



Bioenergi 7,5 hp, ht14.
Institutionen för fysiologisk botanik
Umeå Universitet
2014-10-22

Elektroflotation

Flotation av alger med hjälp av elektroder

Oskar von Essen (osvo0001@student.umu.se)
Niklas Sandström (Niklass_222@hotmail.com)

Handledare:
Torgny Mossing
Francesco Gentili

Sammanfattning

Vårt projekt elektroflotation av alger är ett projekt där vi genom ett flertal tester har försökt flotera alger i labbmiljö med hjälp av en cirka 1 meter hög cylinder med totala volymen 6,5 liter. Två olika uppsättningar av elektroder har använts där den ena uppsättningen är tillverkad av rutenium/titanium och järn och den andra uppsättningen är tillverkad av enbart aluminium. Aluminium elektroderna ansågs vara de i försöket lämpligaste elektroderna. I försöken valdes en viss volym alger (5 liter) och det som varierades var strömstyrkan där man använde 0,7A, 1,7A och 2,7A. Försöken resulterade då i att 1,7A såg ut att vara den effektivaste av de tre med tanke på kostnad för tillförd energi, tid och utvunnen energi i form av alger torrs substans. Försök med omsättning gjordes också då med strömstyrkan fast på 1,7A. Omsättningen varierades i tre olika grader, 6l/h (1 timme), 12l/h (0,5 timme) och 20,4 l/h (0,25 timme). Där var resultaten otydligare och inga direkta slutsatser kunde dras, förutom att en omsättning på cirka 0,5 timme eventuellt skulle kunna tillämpas i vidare försök. Sammanfattningsvis så visar projektet på intressanta resultat. Framtida försök bör inkludera fler försök där man systematiskt varierar strömstyrka och omsättning i flera olika steg från start.

Innehållsförteckning

Introduktion	1
Skörd och kostnad	1
Material och metod	2
Batchförsök	2
Omsättningstid	3
Resultat.....	4
Utan omsättning med olika sorters elektroder	4
Försök med omsättningstid.....	6
Diskussion.....	7
Slutsats	9
Felkällor	9
Referenser	10

Introduktion

Ett av problem med odling av biomassa är att den konkurrerar med livsmedel produktion i viss mån. Ett alternativ för att inte behöva konkurrera med produktion av livsmedel när man skall utöka biobränselns omfattning är att odla alger. Odling av alger ger en bra tillväxt per areal samt att de har ett högt oljeinnehåll [1]. Alger ser ut att vara den enda bioolja producenten som teoretiskt kan komma att möta transportsektorns behov av bränsle i framtiden. Den olja algerna innehåller kan omvandlas till biodiesel och etanol [2]. Algerna kan även växa i salt- och avloppsvatten. En annan fördel med alger är att producerandet kräver mindre energi än den man i slutändan får ut [3].

Skörd och kostnad

Ett av de största problemen med algodling är skörden då algerna ska separeras från vattnet de växer i. För att odla alger krävs mycket vatten för att kunna optimera tillväxten, optimal koncentration för en bassäng odling är 0,5g/liter. Det finns ett antal alternativ för att kunna skörda algerna. De kan skördas genom centrifugering, detta är dock relativt dyrt. Det andra alternativet är att genom elektroflotation föra upp algerna till ytan. För att förenkla den metoden kan flockulering användas då det förenklar skörden om objekten som samlas in är större, detta kan möjliggöra för en billigare metod[4]. Ett tänkbart sätt för att förbättra flockuleringen av algerna är att använda sig av till exempel aluminium elektroder. För att därigenom frigöra Al(III) joner då aluminiumet oxiderar som i sin tur hjälper till att binda samman flocken innan den lyfts av de i elektrolysen bildade vätebubblorna till ytan[5].

Men aluminium är inte enda sättet för att förbättra flockuleringen. Man kan använda olika metaller och vilken metall man skall använda som elektrod beror på vad man ska flockulera då olika metalljoner har olika egenskaper. Ett exempel är att man har sett att vid rening av smutsvatten är aluminium effektivare på att ta bort fenoler och kolväten, samtidigt som järn var effektivare på att ta bort olika fetter och grumligheter[6].

Många variabler påverkar effektivitet och kostnad av flockulationsprocessen där strömstyrkan på elektroderna kan vara den variabel med störst betydelse. Därför begränsar man inom ett spann där ett antal olika strömstyrkor provas för att hitta den som ger bäst balans mellan kostnad och effektivitet[7].

Syftet med projektet är att bestämma om det är praktiskt möjligt och kostnadseffektivt att avskilja alger från vatten med hjälp av elektriskflotation.

Material och metod

Alger från odlingsanläggning vid dåva (Umeå) två olika arter vid namn *Chlorella* och *Scenedesmus*, behållare, ställbar slangpump av märket Vwr (0-20 l/h), Hitachi spektrofotometer, elektrodpar där ena elektroden består av Rutenium och Titanium och andra elektroden består av järn (hädanefter skrivet RuTi/Fe), elektrodpar i aluminium samt diverse slangar. Strömmen reglerades med en TTZ cpx900sp, torkskåp satt till 105 °C och filterpapper.

Ett antal försök görs som batchförsök med en bestämd volym algvatten och ett antal görs med en omsättningstid.

Batchförsök

Försöken utgår från uppställningen i figur 1. Vid försöken testas olika sorters metaller som elektroder, ett elektrodpar med RuTi/Fe och ett elektrodpar med Al/Al. Ett försök genomförs genom att fylla röret med en bestämd volym algvatten. Ett prov tas direkt ur det fyllda röret innan strömmen till elektroderna startats och analyseras i spektrofotometer. Varje analys görs tre gånger för att garantera ett tillförlitligt värde. Före analysen nollställs spektrofotometern mot ett prov av destileratvatten och lämplig våglängd ställs in (570nm). När detta är gjort läggs en bestämd ström över elektroderna i detta fall 0,7 A, 1,7 A och 2,7 A och ytterligare prov tas var femte minut, tiden mellan proven kan halveras om en hög strömstyrka används. Samtidigt som proven tas antecknas spänningen för att senare kunna beräkna effekten. Försöket utförs till dess att analysvärdena som tas har stabiliserats.



Figur 1. Försöksuppställningen för batchförsök. Foto: Oskar von Essen

När abosorbtiviteten slutar sjunka och i princip högsta möjliga reningsgrad för försöket har nåtts stängs strömmen av och så skrapas de floterade algerna av från toppen av röret så gott det går. De separerade algerna torkas sedan i en ugn på förslagsvis 105°C i åtminstone 24 timmar. För att bestämma massan av torrsubstansen för algerna vägs bägaren tom och jämförs med dess vikt med de torkade algerna i. Energin i algerna kan nu jämföras med den under experimentet tillförda. Detta för att kunna uppskatta energiutbytet. En graf ritas upp där den procentuella reningen plottas mot tiden. Den procentuella reningen fås ur

$$Rening = 100 - \left(\frac{A_{prov}}{A_0} * 100 \right) \quad (1)$$

Där A_{prov} är absorbansen vid mätpunkten och A_0 är absorbansen vid försökets start. På grund utav detta så kommer inte graferna gå från origo.

Vartdera försök körs två gånger för att garantera korrekta värden.

Omsättningstid

Försöket genomförs som ovan men en pump kopplas till systemet som i figur 2 från en behållare med algvatten. Vattnet kan låtas rinna över i toppen av röret.

Ett antal olika omsättningstider testas i detta fall 6 l/h, 12l/h och 20,4l/h för att hitta den mest effektiva. I detta fall utförs enbart ett försök på vardera omsättningen med hänsyn till åtgången av alger. Av denna anledning utförs även försök på endast en strömstyrka, 1,7 A i detta fall.



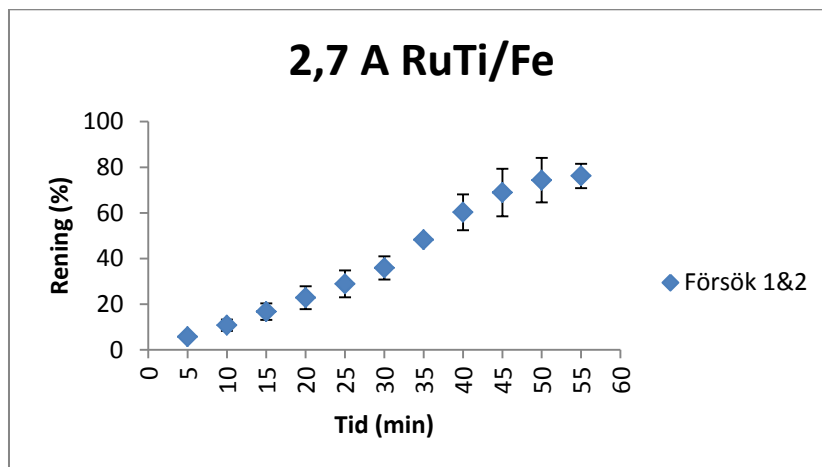
Figur 2. Försöksupställningen med omsättningstid. Foto: Oskar von Essen

Resultat

I graferna plottades den procentuella reningen från ekvation 1 med standardavvikelsen mot tiden som försöken fortlöpte. Tabellerna visar energiutbytet.

Utan omsättning med olika sorters elektroder

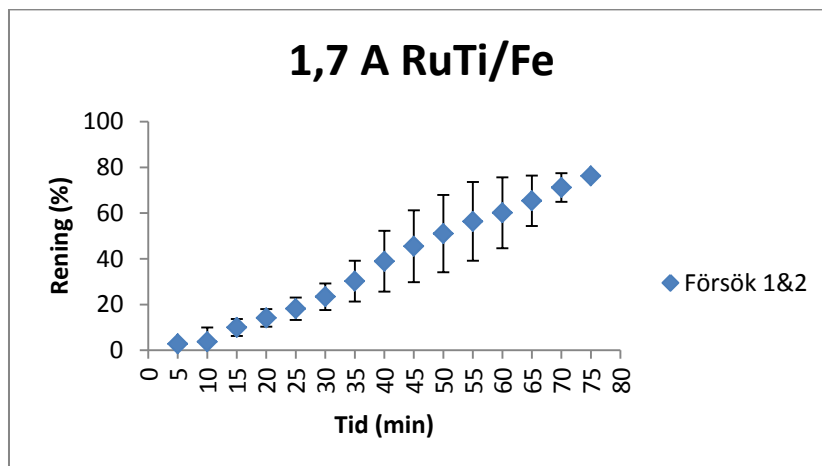
I figur 3a kan grafen för 2,7 A ses för RuTi/Fe elektroderna där man nådde ungefär 80 % rening efter 45 minuter. Den använda effekten och energiutbytet för samma försök ses i tabell 1a där den har beräknats med hjälp av ingående volt och ampere och utgående gram alger i torrsubstans.



Tabell 1a. Den beräknade energiabalansen.

2,7 A RuTi/Fe		
	Tid (s)	3900
in	W	146,3630455
in	kWh	0,157407958
in	kJ	570,8158773
ut	Ts g	0,8975
alger	MJ/kg	20
ut	kJ	17,95
Balans	kJ	-552,865877

Figur 3a. Den procentuella reningen vid 2,7 A under 55 minuter för RuTi/Fe elektroderna.



Tabell 2b. Den beräknade energiabalansen.

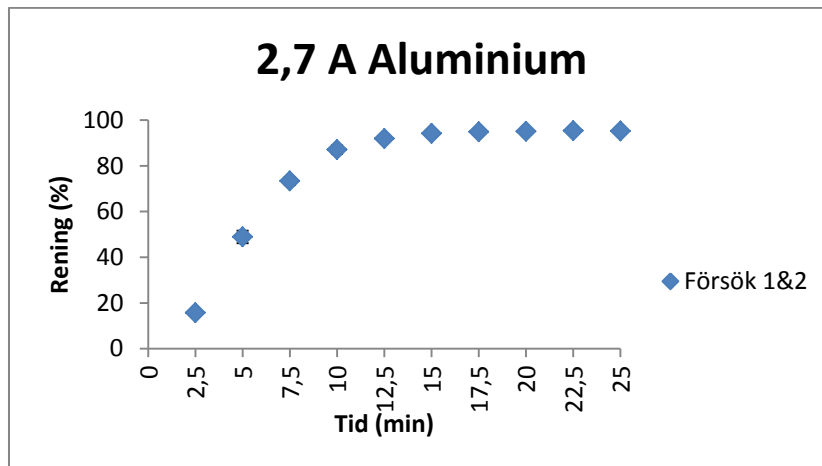
1,7 A RuTi/Fe		
	Tid (s)	4950
in	Watt	70,13697222
in	kWh	0,096063708
in	kJ	347,1780125
ut	TS g	0,5135
alger	MJ/kg	20
Energi	kJ	10,27
Balans	kJ	-336,908013

Figur 3b. Den procentuella reningen vid 2,7 A under 75 minuter för RuTi/Fe elektroderna.

I figur 3b kan grafen för 1,7 A ses för RuTi/Fe elektroderna där man fick ett långsammare resultat än 3a, och uppnådde ungefär 80 % rening efter 70 minuter. Den använda effekten och energiutbytet för samma försök ses i tabell 1b där man har räknat med ingående ampere och volt mot utgående gram alger i torrsubstans. Lägre effekt in resulterade i mycket mindre ingående energi enligt tabellerna, detta trots mycket längre försökstid.

I figur 4a kan grafen för 2,7 A ses för Aluminium elektroderna. Här ser man tydligt att värdena i de olika försöken matchar varandra bra, därför syns knappt standardavvikelsen i figuren. En rening på ungefär 80 % erhöles efter 10 minuter. Den använda effekten och energiutbytet för samma försök ses i tabell 2a beräkningen på energiutbytet gjordes med hjälp av ampere och volt för att räkna ut watt, och erhållen energi beräknades med hjälp av antal gram alger torrsbstans och dess angivna energiinnehåll.

Tabell 2a. Den beräknade energiabalansen.

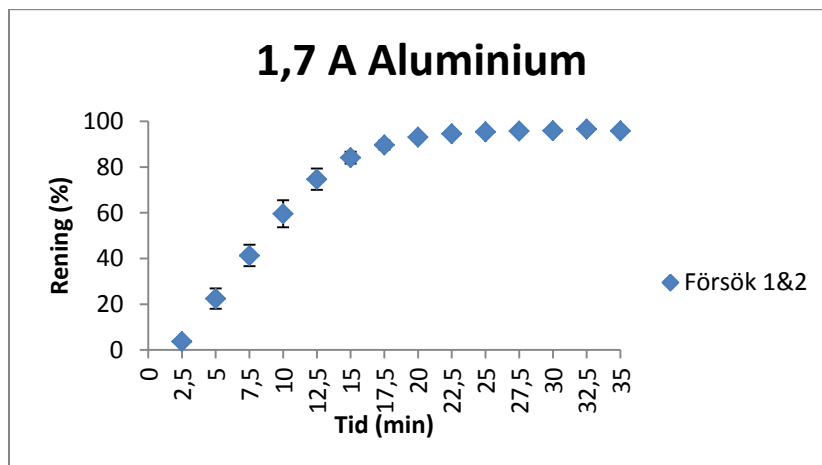


2,7 A Al/Al		
	Tid (s)	1500
in	W	56,82821
in	kWh	0,023678
in	kJ	85,24232
ut	Ts g	1,144
alger	MJ/kg	20
ut	kJ	22,88
balans	kJ	-62,3623

Figur 4a. Den procentuella reningen vid 2,7 A under 25 minuter för aluminium elektroderna.

I figur 4b kan grafen för 1,7 A ses för Aluminium elektroderna i detta försök syns standardavvikelsen lite mer, men man kan även se att den inte är speciellt stor. En rening på ungefär 80 % erhöles efter 12,5 minuter. Den använda effekten och energiutbytet för samma försök ses i tabell 2b.

Tabell 2b. Den beräknade energiabalansen.

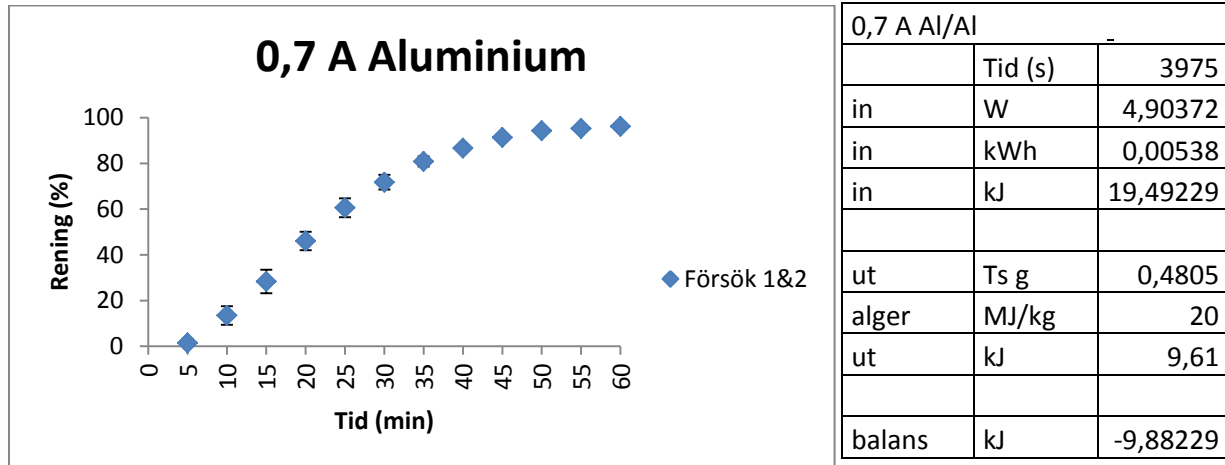


1,7 A Al/Al		
	Tid (s)	2100
in	W	24,95867
in	kWh	0,014559
in	kJ	52,41321
ut	Ts g	1,035
alger	MJ/kg	20
ut	kJ	20,7
balans	kJ	-31,7132

Figur 4b. Den procentuella reningen vid 1,7 A under 35 minuter för aluminium elektroderna.

I figur 4c kan grafen för 0,7 A ses för Aluminium elektroderna. En rening på ungefär 80 % erhöles här efter 35 minuter. Den använda effekten och energiutbytet för samma försök ses i tabell 2c. Trots en mycket mindre utvunnen mängd alger torrsbstans, ser man att energibalansens negativa resultat inte alls är speciellt stort i detta försök, jämfört med tidigare.

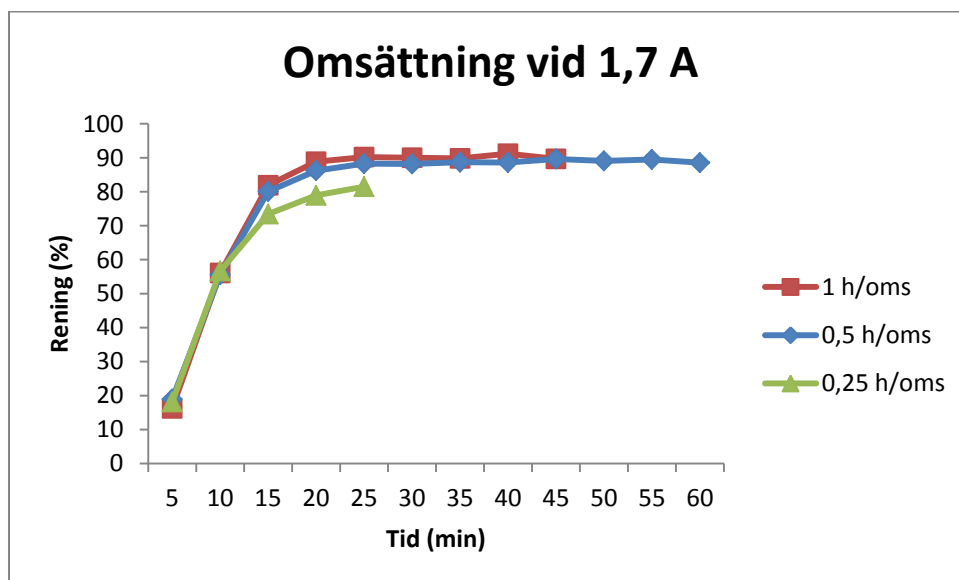
Tabell 2c. Den beräknade energiabalansen.



Figur 4c. Den procentuella reningen vid 0,7 A under 60 minuter för aluminium elektroderna.

Försök med omsättningstid

Figur 5 visar den procentuella reningen plottad mot tiden när de olika proven togs för analys i spektrofotometern. Försöken utfördes vid följande omsättningstider 1 h, 0,5 h och 0,25 h. Den högst testade omsättningstiden ger en tendens till högst reningsgrad, men den är dock i princip försumbar jämfört med den näst högsta omsättningstiden. En rening på ungefär 80 % erhöles vid 12,5 minuter för de två högre omsättningstiderna, och vid 20 minuter för den lägsta omsättningstiden.



Figur 5. Den procentuella reningen för tre olika omsättningstider med aluminium elektroderna.

Diskussion

Ett av problemen vi stötte på var att det bildades större bubblor som steg i röret och slog sönder den algsamling som flöt längst upp. Detta fenomen uppkom vid användandet av RuTi/Fe elektroderna (fig 3a-3b). Att det blev sämre rening vid dessa försök kan bero på detta då algerna spreds i vattnet när bubblan kolliderade med dem. Även de avvikande värdena vad gällande duplikaten kan i viss mån härledas hit.

Det problem som troligtvis påverkade utbytes beräkningar i tabell 1a-2c mest var uppsamlingen av de floterade algerna. Detta var mycket svårt att få upp algerna och de separerade lätt när de skulle tas upp med spaden, samt att en viss mängd alltid fastnade på elektroderna och i röret vilket kan ses i figur 6.



Figur 6. Här visas algerna som blivit kvar efter uppsamling Foto: Oskar von Essen



Figur 7. Här visas den ökade koncentrationen av alger i botten av röret. Foto: Oskar von Essen

Ett problem som visade sig vid försöken med varierande flöde var som kan beskådas i figur 7 att alg koncentrationen ökade i botten. Detta hade troligtvis relativt enkelt gått att undvika med hjälp av någon form av omrörare. Hur detta påverkade resultatet är svårt att säga, men troligtvis så ledde detta till mindre alger att skörda då en del låg kvar vid botten av röret. Reningsprocenten kan även ge ett lite missvisande värde på grund av detta, avtappningskranen för proverna låg dock som synes i figur 7 ovanför detta område.

Ett problem som bara rörde försöken med RuTi/Fe elektroderna i figur 3a-3b var det att vattnet gulnade efter en bit in i försöken. Detta tror vi kan ha påverkat analysen av proverna då spektrofotometern arbetar med ljusgenomsläpp vilket påverkas av färgen/föroreningen.

En viktig sak att nämna är att vi i energiberäkningarna har negativa siffror, alltså tillför vi mer energi än vad vi får ut i forma av alger i torrsubstans. I tidigare studier [3] har det visat sig att ett positivt resultat är möjligt. Hade vi testat en lägre strömstyrka eller i större skala kanske det även hade varit möjligt för oss. Det finns flera olika förklaringar till detta. Till exempel upplevde vi vid några försök, och kanske allra tydligast vid 2,7 A Al/Al elektroder att algvattnet värmdes ganska signifikant, exakt hur varmt är svårt att säga, då vi aldrig mätte, men proverna var varma att hålla i, så någonstans över 30-35 grader är absolut rimligt. Vilket då betyder att en hel del energi användes till att värma upp provet. En annan förklaring är att vårt angivna energiinnehåll för alger som vi fått av Francesco Gentili (~20 MJ/kg) inte är exakt, utan beror på bland annat vilken alg art man har.

Skall man nu tillämpa elektroflotation i större skala på testanläggningen ser vi att det smartaste vore att köra med omsättning, alltså ha ett kontinuerligt flöde in och ut. Då får man dock vara beredd på att lägga en del resurser på en filtrering vid utlopp, samt att återföra den vätska som kommer i utloppet tillbaka i systemet. I ett optimalt system kan man tänka sig vilja ha ut endast algerna så torra som möjligt, för att undvika ytterligare efterbehandling. Samtidigt som eventuellt avloppsvatten ur systemet skall vara så rent som möjligt, för att där också slippa efterbehandling i form av ytterligare rening.

Vi kan ur figur 3a-4c konstatera att aluminium var vida överlägsen RuTi/Fe elektroderna både vid procentuell rening samt åtgången tid och åtgången effekt vilket kan konstateras från tabell 1a-2c. Ytterligare en faktor som talar för aluminiumen är att dess inköpspris är betydligt lägre. Att aluminium fungerade bättre stämmer överens med tidigare försök [5] där det visat sig ha en flockulernade inverkan. När vi har en konstant volym som i figur 3a-4c kan vi konstatera att en lägre strömstyrka ger en lägre energiförbrukning som synes i tabell 1a-2c trots att tiden det tar att flockulera är längre. Dock kan det övervägas om 1,7 A som synes i figur 4b är ett vettigare alternativ än 0,7 A som synes i figur 4c. Detta för att reningen går betydligt snabbare, dock till ett högre pris samt att vi får mer utvunnen torrsubstans som synes i tabell 1a-2c. Var med avseende på detta som vi valde att köra 1,7 A vid omsättningsförsöken.

Vad gällande dessa försök så kan vi se i figur 5 att ett flöde på 12 l/h eventuellt kan anses som bättre då en liknande reningsprocent som för 6 l/h uppnåddes vid marginellt längre tid samt en bättre produktivitet. Men för att kunna konstatera om något flöde är bättre än något annat bör man göra fler försök samt systematiskt använda sig av fler variabler. Vi har inte heller kunnat ta fram någon energibalans på omsättningsförsöken, detta då uppsamlingen av alger blev alldeles för ojämn. Då vattnet rann över följde även algmassan med, och att försöka filtrera bort algerna från vattnet med hjälp av filterpapper eller liknande visade sig vara tämligen värdelöst. Då pappret var alldeles för fint, ett papper med grövre filtrering hade eventuellt hjälpt oss samla upp algmassan och på så vis fått ett redovisningsbart resultat. Ser vi i figur 5 kan vi se en tendens till att en sämre rening uppnås på grund av det högre flödet då kurvan tidigt planar ut. Det ska dock sägas att ett högre flöde kan vara aktuellt om strömstyrkan ökas, detta borde undersökas. Troligtvis kommer det ej vara värt det då kostnaderna blir betydligt högre vilket borde kunna uppskattas från tabell 2a-2b trots att detta är för system med en bestämd volym. Den variabel som påverkade resultaten mest var strömstyrkan vilket påvisats i tidigare försök [7]. Fler försök bör göras i framtiden för att kunna bestämma den optimala strömstyrkan.

Slutsats

Till att börja med var försöken klart genomförbara, då de gav en rening klart över första förväntan, samtidigt som vi inte stötte på några riktiga problem vad det gäller utrustning eller material. Aluminium elektroderna var klart överlägsna RuTi/Fe elektroderna vad det gäller både rening och effektivitet för försöken. I kommande försök bör man utgå ifrån försök med omsättningstid till att börja med, där man strukturerar upp försöken och varierar både omsättningstid och strömstyrka för att få fram de optimala förutsättningarna vad det gäller algutvinning. En låg strömstyrka tillsammans med just aluminium elektroderna gav enligt våra försök det bästa resultatet med avseende på det totala energiutbytet.

Felkällor

I ett försök som detta finns det ett antal felkällor. Till att börja med kan vi nämna den mänskliga faktorn. Sen kan vi konstatera att värdena vi fått från spektrofotometern kanske inte är 100 % korrekta trots att triplikat utförts. Vågen som vi använde tordes dock kunna anses rätt korrekt med sina tre decimalers noggrannhet, så detta borde inte påverka resultatet. Det är även oklart om elektroderna påverkats något under experimentets gång med tanke på oxidation.

Referenser

- [1] D Vandamme, S Cláudia, V Pontes, K Goiris, I Foubert, L Pinoy, K Muylaert (2011). Evaluation of Electro-Coagulation–Flocculation for Harvesting Marine and Freshwater Microalgae. *Biotechnology and bioengineering*. 10:2320-2329 vol 108
- [2] A Demirbas (2010). Use of algae as biofuel sources. *Energy conversion and management*. 12:2738-2749 vol 51
- [3] M. Faith Demirbas (2011) Biofuels from algae for sustainable development. *Applied energy*. 88:3473-3480
- [4] D Vandamme, I Foubert, K Muylaert (2012). Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. *Cel Press*.4:233-239 vol 31
- [5] J-Q Jiang, N Graham, C André, G Kelsall, N Brandon (2002). Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. *Water research*. 36:4064-4078
- [6] M Emamjomeh, M Sivakumar (2008). Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of environmental management*. 90:1663-1679
- [7] S Gao, J Yang, J Tian, F Ma, G Tu, M Du (2009) Electro-coagulation-flotation process for algae removal. *Journal of hazardous materials*. 177:336-343