta tutkimuksen aikana yli 50 %. Lukema olisi voinut olla vielä parempi, mutta piikki, joka näkyy kuvassa 19 seitsemän viikon tutkimuksen jälkeen, laskee hiukan arvoa. Piikki johtuu todennäköisesti siitä, että näytteet jouduttiin pakastamaan, mitä ei missään nimessä suositella tehtäväksi kun mitataan biologisen hapenkulutuksen määrää. Muilla suodattimilla yhtä voimakasta piikkiä ei ole havaittavissa. Huolimatta hyvästä tuloksesta puhdistusteho jää silti asetusten vaatimasta 90 %:sta, eikä käsiteltyä tupasvillaturvetta voi suositella käytettäväksi suodatinmateriaalina biologisen hapenkulutuksen vähentämiseksi.



Kuva 20. Biologisen hapenkulutuksen muutokset mittauksessa prosentteina

Tuloksia tutkittaessa taulukoista 10–13 voidaan unohtaa keskiarvot, joita nostaa ensimmäisen mittauskerroksen tulokset. Tarkasteltaessa tuloksia huomataan, että alun jälkeen tulokset ovat negatiivisia jokaisen suodattimen kohdalla, mikä kertoo siitä, että suodatinmateriaalit toimivat ja biologinen hapen kulutus on vähentynyt. Parhaan tuloksen lämpökäsitelty tupasvilla, joka keskiarvollisesti vähensi hapenkulutusta yli 50 %, kun ensimmäisen mittauskerran tulokset jätetään huomioimatta. Mikään suodattimista ei toiminut kuitenkaan riittävän tehokkaasti, koska vähenemän tulisi olla vähintään 90 %. Mielenkiintoista on myös huomata, että huonoimman tuloksen antoi käsittelemätön tupasvilla, mikä kertoo siitä että lämpökäsittelyllä oli huomattava merkitys tupasvilla kohdalla. Samanlaisia eroja ei ole havaittavissa lämpökäsitellyn ja käsittelemättömän kuorikkeen välillä, joiden antamat tulokset olivat hyvin samankaltaisia.

9.4. Jäteveden todellinen koostumus

Jätevesi oli tarkoitus valmistaa siten, että se orgaanisen aineksen, typen ja fosforinmäärien mukaan vastaisi mustaa jätevettä. Taulukossa 14 on ilmoitettu pitoisuudet, kuinka paljon sekä musta että harmaa jätevesi sisältävät orgaanista ainetta, typpeä ja fosforia.

Taulukko 14. Jäteveden koostumus

	Musta vesi		Harmaa vesi	
	g/d	mg/l	g/d	mg/l
BHK ₇	50	380	30	230
Fosfori	2,2	16,9	0,4	3,1
Typpi	14	108	1	7,7

Kun näihin tuloksiin verrataan sekä laskennallisia arvoja että todellisia, mitattuja arvoja, voidaan päätellä, kuinka hyvin onnistuttiin valmistamaan koostumukseltaan oikean vahvuista jätevettä.

Taulukko 15. Todelliset tulokset jäteveden koostumuksesta

	Laskettu	Mitattu
	mg/l	mg/l
BHK ₇	183	310
Fosfori	90	13,6
Typpi	23,3	24

Kun verrataan mitattuja tuloksia taulukossa 14 oleviin arvoihin, huomataan, että jätevesi ei ollut koostumukseltaan mustaa vettä vastaavaa, vaan sijoittui mustan ja harmaan veden väliin, jolloin se on hiukan vahvempaa pitoisuuksiltaan kuin harmaa vesi, mutta jää alle mustan veden pitoisuuksien. Koska vähennystavoitteet harmaalla vedellä eivät ole yhtä suuria kuin mustalla vedellä, päätettiin tuloksia tutkia vielä uudelleen. Taulukon 14 avulla laskettiin, kuinka paljon saa ulostulevan veden pitoisuus olla, kun kyseessä on musta vesi. Tämän jälkeen verrattiin suodattimista ulostulevan jäteveden pitoisuuksia sallittuihin pitoisuuksiin.

Taulukko 16. Orgaanisen aineksen, typen ja fosforin sallitut pitoisuudet ja jokaisen suodatinmateriaalin keskimääräiset pitoisuudet ulostulevassa vedessä

	Sallittu pitoisuus (mg/l)	lämpökäsittelmätön kuorike	lämpökäsitelty kuorike	lämpökäsittelmätön tupasvillaturve	lämpökäsitelty tupasvillaturve
BHK ₇	38	54,4	50,6	58,0	34,6
Fosfori	2,5	2,66	3,4	2,74	2,56
Typpi	64,8	4,7	5,1	4,92	4,54

Taulukkoon 16 on sijoitettu sallitut ulostulevan veden pitoisuudet sekä keskiarvo pitoisuuksista kullakin suodatinmateriaalilla jaettuna jätevettä tuottavalla henkilömäärällä. Koska pitoisuudet ovat osoittautuneet olevan lähellä harmaata vettä, otettiin henkilömääräksi viisi. On arvioitu, että viisihenkinen perhe tuottaa harmaata vettä noin 400 l vuorokaudessa. Taulukosta 16 nähdään, että suodattimet eivät ole riittävän tehokkaita vähentämään biologisen hapen kulutusta jätevedestä, mutta typen poistoon ne näyttäisivät sopivan hyvin. Fosforin poistoon ne hiukan liian tehottomia.

Mittaukset on jokaisella kerralla pyritty toistamaan mahdollisimman samankaltaisesti. Tutkimuksen aikana kävi kuitenkin ilmi monia mahdollisia tekijöitä, jotka ovat saattaneet aiheuttaa virheitä työssä.

Jätevesilietteen erilainen koostumus jokaisella mittauskerralla on hiukan hämmästyttävää, sillä käytännössä sen tulisi olla jokaisella mittauskerralla sama riippumatta siitä, mitä puhdasvesitulokset ovat, sillä jätevesi on valmistettu jokaisella kerralla samalla tavoin käyttäen aina samoja ainemääriä. Säiliöiden täytön yhteydessä jokaisella kerralla laskettiin, kuinka paljon vettä täyttöön meni ja kuinka paljon valmistettu lietettä tulee veden sekaan lisätä, että koostumus säilyy oikeana. Tässä on virheitä voinut aiheuttaa se, että valmistettu liete seisoj aina saavissa ja osa lietteessä olevista aineista painui saavin pohjaan. Tätä kuitenkin pyrittiin estämään sillä, että lietettä sekoitettiin aina huolellisesti, ennen kuin sitä lisättiin jätevesisäiliöihin. Tätä ei kuitenkaan voida pitää tulosten kannalta kovin oleellisena, koska tärkeää oli se, kuinka paljon suodattaminen vähentää fosforia, typpeä ja biologista hapenkulutusta käsittelemättömästä jätevedestä.

Fosforimäärityksissä huomattiin, että kyvettien kanssa tulee olla todella tarkkana. Sormenjäljet, ilmakuplat tai pienet tahrat kyvetin kyljessä aiheuttavat äkkiä vääristymiä tuloksiin. Näytteitä ei myöskään suodatettu, koska ne näyttivät kirkkailta eikä niissä ollut silmin havaittavia kiintoainehiukkasia. Kuitenkin näytteet voisi olla hyvä käsitellä suodattamalla, sillä pienet hiukkaset, joita silmin ei voi havaita, saattavat myös aiheuttaa tulosten heittelemistä erityisesti määritettäessä fosforin määrää näytteessä.

Ongelmia aiheuttivat myös pumput, jotka olivat puhdasvesipumppuja, joita ei saisi käyttää jatkuvatoimisesti. Pumppujen teho heikentyi tutkimuksen aikana ja osa pumpuista jouduttiin vaihtamaan tutkimuksen aikana. Tästä syystä veden kulutus jäi alle tavoitellun 400 l/vuorokausi. (Liite 5.)

11 YHTEENVETO

Loppuyhteenvetona saaduista tuloksista voidaan todeta, että nämä suodatinmateriaalit eivät ole riittävän tehokkaita, jotta niitä voitaisiin käyttää jäteveden puhdistamiseen. Välillä suodattimet vähensivät reilustikin typen, fosforin ja hapen kulutuksen määrää, mutta tulokset olivat erittäin epätasaisia. Parempia materiaaleja olisivat sellaiset, jotka suodattaisivat pois haluttuja materiaaleja tasaisesti koko ajan, kun laitteisto on käynnissä. Tutkimuksen kesto oli 75 vuorokautta, mutta pidempiaikainen tutkimus tuskin

olisi muuttanut tuloksia mihinkään suuntaan, sillä tulokset eivät parantuneet loppua kohti. Typen määrän vähentämisessä jätevedestä parhaana materiaalina voidaan pitää lämpökäsiteltyä kuoriketta. Fosforia puolestaan vähensi parhaiten lämpökäsittelyn tupasvilla, kun taas biokemiallisen hapenkulutuksen kohdalla parhaiten toimi suodatin, jonka materiaalina oli lämpökäsitelty tupasvilla. Mikään näistä materiaaleista ei kuitenkaan toiminut siten, että se olisi poistanut kaikkia haluttuja aineita jätevedestä. Parhaana materiaalina voisi kuitenkin pitää lämpökäsiteltyä kuoriketta, jos huomioon otetaan kaikki mittaukset, koska se oli mittausten tasaisin suodatinmateriaali. Lämpökäsittelyllä ei kaiken kaikkiaan ainakaan kuorikkeen kohdalla tunnu olevan suurta merkitystä puhdistustehokkuuteen, minkä huomaa tuloksia tarkastelemalla. Tupasvillaturpeeseen lämpökäsittely vaikutti enemmän. Lämpökäsittely vaikutti negatiivisesti, kun kyseessä oli typen poisto vedestä, mutta positiivisesti, kun vähennettiin hapenkulutusta ja fosforin määrää jätevedessä. Kuitenkaan ainakaan tällaisessa muodossa ja yksinään yksikään näistä suodatinmateriaaleista ei ollut riittävä tehokas jäteveden puhdistaja ja voidaankin todeta, että jatkossa on etsittävä toisenlaisia materiaaleja halutun lopputuloksen saamiseksi.

Kun verrataan saatuja tuloksia laissa määriteltyihin vähennystavoitteisiin, huomataan, että nämä tulokset jäävät hyvin kauas niitä. Jos kyseessä olisi musta jätevesi, mikään suodattimista ei toimisi riittävän tehokkaasti. Koska jätevesi osoittautui pitoisuuksiltaan lähinnä harmaaksi vedeksi, saatiin tulos, jonka mukaan kaikki suodatinmateriaalit olisivat riittävän tehokkaita poistamaan typpeä jätevedestä, mutta fosforin poistoon ja biologisen hapenkulutuksen vähentämiseen ne ovat aivan liian tehottomia.

LÄHDELUETTELO

1. Haja-asutuksen vesihuollon yleissuunnitelma 2001. Pirkanmaan liitto, Tampere 2001.
2. Jäteveden käsittelyn tarkennetut vaatimukset haja-asutusalueille Hauhon, Lammin, Luopioisten, Pälkäneen ja Tuuloksen kunnissa. Hämeen ympäristökeskus, Hämeenlinna 2003.
3. Ruoveden haja-asutusalueiden jätevesien käsittely, Pirkanmaan ympäristökeskus, Tampere 2002.
4. SFS 5505 Kokonaistypen määrittäminen Kjeldahl-menetelmällä, Suomen standardisoimisliitto, 1988.
5. SFS 3026 Veden kokonaisfosforin määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto, 1986.
6. SFS-EN 1899-1, Biokemiallisen hapenkulutuksen määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto, 1998.
7. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. [www-sivu]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=117426&lan=fi
8. Biolan Oy [www-sivu]. Saatavissa: www.biolan.fi/suomi/ymparistotuotteet/harmaavesisuodatin/index.htm
9. Valtion säädöstietopankki [www-sivu]. Saatavissa: www.finlex.fi

Jäteveden koostumus

Hiilen lähteenä jätevedessä käytettiin melassisiirappia. Melassisiirappi sisälsi 47 % sokeria ($C_6H_{12}O_6$), joka sisälsi 40 % hiiltä. Eli melassisiirappi sisälsi 188gC/kg.

BOD₇: TOC suhteen oletettiin olevan 2:1 eli TOC on n. 50 % BOD₇:sta. TOC tulisi olla 75g/päivä. Koska melassisiirappi sisälsi 188gC/kg, melassisiirappia tarvittiin 0,391kg/päivä/suodatin.

Kerralla liuosta tehtiin aina 40L, joka riitti kahdeksi viikoksi. Melassisiirappia tarvittiin 15,64 kg tähän annokseen. Yhteensä melassisiirappia kului tutkimuksen aikana 117,3kg.

Typen lähteenä toimi urealannoite. Lannoitteen typpipitoisuus on 46,3 % Tämän lisäksi typpeä tuli myös melassisiirapin raakavalkuaisessa 1,57%. Typpeä tarvittiin 9,5 g/päivä. Melassisiirapista tuli 6,14g ja loput 3,34g tuli lannoitteesta. Lannoitetta tarvittiin siis 6,89g/päivä per suodatin eli 27,56g yhteensä. Yhteen väkevään annokseen liuosta tarvittiin 275,6g lannoitetta. Koko tutkimuksen aikana urealannoitetta kului 2,067kg.

Fosfaattilähteenä oli pyykinpesujauhe, joka sisälsi fosfaattia 30 % eli fosfaattia oli kilossa jauhetta 300g. Fosfaatti (PO_4^{2-}) sisältää fosforia 32,6 % eli 1 kg pesuainetta sisältää 97,8 g fosforia. Fosforia tarvittiin 3,6 g vuorikaudessa, joten pesuainetta tarvittiin vuorokautta kohti 36,8 g/suodatin. Yhteensä pesuainetta kului neljälle suodattimelle 147,2 g/päivä, eli kymmenen päivän annokseen pesuainetta tarvittiin 1,472kg. Koko tutkimuksen aikana pesuainetta tarvittiin 11,04 kg.

LIITE 2

Tulokset typpianalyyseistä

Taulukko 17. Käsitelty jätevesi (typeä mg/l)

Viikko	Kuorike	Kuorike (käsitel-ty)	Tupasvilla	Tupasvilla (käsitel-ty)
4	14,10/13,99	11,75/11,30	10,12/10,46	14,32/14,43
6	8,05/8,90	30,75/25,15	19,80/14,20	21,20/20,95
8	15,43/16,28	19,13/18,13	17,71/17,21	12,23/11,31
10	33,85/36,62	44,30/43,73	44,09/41,17	43,73/42,59
12	26,07/25,76	24,56/24,90	28,08/27,19	22,71/21,70
14	42,11/40,26	28,39/25,20	32,70/32,42	22,18/25,14

Taulukoissa on kaikki tulokset, jotka on saatu, kun on titrattu vesinäytteet ja laskettu kaavan yksi (1.) mukaan. Varsinaisiin tuloksiin on otettu mukaan kahden mitatun näytteen keskiarvo.

Taulukko 18. Käsittelemätön jätevesi (typeä mg/l)

Viikko	Kuorike	Kuorike (käsitel-ty)	Tupasvilla	Tupasvilla (käsitel-ty)
4	13,87/12,81	11,83/12,53	9,45/11,13	8,78/8,72
6	31,85/31,85	36,35/28,75	30,45/27,65	18,15/20,65
8	21,55/20,12	19,98/20,05	19,06/18,99	17,99/18,20
10	29,87/29,87	31,86/28,16	32,21/31,36	22,34/22,29
12	29,23/26,57	28,03/31,16	29,99/30,04	29,88/31,05
14	46,70/24,92	29,34/27,66	24,47/23,86	23,63/22,90

Taulukko 2. Käsittelemätön jätevesi

Tulokset biologisesta hapenkulutuksesta

Taulukko 19. Käsitelty jätevesi (hapenkulutus mg/l)

Viikko	Kuorike	Kuorike (käsitel- ty)	Tupasvilla	Tupasvilla (käsitel- ty)
4	284/272	320/316	340/280	374/222
6	186/180	208/150	216/244	128/110
8	152/158	164/174	170/216	58/84
10	504/480	482/504	478/506	384/408
12	258/276	184/174	262/246	92/56
14				

Taulukko 20. Käsitelty jätevesi (hapenkulutus mg/l)

Viikko	Kuorike	Kuorike (käsitel- ty)	Tupasvilla	Tupasvilla (käsitel- ty)
4	224/186	200/196	160/194	172/208
6	276/206	254/242	194/244	222/rikki
8	258/290	280/248	278/286	202/192
10	682/640	702/668	668/678	576/558
12	390/332	288/358	302/254	278/262
14				

Taulukoissa tulokset, jotka on laskettu kaavaa kaksi (2.) käyttäen. Rinnakkaisnäytteiden tuloksista on tulosten tulkintaan otettu mukaan keskiarvo.

LIITE 4

Veden kulutus litroina tutkimuksen aikana

	Pumppu 1	Pumppu 2	Pumppu 3	Pumppu 4	
28.1.	510	892	729	412	
31.1.	650	875	715	415	
2.2.	671	851	252	587	
4.2.	643	819	839	454	
7.2.	650	752	862	397	
9.2.	611	609	836	364	
11.2.	614	611	865	405	
14.2.	584	699	842	398	
16.2.	639	584	793	370	
18.2.	662	623	803	416	
21.2.					tulos kadonnut
23.2.	670	589	786	382	
25.2.					
28.2.					laitteisto pois päältä
2.3.					loman ajan
4.3.					
7.3.	626	608	725	382	
9.3.	685	627	720	365	
11.3.	680	641	717	436	
14.3.	686	608	717	449	
16.3.	668	573	699	427	
18.3.	633	542	674	365	
21.3.	583	567	690	420	
23.3.	639	550	670	434	
25.3.	651	563	646	406	
28.3.	694	481	651	436	
30.3.	649	552	691	453	
1.4.	343	293	348	225	pumppu hajonnut