

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Maskinteknik

PLANERING OCH UPPBYGGNAD AV BOKOLFILTER

Frans Holmström



2021:28

Datum för godkännande: 14.05.2021
Handledare: Kenneth Andersson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Frans Holmström
Arbetets namn:	Planering och uppbyggnad av biokolfilter
Handledare:	Kenneth Andersson
Uppdragsgivare:	Paula Linderbäck, FoU Högskolan På Åland

Abstrakt

Syftet med detta arbete är att undersöka om det fungerar att avlägsna näringsämnen, i huvudsak kväve och fosfor från avrinningsvatten. Undersökningen utförs med hjälp av biokol som filtermedia i en pilotreningsanläggning. Anläggningen har byggts och testats hos fiskodlingsföretaget Fifax Ab.

För att utföra denna undersökning har jag använt mig av äldre genomförda undersökningar. Jag har byggt och planerat i samarbete med Carbofex Oy en pilotpumpplanläggning med ett biokolfilter. Vattenprover har tagits och analyserats och biokolets reningsförmåga av näringsämnen har utvärderats.

Undersökningen visar att man med biokolfilter kan minska fosforutsläppen med 22 % och kväveutsläppen med 14 %. Undersökningen visade också att biokol fungerar även för rening av saltvatten.

Nyckelord (sökord)

biokol, avrinningsvatten, övergödning

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2021:28	1458-1531	Svenska	36 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
10.05.2021	12.05.2021	14.05.2021

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Mechanical Engineering
Author:	Frans Holmström
Title:	Planning and Construction of Biochar Filter Water Treatment Plant
Academic Supervisor:	Kenneth Andersson
Technical Supervisor:	Paula Linderbäck, R&D Åland University Of Applied Sciences

Abstract

The purpose of this work is to investigate whether it works to remove nutrients, mainly nitrogen and phosphorus from run-off water. The survey is carried out using biochar as filter media in a pilot treatment plant. The facility has been built and tested at the fish farming company Fifax Ab.

To carry out this survey, I have used older surveys. I have built and planned a pilot pump plant with a biochar filter in collaboration with Carbofex Oy . Water samples have been taken and analyzed, and the biochar's ability of purification of nutrients has been evaluated.

The study shows that biochar filters can reduce phosphorus emissions by 22% and nitrogen emissions by 14%. The study also showed that biochar also works for purification of salt water.

Keywords

biochar, runoff water, eutrophication

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2021:28	1458-1531	Swedish	36 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
10.05.2021	12.05.2021	14.05.2021

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	6
1.1 Syfte	6
1.2 Bakgrund	6
1.3 Avgränsningar	6
2. TEORETISK BAKGRUND OM BOKOL	7
2.1 Pyrolys	7
2.2 Skillnaden mellan olika koltyper	7
2.2.1 Träkol	7
2.2.2 Aktivt kol	8
2.2.3 Stenkol	8
2.2.4 Brunkol	8
2.3 Biokolets fördelar	8
2.4 Biokolets innehåll	9
3. VATTENKVALITET I OLIKA AVRINNINGSSOMRÅDEN PÅ ÅLAND	10
3.1 Lotsbroverket Mariehamn	10
3.2 Svinryggens deponi Ab	10
3.3 Åländska sjöar	11
3.4 Havsområden nära Åland	11
3.5 Fifax Ab landbaserad fiskodling	11
3.6 Diskussion	12
4. BOKOLFILTERANLÄGGNINGEN	13
4.1 Flödesschema	13
4.2 Val av testplats för anläggningen	14
4.3 Planering	14
4.4 Byggandet	14
4.4.1 Vattenrören	17
4.4.2 Problem	18
5. FILTRERING AV VATTNET	19
5.1 Utveckling	20
6. VATTENPROVTAGNING	21
7. ANALYS	23
7.1 Biokolets upptagningsförmåga av fosfor	23
7.1.1 Resultat av fosforrening i relation till tiden	24
7.1.2 Smutsighetsgraden på det ingående vattnets påverkan på resultatet	25
7.2 Biokolets upptagningsförmåga av kväve	25

7.2.1 Resultat av kväverening i relation till tiden	27
7.2.2 Smutsighetsgraden på det ingående vattnets påverkan på resultatet	27
8. KOSTNADSBERÄKNING	29
8.1 Uppskalning av anläggning	30
8.2 Leasing av biokol	31
9. SLUTSATSER	32
9.1 Jämförelse med äldre undersökningar	33
9.2 Förslag för förbättring	33
KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING	35
BILAGOR	36
Bilaga 1	36

1. INLEDNING

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att planera, bygga och prova en vattenreningsanläggning i mindre modell med biokol som filtreringsmedium. Tanken är att undersöka hur bra rening av näringsämnen det går att få av processvatten från fiskodlingsanläggningar. Tidigare experiment som har gjorts med biokol har gjorts på avrinningsvatten från åkrar. Dessa undersökningar har då gjorts med sötvatten, men dessa nya tester kommer att göras på saltvatten.

1.2 Bakgrund

Högskolan på Åland, FoU i samarbete med Carbofex Oy och Flexens Ab under ett projektnamn BioCharLogic vill undersöka om man kan rena vatten från näringsämnen med hjälp av biokol. De behövde en studerande som skulle planera och bygga i samarbete med Carbofex Oy en pilot vattenreningsanläggning. Jag tyckte detta lät intressant, då vattenrening ändå är en ganska central del i vår utbildning.

Ett av Östersjöns stora problem är övergödningen. Det är alltså överskott av näringsämnen som uppstår av avrinningsvatten från exempelvis jordbruk, fiskeodlingar och avloppsvatten från reningsverk. Vi vill undersöka hur man konkret kan minska utsläppen av näringsämnen i Östersjön med hjälp av biokol. Biokolet har en potential till ett slutet kretslopp. Då biokolet är mättat av näringsämnen från reningen av avrinningsvatten, kan man använda det på nytt som gödsel till jord istället för till exempel konstgödsel.

1.3 Avgränsningar

Jag kommer i detta arbete att avgränsa mig till att endast undersöka biokolets vattenreningsegenskaper under en kortare tidsperiod. Storleken på biokolfilteranläggningen är även i pilotstorlek.

2. TEORETISK BAKGRUND OM BOKOL

2.1 Pyrolysis

Biokol framställs genom en så kallad pyrolysisprocess, även kallad torrdestillation. Pyrolysis är en process där ett ämne upphettas till en hög temperatur, ofta till runt 500-1000°C .

Upphettningen sker i en syrefri miljö och det gör att ämnet bryts ned utan att en ordentlig förbränning sker. Under pyrolysisen går flyktiga ämnen över i gasform, medan de resterande fasta och flytande delarna förblir kvar (Wikipedia contributors, n.d.).

I en pyrolysisprocess bestämmer inmatad biomassa och pyrolysismetoden systemets produktion. När man vill producera biokol som är tänkt för att rena vatten till exempel istället för aktivt kol, är egenskaperna i kolet viktiga. Viktiga egenskaper är katjonbyteskapacitet, kolets ytarea och pH-värde. Dessa kan egenskaper kan optimeras med att använda lämplig temperatur i pyrolysisprocessen. En temperatur mellan 450 -600 ° C är sannolikt den mest optimala (Lehmann, 2012).

2.2 Skillnaden mellan olika koltyper

Svarta färgen har de flesta typer av kol gemensamt. Det är framförallt egenskaperna som skiljer mellan olika typer. Nedan beskriver jag skillnaderna mellan biokol och några andra vanliga sorter.

2.2.1 Träkol

Den kolsort som är närmast biokol är träkolet. Det som skiljer mellan dessa sorter är att biokolets användningsområden är jordförbättring och filtrering. Träkolet används främst till energi, som till grillkol. Biokol är vattenabsorberande medan träkol är tvärtom (vattenfrånstötande). Träkolet har även andra till förbränningen hörande egenskaper (*Biohiili*, n.d.).

2.2.2 Aktivt kol

Aktivt kol är kol som kan framställas av både biokol och träkol. Det är alltså ytterligare kemiskt bearbetat efter pyrolysen, alltså aktiverat. Vanligt är att man lägger till egenskaper som till exempel större reaktionsyta (*Biohiili*, n.d.).

2.2.3 Stenkol

Fossilt stenkol har i princip inget gemensamt med träkol och biokol. Stenket har ett högt energivärde. Stenket är en sedimentär bergart. Det används som bränsle i till exempel kolkraftverk för att producera elektricitet och fjärrvärme (*Biohiili*, n.d.).

2.2.4 Brunkol

Brunkol är även som stenkol en sedimentär bergart och ett fossilt bränsle. Skillnaden mellan brunkol och stenkol är att brunkolet är yngre, det har alltså varit en kortare tid sedimenterat än stenkol. Brunkolet har en lägre kolhalt och har således ett lägre energivärde än stenkol. Vid förbränning av brunkol uppstår det även mera utsläpp. Även brunkol används för energiproduktion (*Kol [Klimatfakta]*, n.d.).

2.3 Biokolets fördelar

Det finns många olika fördelar med att produktion och användning av biokol. Biokolet kan tex. användas till markförbättring, energiproduktion, och rening av vattenföroreningar. Beroende på användningssyfte måste biokolet ha olika blandningar av råmaterial, vara producerat med olika temperaturer och metoder. Man vet från förut att när man tillägger biokol i åkerjord binder jorden bättre gödsel och näringsämnen och på det sättet hjälper biokolet vattendragen även indirekt.

På grund av biokolets ytareal, större negativa laddning och laddningstäthet har biokol en stor potential att adsorbera katjoner per kolenhet i jämförelse med andra organiska material. Katjonerna är väl tillgängliga för växtupptag, vilket gör att biokol är ett bra markändringsmaterial (Lehmann, 2012).

2.4 Biokolets innehåll

Biokolet som använts i detta arbete består av över 90 % kol, har en ytarea på 500 mg/m² och en densitet på 200 kg/m³. Kolet har framställts under en pyrolystemperatur på ungefär 600 °C. Det är även tillagt järnsulfat för att effektivera fosforupptagningen. I övrigt innehåller biokolet beståndsdelarna enligt nedan (se tabell 1) (*The Real Black Gold*, n.d.).

Tabell 1. Carbofex Biochar Natural innehåll (*The Real Black Gold*, n.d.).

Konduktivitet	21,5 mS/m
Fukt	30 - 50%
Aska	1,6-4%
PAH (Polycykliska aromatiska kolväten)	~5 mg/kg
pH	~10
Total Fosfor (P)	270mg/kg
Vattenlöslig Fosfor (P)	<10 mg/kg
Total Kalium (K)	3200 mg/kg
Vattenlöslig Kalium (K)	1990 mg/kg
Total Kväve (N)	0.6 - 0.8 %
Arsenik (As)	<0,5 mg/kg,
Kadmium (Cd)	0,04 mg/kg
Kromium (Cr)	13mg/kg
Koppar (Cu)	4,7 mg/kg
Bly (Pb)	4,2 mg/kg
Nickel (Ni)	13 mg/kg
Zink (Zn)	56 mg/kg
Kvicksilver (Hg)	<0,02mg/kg

3. VATTENKVALITET I OLIKA AVRINNINGSSOMRÅDEN PÅ ÅLAND

I detta arbete har jag gjort en kartläggning över olika avrinningsområdets näringsinnehåll. För att jämföra har jag forskat fram analyser från de åländska sjöarna, en deponi, landbaserad fiskodling och Mariehamns avloppsreningsverk.

3.1 Lotsbroverket Mariehamn

Lotsbroverket är Mariehamns stads avloppsreningsverk. Till Lotsbroverket är sammanlagt sju kommuner anslutna. Hammarland, Jomala, Finström, Lemland, Saltvik, Sund och Mariehamn. Avloppsreningsverket är dimensionerat för 30.000 personekvivalenter. De har följande kvartalsmedelvärde på utgående avloppsvatten (*Lotsbroverket*, n.d.):

- Total fosfor (P) = 0,3 mg/l
- Total kväve (N) 15 mg/l

3.2 Svinryggens deponi Ab

Svinryggen deponi Ab är ett renhållningsbolag med deponin lokaliserad i Gottby. De tar emot de flesta typerna av avfall. Medeltalet för deras totalkväve och totalfosfor i det råa lakvattnet från de tre senaste åren 2018-2020 är följande (J. Svanfelt, personal communication, March 12, 2021):

- Total fosfor (P) = 0,41 mg/l
- Total kväve (N) = 62,75 mg/l

Här bör man notera att det råa lakvattnet ännu går via tre bassänger. En utjämningsbassäng, luftningsbassäng och sedimentationsbassäng. Från sedimentationsbassängen pumpas vattnet slutligen ut till en *salixskog* (J. Svanfelt, personal communication, March 12, 2021).

3.3 Åländska sjöar

Totalkväve och totalfosfor värden för åländska sjöar finns presenterade nedan (se tabell 2). Mätningarna har utförts under sommaren 2020 av Husö biologiska station. Dessa värden är intressanta på grund av att man även här skulle kunna använda biokol för att rena kväve och fosfor från vattnet som går till tillrinningsdikena (Ståhl, 2020).

Tabell 2. Åländska sjöarnas kväve och fosforhalter (Ståhl, 2020).

<i>Sjöar</i>	<i>Bjärströmsträsk</i>	<i>Degerbergsfjärden</i>	<i>Dalsträsk</i>	<i>Kvarnträsk</i>	<i>Långträsk</i>
Total Kväve (N) mg/l	1,87	1,065	0,589	0,972	0,913
Total Fosfor (P) mg/l	0,325	0,366	0,145	0,293	0,182

3.4 Havsområden nära Åland

Totalkväve och totalfosfor värden för Husövikens finns presenterade nedan. Mätningarna har utförts under sommaren 2020 av Husö biologiska station (*Långtidsserier Från Husö Biologiska Station : Provtagningar 1987 - 2020*, n.d.).

- Total fosfor (P) = 0,035 mg/l
- Total kväve (N) = 0,6 mg/l

3.5 Fifax Ab landbaserad fiskodling

Fifax Ab är en landbaserad fiskodling i Eckerö på Åland. Fifax grundades 2012 och de producerar regnbågslax med en utvecklad recirkulationsteknik (RAS). Fisken lever alltså i stora bassänger inomhus. De använder en biologisk rengöringsmetod med hjälp av biofilter för att rena processvattnet. Vattnet pumpas alltså upp från havet till fiskbassängerna. Vattnet filtreras och renas kontinuerligt varefter det återcirkuleras. Det är alltså endast en liten del vatten som byts ut. För tillfället pumpar de ut ungefär 10 m³/h processvatten tillbaka till havet (K. Jalo, personal communication, April 8, 2021).

Processvattnet (före biokolfiltret) som går ut till havet innehåller i medeltal fosfor och kväve enligt nedan:

- Total fosfor (P) = 4,3 mg/l
- Total kväve (N) = 15,6 mg/l

Recirkulationssystemet gör att utsläppen är förhållandevis små i jämförelse med fiskodlingar i havet. Det kan man till exempel konstatera med att se på verksamhetslov och miljölov. Fifax Ab har ett verksamhetslov på utsläpp av 200 kg fosfor och 1500 kg kväve per år. Deras verksamhetslov baserar sig på en årlig produktion på runt 3000 ton fisk. Nordic Trout Ab som bedriver havsfiskodling vid Klåvskär, Föglö får enligt deras miljölov belasta vattenmiljön med 2727 kg fosfor och 22 544 kg kväve per år. ÅMHM (Ålands miljö och hälsomyndighet) har räknat ut att Nordic Trout Ab kan odla ungefär 568 ton regnbågslox vid Klåvskär (*Miljötilstånd*, n.d.).

Man kan konstatera att det är en väldigt stor skillnad i övergödande utsläpp mellan land och havsbaserade fiskodlingar. Jämför vi Fifax kvävehalter är medeltalet inte mycket större än för Lotsbroverket. Svinryggens deponi har mycket högre halter av kväve, men här måste man ta i beaktande att deras kvävevärde är lägre efter att utgåendevattnet har renats i bassängerna. Fosforvärdena på det utgående vattnet är däremot väsentligt mycket högre på landsbaserad fiskodling än vid de andra verksamheterna.

3.6 Diskussion

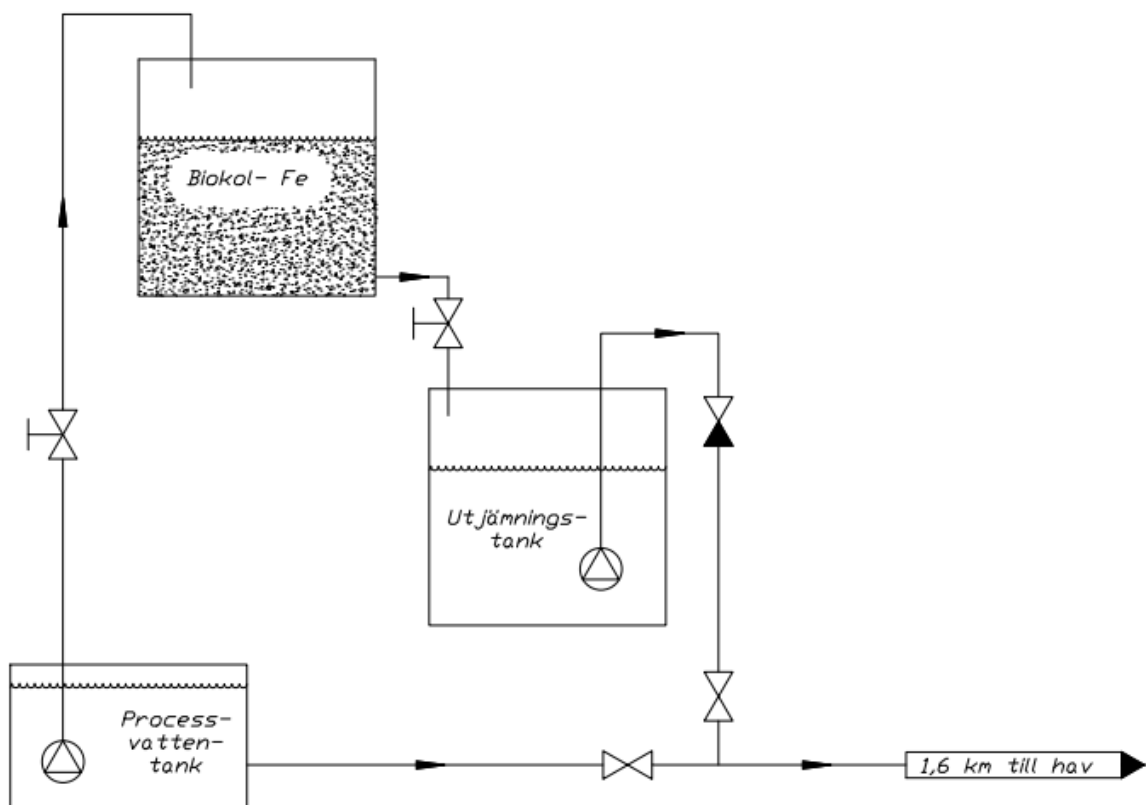
Man kan utgående från kartläggningen konstatera att åländska sjöar lider av övergödningssproblem. Fosforhalten för övergött vatten brukar vara runt 1-2 mg/l. En bidragande orsak till detta är att det idkas mycket jordbruk på Åland. Fiskodlingar på land brukar ha en fosforhalt på runt 3 mg/l vilket är nära vad Fifax har på sitt avrinningsvatten. Svinryggens deponi ligger också på en normal nivå, då fosforhalten brukar ligga runt 5 mg/l från deponiers lakvatten (S. Tukiainen, personal communication, February 8, 2021).

4. BIKOLFILTERANLÄGGNINGEN

Biokolfilteranläggningen har jag byggt och planerat i samarbete med Sampo Tukiainen (Vd Carbofex Oy.) Nedan (se figur 1) ses ett flödesschema över biokolfilteranläggningen.

4.1 Flödesschema

Från processvattentanken (vatten från fiskbassängerna) pumpas vattnet upp till själva biokolfiltret. På röret till filtret ställer man inkommande vattenflödet med ventilen. Efter det går vattnet in till filtertanken, varefter man ställer nivån i tanken och utgående flödet till utjämnings-tanken med ventilen på utgående röret. När nivån i utjämnings-tanken blir hög slår sänkpumpen i tanken igång och pumpar ut vattnet till röret som går ner till havet. Detta förlopp illustreras nedan (se figur 1).



Figur 1. Flödesschema över anläggningen

4.2 Val av testplats för anläggningen

För pilottestet av biokolfilteranläggningen valde vi den landbaserade fiskodlingen Fifax Ab i Eckerö på Åland. Detta gjorde vi för att Flexens Ab ordnade kontakten och hade redan i ett tidigare skede frågat om deras intresse i projektet. Fifax visade intresse för biokolfiltret på grund av att de eventuellt skulle kunna byta ut mera av sitt processvatten och gärna minska sina utsläpp ytterligare. Enligt diskussioner med Kimmo Jalo (teknisk direktör, Fifax Ab) har de ett verksamhetslov där avloppsvattnets övergödande ämnen får innehålla max 1500 kg kväve och 200 kg fosfor på årsbasis. Om man skulle kunna reducera mängden kväve och fosfor i utgående processvattnet skulle man på så vis kunna pumpa ut mera processvatten i havet. Denna minskning i utsläpp kunde även eventuellt i framtiden användas till att utvidga verksamheten (K. Jalo, personal communication, April 8, 2021).

4.3 Planering

Planeringen av anläggningen gjordes under hösten 2020 och början av året 2021. Jag gjorde även ett besök till Carbofex Oy i Tammerfors där vi planerade hur vi skulle bygga anläggningen. Vi kontaktade då även Fifax Ab för att få en uppfattning av var de hade tänkt att biokolfiltret skulle vara. Vi beställde delarna som skulle behövas. När de sedan anlät skickades delarna till biokolfiltret till Fifax Ab.

4.4 Byggandet

Under dagarna 7-8 april 2021 installerade och byggde jag ihop biokolfiltret på Fifax Ab i samarbete med Sampo Tukiainen. Biokolfiltret består i huvudsak av två stycken 1 m³ IBC-tankar. Den ena tanken är halvfylld med biokol som är blandat med järnsulfat. Järnsulfatet gör att biokolet bättre fångar upp fosfor P (se figur 1).



Figur 2. Själva filtret med biokol blandat med järnsulfat

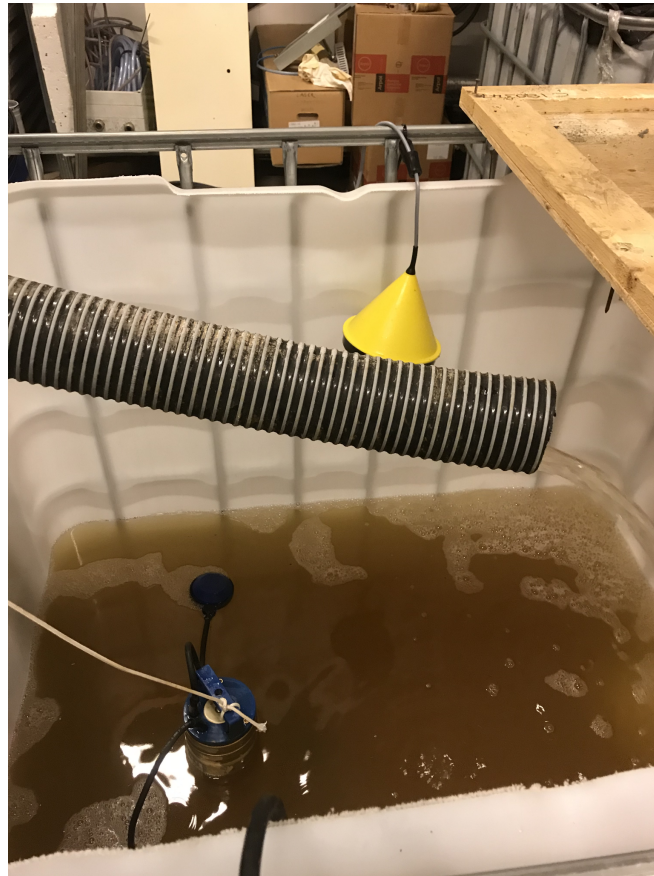
Till filtertanken pumpas ungefär 1 m³ vatten med en sänkpump från en processvattentank.

Flödet justeras med en strypventil som är på pvc-röret in (se figur 2).



Figur 3. Inloppsroret med reglerventil

Till den andra tanken (utjämningsstanken) rinner vattnet från filtertanken med självtryck vilket gör det enklare att justera in flödet än om en sugande pump hade varit direkt kopplad till filtertanken. Från utjämningsstanken pumpas vattnet till avloppsledningen med en nivåstyrd sänkpump. Nedan ser vi utjämningsstanken med tömningspump och flottör, samt den gula flottören som är en säkerhetsfunktion. Den stänger av filtertankens tillflödespump ifall tömningspumpen skulle sluta fungera (se figur 4).



Figur 4. Utjämningsstanken med tillbehör

Från utjämningsstanken pumpas sedan det filtrerade vattnet vidare till den gröna avloppsledningen (se figur 5). I denna ledning är det ett flöde på runt 10 m³/h processvatten som går ut till havet. Detta rör är ungefär 1,6 km långt. För att det filtrerade vattnet från biokolfiltret skall flöda med behövs det en tillräckligt effektiv sänkpump. Trycket i ledningen uppskattas till runt 0,5-1 bar. Det behövs även en backventil så att inte vattnet från avloppsledningen börjar fylla upp utjämningsstanken.



Figur 5. Gråa slangen där filtrerade vattnet pumpas till den gröna slangen.

4.4.1 Vattenrören

På grund av att det är en testanläggning så valdes vattenrören för enkelhetens skull till entums pvc-plaströr. Pvc-rör är behändiga på det sättet att man köper rörkrökar, kopplingar och rör enligt behov. Sedan kapar man rören enligt önskad längd. Efter det putsar man ytorna som skall limmas med pvc-rengöringsmedel och limmar ihop delarna med pvc-lim (se figur 6). Pvc-rör och kopplingar är mycket starka och används ofta i bland annat poolanläggningar.



Figur 6. Limning av pvc-rör

4.4.2 Problem

Ett problem som uppstod under byggandet och planeringen var hur vi skulle få det filtrerade vattnet till ett avlopp. Från början var det tänkt att vi skulle låta det filtrerade vattnet rinna tillbaka till tanken som vattnet pumpas upp från. På grund av att en del av vattnet i tanken går tillbaka till fiskarna, valdes det att vi skulle pump ut vattnet till havet istället. På grund av att biokolet måste hinna suga åt sig är det viktigt att vattnet rinner igenom med i princip självtryck. Därför var den bästa lösningen att installera utjämningstanken med sänkpump och backventil.

5. FILTRERING AV VATTNET

Testet påbörjade fredagen 09.04.2021. Vi hade från början tänkt att flödet in i biokolfiltret skulle vara runt 1 m³ i timmen. Det visade sig under närmaste dagarna efteråt att det inte var möjligt. Problemet är att man vill hålla en någorlunda konstant hög nivå med vatten i filtertanken. Det visade sig vara svårt att ställa in inkommande vatten och utgående vatten med så stort flöde. Detta resulterade i att det började rinna över från överrinningsrören (se figur 7). När vi konstaterade detta minskade vi flödet till ungefär 0,5 m³ i timmen vilket visade sig fungera bättre. Flödet har ställts in så att ungefär en tredjedel av kolet i tanken är vattenfyllt. Detta är för att kolet skall hinna dra i sig kväve och fosfor.

En bidragande orsak till att det varit svårt att ställa in flöden är att det kommer in små kolpartiklar i dräneringsröret som är under kolmassan. Detta gör att det lätt stockar i utloppsventilen.



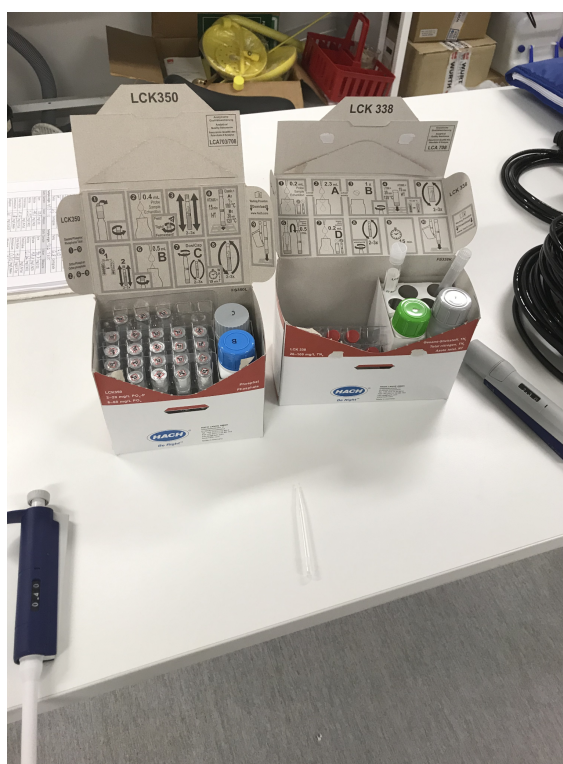
Figur 7. Överrinningsrören

5.1 Utveckling

En idé för att motverka stock i utloppsventilen skulle vara att man har sista lagret ovanför dräneringsröret fyllt med grus. Detta skulle leda till att de små kolpartiklarna inte skulle komma igenom. Det skulle även vara en idé att ha en så kallad svanhals (krökt rör) från utloppsröret som skulle gå upp till lite en nivå lite under överinningsrören. Detta skulle även göra det lättare att hålla konstant önskad nivå i tanken.

6. VATTENPROVTAGNING

Vattenprover har tagits dagligen på vattnet före och efter biokolfiltret. Vi har under detta test koncentrerat oss på enbart totalkväve och totalfosfor. Proven har tagits med Fifax Abs labbutrustning. De använder vattenanalyseringsutrustning av tillverkaren *Hach*. Resultaten av vattenproven kommer att presenteras under rubriken analys. Kväve-fosforanalyserna är relativt enkla att utföra. Det är bara att följa instruktionerna som står på förpackningarna (se figur 8).



Figur 8. Totalkväve och totalfosfor analys

När man tillagt reagenserna och vattnet man vill ta prov på skall sedan proverna värmas till 120 °C. Detta tar 30 minuter och görs med tillhörande värmare. Värmaren meddelar när proven är färdigt värmda. Efter det skall man sedan igen tillsätta reagenser och låta proven kyla till rumstemperatur (18-20 °C). När proven sedan är kylda lägger man dem i en analyseringsapparat som automatiskt läser av etiketten på proven och sedan ger ut svaren (se figur 9).



Figur 9. Vattenprovanalys

7. ANALYS

För att kunna analysera mätresultaten från provtagningen av ingående processvattnet och utgående filtrerade vattnet presenterar jag resultaten i tabeller och diagram.

7.1 Biokolets upptagningsförmåga av fosfor

Nedan kan resultaten för fosforeringen från testperioden på 21 dagar ses (se tabell 2). Under denna period har vi filtrerat processvatten dygnet runt med ett vattenflöde på ungefär 0,5 m³ per timme. Biokolmängden har varit ungefär 0,5 m³. Vattenproverna har jag tagit en gång per dygn vid samma klockslag. Utifrån tabellen kan man räkna ut medeltalet på hur mycket fosfor biokolet har upptagit i mg/l. Resultatet blir att biokolet renat ungefär 0,509 mg fosfor per liter under testperioden. Jag har även räknat ut hur mycket värdena före och efter skiljer sig i procent under varje dygn för att lättare se storleken på upptagningen.

Tabell 2. Mätresultat, före och efter biokolfiltret (fosfor P)

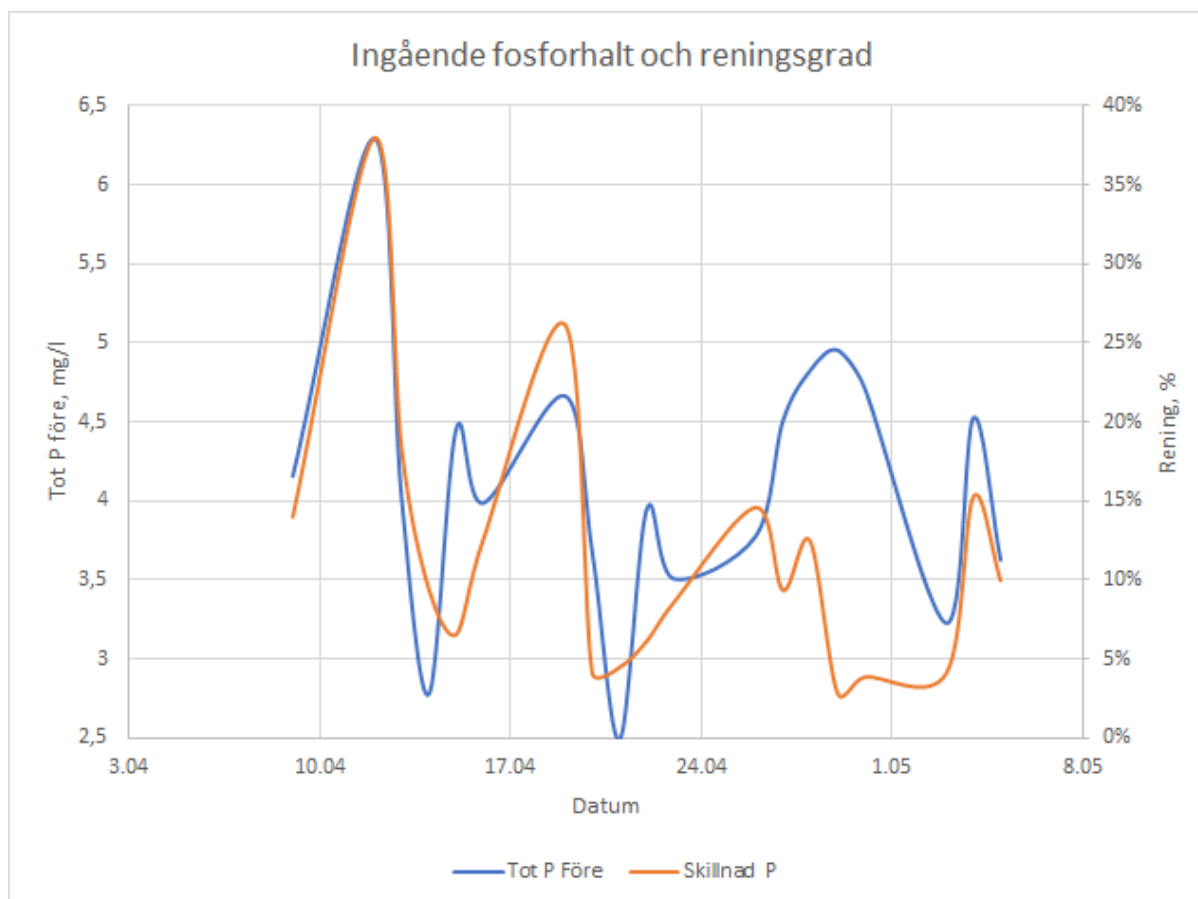
<i>Datum</i>	<i>Total fosfor (P) före mg/l</i>	<i>Total fosfor (P) efter mg/l</i>	<i>Rening i procent %</i>
04.09.2021	4,16	3,58	13,90
12.04.2021	6,3	3,91	38,00
13.04.2021	4,01	3,28	18,20
14.04.2021	2,78	2,52	9,30
15.04.2021	4,46	4,17	6,50
16.04.2021	3,99	3,49	12,50
19.04.2021	4,67	3,45	26,10
20.04.2021	3,68	3,53	4,10
21.04.2021	2,49	2,38	4,40
22.04.2021	3,95	3,71	6,00
23.04.2021	3,51	3,21	8,60

26.04.2021	3,78	3,23	14,50
27.04.2021	4,51	4,09	9,30
28.04.2021	4,83	4,23	12,40
29.04..2021	4,96	4,82	2,80
30.04.2021	4,72	4,54	3,80
03.05.2021	3,23	3,10	4,00
04.05.2021	4,53	3,84	15,20
05.05.2021	3,63	3,27	9,90
06.05.2021	4,29	3,78	11,90
07.05.2021	3,43	3,10	9,60

7.1.1 Resultat av fosforrening i relation till tiden

För att bättre kunna se hur reningen har varierat under testperioden har jag framställt ett diagram med dygnet under testperioden och reningen i procent (se figur 10). Första dygnet när testet påbörjades kan man se att biokolet renade ungefär 14 % fosfor. Sedan ökade reningen ganska drastiskt till nästan 40%. Detta kan förklaras med biokolets egenskaper. Första dygnet testet pågick var biokolet torrt och oanvänt. För att biokolet skall kunna uppta föroreningar måste det vara vått. Därför ökade reningen ganska drastiskt till andra provtagningen.

Som vi kan se under resterande tiden av testperioden varierar resultatet ganska mycket från dag till dag. Detta beror troligtvis på det ingående processvattnets ganska varierande fosforvärden. Från mätresultaten som presenterats tidigare kan man se att desto högre fosforvärden det ingående vattnet haft desto mera har kolet renat. Variationerna i resultatet kan även förklaras med variationer i flödet. Speciellt i början var det utmaningar till att komma fram till det flöde som ger en konstant nivå i filtertanken.



Figur 10. Diagram över fosforreningen i relation till tiden

7.1.2 Smutsighetsgraden på det ingående vattnets påverkan på resultatet

Som tidigare förklarat kan man se från testperioden att de dagar biokolet har renat fosfor procentuellt mest har även fosforvärdena varit exceptionellt höga. Dessa höga värden beror på att dessa dagar har Fifax backspolat sina reningsfilter. Detta leder även till att det kommer mera och större partiklar i vattnet som pumpas upp till biokolfiltret. Högst antagligen är det även därför som vi fått bästa reningsresultat dessa dagar. Höga fosforvärden har alltså berott på mycket partiklar och dessa har sedan fastnat i biokolfiltret. Detta gör sedan att det filtrerade vattnet blir renare än vanligt.

7.2 Biokolets upptagningsförmåga av kväve

För kvävereningen har jag även sammanställt en likadan tabell som för fosfor. Nedan kan resultaten för kvävereningen från testperioden på 11 dagar ses (se tabell 3). Utifrån tabellen kan man även här räkna ut medeltalet på hur mycket kväve biokolet har upptagit i mg/l. Resultatet blir att biokolet renat ungefär 2,369 mg kväve per liter under testperioden. Även

här har jag räknat ut hur mycket värdena före och efter skiljer sig i procent under varje dygn för att lättare se storleken på upptagningen.

Tabell 3. Mätresultat, före och efter biokolfiltret (kväve N)

Datum	Total kväve (N) före mg/l	Total kväve (N) efter mg/l	Rening i procent %
04.09.2021	14,90	13,50	9,40
12.04.2021	20,80	14,00	32,70
13.04.2021	15,80	12,70	19,60
14.04.2021	11,00	9,75	11,40
15.04.2021	18,20	13,00	28,60
16.04.2021	15,10	12,00	20,50
19.04.2021	19,90	15,00	24,60
20.04.2021	13,20	12,40	6,10
21.04.2021	17,40	15,80	9,20
22.04.2021	10,50	10,50	0,00
23.04.2021	17,70	13,30	24,90
26.04.2021	30,10	27,80	7,640
27.04.2021	26,80	26,30	1,90
28.04.2021	21,10	18,10	14,20
29.04..2021	16,00	14,30	10,60
30.04.2021	17,20	16,30	5,20
03.05.2021	14,50	13,20	9,00
04.05.2021	17,90	16,50	7,80
05.05.2021	20,10	18,60	7,50
06.05.2021	18,90	15,80	16,40
07.05.2021	14,80	13,30	10,10

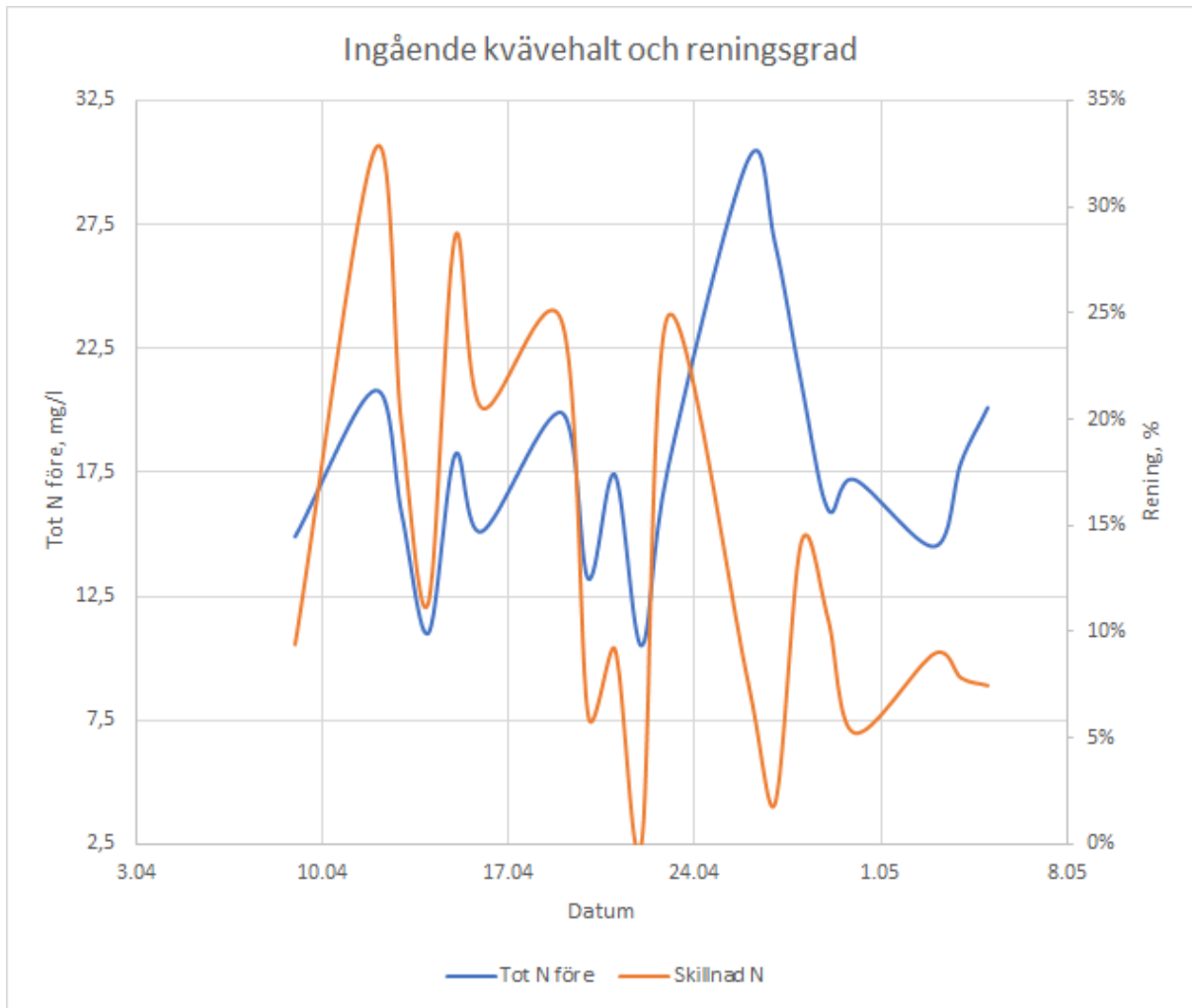
7.2.1 Resultat av kväverening i relation till tiden

För att bättre kunna se hur reningen har varierat under testperioden har jag även här framställt ett diagram med dygnet under testperioden och reningen i procent (se figur 11). Första dygnet när testet påbörjades kan man se att biokolet renade ungefär 10 % kväve. Sedan ökade reningen ganska drastiskt till nästan 33%. Detta kan antas bero på samma orsak som för fosforreningen.

Som vi kan se under resterande tid av testperioden varierar resultatet ganska mycket från dag till dag. I relation till fosforreningen varierar kvävreningen ändå lite mindre. Även kvävevärdena för det ingående processvattnet varierar ganska mycket. Från mätresultaten som presenterats tidigare kan man även här se att desto högre kvävevärden det ingående vattnet haft desto mera har kolet renat. Det som är intressant och positivt är att biokolet tar upp så pass mycket kväve.

7.2.2 Smutsighetsgraden på det ingående vattnets påverkan på resultatet

Även här kan man se från testperioden att de dagar biokolet har renat kväve procentuellt mest har även kvävevärdena varit exceptionellt höga. Även höga kvävevärden beror på att dessa dagar har Fifax backspolat sina reningsfilter. Detta leder även till att det kommer mera och större partiklar i vattnet som pumpas upp till biokolfiltret. Högst antagligen är det även därför som vi fått bästa reningsresultat även i reningen av kväve dessa dagar. Höga kvävevärden har alltså berott på mycket partiklar och dessa har sedan fastnat i biokolfiltret. Detta gör sedan att det filtrerade vattnet blir renare än vanligt.



Figur 11. Diagram över kvävereningen i relation till tiden

8. KOSTNADSBERÄKNING

Utifrån mätresultaten har jag beräknat vad kostnaden skulle bli av att rena processvattnet från kväve och fosfor med biokol. För det första måste man veta hur mycket fosfor och kväve biokolet kan absorbera före det är mättat. Dessutom måste man veta hur mycket biokolet faktiskt absorberar från den pågående processen. Vi har genom experiment fått reda på att 0,5 m³ kol kan absorbera 128 g fosfor och med vårt flöde 0,5 m³/h sker detta på 21 dagar (periodtiden blir med andra ord 21 dygn) så kommer det att krävas 30/21 satser per 30-dagarsmånad. Biokolet kostar 200 € per kubikmeter så månadskostnaden blir således:

$$x = \frac{y \text{ €}}{2 \text{ satser}} \cdot \frac{30 \text{ dagar}}{\text{månad}} \cdot \frac{\text{sats}}{21 \text{ dagar}} = \frac{200 \cdot 30}{2 \cdot 21} = 142,90 \text{ €/månad}$$

där:

$x = \text{kostnaden i euro per månad}$

$y = \text{kolpris per kubikmeter}$

Priset för att rena 128 g fosfor med flödet 0,5 m³ bli med andra ord 100 euro. Om Fifax skulle rena hela sitt avloppsvattenflöde på runt 10 m³/h skulle det behövas 10/0,5 = 20 gånger mera kol. Reningen på årsnivå med flödet 10 m³/h skulle uträknat bli 44 kg fosfor, enligt nedan.

$$\text{fosfor} = \frac{2563 \text{ g}}{\text{period}} \cdot \frac{\text{period}}{21 \text{ dagar}} \cdot \frac{365 \text{ dagar}}{\text{år}} = 44,55 \text{ kg/år}$$

Årsreningen av kväve beräknas på samma sätt:

$$\text{kväve} = \frac{11940 \text{ g}}{\text{period}} \cdot \frac{\text{period}}{21 \text{ dagar}} \cdot \frac{365 \text{ dagar}}{\text{år}} = 207,53 \text{ kg/år}$$

Årskostnaden för reningen blir med processvattenflödet 10 m³/h blir enligt nedan:

$$\text{Årskostnad} = \frac{365 \text{ dagar}}{\text{år}} \cdot \frac{\text{period}}{21 \text{ dagar}} \cdot \frac{20 \text{ sats(er)}}{\text{period}} \cdot \frac{100 \text{ €}}{\text{sats}} = 34761,90 \text{ €/år}$$

I detta fall mätts kolet av fosfor och kväve samtidigt (se provtagningsresultat) vilket innebär att vi bara behöver göra beräkningarna för den ena föroreningen. Hade vi försökt rena processvattnet från ämnen som mättar kolet efter olika antal dagar, hade beräkningarna gjorts för det ämne som mättar först eftersom vi vid denna tidpunkt måste byta hela kolsatsen.

8.1 Uppskalning av anläggning

Om man önskar öka flödet kan man (eftersom kostnaderna är linjärt proportionella mot biokolbehovet, som i sin tur är linjärt proportionellt mot volymflödet) med hjälp av reguladetri beräkna de nya kostnaderna:

$$\frac{10 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{\text{år}}{34761,90 \text{ €}} = \frac{\dot{V}}{\text{€}} \rightarrow \text{€} = \frac{\dot{V} \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{h}{10 \text{ m}^3} \cdot \frac{34761,90 \text{ €}}{\text{år}}$$

Vi tar som exempel en ökning av processvattenflödet till 20 m³/h:

$$\frac{10 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{\text{år}}{34761,90 \text{ €}} = \frac{\dot{V}}{\text{€}} \rightarrow \text{€} = \frac{20 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{h}{10 \text{ m}^3} \cdot \frac{34761,90 \text{ €}}{\text{år}} = 69523,80 \text{ €/år}$$

Med en fördubbling av volymflödet kommer en fördubbling av biokolbehovet och även en fördubbling av mängden utskiljda ämnen. Detta kan i enkelhet betraktas som två parallella anläggningar.

8.2 Leasing av biokol

Företaget Carbofex Oy kan eventuellt erbjuda leasing av biokolet för en grov uppskattning på runt 100 € per m³. I sådant fall behöver de hitta en köpare när kolet är mättat. När kolet är mättat i filteranläggningen kan det användas till jordförbättringsmedel inom jordbruket. Detta skulle innebära att alla uträknade kostnader skulle kunna minskas med hälften.

9. SLUTSATSER

Fifax får enligt verksamhetslov släppa ut 200 kg fosfor och 1500 kg kväve per år. En reduktion av utsläppet av fosfor med nästan 44 kg per år motsvarar ungefär 22 %. En reduktion av 207 kg kväve på årsbasis motsvarar ungefär 14 % utsläppsminskning. Eftersom kolet måste bytas redan när det är mättat av det ena ämnet blir det den lägre av dessa siffror som styr hur mycket man i motsvarande grad skulle kunna öka produktionen, eller förbättra processvattenkvaliteten genom ett större vattenutbyte.

Utifrån enbart dessa siffror kan vi inte göra någon lönsamhetskalkyl. För att göra en sådan hade vi behövt veta vilka kostnader som kan minskas av ibruktagandet av denna filteranläggning. Fifax har inte meddelat vilka delar av deras verksamhet som skulle kunna rationaliseras efter en installation av biokolfilter och därför måste vi överlåta lönsamhetskalkylen åt dem.

Beräkningarna baserar sig på en ganska kort period. Detta på grund av coronapandemin samt att önskat resultat inte uppnåtts på 4 veckor. Fifax hade även andra undersökningar med andra vattenreningsmetoder på gång. Dessutom varierar den ingående processvattenkvaliteten ganska mycket vilket gör att våra provtagningar kanske bör ses mera som stickprov. Detta ger förstås utrymme för större variationer och helst borde en utredning som denna utföras över längre tid än vad som har funnits tillgängligt för examensarbetet.

Denna studie, som var den första i sitt slag att genomföras med saltvatten, visar att biokol mycket väl kan användas även för detta medium. I övrigt är denna typ av kolfilteranläggningar så gott som uteslutande i bruk endast i sötvattenanläggningar.

9.1 Jämförelse med äldre undersökningar

Som nämnts tidigare torde detta test vara det första där man undersöker biokolets vattenreningsegenskaper med havsvatten (saltvatten). Testerna med sötvatten har även haft varierande resultat. Vår testanläggning är även i mycket mindre skala än vad de flesta andra undersökningar har varit.

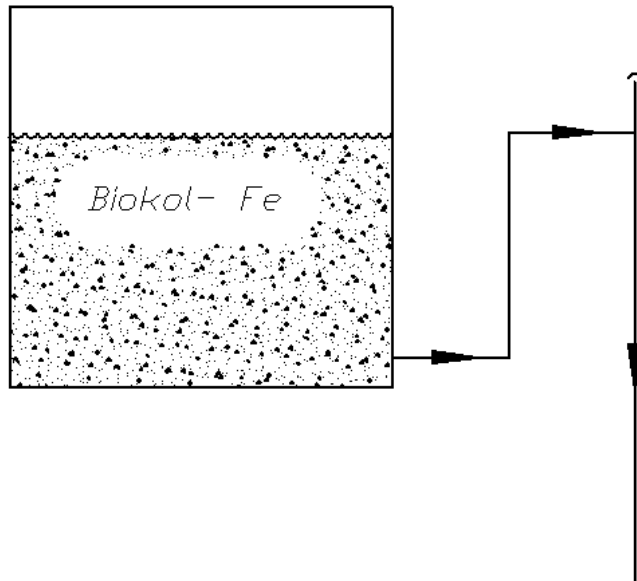
Ett pilottest som gjorts är EU-projekt som heter Urban Nature Lab där Tammerfors stad är med. Där har ett biofilter byggts vid Hiedanranta i Tammerfors. Där är en gammal deponi för massa från pappersindustrin. Avrinningsvattnet leds till ett ungefär 100 kvadratmeter stort biofilter som består av biokol, grus och torv. Vattenflödet till anläggningen har varit ungefär 1,5 m³/h. Ingående vattnet till filtret hade en fosforhalt på 0,9 mg/l och kvävehalt på 22 mg/l. Resultatet var att i början av testet fick man en minskning om 80% kväve och 90% fosfor. Med tiden blev resultat sedan sämre och till sist började även filtret ge av sig av det absorberade kvävet och fosfor (Nikupeteri, 2019).

Man kan konstatera att i testet vi har gjort har vi inte ens i början av testperioden haft så höga reningsresultat. I början var det ändå rening på runt 30-40 % vilket inte är helt dåligt. Tyvärr har reningen inte varit lika bra sedan. Detta kan i sin tur bero på att vår anläggning är mindre och att det är saltvatten vi filtrerat.

9.2 Förslag för förbättring

För att få ett noggrannare resultat skulle det kunna vara bra att ha kontinuerlig mätning på det ingående och utgående vattnet man kör igenom biokolfiltret. Detta kräver tyvärr teknik som inte ännu är allmänt tillgänglig på marknaden. Åtminstone skulle det vara bra att ta flera vattenprov under dygnet.

För att få filtret att hålla en jämnare vattennivå skulle man istället för en reglerventil på utloppet kunna använda en sorts bräddavlopp som ansluts till botten på filtertanken, enligt skissen nedan (se figur 12).



Figur 12. Förbättringsförslag

På bräddavloppet monteras i översta punkten ett t-stycke för att bryta eventuell hävertverkan som annars skulle kunna dränera tanken.

KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

Biohiili. (n.d.). Retrieved April 26, 2021, from <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/>

Jalo, K. (2021, April 8). [Letter to Kimmo Jalo].

kol [Klimatfakta]. (n.d.). Retrieved May 14, 2021, from

<https://www.klimatfakta.info/doku.php?id=kol>

Långtidsserier från Husö biologiska station : Provtagningar 1987 - 2020. (n.d.). Retrieved April 26,

2021, from <https://paperpile.com/app/p/45d6f3a0-621e-0466-9bdf-f75c62d5337d>

Lehmann, J. (2012). *Biochar for Environmental Management*. <https://doi.org/10.4324/9781849770552>

Lotsbroverket. (n.d.). Retrieved March 29, 2021, from

<https://www.mariehamn.ax/boende-miljo/boende-i-mariehamn/vatten-och-avlopp/lotsbroverket/>

Miljötillstånd. (n.d.). Retrieved April 15, 2021, from

<https://www.amhm.ax/om-amhm/aktuellt/miljotillstand?page=2>

Nikupeteri, L. (2019). HIEDANRANNAN JA VUOREKSEN HULEVESIJÄRJESTELMIEN

TULOKSET 09/2018-07/2019. *HIEDANRANNAN JA VUOREKSEN*

HULEVESIJÄRJESTELMIEN TULOKSET, 34.

Ståhl, P. (2020). *Grundkartering och bedömning av vattentäktspotential i fem åländska sjöar* (No.

156). Åbo Akademi.

Svanfelt, J. (2021, March 12). [Letter to Jesper Svanfelt].

The real black gold. (n.d.). Carbofex. Retrieved March 27, 2021, from

<https://www.carbofex.fi/?view=Dialog-Biochar>

Tukiainen, S. (2021, February 8). [Letter to Sampo Tukiainen].

Wikipedia contributors. (n.d.). *Pyrolysis*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved November 10,

2020, from <https://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Pyrolysis&oldid=48170612>

BILAGOR

Bilaga 1

