



Elektrokemisk teknik

Flotation av fosfor och grönalger med elektrokemisk teknik

Sandra Pörhölä

Student

Examensarbete i Miljö & Hälsoskydd 15 hp

Kandidatexamen

Rapporten godkänd: 15 september 2014

Handledare: Torgny Mossing

Electrochemical technique– Flotation of phosphorus and green algae with electrochemical technique

Author: Sandra Pörhölä

Abstract

The purpose of this study is evaluating a new water treatment technology; electrochemical technique and see if the technique is an alternative for municipal wastewater treatment. The aim of the project was also to test the electroflotation by purification of phosphorus from synthetic wastewater and separation of green algae from the culture medium so the technology can be evaluated. To answer the purpose, two different experiments were made at laboratory. In the first experiment, wastewater was purified from phosphorus with electroflotation. In the second experiment, green algae were separated with the same technology, but with different machine. The results of the study show that the electrochemical technology is a good technique to separate green algae from the culture medium. In the tests the removal efficiency was over 90 %. Results from the phosphorus purification did not go so well, because sources of error in the system. To summarize the results of the project the electrochemical technology is a good alternative to other wastewater treatments because it's more environmental friendly and easy to operate.

Key words: electrochemical technology, electroflotation, wastewater, phosphorus, green algae

Förord

Jag vill tacka Torgny Mossing och som gav mig projektet och hjälpte mig med handledning. Sedan vill jag tacka Britta Lindholm- Sethson och Kenichi Shimizu som gav mig råd och hjälpte mig under laborationen. Jag vill även tacka Umeå energi som levererade grönalger för laborativt bruk.

Umeå, augusti 2014

Sandra Pörhöla

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Frågeställningar.....	1
2 Bakgrund	1
2.1 Konventionella reningstekniker.....	1
2.1.1 Mekanisk rening.....	1
2.1.2 Kemisk rening.....	1
2.1.3 Biologisk rening.....	2
2.1.4 Biologisk fosforrening.....	2
2.2 Slambehandling.....	3
2.3 Avloppsrening i en kommun.....	3
2.4 Lagstiftning.....	4
2.5 Elektrokemisk reningsteknik.....	4
2.5.1 Elektrokoagulation.....	5
2.5.2 Elektroflotation.....	5
3 Material och metod	6
3.1 Litteraturstudie.....	6
3.2 Rening av fosfor från syntetiskt avloppsvatten.....	6
3.3 Flotation av grönalger från odlingsmedium.....	7
4 Resultat	8
4.1 Fosforrening från syntetiskt avloppsvatten.....	8
4.2 Flotation av grönalger från odlingsmediet.....	9
5 Diskussion	10
5.1 Fosforrening med elektroflotation.....	11
5.2 Elektroflotation av grönalger.....	11
5.3 Slutsats.....	12
6 Referenser	12

Bilagor

Bilaga 1 – Recept för syntetiskt avloppsvatten

1 Inledning

Utsläpp av orenat avloppsvatten ut till naturen är skadligt för miljön. Orenat avloppsvatten innehåller föroreningar i form av läkemedelsrester och smittämnen i form av bakterier och virus som kan orsaka reproduktionssårigheter hos fisk och sjukdomar hos människor och djur. Det är därför viktigt att avloppsvattnet renas innan det släpps ut till vattendrag (Naturvårdsverket 2014). Orenat avloppsvatten leder till övergödning av sjöar och vattendrag, då överskott av näringsämnen kväve och fosfor leder till att alg tillväxten stimuleras som kan leda till igenväxning, algbloomning, syrebrist och bottendöd (Havs och vattenmyndigheten 2014). Fram till 1960-talet var många sjöar och vattendrag övergödda och förorenade på grund av otillräcklig rening av avloppsvatten. Mellan 1971 - 1979 började staten förbättra de kommunala avloppen och en stor satsning på 1,5 miljarder kronor användes till att bygga ut de kommunala avloppsreningsverken. Kraftig uppbyggnad av avloppsledningsnätet ägde även rum. Industrier fick statligt bidrag för att förbättra sin rening av avloppsvatten. Satsningen ledde till att vattnet i sjöar och vattendrag blev mycket renare. Idag är nästan alla hushåll kopplade till kommunala avloppsreningsverk (Naturvårdsverket 2010).

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utvärdera en ny vattenreningsteknik som är en elektrokemisk teknik och se om tekniken är ett alternativ för kommunala reningsverk. Syftet med projektet är även att med försök testa elektroflotation genom rening av fosfor från syntetiskt avloppsvatten och genom separering av grönalger ur ett odlingsmedium så att tekniken kan utvärderas.

1.3 Frågeställningar

- Fungerar elektrokemisk teknik för rening av fosfor?
- Fungerar elektrokemisk teknik för separering av grönalger?
- Vilka fördelar och nackdelar finns det med elektrokemisk jämfört med konventionella reningstekniker?
- Varför används inte tekniken i större skala på kommunala avloppsreningsverk?

2 Bakgrund

2.1 Konventionella reningstekniker

Rening av avloppsvatten i de kommunala reningsverken sker vanligtvis med tre metoder; mekanisk rening, kemisk rening och biologisk rening. Efter sista reningssteget kan det finnas ytterligare reningssteg i form av kväverening, filtrering eller eftersedimentering. Figur 1 visar ett exempel på ett flödesschema över olika reningssteg i ett konventionellt kommunalt reningsverk.

2.1.1 Mekanisk rening

Mekanisk rening är det första steget i reningsprocessen och har till uppgift att rensa stora och grova partiklar som t.ex. papper, plast och hår från avloppsvattnet. Suspenderat material renas även till en viss del. Mekanisk rening av avloppsvattnet kan ske med galler, sandfång, silar eller med sedimenteringsbassänger. Förbehandling krävs för att skydda det senare reningsstegen från igenstoppning och onödig slitage (Naturvårdsverket 2007).

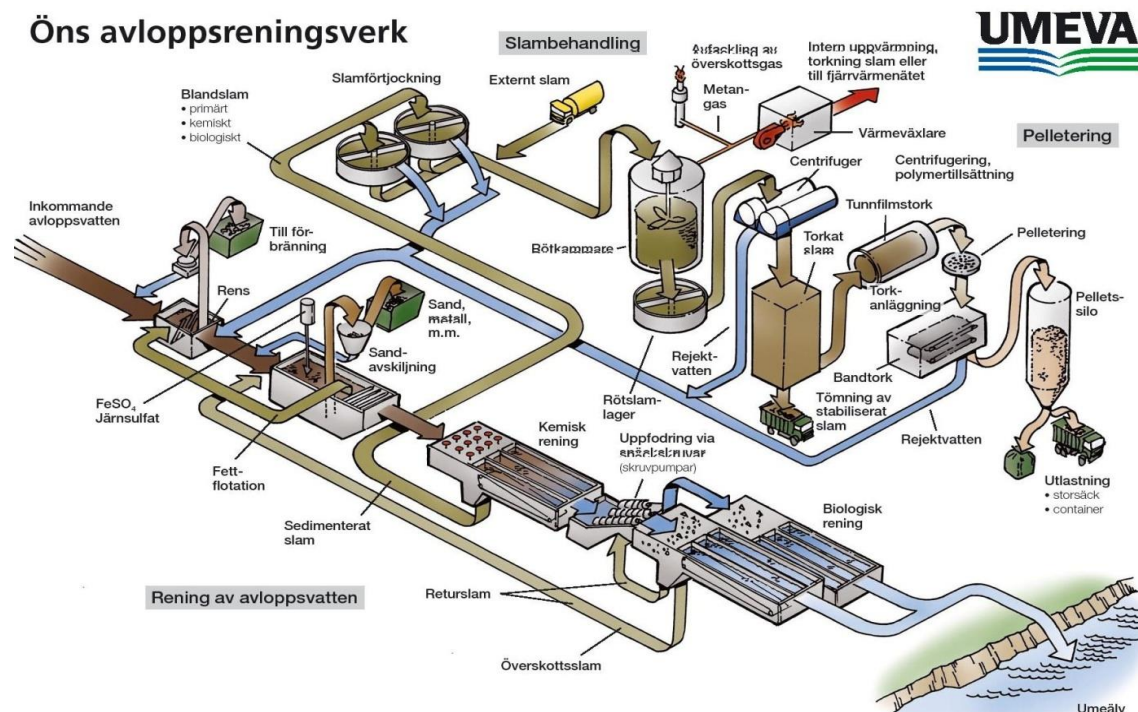
2.1.2 Kemisk rening

Det främsta syftet med kemisk rening är att avskilja fosfor från avloppsvattnet. Avskiljningen sker genom kemisk fällning. Vid kemisk fällning tillsätts fällningskemikalier i vatten i form av järn - eller aluminiumsulfat. Kemikalierna ger upphov till att fosfor fälls ut och flockas.

Efter fosfor har flockats avskiljs slammet genom sedimentering. Kemisk rening kan användas som ett enda reningssteg, som en förbehandling eller i kombination med biologisk rening (Naturvårdsverket 2010).

2.1.3 Biologisk rening

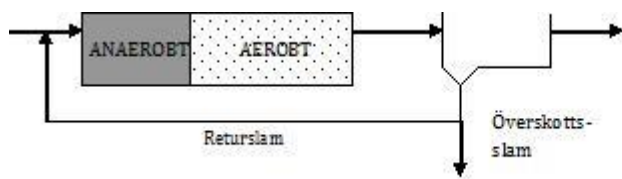
I biologisk rening renas avloppsvattnet med mikroorganismer, främst bakterier. Mikroorganismer livnär sig på organiskt material och renar vattnet genom att omvandla och koncentrera föroreningar så att det organiska ämnet oxideras och omvandlas till vatten, koldioxid och bakteriell cellsubstans. Processen är temperaturberoende då mikroorganismer kräver en viss temperatur för att vara aktiva. Lägre temperatur saktar ner processen. Bassängerna kräver även luftning. Exempel på biologisk rening är aktivslamprocessen där organisk substans bryts ner i en aerobassäng med suspenderat bakteriekultur. I processen bildas det slam som separeras till ett eftersedimenteringssteg. En del av slammet återcirkuleras till aerobassängen för att bakteriekoncentrationen ska hållas i rätt nivå. Anläggningen är känslig för flödesvariationer (Naturvårdsverket 2007, 2010).



Figur 1. Flödesschema över ett konventionellt kommunalt avloppsreningsverk i Umeå kommun (Umeva 2014a).

2.1.4 Biologisk fosforering

Biologisk fosforering eller så kallat bio-P är en reningsmetod som renar avloppsvatten från fosfor med hjälp av mikroorganismer. Metoden är ett mer miljövänligt alternativ till kemisk fosforavskiljning då inga kemikalier används och slammet innehåller mindre tungmetaller. Bio-P fungerar genom att avloppsvattnet passerar först en anaerob del och sedan en aerob del och sist genom en sedimentering. En del av slammet som bildas recirkuleras tillbaka till det anaeroba steget för att behålla en stabil bakteriekultur. Processen kallas för A/O-processen (Anaerob/Oxic) och visas i figur 2 nedan. I den anaeroba delen finns det aktivt slam med mikroorganismer och där sker en hydrolys av organiskt material, upptag av biotillgängligt kol och utsläpp av fosfor. I den aeroba delen sker ett upptag av fosfor och en tillväxt av mikroorganismer. Bio-P processen är mycket känslig för störningar på grund av mikroorganismerna kan slås ut vid en eventuell störning som t.ex. vid större flöde eller belastning (Svenskt vatten 2014).



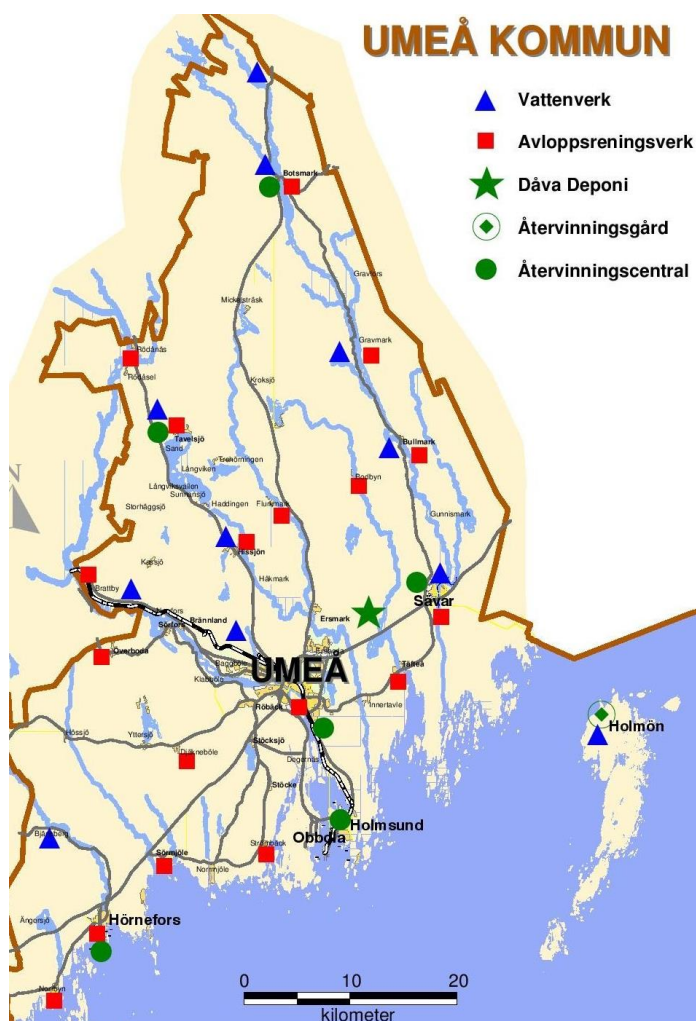
Figur 2. A/O- processen över fosforreningen (Svenskt vatten 2014).

2.2 Slambehandling

Slam är separerat material från ett reningsverk och innehåller en stor mängd vatten. Det finns olika slambehandlingsmetoder för att separera vatten från slam. Förtjockning, avvattning och stabilisering är exempel på olika behandlingsmetoder. Förtjockning av slammet sker genom sedimentation eller flotation. För att underlätta avvattning konditioneras slammet med järn- och aluminiumsalter eller med kalk. Avvattning kan ske med centrifugering, filterpress eller med torkbädd (Andersson 2005). Slammet stabiliseras för att reducera den biologiska aktiviteten. Exempel på stabilisering är rötning. Genom anaerob rötning bryts slammets organiska beståndsdelar ner anaerobt så att slamvolymen minskar. Vid rötning bildas det biogas som kan användas t.ex. till att producera värme eller energi. I Sverige stabiliseras mer än två tredjedelar av allt slam med rötning. Aerob stabilisering och kalkning är exempel på andra stabiliseringsmetoder (Naturvårdsverket 2007).

2.3 Avloppsrening i en kommun

För att avloppsreningen ska fungera i en kommun så krävs långa avloppsledningsnät. Ledningar transporterar avloppsvatten till ett reningsverk. I varje kommun finns det ett stort avloppsreningsverk dit avloppsvatten transporteras från olika hushåll runt om i kommunen. Det finns även mindre reningsverk som tar hand om avloppsvatten från ett mindre område, ofta belägna på längre avstånd från det stora reningsverket. I glesbygden finns det även många enskilda avlopp som renar avloppsvattnet från ett eller flera hushåll (Naturvårdsverket 2010). Längs ett avloppsledningsnät finns olika anordningar som pumpstationer, bräddavlopp och utjämningsmagasin. Pumpstationer pumpar vattnet till en viss nivå så att vattnet kan rinna vidare med självfall. Bräddavlopp reglerar flödet i systemet så att ledningarna inte belastas så hårt t.ex. vid kraftiga flöden. Utjämningsmagasin samlar upp flödet vid tillrinningstoppar så att vattnet kan renas vid ett senare tillfälle. Figur 3 visar hur Umeå kommuns vattenreningsverk är placerade omkring kommunen (Naturvårdsverket 2007).



Figur 3. Karta över Umeå kommun. De fyrkantiga figurerna visar var reningsverken är placerade (Umeva 2014b).

2.4 Lagstiftning

Utsläpp av avloppsvatten ut till naturen definieras enligt 9 kap. 1 § miljöbalken (1998:808) som miljöfarlig verksamhet. Verksamhetsutövaren som släpper ut avloppsvatten ska följa bestämmelser i miljöbalken samt de förordningar och föreskrifter som har fattats med stöd av balken. Verksamhetsutövaren är skyldig att följa de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap. i miljöbalken (1998:808). Enligt 9 kap. 7 § i miljöbalken (1998:808) skall avloppsvatten avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer. Lagen (SFS 2006:412) om allmänna vattentjänster reglerar kommunens ansvar att tillhandahålla allmänna vattentjänster. Rådets direktiv 91/271/EGG om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse, kräver att avloppsvatten skall genomgå minst en sekundär rening. Direktivet är infört i svensk lagstiftning genom Naturvårdsverkets föreskrift SNFS 1994:7. Andra föreskrifter från Naturvårdsverket som handlar om avlopp är NFS (2006:9) om miljörapport och förordning (1998:899) som innehåller bestämmelser om utsläpp av avloppsvatten.

2.5 Elektrokemisk reningsteknik

Som alternativ till de konventionella reningsteknikerna finns det en teknik som renar vatten genom användning av elektricitet. Tekniken benämns elektrokemisk rening och är en vattenreningsteknik som används inom många olika användningsområden för att rena vatten från olika föroreningar. Exempel på ämnen som kan renas är dricksvatten, processvatten, avloppsvatten från garveri, galvanisering, mejeri, textilproduktion, färgämnen, organiska

föroreningar, tungmetaller, biodiesel, olja, COD, nitrat, fluorid och fosfor. Tekniken kan även användas i metallåtervinning och till separering av alger (Chen 2004, Behbahani et al. 2011). Det finns olika elektrokemiska metoder som kan användas till att rena avloppsvatten från föroreningar och exempel på två olika reningstekniker är elektrokoagulation och elektroflotation.

2.5.1 Elektrokoagulation

Elektrokoagulation är en vattenreningsteknik som fungerar genom att elektrisk ström leds genom elektroder av aluminium eller järn. Det leder till koagulering av kolloidala föroreningar och bildning av gasbubblor.

Processen fungerar med tre steg:

1. Bildandet av koaguleringsmedel genom elektrolytisk oxidation av offerrelektroden.
2. Destabilisering av föroreningar, partikel suspensioner och brytning av emulsioner.
3. Bildning av flockar genom aggregation av destabiliserade faser (Ramesh et al. 2007)

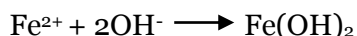
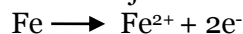
Rening av avloppsvatten sker genom att en ström leds genom offeranoder (aluminium eller järn), vilket leder till korrosion av elektroder och produktion av positivt laddade metallkatjoner. Därefter reagerar tvåvärt järn - och aluminiumkatjoner med hydroxidjoner, som resulterar till att metallhydroxider och polyhydroxidjoner bildas (Xiong et al. 2001). De negativt laddade föroreningarna neutraliseras av katjoner. Därefter binds partiklarna ihop och genomgår en flockningsprocess. Föroreningarna avlägsnas sedan genom sedimentering (Behbahani et al. 2011).

Följande kemiska reaktioner sker i mediet:

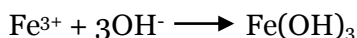
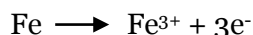
vid aluminium anoden:



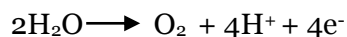
Reaktion vid järn anoden:



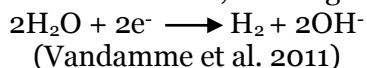
eller:



Vid Al och Fe anoden sker en bireaktion där vatten och syrgas bildas:



Reaktionen vid katoden, där vätegas bildas:

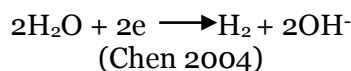
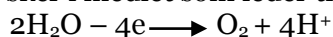


2.5.2 Elektroflotation

Elektroflotation är en elektrokemisk teknik som renar avloppsvatten genom vattenelektrolys. Elektrolys fungerar genom att bilda små bubblor av väte och syre som fångar upp föroreningar som därmed koaguleras och transporteras upp till vattenytan. Vid katoden och anoden sker en väte- och syreutvecklingsreaktion. Reningseffekten påverkas av bubblornas

storlek, strömstyrkan och pH. Vid neutral pH minskas vätgasbubblornas storlek och vid högre pH ökar syrebubblornas storlek. (Chen 2004).

Den kemiska reaktionen som sker i mediet som leder till att gasbubblorna genereras:



3 Material och metod

3.1 Litteraturstudie

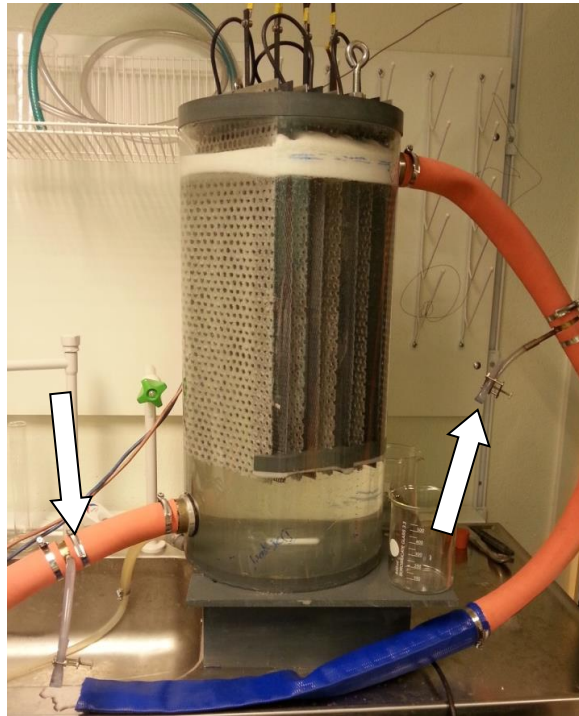
Materialet till litteraturstudien har sökts på myndigheternas hemsidor och dokument som från Havs- och vattenmyndigheten, Länsstyrelsen och Svenskt vatten. Lagstiftning och vägledande och styrande dokument har även granskats. Fakta har även sökts i vetenskapliga artiklar som från Web of Science och Google Scholar. Sökord som har använts har varit; övergödning, avloppsreningsverk, electrochemical wastewater, electrochemical technology, phosphorus och green algae.

3.2 Rening av fosfor från syntetiskt avloppsvatten

Syftet med försöket var att rena fosfor från syntetiskt avloppsvatten med elektrokemisk teknik, så kallad elektroflotation. Figur 4 visar hur reningsanläggningen var konstruerad. Utrustningen bestod av en cylindrisk plasttank som rymmer 60 liter vatten. Inne i tanken fanns det elektroner i form av aluminiumplattor som var kopplade till en strömkälla. Två plastslangar var kopplade till tanken. Den nedre slangen som visas i figur 4 var för inflödet där det syntetiska avloppsvattnet kommer in till tanken och den högre slangen för utflödet, där renat vatten åker ut till avloppet. Försöket bestod av sex stycken batchförsök med två olika strömstyrkor: 30 A och 50 A, med spänningen 5 V. I båda strömstyrkor gjordes tre stycken satsar. Båda försöken genomfördes på liknande sätt.

Försöksgenomgång:

- 100 liters tunna fylldes med syntetiskt avloppsvatten. Avloppsvattnet skapades genom att blanda olika pulver enligt ett recept (se bilaga 1) med vatten. Propeller blandade hela tiden vattenblandningen så det inte skulle sedimenteras på botten.
- Det syntetiska avloppsvattnet pumpades in till tanken med hjälp av en pump, flödet var 14 liter i timmen. Vatten pumpades kontinuerligt in till tanken tills experimentet var över. 50 liter syntetiskt avloppsvatten blandades i tunnan efter ungefär halva provtagningstiden för att vattnet inte skulle ta slut.
- Strömmen kopplades på när tanken var fylld med syntetiskt avloppsvatten.
- Efter en timme togs första proven från inloppet och utloppet. Proverna togs från två stycken plastslangar (figur 4) och tappades in till plastflaskor.
- Efter två timmar togs det andra provet från utloppet.
- Efter fyra timmar togs det tredje provet från utloppet.
- Efter sex timmar togs det sista provet från inloppet och utloppet.
- Vattenproverna analyserades på innehåll av total fosfor (Tot P) med Hanna Instruments.



Figur 4. Figuren visar en bild av utrustningen som användes för att rena fosfor från syntetiskt avloppsvatten. Pilarna visar provtagningspunkterna.

3.3 Flotation av grönalger ur ett odlingsmedium

Syftet med försöket var att separera grönalger ur ett odlingsmedium med elektrokemisk teknik, så kallad elektroflotation. Algerna som användes i försöket kom ifrån Umeå energis grönalgsodling. Algerna använder sig av CO_2 som näringsämne och Umeå energi odlar sina alger i ett odlingsmedium med avloppsvatten som kommer ifrån det kommunala reningsverket. Figur 5 visar en bild på utrustningen som användes i försöket. Utrustningen bestod av ett långt plaströr och på botten av plaströret var det en elektronplatta i form av $\text{TiO} - \text{Ru}$.

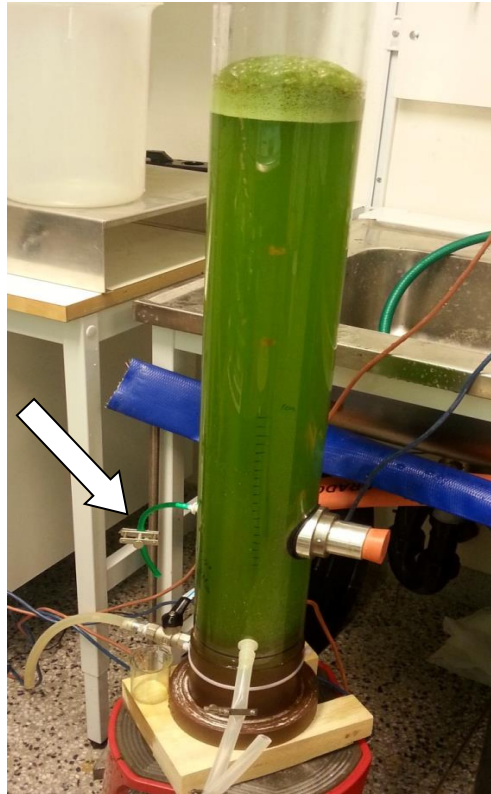
Experimentet gjordes med batchförsök med 5 liter algblandat vatten i varje sats. Sammanlagt gjordes 8 olika satser med tre olika strömstyrkor. De strömstyrkor som användes var 2,7 A, 1,39 A och 0,7 A. I strömstyrkorna 2,7 A och 1,39 A kördes det tre satser. I strömstyrka 0,7 A kördes det två satser för att det inte fanns tillräckligt med tid att köra tre satser.

Försöksgenomgång:

- 5 liter algblandat vatten hälldes in till plaströret.
- Första provet togs innan strömmen kopplades på för att få ett nollprov.
- Strömmen kopplades på.
- Provtagning skedde vart 5:e minut med strömstyrkorna 2,7 A och 1,39 A och vart 10:e minut med strömstyrkan 0,7 A.
- Proverna tappades med en platslang till en genomskinlig kuvös (figur 5).
- Efter varje provtagning analyserades proven genast med en spektrofotometer som analyserade provens våglängd vid absorptionen 550 nm.
- Varje prov analyserades tre gånger för att få så exakt resultat som möjligt.
- Provtagningen pågick tills 90 % rening uppnåddes, med hjälp av programmet Excel.

Reningsprocenten beräknades med ekvationen:

$$\frac{U_{in} - U_{ut}}{U_{ut}} \times 100$$

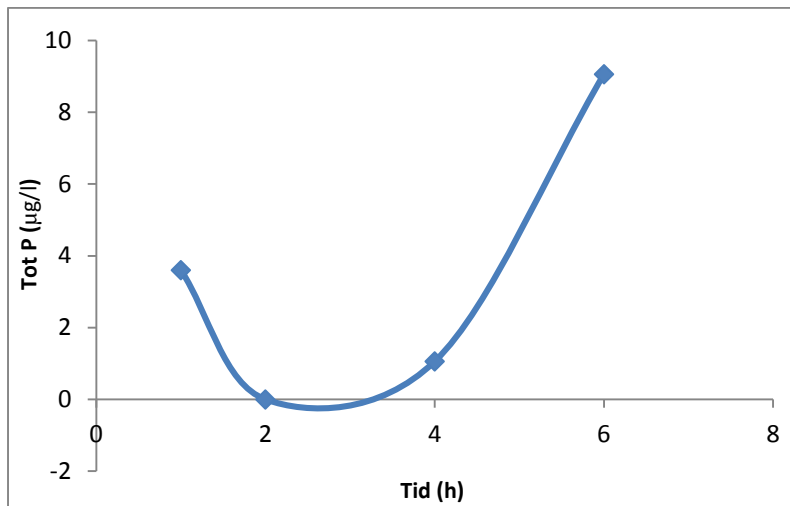


Figur 5. Figuren visar en bild av utrustningen som användes till att flocka grönalger. Pilen visar provtagningspunkten.

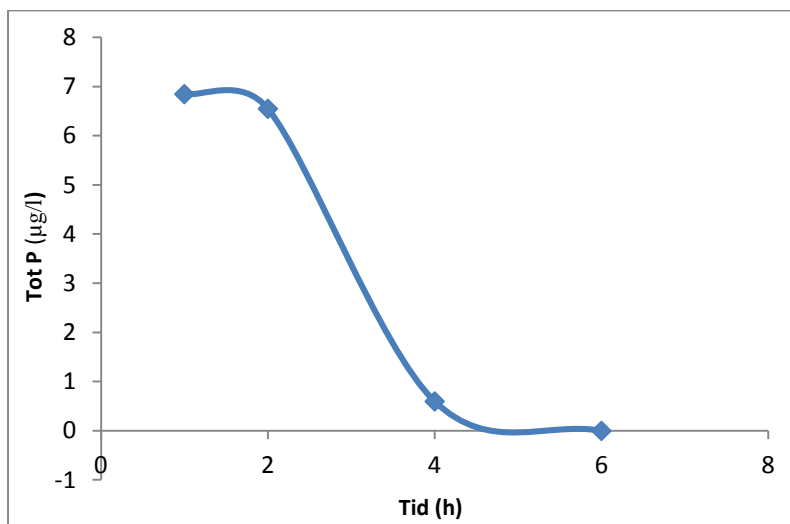
4 Resultat

4.1. Fosforrening av syntetiskt avloppsvatten

Resultatet från försöket med fosforrening av syntetiskt avloppsvatten visas i figurerna 6 och 7. Vid strömstyrka på 30 A (figur 6) startar linjen på ett värde på 3,6 µg/l, som sedan sjunker ner till 1,06 µg/l. På slutet av försöket stiger linjen hastigt upp till 9,06 µg/l. Vid strömstyrkan på 50 A (figur 7) startar linjen på ett högt värde på 6,85 µg/l, som efter ett tag sjunker ner till ett värde på 0 µg/l.



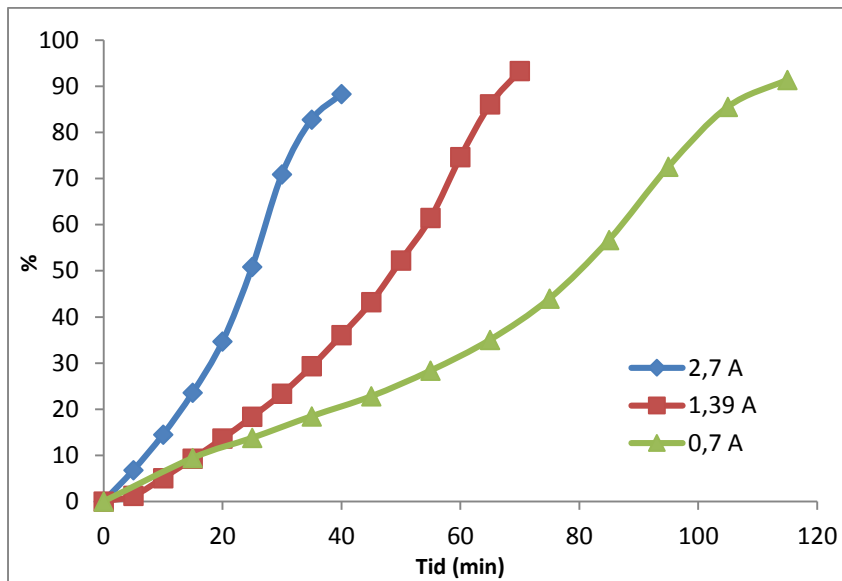
Figur 6. Fosforkoncentrationen i relation med tiden (h). Strömstyrka på 30 A och spänning på 5 V. Varje punkt visar medelvärdet av tre provtillfällen.



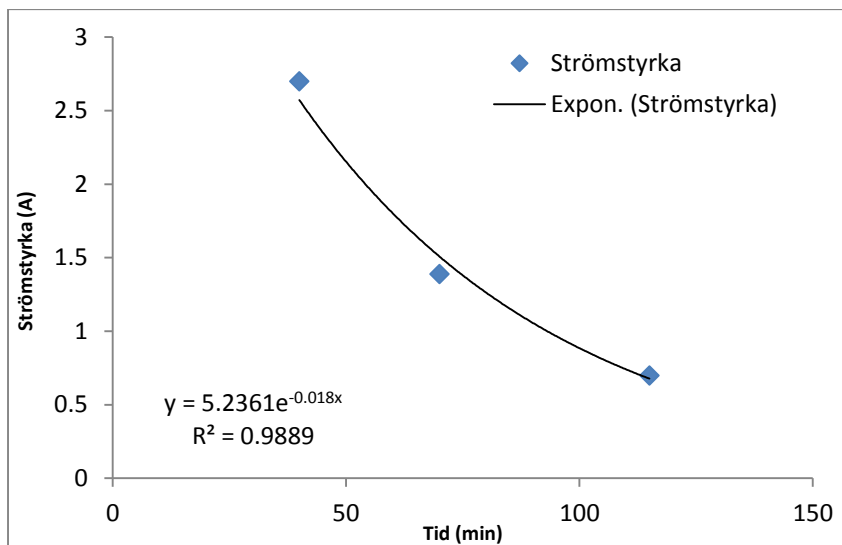
Figur 7. Fosforkoncentrationen i relation med tiden (h). Strömstyrka på 50 A och spänningen på 5 V. Varje punkt visar medelvärdet på två provtillfällen.

4.2 Flotation av grönalger ur ett odlingsmedium

Resultatet från försöket med flotation av grönalger ur ett odlingsmedium visas i figur 8. De tre strömstyrkorna visar på ett likartat resultat, där linjerna stiger upp stadigt till 90 % rening. Det tar olika tider för varje strömstyrka att nå 90 % rening (figur 9). Vid strömstyrka 2,7 A nåddes 90 % rening efter 40 min. Vid strömstyrka 1,39 A nåddes 90 % rening efter 70 min. Vid strömstyrka 0,7 A nåddes 90 % rening efter 115 min.



Figur 8. Reningsprocent i relation med tiden (min). Linjerna visar resultatet av flotation av grönalger med tre strömstyrkor (2,7 A, 1,39 A och 0,7 A). Varje linje är ett medelvärde av 2-3 körningar. Punkterna visar reningsprocenten vid en viss tidpunkt.



Figur 9. Strömstyrka i relation med tiden (min). De tre punkterna visar strömstyrkan (2,7 A, 1,39 A och 0,7 A) vid 90 % flotation av grönalger.

5 Diskussion

Elektrokemisk reningsteknik är en teknik med möjlighet för effektiv rening av avloppsvatten från en mångfald av föroreningar. Reningstekniken är relativt förmånlig och har även en enkel design och funktion (Holt et al. 20014). Därför borde reningstekniken vara ett bra alternativ till de konventionella reningsteknikerna i ett kommunalt reningsverk. Den elektrokemiska tekniken har ändå inte blivit accepterad som en allmän reningsteknik. Det kan bero på att det inte finns någon dominerande reaktorkonstruktion som kan användas i stor skala (Holt et al. 2004). Istället för storskaliga reaktorer med kontinuerlig genomströmning av avloppsvatten finns det istället mindre batchreaktorer inom olika

elektrokemiska tekniker som har testats för en specifik förorening. De tre grundtekniker inom elektrokemiskrening är elektrokemi, elektrokoagulation och elektroflotation som måste kombineras för att reningstekniken kan effektiviseras och marknadsföras som en bra vattenreningsteknik till kommunala reningsverk (Holt et al. 2004).

Reningstekniken har använts främst för behandling av avloppsvatten från papper, gruv- och metallindustrier. Men tekniken börjar bli mer efterfrågad för användning inom avloppsvattenreningen, främst på grund av dess miljövänlighet, då det börjar bli mer skärpta regler och lagar angående utsläpp av avloppsvatten till miljön (Mouli et al. 2007). I jämförelse med de konventionella reningstekniker så är elektrokemiskrening ett miljövänligare alternativ då den har en reagens i form av elektroner som gör att det inte behövs någon tillsatts av kemikalier och att det släpps ut en mindre mängd av sekundära föroreningar (Anglada et al. 2009). I kemisk rening tillsätts olika fällningskemikalier för att flokka fosfor som kan leda till miljöpåverkan vid höga doser (Bladfors 2004). Elektrokemisk reningsteknik är en passande teknik för småskaliga avloppsreningsverk, då utrustningen är mycket kompakt och därmed mer lämplig för installation där det tillgängliga utrymmet är begränsat. Utrustningen har även möjlighet till helautomatisk drift och är dessutom enkel att driva. Den elektrokemiska tekniken passar därför bra som ett alternativ till en mindre avloppsreningsverk istället för de konventionella reningsteknikerna som kan vara dyrare att driva och mer komplicerade (Anglada et al. 2009, Chopra et al. 2011).

5.1 Fosforrening med elektroflotation

Försöket med fosforrening av syntetiskt avloppsvatten med elektroflotation gick inte som planerat då resultaten från analyser gav värden som inte var förväntade (figur 6 och 7). Analysresultatet som visas i figur 6 visar att fosforkoncentrationen går uppåt i slutet av reningsprocessen fast den borde gå neråt. Värdena har ingen självklar förklaring, det kan bero på många olika felkällor som t.ex. att analysen av proverna gick fel på grund av den mänskliga faktorn eller att analysapparaten inte fungerade korrekt. Det höga värdet i slutet av försöket kan bero på dålig omblandning av det syntetiska avloppsvattnet, då fosfor kan ha sedimenterat sig i botten av tunnan och i slutet av försöket nått reningsanläggningen. Reningsanläggningens konstruktion kan även ha orsakat felvärden då slangen i utloppet (figur 4) låg nära skummet som innehåller fosfor och skum kunde ha transporterats ut till slangen och till provtagningspunkten, där prover togs. Resultatet från figur 7 visar på att fosforkoncentrationen sjunker ju längre provtagningen fortskrider vilket tyder på en fungerande rening. Men resultatet är ändå opålitligt på grund av det tidigare resultatet (figur 6).

5.2 Elektroflotation av grönalger

Resultatet från försöket med flotation av grönalger ur ett odlingsmedium visade att elektroflotation fungerar och att det finns ett samband mellan strömstyrka och tiden det tar för flotation av alger. Det kan ses genom försök som gjordes (figur 8), där alla resultat visar på mer än 90 % flotation av grönalger. Sambandet mellan strömstyrka och tid (figur 9) visar att ju högre strömstyrkan är desto snabbare sker flotationen. Flotationsprocessen av alger mellan den högsta och lägsta strömstyrkan skiljer mer än en timme, vilket är en stor skillnad. Fast flotationen sker hastigast med den högsta strömstyrkan så är det inte alltid det optimala, en avvägning mellan driftkostnad och tid måste göras (Holt et al. 2004). Resultatet från min studie kan jämföras med en annan studie av Xu et al. (2010) där elektroflotation av grönalger lyckades med 90 % flotation. I studien kom de också fram till att ju högre strömstyrkan är ju snabbare sker flotationen. De kom även fram till att processen kan påskyndas genom att blåsa in luft till vattensamlingen för att bilda mer luftbubblor. Luftbubblorna driver fram bildandet av aggregat och påskyndar uppstigningen av flockar upp till vattenytan. Enligt Xu et al. (2010) är vattnets pH viktigt så att flockningen ska fungera optimalt, då en lägre pH gynnar processen. Ett pH 4 är optimalt för elektroflotation av grönalger. Enligt en studie av Vandamme et al. (2011) fick de liknande resultat med elektroflotation av grönalger som i min studie. Skillnaden på studierna var att i studien av Vandamme et al. (2011) användes andra metaller som elektroner, i form av aluminium och järn. Studien kom fram till att

aluminiumelektronen fungerade bättre än järnelektronen. Det beror på att aluminium är bättre på att bilda hydroxider som krävs för att bilda flockar. Järnhydroxider är relativt ineffektiv jämfört med aluminiumhydroxider. Titanoxid-rutenium (TiO- Ru) som användes i min studie visar jämförbara resultat med aluminium.

5.3 Slutsatser

Resultatet från försöket med separering av grönalger visar på att elektroflotation är en bra reningsteknik för separering av grönalger då mer än 90 % av grönalger floterade upp till vattenytan vid försöket. Strömstyrka och tid hänger ihop och ju högre strömstyrkan är desto snabbare sker reningen, men en avvägning mellan kostnad och drift måste tas med. Resultatet från fosforeringen gick inte som planerat då det blev felkällor vid drift och provanalys. Jag tycker att elektrokemisk rening är en bra teknik för rening av avloppsvatten och jag rekommenderar att kommunala avloppsreningsverk ska installera den nya reningstekniken till sina verk. Den elektrokemiska tekniken passar bra till kommunala reningsverk då tekniken är miljövänlig, lätt att driva och relativt billig. Men det finns ingen storskalig dominerande reaktorkonstruktion som kan användas, så tekniken passar bättre till mindre reningsverken då det finns mer småskaliga tekniker och utrustningen ryms lätt till trånga utrymmen.

6 Referenser

- Anglada, A; Urtiaga, A och Ortiz, I. 2009. Contributions of electrochemical oxidation to waste-water treatment: fundamentals and review of applications. *J Chem Technol Biotechnol* 84: 1747–1755.
- Andersson, B. 2005. Studie av sedimentation och avvattning av slam från reningsverk med biologisk fosforreduktion. *Avdelningen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Lunds tekniska högskola, Lunds universitet: 1-31.*
- Behbahani, M; Alavi Moghaddam, M. R och Arami, M. 2011. A Comparison Between Aluminum and Iron Electrodes on Removal of Phosphate from Aqueous Solutions by Electrocoagulation Process. *International Journal of Environmental Research: 403-412.*
- Bladfors, F. 2004. Optimering av kemikaliedosering i Rosviks avloppsverk. *Luleå tekniska universitet Institutionen för Samhällsbyggnad Avdelning för VA-teknik: 1-46.*
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology* 38: 11–41.
- Chopra, A. K; Kumar Sharma, A och Kumar, V. 2011. Overview of Electrolytic treatment: An alternative technology for purification of wastewater. *Scholars research library* 3: 191-206.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 91/271/EEG av den 21 maj 1991 om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse.
- Havs och vattenmyndigheten. 2014. Övergödning. <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljohot/overgodning.html> (Hämtat 2014-05-06)
- Holt, P; Barton, G och Mitchell, C. 2004. The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology. *Chemosphere* 59: 355–367.
- Mouli, P; Mohan, S och Reddy, S. 2004. Electrochemical processes for the remediation of wastewater and contaminated soil: emerging technology. *Journal of Scientific and industrial research* 63: 11-19.
- Naturvårdsverket. 2007. Faktablad om avloppsreningsverk 200 – 2 000 pe. Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2010. *Rening av avloppsvatten i Sverige*. Växjö: Davidssons tryckeri AB.
- Naturvårdsverket. 2014. Avloppsvattnets miljöpåverkan. <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Avloppsvatten/> (Hämtat 2014-05-06)
- NFS 2006:9. Naturvårdsverkets föreskrifter om miljörapport. Stockholm: Naturvårdsverket.

- SFS 1998:808. Miljöbalken. Stockholm: Miljödepartementet.
- SFS 1998:899. Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd. Stockholm: Miljödepartementet.
- SFS 2006:412. Lag om allmänna vattentjänster. Stockholm: Socialdepartementet.
- SNFS 1994:7. Kungörelse med föreskrifter om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Svenskt vatten. 2014. Biologisk fosforrening.
<http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/Reningsteknik/Biologisk-fosforrening/> (Hämtat 2014-05-27)
- Ramesh, R; Bhadrinarayana, N; Meera, S och Anantharaman, N. 2007. Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 42: 201-206.
- Umeva. 2014a. Umeå kommun.
www.umeva.se/download/18.7e886ad613244d69f46800073/1361888911780/Översikt+UMEVAs+anläggningar.pdf (Hämtat 2014-05-27)
- Umeva. 2014b. Öns avloppsreningsverk.
www.umeva.se/download/18.63e2dc8c1328c8f067e80001152/1361888911370/Avloppsreningsverk+flödesschema.pdf (Hämtat 2014-05-27)
- Vandamme, D; Pontes, S; Goiris, K; Foubert, I; Pinoy, L och Muylaert, K. 2011. Evaluation of Electro-Coagulation–Flocculation for Harvesting Marine and Freshwater Microalgae. *Biotechnology and Bioengineering* 108: 2320-2329.
- Xiong, Y; Strunk, P; Xia, H; Zhu, X och Karlsson, H. 2001. Treatment of dye wastewater containing acid orange II using a cell with three-phase three-dimensional electrode. *Water Research* 35: 4226–4230.
- Xu, L; Wang, F; Li, H; Hu, Z; Guo, C och Liu, C. 2010. Development of an efficient electroflocculation technology integrated with dispersed-air flotation for harvesting microalgae. *J Chem Technol Biotechnol* 85: 1504–1507.

Bilaga 1

Recept för blandning av syntetiskt avloppsvatten

Recept till 100 liter syntetiskt avloppsvatten:

Pepton.....	16 gram
Köttextrakt:	11 gram
Urea	3 gram
Dikaliumvätefosfat:	2,8 gram
NaCl	0,7 gram
CaCl ₂ dihydrat:	0,4 gram
Magnesiumsulfat hepta hydrat	0,2 gram



Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap (EMG)
901 87 Umeå, Sweden
Telefon 090-786 50 00
Texttelefon 090-786 59 00
www.umu.se