

CHALMERS



Framställning av förnybart flygbränsle från alger - En möjlighet för Göteborg?

Sofie Allert

Kristoffer Fagerfjäll

Nina Johansson

Susanne Björkqvist

Anna Hansson

Anna Sarbring

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2012

Abstract

As global oil prices continue to surge and transparency of future supply becomes more difficult to accurately predict, the need to develop sustainable alternatives to current fossil fuels is at an all-time high. The aviation industry's carbon footprint accounts for 2 % of emissions from fossil fuels globally and has triggered significant investments for developing renewable energy sources. The research and development of algae as a viable energy source is perhaps not a new notion, although interest in this region has witnessed a sharp increase in the last few years. There are several advantages inherent to the production of algae oil, namely its short reproduction cycle and its ability to be cultivated without the need of arable land, a major issue facing agricultural farming in an ever urbanising world. The objective of this project is to explore the feasibility of supplying the Gothenburg aviation industry with algae jet fuel, prospective production sites and the implementation of a sustainable management.

The objective is investigated by creating three concepts deriving from a study of literature. A concept describes a production plant in two locations, Gothenburg and Libya, each with significant climatic differences. Each concept evaluates the profitability and environmental impact of the production plants. They are then compared and evaluated. The results demonstrate that concept open pond is the most sustainable with presently available technology, with a cost of SEK 22.8 per liter algae oil for the Libyan plant. Concept future is a future scenario based on a more efficient, upcoming technology further decreasing the cost of production to SEK 12.5 per liter. This concept decreases the material usages and results in an increased value of the processed biomass. As assumptions have been made, a sensitivity analysis has been executed for the critical parameters. The sensitivity analysis illustrates that an increase of the photosynthetic effect and nitrogen starvation renders production more efficient.

It is evident that the production of algae as a substitute for current fossil fuels in the aviation industry is in need of more research before it becomes economically viable. A production plant needs to be placed in a climate with irradiation similar to that of Libya. Algae with a higher content of lipids and higher growth rates need to be developed, as well as creating more efficient production plants to reduce the cost, not merely limited to economic cost, but also the impact on the environment.

Sammanfattning

Idag finns det ett behov av att hitta ett förnybart alternativ till fossila flygbränslen. Tillgången på fossila bränslen kommer i framtiden att vara begränsad och koldioxidutsläppen från flygtrafiken står för 2 % av de totala i världen. Det sker därför forskning kring nya förnybara alternativ, där utvecklingen sker i olika forskningsinstitut eller bedrivs av företag. Forskningen att framställa flygbränsle från alger har pågått sedan många år, men intresset och omfattningen har ökat under de senare åren. Fördelarna med alger är att de kan odlas på icke odlingsbar mark och att de har en kort generationstid. Syftet med denna rapport är att undersöka om det är möjligt att förse Göteborgs flygplatser med flygbränsle från alger. Ett delsyfte är att undersöka vart produktionen ska lokaliseras ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Syftet undersöks genom att skapa tre koncept utifrån en litteraturstudie. Ett koncept beskriver en produktionsanläggning placerad på två platser där olika klimatförhållanden erbjuds, Göteborg och Libyen. Varje koncept utvärderas med avseende på kostnader och miljöpåverkan och jämförs sedan för respektive lokalisering.

Resultatet visar att koncept cirkulationspool, som baseras på dagens teknik, är den produktionsanläggning med lägst miljöpåverkan och som även ger den lägsta kostnaden för algolja på 22.8 kronor per liter för Libyen. I koncept framtid, som är ett framtidskoncept baserad på nyutvecklade teknologier, ger en lägre miljöpåverkan jämför med dagens teknik och en lägre självkostnad för algoljan som är 12.5 kronor per liter. I detta koncept är materialanvändningen lägre och restprodukter kan användas till högvärdiga produkter. Då koncepten delvis bygger på antaganden utfördes en känslighetsanalys på osäkra parametrar. Resultatet av analysen visar att två parametrar har en direkt koppling till kostnaden för algoljan samt miljöpåverkansvärdet. Den första parametern är den fotosyntetiska effekten, där en ökning av denna ger en ökning av produktiviteten hos algerna. Den andra parametern handlar om att utsätta algerna för kvävesvält vilket leder till att algerna producerar en högre halt lipider.

För att i framtiden kunna producera ett konkurrenskraftigt flygbränsle från alger krävs mer forskning och utveckling. En produktionsanläggning bör vara placerad i ett klimat som har en global bestrålning liknande Libyens. Alger med högt lipidinnehåll och högre tillväxthastighet måste hittas samt en produktionsanläggning behöver bli mer effektiv. Detta för att kunna sänka självkostnaden på algoljan och miljöpåverkan.

Ordlista

Abiotisk

Ord som används om icke-levande inslag i vår värld, såsom berg, luft och vatten, och om processer som inte åstadkoms av levande varelser.

Aromatiska kolväten

Kolväten som innehåller en eller flera bensenringar.

Autotrof

Organism som använder solljus som energikälla.

Biodegraderbart

Material som kan brytas ned i enkla beståndsdelar genom biologiska processer.

Biodiversitet

Artrikedom, genetisk variation inom arter samt mångfalden av ekosystem.

Diffusion

Spontan materialtransport eller utbredning av ett ämne, orsakad av slumpvisa förändringar i egenrörelserna hos ämnets atomer eller molekyler

Fenol

Allmän beteckning för kemisk förening innehållande minst en hydroxigrupp som är bunden till en kolatom i en aromatisk ring.

Fermentation

Likställs med jäsning

Fotokemisk reaktion

En kemisk reaktion som framkallas i ett system genom absorption av ljusstrålning.

Fotoinhibering

En ljusinducerad reduktion i den fotosyntetiska kapaciteten.

Fotooxidantbildning

När ett ämne under solljusets inverkan deltar i kemiska reaktioner där det oxiderar (avger syre till) andra ämnen.

Genetisk modifiering

När en eller flera främmande gener tillförs med hjälp av genteknik till en organism.

Inkubera

Att förvara en blandning av kemiskt eller biologiskt material vid bestämda fysikaliska betingelser (temperatur, luftfuktighet etc.) under en viss tidrymd.

Inokulera

Metod inom mikrobiologin att till ett substrat föra ett litet antal levande mikroorganismer, som kan tillväxa i substratet.

Isoprenoider

En klass av organiska föreningar som består av två eller fler enheter kolväten, där varje enhet består av fem kolatomer arrangerade i ett specifikt mönster. I rapporten kan isoprenoider likställas med lipider.

Konvektion

Rörelser i gaser och vätskor som orsakas av att densiteten, dvs. tyngden, varierar mellan gasens eller vätskans olika delar. Rörelserna följer Arkimedes princip, som säger att en lätt kropp rör sig uppåt i en tung vätska och vice versa.

PAH

Benämning på polycykliskt aromatiskt kolväte som är ett aromatiskt kolväte som är uppbyggt av tre eller flera kondenserade bensenringar.

Reduceringsgrad

Till hur stor grad en atom, molekyl eller jon upptar en eller flera elektroner.

Värmevärde

Den värmemängd som utvecklas vid förbränning av ett ämne.

Innehållsförteckning

1. Inledning	8
2. Syfte	9
3. Problemformulering och frågeställningar	9
4. Avgränsningar	10
5. Metod	11
5.1. Kartläggning för produktionsprocessen och konceptframtagning	11
5.2. Livscykelanalys	12
5.3. Ekonomisk analys	14
5.4. Motivering och kritik av metodval	15
6. Teori	16
6.1. Flygbränslets egenskaper	16
6.2. Reglering för användning av fossila bränslen	16
6.3. Styrmedel för flygindustrin	17
6.4. Oljepris idag och i framtiden	17
6.5. Framställning av flygbränsle från alger	18
6.6. Teori för koncept och val av metoder	21
6.6.1. Mikroalger	22
6.6.1.1. Alger för oljeframställning	22
6.6.2. Odling	23
6.6.2.1. Öppen damm produktionssystem	23
6.6.2.2. Rörformad reaktor	24
6.6.2.3. Hybridproduktionssystem	25
6.6.3. Skördning	26
6.6.4. Flockning	26
6.6.5. Urvattning	27
6.6.6. Extraktion	28
6.6.7. Single Step Extraction	29
6.6.8. Restprodukter	29
6.6.8.1. Biomassa till biogas	29
6.6.8.2. Högvärdiga produkter	29
6.6.9. Förädling till flygbränsle	30
7. Resultat	31
7.1. Lokalisering	32
7.1.1. Global bestrålning i Göteborg och Libyen	32
7.2. Koncept	34
7.2.1. Val av koncept	34
7.3. Koncept cirkulationspool	35
7.4. Koncept hybrid	39
7.5. Koncept framtid	43
7.6. Livscykelanalys	46
7.6.1. Den positiva miljöpåverkan	46
7.6.2. Den neutrala miljöpåverkan	46
7.6.3. Den negativa miljöpåverkan	47
7.6.4. Livscykelanalys för Koncept cirkulationspool	48

7.6.5.	Livscykelanalys för Koncept hybrid	49
7.6.6.	Livscykelanalys för Koncept framtid	50
7.6.7.	Jämförelse LCA i alla koncept	50
7.7.	Resultat Ekonomi	51
7.7.1.	Gemensamma antaganden för utförande av ekonomi	51
7.7.2.	Redogörelse för framtagande av kostnader	52
7.7.3.	Resultat Koncept cirkulationspool	55
7.7.4.	Resultat Koncept hybrid	56
7.7.5.	Resultat Koncept framtid	57
7.7.6.	Sammanfattning av koncepten	59
7.8.	Känslighetsanalys	63
7.8.1.	Fotosyntetiska effekten	63
7.8.2.	Ökning av lipidhalten	65
7.8.3.	Ändring av huvudsakliga materialkostnader, “andra kostnader” och elkostnader	66
8.	Diskussion	69
8.1.	Jämförelse mellan koncepten	69
8.2.	Jämförelse mellan Göteborg och Libyen	70
8.3.	Utvecklingsmöjligheter	71
8.3.1.	Lokalisering	71
8.3.2.	Alg	71
8.3.3.	Förbättringar för respektive koncept	72
8.3.4.	Gemensamma förbättringar	72
8.4.	Framtidsscenario	74
8.4.1.	Underlättande och motverkande krafter	74
8.5.	Antaganden	75
9.	Slutsats	77
10.	Referenser	78
Bilaga A.	Produktionsmodell	83
Bilaga B.	Kartläggning av produktionsprocess för algolja	88
Bilaga C.	Beräkningar av näringsämnen, koldioxid och biomassa	113
Bilaga D.	Beräkningar LCA	116
Bilaga E.	Beräkningar Ekonomi	119
Bilaga F.	Politiska styrmedel i Sverige och globalt	121
Bilaga G.	Kalkyler över beräkningsdata	123

1. Inledning

Utsläppet av koldioxid från flygtrafiken står idag för 2 % av de totala utsläppen i världen och i Sverige är 4-5 % av landets koldioxidutsläpp från flygindustrin [1]. Både i politiken och inom industrin sker arbete för att sänka dessa utsläpp och en mängd åtgärder har satts in. Exempel på politiska aktioner är bland annat att handel av utsläppsätter för koldioxid, som förut reglerat företag och industrins utsläpp, utökas för att inkludera flygindustrin från och med 2012.[2] Även minskad bränsleåtgång via förbättrade flygrutiner [3], tekniska framsteg inom minskning av luftmotstånd och minskad vikt av flygplan [4], har minskat utsläppen. Den största utmaningen för att sänka nettoutsläppen från flygindustrin är dock övergången från fossilt flygbränsle till förnybart flygbränsle. Det största problemet med fossila flygbränslen är att de bidrar till nettoökningen av koldioxidutsläppen i världen och därmed bidrar till växthuseffekten. Ett annat problem är att priserna på fossila bränslen stiger på grund av olika faktorer. En av faktorerna är att de tidigare exploaterade oljefyndigheterna inte längre är lättillgängliga och de krymper snabbt. En annan faktor är att tekniken för att producera olja från andra hittills ogynnsamma reserver, som till exempel oljesand, fortfarande är i utvecklingsstadiet. [5] Oljeproducerande länders situation påverkar också priset [6]. På grund av negativa miljöpåverkan, förhöjda priser på grund av minskande resurstillgång samt osäkerhetsfaktorer hos de oljeproducerande länderna, är det viktigt att hitta ett förnyelsebart bränsle.

För att framställa förnybart flygbränsle finns framförallt tre källor som fungerar [7]. Den första är *Jatropha*, en planta vars frön kan ge en stor andel råolja då den har ett högt lipidinnehåll, cirka 30-40 %, av fröets totala massa. Den andra är *Camelina*, en energigröda, som liksom den första också innehåller en stor andel lipider.[8] Den sista källan är alger, vilket delas upp i tre undergrupper, cyanobakterier, mikroalger och makroalger. Egenskaperna hos dessa grupper skiljs åt, men i dagsläget är det mikroalger som har en lovande roll i framställning av förnybart flygbränsle.[9] Mikroalger är en mikroorganism, som i förhållande till de andra alternativen, *Jatropha* och *Camelina*, har en snabb tillväxt och ett högre lipidinnehåll relativt sin storlek. Mikroalger anses vara den källa med störst potential för att producera stora kvantiteter förnybart flygbränsle.[8][10]

Flygbränsle från mikroalger har idag framgångsrikt framställts för att följa givna specifikationer och har använts vid blandningar av förnybart och fossilt flygbränsle. I november 2011 gjorde flygbolaget United Airlines en lyckad testflygning på 40 % flygbränsle från mikroalger tillverkat av företaget Solazyme. [11] En stor del av utvecklingen sker idag i USA där bland annat Solazyme har sin produktion, men tekniken utvecklas även på andra håll, exempelvis i Algaepark i Holland. Tekniker för att producera biomassa från mikroalger har funnits länge, men har använts för högvärdiga produkter till exempel livsmedelsproduktion.[12] Det som forskningen strävar efter idag är att ta fram nya metoder eller alternativt förbättra befintliga metoder för att kunna sänka kostnaderna så att lågvärdiga produkter såsom flygbränsle kan bli en kommersiell konkurrenskraftig produkt. Utnyttjandet av närliggande industrirestprodukter är också ett alternativ som undersöks för att sänka de totala kostnaderna medan tillvaratagandet av produktionens egna restprodukter undersöks för att höja intäkterna. [13]

Utvecklingen strävar också mot att industriskaliga produktionsanläggningar ska fungera då det idag görs mest forskning i pilotskala. Teknologin för att producera algbiobränslen anses därför vara i utvecklingsstadiet.[14]

Målsättningen för klimatarbetet i Sverige är enligt regeringen att landet ska vara en ledande förebild för ett modernt samhälle som är miljöanpassat och byggt på förnybara resurser. Utsläppen ska minska med 40 % till år 2020 och hälften av energin samma år ska komma från förnybara källor. Tanken är att Sverige år 2050 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser såsom koldioxid.[15] På grund av dessa mål och att fossila flygbränslen konceptuellt kan bytas ut mot flygbränsle utvunnet från alger, är det intressant att undersöka om det skulle vara möjligt att förse svensk flygtrafik, exempelvis behovet i Göteborgsregionen. Eftersom nettoutsläppen förväntas minska med en sådan produktion, är det även intressant aspekt att undersöka vilken miljöpåverkan produktionen skulle ge.

2. Syfte

Syftet med rapporten är att utvärdera hur Göteborgs flygindustri skulle kunna förse med flygbränsle utvunnet från alger. För att utföra detta undersöks och jämförs produktionsprocessen i en lokal produktion och en produktion i ett mer fördelaktigt klimat. Resultatet som presenteras i rapporten syftar till att utvärdera vilken kostnad och miljöpåverkan som produktionsprocessen vid de olika lokaliseringarna omfattar. Syftet är också att utifrån resultatet undersöka framtidsutsikterna för flygbränsle från alger och ge rekommendationer för förbättringar för koncepten och för framtiden.

3. Problemformulering och frågeställningar

Med syftet som bakgrund har följande huvudfrågeställning tagits fram:

Hur kan en stad som Göteborg förse med förnyelsebart flygbränsle utvunnet från mikroalger utifrån ett miljömässigt- och ekonomiskperspektiv?

För att besvara denna fråga kommer jämförelser att göras mellan produktionsprocesser i Göteborg och fördelaktigt klimat som konceptuellt ska förse Göteborgs flygindustri med flygbränsle. För att kunna genomföra detta krävs bland annat att produktionsprocessen kartläggs och faktorer som påverkar ekonomi och miljö identifieras. Övergripande frågor som behöver besvaras för att undersöka detta är:

- *Vilket klimat är fördelaktigt för odling av alger?*
- *Vilka krav ställs på alger som används i produktion till flygbränsle och vilka är dessa alger?*
- *Hur ser produktionsprocesserna ut och vad har de för begränsningar?*
- *Vilka är kostnaderna i de olika koncepten och hur stora är dessa?*
- *Hur mycket kommer en liter algflygbränsle från respektive koncept att kosta?*
- *Hur stor är miljöpåverkan för respektive produktionsanläggning?*

För att granska framtidsutsikterna för en övergång till algflygbränsle är det nödvändigt att undersöka nuvarande och framtida marknadspriser för det fossila flygbränslet som algflygbränslet kommer att konkurrera med. Då resultat för priset är för högt kommer faktorer som är mest drivande identifieras och undersökas med avseende på vad som skulle kunna sänka kostnaderna och vilka förbättringar som kan göras. Liknande undersökning gäller om algflygbränslet visar sig ha en negativ miljöpåverkan.

4. Avgränsningar

I rapporten undersöks inte priset på algoljan utan endast självkostnaden, alltså vilken kostnad oljan får per liter. I rapporten diskuteras och undersöks inte heller möjligheten att framställa ett blandbränsle, ett bränsle som blandar flygbränsle från alger med fossilt flygbränsle. Delprocessen förädling i processen för framställning av flygbränsle från alger antas vara likadan för anläggningarna i Göteborg och Libyen och sker i ett befintligt raffinaderi i Göteborg. I rapporten studeras därför inte förädling närmre utan råoljan säljs till ett raffinaderi efter extraktion och rening. En riskanalys som behandlar ett eventuellt produktionsstopp vid kontaminering utförs inte. Förhållandena och riskerna med att placera en anläggning i Libyen eller Göteborg studeras inte heller i rapporten.

5. Metod

Metoden som används i detta projekt kan delas in i tre huvuddelar, kartläggning för produktionsprocessen och konceptframtagning, livscykelanalys och en ekonomisk analys. Dessa presenteras i given ordning, dock är det möjligt att utföra livscykelanalys och ekonomisk analys parallellt. För att verifiera valda metoder avslutas detta kapitel med en beskrivning av motivering och kritik för respektive metoddel.

5.1. Kartläggning för produktionsprocessen och konceptframtagning

För framtagandet av koncept gjordes först en kartläggning av hur hela processen, från val av alg till förädling till flygbränsle, går tillväga. I processen identifierades olika delprocesser vilka kan utföras genom olika metoder. Processen undersöktes genom kvantitativa källor för utförandet av en grundläggande litteraturstudie. Denna utfördes främst med hjälp av vetenskapliga rapporter, tidskrifter, databaser och böcker. Det har även använts kvalitativa källor då olika forskare och företag har kontaktats för vissa specifika frågor och information. Studiebesök på Preem raffinaderier i Göteborg och på Statens forskningsinstitut har genomförts.

Utifrån erhållet underlag från litteraturstudien, intervjuer och studiebesöken valdes de metoder i varje delprocess som ansågs mest lämpliga. Dessa summerades sedan ihop till olika koncept som placeras både lokalt och i ett fördelaktigt klimat. För att ta fram den fördelaktiga lokalisering användes databaser för solstrålning, beskrivna i Bilaga A. Detta då en fördelaktig lokalisering främst är beroende av mängd solstrålning, så kallad global strålning. Den areala produktionen av olja, P_a , blir större vid hög global strålning, I , se ekvation 1. Genom att undersöka den globala strålningen i olika länder valdes ett land som ansågs fördelaktigt. Då ett koncept för en produktionsanläggning ska producera en viss mängd algolja, beräknades produktiviteten för alger, se ekvation 1, för att ta fram hur stor anläggning som behövdes.

$$P_a = \frac{PE \cdot I}{h \cdot 100} \quad (1)$$

Där P_a är den areala produktionen med enheten [$g / (dag \cdot m^2)$]. Denna beror av den fotosyntetiska effekten, PE , global bestrålning, I och förbränningsentalpi, h . Den fotosyntetiska effekten bestäms utifrån vilken typ av odlingssystem som används och varje typ av alg som odlas har ett specifikt värde på förbränningsentalpin. Slutligen har lokaliseringen av produktionsanläggningen en inverkan på hur mycket solstrålning algerna får under odlingen, denna är baserad på mängden energi per areaenhet och dag. För mer information om ekvation 1, se Bilaga A.

Omfattningen av odlingssystemen påverkar direkt efterkommande delprocessers omfattning och mängden inventarier och material bestämdes därmed av den areala produktionen för varje koncept. Vid uppskalning av inventarierna gjordes nödvändiga antaganden och utifrån detta togs två koncept fram som kan tänkas vara möjliga med dagens metoder och teknik och ett koncept som anses vara möjligt i framtiden.

5.2. Livscykelanalys

För att få fram hur miljömässigt hållbara koncepten är gjordes en livscykelanalys, förkortat LCA. Analysen utvärderar den totala potentiella miljöpåverkan av en produkt från råvaruutvinning till slutprodukt med hänsyn tagen till transporter, avfallshantering, energiåtgång och delprocesser i produktionen.[16]

Generell modell

En livscykelmodell för en produktionsprocess innehåller råmaterial, processer, transporter, tillverkning, användning och avfallshantering som beskrivs i Figur 5-1.[17]



Figur 5-1. Flödesschema över en generell livscykelmodell

Modellens alla delar bidrar med en miljöpåverkan och dessa summeras för att få den totala miljöpåverkan.

Utförande av livscykelanalys

Utförandet av livscykelanalysen kan enligt International Organisation for Standardisation förkortat (ISO)-standarden delas upp i fyra olika delsteg. Dessa delsteg är mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbeskrivning och resultat tolkning. Den första delen, mål och omfattning, beskriver den funktion varan eller tjänsten har. I den andra delen, inventeringsanalysen, tas ett flödesschema fram som beskriver produktens livscykel. För varje process i flödesschemat behövs data som beskriver in- och utflöde av material och energi. I detta steg är det viktigt att det görs tydliga avgränsningar av systemet som ska studeras. Detta görs för att göra livscykelanalysen mindre komplex. Den första avgränsningen som görs är mellan det tekniska systemet och naturen, den andra mellan två olika tekniska system och den tredje mellan relevanta flöden. I avgränsningen mellan tekniska system och naturen väljs hur långt livscykelanalysen ska dras. I avgränsningen väljs om livscykelanalysen ska täcka alla delar från råmaterial till avfallshandlingen eller endast vissa utav delarna. Vid avgränsning mellan tekniska system bestäms det i vilken del av den tekniska processen som olika komponenter i produktionen tillhör, till exempel om komponenten används i odlingen eller i skördningen av alger. Avgränsning mellan mer eller mindre relevanta flöden identifierar de flöden i produktionen som ger störst miljöpåverkan och vilka flöden som har mindre miljöpåverkan. Den tredje delen, miljöpåverkans beskrivning, beskriver vilka typer av miljöpåverkan som ska studeras och avgör hur stor miljöpåverkan olika delar i processen bidrar med. [16] Här klassificeras och karakteriseras olika typer av miljöpåverkan och viktas sedan mot varandra [17]. I det fjärde och sista steget, resultat tolkning, tolkades och utvärderades resultatet och resultatets tillförlitlighet analyserades.

Tillämpning av livscykelanalysen

Delsteget mål och omfattning, utgjordes av de framtagna koncepten för olika produktionsanläggningar. Inventeringsanalysen delades i projektet in efter produktionsprocessen och avgränsades till att täcka användning av mark, kemikalier, material och energi. I avgränsningen mellan tekniska system och naturen togs endast delarna råmaterial till tillverkning, alltså inkluderar inte arbetet användning och avfallshantering. Fokus låg främst på råmaterial och tillverkning.

Miljöpåverkans beskrivning gjordes i ett förenklat steg med hjälp av en så kallad Life cycle Impact Assessment-metod, LCIA. Den LCIA-metoden som användes var EPS2000, där EPS står för Environmental Priority Strategies in product design. EPS-metoden är baserad på fem miljöområden och viljan att betala för att skydda dessa. Dessa områden är människors hälsa, biologisk mångfald, ekosystems produktionskapacitet, abiotisk resursanvändning och kulturell och rekreativ värde. Under varje miljöområde delades miljöpåverkan sedan in i olika kategorier som har en specifik enhet. Kategorin mark i projektet har till exempel den specifika enheten m^2 och stålkonsumtionen mäts i den specifika enheten kg. Priset på den specifika enheten är det samma som en viktningfaktor. En viktningfaktor symboliserar sedan värdet på att skydda den specifika enheten. En parameter i framställningen kan ha miljöpåverkan under flera miljöområden och kategorier under dessa miljöområden. De olika viktningfaktorerna från de olika miljöområdena och kategorierna summerades till en total viktningfaktor för parametern. Parametern klassas sedan beroende på om viktningfaktorn får ett negativt, neutralt eller positivt värde i positiv miljöpåverkan, neutral miljöpåverkan och negativ miljöpåverkan.[18]

I projektet har den uträknade totala viktningfaktorn för specifika komponenter i produktionen används. I vissa fall har en sådan uträknad viktningfaktor inte funnits tillgänglig och en viktningfaktor har då räknats ut med avseende vad komponenten har för utsläpp i produktionen av denna och med avseende på vad komponenten innehåller. Egna beräkningar av viktningfaktorer specifika för projektet ses i Bilaga D. Den totala viktningfaktorn multiplicerades sedan med storleken på parametern, till exempel kg eller m^2 . Vid multipliceringen gavs ett totalt index på miljöpåverkan från parametern. Det totala indexet för varje komponent i anläggningen summerades sedan till ett totalt miljöpåverkansvärde. De totala miljöpåverkansvärdena för de olika koncepten och dess anläggningar sammanställdes i Bilaga G för att jämförelser skulle kunna göras och slutsatser dras. [18]

I rapporten kommer anläggningarnas negativa miljöpåverkan främst analyseras. Viktigt att veta är att det är svårt med dagens teknik att inte få en negativ miljöpåverkan i anläggningar med de storlekar som ses i koncepten.

5.3. Ekonomisk analys

Metoden för den ekonomiska kalkylen är främst framtagen genom en litteraturstudie. Strukturen på kalkylen samt aktuella data är framtaget genom en sammanställning från olika internationella artiklar och rapporter med anknytning till algforskning. Dessa har sedan kompletterats med information hämtade från lokala och nationella aktörer. Metoden utfördes enligt följande:

1. Identifiering av enskilda kostnader och uppskattning av storleken på dessa

Sammanställningar och identifiering av specifika kostnader gjordes genom litteraturstudie, internetsökning samt personliga kontakter. De framtagna kostnaderna anpassades därefter efter anläggningarna. Detta gjordes genom att de referenspriser för inventarier som identifierades anpassades till kronor per enhet för att därefter multipliceras med storleken på respektive inventarie. På detta sätt skalades kostnader för olika inventarier upp.

2. Uppskatta kostnader med pålägsbas

De kostnader som var svåra att identifiera beräknades utifrån en procentuell pålägs metod med pålägsbaser. Pålägsmetoden togs fram med hjälp av en litteraturstudie och innebär att kostnader identifieras genom att multiplicera en procentsats med "Huvudsakliga materialkostnader" för en anläggning. Dessa kostnader kom att sammantaget kallas andra kostnader. Metoden är generellt vedertagen i ekonomiska kalkyler.

3. Identifiera priser för restprodukter

För att utöka intäkterna utnyttjas restprodukter och för att bestämma deras marknadsvärde utfördes en litteraturstudie och företag inom relevanta områden kontaktades.

4. Koppla till produktionsanläggning

När de enskilda kostnaderna har identifierats kopplades dessa till produktionsdata. Kopplingen innebar att kostnaderna multiplicerades med rätt antal inventarier så att de totala kostnaderna med avseende på inventarier stämde för valda koncept.

5. Sammanställning till en totalkostnad

När alla enskilda kostnader var bestämda och rätt dimensionerade summerades de ihop till Huvudsakliga materialkostnader. Därefter tillämpades pålägsbasmetoden och kostnader som var svåra att identifiera uppskattades. Kapitalkostnader och rörliga kostnader summerades sedan ihop till en total kostnad för första verksamhetsåret och på samma sätt för följande år.

6. Framtagandet av självkostnaden för algolja

En literkostnad för algolja beräknas genom division av totalkostnad med antal framställda liter olja. Kostnaden som togs fram för verksamheten inkluderar alltså inte ett pålägg som skulle behövas vid försäljning.

7. Resultat

För att ta fram ett resultat för verksamhetsårets summerades intäkter från restprodukter tillsammans med intäkter från försäljning av algolja till dagens pris på fossil råolja. Från totalintäkt subtraheras totalkostnad och ett resultat, som beskriver om verksamheten skulle gå med vinst eller förlust, erhöles. Nedan följer en enkel beskrivning av denna beräkning.

$$\text{Resultat} = \left((Pris_{Fossil\ R\ddot{a}olja} * Volym_{algolja/\ddot{a}r}) + \text{int\ddot{a}kt f\ddot{o}r restprodukt} \right) - \text{Totalkostnad}$$

5.4. Motivering och kritik av metodval

Då många litterära källor använts i rapporten har de granskats kritiskt och fakta mellan olika källor har jämförts för att få ett säkrare resultat. Däremot finns det mycket litteratur att tillgå i ämnet så i vissa fall var det svårt att bedöma vilken källa som innefattade den mest relevanta informationen. Ett problem var också att erhålla den mest aktuella forskningen inom ämnet då mycket forskning och utveckling sker inom företag och är därmed sekretessbelagd.

LCIA-metoder presenterar olika synvinklar på miljöpåverkan. Kritik till livscykelanalysen i rapporten är att en LCIA-metod används och att det därför bara ges en synvinkel på miljöpåverkan. En annan kritik till metoden är att viljan att betala för negativa effekter av en viss kategori inte är konstant utan ändras med tiden och beror på vem du frågar. [19] EPS2000 är liksom alla LCIA-metoder en uppskattning av verkligheten, om än en kvalificerad sådan.

Anledningen till val av EPS2000 metoden är till stor del dess enkelhet och tillgång till viktighetsdata med hjälp av Steens rapport "A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS) Version 2000-Models and data of the default method". Övriga LCIA-metoder har en begränsad tillgång till data och det data som finns att tillgå är samlade i databaser som kostar vid användning. Eftersom rapporten även har en ekonomisk inriktning anses ett val av EPS2000 som ett bra sätt att koppla samman ekonomi- och miljösynvinkeln i rapporten. [18]

Eftersom det i dagsläget inte är kommersiellt med oljeproduktion från alger finns inga konkreta redogörelser för hur en produktionsanläggning kan se ut och vilka specifika kostnader som utgör produktionen. Det finns realistiska kalkyler och system för oljeproduktion från alger men dessa är sekretessbelagda då de ägs av företag och andra intresseorganisationer inom branschen. På grund av detta är den framtagna ekonomiska kalkylen approximativ. Kalkylen ska kunna uppskatta kostnaderna för produktionsanläggningen, men inte innefatta en detaljerad redogörelse.

6. Teori

6.1. Flygbränslets egenskaper

Flygbränsle står för 8 % av all råoljeanvändning men har få förnybara alternativ. Detta beror på att flygbränsle har komplexa egenskaper så som lägre fryspunkt och högre densitet och än både etanol och biodiesel. [20] Det är också problem att få fram förnybara alternativ då ett flygplan har en livstid på 20-30 år och det gör att de förnybara alternativen måste kunna användas i dagens flygmotorer. Det är även många flygbolag som investeras stora belopp i forskning om dagens flygbränsle och flygmotorer för att kunna optimera dessa till max. Det finns därför inget flygbolag som är villiga att satsa på ett förnybart bränsle där en ny motor måste köpas in då det inte är lönsamt för dem. [21]

Flygbränsle, som ofta benämns kerosen, innehåller en komplex blandning av aromatiska, cykliska och raka kedjor av kolväten. Dessa kolväten innehåller ofta runt 8-16 kolatomer i varje molekyl. Då flygbränslet komposition är så pass komplicerad definieras det istället av dess egenskaper och vad det ska kunna utföra. De största karakteristiska egenskaperna är energiinnehåll, fryspunkt, termisk stabilitet, viskositet, förbränningsegenskaper, smörjförmåga, materialkompabilitet och säkerhetsanvisningar. Dessa sammanställs och presenteras i Tabell 6-1. [21]

Tabell 6-1. Beskriver de olika egenskaper ett flygbränsle måste innefatta och anledningen till att dessa egenskaper är viktiga för att ett bränsle ska kunna klassas som ett flygbränsle.

Egenskap	Anledning
Energiinnehåll	Påverkar hur långt planet kan flyga, önskvärt är så mycket energi per massa som möjligt
Fryspunkt	Får inte börja frysa då pumparna måste kunna pumpa runt bränslet, önskvärt är så låg fryspunkt som möjligt, måste tåla -50°C och lägre
Termisk stabilitet	Får inte vara reaktivt vid höga temperaturer då det kan bildas klumpar som kan täppa till systemen
Viskositet	Dropparna som sprayas till förbränningen får inte vara för stora eller trögflytande, önskvärt är en så låg viskositet som möjligt
Förbränningsegenskaper	Undvika aromatiska ämnen eftersom de bildar små partiklar vid förbränning och undvik närvaro av svavel.
Smörjförmåga	Ska smörja bränslesystemet och motordelar
Materialkompabilitet	Bränslet kommer i kontakt med olika polymerer och metaller
Säkerhetsanvisningar	Måste undvika explosioner

6.2. Reglering för användning av fossila bränslen

Industrier och andra källor till utsläpp påverkas och begränsas idag av politiska bestämmelser och beslut. Målet med användningen av politiska styrmedel är att det ska vara dyrt att släppa ut växthusgaser oavsett var de kommer ifrån då skadorna blir lika stora oavsett ursprung [24]. Ytterst handlar de ekonomiska styrmedlen om att Sverige ska nå de nationella miljökvalitetsmålen som riksdagen beslutat om. Styrmedel har satts in för att åtgärderna inte ska riktas mot någon specifik industri eller utsläppskälla, då det finns många indirekta källor som påverkar.

Från ett företags perspektiv, i detta sammanhang, är frågan om det skulle bli mer lönsamt för ett företag att ge bort sina koldioxidutsläpp, spillvärme och eventuellt andra utsläpp till en algodling, eller skulle det vara mer ekonomiskt hållbart för dem att betala för utsläppsrätter? I Bilaga F följer en redogörelse för politiska bestämmelser och kostnader för utsläpp som nu även flygindustrin tar del av.

6.3. Styrmedel för flygindustrin

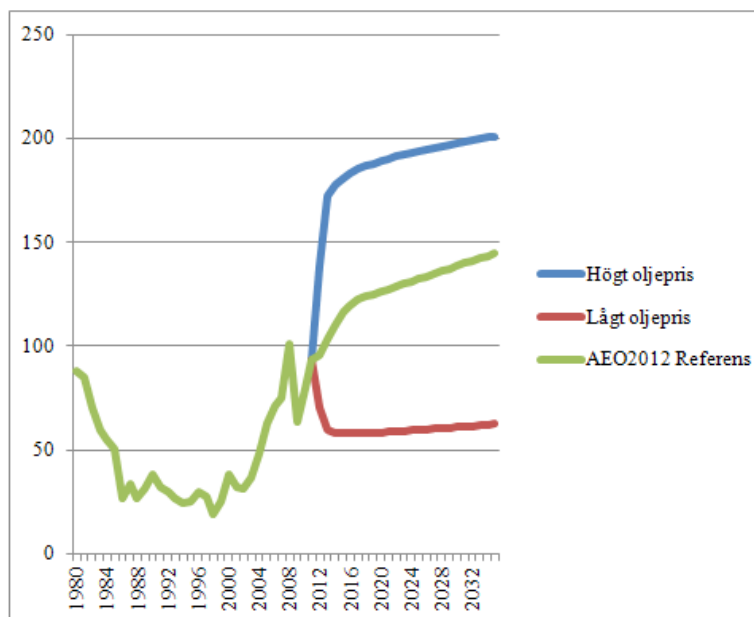
Flygsektorn har fram tills nu befunnit sig utanför handelssystemet med utsläppsrätter, men från och med 2012 ska även flygindustrin inkluderas[25]. Detta innebär att varje flygoperatör från och med 2013 måste redovisa antal utsläppsrätter som motsvarat deras faktiska utsläpp av koldioxid från fossila bränslen under föregående år. Utsläppsrätterna som ska redovisas ska omfatta utsläpp från flygningar inom EU och flygningar till och från flygplatser utanför EU. Flertalet undantag finns, men i stort omfattas all linje- och chartertrafik till, från och inom Sverige, oavsett flygbolagets hemvist. [22] Mellan åren 2013 till 2020 kommer utsläppsrätter motsvarande 95 % av årsmedelutsläppen från 2004 till 2006 delas ut till flygoperatörer. Av dessa ska 82 % delas ut gratis och 15 % auktioneras ut av staten och resterande 3 % avsätts för nya deltagare. Flygbolag kan välja att köpa utsläppsrätter direkt från ett företag eller via mäklare, börser eller andra försäljare som har etablerat sig på framtida marknader[22].

Koldioxidutsläpp från biobränslen kräver inga utsläppsrätter eftersom utsläppen vid förbränning inte bidrar till något nettotillskott av koldioxid. Detta beror på att biomassan vid odling tar upp motsvarande mängd koldioxid från luften [22]. I Sverige och i många andra EU- länder är även flertalet biobränslen skattebefriade eller berättigade till andra subventioner eller stöd [26]. Dessa är implementerade för att öka produktionen av biodrivmedel på marknaden.

Det är svårt att mäta de negativa effekterna växthusgaserna utgör och därmed är det svårt att uppskatta kostnaderna för utsläppen. Vid studier där försök gjorts för att uppskatta skadekostnaden av koldioxid har värden redovisats på 140 kronor upp till 700 kronor per ton koldioxid. Utifrån dessa kostnader har koldioxidskatten i Sverige satts till 1000 kronor per ton koldioxid. [26]

6.4. Oljepris idag och i framtiden

Vid framställningen av algolja är målet att en dag uppnå ett konkurrenskraftigt oljepris som kan ersätta den fossila råoljan som används till flygbränsle. Då den fossila råoljan är en begränsad energikälla följer priset tillgång och efterfrågan runt om i världen. Priset för råolja varierade 2011 mellan 85-110 USD per fat vilket innebär att priset varierade mellan cirka 3.61 kronor och 4.67 kronor per liter [28]. Råoljepris taget (2012-05-01) är 104,73 USD per fat, som motsvarar 4.44 kronor per liter [27]. U.S Energy Information Administrations prognoser [28] för framtida priser visar ett pris mellan 62 till 201 USD per fat år 2035, se Figur 6-1. Priset är framtaget genom tre fallstudier, där referenspriset följer prisutveckling för år 2010. Nya oljefynd görs men svårigheten ligger i att beräkna hur mycket produktionskapacitet nuvarande och framtida fynd kan frambringa.



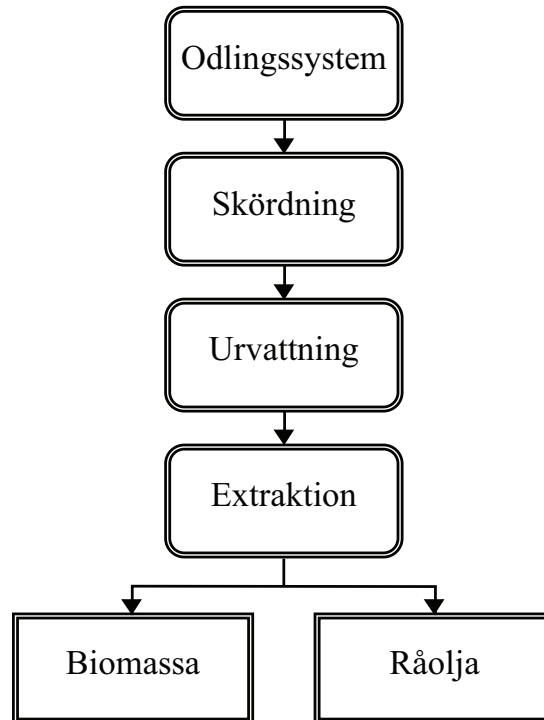
Figur 6-1. Visar oljeprisets utveckling från 1980 till 2035. Från år 2010 beskriver graferna ett högt ett låg och ett referenspris för perioden 2010 till 2035. Datan är framtagen av U.S. Energy Information Administrations energirecension "AOE2012 early release overview".

Förväntningar och förhoppningar har stor inverkan på marknadspriset och osäkerheten är stor kring både tillgång och pris. Följer utvecklingen "Högt oljepris" i Figur 6-1, kan ett pris på algolja uppgå till cirka 8.5 kronor per liter för att kunna konkurrera med den prognostiserade fossila oljan. [28]

Priset för flygbränsle följer priset för råolja med ett visst påslag som varje oljeproduktionsbolag bestämmer med hänsyn taget till kostnader för framställning och skatter. Påslaget är 4.1 kronor [14]. Det beräknade priset för flygbränsle år 2012 är 5.73 kronor enligt IATA economics [29] och år 2011 kostade det 5.5 kronor per kg i Sverige, med omräkning för densitet 0.8 kg/liter, 6.9 kronor per liter [30]. Den extra kostnaden för flygbränsle följer råoljepriset med en jämn nivå vilket gör att år 2035 kommer flygbränsle från fossil olja ligga kring 12.6 kronor per liter[30].

6.5. Framställning av flygbränsle från alger

För att framställa flygbränsle från alger krävs flera processer och delsteg vilket visas i Figur 6-2. Varje val av delprocess påverkar nästkommande steg eftersom varje del har specifika krav. I nuläget är detta en dyr process som är både energi- och tidskrävande. Grunden till många av de metoder som idag används vid produktion av biomassa från alger i industriskala är framtagna under sena 1800-talet och i början på 1900-talet. [31] Inte förrän i början på 2000-talet började en ny generation av anläggningar med mer utvecklade tekniker att testas för framställning av flygbränsle. Den nyare eller utvecklade tekniken för odling av alger utförs och fungerar framförallt i laborativ skala. Vid en uppskalning till pilotskala och slutligen till industriskala uppkommer dock flera problem. En faktor som är av stor betydelse är klimatet för det område anläggningen är lokaliserad, då detta påverkar temperatur, tillgång på solljus, variation i årstider och vattentillgång. [14]



Figur 6-2. Linjediagram över produktionssteg i anläggningarna vid framställning algolja.

Val av alg

Den första parametern som måste bestämmas i processen för framställningen av flygbränslet är vilken typ av alg som kommer användas. I samband med val av alg väljs också ett odlingsystem. Vilken typ av alg som odlas har en stor inverkan på systemet eftersom arternas egenskaper ger olika krav på odlingsförhållanden.

Odling

Odlingsystemen varierar med avseende på storlek, öppen eller stängd konstruktion samt om systemet är slutet eller öppet mot naturen. Det finns både land- och vattenbaserade odlingsystem. Gemensamt för alla odlingar är det krävs tillförsel av koldioxid och näringsämnen, som kväve och fosfor för att algutväxt ska kunna ske.[32]

Odling av alger kan ske i ett flertal olika tekniska system. Gemensamt är att varje odling börjar med en mindre andel alger som sedan får växa till sig i systemet tills en viss koncentration uppnåtts. [33] Odlingstiden skiljer sig mellan algarerna och beror också av vilket odlingsystem som valts samt näringsförhållanden. Den fotosyntetiska effektiviteten, PE, är en faktor som skiljer sig mellan olika odlingsystem och som påverkar tillväxthastigheten. PE innebär hur mycket soljus som algerna kan ta tillvara på i fotosyntesen och kan uppgå till 10 %.[34] För en autotrof är dock PE-värdet mellan 1.5-7% beroende på odlingsystem och produktionsskala [35].

Koldioxidupptagning

Infångning av koldioxidutsläpp är en komplementär funktion som kan användas för att sänka kostnaderna och möjliggöra en ekonomisk och miljömässigt hållbar odlingsprocess av alger. Alger kan fånga upp koldioxid från atmosfären, utsläpp från industriella processer och lösta karbonater. Eftersom koncentrationen av koldioxid i luft är relativt låg är det inte ett ekonomiskt gynnsamt alternativ att utvinna koldioxid endast från atmosfären. Algerna har lättare att fånga upp koldioxiden från utsläpp från industrier som bränner fossilt bränsle eftersom koldioxidhalten når cirka 20 % . Det är dock viktigt att algerna kan klara av att överleva höga nivåer av SO_x och NO_x som finns i utsläppsgaser från industrier. Vissa alger kan även ta upp koldioxid från lösta karbonater, till exempel Na_2CO_3 och NaHCO_3 . [35]

De egenskaper som krävs för hög koldioxidupptagning är alltså en hög tillväxthastighet och koldioxidsanvändningsgrad, men även en hög tolerans mot SO_x och NO_x . Det krävs också en hög vattentemperaturtolerans för att minimera kostnaderna för kylning av utsläppsgaser. Algarten som är speciellt användbara inom detta område är olika arter av *Chlorella*. [35]

Avfallsvattenrening

Alger i odlingen kan användas för att rena avfallsvatten från kemiska och organiska föroreningar, tungmetaller och patogener, samtidigt som de producerar biomassa för biobränsleproduktion. Detta leder dessutom till en minskad förbrukning av färskvatten vid produktion av biodiesel. För att avlägsna farliga och giftiga ämnen från avfallsvatten används alger för att generera syre som krävs av bakterier som degraderar föroreningar såsom PAHs , fenoler och organiska lösningar. Det finns även ett antal alger som kan ta upp tungmetaller som krom, koppar och kadmium. Avfallsvatten innehåller också en hög halt av koldioxid, kväve och fosfor och är därför extra gynnsamt som odlingsmedium för alger eftersom har ett stort behov av dessa ämnen för tillväxt. [35]

Kväve, fosfor och järn svält för ökad lipidhalt i alger

Studier har gjorts som visat att alger vid framförallt kvävesvält, men även vid svält av fosfor och järn producerar en högre halt lipider. En studie visar att med en kombination av kväve, järn och fosforsvält samt odling under optimala förhållanden kan algen *Chlorella vulgaris* uppnå en lipidhalt på 55.3 %. [36]

Skördning

Efter att alger har fått växa i odlingsystemet sker skördning. Varje art av alg har en specifik tillväxtkurva och för att algerna skall inneha maximal halt lipider vid skördningstidpunkten kan en simulering göras som tar hänsyn till samtliga odlingsfaktorer. [37] Skördning av alger innebär att man utvinner biomassan genom att avlägsna våt algbiomassa från odlingsmediet. Alger har normalt högt vatteninnehåll och efterkommande processer och bearbetning kräver att vatten avlägsnas. [38] Det finns ingen metod som anses vara optimal att använda vid skördning av alger. Det viktiga är att den skördningsmetod som används är relativt kostnads- och energieffektiva, då detta krävs för att produktion av biobränsle ska bli ekonomisk hållbar. [39]

Urvattning

Efter skördningsprocessen är vatteninnehållet fortfarande högt. För att extraktionen i nästföljande process skall kunna genomföras krävs det att algerna är torra för att oljan skall kunna utvinnas. Den stora utmaningen vad gäller extraktionsprocessen är att innan den kan påbörjas måste algernas vatteninnehåll minska drastiskt och algerna måste bestå av mer än 90 % torrmasa. För att detta ska vara en lönsam process måste det ske i samband med låga kostnader och en låg energianvändning. [40] Den skördade biomassan innehåller vanligtvis ca 5-15 % torrmasa men skulle kunna ge upp mot 20 %, delvis beroende på art av alg, men också på vilken typ av skördningsmetod som använts [35]. Vanligtvis kräver torkningen höga temperaturer och på grund av detta är det viktigt att urvattningen sker relativt fort för att undvika att biomassan ruttnar [41].

Extraktion

När urvattningen är gjord är nästa processteg för algerna att genomgå extraktion. Denna process innebär att lipiderna utvinns från algen för att sedan förädlas till flygbränsle. Extraktionen av olja från alger är ofta kostsam och kräver mycket energi och det är därför en stor utmaning att få den billigare och mindre energikrävande. [42]

Förädling till flygbränsle

Efter besök och samtal med Preem har det konstaterats att denna del är möjlig att göra på ett raffinaderi.

Användning av restprodukter

Vid förädlingen av råolja från algerna är det endast 15 % av de utvunna lipiderna som blir till flygbränsle. Resterande 85 % av lipiderna blir till diesel och bensin och övriga torrsubstans av algen så som proteiner, enzymer och kolhydrater kan ses som överbliven biomassa och kan omvandlas till restprodukter. Beroende på val av tidigare delprocesser i produktionen kan viss torrsubstans vara obrukbar som restprodukt då den blivit förstörd, men det finns också de metoder där detta är möjligt. [43].

För att försöka uppnå en ekonomisk vinning på produktionen kan restprodukter som bildats vid produktionen säljas eller återanvändas. Detta då framställning av flygbränsle från alger är en kostsam process. [44]

6.6. Teori för koncept och val av metoder

I detta avsnitt presenteras de metoder för varje delprocess som undersökts i litteraturstudien. De metoder som verkar lovande och som används i koncepten beskrivs mer omfattande. Avsnittet inleds av en generell information kring mikroalger och dess betydelse för biobränsle som därefter följs av val av mikroalg till extraktion av algolja. Utförliga beskrivningar av de metoder som valdes bort kan ses i Bilaga B.

6.6.1. Mikroalger

Uppdelning av mikroalger sker med avseende på pigment, livscykel och cellstruktur. Generellt har mikroalger ett högt lipid-och kolväteinnehåll och innehåller därför en hög andel energi. Lipiderna och kolvätena är de komponenter som utvinns i olika delsteg för att framställa råolja. Mikroalger kan antingen vara autotrofa, heterotrofa eller mixotrofa. Autotrofa organismer behöver endast organiska ämnen, koldioxid och solljus för att generera energi och växa. I fotosyntesen absorberas solljus och koldioxid i kloroplasterna för att omvandlas till ATP och syre. Heterotrofa organismer använder sig däremot av organiska molekyler, samt andra näringsämnen som källa för tillväxt och energi. Mixotrofa organismer har egenskapen att både kunna använda fotosyntes eller ta upp organiska ämnen för att generera energi och växa.[45]

Mikroalgers roll för biobränslen

Vissa arter av framförallt autotrofa mikroalger har flera egenskaper som gör de lämpliga för produktion av biobränsle. Generellt har mikroalger en hög produktivitet i jämförelse med andra grödor som används till biobränsle, vilket innebär att alger producerar mer olja per hektar. Detta beror främst på dess höga innehåll av lipider och att de reproduceras snabbt. En annan egenskap som gör autotrofa mikroalger mer fördelaktiga är att de kan växa under hela året i de länder där det finns tillräckligt med solljus. De kan odlas på ytor som inte används för annan odling och använder förhållandevis lite vatten i jämförelse med andra mat- och biobränslegrödor. Mikroalger har alltså många fördelar jämfört med andra källor till biobränsle och därför läggs stora resurser för att undersöka och utveckla produktionsteknologin för dessa alger. [45]

6.6.1.1. Alger för oljeframställning

Det finns många alger som har högt lipidinnehåll och kort generationstid vilket är viktigt vid framställning av flygbränsle. Exempel på alger som lämpar sig för detta är *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis salina*, *Spirulina* och *Botryococcus braunii*. [46] [47] Då *Chlorella vulgaris* är den alg som passar det svenska klimatet och även ett varmare klimat samt har många andra fördelar anses denna alg vara den mest lämpade. En modifiering eller upptäckt av en alg liknande *Botryococcus braunii* anses vara en framtida möjlighet därför beskrivs även denna.

Chlorella vulgaris

Chlorella vulgaris är en grön mixotrof alg som kan leva i både salt och sötvatten. Den har en optimal tillväxttemperatur på 25°C och är inte känslig för pH-förändringar, men växer optimalt vid pH 6-8. *Chlorella vulgaris* har en lipidhalt på 10 % av biomassan då omgivande luft innehåller 10 % koldioxid. Vid en ökad halt av koldioxid i luften och en minskad tillgång på natrium kan en produktion av lipider upp till 30-50 % av biomassan erhållas.[4] Fördelen med *Chlorella vulgaris* är att den lätt kan anpassa sig till en odling på avloppsvatten och eftersom den är dominant i förhållande till andra alger fungerar den bra i öppna odlingssystem. *Chlorella vulgaris* är även temperaturtålig och kan växa i temperaturer ner till 6°C vilket är passar i det svenska klimatet.[49]

Botryococcus braunii

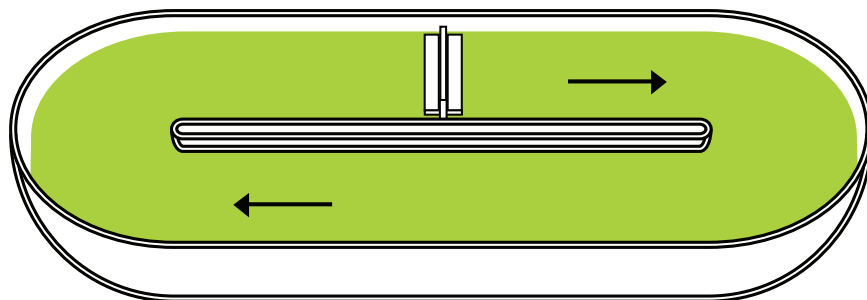
Botryococcus braunii är grön alg som bildar kolonier med olika storlekar beroende på ljusintensiteten. Algens optimala kolväteproduktion sker vid en temperatur på 25°C och ett pH runt 6 för optimal kolväteproduktion. Det finns tre olika typer av Botryococcus Braunii och dessa kan hittas över hela världen förutom på Antarktis. De olika typerna heter A, B och L skillnaderna emellan dessa beror på kolväteproduktionen och längderna på kolvätekedjorna. Kolvätehalten i typ A-alger har uppmätts till 61 % medan typ B ofta har en kolvätehalt på 30-40 % och typ L har bara en halt på 8 %. Typerna A och B lever i olika alpin-, tropik- och inlandssjöar medans typ L bara har funnits i tropiska klimat.[50] Botryococcus Braunii har ens förmåga att bilda syrefattiga isoprenoider, vilka liknar alkaner i strukturen, med 32 till 38 kolatomer. Botryococcus Brauniis biomassa kan bestå med upp till 70 % isoprenoider och eftersom dessa har en väldigt lik sammansättning som den fossila råoljan kan de användas direkt i dagens raffinaderier utan förbehandling. Algens cellväggar är tunna och det är därför lätt att extrahera oljan.[51] En annan fördel med Botryococcus Braunii är att den innehåller mindre nitrogen och fosfor än andra alger vilket gör att den kräver mindre gödningsmedel och är energisparande [50]. Nackdelen är att den är svårödlad och därför inte lämpar sig för framställning av biobränsle [51].

6.6.2. Odling

Det finns tre kategorier av odlingsystem och dessa är autotrofa, heterotrofa och mixotrofa system. Då heterotrofa och mixotrofa system kräver organiska ämnen som energikälla kan detta innebära högre kostnader och större miljöpåverkan än autotrofa system som endast använder solljus. [35] På grund av detta studeras inte heterotrofa system och mixotrofa system närmare. Autotrofa system omfattar öppen damm-, hybridproduktionssystem och stängda fotobioreaktorer såsom rör- och plattformade reaktorer. Då stängda fotobioreaktorer i förhållande till de andra är dyrare [35] ansågs öppen damm- och hybridproduktionssystem vara bättre val och beskrivs mer ingående. Hybridproduktionssystem inkluderar dock rörformade fotobioreaktorer och därav beskrivs även detta odlingsystem.

6.6.2.1. Öppen damm produktionssystem

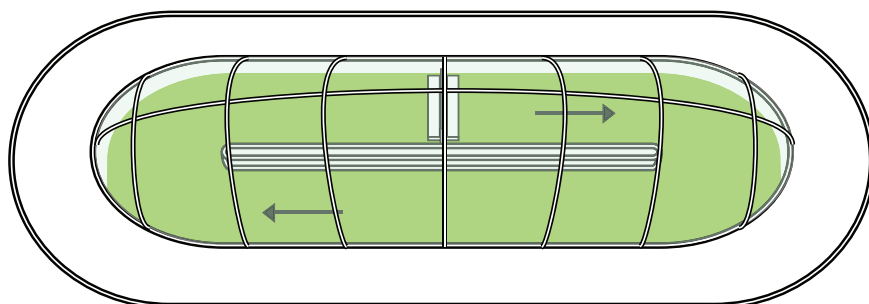
Det finns ett flertal olika öppna system för odling av alger. Dessa kan existera i naturliga sjöar, laguner eller i artificiella pooler som skapas på land. Den grundläggande och vanligaste designen för ett öppet system är en så kallad cirkulationspool, illustrerad i Figur 6-3.



Figur 6-3. Föreställer ett öppet system för algodling i form av en cirkulationspool.

Systemet är konstruerad som en cirkulär eller oval pool med 0.1-0.3 meters djup. Näringsämnen cirkuleras med hjälp av ett paddelhjulssystem och den strömning som skapas förhindrar sedimentation av alger och förbättrar tillväxten för algerna. [35] Tillväxt av algerna sker autotroft men ljuset kan dock endast penetrera någon decimeter ner i vattnet på grund av att biomassan blockerar. Detta kan lösas genom att odlingen sker i tunnare lager av alger vilket ger en högre halt biomassa och gör att odlingen kan lättare omröras. [32] Koldioxid fås från diffusion mellan vattenyta och omkringliggande luft. Systemet är både kostnads- och energieffektivt på grund av dess enkla konstruktion. Det kan desutom placeras på ickeanvändbar mark såsom sankmark och kan använda både söt- och saltvatten som anses odugligt för jordbruksodling. [52]

På grund av systemets exponering mot omgivningen uppstår ett antal problem. Ett problem är att systemet har en ineffektivitet vid koldioxidupptagning, vilket kan lösas genom att tillföra extra koldioxid. Ett annat problem för systemet är att det är svårt att få en bra omrörning i odlingen, det kan också ske en för stor avdunstning av vatten. Avdunstning sänker temperaturen hos systemet, men kan även transportera bort viktiga näringsämnen. Ytterligare ett problem är att odlingen lätt kan drabbas av kontaminering och detta kan förhindras av att odla extrema arter av alger. [35] En möjlig lösning på dessa problem är att ha öppna system i såkallade halvstängda system. Ett exempel på ett sådant kombinationssystem är att ha öppna pooler täckta med plasthölje vilket visas i Figur 6-4, framtagna efter att ha fått rekommendationer från Susanne Ekendal från SP.

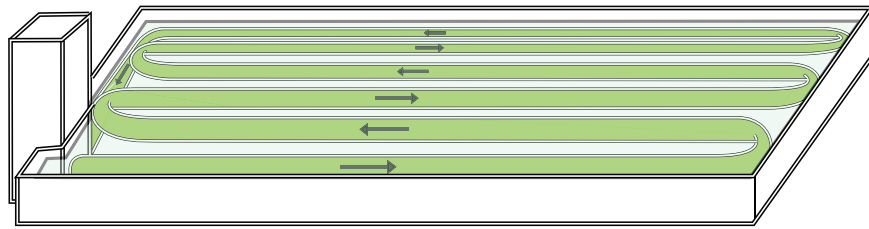


Figur 6-4. Föreställer en cirkulationspool som är täckt med ett plasthölje för att minska risken för kontamination.

6.6.2.2. Rörformad reaktor

Generellt sett är biomassaproduktionen hos stängda fotobioreaktorer såsom rörformad reaktor högre än i öppna system, dock är konstruktionskostnaderna större på grund av systemets komplexitet. Systemet kräver också en hög energiåtgång. [53] En av fördelarna med stängda fotobioreaktorer är att de kan hålla en monokultur av en algart under längre perioder utan kontamination. Därmed är odlingstypen lämplig för att odla känsliga algarter som annars skulle vara svåra att odla i öppna system.

Rörformiga reaktorer är uppbyggda av en mängd genomskinliga rör på cirka 0.1 m i diameter som ligger vertikalt, horisontellt, lutad eller i helixform. Formerna på systemen genererar olika förutsättningar för ljusupptag, detta på grund av solljusets infallsvinkel. [35] Det har också inverkan på systemets storlek där den horisontella tar upp större yta i jämförelse med den vertikala. I Figur 6-5 visas en horisontell rörformad reaktor.

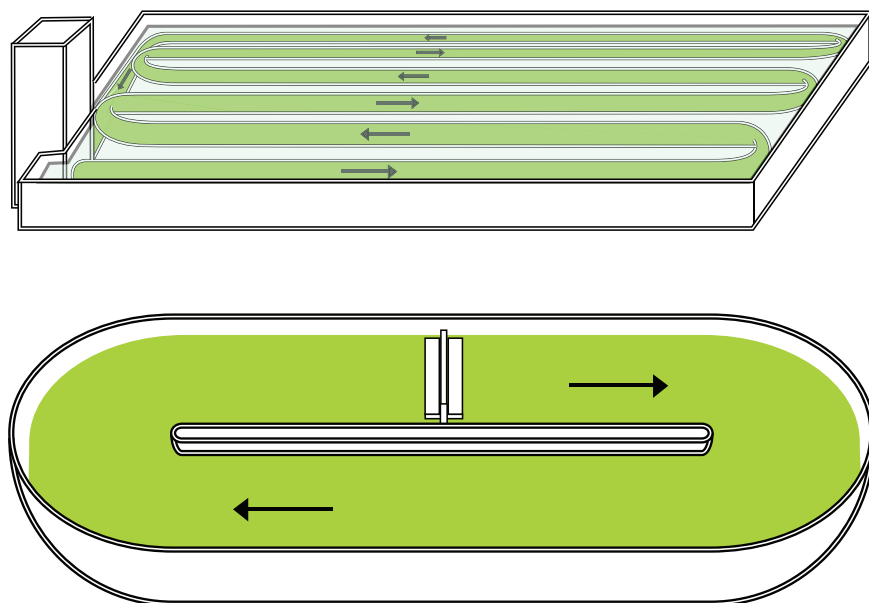


Figur 6-5. Föreställer en horisontell rörformad reaktor. Pilarna visar vilket håll strömningen går i systemet. Systemet är delvist nedsänkt i vatten för temperaturkontroll

På grund av strömningen bildas gradienter utav pH, löst syre och koldioxid och detta medför att systemen har en begränsning på dess storlek. [54] För alla typer av rörformade reaktorer används olika system för omrörning av odlingen. Antingen används mekaniska pumpar för omrörning och cirkulation eller så används luftpumpar där inflöde av syre och koldioxid skapar cirkulation och omrörning. Detta sätt att utföra omrörning gör att koldioxid tillsätts på ett effektivt sätt och att produktiviteten ökar. [32] Helixformen används ofta i så kallade hybrid system.

6.6.2.3. Hybridproduktionssystem

Ett hybridssystem tar tillvara på egenskaper från både ett öppet system, som en öppen damm, och ett stängt system, som en rörformad fotobioreaktor vilket visas i Figur 6-6. Kombinationen av dessa system bildar en produktionslinje där kultivering av algerna först sker i det stängda systemet för att därefter överföras till det öppna systemet för ytterligare odling. [55] I den stängda fotobioreaktorn kan en tillräckligt stor algkultur odlas relativt snabbt då detta system har en högre produktivitet. Det nästföljande öppna systemet är känsligt för kontamination och kräver ofta extremofila alger för att säkerhetsställa en odling av en enskild art.



Figur 6-6. Föreställer ett hybridssystem, som är en kombination av en rörformad reaktor och en cirkulationspool.

6.6.3. Skördning

Skördning kan göras genom flera olika metoder som kan kombineras till en skördningsprocess. Dessa är bland annat flockning, sedimentering, flotation, filtrering och centrifugering. Val av metoder styrs av egenskaper hos algerna samt önskad slutprodukt. Generellt skördas alger i två delsteg för att skördningen skall bli optimal. Det första steget innefattar separationen av algbiomassan från odlingsmediet, medan det andra steget koncentrerar biomassan ytterligare. I det första steget används vanligtvis flockning, flotation eller gravitationssedimentering vilket medför att koncentrationen av algmassa ökar så att 2-7% torrsubstans nås. I det andra steget används tekniker såsom centrifugering och filtrering [35]. Utifrån intervju med Susanne Ekendahl och litteraturstudier, beslutades att flockning följt av gravitationssedimentering skulle användas för att hålla produktionsanläggningen enkel för att få lägre kostnader. Beskrivningar av flockning och gravitationssedimentering beskrivs därmed mer ingående.

6.6.4. Flockning

Flockning innebär att mikroalgerna i odlingsmediet klumpar ihop sig och bildar större partiklar som bidrar till ökade densitetsskillnader. Anledning till detta prepareringssteg är att mikroalger är små till storleken, vilket skulle göra de mer svårskördade [38]. Kostnaderna för skördning kan därmed reduceras avsevärt [51].

Mikroalger har en negativ laddad del som motverkar att aggregation av algceller kan ske. Genom att neutralisera den negativa laddningen kan flockning uppstå [38]. Detta kan göras genom att tillsätta kemiska tillsatser, kallat kemisk flockning, eller ändra omgivande miljö, kallat autoflockning. Flockning kan också ske genom att andra självflockulerande alger tillsätts. Denna metod tillhör bioflockning. En sista metod som kan användas är elektrolitisk flockning som utnyttjar algens negativa laddning. Då den kemiska flockningen i förhållande till de andra metoderna anses vara mer beprövad och ha fler fördelar med avseende på kostnader väljs denna typ av flockning.

Kemisk flockning

Krav som ställs på de kemiska medlen för kommersiell och storskalig användning vid flockning är att de inte ska vara dyra eller giftiga samt vara effektiva vid en låg koncentration [38]. Två olika substanser som kan användas är metallsalter och katjonska polymerer som även kallas polyelektrolyter.

De vanligaste metallsalterna som används vid flockning är järnklorid, aluminiumsulfat och järnsulfat. Aluminiumsulfat har använts i stor utsträckning vid avloppsrening för att flocka algbiomassa. Det kan dock vara oacceptabelt att använda dessa kemikalier om biomassan ska användas vid andra tillämpningar [38]. Till exempel ska metaller inte finnas i råoljan vid raffinadering då dessa förstör råoljedestillationstornen enligt Evelyn Eliasson på Preem raffinaderier. Katjonska polymerer kan neutralisera den laddade ytan hos cellen och de kan dessutom genom brygning, länka ihop en eller flera partiklar, vilket har visat sig leda till flockning. Effektiviteten hos polyelektrolyter beror på flera faktorer såsom molekylmassa av polymeren, mängd använd dos, laddnings densitet för molekylerna, koncentration av biomassan, pH av mediet och omrörning. Dessa typer av tillsatser har använts i stor utsträckning vid utvinning av algbiomassa. Jämfört med metallsalter som aluminiumsulfat kan katjoniska polymerer vara mindre effektiva. [38]

Chitosan är en polymer som har visat sig vara effektiv med olika mikroalger. Den är ogiftig och är lätt att tillverka och det krävs låga halter vid flockning . Optimal dosering varierar däremot kraftigt mellan algar. Ämnets förmåga att flocka alger reduceras emellertid i saltvatten [38]. Chitosan fungerar som andra polyelektrolyter och tester som utförts visade på att algcellerna var intakta och levde efter flockningen. Vattnet kan återanvändas för att producera nya algkulturer [56]. Användning av polyelektrolyter är att föredra jämfört med ovan nämnda metallsalterna då det krävs betydligt mindre av dessa och att algen sedan kan användas i efterkommande processer [39].

Gravitations sedimentering

Gravitations sedimentering sker på grund av att det finns densitetsskillnader i odlingsmediet och med hjälp av jordens gravitation delas mediet upp i en mer algrik del som sedan kan avlägsnas. Gravitations sedimenteringen är tids- och platskrävande och den passar för mikroalger som är större än 70 μ m [35] [39]. För lågvärdiga produkter kan denna metod vara lämplig att använda tillsammans med flockning [38].

6.6.5. Urvattning

Urvattning kan göras med flera olika metoder, dels beroende på typ av alg men framförallt beroende på hur processen avgränsas med avseende på kostnader och energitillgångar. Ett urval av dessa metoder är soltorkning, frystorkning, spraytorkning och trumtorkning. De olika metoderna genererar en hög respektive låg ekonomisk kostnad beroende på tiden som torkningsprocessen tar. Generellt är den process som tar kort tid energikrävande och ger höga kostnader och den process som tar lång tid energisparande och ger låga kostnader. Soltorkning anses vara en metod lämpad för lågvärdiga produkter då energin kommer från solen och är, i förhållande till resterande metoder billig och därför valdes denna torkningsmetod. Det enda möjliga alternativet till soltorkning som kan ske i stor skala är spraytorkning då frystorkning är dyrare och trumtorkning är komplext.

Soltorkning

Soltorkning innebär att torkningen av biomassan endast sker genom konvektion med hjälp av solens energi. Det är en billig metod som dock kräver ett stort antal soltimmar och en stor yta.[57] En faktor som påverkar torkningstiden är hur tjockt lager av alger som skall torkas [58]. För att minska tiden för torkningen kan man använda fläktar eller välja en torkningsplats som är exponerad för vind [59]. Torkningen varierar starkt med lufttemperaturen och dess hastighet. I denna metod önskas en relativt hög temperatur, 40°C, samt en svag vind, 2.5 m/s för att nå den optimala torkningseffekten vilket också ger en linjär torkningsprocess. För ökande betingelser blir torkningsprocessen inte längre linjär och torkningen blir begränsad. En nackdel med denna metod är att en överskridning av 40°C också ökar risken att rötningsprocessen påbörjas hos algerna innan massan torkat klart.[58]

Spraytorkning

Spraytorkningen är en metod som är kostsam men effektiv. Det är den metod som vanligtvis används i dagens odlingar och kan användas vid de flesta typer av anläggningar. Spraytorkningen har en snabb torkningstid och utförs med het gas som endast består av upphettad luft. Uppvärmningen av luft sker från extern värme som kan tas från bland annat spillvärmes i anläggningen för att minska kostnaderna. En nackdel med denna metod är att den kan orsaka en försämring på algernas pigment.[35]

6.6.6. Extraktion

För att extrahera olja ifrån alger finns olika metoder och dessa delas in i mekaniska metoder, kemiska metoder och enstegs-metoder. Alla metoder har samma mål vilket är att bryta ner algernas cellväggar så oljan frigörs och kan tas till vara. Detta är ett svårt steg då algernas cellväggar är otroligt starka. Vissa arter av alger har ett inre tryck på 20 atm, vilket i teorin är lika starkt som armerad betong. [50] I de mekaniska metoderna extraheras oljan genom att algernas cellväggar förstörs genom mekanisk kraft, vilket kan göras genom pressning, malning, kavitation eller Pulsed Electric field. I de kemiska metoderna är det antingen lösningsmedel eller enzymer som bryter ner cellväggarna. I Enstegsmetoderna är ofta en kombination mellan de mekaniska och kemiska metoderna som extraherar oljan och fördelen med denna metod är att flera delprocesser slås ihop och därmed elimineras. Enligt litteraturstudien är en kemisk metod med hexan den vanligaste metoden vid extraktion och kan återanvändas, därav valdes denna. Single Step Extraction som är en enstegsmetod anses utifrån OriginOils hemsida vara möjligt inom en snar framtid.

Kemiska metoder

De kemiska metoderna som kommer presenteras är extraktion med lösningsmedel, superkritisk vätskeextraktion och enzymer. Extraktion med lösningsmedel är den metod som används i störst utbredning idag medan de andra är mer under forskningsstadiet.

Lösningsmedel

Kemikalier som kan förstöra cellväggarna och extrahera oljan från algerna är organiska lösningsmedel så som bland annat bensen, cyklohexan, hexan, aceton, kloroform. Detta sker eftersom oljan har hög lösningsgrad i organiska lösningsmedel. Ett bra lösningsmedel har flera specifika egenskaper som till exempel att det inte skall vara vattenlösligt eller lösligt med algoljan. Ytterligare egenskaper är att det skall ha en låg kokpunkt för att lätt avlägsna lösningsmedlet efter extraktionen samt att inneha en densitet som är skilt från vattnets. Det ska även vara lätt att få tag på, billigt och det ska kunna återanvändas. Därför används ofta hexan som lösningsmedel för storskalig algextraktion då det uppfyller alla dessa egenskaper. [60]

Det största problemet med lösningsmedel är att det krävs extra energi för att destillera av lösningsmedlet och det finns även en risk att slutprodukterna kan bli kontaminerade då det är svårt att få bort alla spår av lösningsmedlet. Detta är anledningen till att lösningsmedel inte är någon bra extraktionsform när biprodukterna från extraktionen ska användas i matindustrin.[60]

En möjlighet att komma runt problemet med den energikrävande destillationen är att använda slutprodukten som lösningsmedel, i detta fall flygbränslet. Detta är en bra lösning på energiproblemet då lösningsmedlet inte behöver destilleras bort eftersom flygbränslet kan följa med råoljan genom förbehandlingen och förädlingen. [50] Detta löser dock inte problemet med att biprodukterna blir kontaminerade. [60]

6.6.7. Single Step Extraction

Det pågår mycket forskning kring att extrahera oljan från algerna i ett steg, utan att behöva torka dem, för att undgå stort energikrävande och kostsamt steg. Företaget OriginOil har utvecklat en teknologi där man extraherar algerna genom att först utsätta dem för ultraljud och elektriska pulser för att förstöra algernas cellväggar. Sedan tillsätts koldioxid för att sänka pH vilket medför att biomassan sjunker till botten och oljan flyter upp till ytan. I denna metod behövs inga lösningsmedel eller urvattning av algerna heller inte skördning vilket innebär en ökad effektivitet vad gäller energiåtgången, minskade kostnader samt snabbare process. Denna metod kallas Single Step Extraction. [35]

6.6.8. Restprodukter

Det finns flera alternativa användningsområden som skulle kunna vara möjliga för de restprodukter som uppstår vid produktionen. Ett alternativ är substrat till biogas och några andra alternativ omfattar högvärdiga produkter.

6.6.8.1. Biomassa till biogas

Det har visat sig möjligt att använda mikroalger som substrat vid framställning av biogas. Mikroalgen är dock en relativt outforskad råvarukälla för framställning av biogas, men intresset för den har ökat de senaste åren [61]. Framställning fortgår genom att substratet röts i en syrefri röt-kammare som bildar biogaser samt en rötrest. Rötresten är näringsrik och kan användas till gödningsmedel inom jordbruket [61]. Substrat med hög andel kol, så som metan är fördelaktiga vid biogasframställning medan höga halter kväve kan vara problematiskt i röttningsprocessen [62]. Andelen metan i algsubstrat kan ligga runt 70 % och substrat räknas som bra substrat om det kan generera mycket metan per mängd tillfört substrat [61]. Gasutbytet per kg torrsbstanshalt är 0.3, jämför med slakteriavfall som har 0.27 och som idag är ett väl fungerande substrat på biogasmarknaden [61]. Prisbildningen på substrat på biogasmarknaden är olika just beroende på substratets kvalitet och form. [62]

6.6.8.2. Högvärdiga produkter

Alger innehåller flera komponenter som kan användas för högvärdiga applikationer. De komponenter som främst kan användas är proteiner, vitaminer, enzymer och kolhydrater. Eftersom alger har ett högt proteininnehåll och innehåller flera typer av vitaminer kan restprodukten användas för produktion av hälsosamma kosttillskott. [63] De komponenter som finns i kosttillskott är även vanligt förekommande i djurfoder. Det är även möjligt att utvinna viktiga enzymer, exempelvis cellulaser från den återstående biomassan. Cellulaser används som förbehandling innan fermentationen till bränsle-etanol. Kolhydraterna i algbiomassan kan återanvändas i pappersmassaindustrin och ersätta ett lignocellulotiskt material som kommer från andra skogsresurser. [64]

6.6.9. Förädling till flygbränsle

För att förädla algoljan till flygbränsle finns det flera olika möjligheter såsom pyrolys, vätebehandling med vätekrackning och Fischer-Tropsch. Det är vätebehandling med vätekrackning som sker i dagens raffinaderier och då algoljan ska säljas till ett sådant är det denna metod som kommer utföras. [65]

7. Resultat

Resultatet presenteras i fem avsnitt som är lokalisering konceptbeskrivning, livscykelanalys, ekonomisk analys samt en känslighetsanalys. Lokaliseringen innefattar placeringen av anläggningen med avseende på globala bestrålningen. Konceptbeskrivningen innehåller tre framtagna koncept utifrån lokaliseringen som innehåller val av allg, processer/metoder. Detta följs av en livscykel-, ekonomi-, och känslighetsanalys som görs på koncepten.

7.1. Lokalisering

Enligt rapportens syfte studeras möjligheterna att konstruera en anläggning i industriskala för odling av alger för produktion till flygbränsle i Göteborg eller i fördelaktig region. För att utvärdera de olika möjligheterna av odling i Sverige jämfört med andra delar av världen används uträkningen enligt produktionsmetoden för den areala produktionen genom ekvation (1).

Den mest betydelsefulla parametern för lokalisering bedöms vara den globala bestrålningen ($\text{kWh/m}^2/\text{dag}$). Yttligare bedömningsfaktorer för produktion utomlands antas vara till exempel avstånd för transport av olja, infrastruktur och industri.

För att hitta ett fördelaktigt klimat undersöks olika regioner med avseende på global bestrålning, bland annat Faro - Portugal, Durban - Sydafrika, Grand Canaria - Spanien och Tripoli - Libyen. Data från Tripoli och Durban visade på samma globala bestrålning och har även högst värde bland utvalda regioner. På grund av placering vid medelhavet samt rekommendationer från SP valdes Libyen för att anlägga en algodling.

En annan viktig parameter som lokaliseringen beror på är temperaturen. För de olika anläggningarna antas odlingarna ha jämn temperatur under produktionsperioden och fri tillgång till spillvärme från industri. Detta är viktigast i Göteborg då temperaturer under tidig vår och sen höst kan vara lägre än vad algerna klarar och då är det viktigt att algodlingarna värms upp.

7.1.1. Global bestrålning i Göteborg och Libyen

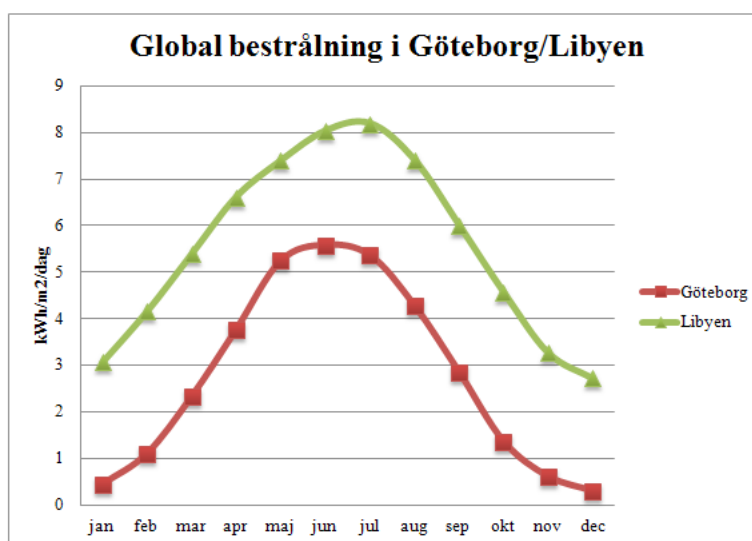
För värden på den globala bestrålningen användes databas från NASA Surface meteorology and Solar Energy, för mer information se Bilaga A. Dessa visas i Tabell 7-1 och Tabell 7-2 med värden för kWh och MJ. Graf över värdena i kWh för de båda lokaliseringarna ses i Figur 7-1.

Tabell 7-1. Uppmätta värden på global bestrålning i kWh och MJ över årets 12 månader. Data är ett medelvärde på mätningar mellan 1983 till 2005. Medelvärdet för global bestrålning för orten visas i sista kolumnen.

Göteborg – Sverige, Latitud 58, Longitud 12													
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Medelvärde
kWh/m²/dag	0,4	1,1	2,3	3,8	5,2	5,6	5,4	4,3	2,9	1,4	0,6	0,3	2,8
MJ/m²/dag	1,6	4,0	8,4	13,5	18,9	20,1	19,3	15,4	10,3	4,9	2,2	1,1	10,0

Tabell 7-2. Uppmätta värden på global bestrålning i kWh och MJ över årets 12 månader. Data är ett medelvärde på mätningar mellan 1983 till 2005. Medelvärdet för global bestrålning för orten visas i sista kolumnen.

Tripoli – Libyen, Latitud 33, Longitud 13													
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Medelvärde
kWh/m²/dag	3,1	4,2	5,4	6,6	7,4	8,0	8,2	7,4	6,0	4,6	3,3	2,7	5,6
MJ/m²/dag	11,0	14,9	19,4	23,8	26,6	28,9	29,5	26,7	21,6	16,5	11,8	9,8	20,1



Figur 7-1. Den globala bestrålningen i regionerna Göteborg och Libyen. Solstrålningen i Göteborg är mindre än i Libyen, speciellt under månaderna; januari, februari, november och december.

På grund av det låga värdet på global bestrålning i Göteborg under januari, november och december antogs det att odlingen av alger inte skulle ske under dessa månader och anläggningen skulle vara stängd. Därmed är dessa månader ej beräknade i fortsatta analyser och hänsyn har tagits till elkonsumtion för en kortare användning under året.

Den globala bestrålningen är däremot högre i Libyen jämfört med Göteborg och under vintermånaderna är denna tillräckligt hög för att produktion skall ske kontinuerligt året om.

7.2. Koncept

Koncepten är utformade för att uppnå en produktion på 160000 ton flygbränsle, vilket motsvarar Göteborgs behov av flygbränsle 2011, värden givna efter kontakt med Thomas Hellin från Swedavia. Ett koncept innehåller valet av alg, odlingsystem, algbiomassaproduktion, skördningsmetod, urvattningsmetod, extraktionsmetod samt vilken eller vilka restprodukter som erhålls. Det första konceptet, Koncept cirkulationspool, och det andra konceptet, Koncept hybrid, behandlar och analyserar olika typer av dagens odlingsystem och dess påverkan på produktivitet och övriga processer i anläggningen. När jämförelsen mellan dessa koncept utvärderas är det främst produktionsanläggningens storlek och kapacitet som verifieras. I det tredje konceptet, Koncept framtid, utvärderas ett framtidsscenario. Detta koncept innefattar även processer som i dagsläget inte är framtagna i industriskala men kommer med fördel användas om detta blev möjligt. Tillsammans med samtliga koncept kommer en livscykelanalys och en ekonomisk analys utföras för att kunna jämföra parametrar och resultat. En känslighetsanalys görs sedan för att påvisa viktiga parametrars inverkan på resultatet.

7.2.1. Val av koncept

För att illustrera de val som görs i koncepten, med bakgrund från teoriavsnitt kapitel 6, presenteras de olika koncepten i form av färgkodning i den morfologiska matrisen i Tabell 7-3. I matrisen syftar färgerna på olika koncept, blå är Koncept cirkulationspool, gul är Koncept hybrid och grön är Koncept framtid. Prickarna i rött och lila syftar på olika lokaliseringar, Libyen respektive Göteborg.

Tabell 7-3. En morfologisk matris med olika val för de olika processerna för framställningen av flygbränsle. Färgkodningen går enligt; Koncept cirkulationspool - Blå, Koncept hybrid - Gul,, Koncept framtid - Grön. Lokalisering enligt; Libyen - Rött, Göteborg - Lila.

Delprocess	Olika typer					Framtid
Alg	Chlorella Vulgaris	Dunaniella salina	Nannoc hlorops is salina	Spiruli- na	Botryococ- cus Braunii	Framtids- alg
Odlings- system	Öppen damm	Rörformad reaktor	Plattformad reaktor		Hybrid- system	
Skördning (flockning)	Kemisk flockning	Autoflockning	Bioflockning		Elektrolytis k flockning	Single Step extraction
Skördning	Gravitations sedimentering	Flotation	Filtrering		Centrifugeri ng	Enstegs- extraktion
Urvattning	Soltorkning	Frystorkning	Spraytorkning		Trumtorkni ng	
Extraktion (mekanisk)	Pressning	Malning	Kavitation		PEF (Pulsed Electric field)	
Extraktion (kemisk)	Lösningsmedel	Superkritiska vätskeextraktion	Enzymer			
Förädling	Görs i ett raffinaderi och är ej del av koncepten					
Restprodukt	Biogas	Högvärdiga produkter				

Generella antaganden för koncepten

I koncepten kommer antaganden att göras, men dessa är dock baserade på data från existerande anläggningar och processer. En förenkling i koncepten är att värmevärdet för algoljan och fossila oljan är lika stort. I verkligheten har algoljan ett värmevärde på cirka 32,6 MJ/kg och den fossila oljan har ett värmevärde på cirka 35 MJ/kg [66]. Anläggningen i Libyen kommer vara aktiv hela året, medan anläggningen i Göteborg kommer vara stängd under november, december och januari på grund av för få antal soltimmar för ett autotroft system. I koncepten antas en verkningsgrad på hundra procent, alltså inget spill av alger och olja i processerna skördning och extraktion.

Odlingen antas få koldioxid från närliggande industri och i Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid är detta från samma industri som tar hand om återstående biomassa och röta den till biogas. Denna industri antas ha stora intressen att sänka sitt koldioxidutsläpp vilket gör att industrin står för rening och kylning av koldioxiden och transporten via rörsystem till anläggningen. Det antas att en koldioxidhalt på 20 % tillförs. Fosfor, kväve och övriga mineraler tas från avfallsvatten från ett reningsverk. Reningsverket gör en mekanisk rening av vattnet innan vattnet kommer till anläggningen och antas stå för produktion och kostnader av rörsystem till vår odling. Beräkningar visar att kvävetillskottet utifrån rekommenderade värden [67] blir tillgodosett med ett överskott på 13 %, men att fosforbehovet endast är tillgodosett till 75 %. Att algerna tillförs mindre fosfor än rekommenderat kan dock anses som en fördel då forskning har visat att algerna med en mindre fosfor och kvävetillförsel får en högre lipidhalt [36]. Beräkningar på avfallsvatten, fosfor och kvävebehovet i anläggningarna ses i Bilaga D. Det tillämpas ett återflöde av vatten in i systemet för att utnyttja mineralerna i avfallsvattnet maximalt. Spillvärme från närliggande industri samt den egna produktionen utnyttjas som värmetillförsel i anläggningar.

7.3. Koncept cirkulationspool

Val av alg

I odlingen valdes algen *Chlorella vulgaris* eftersom detta är en alg som är lättodlad och väl känd jämfört med andra arter som även visat sig lämpliga vid produktion av bioolja. *Chlorella vulgaris* är den alg som publicerats i flertalet av de forskningsartiklar om produktion av flygbränsle som denna rapport baseras på vilket gör att antaganden om dess tillväxt och näringsbehov kan styrkas och är relativt beprövade. Denna alg kan växa mixotroft, men den kommer endast att odlas i ett autotroft system. En annan fördel med *Chlorella vulgaris* är att den lätt kan anpassa sig till en odling på avfallsvatten och eftersom den är dominant i förhållande till andra alger fungerar den bra i öppna odlingssystem. *Chlorella vulgaris* är även temperaturtålig och har en optimal temperatur för tillväxt på 25°C men kan även växa vid temperaturer ner till 6°C vilket passar i det svenska klimatet. Dess lipidinnehåll är 30 % av biomassan vid en koldioxidhalt på 20 %.

Odlingssystem

I detta koncept används ett halvtäckt system med cirkulationspooler i plast som täcks av ett plasthölje, illustrerade i anläggningen i Figur 7-2A. Valet av detta odlingssystem beror på att cirkulationspooler är ett enkelt odlingssystem som kräver få materialkomponenter. I en cirkulationspool som saknar detta plasthölje och är öppet mot omgivningen finns det stor risk för att kontamination och klimatet kan påverka odlingen negativt. På grund av detta valdes att sätta ett plasthölje över odlingen för att minska dessa risker. Cirkulationspoolerna antas ha en yta på 1000 m² och ett djup på 0.2 meter, vilket genererar en volym på 200 m³. Tillförsel av avfallsvatten, som finns tillgängligt i uppehållstankar, sker med hjälp av pumpar som är kopplade till dessa. Omrörning sker via en paddel med fyra blad där varje blad är 5 meter långa och som drivs med elektricitet. Odlingen sker kontinuerligt, där algerna förs genom poolen i långsam takt och skördas efter att de har inkuberats i odlingen i 13 dagar och befinner sig i slutet av i poolen. Cirkulationspoolerna har ett rörsystem som algerna transporteras genom till skördningsprocessen. Det antas behöva 20 meter rör per cirkulationspool för dessa rörsystem.

Produktion av algiomassa

Chlorella vulgaris har ett förbränningsentalpivärde på 0.0262 MJ/g torrmasa, efter uträkningar med hjälp av Roels korrelation [68]. Den fotosyntetiska effekten för ett öppet system har värdet 1.5 % men eftersom ett halvstängt system används antas denna effekt ökas till 2.0 %.[69] I Göteborg respektive Libyen är algiomassproduktionen beräknat utifrån ett system av halvstängda cirkulationspooler, se Tabell 7-4.

Tabell 7-4. Värderna för uträkning av den areala produktionen i Göteborg respektive Libyen för ett system av halvstängda cirkulationspooler. Produktionen i Göteborg är under 9 månader och i Libyen under 12 månader. Antalet system per hektar beror på odlingens storlek samt avståndet mellan olika enheter. Torrsubstans förkortas i tabellen TS.

Lokalisering av anläggning	Göteborg – Sverige, Latitud 58, Longitud 12	Tripoli – Libyen, Latitud 33, Longitud 13
Förbränningsentalpi, h (MJ/g TS)	0,0262	0,0262
Areala produktionen, Pa (ton TS/hektar·år)	26,3	55,1
Fotosyntetisk effektivitet, PE (%)	2,0	2,0
Antal system per hektar	7,6	7,6
Global bestrålning, I (MJ/m ² /dag)	Data från Tabell 7-1	Data från Tabell 7-2
Verkliga areala produktionen (ton TS/hektar·år)	20,0	42,0

Skördningsprocess

Skördeningen sker i ett första steg genom kemisk flockning med hjälp av polymerer följt av gravitationssedimentering. I konceptet väljs chitosan som polymer, då det är ett alternativ som enligt framtagna teori verkar vara mer fördelaktigt i produktion av biobränsle från alger än andra kemiska tillsatser.

Odlingen sker kontinuerligt och varje dag tas 10 % ,vilket innebär 20 m³, ut av volymen vatten ur cirkulationspoolerna, . Genom pumpar kommer blandningen av vatten och alger föras till skördningstankar se Figur 7-2B. Skördningstankarna är 100 m³ och fylls med chitosan från en separat chitosantank för att utföra skördningen. Det behövs 0.1 g chitosan per 1 liter algmedium. Chitosanet återvinns kontinuerligt, men det räknas med ett spill på 2.5 % i processen. Dessa data genererar att 10 cirkulationspooler kan kopplas till två skördningstankar.

Urvattningsprocess

Urvattningen sker i Sverige via spraytorkning med luft och i Libyen via soltorkning. Normalt används centrifugering som en mekanisk urvattning innan termisk urvattning sker. Då valda urvattningsmetoder använder antingen värme från sol eller spillvärme som antas förses till odlingen gratis och som inte påverkar miljön, uteslöts centrifugeringssteget.

Vid spraytorkning krävs värme för att luften ska bli tillräckligt het för att kunna torka algerna. Denna värme kommer från spillvärme och förs in till en uppvärmningstank som är ansluten till skördningstanken via rörsystem. Spraytorkningen av algerna sker kontinuerligt. När urvattningen är klar fortsätter algerna till extraktionstanken via rörsystem, se Figur 7-2Ca.

För soltorkningen krävs en stor yta och arbetskraft som förflyttar algerna från skördningstanken ut till torkningsytan och efter torkningen till extraktionstanken. Soltorkningen kommer ske på en yta av PVC-plast, se Figur 7-2Cb.

Extraktionsprocess

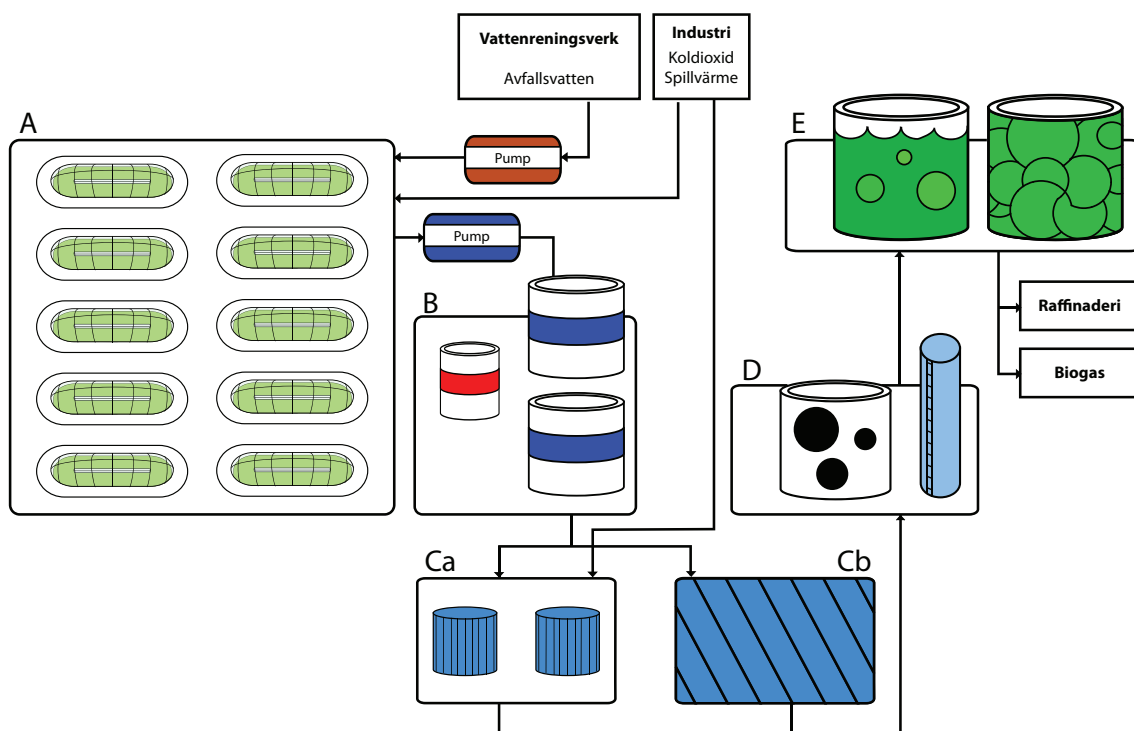
Extraktionen sker med hexan, där det krävs lika mycket hexan som alger för att extraktionen ska kunna ske. Hexanet återanvänds kontinuerligt i processen, men ett spill på 2.5% antas. Lipiderna behöver renas från hexanet efter extraktionen och detta görs i en destillationskolonn. Extraktionen kommer liksom skördningen ske i tankar med en volym på 100 m³. I extraktionstankarna kommer endast torr biomassa blandas med hexanet. En extraktionstank antas klara en sats per dag, vilket innebär att en extraktionstank har en kapacitet på 18 250 m³ biomassa per år. Den årliga produktionen divideras med kapaciteten, vilket ger en siffra på hur många extraktionstankar som behövs per anläggning. Resultatet ger cirka 200 extraktionstankar.

Destillationskolonnerna har en volym på 100 m³, men det krävs cirka 50 % färre destillationskolonner än extraktionstankar, eftersom det endast är lipider och hexan i dessa. Uppehållstankarna har en volym på 500 m³. Det kommer även finnas uppehållstankar för den återstående biomassan med samma storlek. Oljan transporteras vidare till ett raffinaderi en gång per vecka, se Figur 7-2D

Användning av restprodukter

När produktionsprocessen är klar förväntas en mängd torr biomassa kunna utnyttjas som restprodukt. Då högvärdiga produkter inte är ett alternativ eftersom hexan har använts och finns kvar i torrmassan säljs denna vidare till rötning och produktion av biogas.

En anläggningsbeskrivning visar produktionsflödet från odling till restprodukter och råolja, se Figur 7-2.



Figur 7-2. Anläggning i Koncept cirkulationspool för Göteborg och Libyen. Avfallsvatten, koldioxid och spillvärme fås från industri och reningsverk där de tillsätts i (A) odlingsystemet, dessa är cirkulationspooler med plastöverdrag. Alglösning pumpas kontinuerligt till (B) skördningssystemet som består utav skördningstankar (blå) där chitosan (röd) tillsätts. Den blöta biomassan urvattnas med (Ca) spraytorkningstankar i Göteborg, där spillvärme tillförs, torkad biomassa förs sedan genom rör till nästa steg. I Libyen torkas denna genom salttorkning och förflyttas med arbetskraft till nästa steg. I detta steg (D) extraktionstankar, utförs extraktionen. Därefter förs utvunnen olja till en destillationskolonn där separering av hexan sker. Den renade algoljan och den återstående biomassan förs sedan till (E) där de förvaras i uppehållstankar tills transport till raffinaderi och biogasanläggning sker.

Varje anläggning består av flertalet produktionsenheter och inventarier, se Tabell 7-5. Likaså åtgår det stora resurser, dessa visas i Tabell 7-6.

Tabell 7-5. En inventarietabell över storleken och antalet tankar och pumpar i Koncept cirkulationspool för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Storleken för samtliga inventarier antas vara samma i respektive anläggning men antalet skiljer sig mellan regionerna.

Inventarier	Storlek (m ³)	Göteborg (st)	Libyen (st)
Cirkulationspooler	200	1354084	645719
Skördningstankar	100	541634	258288
Lufttorkningstankar	10	270817	0
Extraktionstankar	100	195	195
Destillationstorn	100	97	97
Uppehållstankar råolja	500	41	41
Uppehållstankar resterande biomassa	500	96	96
Totalt antal pumpar	-	90272	43048

Tabell 7-6. En resursanvändningstabell över ytor samt förbrukningen av elektricitet, chitosan och hexan i Koncept cirkulationspool för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Varje resursmängd skiljer sig åt i de två anläggningarna då val av metod samt antal inventarier påverkar detta.

Resurs	Göteborg	Libyen
Mark	1777 km ²	848 km ²
Yta till soltorkning	0 km ²	424 km ²
Elektricitet	4,93*10 ¹⁰ MJ	2,58*10 ¹⁰ MJ
Chitosan	271 ton	129 ton
Hexan	643 ton	643 ton

7.4. Koncept hybrid

Koncept hybrid är upplagt på samma sätt som Koncept cirkulationspool med avseende på val av alg, skördning, urvattning och extraktion och försäljning av restprodukter. Odlingssystemet har dock ändrats för att försöka effektivisera produktionen av alger och på så sätt få ner produktionsytan. Istället för att använda cirkulationspooler som i Koncept cirkulationspool används ett hybridssystem, där odling startar i en rörformad bioreaktor. I denna odlas alger under en dag, följt av att dessa transporteras till cirkulationspooler där de inkuberas. Cirkulationspoolerna har en yta på 418 m² och ett djup på 0.12 m vilket ger en volym på 50 m³ per pool. De rörformade bioreaktorerna består av genomskinliga plaströr som recirkulerar algmediet och har en sammanlagd volym på 25 m³. Recirkulationen i plaströren gör att dessa värms upp och därmed behöver kylas ner. Till varje rörformad bioreaktor används därför en bassäng fylld med kallt vatten för nedkylning .

En rörformad bioreaktor kommer att kopplas via rörsystem till två cirkulationspooler, se Figur 7-3A. I varje pool placeras en startodling från den rörformade bioreaktorn. Storleken på startodlingen beror på produktionen under en dag i den rörformade bioreaktorn. Därefter har varje cirkulationspool en inkubationstid på 1.5 dagar. Vid skördning töms hela bassängen och pumpas till skördningsanläggningen, vilket gör att hybridodlingen kan ses som en batchodling. Efter skördning sker en tvättning av poolen under 0.5 dagar .

Hela odlingsförloppet av odlingen i cirkulationspoolerna sker under två dagar. En rörformad bioreaktor kan därmed inkubera två cirkulationspooler med en dags mellanrum för att en skördning ska kunna ske per dag.

Produktion av algbiomassa

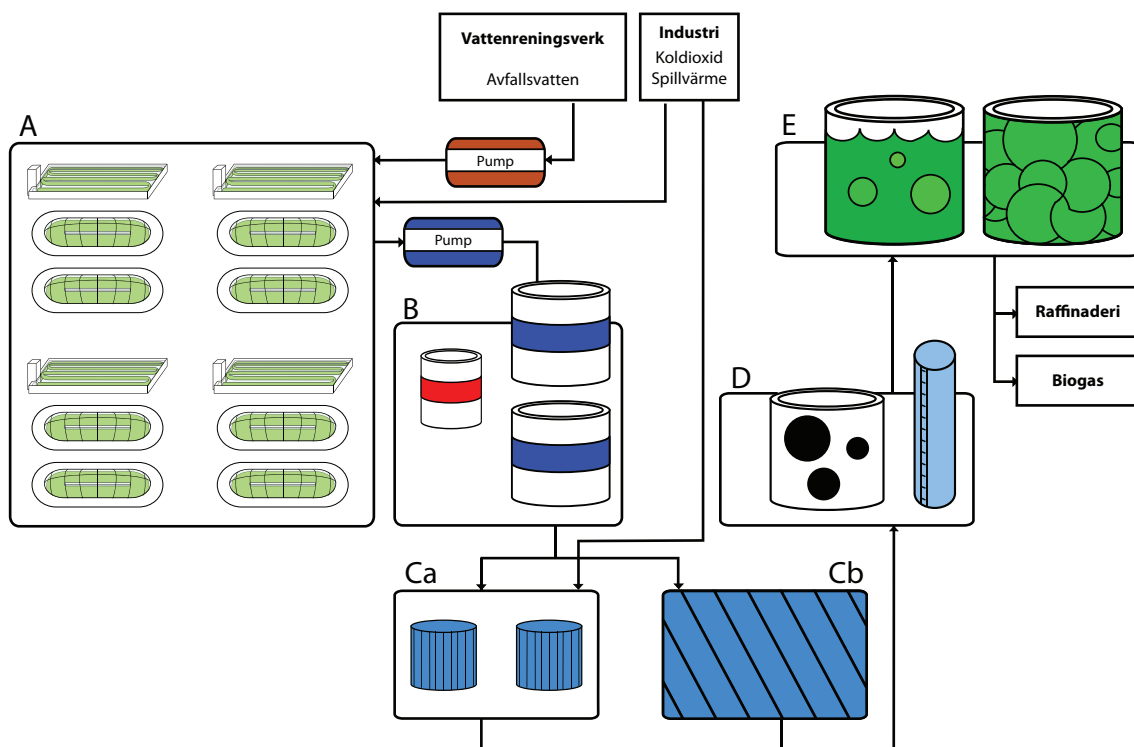
Chlorella vulgaris har förbränningsentalpivärdet 0.0262 MJ/ g torrmasa, efter uträkningar med hjälp av Roels metod [5]. Från litteraturvärden på ett hybridssystem ges värden på fotosyntetiska effekten, 3.0 % i rörformade fotobioreaktorer och 4.4 % i cirkulationspoolerna [55]. Då cirkulationspoolerna är täckta av ett växthus liksom i Koncept cirkulationspool antas den totala fotosyntetiska effekten i hybridssystemet vara 4.7 %. Det höga fotosyntetiska värdet antas bero på startkulturen från fotobioreaktorn. Då produktionen beräknas per system av en rörformad fotobioreaktor och två öppna dammar kan inte den areala produktionen beräknas utan endast den verkliga areala produktionen, se Tabell 7-7.

Tabell 7-7. Värden för uträkning av den areala produktionen i Göteborg respektive Libyen för ett hybrid-system. Produktionen i Göteborg är under 9 månader och i Libyen under 12 månader. Antalet system per hektar beror på odlingens storlek samt avståndet mellan olika enheter. På grund av vald metod för uträkning av produktion biomassa går det inte att visa ett värde för den areala produktionen utan att visa hänsyn till systemets utformning. Torrsubstans förkortas i tabellen TS.

Lokalisering av anläggning	Göteborg – Sverige, Latitud 58, Longitud 12	Tripoli – Libyen, Latitud 33, Longitud 13
Förbränningsentalpi, h (MJ/g TS)	0,0262	0,0262
Areala produktionen, Pa (ton TS/hektar·år)	-	-
Fotosyntetisk effektivitet Rörformad reaktor PE (%)	3,0	3,0
Fotosyntetisk effektivitet Cirkulationpool PE (%)	4,7	4,7
Antal system per hektar	7,6	7,6
Global bestrålning, I (MJ/m ² /dag)	Data från Tabell 7-1	Data från Tabell 7-2
Verkliga areala produktionen (ton TS/hektar·år)	35,1	73,6

Skördningstankarna har volymen 100 m³ och eftersom volymen algmedium som skördas per dammsystem per dag är 50 m³ behövs en skördningstank per två cirkulationspooler. Detta leder till att antalet skördningstankar ökar. I Göteborgsanläggningen ökar därmed också antalet tankar till spraytorkning. Storleken och även antalet tankar avsedda för urvattning, extraktion, destillation och uppehåll kommer vara samma som i Koncept cirkulationspool. Även rörsystemets storlek antas vara den samma som i Koncept cirkulationspool. Antalet pumpar i Koncept hybrid ökas jämfört med Koncept cirkulationspool eftersom det inte bara krävs pumpar för utpumpning av avfallsvatten och pumpning av algmedium till skördningstank utan även pumpar för recirkulation i fotobioreaktorerna samt av vatten i nedkylningsbassängen.

Hur en anläggning ser ut för Koncept hybrid i Göteborg och i Libyen illustreras i Figur 7-3.



Figur 7-3. Anläggning i Koncept hybrid för Göteborg och Libyen. Avfallsvatten, koldioxid och spillvärme fås från industri och reningsverk där de tillsätts i (A) odlingsystemet, vilket består i ett första odlingssteg av rörformade fotobioreaktorer och i ett andra odlingssteg av cirkulationspooler. Alglösning pumpas batchvis till (B) skördningssystemet som består utav skördningstankar (blå) där chitosan (röd) tillsätts. Den blöta biomassan urvattnas med (Ca) spraytorkningstankar i Göteborg, där spillvärme tillförs, torkad biomassa förs sedan genom rör till nästa steg. I Libyen torkas denna genom salttorkning och förflyttas med arbetskraft till nästa steg. I detta steg (D) extraktionstankar, utförs extraktionen. Därefter förs utvunnen olja till destillationskolonn där separering av hexan sker. Den renade algoljan och den återstående biomassan förs sedan till (E) där de förvaras i uppehållstankar tills transport till raffinaderi och biogasanläggning sker.

Anläggningarnas inventarieförbrukning och övrig resursförbrukning för respektive lokalisering ses i Tabell 7-8 och Tabell 7-9.

Tabell 7-8. En inventarietabell för Koncept hybrid för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Storleken för samtliga inventarier antas vara samma i respektive anläggning men antalet skiljer sig mellan regionerna.,

Inventarier	Storlek (m³)	Antal Göteborg	Antal Libyen
Bioreaktorer	25	772680	368466
Cirkulationspooler	50	1545360	736932
Nedkylningspool	57,4	772680	368466
Skördningstankar	100	772680	364866
Lufttorkningstankar	10	386340	0
Extraktionstankar	100	195	195
Destillationstorn	100	97	97
Uppehållstankar råolja	500	41	41
Uppehållstankar resterande biomassa	500	41	41
Totalt antal pumpar	-	348596	166234

Tabell 7-9. En resursanvändningstabell över ytor samt förbrukningen av elektricitet i Koncept hybrid för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Varje resursmängd skiljer sig åt i de två anläggningarna då val av metod samt antal inventarier påverkar detta.

Resurs	Storlek Göteborg	Storlek Libyen
Mark	1013 km ²	483 km ²
Yta till soltorkning	0 km ²	241,5 km ²
Elektricitet	2,64*10 ¹¹ MJ	3,37*10 ¹¹ MJ
Chitosan	386 ton	184 ton
Hexan	643 ton	643 ton

7.5. Koncept framtid

Koncept framtid är ett framtidskoncept eftersom det i dagsläget endast är teoretiskt möjligt att utforma en produktionsanläggning likt denna och det existerar ingen i industriskala idag. I detta koncept kommer en annan alg än *Chlorella vulgaris* att användas. Målet är att det i framtiden ska kunna hittas en alg liknande *Botryococcus braunii* men som har bättre odlingsegenskaper än vad denna alg har idag. Fördelen med en liknande alg är att lipidkoncentrationen kan höjas från 30 % till 70 %. Detta gör att processen genererar mer råolja och att massan alger som behövs för att generera samma volym flygbränsle minskar. Eftersom producerad mängd alger minskar kommer även mängden förbrukad koldioxid, fosfor, kväve och avfallsvatten att minskas. Detta medför en minskad energiåtgång samt en mindre yta för hela anläggningen. Som odlingssystem används samma cirkulationssystem som i Koncept cirkulationspool, se Figur 7-4.

Algbiomassaproduktionen

Algen som används i Koncept framtid har ett högre lipidinnehåll än *Chlorella vulgaris*, men förbränningsentalpin är fortfarande beräknad utefter denna och är samma som i Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid. Uträkningarna för biomassaproduktion för Koncept framtid är samma som i Koncept cirkulationspool, på grund av att samma odlingssystem har valts, se Tabell 7-10.

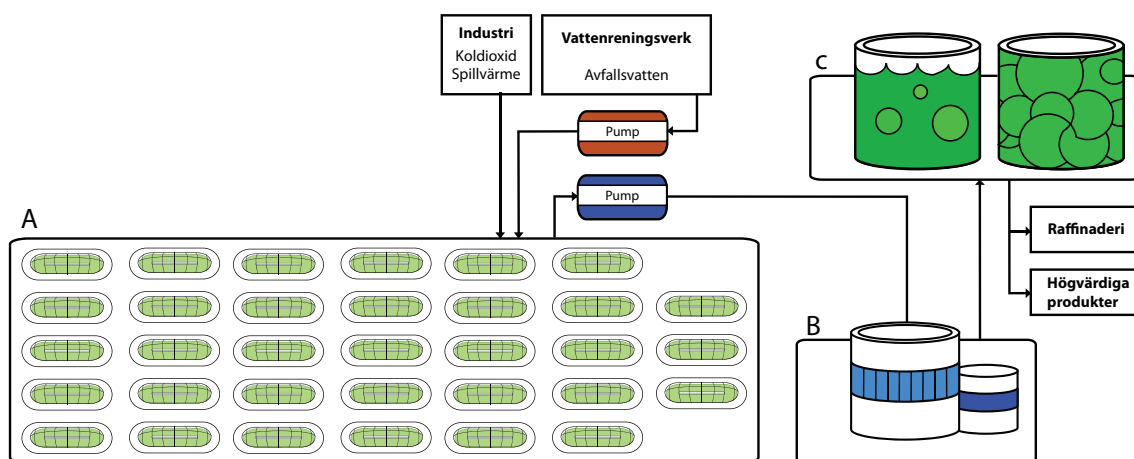
Tabell 7-10. Värderna för uträkning av den areala produktionen i Göteborg respektive Libyen för ett system med halvstängda cirkulationspooler. Produktionen i Göteborg är under 9 månader och i Libyen under 12 månader. Antalet system per hektar beror på odlingens storlek samt avståndet mellan olika enheter. Torrsubstans förkortas i tabellen TS.

Lokalisering av anläggning	Göteborg – Sverige, Latitud 58, Longitud 12	Tripoli – Libyen, Latitud 33, Longitud 13
Förbränningsentalpi, h (MJ/g TS)	0,0262	0,0262
Areala produktionen, Pa (ton TS/hektar-år)	26,3	55,1
Fotosyntetisk effektivitet, PE (%)	2,0	2,0
Antal system per hektar	7,6	7,6
Global bestrålning, I (MJ/m ² /dag)	Data från Tabell 7-1	Data från Tabell 7-2
Verkliga areala produktionen (ton TS/hektar-år)	20,0	42,0

Processerna för skördning, urvattning och extraktion i Koncept framtid byts ut mot Single Step Extraction, se Figur 7-4. En användning av Single Step Extraktion kan sänka materialåtgången betydligt då processerna för samtliga delprocesser istället utförs i en tank. Anläggningen antas inte ha något behov av destillationstorn, eftersom oljan som läggs på vattenytan vid Single Step extraction endast innehåller olja och inte är uppblandat med något lösningsmedel. Cirkulationspoolerna antas vara kopplade till fyra stycken 50 m³ Single Step Extractions-tankar som i sin tur är kopplade till uppehållstankar. Uppehållstankarna för råoljan och för resterande biomassan kommer ha samma volym och antal som i Koncept cirkulationspool.

Fördelen med detta koncept är att den resterande biomassans olika komponenter inte förstörs i skördnings- och extraktionsstegen. Detta gör att mer högvärdiga produkter i form av proteiner och kolhydrater kan utvinnas. En separering av dessa delar kommer inte att ske, utan hela biomassan säljs vidare som innan. Värdet på biomassa har dock ökat betydligt, jämfört de andra koncepten.

Hur en anläggning ser ut för Koncept framtid är illustrerat i Figur 7-4. Då båda lokaliseringsarna använder samma system för att behandla biomassan.



Figur 7-4. Anläggning i Göteborg och i Libyen för Koncept framtid . Avfallsvatten, koldioxid och spillvärme fås från industri och reningsverk där de tillsätts i (A) odlingsystemet, dessa är cirkulationspooler med plastöverdrag. Algslösning pumpas kontinuerligt till (B) Single Step extraction tankarna där extraktionen sker direkt av odlingsmediet. Algoljan och återstående biomassa förs sedan till (C) där de förvaras i uppehållstankar tills transport till raffinaderi och biogasanläggning sker.

Anläggningarnas inventarieförbrukning och övrig resursförbrukning ses i Tabell 7-11 och Tabell 7-12.

Tabell 7-11. En inventarietabell över storleken och antalet tankar och pumpar i Koncept framtid för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Storleken för samtliga inventarier antas vara samma i respektive anläggning men antalet skiljer sig mellan regionerna. Eftersom Single-Step-Extraction används i detta koncept elimineras övriga tankar för skördning, utvattning och extraktion.

Inventarier	Storlek (m³)	Antal Göteborg	Antal Libyen
Cirkulationspooler	200	580322	276737
Single Step Extraktion-tankar	50	17586	8386
Uppehållstankar råolja	500	41	41
Uppehållstankar resterande biomassa	500	18	18
Totalt antal pumpar	-	38688	18449

Tabell 7-12. En resursanvändningstabell över ytor samt förbrukningen av elektricitet i Koncept framtid för både anläggningen i Göteborg och i Libyen. Varje resursmängd skiljer sig åt i de två anläggningarna då val av metod samt antal inventarier påverkar detta. Eftersom Single-Step-Extraction används i detta koncept elimineras ytan för torkning.

Resurs	Storlek Göteborg	Storlek Libyen
Mark	762 km ²	363 km ²
Elektricitet	3,98*10 ¹⁰ MJ	2,49*10 ¹⁰ MJ

7.6. Livscykelanalys

I livscykelanalys delas de olika produkterna som krävs i produktionen av flygbränsle in i tre kategorier som är positiv miljöpåverkan, neutral miljöpåverkan och negativ miljöpåverkan. Den neutrala och positiva miljöpåverkan kommer identifieras och den negativa miljöpåverkan kommer att studeras mer ingående i koncepten. I livscykelanalysen antas anläggningen ha en livslängd på 20 år, då stålet och plasten i anläggningen antas ha en livslängd på 20 år.

Livscykelanalysen för varje koncept kommer att presenteras med hjälp av tabeller som visar den relativa negativa miljöpåverkan i procentsatser mellan de komponenter i framställning som bidrar till den negativa miljöpåverkan. Efter varje koncept har analyserats kommer ett stapeldiagram som visar en jämförelse mellan anläggningarnas totala miljöpåverkan i koncepten och mellan koncepten presenteras.

Viktigt att känna till vid läsning av studien är att fosfor, kväve, koldioxid, avfallsvattenkonsumtionen är lika stor för anläggningen i Göteborg och i Libyen för Koncept cirkulationspool och Koncept Hybrid. Konsumtionen av dessa ämnen sjunker i Koncept Framtid, men avfallskonsumtionen är lika stor i anläggningen i Göteborg och i anläggningen i Libyen även här. Beräkningar för användning av dessa ämnen ses i Bilaga C. Fullständig LCA med beräkningar för alla koncept ses i Bilaga G. I livscykelanalysen kommer endast en tolkning utav siffrorna att tas fram.

7.6.1. Den positiva miljöpåverkan

Under den positiva miljöpåverkan kategoriseras processer i framställningen som gynnar miljön. Eftersom koldioxidkällan för algerna i koncepten är industriella utsläpp ses det som en miljömässig vinst att utsläppen tas om hand av algerna istället för att släppas ut i naturen och framförallt bidra till den globala uppvärmningen. Denna koldioxiduppfångning i kombination med att all el används från kärnkraft gör att alla anläggningarna i alla koncept blir koldioxidneutrala. Även återvinningen av den återstående biomassan till produktion av biogas i koncept cirkulationspool och koncept hybrid ger även det en positiv miljöpåverkan då den fosforrika biomassan inte släpps ut i naturen och bidrar till övergödning. För koncept framtid ger användningen av biomassan till högvärdiga produkter en positiv miljöpåverkan. Den positiva miljöpåverkan väger till viss del upp den negativa miljöpåverkan i koncepten.

7.6.2. Den neutrala miljöpåverkan

En neutral miljöpåverkan är ett ämne som varken gynnar eller skadar miljön. Fosforen och kvävet som utvinns från avfallsvatten från ett vattenreningsverk anses i konceptet varken ha positiv eller negativ påverkan. Näringsämnena hade utvunnits i form av ett slam från reningsprocesser i vattenreningsverken och används som gödningsmedel för åkrar om de inte tagits hand om i algodlingen. Övriga tillsatser i processen som hamnar i den neutrala kategorin är alger, chitosan och värme. Alger är ett biologiskt material och chitosan är ett biodegraderbart ämne som inte ger någon negativ miljöpåverkan. I samtliga framtagna koncept i avsnitt 7.2 antas all värme tas från spillvärme från närliggande industrier. Detta gör att det i anläggningen inte krävs någon energi för att bidra med värme, en energi som annars hade gett anläggningen en negativ miljöpåverkan.

7.6.3. Den negativa miljöpåverkan

En negativ miljöpåverkan är en parameter i koncepten som bidrar till att skada miljön. En av parametrarna som utgör den negativa miljöpåverkan i framställningen av olja från alger är materialet till tankarna, det vill säga det rostfria stålet. Beräkningar på negativ miljöpåverkan för rostfritt stål har gjorts med avseende på resursanvändning av krom, nickel, molybden och järn. Vid beräkningar av viktningssdata har procenthalterna av respektive ämne i rostfritt stål uppskattats till: 12 % krom, 7 % nickel, 2 % molybden och 79 % järn. Beräkning av viktningssdata för rostfritt stål ses i Bilaga D.

Avfallsvattnet som används som vatten-, kväve- och fosforkälla under odlingen anses inte vara en oändlig råvara. Ett utnyttjande av rent vatten skulle däremot orsaka en tio gånger större miljöpåverkan än en användning av avfallsvatten på grund av att avfallsvatten kräver mindre behandling.

Hexan som används som lösningsmedel i skördningsprocessen återanvänds kontinuerligt, detta för att sänka kostnaderna och minska miljöpåverkan. I processen räknas det ändå med ett spill på 2.5 % hexan. Den miljöpåverkan som kommer från hexan innefattar att det är lättflyktigt organiskt ämne och deltar i den fotokemiska reaktionen som bildar smog, som är i sig själv och i reaktion med andra ämnen, en växthusgas. Hexan kan även delta i formationen av marknära ozon.[70]

Vid produktion av PVC-plast sker utsläpp av saltsyra, kvicksilver, ammoniak, kolmonoxid, koldioxid och NO_x -gaser. [71] Saltsyra orsakar framförallt försurning liksom ammoniak som även deltar i övergödningen. Kviksilver är ett ämne som är hälsoskadligt för både människor och djur. Koldioxid och kolmonoxid leder till en ökad global uppvärmning som i sin tur leder till ett antal negativa följd effekter, så som minskad biodiversitet. Kolmonoxid har även hälsoskadliga effekter. En användning av NO_x -gaser leder framförallt till en ökad försurning och övergödning, men har även ett flertal negativa effekter som fotooxidantbildning och i förlängning global uppvärmning.[70] Beräkningar för viktningssdata för PVC ses i Bilaga D.

Elektriciteten i koncepten antas komma från kärnkraft, därmed är viktningssdata beräknat på resursanvändning av uran. Markanvändningen som krävs för produktionen ger mindre utrymme för djur och natur och anses därför ge en minskad biodiversitet. I konceptet räknas det på användning av icke-odlingsbar mark, så fort odlingsbar mark måste användas kommer miljöpåverkan på markanvändningen öka med ungefär en faktor tre gånger nuvarande miljöpåverkan för markanvändningen, detta på grund av att marken som används får en minskad kapacitet i jorden för odling av grödor. Det är möjligt att odlingsbar mark kan behöva användas i koncepten då arealerna som tagits fram är stora. I koncepten räknas det inte med detta. [70]

I Libyen anläggningarna tillkommer även en negativ miljöpåverkan från transporten av olja från alger via båt från Libyen till Göteborg. Den relativa negativa miljöpåverkan från de olika komponenterna som orsakar negativ miljöpåverkan under transporten observeras i Tabell 7-13. I tabellen ses att koldioxidutsläppen ger den klart största påverkan på miljön ur transportsynpunkt. Koldioxiden följs av påverkan från NO_x -gaser och SO_2 .

Koldioxidutsläppen har en stor inverkan på den globala uppvärmningen, men även bildning av marknära ozon liksom SO₂. Både SO₂ och NO_x bidrar till försurning av sjöar, NO_x bidrar även till övergödning. HC-gaserna som släpps ut i mindre mängder jämfört med koldioxid, NO_x och SO₂ bidrar dels till den globala uppvärmningen, men även till ozonuttunning. Partikelmassan(PM) och kolmonoxiden(CO) har främst hälsoskadliga effekter samt en globaluppvärmningspotential [70]. En beräkning av en viktningsfaktor för transporten ses i Bilaga D.

Tabell 7-13. Visar den relativa negativa miljöpåverkan i procentsatser mellan olika komponenter i utsläppen från transporter som ger negativ miljöpåverkan.

Kategori	Del i procent
CO ₂	95 %
NO _x	3 %
SO ₂	2 %
PM	0,13 %
HC	0,12 %
CO	0,05 %
Elektricitet	0,00016 %

7.6.4. Livscykelanalys för Koncept cirkulationspool

I en jämförelse mellan Libyen och Göteborg har Göteborgsanläggningen en faktor 1.24 gånger större miljöpåverkan än anläggningen i Libyen.

Tabell 7-14. Visar den relativa negativa miljöpåverkan i procentsatser för Koncept cirkulationspool för anläggningarna i Göteborg och Libyen.

Relativ negativ miljöpåverkan i Göteborg		Relativ negativ miljöpåverkan i Libyen	
Kategori	Procentsats	Kategori	Procentsats
Avfallsvatten	65,2 %	Avfallsvatten	81,0%
Stål	34,8 %	Stål	18,9 %
Plast	0,095 %	Plast	0,072 %
Elektricitet	0,022 %	Transport	0,021 %
Hexan	0,0050 %	Elektricitet	0,0142 %
Mark	0,00015%	Hexan	0,0063 %
		Mark	0,00013 %

Att alla andra effekter på miljön blir underordnade avfallsvattenkonsumtionen observeras i Tabell 7-14, som visar den relativa negativa miljöpåverkan hos de olika komponenterna i anläggningarna. Efter konsumtion av avfallsvatten så bidrar stål till tankar, paddlar och pumpar med den näst största negativa miljöpåverkan. Vid jämförelse av tabeller som visar den relativa negativa miljöpåverkan i Göteborg respektive Libyen observeras att den relativa negativa miljöpåverkan från avfallsvattnet är större i Libyenanläggningen i förhållande till stålet jämfört med Göteborgsanläggningen. Detta beror på att det används mindre stål i Libyenanläggningen på grund av anläggningens ökade produktivitet. Avfallsvatten konsumtionen i de båda anläggningarna är dock lika stor.

I båda anläggningarna observeras i tabeller att elektricitet får en underordnande betydelse relativt de övriga negativa miljöpåverkanskategorierna. I Libyenanläggningen observeras även att transporten får en underordnande betydelse i relation till material och vattenanvändning. Hexanets relativa negativa miljöpåverkan är också liten och marken står för den lägsta negativa miljöpåverkan.

7.6.5. Livscykelanalys för Koncept hybrid

Förhållandet mellan anläggningarna i Koncept Hybrid ger att Göteborgsanläggningen är 1.24 gånger miljöskadligare än Libyenanläggningen. Jämfört med Koncept Cirkulationspool blir anläggningen i Göteborg i Koncept hybrid ungefär lika miljöskadlig, det observeras endast en skillnad på 0.31 %. Denna skillnad visar att anläggningen i Koncept Cirkulationspool är marginellt mer miljövänlig än anläggningen i Koncept Hybrid i Göteborg. Även i Libyen är anläggningen i Koncept Cirkulationspool marginellt mer miljövänlig med en skillnad på 0.38 %. Den relativa negativa miljöpåverkan hos de olika komponenterna i anläggningarna observeras i Tabell 7-15.

Tabell 7-15. Visar den relativa miljöpåverkan i procentsatser för Koncept hybrid för anläggningarna i Göteborg och Libyen.

Relativ negativ miljöpåverkan i Göteborg.		Relativ negativ miljöpåverkan i Libyen.	
Kategori	Procentsats	Kategori	Procentsats
Avfallsvatten	65,0 %	Avfallsvatten	80,7 %
Stål	34,9 %	Stål	19,2 %
Plast	0,050 %	Plast	0,030 %
Elektricitet	0,0011 %	Elektricitet	0,0018 %
Hexan	0,0050 %	Transport	0,021 %
Mark	0,000085 %	Hexan	0,0062 %
		Mark	0,000075 %

7.6.6. Livscykelanalys för Koncept framtid

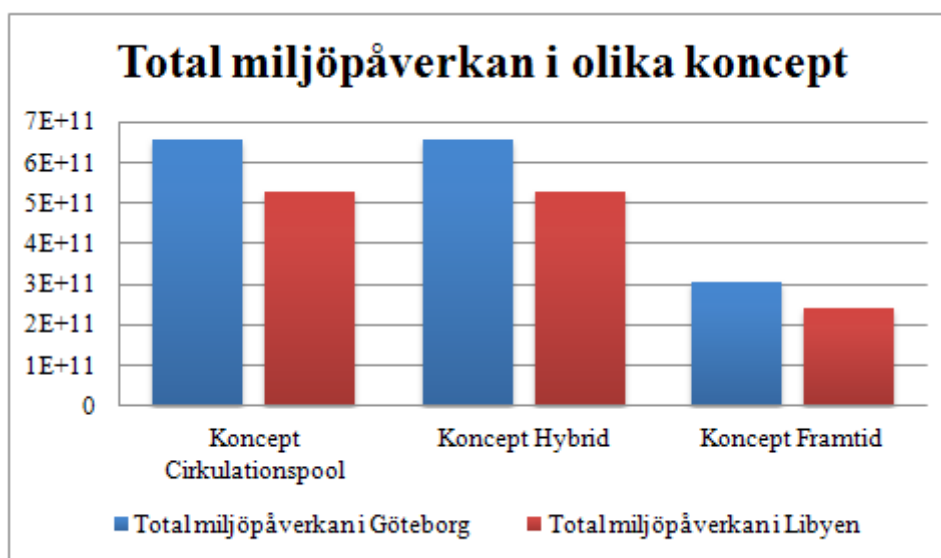
I Göteborg har anläggningen i Koncept Framtid 53.4 % mindre miljöpåverkan än anläggningen i Koncept Cirkulationspool. Samma procentsats i Libyen blir 54.3 %. Vid jämförelse mellan Göteborgs- och Libyenanläggningen i Koncept Framtid blir Göteborgsanläggningen 1.27 gånger miljöskadligare än anläggningen i Libyen. Den relativa negativa miljöpåverkan hos de olika komponenterna i anläggningarna observeras i Tabell 7-16.

Tabell 7-16. Visar den relativa miljöpåverkan i procentsatser för Koncept framtid för anläggningarna i Göteborg och Libyen.

Relativ negativ miljöpåverkan i Göteborg.		Relativ negativ miljöpåverkan i Libyen.	
Kategori	Procentsats	Kategori	Procentsats
Avfallsvatten	60,0 %	Avfallsvatten	75,9 %
Stål	39,9 %	Stål	24,1%
Plast	0,0017 %	Plast	0,053 %
Elektricitet	0,032 %	Transport	0,046 %
Mark	0,000137 %	Elektricitet	0,030 %
		Mark	0,000083 %

7.6.7. Jämförelse LCA i alla koncept

För att få en överblick på hur den totala miljöpåverkan ser ut mellan koncepten och mellan anläggningarna i koncepten presenteras i Figur 7-5 ett stapeldiagram som illustrerar detta.



Figur 7-5. Diagrammet visar förhållandet mellan den totala miljöpåverkan mellan anläggningarna i de olika koncepten samt mellan de olika koncepten.

7.7. Resultat Ekonomi

Kostnaderna för produktionsanläggningen för algoljan, som vidare ska förädlas till bland annat flygbränsle, har tagits fram på samma sätt för både Göteborg och Libyen. Beräkningarna är upprättade efter produktionsanläggningar med en förväntad produktionsmängd råolja vilket motsvarar Göteborgsflygindustris behov av 160 000 ton per år. Kostnaderna för koncepten är direkt kopplade till storleken på anläggningen, den rådande fotosyntetiska effektiviteten samt antalet av de olika komponenterna. Mängden komponenter är framtagna genom uppskalning från en ursprungsstorlek till aktuell storlek för anläggningen.

I detta kapitel beskrivs först vilka gemensamma antaganden som gjorts för koncepten. Därefter redovisas redogörelser för olika kostnadsposter samt hur stora dessa är för varje koncept. Sist i kapitlet redovisas för varje koncept de totala kostnaderna och resultat, samt samt en kostnad för algoljan. I Bilaga E kan mer utförliga beräkningar ses.

Vid framtagandet av den ekonomiska kalkylen har huvudsakligen två rapporter använts vilka är ”Microalgal production- a closer look at the economics” och ”Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics”. Kostnader och modeller formulerade med hjälp av dessa rapporter eller har tagits fram enligt deras beräkningar. Utöver dessa har specifika prisuppgifter tagits fram för varje ändamål. [69] [12] Nedan gjorda antaganden har inte sitt ursprung i använda huvudkällor.

7.7.1. Gemensamma antaganden för utförande av ekonomi

Antaganden gäller främst tillgången på avfallsvatten och koldioxid. Vi antar att omgivande industrier står för kostnader och distributionen av spillvärme samt koldioxid till algodlingen och att dessa industrier finns inom ett acceptabelt avstånd från anläggningen. Avfallsvattnet antas tillföras kontinuerligt på liknade sätt och det ska innehålla den mängd näringsämnen som odlingen kräver. Industrierna antas också ansvara för problem kring distributionen. I Göteborg antas köparen av algoljan och överbliven biomassa stå för frakten från produktionsanläggningen. För Libyen sker frakten av olja till Göteborg med ett oljefartyg som antas finnas tillgänglig och denna ingår i kostnaderna, däremot står köparen av överbliven biomassa för transportkostnader kring denna. Raffinering av oljan sköts av köparen och denna kommer inte utredas ekonomiskt. Området antas vara placerad i anslutning till samverkande industrier samt ett hamnområde. Produktionsanläggningarna kräver mycket energi till följd av dess stora omfattning och redovisade kostnader för elförbrukning berör endast konsumerad mängd kWh, inga andra omkostnader.

I kalkylen antas en livslängd på 20 år för varje konceptanläggning och en kapitalränta på 10 %. Dessa antaganden är uppskattningar gjorda med stöd från använda källor. Detsamma gäller avskrivningar på produktionssystem och material som görs med 5 % varje år. Under dess livslängd kommer varje enskilt år att se likadana ut vad gäller räntekostnader och avskrivningar, därför redovisas endast år 1 i framtagna kalkyler. Det förekommer inga amorteringar. Vidare är alla beräkningar gjorda med valutaomräkningar där 1 USD= 6.75 SEK och 1 €= 9.0 SEK, vilka är närmevärden för hela perioden januari till maj 2012.

7.7.2. Redogörelse för framtagande av kostnader

Uppdelningen av kostnadsposter så som mark, frakt, tull, odlingssystem, pumpar, tankar, "andra kostnader", kemikalier, el och löner, enligt följande metod är vald efter huvudkällors ekonomistruktur. Exakta kostnader för varje post samt totala kostnader finns i Tabell 7-18, Tabell 7-20 och Tabell 7-22 i nästa avsnitt.

Mark

Kostnaden för köp av mark i Göteborgsområdet är taget från genomsnittliga jordbrukspriser för Sveriges olika län. År 2010 var priset i Västra Götalands län 49600 kronor per hektar. Då anläggningen kräver stora kontinuerliga slättområden likt jordbruksmark har priset tagits fram för den typen av mark. Det finns dock inget krav på att marken ska vara bruklig likt jordbruksmark. Alternativ till jordbruksmark är industrimark, vilket enligt marknadspriser är dyrare. Området antas hypotetiskt vara placerat på Hisingen där flertalet industrier, som anläggningen beräknats samverka med finns. [72].

För Libyen är motsvarande mark billigare. Data är framtagna från Worldbank databank, men är ett medelpris för flera nordafrikanska länder. Det genomsnittliga priset som antagits är 6730 kronor per hektar. Det är svårt att säga hur tillförlitligt detta värde är då det saknas kunskap om markförhållanden i Libyen. [73]

Frakt

Inga kostnader är beräknade vad gäller transporter från anläggningen i Göteborg, då oljan förväntas hämtas på lämpligt sätt av köparen på Hisingområdet. Från Libyen kommer oljan att fraktas till Göteborgs hamn med Bro Atland, Broströms AB från produktionsanläggningens närmaste hamn. Fraktpriser för olja följer marknadsnivåerna och är därmed inte helt förutsägbara. Beräkningar från Bro Atland anger dock ett pris som antar att båten ligger vid Augusta, Sicilien och kan lasta 1500 m³ veg-olja med densitet 0.8 kg/m³ för 26-28 USD/m³. I kalkylen har 28 USD/m³ använts vilket resulterar i ett totalpris på 420 000 USD, cirka 28 miljoner kronor per last. I frakten är en lastning á 24 timmar och en lossning á 24 timmar inkluderade, samt farledsavgift in till Göteborg. Överskrids tiden för lastning och lossning tillkommer 15000-16000 USD/dag. Transporten mellan Libyen och Göteborg är uträknad till att ske 10.6 gånger per år. [74]

Tull

Vid import av olja till Sverige tillkommer en tullkostnad på 7.7 % av värdet för importen. Detta är kalkylerat för varje koncept för Libyen och är beräknad efter 2012 års literpris för olja som är cirka 4.4 kronor per liter. Innehar företaget som importerar oljan viss certifiering kan tullkostnaden minska, men då detta ej är utrett antas det högsta angivna värdet. [75]

Odlingssystem

Kostnaderna för odlingsanläggningarna skiljer sig åt mellan de tre koncepten samt mellan Göteborg och Libyen, eftersom kostnaderna är baserade på vad för inventarier och i vilken mängd som krävs i koncepten. Beräkningarna har gjorts med hjälp av huvudkällor och data har använts direkt men även förändrats utefter behov. Riktlinjer och hjälp har även tagits från [50], [76] och [77]. För både Göteborg och Libyen tillkommer kostnad för växthusplast som ska omsluta anläggningen. Till dessa används en PVC plast till ett pris av 34.79 kronor per m² [78].

Pumpar

Pumpkostnaderna är anpassade efter varje anläggningstyp, som nämnt i konceptbeskrivning i avsnitt 7.2. Kostnaderna för var pump beror av dess pumpkapacitet samt vilken hastighet den använder. För Koncept hybrid behövs fler pumpar till produktionsanläggningen än för de andra koncepten och kostnaderna är framtagna med hjälp av huvudkällor.

Tankar

Kostnader för tankar inkluderar tankar för skördning, urvattning, extraktion, destillation, kemikalier och uppehåll. När dimensioner av tankarna inte stämmer överens med framtagna konceptets dimensioner har uppskalning gjorts med en kostnad per m³. Samma beräkningar gäller för både Göteborg och Libyen. För Koncept framtid tillkommer utrustning för Singel Step Extraction, denna kostnad inkluderas i kostnader för tankar.

“Andra kostnader”

Till “andra kostnader” räknas underhåll av produktionsanläggning, installation, instrument och kontroll, byggnader samt rör för hela anläggningen. Dessa är beräknade med påläggsbaser som har tagits fram med hjälp av [69] och [12]. Påläggsbaserna från dessa källor har använts som riktlinjer och sedan anpassats efter vad som passar för valt koncept. För kostnaden av underhåll antogs påläggsbasen 3 %, för installation 15 %, instrument och kontroll 10 %, för byggnader 15 % och för rör 30 %. Procentsatserna multipliceras med huvudsakliga materialkostnader, för vardera anläggning, se hela kalkyl i Bilaga G. Metoden valdes eftersom dessa kostnader är proportionerliga med storleken på anläggningen vilken i sig ökar i kostnad per antal odlingsystem. Samma metod används för både Göteborg och Libyen i varje koncept.

Kemikalier

Till Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid krävs tillförsel av chitosan för flockning samt hexan för extraktionen. Kostnaderna för chitosan är 71100 kronor per ton och 8310 kronor per ton för hexan. Priserna följer marknaden och verkar variera starkt beroende på leverantör. Asiatiska leverantörer verkar erbjuda de lägsta priserna, men logistiska problem så som leveranssäkerhet ökar med avstånd. För Koncept framtid krävs inte några kemikalier för flockning eller extraktion då andra metoder används. är framtagna från [79][80]

El

I Göteborg har elpriset tagits från DinEl 25 mars 2012 [81]. Det är ett rörligt pris för företag på 72 öre/kWh. Då elpriser varierar kraftigt under året och produktionsanläggningen kommer vara en stor elkonsument kan förmodligen ett fast pris sättas för en period på flera år. Detta pris bedöms vara ett närmevärde för ett eventuellt förhandlat pris. För Libyen antas elpriset vara 22 öre/kWh [82].

Personal

I Göteborg såväl som i Libyen har beräkningar gjorts på en personalstyrka på 100 personer. Beroende på hur automatiserad anläggningen kommer att vara och hur många personer som krävs för varje system i anläggningen, kan denna siffra variera. I Libyen, för Konzept cirkulationspool och Konzept hybrid, är personalstyrkan dubblerad, alltså vara 200 anställda, eftersom saltorkning av algerna kommer kräva mycket arbetskraft.

För produktionsanläggningen är det inte klart vilka olika yrkeskategorier som krävs, därför har uppgifter för löner tagits fram och en snittlön har räknats fram från lönestatistik för olika yrkesgrupper [83]. Den genomsnittliga lönen för yrkesgrupper från ingenjör till vaktmästare ligger på ca 27 000 kronor per månad och person vilket ger en totalkostnad på cirka 45 miljoner kronor per år inklusive arbetsgivaravgift och försäkringar. Se beräkningar i Bilaga E.

För Libyen var det svårare att hitta lönestatistik, men ett genomsnittligt belopp har räknats fram en lön omkring 1200 kronor per månad och person [84]. Detta ger en totalkostnad på cirka 2.1 miljoner per år inklusive arbetsgivaravgift och försäkringar, se Bilaga E.

Restprodukt

Restprodukter innebär en intäkt för produktionsanläggningen. I Konzept cirkulationspool och Konzept hybrid antas biomassan som blir kvar efter extraktionen av oljan säljas vidare till en biogastillverkare. För Göteborgsanläggningen kommer biomassan att säljas till ett reningsverks röt-kammare, och all biomassa antas gå till denna anläggning [85]. Priset per ton restprodukt är osäker då det i dag inte finns någon marknad där det säljs och används algbiomassa som substrat vid framställning av biogas, läs mer om detta i biogas 6.6. Avfallet har därför antagits vara värt vad biogasproducenter betalar för slakteriavfall, 100 kronor per ton, vilket ger en total intäkt på cirka 250 miljoner kronor per år [86]. I detta pris är inga transporter av biomassan medräknade då detta antas skötas i samarbete med reningsverket, då allt avfallsvatten kommer från dem. För Konzept framtid antas restprodukten säljas vidare till olika industrier för mer högkvalitativa produkter så som mat- och djurfoderindustrin. Ett snittpris på 2829 kronor per ton har tagits fram, och beräknas vara vad restprodukterna kan komma att säljas för. I Libyen antas samma möjligheter och intäkter som i Sverige för Konzept cirkulationspool, Konzept hybrid och Konzept framtid. [51] Se beräkningar Bilaga E.

Förklarande resultat ekonomikalkyl

Totala kostnaderna för samtliga koncept är framräknade genom en summering av kapitalkostnader och rörliga kostnader. Till kapitalkostnader räknas huvudsakliga materialkostnader, byggnader, rör samt installation. Med huvudsakliga materialkostnader menas inventarierna i produktionsanläggningarna. Till rörliga kostnader räknas de kostnader som årligen återkommer, vilka är kemikalier, el, löner, frakt, tull, underhåll och instrument och kontroll. Investeringskostnaderna för år noll ligger till grund för kapitalkostnaderna år ett. Dessa utgörs av räntekostnader på 10 % samt avskrivningar på 5 %.

7.7.3. Resultat Koncept cirkulationspool

Kostnaderna överstiger intäkterna markant i Koncept cirkulationspool. Libyens produktion år 1 har den mest konkurrenskraftiga kostnaden, 22.8 SEK, se Tabell 7-17.

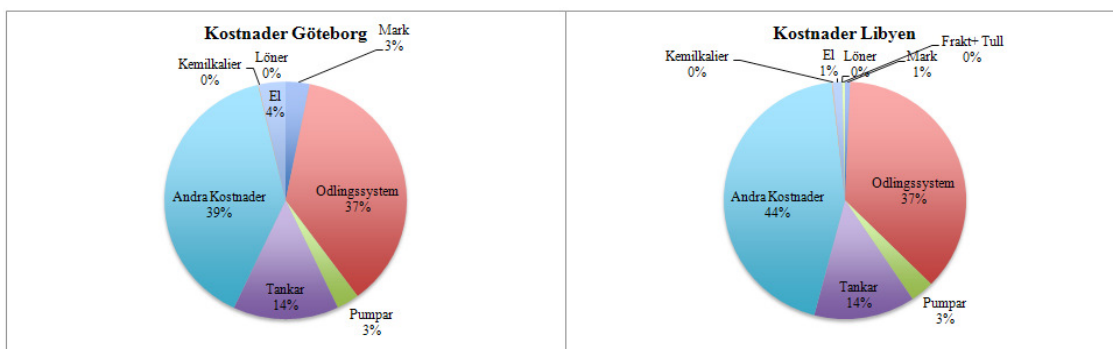
Tabell 7-17. Redovisar uträknad literkostnad för algolja från Koncept cirkulationspool för produktionsanläggningen i både Göteborg och Libyen uppstartsåret samt år 1. Tabellen visar även det slutgiltiga resultatet för Koncept cirkulationspool.

PLATS	År	Resultat	kostnad/liter (SEK)
Göteborg	1	$-6,04 \cdot 10^{10}$	49,9
Libyen	1	$-2,44 \cdot 10^{10}$	22,8

Tabell 7-18. Visar varje kostnadspost för Koncept cirkulationspool för både Libyen och Göteborg. Kostnadsposterna är summerade till en totalkostnad, dessutom redovisas intäkten för restprodukterna i produktionen.

Kostnadsposter	Koncept Cirkulationspool Göteborg	Koncept Cirkulationspool Libyen
Mark	$8,82 \cdot 10^9$ SEK	$0,856 \cdot 10^9$ SEK
Frakt	-	$0,0302 \cdot 10^9$ SEK
Tull	-	$0,450 \cdot 10^9$ SEK
Odlingssystem (öppen damm)	$101 \cdot 10^9$ SEK	$46,2 \cdot 10^9$ SEK
Pumpar	$8,33 \cdot 10^9$ SEK	$3,97 \cdot 10^9$ SEK
Tankar	$39,0 \cdot 10^9$ SEK	$17,0 \cdot 10^9$ SEK
Andra kostnader	$109 \cdot 10^9$ SEK	$55,5 \cdot 10^9$ SEK
Kemikalier	$0,246 \cdot 10^9$ SEK	$0,145 \cdot 10^9$ SEK
El	$9,85 \cdot 10^9$ SEK	$1,58 \cdot 10^9$ SEK
Personal	$0,0492 \cdot 10^9$ SEK	$0,00427 \cdot 10^9$ SEK
TOTALA KOSTNADER:	$276 \cdot 10^9$ SEK	$135 \cdot 10^9$ SEK
Restprodukter (intäkt)	$0,249 \cdot 10^9$ SEK	$0,249 \cdot 10^9$ SEK

Vad gäller kostnader för produktionen utgör odlingssystem tillsammans med tankar och pumpar, de störst andel av kostnaderna för både Göteborg och Libyen. För Göteborg utgör "andra kostnader" 39 %, medan mark, el och löner har väldigt liten inverkan. I Libyen ser fördelningen ut ungefär som i Göteborg. Elkostnaderna och "andra kostnader" har något större andel. Frakten och tull, vilka är kostnader som inte uppkommer i Göteborg står för endast 2 % av kostnaderna, se Figur 7-6 nedan.



Figur 7-6. Tårtdiagram över kostnaderna i Koncept cirkulationspool i Göteborg respektive Libyen.

7.7.4. Resultat Koncept hybrid

Koncept hybrid visar också ett stort negativt resultat. Kostnaden är lägst under år 1 i Libyen, men är cirka 50 kronor dyrare än motsvarande pris i Koncept cirkulationspool. Skillnaden mellan Göteborg och Libyen är 41.4 kronor under år 1, enligt Tabell 7-19.

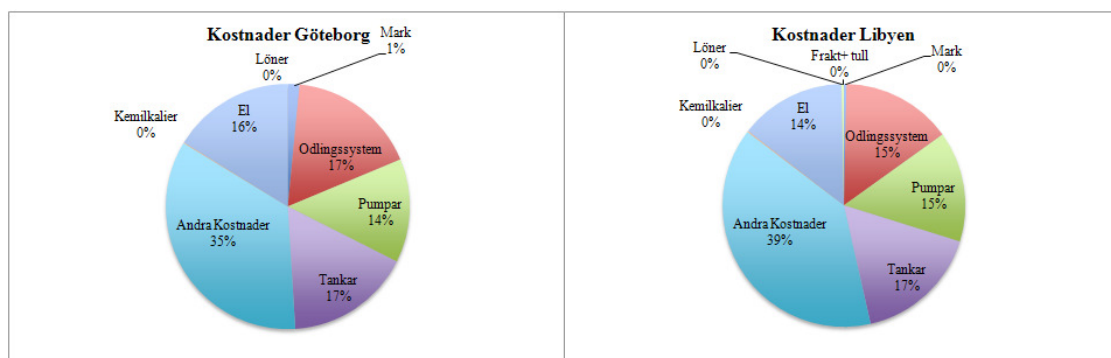
Tabell 7-19. Redovisar uträknad kostnad per liter för algolja från Koncept hybrid för produktionsanläggningen I både Göteborg och libyen uppstartsåret samt år 1. Tabellen visar även det slutgiltiga resultatet för Koncept hybrid.

PLATS	År	Resultat	kostnad/liter (SEK)
Göteborg	1	$-10,5 \cdot 10^{10}$	83,5
Libyen	1	$-5,00 \cdot 10^{10}$	42,1

Tabell 7-20. Visar varje kostnadspost för Koncept hybrid för både Libyen och Göteborg. Kostnadsposterna är summerade till en total kostnad, dessutom redovisas intäkten för restprodukterna i produktionen.

Kostnadsposter	Koncept hybrid Göteborg	Koncept hybrid Libyen
Mark	5,03·10 ⁹ SEK	0,488·10 ⁹ SEK
Frakt	-	0,0302·10 ⁹ SEK
Tull	-	0,450·10 ⁹ SEK
Odlingssystem (hybrid)	56,0·10 ⁹ SEK	26,7·10 ⁹ SEK
Pumpar	44,9·10 ⁹ SEK	21,4·10 ⁹ SEK
Tankar	54,1·10 ⁹ SEK	24,2·10 ⁹ SEK
Andra kostnader	113·10 ⁹ SEK	56,4·10 ⁹ SEK
Kemikalier	0,328·10 ⁹ SEK	0,184·10 ⁹ SEK
El	52,8·10 ⁹ SEK	20,6·10 ⁹ SEK
Personal	0,0492·10 ⁹ SEK	0,00427·10 ⁹ SEK
TOTALA KOSTNADER:	326·10⁹ SEK	155·10⁹ SEK
Restprodukter (intäkt)	0,249·10 ⁹ SEK	0,249·10 ⁹ SEK

Kostnadsfördelningen i Koncept hybrid är lite annorlunda då elkostnaderna utgör hela 16 % för Göteborg och 14 % för Libyen, detta till följd av att produktionsanläggningen utgörs av fler pumpar än i de andra koncepten. Generellt är fördelningen väldigt lika för Göteborg och Libyen där ”andra kostnader” den största kostnadsdrivaren vartefter el, tankar och produktionsanläggning utgör ungefär lika stora delar. Markkostnader, löner samt frakt och tull utgör mindre än 2 % av de totala kostnaderna för båda orterna, se Figur 7-7 nedan.



Figur 7-7. Tårtdiagram över kostnaderna i Koncept hybrid i Göteborg respektive Libyen.

7.7.5. Resultat Koncept framtid

Koncept framtid är ett framtidskoncept som beskriver ett upplägg som bör vara möjligt i framtiden. Det framtagna kostnaden för en liter algolja för Libyen år 1 är 12.5 SEK och är det mest konkurrenskraftiga priset av de olika koncepten. Även kostnaden i Göteborg är lägre jämfört med de andra koncepten och nästan lika lågt som priset i Libyen i Koncept cirkulationspool. Se Tabell 7-21.

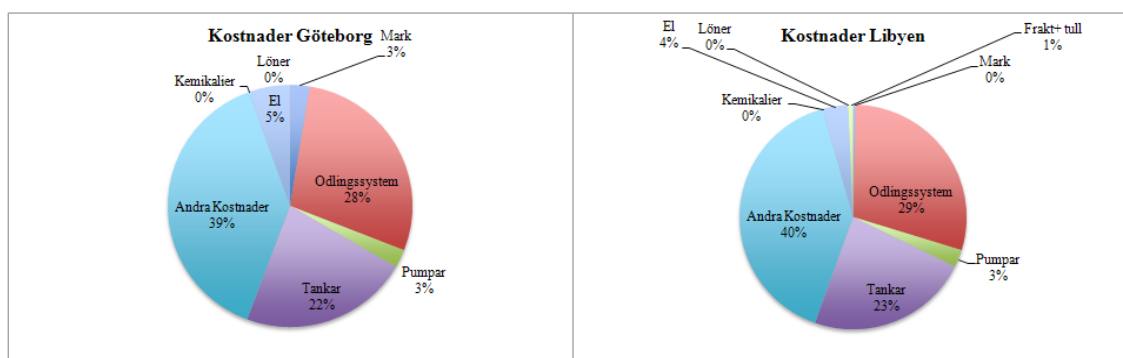
Tabell 7-21. Redovisar uträknad kostnad per liter för algolja från Koncept framtid för produktionsanläggningen i både Göteborg och Libyen uppstartsåret samt år 1. Tabellen visar även det slutgiltiga resultatet för Koncept framtid

PLATS	År	Resultat	kostnad/liter (SEK)
Göteborg	1	$-3,02 \cdot 10^{10}$	28,0
Libyen	1	$-0,954 \cdot 10^{10}$	12,5

Tabell 7-22. Visar varje kostnadspost för Koncept framtid för både Libyen och Göteborg. Kostnadsposterna är summerade till en totalkostnad, dessutom redovisas intäkten för restprodukterna i produktionen.

Kostnadsposter	Koncept framtid Göteborg	Koncept framtid Libyen
Mark	$3,78 \cdot 10^9$ SEK	$0,244 \cdot 10^9$ SEK
Frakt	-	$0,030 \cdot 10^9$ SEK
Tull	-	$0,450 \cdot 10^9$ SEK
Odlingssystem (öppen damm)	$41,5 \cdot 10^9$ SEK	$19,8 \cdot 10^9$ SEK
Pumpar	$3,57 \cdot 10^9$ SEK	$1,70 \cdot 10^9$ SEK
Tankar	$32,7 \cdot 10^9$ SEK	$15,6 \cdot 10^9$ SEK
Andra kostnader	$56,8 \cdot 10^9$ SEK	$27,1 \cdot 10^9$ SEK
Kemikalier	-	-
El	$7,96 \cdot 10^9$ SEK	$2,43 \cdot 10^9$ SEK
Personal	$0,049 \cdot 10^9$ SEK	$0,0021 \cdot 10^9$ SEK
TOTALA KOSTNADER:	$146 \cdot 10^9$ SEK	$67,4 \cdot 10^9$ SEK
Restprodukter (intäkt)	$1,29 \cdot 10^9$ SEK	$1,29 \cdot 10^9$ SEK

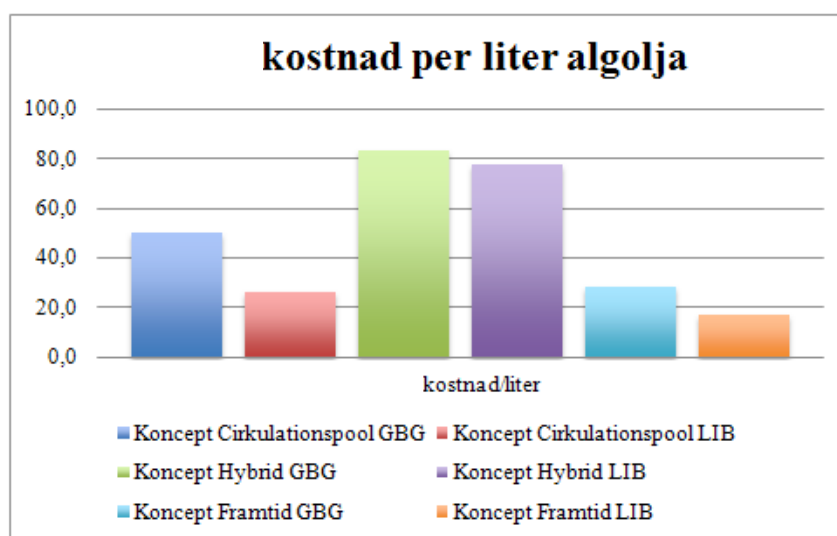
Fördelningen av kostnader för Koncept framtid ungefär är lika för Göteborg och Libyen. En anmärkande skillnad är odlingssystemen som här ensamma utgör nästan 30 % för vardera lokalisering. Detta kan bero på att pumpar utgör en mycket mindre kostnad, och därmed även sänker elkostnaden. ”andra kostnader” och tankar utgör som för de andra koncepten, de största delarna för anläggningen medan löner, pumpar och markkostnader är i jämförelse obetydliga för båda orterna, se Figur 7-8 nedan.



Figur 7-8. Tårtdiagram över kostnaderna i Koncept framtid i Göteborg respektive Libyen.

7.7.6. Sammanfattning av koncepten

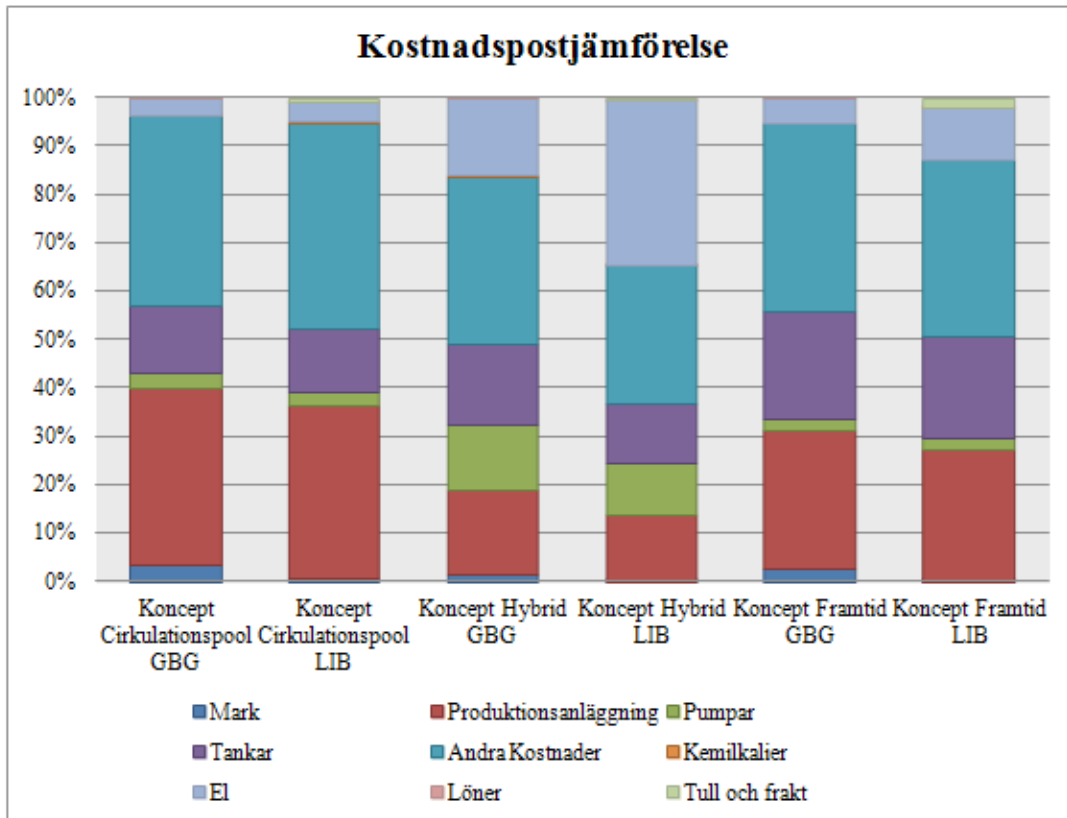
Kostnaden per liter algolja för de olika koncepten och lokaliseringen skiljer sig, mellan det högsta och minsta värdet, med 71 kronor. För Koncept framtid i Libyen är kostnaden lägst med, 12,5 kronor, medan Hybrid konceptet, Göteborg står för den högsta kostnaden på 83,5 kronor per liter. Koncept hybrid är generellt dyrast och Koncept framtid billigast. För Koncept cirkulationspool skiljer sig priset mellan Göteborg och Libyen mer än för de andra koncepten. Kostnaden är generellt 50 % lägre i Libyen än i Göteborg, vilket kan härledas till att den globala bestrålningen är ungefär 50 % lägre i Göteborg än i Libyen. Se Figur 7-9 för dessa resultat samt konceptbeskrivning avsnitt 7.2.



Figur 7-9. Beskriver kostnaden per liter algolja för varje koncept och ort.

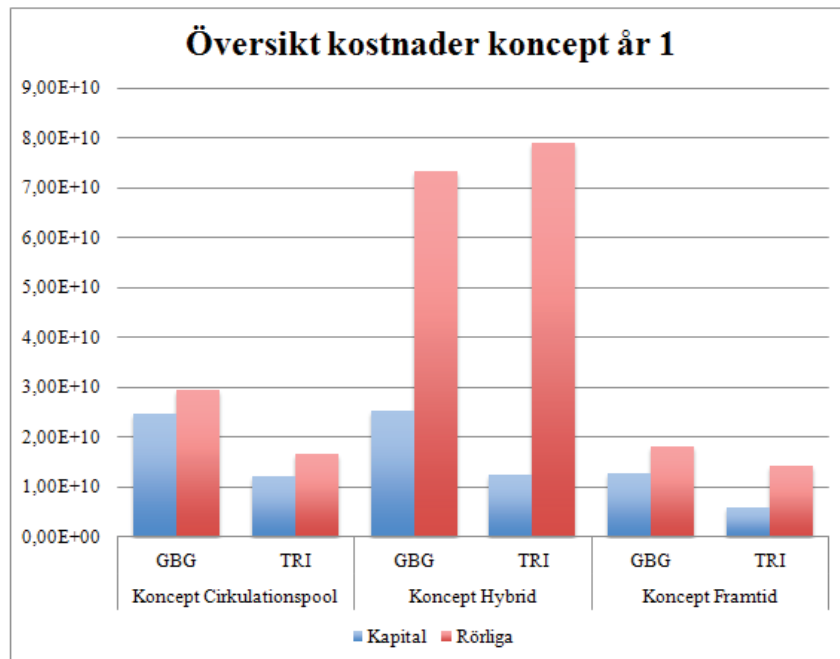
Med Koncept framtid följer många antaganden och därför bör värdet bedömas med viss försiktighet. Literkostnaden för Libyen Koncept cirkulationspool, uppnår ett mer rimligare nivå då odlingssystemet och bakomliggande faktorer för detta koncept är mer sannolika än för Koncept framtid. Att en lägre kostnad uppnås i Libyen kan beror på att produktionsytan där är mindre, på grund av högre global bestrålning, och då kostnaderna är framtagna genom uppskalning ökar kostnaderna proportionerligt med storleken.

Jämförs alla kostnadsposter koncepten emellan kan man konstatera att fördelningen är relativt lika mellan orter och de olika koncepten. Koncept hybrid skiljer sig mer än de andra, framförallt vad gäller el- och pumpkostnader. Att det är pumpar och el som kostar mer går hand i hand då fler pumpar innebär större elkonsumention och de andra koncepten kräver inte lika många pumpar. För att reducera dessa kostnader skulle det krävas energisnålare pumpar med högre kapacitet. För samtliga koncept utgör kostnader för mark, tull, frakt, löner och kemikalier väldigt små delar.



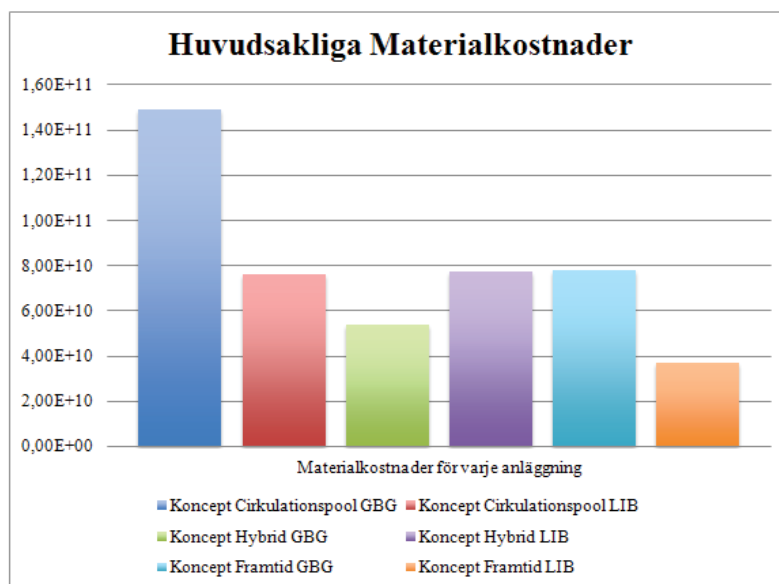
Figur 7-10. Redovisar en procentuell fördelning av varje kostnadspost i ekonomikalkylen, för varje koncept. Figuren visar även specifikt data för varje kostnadspost i vardera koncept.

Att elkostnaderna är betydande för totalkostnaden för Koncept hybrid kan även visualiseras i att de rörliga kostnaderna i detta koncept är mycket högre än för de övriga, se Figur 7-11. I de andra koncepten är kapitalkostnader och rörliga kostnader ungefär lika stora, även för de olika orterna, men för Koncept hybrid skiljer det sig. De rörliga kostnaderna utgörs av el, kemikalier, löner samt underhåll och instrument, och bland dessa är alla i stort sett försumbara, förutom el och “andra kostnader”, se Figur 7-10. För Koncept hybrid Göteborg är de huvudsakliga materialkostnaderna störst och därmed kommer underhåll och instrument ha inverkan på och medföra att de rörliga kostnaderna för Koncept hybrid blir höga. Se Figur 7-11 för fördelningen mellan kapital- och rörliga kostnader.



Figur 7-11. Visar en översikt på kostnadsfördelningen mellan kapital- och rörliga kostnader för varje koncept och ort.

Odlingssystem, tankar och pumpar utgör huvudsakliga materialkostnader, för de olika koncepten. För både Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid i Göteborg är dessa ungefär lika stora. För Libyens är kostnaderna generellt låga, men för Koncept hybrid är det speciellt lågt. Anmärkningsvärt är att det även är lägre än för Koncept framtid. Figur 7-12 illustrerar vad tidigare figurer visat, att Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid är de dyraste. De huvudsakliga materialkostnaderna utgörs av totala summan för kapitalkostnader borträknat kostnaden för mark samt kostnader som hänförs till installation, rör och byggnader.



Figur 7-12. Figuren redovisar storleksfördelningen av huvudsakliga materialkostnader för varje koncept och ort.

Resultatet för de huvudsakliga materialkostnaderna tillsammans med påslag för de rörliga kostnaderna, se Figur 7-11 och Figur 7-12, återspeglar kostnaden för algoljan bra. Att Koncept hybrid Libyen har lägst huvudsakliga materialkostnader påverkar inte kostnaden eftersom de rörliga kostnaderna är höga. För Libyen Koncept framtid är däremot både kostnaden för rörliga kostnader samt huvudsakliga materialkostnader låga och den totala literkostnaden blir låg.

7.8. Känslighetsanalys

I känslighetsanalyserna identifieras parametrar i produktionen som främst påverkar den ekonomiska lönsamheten och den miljömässiga hållbarheten och ändring av dessa parametrar studeras. De parametrar som studeras som omfattar både miljö och ekonomiska aspekter är den fotosyntetiska effekten och lipidhalten hos algen. I dessa känslighetsanalyser har anläggningarna samma storlek som i koncepten, vilket gör att analysen visar en total ökning eller minskning på producerad mängd flygbränsle och pris per liter flygbränsle kan analyseras. Efter de gemensamma känslighetsanalyserna för ekonomi och miljön har en separat ekonomikänslighetsanalys utförts. I den ekonomiska känslighetsanalysen analyseras en ökning och minskning av kostnader för huvudsakliga materialkostnader, elkostnader och "andra kostnader".

7.8.1. Fotosyntetiska effekten

I den första delen av känslighetsanalysen behandlas den fotosyntetiska effekten. Denna effekt både sänks och höjs med 50 % i förhållande till värdet som används i koncepten. Den fotosyntetiska effekten är en variabel som är svår att uppskatta teoretisk för anläggningarna och giltiga värden kan endast fås fram från reella odlingar. Denna höjning och sänkning av den fotosyntetiska effekten i koncepten därför ett möjligt scenario. Resultatet för både ekonomiska och miljömässiga förändringar vid sänkning av den fotosyntetiska effekten varierar i varje koncept. En sänkning av den fotosyntetiska effekten leder i samtliga koncept till en ungefärlig fördubbling av priset. Koncept hybrid visar den största procentuella ökningen, framför allt i Libyen där priset ökar med 124 %, se Tabell 7-23.

Tabell 7-23. Visar prishöjning till följd av en minskning i fotosyntetisk effekt i koncepten.

Koncept	Grundpris Göteborg (kronor per liter)	Nytt pris Göteborg (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Göteborg (%)	Grundpris Libyen (kronor per liter)	Nytt pris Libyen (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Libyen (%)
Koncept cirkulationspool	49,9	98,4	+97,1	22,8	45,2	+97,9
Koncept hybrid	83,5	176,2	+111,1	37,4	83,9	+124,1
Koncept framtid	28,0	56	+100,0	12,5	25	+100,0

Att Koncept hybrid visar den största ökningen beror främst på att Koncept hybrid har den högsta fotosyntetiska effekten sen innan och att en minskning med 50 % därför visar en mer markant skillnad, detta leder till att det produceras mindre råolja i Koncept hybrid än i Koncept cirkulationspool och Koncept framtid. Att anläggningen i Libyen får en högre procentuell ökning i pris än anläggningen i Göteborg i Koncept hybrid beror på att Libyen anläggningen har högre elkostnader.

Sänkningen i den fotosyntetiska effekten leder även till en ökning av miljöpåverkansvärde per liter olja. I Göteborg ligger denna ökning på ungefär 90 % och i Libyen på ungefär 80 %, se Tabell 7-24. I Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid ses en ungefär lika stor ökning i miljöpåverkansvärdet. I Koncept framtid observeras en något högre ökning i miljöpåverkansvärdet än i de övriga två koncept.

Detta beror på att Koncept framtid har ett mindre ursprungligt miljöpåverkansvärde per liter än Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid.

Tabell 7-24. Visar miljövärdessänkning till följd av en sänkning i fotosyntetisk effekt i koncepten.

Koncept	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Göteborg (%)	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Libyen (%)
Koncept cirkulations-Pool	187,3	357,9	+91,0	91,1	165,6	+81,7
Koncept hybrid	188,4	360,2	+91,1	88,7	160,8	+81,3
Koncept framtid	98,4	189,7	+92,8	50,5	94,0	+86,0

Det sker förändringar i resultatet för varje koncept med avseende på ekonomi och miljö vid en ökning av fotosyntetiska effekten. Vid en ökning av den fotosyntetiska effekten observeras en ungefärlig sänkning av priset med 30 %, se Tabell 7-25. Koncept cirkulationspool och Koncept framtid visar den största sänkningen i pris. Att Koncept hybrid visar en mindre sänkning i pris beror främst på att Koncept hybrid har betydligt högre elkostnader.

Tabell 7-25. Visar prissänkning till följd av en ökning av fotosyntetisk effekt i koncepten.

Koncept	Grundpris Göteborg (kronor per liter)	Nytt pris Göteborg (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Göteborg (%)	Grundpris Libyen (kronor per liter)	Nytt pris Libyen (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Libyen (%)
Koncept cirkulations-pool	49,9	33,8	-32,4	22,8	15,3	-32,8
Koncept hybrid	83,5	59,2	-29,1	37,4	27,0	-27,9
Koncept framtid	28,0	18,7	-33,3	12,5	8,6	-31,5

Även miljöpåverkansvärdet minskar med ungefär 30 % i samtliga koncept, se Tabell 7-26. Att miljöpåverkansvärdet sjunker mindre i Libyen beror främst på att det ursprungliga miljöpåverkansvärdet i Libyen är lägre.

Tabell 7-26. Visar miljövärdesökning till följd av ökning av fotosyntetiska effekten i koncepten.

Koncept	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Göteborg (%)	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Libyen (%)
Koncept cirkulationspool	187,3	130,4	-30,4	91,1	66,3	-27,2
Koncept hybrid	188,4	131,2	-30,4	88,7	64,7	-27,1
Koncept framtid	98,4	67,9	-31	50,5	36,0	-28,7

7.8.2. Ökning av lipidhalten

I denna del undersöks en ökning av lipidhalten. Detta kan ske genom att algerna svälts på kväve vilket gör att de då kan producera en lipidhalt på cirka 55 %. [36] I Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid kommer därför en ökning från ursprungliga 30 % till 55 % halt lipider att undersökas. I Koncept framtid antas en höjning av lipidhalten från 70 % till 85 %. Vid en ökning av lipidhalten till följd av en minskad kvävetillförsel ses en minskning av priset i Koncept cirkulationspool på cirka 45 % och i Koncept hybrid på cirka 42 %, se Tabell 7-27. Eftersom ökning i lipidhalten inte blir lika stor i Koncept framtid som i Koncept cirkulationspool och Koncept framtid blir sänkningen i pris inte lika stor i Koncept framtid.

Tabell 7-27. Visar prissänkning på grund av ökad lipidkoncentration till följd av sänkning av kvävetillförsel.

Koncept	Grundpris Göteborg (kronor per liter)	Nytt pris Göteborg (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Göteborg (%)	Grundpris Libyen (kronor per liter)	Nytt pris Libyen (kronor per liter)	Procentuell ändring i pris i Libyen (%)
Koncept cirkulationspool	49,9	27,8	-44,2	22,8	12,6	-44,9
Koncept hybrid	83,5	48,6	-41,7	37,4	21,7	-42,0
Koncept framtid	28,0	23,1	-17,7	12,5	10,5	-16,0

En ökning av lipidhalten ger även en sänkning av miljöpåverkansvärdet. I Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid är sänkningen ungefär 45,5 % och i Koncept framtid ses en sänkning av miljöpåverkansvärdet på 17,7 %, se Tabell 7-28.

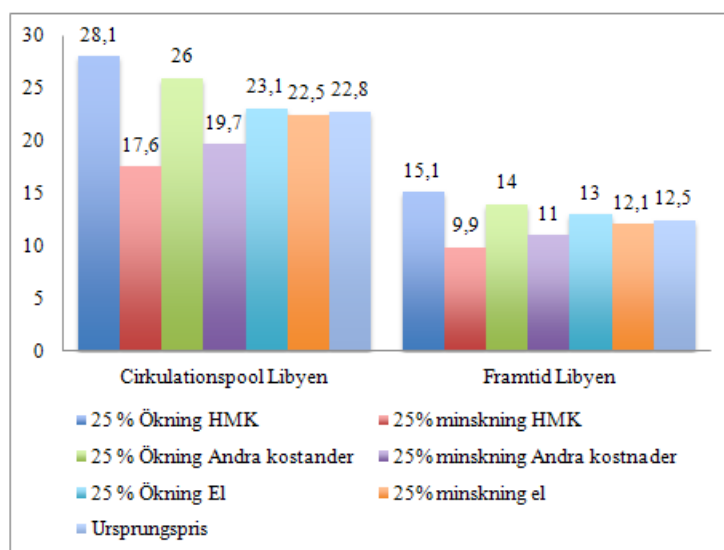
Tabell 7-28. Visar miljöpåverkanssänkningen på grund av lipidkoncentration till följd av sänkning av kvävetillförsel.

Koncept	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Göteborg	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Göteborg (%)	Ursprungligt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Nytt Miljöpåverkansvärde per liter i Libyen	Procentuell ändring av miljöpåverkansvärde i Libyen (%)
Koncept cirkulationspool	187,3	102,2	-45,5	91,1	49,7	-45,5
Koncept hybrid	188,4	102,8	-45,5	88,7	48,4	-45,5
Koncept framtid	98,4	81	-17,7	50,5	41,6	-17,7

7.8.3. Ändring av huvudsakliga materialkostnader, “andra kostnader” och elkostnader

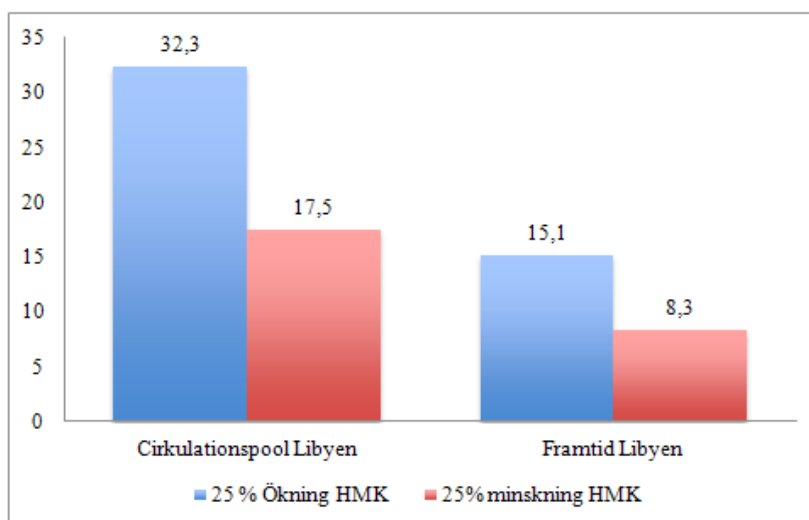
En känslighetsanalys görs på kostnaden för algoljan där tre olika parametrar som enligt resultatet har en stor betydelse för att den slutgiltiga kostnaden varierar. Analysen utförs på det koncept som uppvisar bäst resultat med dagens teknik, vilket är Koncept cirkulationspool och det bästa resultatet i som ses i Koncept framtid. Parametrarna som prövas är huvudsakliga materialkostnader, “andra kostnader” och elkostnader, och dessa varierar med en ökning och minskning med 25 %.

Analysen visar att en minskning av huvudsakliga materialkostnader alltså odlingsystem, pumpar och tankar tillsammans, för framtidskonceptet uppnår den lägsta kostnaden på 9.9 kronor per liter algolja, vilket är en minskning med 20.8 %. Förändringar av huvudsakliga materialkostnader och “andra kostnader” är större än för elförbrukningen, vilken uppvisar en väldigt liten variation. Generellt har förändringarna en liten inverkan med några kronors skillnad, då de jämförs med ursprungspriset för respektive koncept, se Figur 7-13



Figur 7-13. Beskriver en känslighetsanalys där tre variabler har varierats, huvudsakliga materialkostnader (HMK), andra kostnader och el. Dessa har varierats med 25 % . Den nya kostnaden kan jämföras med ursprungliga kostnaden för respektive koncept.

Om alla parametrar varierar samtidigt kan ett mer extremt resultat verifieras. För Koncept framtid sjunker kostnaden för algolja till 8.3 kronor per liter om en 25 % sänkning görs för samtliga parametrar. Detta kan jämföras med 9.9 kronor per liter algolja som var det lägsta värdet som uppnåddes vid en sänkning av endast huvudsakliga materialkostnader. För Koncept cirkulationspool reduceras kostnaden från ursprungligen 22.8 kronor till 17.5 kronor per liter algolja, endast 0.1 kronor bättre än bästa resultatet vid sänkning av enskilda parametrar. Sänkningen av alla parametrar får alltså större effekt på Koncept framtid än Koncept cirkulationspool, se Figur 7-14.



Figur 7-14. Visar kostnaden för algolja om alla parametrar i känslighetsanalysen höjs eller sänks samtidigt.

8. Diskussion

Diskussion presenteras i fem olika delar, jämförelse mellan koncept, jämförelse mellan Göteborg och Libyen, utvecklingsmöjligheter, framtidsscenario och antaganden. Denna uppdelning och presentation valdes för att diskutera resultatet och knyta an till syfte och problemformulering.

8.1. Jämförelse mellan koncepten

De framtagna koncepten skiljer sig åt i många avseenden, både positivt och negativt till följd av olika parametrar. Alla koncept är framtagna för att producera tillräcklig mängd olja för att tillgodose Göteborgs flygtrafik och är därmed jämförbara. Vad gäller markanvändningen för de olika koncepten så skiljer denna sig beroende på odlingsystemens effektivitet. Den areal som krävs för Koncept cirkulationspool är störst, 1777 km², därefter följer Koncept hybrid och Koncept framtid i storleksordning. Varken i ekonomianalysen eller för miljöpåverkan har skillnaden i areal någon större betydelse för resultatet, trots att den minsta anläggningen, Koncept framtid i Libyen, endast är 20 % av storleken för den största anläggningen. Arealen som krävs för varje koncept är stor och det kan diskuteras om det är möjligt att få tillgång till en sådan yta i ett efterfrågat område. Ur den synpunkten är Koncept framtid det bästa alternativet då det i dagsläget kräver minst yta, 363 km² i Libyen. Effektiviseras däremot Koncept cirkulationspool och använder samma alg som för i Koncept framtid kräver även denna en mindre yta. En högre lipidhalt resulterar i att en mindre produktionsyta krävs. Sammanfattningsvis utgör inte ytan för produktionsanläggningen en större påverkan utifrån ett miljöperspektiv och ur ett ekonomiskt perspektiv. Problemet är att få tillgång till en så stor areal och därför anses Koncept framtid mest rimligt.

Kostnaderna för varje koncept ökar med produktionsanläggningens storlek. Att Koncept hybrid är dyrare än de andra två koncepten kan förklaras i ett större behov av pumpar och cirkulation i systemen, samtidigt som det i Koncept framtid krävs mindre av alla inventarier. Med antalet pumpar följer en högre elkonsumtion vilket har stor inverkan på kostnaderna. Koncept hybrid har elkostnader som utgör cirka 15 % av de totala kostnaderna, medan samma kostnad för de andra koncepten utgör någon eller ett fåtal procent. Om varje pump utvecklas för att klara av en högre kapacitet samt bli mer energisnåla, så kan kostnaderna för Koncept hybrid konkurrera med de andra koncepten. Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid har ungefär lika stort negativt miljöpåverkansvärde, detta beror på att det i koncepten krävs ungefär lika mycket material och vatten. Den ökande elkonsumtionen i Koncept Hybrid har ingen större inverkan på det totala negativa miljöpåverkansvärdet. Koncept Framtid har däremot ett betydligt lägre negativt miljöpåverkansvärde än Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid eftersom det i detta koncept krävs både mindre material och vatten.

För Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid ökar både kostnaderna och miljöpåverkan på grund av användning av kemikalier, vilket inte förekommer i Koncept framtid. I båda analyserna är påverkan så pass liten att de inte har någon betydelse varken för slutkostnaden för algoljan eller för den totala miljöpåverkan. Strävan efter att inte ha någon miljöpåverkan och att kemikalierna inte påverkar kvaliteten hos restprodukten är ändå viktigt, vilket gör att Koncept framtid ändå är att föredra.

För alla koncepten utgörs "andra kostnader" utav underhåll av produktionsanläggningen, installation, instrument och kontroll, byggnader samt rör för hela anläggningen. Dessa beror av de huvudsakliga materialkostnaderna, och för varje koncept utgör de ungefär 40 % av de totala kostnaderna. Samma procentsatser har använts till alla koncept och skulle en djupare analys kring varje koncepts behov göras skulle dessa förändras. Till exempel består produktionsanläggningen i Koncept framtid av färre steg än de andra koncepten och kan då kräva färre rörsystem och byggnader. Däremot krävs mer underhåll, installation och kontroll vilket reducerar fördelen med färre rör och byggnader. Det omvända kan gälla Koncept cirkulationspool, där en större anläggning innebär ett mer omfattande rörsystem och fler byggnader. Däremot är systemet istället mer självgående och kräver mindre kontroll då det är installerat. Ur miljösynpunkt har ett större rörsystem mer miljöpåverkan vilket då innebär att Koncept framtid är mer fördelaktigt än de andra koncepten. Sammanfattningsvis skulle procentsatserna kunna ökas eller sänkas, men förändringen skulle totalt inte bli stor eller mer fördelaktigt för ett specifikt koncept, vilket styrks i känslighetsanalysen.

Sammanfattningsvis är Koncept framtid det bästa konceptet både för det ekonomiska och miljömässiga resultatet då det kräver mindre material och vatten än de andra koncepten. Däremot är Koncept cirkulationspool det bästa konceptet med dagens metoder, främst för att det använder mindre el än Koncept hybrid.

8.2. Jämförelse mellan Göteborg och Libyen

För att bestämma var produktionsanläggningen bör vara lokaliserad analyseras de olika faktorerna som har avgörande betydelse för produktiviteten i anläggningen. Syftet med rapporten är att förse Göteborgs flygplatser med flygbränsle genom att jämföra en produktionsanläggning i Göteborg med en produktionsanläggning i ett fördelaktigt klimat. Vår hypotes var att transporten av olja från det fördelaktiga klimatet till Göteborg skulle ha en stor negativ inverkan, både i det ekonomiska och miljömässiga resultatet. Denna hypotes stämde inte då transporten av oljan från Libyen endast utgjorde en liten del av den negativa miljöpåverkan och de totala kostnaderna och hade därför inte någon inverkan på resultatet.

Elkonsumtionen i Libyen och Sverige spelar en avgörande roll i ekonomin. Elpriserna i Libyen är betydligt lägre än i Sverige vilket medför en lägre kostnad för anläggningen i Libyen. Produktionsanläggningen är även mindre i Libyen vilket gör att kostnaderna blir ännu lägre då mindre el används.

En annan parameter som ger en negativ miljöpåverkan är vattenkonsumtionen. Detta beror främst på att vattnet i vald LCIA-metod ses som en resurs som kan utnyttjas till annat, främst dricksvatten. I livscykelanalysen tas det inte hänsyn till varifrån vattnet kommer, då vattnet alltid har lika stor negativ miljöpåverkan i koncepten. Om vattenanvändningen i Libyen och Göteborg har lika stor miljöpåverkan kan diskuteras, då vattnet eventuellt kan anses vara en större bristvara i Libyen. Vattenkonsumtionen i våra anläggningar är svår att sänka då den beror på mängden producerad olja som är konstant i våra koncept för att täcka Göteborgs behov av flygbränsle.

En förhoppning är att kunna eliminera denna negativa miljöpåverkan genom att anläggningen integreras som en naturlig del i avfallsvattenreningskedjan, där en ursprunglig mekanisk rening görs i innan avfallsvattnet kommer till anläggningarna och att algerna sedan renar vattnet från kväve och fosfor.

Materialet för anläggningarna har stor negativ inverkan på resultatet, både ekonomiskt och miljömässigt, för vardera lokalisering. Däremot så får Libyen en lägre miljöpåverkan och lägre kostnad från materialet än Göteborg, detta följer direkt från att storleken på anläggningen är mindre i Libyen och därför behövs mindre material. För att minska den negativa miljöpåverkan för båda lokaliseringarna behövs det användas återvunnet material, speciellt återvunnet stål.

Sammanfattningsvis verkar en lokalisering i Libyen vara det bästa ur både ekonomiskt och miljömässigt perspektiv för att producera den mängd olja som krävs för att förse Göteborg med flygbränsle från alger. Detta på grund av högre produktivitet i Libyen, vilket medför lägre kostnader och materialåtgång och att transporten av oljan till Göteborg inte påverkar resultatet.

8.3. Utvecklingsmöjligheter

Utifrån resultat för de olika koncepten vad gäller ekonomi och livscykelanalys kan kostnadsdrivare och avgörande faktorer för miljöpåverkan identifieras. Dessa beror som tidigare redogjorts i sin tur på flera parametrar som styr tillväxten hos alger, där framförallt temperatur och tillgången på solljus har en stor inverkan. Effektiviteten hos algerna och val av alg dimensionerar delprocesser i framställningen av algoljan och påverkar alltså storleken på anläggningen och antalet inventarier som krävs. Utvecklingsmöjligheter kring lokalisering och alger är många och utifrån koncepten kan även rekommendationer kring tekniska förbättringar ges.

8.3.1. Lokalisering

Vad gäller möjligheter kring lokalisering kan fler områden belägna längre bort från Europa undersökas med avseende på den globala bestrålningen, då transportkostnad inte är avgörande. Alternativet att placera anläggningen nära ekvatorn, där solens strålning är konstant under året, är något att undersöka. Även lokalisering med stabila väderförhållanden bör undersökas. En möjlighet är att lokalisera anläggningen i södra delar av Europa exempelvis Spanien eller Italien, då regler på grund av EU-zonen förenklar. Möjligheter till samverkan med andra industrier för tillförsel av koldioxid och avloppsvatten påverkar också lokaliseringen beroende på om det finns industrier i närheten att samverka med.

8.3.2. Alg

I känslighetsanalysen undersöktes hur stor inverkan kvävesvält skulle få på kostnaden och miljöpåverkan då lipidinnehållet ökade för *Chlorella Vulgaris*. För Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid minskade kostnaden och miljöpåverkan med cirka 45 % och kostnaden för Koncept cirkulationspool i Libyen sänktes till 12.6 kronor per liter. Då resultat av förhöjd lipidhalt till cirka 50 % är baserat på laborativ skala rekommenderas att studier kring en industriell skala utförs. Ett annat alternativ för att förbättra lipidhalten

är att utföra genmodifiering av algerna. Detta är dock svårt att utföra på alger och kräver lagändringar med avseende på dagens strikta lagstadgar om genmodifiering av grödor. Om lagändring kring detta ändras öppnas ändå möjligheten för framtiden då tekniker ständigt utvecklas. Det som inte är möjligt idag kan vara möjligt i framtiden.

I Koncept framtid användes en alg baserad på *Botryococcus braunii* som har högt lipidinnehåll, men med en högre tillväxthastighet. Detta koncept gav goda resultat vad gäller ekonomi och miljöpåverkan och en alg lik denna bör eftersträvas vid framtida utveckling. Förutom hög lipidhalt efterfrågas att lipiderna är lik fossil råolja och att algerna har en hög tillväxthastighet, är tåliga mot temperatur- och pH-förändringar och är lätt att skörda om skördningssteget är nödvändigt. Det är också en fördel att alger är en extremofil så att odlingen inte kontamineras. Algen bör även tåla mycket solljus, det vill säga ha låg fotoinhibering, detta för att den fotosyntetiska effekten ska kunna höjas i odlingen. Som tidigare nämnt kan genmodifiering vara ett alternativ i framtiden, men det skulle även kunna vara möjligt att hitta en alg som innehar många efterfrågade egenskaper då endast ett antal alger har undersökts idag.

8.3.3. Förbättringar för respektive koncept

I Koncept hybrid sker odlingen batchvis i ett hybridsystem och då utnyttjas inte efterföljande processer maximalt. Detta innebär att det blir fler skördningsenheter i detta koncept än i de andra koncepten vilket är en stor kostnad och ger en större miljöpåverkan. Det skulle kunna effektiviseras genom att ha en annan inkubationstid för varje odling i cirkulationspoolen. Om denna förlängs till exempelvis 3.5 dagar behövs färre rörformade fotobioreaktorer och fyra cirkulationspooler per reaktor. Detta skulle leda till färre antal pumpar för de rörformade fotobioreaktorerna vilket resulterar i lägre elkostnader. Skördningsenheterna skulle även bli färre och likaså antal pumpar i efterkommande processer, vilket skulle sänka produktions- och driftkostnader. Koncept hybrid är en anläggning med flera effektiviseringsmöjligheter och bör därför inte förkastas på grund av sina höga kostnader jämfört med de andra koncepten. I framtiden kan effektivare pumpar troligtvis tas fram för att sänka kostnaderna.

Koncept cirkulationspool ger bättre resultat, eftersom odlingen i cirkulationspoolerna sker kontinuerligt. Detta är fördelaktigt då odlingssystemet gör att efterkommande processer kan utnyttjas bättre. Koncepten kräver därför färre pumpar och omrörning som sker i produktionsanläggningen. Även Koncept cirkulationspool har ytterligare utvecklingsmöjligheter, framförallt skulle en tidseffektivisering av skördningen kunna sänka materialtillgången. Vi räknar med att skördningen i detta koncept tar 10 timmar. Att reducera tiden för skördning gör stor skillnad, då antal skördningstankar sänks. Tidseffektiviseringen av skördningen gäller även för Koncept hybrid.

8.3.4. Gemensamma förbättringar

Gemensamt för samtliga koncept är att en stor markyta krävs på grund av att de odlingsystem som finns idag kräver stora ytor. För framtida forskning bör en yteffektivisering av odlingen undersökas. Ett odlingsystem som kan konstrueras så att odlingen sker på höjden och samtidigt får ett bra ljusinsläpp skulle kunna vara en möjlighet. Däremot finns det svårigheter i att göra detta i industriskala då det blir problem med sedimentering om odlingen är för hög samt att det är ett kostsamt system att bygga.

En utveckling av metoder som reglerar den fotosyntetiska effekten på ett bättre sätt och resulterar i att en konstant hög fotosyntetisk effekt uppnås är ur ekonomisk och miljömässig synvinkel fördelaktigt för framtida produktion.

En slutsats som kan dras utifrån resultatet från livscykelanalyserna visar att det förutom vattenkonsumtionen är en minskning av material samt ett byte av material som framförallt krävs för att göra anläggningarna miljömässigt hållbara. En strävan efter detta är därför nödvändig. En minskning av antalet uppehållstankar i samtliga koncept kan sänkas om oljan hämtas fler än en gång per vecka. Det optimala är om uppehållstankarna elimineras genom att hämtningen av oljan sker direkt efter framställningen. För att få helt miljövänliga anläggningar behövs en satsning på mer innovativa lösningar som leder till en minskning av material samt utforskning av möjligheter till mer miljövänliga material. För framtida studier är det bland annat viktigt att ur miljömässig synpunkt byta ut PVC-plasten mot en annan typ av plast eller annat material som vid dess tillverkning inte släpper ut lika mycket kemikalier.

Överlag behöver flödet i både Koncept hybrid och Koncept cirkulationspool effektiviseras. Ju fler steg det är i en process desto svårare är det att optimera ett flöde. I Koncept framtid slås flera delprocesser ihop i Single Step Extraction, vilket leder till ett effektivare flöde. I förlängningen är denna metod billigare och miljöpåverkansvärdet sjunker då färre inventarier krävs. Ytan för detta koncept reduceras avsevärt jämfört med de två andra koncepten som fungerar idag. Vi anser dock att denna metod behöver utvecklas då den är relativt ny och det har under projektets gång varit svårt att avgöra hur funktionell och tillförlitlig Single Step Extraktion metoden är. Utifrån resultatet bör tekniker där flera steg slås samman utvecklas så att kostnader och miljöpåverkan sänks.

I framtiden är en satsning på att utveckla processer som inte förstör de högvärdiga beståndsdelarna i algerna såsom kolhydrater och proteiner att föredra. Om dessa ämnen efter extraktion av olja fortfarande är användbara kan de säljas vidare till högre priser och i Koncept framtid utforskas denna möjlighet. På grund av de stora kostnaderna som anläggningen har ger detta i konceptet endast en liten vinst, men genom en framtida nedskärning av kostnaderna kan denna vinst få betydelse.

Efter diskussion med Börje Gevert, docent på avdelningen för Teknisk ytkemi Chalmers Tekniska Högskola, framkom att det kan bli mer ekonomiskt lönsamt om biomassan som blir över efter extraktionen pyrolyseras istället för att säljas vidare för rötning till biogas. Detta på grund av att ett större utbyte av råolja erhålls då den resterande biomassan också blir till råolja och restprodukterna från pyrolysen kan säljas som gödningsmedel. Om pyrolysmetoden används kan koldioxiden, som produceras vid förbränningen, användas till odlingen av algerna. Detta medför att produktionsprocessen inte är beroende av ett annat företag för att få koldioxid till odlingen, vilket är positivt ur risksynpunkt. Då vi fick denna information i slutskedet av studien fanns det inte tid för att utreda hur detta skulle påverka resultatet, men det är något som är relevant för framtida utredningar.

8.4. Framtidsscenario

Ekonomiresultatet visar att det idag inte är lönsamt att bedriva en verksamhet som producerar algolja. I samtliga koncept går företaget med stora förluster, då priserna inte kan konkurrera med fossil råolja och därmed inte fossilt flygbränsle. Koncept framtid i Libyen ger lägst kostnad på algolja, 12.5 kronor per liter. Kostnaden är en framtida hypotetisk kostnad och för att denna kostnad ska vara jämförbar med fossil råolja krävs ytterligare förbättringar vid produktion av algolja. Känslighetsanalysen för ekonomin visar att kostnaden vid minskning av flera parametrar resulterar i en kostnad för algolja på 8.3 kronor per liter, vilket är betydligt mer lovande. Detta förutsätter dock mindre materialåtgång, lägre elkostnader och en reducering av ”andra kostnader”.

I scenariot med ett högt oljepris på 8.5 kronor per liter för fossil råolja, för år 2035, som illustreras i Figur 6-1, ligger framtidskonceptet relativt nära, då kostnaden är 12.5 kronor per liter för algolja. Följer däremot oljepriset kurvan för lågt oljepris, som resulterar i ett pris på 2.6 kronor per liter år 2035, blir det svårare för algoljan att bli konkurrenskraftig. Det mest realistiska är att priset följer den uträknade kurvan baserat på år 2010 och ger år 2035 ett oljepris på 6.1 kronor per liter. Det är svårt att uppskatta hur den verkliga oljeprisutvecklingen kommer bli, men på grund av att resurserna minskar och klimatpåverkan ska minimeras är det mest troliga att priset för fossil olja inte kommer att minska utan snarare öka. Då algflygbränsle är ett lovande alternativ är det tänkbart att stora satsningar inom området kommer att göras. Under åren fram till år 2035 bör därför tekniken ha utvecklats till följd av en växande marknad, vilket sammantaget skulle kunna pressa kostnaden till en konkurrerande nivå. Med ett ökande pris på fossil råolja och en minskande kostnad på algolja anses framtidsutsikterna vara goda. Priset på algolja behöver nödvändigtvis inte vara exakt lika med det fossila råoljepriset, eftersom politiska styrmedel och den enskilda personens betalningsvilja kan ha en inverkan. I dagsläget finns exempelvis transporttjänster inom logistiska företag där köparen kan bestämma om transporten ska ske miljövänligt med biobränslen. Samma tjänst kan tillämpas i flygindustrin vad gäller transport av gods och passagerare.

Det totala miljöpåverkansvärdet på anläggningarna i koncepten blir negativt, men utvinning och användning av fossila bränslen ger troligen ett större negativt miljöpåverkansvärde. Den negativa miljöpåverkan som våra anläggningar utgör består främst av resursanvändning. Anläggningarna i koncepten är koldioxidneutrala och bidrar inte till den globala uppvärmningen.

8.4.1. Underlättande och motverkande krafter

Sverige är ett land som ställer höga krav på sina koldioxidutsläpp samt sin miljöpåverkan. Detta gör att ett förnybart bränsle från alger kommer att stödjas och underlättas med implementering av nya styrmedel, som kan påverka både företag och privatpersoner. Om nya styrmedel tas fram kan marknaden för algolja bli oberoende av kostnadskurvan för fossil råolja, så länge algoljan håller ett pris som köpare är villiga att betala. Kan en marknad för algolja etableras kommer konkurrens uppstå vilket driver utvecklingen framåt.

Många länder har en strävan att bli oberoende och en produktionsanläggning för framställning av bränsle från alger skulle kunna bidra med detta med avseende på råolja. De länder eller företag som lyckas framställa ett kommersiellt flygbränsle från alger gör en vinning både ekonomiskt, men också miljömässigt samtidigt som de bidrar till en hållbar utveckling. En annan motivering för aktörer är att de även kan göra en vinst på försäljning av restprodukterna till högvärdiga applikationer.

Om aktörer samarbetat och utbytt information hade utveckling gått fortare och tekniken hade kunnat vara mer utvecklad idag. Det kan dock finnas risk för att oljebolag köper upp och tar över marknaden i syfte att kontrollera utvecklingen och minimera hot från andra aktörer. Oljeproduktionsbolag och raffinaderier är väl medvetna om att de måste följa utvecklingen för olja som efterfrågas på marknaden. Detta gör att oljeproduktionsbolag har en motivation till att satsa kapital i förnybara bränslen och framförallt alger eftersom dessa även minskar andra utsläpp.

Sammanfattningsvis visar resultat och diskussion att innovationer och utveckling av dagens teknik för att producera flygbränsle från alger kan leda till en konkurrenskraft mot fossila flygbränslen. En kommersialisering av ett flygbränsle från alger har möjlighet att generera vinster på en global marknad men den kommer också generera i en vinst för vår miljö. Vår förhoppning är därför att det inom en nåbar framtid finns framställning av flygbränsle från alger för kommersialisering.

8.5. Antaganden

För att ett antagande skall anses rimligt och ha en grund att bygga på har vi utgått från data på existerande anläggningar som bedriver en produktionsprocess med de enskilda metoder vi valt.

Ett viktigt antagande för produktionen av algolja är att en verkningsgrad på 100 % antas i samtliga steg i processen. Förenklingen innebär att samtliga alger skördas och att samtliga lipider utvinns. Då ett optimalt produktionssystem eftersträvas är denna verkningsgrad ett mål, men orealistisk då väldigt få eller ingen produktion uppnår 100 % verkningsgrad. För att bestämma den verkliga verkningsgraden behöver samtliga delprocesser och dess verkningsgrad sammanställas och det krävs många produktionsprövningar för att fastställa denna.

Ett antagande som görs i beräkningarna för produktionsdata är approximationen av den fotosyntetiska effektiviteten. Den beräknas endast utifrån hur mycket energi som går in i anläggningen och hur mycket som fås ut. Det ger en förenkling av en rad väldigt komplicerade förlopp som positionering av anläggning, strömningshastighet av kultur och tillgång till näring eftersom dessa antas vara optimala. Fördelen är att beräkningen försummar de komplicerade förloppen och bestämmer därför approximativt den möjliga produktionsmängden. Nackdelen är att resultatet inte tar hänsyn till de processer som odlingen egentligen utgörs av och beror på. Det går att skapa en modell som tar hänsyn till dessa förlopp, men denna är komplex.

Därför anser och antar vi att beräkningar med den approximativa metoden för fotosyntetiska effektiviteten för produktionsmodellen ger en bra grund för att kunna utföra de resterande beräkningarna i materialförbrukning, elanvändning, användning av kemikalier, miljöpåverkan och ekonomi.

Biomassan antas i Koncept cirkulationspool och Koncept hybrid säljas vidare som substrat för biogasframställning. Detta är ett realistiskt antagande för anläggningarna som är placerad i Göteborg då marknaden för biogas är stor i Göteborgsområdet och det finns en efterfrågan på substrat. Enligt dagens forskning ska algbiomassa kunna konkurrera med andra substrat och inneha en god kvalitet, men om detta gäller även då olja extraherats undersöks i nuläget. Vad gäller antagandet för anläggningarna i Libyen är det oklart hur realistisk detta är då marknaden här inte undersöks. En möjlighet är att substratet fraktas till Göteborg för försäljning. För Koncept framtid antas resterande biomassa säljas till mer högvärdiga applikationer. Det finns däremot en osäkerhet hurvida biomassan innehåller tillräckligt hög kvalitet och om samtliga beståndsdelar är hela efter att algmassan genomgått extraktionen.

I rapporten görs antaganden och uppskattningar vad gäller resurstillförsel. Vi antar att resurser som spillvärme, koldioxid och avfallsvatten med näringsämnen tillförs gratis. En närliggande industri eller företag som kan bidra med detta skulle göra en miljömässig och ekonomiskt vinst trots att de ger bort resurserna. Ett reningsverk som producerar stora mängder avfallsvatten och spillvärme pumpar med fördel detta till vår anläggning eftersom utsläpp av avfallsvattnet inte sker direkt ut i sjöar eller hav. Detta medför att ett samarbete med vår anläggning ger en minskad miljöpåverkan, som till exempel att undvika övergödning, och reningsverket behöver inte genomföra en rening av avfallsvattnet till en lika hög reningsgrad innan det pumpas ut. En industri som bidrar med koldioxid skulle skänka sina koldioxidutsläpp och därmed inte ha samma behov av att utnyttja sina utsläppsrätter. I ett kommersiellt syfte vill företag ha låga utsläpp av koldioxid och att de till exempel kan bli miljöcertifierade. För att en industri eller ett företag skall vara attraktiva på marknaden måste de vara med i utvecklingen och sänka sina koldioxidutsläpp då högre krav ställs från såväl lagar som privatpersoner och andra företag.

Sammanfattningsvis bidrar alla antaganden till att rapporten blir förenklad, men vi anser att samtliga antaganden är vedertagna. Vi antar även att de antagandena vi vidtagit är approximerade på det sättet så att några av dem kommer att inneha värden i underkant och några i överkant av det verkliga värdet vilket ger ett totalt resultat som är verklighetsbaserat.

9. Slutsats

Inom en snar framtid måste det fossila flygbränslet ersättas med ett förnybart alternativ. Det alternativ som verkar mest lovande i dagsläget är att utvinna råolja ur mikroalger. Denna produktionsprocess är hittills alltför komplex, känslig och dyr för att utföra kommersiellt i industriskala. Med dagens teknik kan priset på flygbränsle från alger inte konkurrera med dagens pris på fossilt flygbränsle. Den lägsta kostnaden på algoljan med dagens teknik är 22.8 kronor per liter vilket kan jämföras med priset för fossil råolja som är 4.4 kronor per liter. För att dessa kostnader i framtiden skall vara jämförbara behövs en utveckling av det koncept som vi redan anser är ett framtidsscenario, Koncept framtid som har en kostnad för algoljan på 12.5 kronor per liter. En annan anledning som gör flygbränsle från alger konkurrensförmåligt är reglering av styrmedel och utsläppsrätter. De tekniska innovationer som efterfrågas är de som ger en sänkning av priset och miljöpåverkansvärdet för produktionsprocessen. De tekniska innovationer som krävs är främst nya lösningar för odlingssystemen så att ytan för dessa kan sänkas. Ett exempel är att det krävs ett mer tidseffektivt och kontinuerligt odlingssystem. Detta skulle även leda till att materialåtgången sänks, vilket ger avsevärt stora vinster ur miljömässigt och ekonomiskt perspektiv.

Att hitta alger med en hög lipidhalt och bra odlingsegenskaper är också en förutsättning för lönsamma och hållbara framtida produktionsanläggningar. Det finns även ett flertal externa processer som kan utnyttjas, så som kvävesvält, där algernas lipidhalt ökas. Vid en reduktion av halten kväve kan lipidhalten öka från 30 % till 55 % för algen *Chlorella Vulgaris*. Detta är dock en metod som behöver utforskas ytterligare i industriell skala då det i dagsläget endast utförts med goda resultat i laborativ skala. Eftersom alger har ett stort behov av ett optimalt klimat för att producera maximal halt av lipider bör en anläggning ur produktivitetssynpunkt lokaliseras i ett fördelaktigt klimat med hög global bestrålning. Detta resulterade i en lokalisering av en produktionsanläggning i Libyen. En slutsats från våra resultat är att kostnaden och miljöpåverkan som transporter bidrar med är försumbar i förhållande till totala kostnaden. Anläggningen i Göteborg har dessutom en mer negativ miljöpåverkan än i Libyen eftersom dess produktivitet är lägre och därför kräver en större yta för att framställa samma mängd råolja.

En annan förutsättning är att produktionsanläggningen måste vara belägen nära industrier som kan bidra med avfallsvatten, koldioxid samt spillvärme eftersom dessa är nödvändiga vid odling av alger. Detta medför att industrierna kan sänka sitt koldioxidutsläpp och därmed reducera antalet utsläppsrätter och att ett reningsverk inte behöver behandla sitt avfallsvatten innan det släpps ut.

Även om det krävs utveckling och forskning för att få fram ett konkurrenskraftigt flygbränsle från alger är realiteten att koldioxidutsläppen måste minskas. Ett utbyte av fossilt flygbränsle till förnybart flygbränsle kan bli en del av minskningen av dessa utsläpp. Ett ytterligare faktum är att de fossila reserverna som utnyttjas idag kommer att ta slut. Drivkraften och motivationen för att genomdriva utvecklingen av framställningen av flygbränsle från algolja för ett kommersiellt syfte anses därför vara stor. Vi anser att ett flygbränsle från alger har stor potential för framtida användningen om investeringskapital och tid satsas på forskning och utveckling.

10. Referenser

- [1] Luftfartsverket, LFV. (2010) Flyget & miljön – frågor och svar. <http://www.lfv.se/sv/Miljo/Flyget--miljon--fragor-och-svar/> (2012-02-06)
- [2] Miljödepartementet (2011) Flyget och utsläppshandel. <http://www.regeringen.se/sb/d/7039/a/76831> (2012-02-06)
- [3] Luftfartsverket, LFV. (2010) Mer om Grönt Flyg. <http://www.lfv.se/sv/Miljo/Flyget--miljon--fragor-och-svar/> (2012-02-06)
- [4] Augustsson, T. (2011) Fiberkomposit lyfter lättare plan. Svenska Dagbladet, SvD, 5 september. http://www.svd.se/naringsliv/innovation/fiberkomposit-lyfter-lattare-plan_6441152.svd (2012-02-10)
- [5] Owen N.A., et al. (2010) The status of conventional world oil reserves – Hype or cause for concern? Energy Policy, nr 38, ss. 4743-4749.
- [6] (2012) IMF warns over risk of Iran oil price shock. BBC News Business, 25 januari. <http://www.bbc.co.uk/news/business-16728942> (2012-02-06)
- [7] Kinder, JDK et al. (2009) Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosenes (Bio-SPK) <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/Bio-SPK.pdf> (2012-04-17)
- [8] Enviro Aero (2011) Beginner's Guide to Aviation Biofuels http://www.enviro.aero/Content/Upload/File/ATAGGuide_Update_FIN_web.pdf (2012-04-17)
- [9] Chisti Y, (2008) Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends Biotechnol. nr 26, ss. 126-31.
- [10] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland., 16-23.
- [11] Solazyme Announces First U.S. Commercial Passenger Flight on Advanced Biofuel (2011) <http://solazyme.com/media/2011-11-07> (2012-02-08)
- [12] Grima, M. et al, (2003) "Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics", Biotechnology Advances, vol. 20, no. 7-8, pp. 491-515.
- [13] Brennan, L. et al (2010) "Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products", Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 14, no. 2, s. 557-577.
- [14] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. s.1, 1-21.
- [15] Miljödepartementet (2012) Nationellt klimatarbete. <http://www.regeringen.se/sb/d/8756> (2012-04-17)
- [16] Johansson, Finnveden, Moberg.(2001)Metoder för förenklade, kvalitativa livscykelanalyser av produkter och materiel. Stockholm: TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT Avdelningen för Försvarsanalys.
- [17] Baumann, Tillman. LCA i ett nötskal. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Miljösystemanalys

- [18] Baumann H, Tillman AM. (2004) The Hitch Hiker`s Guide to LCA.1:3. Lund: Studentlitteratur AB. Sid 162-163.
- [19] Steen B. (1999) A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS) Version 2000-General system characterization. Goteborg: Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning. page 18
- [20] Patil, V., Tran, K-Q., Giselød, H G. (2008)Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae. International Journal of Molecular Science, vol. 9, ss. 1188-1195
- [21] Bauen, A. et al. (2009) Biofuels in aviation. London: E4tech (Finalreport)
- [22] Transportstyrelsen (24 maj 2010) ”EUs system med med utsläppshandel”, <http://www.transportstyrelsen.se/Luftfart/Miljo/EUs-handel-med-utslapps-ratter/> [21-04-12]
- [23] Miljödepartementet (2 februari 2012), Pressmedelände: <http://www.regeringen.se/sb/d/15859/a/185407> [21-04-12]
- [24] Lunds Universitet, Lets2050 (21 November 2011), ”Ekonomiska och politiska styrmedel”, <http://www.lth.se/lets2050/omraaden/wp1/> [21-04-12]
- [25] Klimatkompensation utan vinstintresse 2006, (11 December 2011), http://www.utslapps-ratt.se/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=57&lang=se [21-04-12]
- [26] Hammarlund C. et al, (2010) Bränsle för ett bättre klimat- marknad för politik och biobränslen, AgriFood Economics Centre. http://www.agrifood.se/Files/AgriFood_Rapport_20105.pdf
- [27] Oil-Price.net <http://www.oil-price.net/> [2012-05-01]
- [28] U.S Energy Information Administration (2012), AEO2012 Early Release Overview, [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er\(2012\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er(2012).pdf) [2012-05-07]
- [29] IATA Economics, http://www.iata.org/whatwedo/economics/fuel_monitor/Pages/index.aspx [2012-05-07]
- [30] Andersson S, Edfeldh E. (2011) Lönsamhetsanalys för svenskproducerat biojetbränsle baserat på alger. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan (Kandidatarbete på Industrial Engineering and Management Energy) Fig. 6 s. 38.
- [31] Robert A. Andersen, Algal Culturing Techniques, 2005,Elsevier Academic Press/Phycological Society of America. sid 1, 7.
- [32] Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances, 25, 294-306
- [33] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. 37.

- [34] Wijffels, R. (2008) Production potentials. Research on microalgae within Wageningen UR. http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/production_potentials/ (2012-04-10)
- [35] Brennan, L. (2010) Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 557-577
- [36] Mallick N. (2011) Green microalga *Chlorella vulgaris* as a potential feedstock for biodiesel. Society of Chemical Industry
- [37] Robert A. Andersen, *Algal Culturing Techniques*, 2005, Elsevier Academic Press/Phycological Society of America. Sid 1, 7.
- [38] Grima, M. et al, (2003) “Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics”, *Biotechnology Advances*, vol. 20, no. 7-8, pp. 491-515.
- [39] Schenk, P.M. et al (2008) “Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production”, *Bioenergy Research*, vol. 1, no. 1, s.20-43.
- [40] <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/HD8-Nrel.pdf> [2012-02-28]
- [41] Neltner, B. (2008). *Algae Based Biodiesel*, MIT <http://web.mit.edu/neltner/www/papers/Algae%20Based%20Biodiesel.pdf> [2012-02-25]
- [42] Mercer, P., Armenta, RE. (2011) Developments in oil extraction from microalgae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 113, ss. 539-547
- [43] D’Elia, L., Keyser, A., Young, C. *Algae Biodiesel*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute
- [44] Hedenfelt E. (2010) *Mikroalger för hållbar energiproduktion*, Malmö Högskola, C-uppsats i miljövetenskap.
- [45] U.S. DOE (2010) *National Algal Biofuels Technology Roadmap*; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. S. 20-22.
- [46] Dermibas, M.F. (2011) Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*, vol.88, ss. 3473–3480
- [47] Rodolfi, L et al. (2009) Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 102, nr 1, ss. 100-112
- [48] Edberg, A. (2010) *Growth of Chlorella Vulgaris at high carbon dioxide levels in Swedish light condition*. Umeå: Umeå universitet (Examensarbete inom institutionen för teknik)
- [49] Andersson, A., Edfeldt, E. *Lönsamhetsanalys för svenskproducerat biojetbränsle baserat på alger*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan (Kandidatarbete inom institutionen för Energi Teknik)
- [50] Lassing, M et al. (2008) *Biodiesel Production from Microalgae*. Lund: Lunds Tekniska Högskola (Kandidatarbete inom institutionen för Kemiteknik)
- [51] Wijffels, RH., Barbosa, MJ., Eppink, MHM. (2010) Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol.4, ss. 287-295

- [52] Dismukes, C. et al. (2008) Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Energy biotechnology / Environmental biotechnology*, 19, 235-240
- [53] Posten, C. (2009) Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Eng. Life Sci.* 9, 165–177
- [54] Torzillo G., et al. (1993) A Two-Plane Tubular Photobioreactor for Outdoor Culture of *Spirulina*. *Biotechnology and Bioengineering*, 42, 891 -898
- [55] Huntley, M. et al. (2007) CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 12, 573-608
- [56] Divakaran, R. et al (2002) “Flocculation of Algae Using Chitosan”, *Journal of Applied Phycology*, vol. 14, no. 5, s. 419-419.
- [57] Neltner, B. (2008). Algae Based Biodiesel, MIT <http://web.mit.edu/neltnerb/www/papers/Algae%20Based%20Biodiesel.pdf> [2012-02-25]
- [58] Desmorieux, H., Decaen, N. (2005) Convective drying of spirulina in thin layer. *Journal of Food Engineering*, (Volym/nr?)66, 497–503.
- [59] <http://www.algalturfscrubber.com/> [2012-03-11]
- [60] Mercer, P., Armenta, RE. (2011) Developments in oil extraction from microalgae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 113, ss. 539-547
- [61] Hedenfelt E. (2010) Mikroalger för hållbar energiproduktion, Malmö Högskola, C-uppsats i miljövetenskap.
- [62] Holgersson p. et al (2011) Substratmarknadsanalys, Sammanställning och analys av substratmarknaden, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut et al.
- [63] Spolaore, P (2006) Review-Commercial Applications of Microalgae. *JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING*, Vol. 101, No. 2, 87–96.
- [64] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 December, 2008, College Park, Maryland. P.61-68.
- [65] D’Elia, L., Keyser, A., Young, C. *Algae Biodiesel*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute
- [66] Andersson V, Broberg S, Hackl R. (2011) Integrated algae cultivation for biofuels production in industrial cluster. Program Energisystem forskning och forskarskola.
- [67] Lardon L et al. (2009) Life-cycle Assesment of biodiesel Production from Microalgae. France, Narbonne: Laboratoire de Biotechnologie de l’Environment.
- [68] Duboc, P., I. Marison and U. Von Stockar (1999). Quantitative calorimetry and biochemical engineering. *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*. R. B. Kemp, Elsevier Science. From Macromolecules to Man.
- [69] Norsker, N-H, Barbosa, M et al. (2011) Microalgal production – A close look at the economics. *Biotechnology Advances*, 29, 24-27

- [70] Steen B. (1998) A systematic approach to environmental priority strategies in product development(EPS) Version 2000-Models and data of the default method Goteborg: Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning.
- [71] Ineos miljörapport 2011
- [72] Jimmie Enhäll, (2011) Sveriges Priser på jordbruksmark 2010, ISSN 1654-4048, Statens Jordbruksverk http://www.scb.se/Statistik/JO/JO1002/2010A01/JO1002_2010A01_SM_JO38SM1101.pdf [2012-03-25]
- [73] World Databank, WDI <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do> [2012-03-25]
- [74] David Andersson, Tanker Charterer Broström AB, david.andersson@brostrom.com <http://www.marinetraffic.com/ais/se/shipdetails.aspx?MMSI=219245000b> [2012-05-07]
- [75] Tullverket <http://www.tullverket.se/kontaktaoss.4.3363b9d1115a25081618000115.html> [2012-05-07]
- [76] Ekendahl S, et al. (2011), Mikroskopiska alger som kombinerad koldioxid-sänka och energikälla i Sverige, Värmeforsk Service AB, Stockholm Augusti 2011
- [77] Neltner B. Tester J. (2008), Algae based biodiesel, Massachusetts Institute of Technology, <http://web.mit.edu/neltnerb/www/papers/Algae%20Based%20Biodiesel.pdf> [2012-05-07]
- [78] Julia Växthus, 17.1 m² 595 SEK ger 34.79 SEK/m² <http://www.jula.se/vaxthus-med-pvc-plast-716003> [2012-04-17]
- [79] Harun R. et al (2010) Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility, Biomass and Bioenergy vol. 35 (2011) pp. 741-747
- [80] ICIS Pricing http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage90.asp [2012-03-25]
- [81] Din El (2012) <http://dinel.se/> [2012-03-25]
- [82] UPDEA, (2009) Comparative study of electricity tariffs used in Africa, <http://www.updea-africa.org/updea/DocWord/TarifAng2010.pdf> [2012-03-25]
- [83] Lönestatistik (2012) <http://www.lonestatistik.se/loner.asp/yrke/Ingenjor-1164> [2012-03-25]
- [84] United States Department of State, (25 februari 2009), "2008 Country Reports on Human Rights Practices, Libya". <http://www.state.gov/j/drl/rls/hrrpt/2008/nea/119121.htm> [2012-03-25]
- [85] Fredriksson O. Gryab, Biogasanläggningen I Göteborg, Biogasportalen.se [2012-05-07]
- [86] Holgersson p. et al (2011) Substratmarknadsanalys, Sammanställning och analys av substratmarknaden, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut et al.

Bilaga A. Produktionsmodell

Produktion och tillväxt av alger är beroende på ett fleral parametrar såsom temperatur, tillgång till koldioxid, tillförsel av näringsämnen, solljusintensitet och antal soltimmar. Projektets syfte är att undersöka och jämföra två liknande produktionsanläggningar med olika lokaliseringar för största ekonomiska och miljömässiga vinst. En av de grundläggande variablerna för denna jämförelse är produktionskapaciteten för de olika anläggningarna baserat på typ av odlingsystem samt lokalisering.

Den valda metoden har använts för att beräkna produktionen av alger i Eindhoven, Nederländerna av Norsker N-H och Barbosa M. [1] Denna består av en matematisk modell beroende på fyra parametrar: fotosyntetisk effektivitet % (PE), areal produktion g/(dag*m2) (Pa), förbränningsentalpi MJ/g (h) och global solstrålning MJ/(dag*m²) (I).

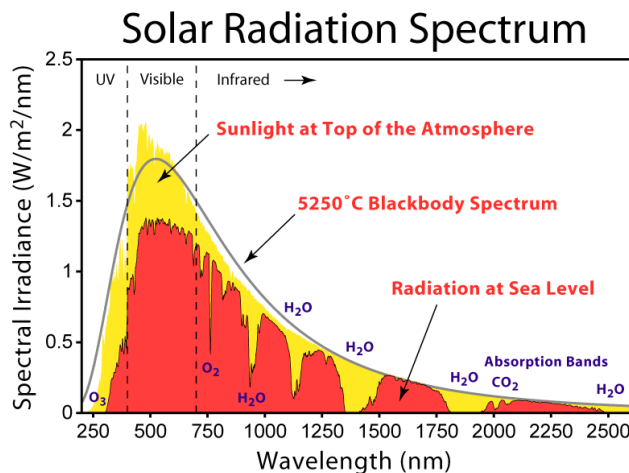
$$PE = \frac{P_a \cdot h}{I} \cdot 100$$

För att beräkna areal produktion;

$$P_a = \frac{PE \cdot I}{h \cdot 100}$$

Solstrålning

Strålning från solen som når jorden spänner över ett stort band av elektromagnetisk strålning, från 1 nm till 100 mm. Dessa är konstruerade av kortvågig ultraviolett strålning, synligt ljus och infraröd strålning. En del av strålningen blir absorberad av atmosfären, vilket främst gäller kortvågig strålning med hög energi såsom UVC och UVB strålning. Den resulterande energin som når jorden uppskattas till 1366 W/m². [3]

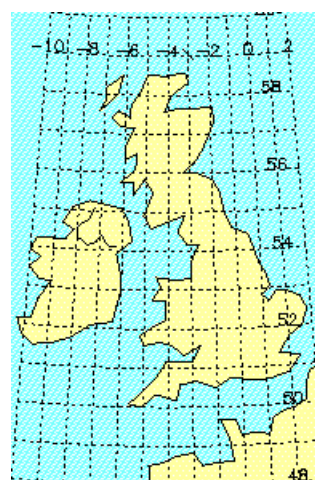


Figur A-1. Diagram över fördelningen av energin per nm i relation till våglängden för en svart kropp på 5800 Kelvin samt uppmätt från solens i atmosfären och i marknivå. [2]

Solstrålning kan ses som ett spektrum för en svart kropp med en temperatur på cirka 5800 Kelvin. Detta medför att solen skickar ut strålning över flera regioner men att det är främst röntgenstrålning, UVstrålning, synligt ljus, infraröd strålning och radiovågor som kan mätas från solen. I Figur A-1 är svartkroppsspektrat uppritat tillsammans med strålningen som når toppen av atmosfären samt strålningen som når jordytan. Diagrammet visar på x- respektive y-axeln, våglängd och spektral irradians, som är effekten av den infallande strålningen på en yta per areaenhet uttryckt i watt per kvadratmeter per nanometer ($W/m^2/nm$). [4]

Det synliga ljuset spänner över våglängderna 280 nm till 700 nm och utgör 48 % av energin av den inkommande solstrålningen till jordens yta. [3] För alger och andra fototrofiska organismer tas energi från solen utav det synliga ljuset i ett intervall mellan 400 nm till 700 nm [5]

För att mäta den mängd solstrålning som når jordens yta kan olika metoder användas. En metod är att mäta den så kallade globalstrålningen, det vill säga den totala mängd solstrålning som träffar en horisontell markyta. Denna strålning är den sammanlagda strålningen av solen, så kallad direkt strålning, och strålning som reflekteras av partiklar i luften, exempelvis moln, så kallad diffusiv strålning. Detta mäts i enheten kWh/m², det vill säga den strålning som mäts upp på en yta och värdet varierar mellan olika regioner på jorden. Om detta värde sätts samman med en viss tidsperiod, exempelvis det genomsnittliga antal soltimmar under ett dygn under en månad ges mätenheten global bestrålning.[6] Denna betecknas med I i produktionsmodellen och har enheten kWh/m²/dag.



Figur A-2. Bild över Storbritannien uppdelad i longitud och latitud. Detta skapar ett rutnät där varje ruta ger värden på global irradiation. [8]

För att undersöka den globala bestrålningen i olika regioner på jorden används databaser. För projektet har information hämtats från NASA Surface meteorology and Solar Energy [7]. Denna databas innehåller månadsvis global bestrålning för ett medelvärde av åren juli 1983 till juni 2005. Dessa mätningar har gjorts med hjälp av satelliter och därefter bearbetats med algoritmer för att ge global bestrålning. Dessa värden är insatta i ett rutnätssystem baserat på latitud och longitud se exempel i Figur A-2, och bildar en databas med 44,016 regioner utspridd över hela jordklotet med storleken 30x30 km.[8]

För att finna lämpliga datapunkter för regioner av intresse används lämplig webbbase-radkartfunktion för att finna longitud och latitud för regionen exempelvis via hemsidan <http://www.findlatitudeandlongitude.com/>. Dessa värden är därefter avrundade till heltal på grund av upplösningen hos mätpunkterna. Enheten för global irradiation ges i kWh/m²/dag och multipliceras med antal dagar i uppmätt månad för att ge den totala global bestrålningen för den månaden.

Förbränningsentalpi

Förbränningsentalpin, $\Delta_c H^{\circ}$ (kJ/C-mol), är ett mått på energiinnehållet i ett ämne eller material. I projektets är det algens förbränningsentalpi som är av intresse och har använts för parametern h i produktionsmodellen. Värdet för förbränningsentalpin hos en alg kan bestämmas experimentiellt, exempelvis genom en bombkalorimeter men kan även beräknas med hjälp av Roels korrelation (1). [9] Denna korrelation bygger på ett samband mellan förbränningsentalpin och reduceringsgraden γ (2). Den senare bestäms genom att undersöka sammansättningen av grundämnen i organismen med avseende på kol.

$$\gamma = 4 + 1 \cdot H - 2 \cdot O - 0 \cdot N \quad (1)$$

$$Q_0 = \frac{\Delta_c H^{\circ}}{\gamma} \quad (2)$$

Detta samband är kvoten mellan den förbränningsentalpin och reduceringsgradsbalansen som ger oxycaloric kvoten Q_0 , vars enhet är kJ/e-mol. I försök har det funnits att denna kvot ofta är konstant i organismer med värdet -104,8 k kJ/e-mol. Därmed kan förbränningsentalpin $\Delta_c H^{\circ}$ beräknas om reduceringsgraden bestäms från algens sammansättning.

Med hjälp av denna ekvation beräknades värdet av *C. vulgaris* förbränningsentalpi till 26200 J/g DW med 30 % lipidinnehåll genom litterära källor. [1] Förbränningsentalpin ges i C-mol, därmed måste algens kolinnehåll och molvikt vara känt för att få ut värdet i J/ g DW. [9]

Areal produktion

Den areala produktionen benäms som P_a i produktionsmodellen och har enheten g DW/m²/dag, där DW står för vikten av torr algbiomassa. Det är inte markytan som odlingssystemet upptar som ger den areala produktionen, utan den yta produktionssystemet tillgår för odling av alger. Detta innebär att ytan av en öppen damm, likaså mantelarean i en rörförmad tubreaktor ger areala produktionen i dessa system.

Fotosyntetisk effektivitet

Den fotosyntetiska effekten (PE) är den fraktion av energin från solstrålningen som bildar kemisk energi under fotoautotrofisk tillväxt, det vill säga den procentuella mängden energi som tas av inkommet solljus för att algen skall växa. Solljuset består av fotoner och genom beräkningar av deras energiinnehåll och andra faktorer såsom förbränningsentalpi för biomassan kan det beräknas hur stor den fotosyntetiska effekten maximalt kan vara. Alger antas ha en maximal fotosyntetisk effekt på 9 %. Genom att studera den energin som algerna tar tillvara på i relation till deras tillväxt kan den fotosyntetiska effekten beräknas för olika odlingsystem och arter. I produktionsmodellen är värdet för PE taget från litterära källor samt uppskattade för speciella fall. [5] Beroende på vilken anläggning som används ges olika PE.

Motivering och kritik för vald model

Formeln för beräkning av den areala produktionen är inte utan brister. Metoden förenklar och bortser från faktorer som är viktiga för odling av alger. Dessa faktorer kan delas upp i allmänna och parameterspecifika problem.

Det finns en överhängande risk att systemet kontamineras av oönskade organismer i en algodling och på så sätt minskar produktiviteten. Systemet kan då tvingas stängas ner för sanering. Detta är inget som metoden tar hänsyn till och det är en svår parameter att uppskatta och därför görs detta inte i uträknad data.

Andra viktiga faktorer för odlingssystemen är tillgången på koldioxid, näringsämnen och variationen i temperatur. Dessa parametrar är viktiga för en algodling, men den enda parametern i modellen som reglerar produktiviteten är den fotosyntetiska effekten. Denna är beroende på hur mycket energi som går till tillväxt av algerna. Detta gör att vald metod förenklar odlingsförloppet och antar att tidigare nämnda faktorer i tillgång av koldioxid, näringsämnen och variationer i temperatur endast spelar in på tillväxt, när de i verkligheten kan ha stor inverkan på exempelvis lipidkoncentration i algerna.

Algerna antas tillgodogöra sig all inkommande solstrålning enligt procentsatsen given av PE, men vid för mycket solstrålning uppkommer fenomenet fotoinhibering [10]. Detta innebär att algerna kan få minskad tillväxt.

Det finns många fördelar med att använda denna metod. Projektets utformning är inte att finna den mest tekniskt korrekta anläggningen med avseende på produktion, utan det är att studera ett större perspektiv med avseende på ekonomi och miljö. Detta gör att denna metod användbar genom att använda en simplificerad formel som fortfarande tar hänsyn till val av alg (h), odlingssystem (PE), och lokalisering (I) för att kunna skapa olika scenarion och koncept. Metoden är ett bra verktyg för att lägga en grund för utformandet av en produktionsanläggning i industriskala.

Referenser

[1]	Norsker, N-H, Barbosa, M et al. (2011) Microalgal production – A close look at the economics. <i>Biotechnology Advances</i> , 29, 24-27
[2]	Robert A. Rohde (2007) Solar Spectrum [Wikipedia] http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Solar_Spectrum_png (2012-04-05)
[3]	(2009) Solstrålning. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI. http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186 (2012-04-05)
[4]	(2012) Sunlight. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight (2012-04-05)
[5]	Wijffels, R. (2008) Production potentials. Research on microalgae within Wageningen UR. http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/production_potentials/ (2012-04-10)
[6]	(2011) Klimatindikator – globalstrålning. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI. http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/stralning/stralning-1.17841 . (2012-04-05)
[7]	(2008) NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Data Set (Jan 2008) 22-year Monthly & Annual Average (July 1983 - June 2005). NASA Surface meteorology and Solar Energy. http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/global/text/global_radiation (2012-03-15)
[8]	Horizontal Grid for Input and Output. NASA Surface meteorology and Solar Energy. http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s04#s04 (2012-03-15)
[9]	Duboc, P., I. Marison and U. Von Stockar (1999). Quantitative calorimetry and biochemical engineering. <i>Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry</i> . R. B. Kemp, Elsevier Science. From Macromolecules to Man.
[10]	Donald R. Ort et al. (2010) Optimizing Antenna Size to Maximize Photosynthetic Efficiency. <i>Plant Physiology</i> , 155, 1, 79-85.

Bilaga B. Kartläggning av produktionsprocess för algolja

För att framställa flygbränsle från alger krävs flera processer och delsteg. Varje val av delprocess påverkar nästkommande steg eftersom varje del har specifika krav. I nuläget är detta en dyr produktion som är både energi- och tidskrävande. Grunden till många av de metoder som idag används vid produktion av biomassa från alger i industriskala är framtagna under sena 1800-talet och i början på 1900-talet. [1] Inte förrän i början på 2000-talet började en ny generation av anläggningar med mer utvecklade tekniker att testas för framställning av flygbränsle. Den nyare eller utvecklade tekniken för odling av alger utförs och fungerar framförallt i laborativ skala. Vid en uppskalning till pilotskala och slutligen till industriskala uppkommer dock flera problem. En faktor som är av stor betydelse är klimatet för det område anläggningen är lokaliserad då detta påverkar temperatur, tillgång på solljus, variation i årstider och vattentillgång mycket. [2]

Detta kapitel beskriver varje del av produktionsprocessen för framställningen av flygbränsle från alger med metoder som förekommer i både pilot- och industriskala. Produktionsprocessen är uppdelad i avsnitt om alger, odlingsmetoder, skördningsmetoder, utvattningsmetoder, extraktionsmetoder, förädlingen till flygbränsle samt användning av restprodukter. Varje del innefattar sedan en utförlig beskrivning på flera alternativa val eller metoder för att utifrån dessa ta fram koncept för produktionsanläggningar.

B.1 Alger

Alger kan delas in i tre olika grupper, som är cyanobakterier, mikroalger och makroalger vilka i sin tur även kan delas upp i arter. Av dessa grupper är det i dagsläget främst mikroalger som lämpar sig för flygbränsleproduktion. Inom gruppen mikroalger är det ett antal arter som redan odlats för produktion av flygbränsle men det bedrivs forskning på ytterligare arter. Det bedrivs även forskning på huruvida cyanobakterier och makroalger kan användas vid produktionen för flygbränsle. Egenskaper som efterfrågas är att algen ska ha ett högt lipidinnehåll, är enkel att odla och har en kort generationstid. Lipiderna utgör den bioolja som framställs och kan genom olika konversionssteg bilda biodiesel och flygbränsle. [3]

Cyanobakterier

Cyanobakterier, mest kända som blå-gröna alger, är en prokaryot, vilket betyder att den är en enklare typ av organism. De är betydligt mindre till storlek än mikroalger och makroalger. Inom gruppen cyanobakterier existerar flera arter med olika egenskaper. Exempelvis har några arter förmågan att fixera kväve vilket har visats användbart för att rena avfall från jordbruket. Andra arter har förmågan att skapa vätgas i olika processteg. Det som karakteriserar alla arterna av cyanobakterier är att de har fotosyntetiska egenskaper. Detta innebär att de med hjälp av solljus kan katalysera skapandet av ATP via en reaktion där reaktanterna koldioxid och vatten skapar produkterna syre och socker. [4]

Cyanobakteriers roll för biobränslen

På grund av deras enkla struktur lämpar sig cyanobakterier bra för genetisk modifiering i jämförelse med eukaryota organismer. Detta betyder att specifika stammar kan noggrannare undersökas och förädlas på laboratorium och kan då få en kortare generationstid.

Cyanobakterier producerar dock inte mycket lipider, en grundsten för dagens framställning av bioolja och biodiesel, utan framställer istället stärkelse och andra metaboliska produkter. Forskning visar att dessa utsöndrar sackaros och cellulosa. [4]

Makroalger

Makroalger, som även kallas sjögräs, är storleksmässigt större organismer i jämförelse med de andra alggrupperna. Dessa alger förekommer främst i saltvatten eller bräckt vatten. Makroalgers livscykel är komplex och de liknar landbaserade växter i form av strukturer på blad, stam och förankring. De innehåller en låg halt av lipider men en hög halt av kolhydrater. Den höga halten av kolhydrater gör att dessa alger idag odlas för användning inom bland annat matindustrin. [4]

Makroalgers roll för biobränslen

På grund av makroalgers låga halt av lipider lämpar sig dessa inte för produktion av flybränsle. Däremot kan det höga innehållet av kolhydrater omvandlas till ett flertal andra biobränslen som till exempel etanol. Det finns dock undantag där vissa arter innehåller en högre lipidhalt, 20 % av torrvikten, än andra och dessa kan vara lämpliga för att framställa biodiesel [6]. Odlingen av makroalger till matindustrin konkurrerar ut bränsleindustrin och eftersom algernas livscykel är komplex är det en kostsam process. [4]

Mikroalger

Uppdelning av mikroalger sker med avseende på pigment, livscykel och cellstruktur. Generellt har mikroalger ett högt lipidinnehåll och innehåller därför en hög andel energi. De vanligaste klasserna är de gröna algerna Chlorophyta, röda algerna Rhodophyta och diatomerna Bacillariophyta. Mikroalger kan antingen vara autotrofa, heterotrofa eller mixotrofa. Autotrofa organismer behöver endast organiska ämnen, koldioxid och solljus för att generera energi och växa. I fotosyntesen absorberas solljus och koldioxid i kloroplasterna för att omvandlas till ATP och syre. Heterotrofa organismer använder sig däremot av organiska molekyler, samt andra näringsämnen som källa för tillväxt och energi. Mixotrofa organismer har egenskapen att både kunna använda fotosyntes eller ta upp organiska ämnen för att generera energi och växa. [4]

Mikroalgers roll för biobränslen

Vissa arter av framförallt autotrofa mikroalger har flera egenskaper som gör de lämpliga för produktion av biobränsle. Generellt har mikroalger en hög produktivitet i jämförelse med andra grödor som används till biobränsle, vilket innebär att alger producerar mer olja per hektar. Detta beror främst på dess höga innehåll av lipider och att de reproduceras snabbt. En annan egenskap som gör autotrofa mikroalger mer fördelaktiga är att de kan växa under hela året i de länder där det finns tillräckligt med solljus. De kan odlas på ytor som inte används för annan odling och använder förhållandevis lite vatten i jämförelse med andra mat- och biobränslegrödor. Mikroalger har alltså många fördelar jämfört med andra källor till biobränsle och därför läggs stora resurser för att undersöka och utveckla produktionsteknologin för dessa alger. [4]

Alger för oljeframställning

Det finns många alger som har högt lipidinnehåll och kort generationstid vilket är viktigt vid framställning av flygbränsle. Exempel på alger som lämpar sig för detta är *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis salina*, *Spirulina* och *Botryococcus braunii*. [6] [7]

Chlorella vulgaris

Chlorella vulgaris är en grön mixotrof alg som kan leva i både salt och sötvatten. Den har en optimal tillväxttemperatur på 25°C och är inte känslig för pH-förändringar, men växer optimalt vid pH 6-8. *Chlorella vulgaris* har en lipidhalt på 10 % av biomassan då omgivande luft innehåller 10 % koldioxid. Vid en ökad halt av koldioxid i luften och en minskad tillgång på natrium kan en produktion av lipider upp till 30-50 % av biomassan erhållas.[8] Fördelen med *Chlorella vulgaris* är att den lätt kan anpassa sig till en odling på avloppsvatten och eftersom den är dominant i förhållande till andra alger fungerar den bra i öppna odlingssystem. *Chlorella vulgaris* är även temperaturtålig och kan växa i temperaturer ner till 6°C vilket är passart i det svenska klimatet.[9]

Dunaliella salina

Dunaliella salina är en grön, halotolerant alg som man kan hitta i hav, salta sjöar och salta våtmarker. Den är den mest halotoleranta eukaryot som finns och är äggformad med en cellvolym runt 100-1000 μm^3 . [10] *Dunaliella salina* har högt lipidinnehåll, upp till 60 %, och om saliniteten ökar från 0,5 M, som är en vanlig koncentration i havsvatten, till 1 M ökar lipidinnehållet till 67 %. Lipidinnehållet ökar även när saltkoncentrationen ökar till 2 M men då minskar cellkoncentrationen av algerna. [11] Fördelen med *Dunaliella salina* för att producera olja är att den kan växa i extrem salt miljö vilket gör att en odling med denna är skyddad från att bli kontaminerad av andra alger och organismer[12]. Idag odlas algen för dess förmåga att bilda karotenoider och betakaroten som är högvärdiga produkter. Det genomförs även genmanipulation på denna alg för att få den att producera ännu mer karotenoider.[10]

Nannochloropsis salina

Nannochloropsis salina är en gul-grön mikroalg som är utformad som en ellipsoid med en medellängd på 3,3 μm och en bredd på 1,9 μm . Den tillhör gruppen Eustigmatophyceae och är en marin alg. *Nannochloropsis salina* har en optimal tillväxttemperatur på 28°C och den är inte känslig för pH-förändringar då den kan leva i pH mellan 5-10,5.[13] Det finns både för- och nackdelar med att *Nannochloropsis salina* är en marin alg. Fördelen är att odlingen kan ske i havsvatten istället för i sötvatten och därmed inte konkurrera med produktionen av till exempel dricksvatten. Nackdelen är att saltvatten är svårt att hantera då det till exempel förstör utrustning genom korrosion. [7] [13]

Spirulina

Spirulina är en art blå-grön multicellulär cyanobakterie som är fotoautotrof. Denna algart har formen som en spiral och det är spiralformen som karakteriserar genuset. Däremot varierar storleken av spiralen mellan olika typerna inom arten. *Spirulina* kan leva i många olika miljöer så som jord, sand, bräckt-, söt- och saltvatten. Fördelen med *Spirulina* är att den kan leva i extrema miljöer och temperaturer. Till exempel är den halotolerant, har ett högt pH optimum mellan 8-11 och ett temperaturoptimum dagtid på 40 °C.

Den kan även leva i miljöer där den kemiska kompositionen gör att många mikroorganismer inte kan överleva. Allt detta medför mindre risk för kontamination i odlingen. Nackdelen med Spirulina är att den har en lipidhalt på 9-14 % vilket är för lågt om det ska bli lönsamt att producera olja utifrån dessa. [14]

Botryococcus braunii

Botryococcus braunii är grön alg som bildar kolonier med olika storlekar beroende på ljusintensiteten. Algens optimala kolväteproduktion sker vid en temperatur på 25°C och ett pH runt 6 för optimal kolväteproduktion. Det finns tre olika typer av Botryococcus Braunii och dessa kan hittas över hela världen förutom på Antarktis. De olika typerna heter A, B och L skillnaderna emellan dessa beror på kolväteproduktionen och längderna på kolvätekedjorna. Kolvätehalten i typ A-alger har uppmätts till 61 % medan typ B ofta har en kolvätehalt på 30-40 % och typ L har bara en halt på 8 %. Typerna A och B lever i olika alpin-, tropik- och inlandssjöar medans typ L bara har funnits i tropiska klimat. [13] Botryococcus Braunii har ens förmåga att bilda syrefattiga isoprenoider , vilka liknar alkaner i strukturen, med 32 till 38 kolatomer. B. Braunii's biomassa kan bestå med upp till 70 % isoprenoider och eftersom dessa har en väldigt lik sammansättning som den fossila råoljan kan de användas direkt i dagens raffinaderier utan förbehandling. Algens cellväggar är tunna och det är därför lätt att extrahera oljan. [15] En annan fördel med B.Braunii är att den innehåller mindre nitrogen och fosfor än andra alger vilket gör att den kräver mindre gödningsmedel och är energisparande [13].Nackdelen är att den är svårödlad och därför inte lämpar sig för framställning av biobränsle [15].

B.2 Odling

I samband med val av alg väljs också ett odlingssystem. Vilken typ av alg som odlas har en stor inverkan på systemet eftersom arternas egenskaper ger olika krav på odlingsförhållanden. Odlingssystemen varierar med avseende på storlek, öppen eller stängd konstruktion samt om systemet är slutet eller öppet mot naturen. Det finns även både land- och vattenbaserade odlingssystem. Gemensamt för alla odlingar är det krävs tillförsel av koldioxid och näringsämnen, som kväve och fosfor för att tillväxt ska kunna ske. [16]

Detta avsnitt kommer att presentera olika system för odlingar på land. Detta eftersom landbaserade odlingssystem är ett forskningsområde med fler och mer utvecklade system än vattenbaserade. Inledningsvis beskrivs processen för odling som inkluderar koldioxidupptagning och hur en odling kan utföra avfallsvattenrening . Därefter behandlas de olika odlingssystemen för autotrofa system som omfattar öppen damm-, stängda fotobioreaktors- och hybridproduktionsystem. Därefter presenteras kort heterotrofa och mixotrofa system utan specifika odlingssystem, då dessa system kräver organiska ämnen, som energikälla vilket innebär högre kostnader och större miljöpåverkan än autotrofa system som använder solljus. [17]

Processen för odling

Odling av alger kan ske i ett flertal olika tekniska system. Gemensamt är att varje odling börjar med en mindre andel alger som sedan får växa till sig i systemet tills en viss koncentration uppnåtts. [18] Odlingstiden skiljer sig mellan algarerna och beror också av vilket odlingssystem som valts samt näringsförhållanden. Den fotosyntetiska effektiviteten, PE, är en faktor som skiljer sig mellan olika odlingssystem och som påverkar tillväxthastigheten. PE innebär hur mycket soljus som algerna kan ta tillvara på i fotosyntesen och kan uppgå till 10 %.[19] För en autotrof är dock PE-värdet mellan 1.5-7% beroende på odlingssystem och produktionsskala [17]. Värden på fotosyntetiska effekten för ett par olika system är givet i Tabell B-1.

Tabell B-1. Värden på fotosyntetisk effektivitet för olika odlingsystem [20] [21]

Typ av odling	PE
Öppen dam	1,5 %
Rörformad reaktor	3 %
Hybridsystem	
Rörformad reaktor	3 %
Öppen damm	4,4 %

Koldioxidupptagning

Infångning av koldioxidutsläpp är en komplementär funktion som kan användas för att sänka kostnaderna och möjliggöra en ekonomisk och miljömässigt hållbar odlingsprocess av alger. Alger kan fånga upp koldioxid från atmosfären, utsläpp från industriella processer och lösta karbonater. Eftersom koncentrationen av koldioxid i luft är relativt låg är det inte ett ekonomiskt gynnsamt alternativ att utvinna koldioxid endast från atmosfären. Algerna har lättare att fånga upp koldioxiden från utsläpp från industrier som bränner fossilt bränsle eftersom koldioxidhalten når cirka 20 % . Det är dock viktigt att algerna kan klara av att överleva höga nivåer av SO_x och NO_x som finns i utsläppsgaser från industrier. Vissa alger kan även ta upp koldioxid från lösta karbonater, till exempel Na_2CO_3 och $NaHCO_3$. [17]

De egenskaper som krävs för hög koldioxidupptagning är alltså en hög tillväxthastighet och koldioxidsanvändningsgrad, men även en hög tolerans mot SO_x och NO_x . Det krävs också en hög vattentemperaturtolerans för att minimera kostnaderna för kylning av utsläppsgaser. Algarten som är speciellt användbara inom detta område är olika arter av *Chlorella*. [17]

Avfallsvattenrening

Alger i odlingen kan användas för att rena avfallsvatten från kemiska och organiska föroreningar, tungmetaller och patogener, samtidigt som de producerar biomassa för biobränsleproduktion. Detta leder dessutom till en minskad förbrukning av färskvatten vid produktion av biodiesel. För att avlägsna farliga och giftiga ämnen från avfallsvatten används alger för att generera syre som krävs av bakterier som degraderar föroreningar såsom PAHs , fenoler och organiska lösningar.

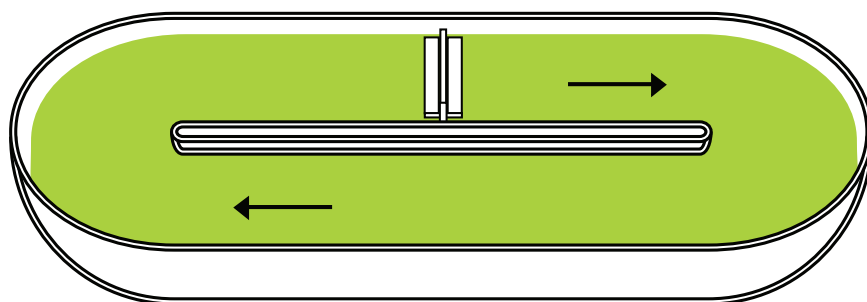
Det finns även ett antal alger som kan ta upp tungmetaller som krom, koppar och kadmium. Avfallsvatten innehåller också en hög halt av koldioxid, kväve och fosfor och är därför extra gynnsamt som odlingsmedium för alger eftersom har ett stort behov av dessa ämnen för tillväxt. [17]

Autotrofa system

De algerna som används i dessa system kräver ljus för att genomgå fotosyntes och på så sätt öka biomassa och lipidhalter. Om algerna skall odlas med solljus måste produktionen vara lokaliserad i ett geografiskt område med många soltimmar. Ett annat alternativ är att skapa artificiellt ljus för att stimulera tillväxt i dessa system. Problemet med detta är att hitta en bra källa till den energi som krävs för att skapa ljus. Det är inte heller ekonomiskt genomförbart att skapa ljus artificiellt i industriskala. [17] De system som är autotrofa är bland annat öppen damm produktionssystem, stängda fotobioreaktorssystem, som innefattar rör- och plattformade reaktorer, samt hybridproduktionssystem.

Öppen damm produktionssystem

Det finns ett flertal olika öppna system för odling av alger. Dessa kan existera i naturliga sjöar, laguner eller i artificiella pooler som skapas på land. Den grundläggande och vanligaste designen för ett öppet system är en så kallad cirkulationspool, illustrerad i Figur B-1.

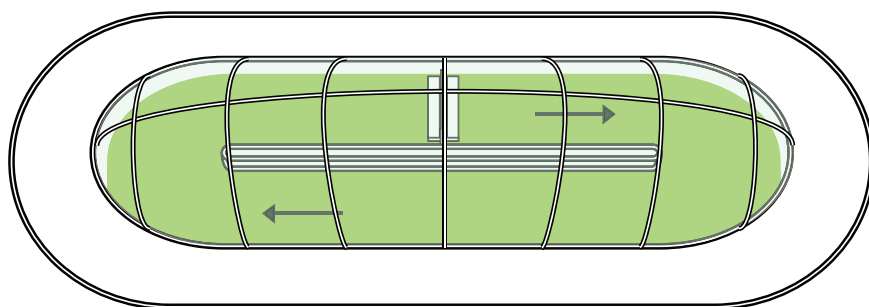


Figur B-1. Föreställer ett öppet system för algodling i form av en cirkulationspool.

Systemet är konstruerad som en cirkulär eller oval pool med 0.1-0.3 meters djup. Näringssämnen cirkuleras med hjälp av ett paddelhjulssystem och den strömning som skapas förhindrar sedimentation av alger och förbättrar tillväxten för algerna. [17] Tillväxt av algerna sker autotroft men ljuset kan dock endast penetrera någon decimeter ner i vattnet på grund av att biomassan blockerar. Detta kan lösas genom att odlingen sker i tunnare lager av alger vilket ger en högre halt biomassa och gör att odlingen kan lättare omröras. [16] Koldioxid fås från diffusion mellan vattenyta och omkringliggande luft. Systemet är både kostnads- och energieffektivt på grund av dess enkla konstruktion. Det kan desutom placeras på ickeanvändbar mark såsom sankmark och kan använda både söt- och saltvatten som anses odugligt för jordbruksodling. [22]

På grund av systemets exponering mot omgivningen uppstår ett antal problem. Ett problem är att systemet har en ineffektivitet vid koldioxidupptagning, vilket kan lösas genom att tillföra extra koldioxid. Andra problem är svårt att utföra en bra omrörning i odlingen eller att det sker en stor avdunstning av vatten. Avdunstning sänker temperaturen hos systemet, men kan även transportera bort viktiga näringsämnen.

Ytterligare ett problem är att odlingen lätt kan drabbas av kontaminering och detta kan förhindras av att odla extrema arter av alger. [17] En möjlig lösning på dessa problem är att ha öppna system i så kallade halvstängda system. Ett exempel på ett sådant kombinationssystem är att ha öppna pooler täckta med plasthölje vilket visas i Figur B-2, efter fått rekommendationer från Susanne Ekendal från SP.



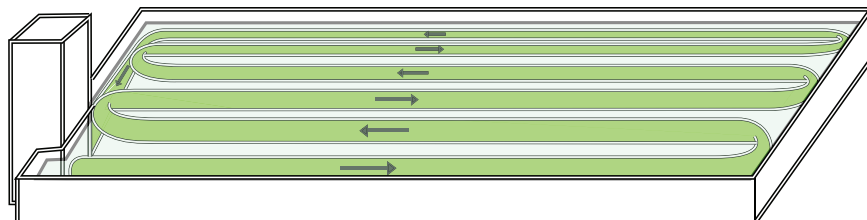
Figur B-2. Föreställer en cirkulationspool som är täckt med ett plasthölje för att minska risken för kontamination.

Stängda fotobioreaktorssystem

Stängda fotobioreaktorer finns i olika varianter där de mest använda är platt- eller rörformade. De olika fotobioreaktorerna är uppbyggda i olika utföranden, men med en generell gemensam funktion. I reaktorn strömmar odlingsmediet genom genomskinliga rör och över platta glasytor som skapar stora ytor för att algerna skall få solljus. Algerna återcirkulerar i systemen tills tillräckligt stor biomassa har producerats. Denna typ av odlingssystem har använts med framgång för produktion av högvärdiga produkter och existerar i industriskalig produktion. Det ställs däremot högre krav på fotobioreaktorernas utformning för att dessa skall kunna producera en lågvärdigare produkt som biobränsle, eftersom kostnaderna inte kan vara lika höga. Generellt sett är biomassaproduktionen hos stängda fotobioreaktorer såsom rörformad reaktor högre än i öppna system, dock är konstruktionskostnaderna större på grund av systemets komplexitet. Systemet kräver också en hög energiåtgång.[23] En av fördelarna med stängda fotobioreaktorer är att de kan hålla en monokultur av en algart under längre perioder utan kontamination. Därmed är odlingstypen lämplig för att odla känsliga algarter som annars skulle vara svåra att odla i öppna system.

Rörformad reaktor

Rörformiga reaktorer är uppbyggda av en mängd genomskinliga rör på cirka 0.1 m i diameter som ligger vertikalt, horisontellt, lutad eller i helixform. Formerna på systemen genererar olika förutsättningar för ljusupptag, detta på grund av solljusets infallsvinkel. [17] Det har också inverkan på systemets storlek där den horisontella tar upp större yta i jämförelse med den vertikala. I Figur B-3 visas en horisontell rörformad reaktor.



Figur B-3. Föreställer en horisontell rörformad reaktor. Pilarna visar vilket håll strömningen går i systemet. Systemet är delvist nedsänkt i vatten för temperaturkontroll

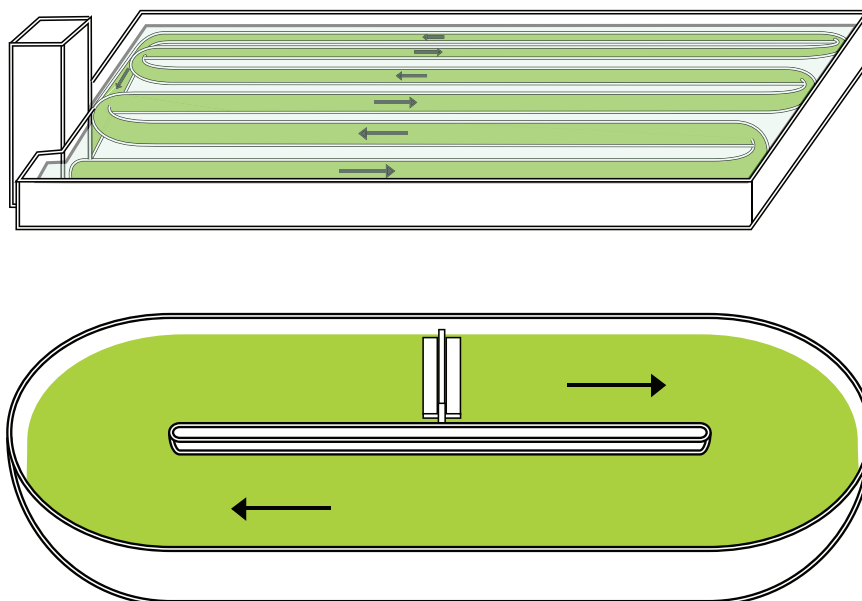
På grund av strömningen bildas gradienter utav pH, löst syre och koldioxid och detta medför att systemen har en begränsning på dess storlek. [24] För alla typer av rörformade reaktorer används olika system för omrörning av odlingen. Antingen används mekaniska pumpar för omrörning och cirkulation eller så används luftpumpar där inflöde av syre och koldioxid skapar cirkulation och omrörning. Detta sätt att utföra omrörning gör att koldioxid tillsätts på ett effektivt sätt och att produktiviteten ökar. [16] Helixformen används ofta i så kallade hybrid systems.

Plattformad reaktor

Plattformade reaktorer är konstruerade med stora platta ytor där algerna i tunna lager exponeras för solljus bakom en skyddande genomskinlig platta. Produktionen i dessa anläggningar är generellt sett högre än i andra slutna odlingssystem på grund av en ökad fotosyntetisk effektivitet.

Hybridproduktionssystem

Ett hybridssystem tar tillvara på egenskaper från både ett öppet system, som en öppen damm, och ett stängt system, som en rörformad fotobioreaktor vilket visas i Figur B-4. Kombinationen av dessa system bildar en produktionslina där kultivering av algerna först sker i det stängda systemet för att därefter överförs till det öppna systemet för ytterligare odling. [21] I den stängda fotobioreaktorn kan en tillräckligt stor algkultur odas relativt snabbt då detta system har en högre produktivitet. Det nästföljande öppna systemet är känsligt för kontamination och kräver ofta extremofila alger för att säkerställa en odling av en enskild art.



Figur B-4. Föreställer ett hybridsystem, som är en kombination av en rörformad reaktor och en cirkulationspool.

Heterotrofa system

Alger som odlas i heterotrofa system använder inte ljus för att producera biomassa utan av organiska kolväten som energikälla. Denna produktion har gjorts i bland annat fermentatorer och bioreaktorer. Det finns flera fördelar med att odla i heterotrofa system. En fördel är att odlingen kan ske under kontrollerade förhållanden med avseende på mängden energi och näring som förs in i reaktorerna och hur mycket av detta som tas upp av organismerna. Det innebär att det är enklare att reglera och ställa in de optimala förhållandena för en viss art. En annan fördel är att risken för kontamination av odlingen kan anses minimal. Reaktorerna är också effektiva i förhållande till storlek och volym och de tar därmed mindre plats än autotrofa och mixotrofa system. En uppskalning av ett heterotroft system kan ske kontrollerat på grund av att reaktionsförhållandena är enkla och lätta att reglera. Nackdelen med detta system är hur energikällan skall erhållas eftersom organiska kolväten måste tas från en extern källa. Det är en energikrävande process att framställa de organiska kolvätena och i till exempel sockerproduktion från grödor kan kostnaderna för både miljö och ekonomi vara höga. [17]

Mixotrofa system

Alger som odlas i mixotrofa system använder både fotosyntesen och organiska kolväten som energikälla. Detta innebär att algerna inte är begränsade av energi från en ljuskälla utan kan också växa i mörker. Alger som växer i mörker tillverkar med fördelen kolkällan som de sedan förbrukar under fotosyntesen. Nackdelen med att tillsätta en extern kolkälla är en ökad risk för kontaminering av andra organismer som lever på den källan. I mörker använder sig algerna av organiska kolväten, som till exempel glukos, för att producera biomassa. Halterna av biomassa vid odling i mörker blir dock lägre än vid fotosyntesen.

I dagsläget är en mixotrof produktion inte lämplig att utföra i industriskala, men på grund av odlingens egenskaper finns förutsättningarna för att fördelaktig användas vid framställning av biobränsle i framtiden. Tillväxten hos mixotrofa alger är jämförbar med tillväxten hos fototrofa alger i en odling i en stängd fotobioreaktor. I en öppen dammodling är tillväxten däremot betydande lägre i jämförelse men i den heterotrofa odlingen är tillväxten högre än i den mixotrofa odlingen. [17]

B.3 Skördning

Efter att alger har fått växa i odlingsystemet är det dags att skörda. Varje art av alg har en specifik tillväxtkurva och för att algerna skall inneha maximal halt lipider vid skördningstidpunkten kan en simulering göras som tar hänsyn till samtliga odlingsfaktorer. [25] Skördning av alger innebär att man utvinnet biomassan genom att avlägsna våt algbiomassa från odlingsmediet. Alger har normalt högt vatteninnehåll och efterkommande processer och bearbetning kräver att vatten avlägsnas.

Det finns ingen metod som anses vara optimal att använda vid skördning av alger. Det viktiga är att den skördningsmetod som används är relativt kostnads- och energieffektiva, då detta krävs för att produktion av biobränsle ska bli ekonomisk hållbar [26]. I detta avsnitt förklaras hur de olika skördningsmetoderna fungerar samt deras för- och nackdelar.

Processen för skördning

Skördning kan göras genom flera olika metoder som kan kombineras till en skördningsprocess. Dessa är bland annat flockning, sedimentering, flotation, filtrering och centrifugering. Val av metoder styrs av egenskaper hos algerna samt önskad slutprodukt. Generellt skördas alger i två delsteg för att skördningen skall bli optimal. Det första steget innefattar separationen av algbiomassan från odlingsmediet, medan det andra steget koncentrerar biomassan ytterligare. I det första steget används vanligtvis flockning, flotation eller gravitations sedimentering, i vilka koncentrationen ökar 100-800 gånger så att 2-7% torrsubstans nås. I det andra steget används tekniker såsom centrifugering, filtrering och ultraljud [17]. Då ultraljud kräver mer energi än centrifugering [27] tas inte denna teknik med. Då mekanisk urvattning i förhållande till termisk urvattning är billigare är det att föredra att använda centrifugering eller filtrering innan den termiska urvattningen sker [28].

Flockning

Flockning innebär att mikroalger i odlingsmediet klumpar ihop sig och bildar större partiklar som bidrar till ökade densitetsskillnader. Anledning till detta prepareringssteg är att mikroalger är små till storleken, vilket skulle göra de mer svårskördade [28]. Kostnaderna för skördning kan därmed reduceras avsevärt [15]. Metoder som filtration, flotation och gravitations sedimentering inleds med fördel av flockning.

Mikroalger har en negativ laddad del som motverkar att aggregation av algceller kan ske. Genom att neutralisera den negativa laddningen kan flockning uppstå [28]. Detta kan göras genom att tillsätta kemiska tillsatser, kallat kemisk flockning, eller ändra omgivande miljö, kallat autoflockning. Flockning kan också ske genom att andra självflockulerande alger tillsätts. Denna metod tillhör bioflockning.

En sista metod som behandlas är elektrolytisk flockning som utnyttjar algens negativa laddning.

Kemisk flockning

Krav som ställs på de kemiska medlen för kommersiell och storskalig användning vid flockning är att de inte ska vara dyra eller giftiga samt vara effektiva vid en låg koncentrationen[29]. Två olika substanser som kan användas är metallsalter och katjoniska polymerer som även kallas polyelektrolyter.

De vanligaste metallsalterna som används vid flockning är järnklorid, aluminiumsulfat och järnsulfat. Aluminiumsulfat har använts i stor utsträckning vid avloppsrening för att flocka algbiomassa. Det kan dock vara oacceptabelt att använda dessa kemikalier om biomassan ska används vid andra tillämpningar [29]. Till exempel ska metaller inte finnas i råoljan vid raffinadering då dessa förstör råoljedestillationstornen enligt Evelyn Eliasson på Preem raffinaderier. Katjoniska polymerer kan neutralisera den laddade ytan hos cellen och de kan dessutom genom brygning, länka ihop en eller flera partiklar, vilket har visat sig leda till flockning.

Effektiviteten hos polyelektrolyter beror på flera faktorer såsom molekylmassa av polymeren, mängd använd dos, laddnings densitet för molekylerna, koncentration av biomassan, pH av mediet och omrörning. Dessa typer av tillsatser har använts i stor utsträckning vid utvinning av algbiomassa. Jämfört med metallsalter som aluminiumsulfat kan katjoniska polymerer vara mindre effektiva. [29]

Chitosan är en polymer som har visat sig vara effektiv med olika mikroalger. Den är ogiftig och är lätt att tillverka och det krävs låga halter vid flockning . Optimal dosering varierar däremot kraftigt mellan algarter. Ämnets förmåga att flocka alger reduceras emellertid i saltvatten [29]. Chitosan fungerar som andra polyelektrolyter och tester som utförts visade på att algcellerna var intakta och levde efter flockningen. Vattnet kan återanvändas för att producera nya algkulturer [30]. Användning av polyelektrolyter är att föredra jämfört med ovan nämnda metallsalterna då det krävs mycket mindre av dessa och att algen sedan kan användas i efterkommande processer [31].

Autoflockning

Genom att öka algmediets pH-värde samtidigt som tillsatser används kan autoflockning ske. Detta är oväntat då högre pH-värde förväntas bidra till att mikroalgernas negativa laddning förstärks, vilket på så sätt skulle motverka aggregation. Det är ännu inte helt klart hur autoflockning går till och varför det sker. Tester som utförts visar att magnesium vid höga pH-värden bidrar till att flockning sker. Halterna av magnesium i de testerna var förhållandevis höga. De undersökningar som har gjorts visar att autoflockning är ett missledande begrepp då autoflockning är mer lik en kemisk flockning där magnesium medverkar. Flockning som sker på grund av förhöjt pH anses vara en potentiell metod första metod för att koncentrera algerna vid skördning. Det krävs dock mer forskning om autoflockning vad gäller påverkan på algcellerna samt återanvändning av processvattnet till odlingen. [30]

Bioflockning

Det finns olika sätt som ger upphov till bioflockning. Bioflockning innebär att algen samodlas med en annan organism som stödjer sedimentering. [29] Ett sätt är att använda en mikroalg som flockas spontant för att koncentrera en annan mikroalg. Det är den sistnämnda algen som har högst lipidinnehåll, men den tillsatta algen kan även bidra till bioolja. Fördelar med denna bioflockning är att metoden är enkel och att efterbehandling av odlingsmediet inte krävs och inte heller förbehandling för extraktion. Flera försök har utförts på både salt- och sötvattensalger följt av sedimentering med ett resultat som visar att det fungerar i båda fallen. I försöken var halten av den självflockulerande algen relativt stor i jämförelse med den oljeproducerande. När halten reducerades till hälften av den självflockulerande algen påträffades inga större förändringar i effektiviteten. Fördelen med metoden är att den har ungefär lika effektiv skördningsprocess som en kemisk flockning som görs tillsammans med sedimentering. Metoden är lovande men dock har endast experimentella försök utförts på ett flertal algararter. Nackdelen med denna metod är att ett ytterligare separat odlingsystem av flockulerande alger krävs vilket medför extra resurser. [31]

Elektrolytisk flockning

Elektrolytisk flockning bygger på principen att laddade partiklar, i detta fall mikroalgerna, rör sig i ett elektriskt fält i ett vattenmedium. Anoden attraherar mikroalgerna och de rör sig mot denna. När de kommit fram förlorar de sin laddning och kan bilda algkluster. Då vattenelektrolys innebär produktion av väte och syre resulterar det i att bubblorna av syre vid anoden fungerar som transport för algklustren upp till ytan. De kan efter dessa steg lätt avlägsnas. Denna metod inkluderar därmed både flockning och flotation av alger. Metoden sker satsvis och kräver inte en stor mängd energi. En högre spänning ger en snabbare process och leder till en högre energiåtgång och därmed en ökad kostnad. Metoden visade sig lämplig för flera taxonomiska grupper av mikroalger. Försök på ett antal alger har gjorts i 100 liter odlingsmedium resulterade i att mer än 90 % av algmassan eliminerades från mediet. Eftersom algbiomassan inte är kontaminerad av giftiga flockningsmedel kan algmassan användas i exempelvis matproduktion. Det dock som behöver undersökas är om metoden fungerar i en industriell skala, då det i dagsläget endast utförts i pilotskala. [32]

Gravitationssedimentering

Gravitationssedimentering sker på grund av att det finns densitetsskillnader i odlingsmediet. Detta leder till att mediet delas upp i en mer algrik del som kan avlägsnas. Gravitationssedimenteringen är tids- och platskrävande. [26] Sedimentering passar för mikroalger som är större än 70 μ m, exempelvis Spirulina [17]. För lågvärdiga produkter kan denna metod vara lämplig att använda tillsammans med flockning [28].

Flotation

Denna metod kan inledas av flockning av alger. Metoden innebär att små mikroluftbubblor sprutas in i odlingsmediet som ger upphov till att algklustren flyter upp till ytan. Detta sker på grund av att luftbubblorna fäster på algcellerna och skillnaden i densitet ger upphov till lyftkraften. En högre koncentration av alger ansamlas på ytan och denna massa kan sedan avlägsnas. Skördningen av algerna påverkas i denna metod av flockningseffektiviteten, storleken på bubblorna och fördelningen av dessa [29]. Även om flotation kan vara en potentiell skördningsmetod så finns det lite bevis på att det skulle vara teknisk eller ekonomiskt hållbar metod [17].

Filtrering

Filtration kan användas för att skörda, men också urvattna biomassan [29]. Det krävs olika filtreringstekniker beroende på vilken algart som skördas. Storleken på algen har en avgörande roll, men även dess form. Alger över 70 μ m kan filtreras genom konventionell filtrering, medan för algarter mindre än 30 μ m fungerar det inte. Filtringen sker under tryck eller sug och processen kan leda till en koncentrationsökning som resulterar i att 27 % torrsubstans uppnås. För att skörda algceller som är mindre än 30 μ m kan teknikerna membranfiltrering och ultrafiltrering användas. Membranfiltrering är mer kostnadseffektivt för volymer mindre än två kubikmeter per dag jämfört med centrifugering. En källa som är från 1988 hävdar att i större skala, större än 20 kubikmeter, är centrifugering mer ekonomisk. [17]

Sammanfattningsvis är filtration en enkel metod, men samtidigt är den dyr. Svårigheter med filtrering är att uppnå en nätfinhet i filtret som inte släpper igenom algerna, samtidigt som det inte ska bidra till att porerna i filtret blockeras, vilket skulle leda till en reducerad effektivitet. Det är viktigt att odlingsmediet hålls rent då olika storlekar på mikroorganismer också skulle påverka effektiviteten. Andra svårigheter är val av material på filtret och hur algbiomassan ska avlägsnas från filtret [29].

Centrifugering

Centrifugering är en av de vanligaste metoderna för att skörda mikroalger och kan skörda de flesta algarter, men kan även användas vid urvattning. Centrifugering har bland annat används för högvärdiga produkter då det i dessa sammanhang är ekonomiskt genomförbart. Effektiviteten för centrifugering beror bland annat på storleken av algen som skördas. Metoden kan relativt snabbt separera algbiomassan, men processen är dyr i form av höga energikostnader[28]. Centrifugens kapacitet måste vara hög för att kunna bearbeta stora mängder av vatten och alger vilket bidrar till höga kostnader[17]. Det måste ske betydande kostnads- och energibesparingar för att en storskalig produktion ska vara lönsam [29].

B.4 Urvattning

I detta avsnitt förklaras hur de olika urvattningsmetoderna sker samt deras för- och nackdelar. Alger består till största delen av vatten och har efter skördningsprocessen ett högt vatteninnehåll. För att extraktionen i nästföljande process skall kunna genomföras krävs det att algerna är torra för att oljan skall kunna utvinnas. Den stora utmaningen vad det gäller extraktionsprocessen är att innan den kan påbörjas måste algernas vatteninnehåll minska drastiskt och bestå av mer än 90 % torrmasa. För att detta ska vara en lönsam process måste det ske i samband med låga kostnader och en låg energianvändning. [33] Den skördade biomassan innehåller vanligtvis ca 5-15 % torrmasa men skulle kunna ge upp mot 20 %, delvis beroende på art av alg, men också på vilken typ av skördningsmetod som använts [17]. Vanligtvis kräver torkningen höga temperaturer och på grund av detta är det viktigt att urvattningen sker relativt fort för att undvika att biomassan ruttnar [34].

Processen för urvattning

Urvattning kan göras med flera olika metoder, dels beroende på typ av alg men framförallt beroende på hur processen avgränsas med avseende på kostnader och energitillgångar. Ett urval av dessa metoder är soltorkning, frystorkning, spraytorkning och trumtorkning. De olika metoderna genererar en hög respektive låg ekonomisk kostnad beroende på tiden som torkningsprocessen tar. Generellt är den process som tar kort tid energikrävande och ger höga kostnader och den process som tar lång tid men är energisparande och ger låga kostnader. Det finns också tillgång till relativt nybeprövade metoder som Single-step extraction som beskrivs i extraktionsavsnittet och innebär att urvattningssteget elimineras.

Soltorkning

Soltorkning innebär att torkningen av biomassan endast sker genom konvektion med hjälp av solens energi. Det är en billig metod som dock kräver ett stort antal soltimmar och en stor yta. [34] En faktor som påverkar torkningstiden är hur tjockt lager av alger som skall torkas [36]. För att minska tiden för torkningen kan man använda fläktar eller välja en torkningsplats som är exponerad för vind [37]. Torkningen varierar starkt med lufttemperaturen och dess hastighet. I denna metod önskas en relativt hög temperatur, 40°C, samt en svag vind, 2.5 m/s för att nå den optimala torkningseffekten vilket också ger en linjär torkningsprocess. För ökande betingelser blir torkningsprocessen inte längre linjär och torkningen blir begränsad. En nackdel med denna metod är att en överskridning av 40°C också ökar risken att rötningsprocessen påbörjas hos algerna innan massan torkat klart. [36]

Frystorkning

Denna metod innebär att algmassans vatten tas bort under lågt lufttryck i vakuum och detta leder till att vattnet i algerna förångas. Sedan förflyttas algmassan till en kondensator där de blir fasta och nedfrysta. Eftersom cellstrukturen bibehålls vid frysning så kommer intracellulära komponenter såsom lipiderna vara mer lättillgängliga för utvinning i extraktionen. Fördelen med metoden är att den underlättar för extraktionen av olja i nästa process. Nackdelen med frystorkning är att metoden är dyr och används inte i industriskala. [17][34]

Spraytorkning

Spraytorkningen är en metod som är kostsam men effektiv. Det är den metod som vanligtvis används i dagens odlingar och kan användas vid de flesta typer av anläggningar. Spraytorkningen har en snabb torkningstid och utförs med het gas som endast består av upphettad luft. Uppvärmningen av luft sker från extern värme som kan tas från bland annat spillvärmerna i anläggningen för att minska kostnaderna. En nackdel med denna metod är att den kan orsaka en försämring på algernas pigment.[17]

Trumtorkning

Trumtorkning är en tekniskt avancerad metod där skördad algmassa skickas över ett antal uppvärmda trummor. Dessa trummor har insidan täckt med glas- eller keramikbitar.[17] Uppvärmningen sker genom eldning av metan i en luftvärmare där den uppvärmda luften tvingas in i trummorna. Slutprodukten ur denna metod är ett slags algpapper som lätt kan rullas ihop och förvaras, men då måste 90 % vara torrs substans. Det krävs dock en stor mängd energi för att öka torrs substansen från 20 % till 90 % och därför är denna metod kostsam.[38]

B.5 Extraktion

När urvattningen är gjord är nästa processteg för algerna att genomgå extraktion. Denna process innebär att lipiderna utvinns från algen för att sedan förädlas till flygbränsle. Extraktionen av olja från alger är ofta kostsam och kräver mycket energi och det är därför en stor utmaning att få den billigare och mindre energikrävande. [39]

Processen för extraktion

För att extrahera olja ifrån alger finns olika metoder och dessa delas in i mekaniska metoder, kemiska metoder och enstegs-metoder. Alla metoder har samma mål vilket är att bryta ner algernas cellväggar så oljan frigörs och kan tas till vara. Detta är ett svårt steg då algernas cellväggar är otroligt starka. Vissa arter av alger har ett inre tryck på 20 atm, vilket i teorin är lika starkt som armerad betong. [27] I de mekaniska metoderna extraheras oljan genom att algernas cellväggar förstörs genom mekanisk kraft, i de kemiska metoderna är det antingen lösningsmedel eller enzymer som bryter ner cellväggarna. Enstegsmetoderna är ofta en kombination mellan de mekaniska- och kemiskametoderna som extraherar oljan och fördelen med denna metod är att flera delprocesser slås ihop och därmed elimineras.

Mekaniska metoder

De vanligaste mekaniska metoderna är pressning, malning och kavitation men det kommer även att redogöras om en ny metod i detta avsnitt som kallas Pulsed Electric Field.

Pressning

Det finns många olika pressmetoder som används idag som till exempel skruv- och kolvpressar. I dessa metoder utsätter man biomassan från mikroalgerna för ett högt tryck som gör att cellväggarna brister och oljan frigörs. När skruvmetoden används på nötter, frön och sojaböner fås en torrmasa som endast innehåller 3-4 % olja, resten av oljan har pressats ut och kan användas. [27]

Malning

I denna metod är det små kulor som under omrörning i hög hastighet förstör cellerna. De små kulorna kan vara av glas, stål eller keramik och är ofta runt 0,5 mm i diameter. [35] Hur mycket cellerna blir förstörda beror mest på kontakten mellan kulorna och biomassan men även faktorer som storlek, form och kompositionen av kulorna samt styrkan hos algerna spelar in. Malningen sker oftast tillsammans med lösningsmedel för att utvinna oljan.[39]

Kavitation (ultraljud/sonikering)

Kavitation kan uppkomma genom ultrasonikation eller hydrodynamisk kavitation. Kavitation innebär att gasbubblor formas från en vätska då trycket av vätskan är lägre än gastrycket. När trycket minskar kollapsar bubblorna och om detta sker nära en algcell kommer cellväggen att förstöras och cellens innehåll läcker ut. [39] Vid ultrasonikationen utnyttjas ljud för att skapa oscillerat tryck som formar bubblor samtidigt som de kollapsar. [27]Ultrasonikationen är en extraktionsmetod med hög effektivitet, reducerad extraktionstid, ingen toxicitet och ökad utvinning av olja samtidigt som kostnaderna minskar. Det finns dock inga funna källor hur ultrasonikationen påverkar kvalitén på oljan. [34]

PEF (Pulsed Electric field)

En ny metod för att extrahera olja från alger är att utsätta dem för korta pulser av stark elektrisk ström. De elektriska pulserna gör att cellväggarna luckras upp och blir genomträngliga vilket gör att cellens innehåll kan släppas igenom cellmembranet. Detta kan användas för att förbehandla algerna så att det är lättare att få ut lipiderna innan till exempel extraktion med lösningsmedel eller mekaniska extraktionsmetoder. [39] PEF används bland annat i OriginOils Single step extraction som det beskrivs mer om i avsnitt x.

Kemiska metoder

De kemiska metoderna som kommer presenteras är extraktion med lösningsmedel, superkritisk vätskeextraktion och enzymer. Extraktion med lösningsmedel är den metod som används i störst utbredning idag medan de andra är mer under forskningsstadiet.

Lösningsmedel

Kemikalier som kan förstöra cellväggarna och extrahera oljan från algerna är organiska lösningsmedel så som bland annat bensen, cyklohexan, hexan, aceton, kloroform. Detta sker eftersom oljan har hög lösningsgrad i organiska lösningsmedel. Ett bra lösningsmedel har flera specifika egenskaper som till exempel att det inte skall vara vattenlösligt eller lösligt med algoljan. Ytterligare egenskaper är att det skall ha en låg kokpunkt för att lätt avlägsna lösningsmedlet efter extraktionen samt att inneha en densitet som är skiljt från vattnets. Det ska även vara lätt att få tag på, billigt och det ska kunna återanvändas. Därför används ofta hexan ofta som lösningsmedel för storskalig algextraktion då det uppfyller alla dessa egenskaper .[39]

Det finns även en förbättrad lösningsmedelsmetod vid namn Accelerated Solvent Extraction (ASE), där oljan extraheras med hjälp av organiska lösningsmedel vid temperaturer och tryck som ligger över deras kokpunkt. När detta sker med vatten som lösningsmedel heter det Pressurized low polarity water extraction vilket innebär att när trycket ökar kommer vattnets polaritet minska och detta medför att man kan extrahera ämnen som annars inte är lösliga i vatten. [39]

Det största problemet med lösningsmedel är att det krävs extra energi för att destillera av lösningsmedlet och det finns även en risk att slutprodukterna kan bli kontaminerade då det är svårt att få bort alla spår av lösningsmedlet. [35] Detta är anledningen till att lösningsmedel inte är någon bra extraktionsform när biprodukterna från extraktionen ska användas i matindustrin.[39]

En möjlighet att komma runt problemet med den energikrävande destillationen är att använda slutprodukten som lösningsmedel, i detta fall flygbränslet. Detta är en bra lösning på energiproblemet då lösningsmedlet inte behöver destilleras bort eftersom flygbränslet kan följa med råoljan genom förbehandlings- och förädlingsstegen. [27] Detta löser dock inte problemet med att biprodukterna blir kontaminerade.

Superkritisk vätskeextraktion

Superkritisk vätskeextraktion är en metod som utvecklats mycket de senaste åren. Metoden tar till vara på att vissa kemikalier kan bete sig som både vätska och gas och att deras lösningsförmåga ökar när temperaturen och trycket ligger över deras kritiska punkter. Ett tydligt exempel är koldioxid då dess kritiska temperatur 31,1°C och kritiska tryck 72,9 atm är relativt låga. En möjlighet är att använda koldioxidutsläpp från en industri för att extrahera algerna. Extraktionens effekt med koldioxid beror på de fyra faktorerna tryck, temperatur, flödes hastighet och extraktionstiden. Ofta används ett komplementärt lösningsmedel vars uppgift är att öka polariteten av lösningsmedlet som extraherar samtidigt som viskositeten av vätskan ändras. Det gör att lösningsförmågan ökar och extraktionen kräver lägre temperatur och tryck vilket gör det ännu mer effektivt. När det gäller koldioxid som lösningsmedel används ofta etanol som komplementärt lösningsmedel.[39] Det är en fördelaktig metod eftersom det inte finns några rester kvar från lösningsmedlet efter extraktionen och därför kan restprodukterna användas i matindustrin. Detta sker på grund av att koldioxid är en gas i rumstemperatur och är därför lätt att avlägsna efter extraktionen. Koldioxiden kan även återanvändas i samma metod vilket är bra ur miljösynpunkt. Nackdelen med metoden är att biomassan måste torkas innan den superkritiska vätskeextraktionen på grund av att fukt kan reducera tiden algerna har kontakt med lösningsmedlet. [39]

Enzymer

En metod som är miljövänlig och relativt säker är att använda enzymer för att bryta ner algernas cellväggar och därefter samla in lipiderna. När enzymer används så bryts cellväggarna ner utan att förstöra oljeinnehållet vilket är en stor fördel. Det behövs göras utvärderingar av algcellernas sammansättningar för att kunna genomföra en effektiv hydrolys av dem. Detta steg är en stor utmaning för extraktionsprocessen som utförs med hjälp av enzymer. [39]

Enstegs extraktion

Det pågår mycket forskning kring att extrahera oljan från algerna i ett steg, utan att behöva torka dem, för att undgå stort energikrävande och kostsamt steg. Företaget OriginOil har utvecklat en teknologi vid namn Single Step Extraction där man extraherar algerna genom att först utsätta dem för ultraljud och elektriska pulser för att förstöra algernas cellväggar. Sedan tillsätts koldioxid för att sänka pH vilket medför att biomassan sjunker till botten och oljan flyter upp till ytan. I denna metod behövs inga lösningsmedel eller urvattning av algerna vilket innebär en ökad effektivitet vad gäller energiåtgången, minskade kostnader samt snabbare process. [17]

Ett annat företag vid namn Algae-Link har också utvecklat en metod där man extraherar oljan utan att behöva urvattna algerna. Där tas algerna ut från odlingsystemet genom filtrering eller centrifugering för att sedan gå in i AlgaeLinks patenterade extraktionsprocess. Processen ska vara väldigt miljövänlig enligt företaget men hur extraktionen utförs är sekretessbelagt. [40]

B.6 Förädling till flygbränsle

Då det går att framställa kerosen kemisk väg från mikroalger är de därför ett bra förnybart alternativ till fossilt flygbränsle.[41] Processerna där algoljan eller algbiomassan förädlas till flygbränsle kan ske på flera olika sätt såsom pyrolysis, vätebehandling med vätekrackning och Fischer-Tropsch. [42] [43]

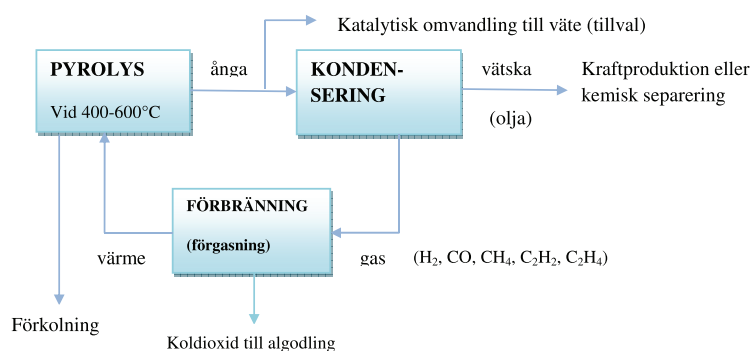
Processen för förädling till flygbränsle

Det finns olika processer för att förädla antingen den extraherade algoljan eller algerna i sin helhet till flygbränsle. För den extraherade algoljan sker det via vätebehandling och vätekrackning och dessa processer finns redan på många raffinaderier idag. Det är däremot inte alltid algernas olja behöver extraheras utan det kan utvinnas olja direkt från biomassan. Detta kallas Biomass-To-Liquid och innefattar Fischer-Tropsch och pyrolysis. Metoderna innebär att biomassan förångas och genom ångan kan flytande bränsle utvinnas. Det går även att först extrahera oljan ur algerna och sedan pyrolysera den återstående biomassan för att utvinna ännu mer olja och på så sätt öka lönsamheten.[44] I detta avsnitt presenteras tre olika alternativ som är pyrolysis, hydrocracking och Fischer-Tropsch.

Pyrolysis

Pyrolysis är en process där algerna, placeras i en kammare där de snabbt hettas upp i avsaknad av syre och utan att förbrännas, se Figur B-5.[17] [42] [45] Värmen gör att de kemiska bindningarna mellan algens beståndsdelar bryts. Nedbrytningen sker vid en temperatur mellan 400-600°C beroende på vilken temperatur där högst utbyte av olja erhålls. [42] [45]]Därefter kyls ångan ner och bildar en vätska, i detta fall olja. Genom att låta det förångade bränslet passera över en katalysator kan en enförmig vätskeprodukt bildas. Katalysatorer som ofta används inom pyrolysis är zeoliter på grund av deras förmåga att skapa en särskild längd på kolvätekedjorna. [42]

När processen är klar fås alltid tre olika produkter vilka är olja, förkolning och gas. Förkolningen är ämnen som inte kan bli förångade och består till mesta del av salter och joner. Denna restprodukt är användbar som gödningsmedel. Gasen som uppkommer består av olika förbränningsgaser och denna kan tas till vara och skapa värme genom förgasning. Koldioxiden som uppstår kan återinföras till algodlingen för att få algerna att växa fortare. [42]



Figur B-5. Överskådlig bild över pyrolysisprocessen. Biomassan pyrolyseras vid 400-600 °C utan syre och ångan som bildas går vidare för att sedan kondenseras ner till ett vätskeformigt bränsle. De gaser som inte kan kondenseras går därifrån vidare till förbränningen där koldioxid går till algodlingen och värmen tillbaka till pyrolysen. Detta gör att det blir ett relativt slutet system. [42]

En fördel med pyrolysis är att oljan inte behöver extraheras från algerna och då avlägsnas ett kostsamt steg i produktionen. [42] En annan möjlighet med pyrolysis är att använda biomassan som blir över efter extraktionen till att framställa mer olja. Det skulle då öka utbytet av olja från algerna och därmed kan produktionen bli mer lönsam. [44] Nackdelen med pyrolysis är att den utvunna oljan innehåller för mycket vatten för att kunna användas i dagens motorer och kräver därför mycket efterbehandling. Även för hög viskositet, att den ger beläggningar och att oljan är korrosiv är ett problem. [17],[45] Efterbehandlingsarna består av olika vätebehandlingar och krackning till lägre syrenehåll, även alkaliska ämnen måste tas bort. [17]

Vätebehandling och vätekrackning

Vissa alger producerar långa kolväten istället för lipider och TAG och detta är bra då den oljan som extraheras från dessa alger har väldigt lik sammansättning som fossil råolja. En alg som har dessa kolväten är till exempel algen *Botryococcus braunii*. När man extraherar dessa långa kolväten från algerna kan de göras om till bränsle med hjälp av vätebehandling och vätekrackning som är en metod som redan används i oljeraffinaderierna idag. Detta är en stor fördel på många sätt då infrastrukturen och tekniken redan finns och att den extraherade algoljan kan säljas direkt till raffinaderierna precis som fossil råolja. När algoljan från *Botryococcus braunii* genomgår vätekrackning utvinns 67 % bensin, 15 % flygbränsle och 15 % diesel.[42] [44] För att få ut mer kerosen måste fler krackningsteg utföras och mer väte tillföras.

Om detta sker kan ett utbyte på 50-70 % kerosen utvinnas.[41] Att de långa kolvätena kan bilda bensin, flygbränsle och diesel är en fördel gentemot lipider då lipiderna mest kan bilda biodiesel. Biodieseln har den negativa egenskapen att den fryser i kallare klimat och det är därför svårt att kunna utveckla den vidare till flygbränsle. [42]

Fischer-Tropsch

Fischer-Tropsch-metoden är lik processen för pyrolys. Den använder ånga från upphetad vätgas som strömmar igenom råmaterialet för att producera en syntetisk gas som består av förbränningsgaser och längre kolväteprodukter. Skillnaden mellan pyrolys och Fischer-Tropsch är att den förångade gasen i Fischer-Tropsch inte tillåts att kylas ner och bli flytande bränsle direkt efter omvandlingen utan gasen går till olika reningssteg innan den konverteras till vätska.[42][44] Från Fischer-Tropsch kan det framställas flygbränsle som kan ersätta JP-8, vilket är det flygbränsle USAs militär använder. Bränslet som bildas vid Fischer-Tropsch ger renare avgaser vid förbränning än JP-8, dock är problemet att bränslet från Fischer-Tropsch genererar två gånger så mycket koldioxid när bränslet skapas jämförelsevis när fossilt JP-8 skapas.[43]

B.7 Användning av restprodukter vid produktionsprocessen

Vid förädlingen av råoljan från algerna är det endast 15 % av de utvunna lipiderna som blir till flygbränsle. Resterande 85 % av lipiderna blir till diesel och bensin och övriga torrsubstans av algen så som proteiner, enzymer och kolhydrater kan ses som överbliven biomassa och kan omvandlas till restprodukter. Beroende på val av tidigare delprocesser i produktionen kan viss torrsubstans vara obrukbar som restprodukt då den blivit förstörd, men det finns också de metoder där detta är möjligt. [42]

Det största problemet med framställningen av flygbränsle från alger är att kostnaden för framställningen är väldigt hög jämfört med framställningen för fossila bränslen. För att försöka uppnå en ekonomisk vinning på produktionen kan restprodukter som bildats vid produktionen säljas eller återanvändas. [46] Detta avsnitt inkluderar tillämpningar från flera olika typer av alger, eftersom det i dagsläget inte finns en specifik algart som lämpar sig bäst för produktion av flygbränsle. De potentiella restprodukterna är kosttillskott, djurfoder, enzymer, applikationer från kolhydrater, gödningsmedel för mark, och biogas.

Kosttillskott

Alger har ett högt proteininnehåll och innehåller flera omättade fettsyror, som till exempel Omega 3 och vitaminer. Detta gör ett flertal alger till en attraktiv källa för produktion av hälsosamma kosttillskott.[47] De fleromättade fettsyrorna kan dock inte användas som en restprodukt vid produktionen av flygbränsle då dessa utvinns till råolja.

Alger i kosttillskott marknadsförs idag i olika former så som tabletter, kapslar och vätskor, men de kan också inkorporeras i pasta, snacks, godis, tuggummi och drycker [47]. Alger som används för detta syfte är främst Spirulina, Chlorella och Dunaliella salina [48]. Spirulina har visat sig lindra hyperlipidemi, sänka högt blodtryck, skydda mot njursvikt, ge växtmöjligheter för laktobakterier i invälvor samt skydda mot höga glukosnivåer [47]. Algen har dock vissa negativa hälsoeffekter i eftersom den kan producera BMAA som förknippas med sjukdomar som Alzheimer, Parkinson och ALS.

Chlorella har liknande egenskaper som Spirulina men innehar även ett högt närings- och proteinvärde [17]. Den viktigaste substansen i Chlorella är B-1,3-glucan, som är en aktiv immunstimulator, en friradikalätare och en sänkare av fetter i blodet[43]. Dunaliella salina har ett högt innehåll av B-karoten, 14 %, vilket är ett vanligt ämne i kosttillskott. Alger som Chlorella och Spirulina har även visat sig förbättra immunförsvaret, fertiliteten, ge bättre viktkontroll och hälsosammare hy. [17]

Djurfoder

Samma alger som finns i kosttillskott är vanligt förekommande i djurfoder. De effekter som påvisas på djuren är bättre immunförsvaret, högre fertilitet och viktuppgång. [43] Ett flertal andra alger används också som direkt och indirekt föda för i larvstadiet av främst kommersiella arter av musslor, räkor och fisk [48]. Alger kan dock inte användas i så stor utsträckning som djurföda på grund av att djurens matsmältningssystem inte kan bryta ner stora volymer av alger. Den globala marknaden för djurföda är relativt liten och produktionen av algmassa för framställning av flygbränsle relativt hög. Detta leder till att marknaden blir mättad och priserna sjunker.[46]

Utvinning av enzymer

Det är möjligt att utvinna viktiga enzymer, exempelvis cellulaser från den återstående biomassen efter lipidextraktion. Cellulaserna används som förbehandling innan fermentationen till bränsleetanol. Denna marknad är potentiellt stor och skulle kunna bli viktig för företag inom etanolproduktion från lignocellulosiskt material. Beräkningar visar att 2020 skulle marknaden för cellulaser kunna uppnå 1 miljard kg. Alger producerar dock inga stora mängder enzym så därför skulle det vara nödvändigt att genomföra en riktad genetisk modifiering för att öka produktionen.[46]

Applikationer från kolhydrater

Kolhydraterna i algbiomassan kan återanvändas i pappersmassaindustrin och ersätta ett lignocellulotiskt material som kommer från andra skogsresurser. De kan också genom anaerobisk mörk fermentation, vilket är en fermentation som sker utan syre och ljus, omvandlas till väte, etanol, aceton, butanol och ett stort antal organiska syror som till exempel succinat och lactisyra. Av dessa produkter kan väte, etanol och metan användas som biobränsle. Butanol och organiska syror kan användas som förnyelsebar råvara inom den kemiska industrin. En annan produkt som kan framställas genom anaerobisk mörk fermentation av kolhydrater från biomassen är glycerol. Denna produkt kan även bildas vid transesterifikationen av lipider från råolja till biodiesel som en biprodukt. Glycerol kan omvandlas till 1,3-propandiol av vissa bakterier som används i flera industriella produkter och kan även utnyttjas för att generera elektricitet direkt i biobränsleceller. [46]

Gödningsmedel för mark

Utvinningen av proteiner och kolhydrater från alger är i nuläget inte kostnadseffektivt eftersom kostnaderna för processerna är höga. Därför är det mest aktuellt att använda biomassen efter extraktionen till gödningsmedel eftersom biomassen är rik på kväve och organiskt material. [48]

Biomassa som substrat till biogas

Det har visat sig möjligt att använda mikroalger som substrat vid framställning av biogas. Mikroalgen är dock en relativt outforskad råvarukälla för framställning av biogas, men intresset för den har ökat de senaste åren [49]. Andelen metan i algsubstrat kan ligga runt 70 % och gasutbytet per kilogram torrsbstanshalt är 0,3, jämför med slakteriavfall som har 0,27 och som idag är ett fungerbart substrat [49]. Framställning går till genom att substratet röts och bildar biogaser och rötresten. Rötresten är näringsrik och kan användas till gödningsmedel inom jordbruket. Substrat med hög andel kol är fördelaktiga för biogasframställning medan höga halter kväve kan vara problematiskt i rötningsprocessen[50]. Substrat räknas som bra substrat om det kan generera mycket metan per mängd tillfört substrat[49]. Prisbilden på substrat på biogasmarknaden är olika beroende på substratets kvalitet och form. [50]

B.8 Referenser

- [1] Robert A. Andersen, *Algal Culturing Techniques*, 2005, Elsevier Academic Press/Phycological Society of America. sid 1, 7.
- [2] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. s.1, 1-21.
- [3] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland., 16-23.
- [4] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. S. 20-22
- [5] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. S. 9.
- [6] Dermibas, M.F. (2011) Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*, vol.88, ss. 3473–3480
- [7] Rodolfi, L et al. (2009) Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 102, nr 1, ss. 100-112
- [8] Edberg, A. (2010) Growth of *Chlorella Vulgaris* at high carbon dioxide levels in Swedish light condition. Umeå: Umeå universitet (Examensarbete inom institutionen för teknik)
- [9] Andersson, A., Edfeldt, E. Lönsamhetsanalys för svenskproducerat biojetbränsle baserat på alger. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan (Kandidatarbete inom institutionen för Energi Teknik)
- [10] Jin, S., Melis, A. (2003) Microalgal Biotechnology: Carotenoid Production by the Green Algae *Dunaliella Salina*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, vol.8, nr 21, ss.332-337
- [11] Takagi M., Karseno., Yoshida T. (2006) Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol.101, nr 3, ss. 223-226
- [12] Mendoza, H et al. (2008) Characterization of *Dunaliella salina* strains by flow cytometry: a new approach to select carotenoid hyperproducing strains. *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.11, nr 4, ss.2-13
- [13] Lassing, M et al. (2008) Biodiesel Production from Microalgae. Lund: Lunds Tekniska Högskola (Kandidatarbete inom institutionen för Kemiteknik)
- [14] Cifferi, O. (1983) *Spirulina*, the Edible Microorganism. *MICROBIOLOGICAL REVIEWS*, vol.47, nr.4
- [15] Wijffels, R.H., Barbosa, M.J., Eppink, M.H.M. (2010) Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol.4, ss. 287-295
- [16] Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25, 294-306
- [17] Brennan, L. (2010) Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 557-577

- [18] U.S. DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. 37.
- [19] Wijffels, R. (2008) Production potentials. Research on microalgae within Wageningen UR. http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/production_potentials/ (2012-04-10)
- [20] Norsker, N-H, Barbosa, M et al. (2011) Microalgal production – A close look at the economics. *Biotechnology Advances*, 29, 24-27
- [21] Huntley, M. et al. (2007) CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 12, 573-608
- [22] Dismukes, C. et al. (2008) Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Energy biotechnology / Environmental biotechnology*, 19, 235-240
- [23] Posten, C. (2009) Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Eng. Life Sci.* 9, 165–177
- [24] Torzillo G., et al. (1993) A Two-Plane Tubular Photobioreactor for Outdoor Culture of *Spirulina*. *Biotechnology and Bioengineering*, 42, 891 -898
- [25] Robert A. Andersen, *Algal Culturing Techniques*, 2005, Elsevier Academic Press/Phycological Society of America. Sid 1, 7.
- [26] Schenk, P.M. et al (2008) “Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production”, *Bioenergy Research*, vol. 1, no. 1, s.20-43.
- [27] Lassing, M et al. (2008) *Biodiesel Production from Microalgae*. Lund: Lunds Tekniska Högskola (Kandidatarbete inom institutionen för Kemiteknik)
- [28] Grima, M. et al, (2003) “Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics”, *Biotechnology Advances*, vol. 20, no. 7-8, pp. 491-515.
- [29] U.S.DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland., s.37-39.
- [30] Vandamme, D. et al (2011) Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: Role of magnesium and calcium and practical implications, *Bioresource Technology*, 105, s. 114-119
- [31] Salim, S. et al, (2011) “Harvesting of microalgae by bio-flocculation”, *Journal of Applied Phycology*, vol. 23, no. 5, pp. 849-855.
- [32] Poelman, E. et al (1997) “Potential of electrolytic flocculation for recovery of micro-algae”, *Resources, Conservation and Recycling*, 19 (1) s.1-10
- [33] <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/HD8-Nrel.pdf> [2012-02-28]
- [34] Neltner, B. (2008). *Algae Based Biodiesel*, MIT <http://web.mit.edu/neltnerb/www/papers/Algae%20Based%20Biodiesel.pdf> [2012-02-25]
- [35] U.S.DOE (2010) National Algal Biofuels Technology Roadmap; 9-10 december, 2008, College Park, Maryland. S 38-40.
- [36] Desmorieux, H., Decaen, N. (2005) Convective drying of spirulina in thin layer. *Journal of Food Engineering*, (Volym/nr?)66, 497–503.
- [37] <http://www.algalturfscrubber.com/> [2012-03-11]

- [38] <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/HD8-Nrel.pdf> [2012-02-28]
- [39] Mercer, P., Armenta, RE. (2011) Developments in oil extraction from microalgae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 113, ss. 539-547
- [40] <http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/211484617/fulltext?accountid=10041>
- [41] Patil, V., Tran, K-Q., Giselød, H G. (2008) Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae. *International Journal of Molecular Science*, vol. 9, ss. 1188-119
- [42] D'Elia, L., Keyser, A., Young, C. *Algae Biodiesel*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute
- [43] Rowley, W M. (2010) NITROGEN AND PHOSPHORUS BIOMASS-KINETIC MODEL FOR CHLORELLA VULGARIS IN A BIOFUEL PRODUCTION SCHEME. Ohio: Air Force Institute of Technology
- [44] Bauen, A. et al. (2009) *Biofuels in aviation*. London: E4tech (Finalreport)
- [45] Carlson, A., Antonsson, H. (2011) *Andra generationens biodrivmedel*. Linköping: VTI.
- [46] U.S. DOE (2010) *National Algal Biofuels Technology Roadmap*; 9-10 December, 2008, College Park, Maryland. P.61-68.
- [47] Spolaore, P (2006) Review-Commercial Applications of Microalgae. *JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING*, Vol. 101, No. 2, 87-96.
- [48] Berg Hasper, T. (2010) *Microalgae Biotechnology: Microalgae biomass as a source of energy, environmental services and high value bio-products*.
- [49] Hedenfelt E. (2010) *Mikroalger för hållbar energiproduktion*, Malmö Högskola, C-uppsats i miljövetenskap
- [50] Holgersson p. et al (2011) *Substratmarknadsanalys, Sammanställning och analys av substratmarknaden*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut et al.

Bilaga C. Beräkningar av näringsämnen, koldioxid och biomassa

Beräkningar biomassa alger, avfallsvatten, kväve, fosfor och koldioxid för koncept Cirkulationspool och Hybrid

Beräkning mängd biomassa

Vi vill ha 160 000 ton flygbränsle

Oljan innehåller 15 % flygbränsle och algerna innehåller 30 % olja

$$\frac{160000}{0,15 * 0,30} = 3555555,556 \text{ ton alger}$$

Ämne	Halt jämfört med alger	Total konsumtion i anläggning
Avfallsvatten	0,5 g alger/liter vatten	$7,1111 * 10^{12}$
Kväve	46 g/g alger*(4,6 % av algmassan)	163555555,6
Fosfor	9,9 g/g alger*(0,99 % av algmassan)	35200000
Koldioxid	10,4 g/g alger*(1,04 % av algmassan)	36977777,78

* Från artikeln Life-cycle Assesment of biodiesel Production from Microalgae Tabell 4.

Beräkning av mängd vatten

$$0,5 \text{ g alger} / \text{ liter vatten} = 1 \text{ g alger} / 2 \text{ liter vatten}$$

$$3555555,556 * 10^6 * 2 = 7,1111 * 10^{12} \text{ liter vatten}$$

Gryaabs värde av fosfor och kväve i avfallsvattnet

(värdena på Gryaabs kvävehalt och fosforhalt i vatten är taget från ett medelvärdena på ingående vatten i Gryaabs miljörapport Ryaverket 2011 Bilaga 2)

Totalt N-värde i Gryaabs vatten:

N-värde= 0.0259 g/L vatten*

$$0,0259 * 7,111 * 10^{12} = 1,841749 * 10^{11} \text{ g} = 184174900 \text{ kg}$$

$$\frac{184174900}{163555555,6} = 1,13$$

=> Det finns 1,13 gånger mer kväve i avfallsvattnet än vad som krävs i anläggningen.

Totalt P-värde i Gryaabs vatten:

P-värde: 0.0037 g/L vatten*

$$0,0037 * 7,111 * 10^{12} = 2,63107 * 10^{10} \text{ g} = 26310700 \text{ kg}$$

$$\frac{26310700}{35200000} = 0,75$$

=> Det finns 75 % av den fosfor som rekommenderas i vår anläggning i avfallsvattnet

Beräkningar biomassa alger, avfallsvatten, kväve, fosfor och koldioxid för koncept Framtid**Beräkning mängd biomassa**

Vi vill ha 160 000 ton flygbränsle

Oljan innehåller 15 % flygbränsle och algerna innehåller 70 % olja

$$\frac{160000}{0,15 * 0,70} = 1523809,5 \text{ ton alger}$$

Ämne	Halt jämfört med alger	Total konsumtion i anläggning
Avfallsvatten	0,5 g alger/liter vatten	3,048*10 ¹² liter
Kväve	46 g/g alger*(4,6 % av algmassan)	70095237 kg
Fosfor	9,9 g/g alger*(0,99 % av algmassan)	15085714 kg
Koldioxid	10,4 g/g alger*(1,04 % av algmassan)	15847619 kg

* Från artikeln Life-cycle Assesment of biodiesel Production from Microalgae Tabell 4.

Beräkning av mängd vatten

$$0,5 \text{ g alger} / \text{liter vatten} = 1 \text{ g alger} / 2 \text{ liter vatten}$$

$$1523809,5 * 10^6 * 2 = 3,048 * 10^{12} \text{ liter vatten}$$

Gryaabs värde av fosfor och kväve i avfallsvattnet**Totalt N-värde i Gryaabs vatten:**

N-värde= 0.0259 g/L vatten*

$$0,0259 * 3,048 * 10^{12} = 7,89432 * 10^{10} \text{ g} = 78943200 \text{ kg}$$

$$\frac{78943200}{70095237} = 1,13$$

=> Det finns 1,13 gånger mer kväve i avfallsvattnet än vad som krävs i anläggningen.

Totalt P-värde i Gryaabs vatten:

P-värde: 0.0037 g/L vatten*

$$0,0037 * 3,048 * 10^{12} = 1,12776 * 10^{10} \text{ g} = 11277600 \text{ kg}$$

$$\frac{11277600}{15085714} = 0,75$$

=> *Det finns 75 % av den fosfor i avfallsvattnet som rekommenderas i anläggningen.*

Bilaga D. Beräkningar LCA

LCA viktningdata har i regel tagits från rapporten "A systematic approach to environmental priority strategies in product development(EPS) Version 2000-Models and data of the default method", men vissa viktningdata har räknats ut utifrån vilka komponenter ämnet innehåller eller vilka utsläpp de orsakar. Dessa uträkningar redovisas i denna bilaga.

Beräkning av viktningdata för rostfritt stål

Ämne	Andel/kg	Viktningdata	Andel*Viktningdata
Krom	0,12	84,9	10,188
Nickel	0,07	160	11,2
Molybden	0,02	2120	42,4
Järn	0,79	0,961	0,75919
		Viktningdata	64,54719
		rostfritt stål	

Beräkning av viktningdata för PVC-plast

Siffrorna på antal kg utsläpp per år är hämtade från Ineos miljörapport 2011 och andelen utsläpp per kg PVC producerat är beräknad på Ineos PVC-produktion år 2011 som uppgick till 206 487 ton.

Ämne	Viktningdata(ELU/kg)	Antal kg utsläpp	Antal kg/kg PVC	Viktningdata*kg/kg PVC
HCl	2,13	266 000	0,001288	0,002744
Hg	61,4	14,61	$7,0755 \cdot 10^{-8}$	$4,3443 \cdot 10^{-6}$
NH ₃	2,90	6020	$2,9154 \cdot 10^{-5}$	$8,54 \cdot 10^{-5}$
CO	0,331	125 800	$6,0924 \cdot 10^{-4}$	$2,0166 \cdot 10^{-4}$
CO ₂	0,108	55350000	0,2681	0,02895
NO _x	2,13	52 700	$2,5522 \cdot 10^{-4}$	$5,436 \cdot 10^{-4}$
VOC	2,14	42679	$2,0669 \cdot 10^{-4}$	$4,423 \cdot 10^{-4}$
HFC			Viktningdata	0,03297
			PVC	

Beräkning av transportens viktningdata

Hämtat från Baumann H, Tillman AM. (2004) The Hitch Hiker's Guide to LCA.1:3. Lund: Studentlitteratur AB. Sid 500-501 Table App 1.8 och Table App 1.9

Mängd per ton och km är baserat på användning av fossil olja vid transport till sjöss med ett stort fartyg ca 5700 km och med en last 160 000 ton. Energin relateras till elektricitetsanvändning och i förlängning urananvändning därav antal kg uran och viktningdata för uran i tabell.

Ämne	Mängd per ton och km	Total mängd	Viktningdata	Totalt miljöpåverkansvärde
Energi	0,216 MJ	196992000 MJ (motsvarar 24 kg uran)	1190 (för uran)	28589,02439
CO ₂	15,4 g	14044800	0,108	1516838,4
NO _x	0,429 g	391248	2,13	833358,24
HC	0,020 g	18240	90,85 (medelvärde)	1657104
PM	0,0204 g	18604,8	36	669772,8
CO	0,0087 g	7934,4	0,331	2626,2864
SO ₂	0,262 g	238944	3,27	781346,88
			Totalt	5489635,791
			Miljöpåverkansvärde:	

Bilaga E. Beräkningar Ekonomi

Lönekostnader för Göteborg och Libyen. Gäller för varje koncept.

Göteborg

Sverige olika yrkesgrupper (SEK):	
Montör	22516
Konstruktör	28805
Anläggare	25336
elektriker	24320
underhållsingenjör	30853
vaktmästare	20633
Civilingenjör	34524
ingenjör	31511
Genomsnittlig lön:	27312,25
100 pers:	2731225
Arbetsgivaravgift:	
(försäkring + skatt mm)	1365612,5
Tot lönekostnad/månad:	4096837,5
Tot lönekostnad/år:	45065212,5

Libyen

Växelkurs:

1 LYD=0,8 USD

1 USD=6,75 SEK

Lön per person i LYD	220
Lön per person i USD	176
Lön per person i SEK	1188
100 personer	118800
Arbetsgivaravgifter (samma som för Sverige)	59400
Tot lönekostnader/månad	178200
Tot lönekostnader/år	2138400

Fraktkostnader Libyen- Göteborg

Transport- och fraktkostnader

Transport- och fraktkostnader		
(Räknat på 15 000 ton/ gång vilket ger 10,667 frakter/år för 160 000 per år)		
	USD	SEK
Lastning		
Lossning		
Transport		
Övriga Avgifter		
Tot:	420000	2835000
Tot/år	4480140	30240945

Beräkning av värdet på biomassan

Vi har 70 % lipider, antar 24 % proteiner och 6 % kolhydrater

Baserat från Barbosas artikel "Microalgae for the production of bulk chemicals and bio-fuels" förhållande 1:5 mellan protein och kolhydrat innehåll

20 % av proteiner till matindustrin 5 euro/kg

80% av proteinerna till djurfoder industrin 0,75 euro/kg

Kolhydrater 1 euro/kg

Totalt pris mer kg biomassa exklusive lipider:

$(0,24*0,20*5)+(0,24*0,080*0,75)+(0,06*1)=0,3144$

euro/kg=2,8296 sek/kg=2829,6 sek/ton

Beräkning av kostnad för kemikalier

Växelkurs: 1 USD=6,66 SEK (växelkurs 29/3- 2012)

Chitosan:	4,84	USD/lb	1 lb= 0.4535923699997481 kg
	32,26344	SEK/lb	
	71,12872066	SEK/kg	
	71128,72066	SEK/ton	

Pris	930	EUR/ton
Pris	8310,48	SEK/ton

Bilaga F. Politiska styrmedel i Sverige och globalt

Styrmedel som används för att öka användningen av utsläppsneutrala bränslen, både i Sverige och globalt, är handel med utsläppsrätter, skattereduktioner, inblandningskrav, handelshinder och subventioner[5]. Till dessa kan även stöd till forskning och teknikutveckling räknas, då teknologiska framsteg inom energisektorn bidrar till att minska användningen av koldioxid. Utsläppsrätter är det styrmedel som är mest anpassat till en global marknad då det förekommer öppen handel kring dem.

Utsläppsrätter blev officiellt taget redan 1997 då Kyotoprotokollet till FN:s klimatkonvention antogs. I korthet handlar reglerna för utsläppsrätter om att för en utsläppsrätt får det släppas ut ett ton koldioxid. EUs system sätter ett tak för hur stora de totala utsläppen av koldioxid får vara inom det totala systemet under en handelsperiod. Industrier har rätt att ansöka om utsläppsrätter under takgränsvärdet, men tilldelningen ska underskrida behovet totalt [4].

Handelssystemet inom EU inleddes i januari 2005 och löpte fram till 2007 som ett verktyg för att minska utsläpp av växthusgaser enligt Kyotoprotokollet. Andra handelsperioden inleddes 2008 och varar fram till 2012. Den tredje handelsperioden gäller för 2013-2020. I första handelsperioden inkluderades endast koldioxid i utsläppsrätterna, medan i andra perioden inkluderades även lustgas i några medlemsländer. Handeln med utsläppsrätter omfattar idag cirka 40 procent av EU-ländernas totala utsläpp av koldioxid. [9] Under den andra handelsperioden har 90 procent av utsläppsrätterna fördelas gratis till berörda anläggningar [4], och i början på den tredje perioden 2013 föreslås en gratis tilldelning på 30.2 miljoner utsläppsrätter fördelas bland svenska industriföretag och värmeproducenter. Denna siffra ska succesivt reduceras till 24 miljoner 2020 då tredje handelsperioden avslutas [2].

Handelssystemet bygger på att alla involverade företag årligen redovisar sin faktiska utsläppsmängd av koldioxid från fossila bränslen. Överskrider ett företag kvoten för de tilldelade utsläppsrätterna kan företaget välja att köpa utsläppsrätter från företag som inte använder hela sin kvot och därmed skapas en marknad för utsläppsrätter där priset bestäms efter tillgång och efterfrågan [1]. Industrier får dock inte handla och använda sig av utsläppsrätter som tilldelats flygindustrin.

Referenser

[1]	Transportstyrelsen (24 maj 2010) "EUs system med med utsläppshandel", http://www.transportstyrelsen.se/Luftfart/Miljo/EUs-handel-med-utslappsrat-ter/ [21-04-12]
[2]	Miljödepartementet (2 februari 2012), Pressmedelände: http://www.regerin-gen.se/sb/d/15859/a/185407 [21-04-12]
[3]	Lunds Universitet, Lets2050 (21 November 2011), "Ekonomiska och politiska styrmedel", http://www.lth.se/lts2050/omraaden/wp1/ [21-04-12]
[4]	Klimatkompensation utan vinstintresse 2006, (11 December 2011), http://www.utslappsraatt.se/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=57&lang=se [21-04-12]
[5]	Hammarlund C. et al, (2010) Bränsle för ett bättre klimat- marknad för politik och biobränslen, AgriFood Economics Centre. http://www.agrifood.se/Files/AgriFood_Rapport_20105.pdf

Bilaga G. Kalkyler över beräkningsdata

Produktionsdata

Cirkulationspool

PE (% solar) = $Pa * h * I^{(-1)} * 100$		Lipidinhåll
	Chlorella vulgaris	30%
Pa = Areal productivity DW (g/(day*m2))	h	26200 J/(g) DW
h = combustion entalpy (MJ/g)		0,0262
I = intercepted solar irradiation (MJ/(day*m2))		
Använder Global irradiance	PE (open)	2
1 kwh=3,6 MJ		
Pa=PE*I/(h*100)	1 hektar [ha] = 10000 kvadratmeter	

Production Göteborg, production area

0,90687 1,912672 3,099847 4,32 4,600305344 4,418931298 3,528549618 2,349618 1,121221

Tot år (ton/(year*he))

29,68763 148,4382 0

26,25802

System areal (m2)

Systems/he

Production Göteborg, true area based on system size

1312,5 7,619047619

0,690949 1,457274 2,361788 3,291429 3,504994547 3,366804798 2,688418757 1,790185 0,854264

Tot år (ton/(year*he))

20,00611

Prod Tripoli

2,522748 3,421374 4,43542 5,449466 6,092519 6,620152672 6,752061069 6,109007634 4,954809 3,767634 2

Tot år (ton/(year*he))

55,06351

System areal (m2)

Systems/he

Production Tripoli, true area based on system size

1312,5 7,619047619

1,922094 2,606761 3,379368 4,151974 4,641919 5,043925845 5,144427481 4,654482007 3,775093 2,870578 2

Tot år (ton/(year*he))

41,95315

Materialberäkningar p.1

Beräkningar:

Ytberäkning för ort

Tripoli		Lipid innehåll		Lipid Tot år (ton/(year*he))	Lipid Tot år (ton/(year*km2))	Dry weight (ton/(year*km2))	
30 % av massan på Chlorella vulgaris är lipider							
Tot år (ton/(year*he))	55,06351145		30%	16,51905344	1651,905344	5506,351145	
Beräkning att allt lipidinnehåll kommer att användas till flygbränsle							
Förbrukning flygbränsle (ton)	160000	Produktionsyta km2		96,85785001			
Beräkning att endast 15 % av oljan som kommer ut används till flygbränsle							
Flygbränsle Tot år (ton/(year*km2))	247,7858015	Produktionsyta km2	645,7190001	Total yta för anläggning (km2)	Tot prod Dry weight (ton)	Biomassa efter extraktion /ton	2488888,889
				847,5061876	3555555,556	Producerad algolja (ton)	1066666,667
							1,33E+09

Systemdata

En pool antas vara 0,1 ha (djup på 3 DM)			Yta för produktionsenhet			Lägger till 1 m på varje sida av produktionsenheten	
Längd (m)	Bredd (m)	Djup (m)	Längd (m)	Bredd (m)	Längd (m)	Bredd (m)	
200	200	5	0,2	102,146	10	105	12,5
Produktions area (m2)	Volym (m3)		Avrundat	Avrundat			
1000	1000	200		103	10,5		
Antal system			Area per produktionsenhet (m2)			Antal anläggningar per hektar	
645719,0001			1312,5			7,619048	

Material till system

PVC för produktionsenhet		Räknar på endast enheten		Avskiljare (m2)	
Botten (m2)	1000	Sidor (m2)	45,4	18,4	
Total per produktionsenhet (m2)	1063,8				
Total PVC (km2)	686,9158723	Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)	3434579,362	
		0,005			

Material till växthus:		Omkrrets (m)		Sidoyta (m2)	
Höjd (m)	1	227	227		
Tak (m2)	Plast varje enhet (m2)				
1081,5	1308,5				
Total area plast (km2)	844,9233116	Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)	4224616,558	
		0,005			

Material till paddel		Total längd (4 st blad) (m)		Area (m2)	
Blad längd (m)	5	20		2	
Höjd (m)	0,1	Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)	6457,190001	
Total area (m2)	1291438	0,005			

Material pump avfallsvatten		Levererar avfallsvatten från Gryaab, räknar att detta är systemets vatten	
Stål per enhet (kg)	15	Kapacitet (m3/h)	60
Volym skördning från pond, 10% (m3/dag)	20	Antar att pumpen är igång 10 h om dagen	
Antal ponds 1 pump klarar av	30	Skördningsmängd per timma (m)	2
Total mängd stål (ton)	322,8595	Antar att skördningen sker över 10 h, fyller därmed på lika mycket	

Material pump skördningsvatten		Tar vatten från ponds till skördningstankarna	
Stål per enhet (kg)	15	Kapacitet (m3/h)	60
Volym skördning från pond, 10% (m3/dag)	20	Antar att pumpen är igång 10 h om dagen	
Antal ponds 1 pump klarar av	30	Skördningsmängd per timma (m)	2
Total mängd stål (ton)	322,8595	Antar att skördningen sker över 10 h	

Tank skördning		Kontinuerlig odling, 10 % av volym pond skördas per dag, dvs 20m3 per dag		Tank chitosan	
Volym skördnings tank(m3)	100	Total volym skördningsvatten per dag (m3)	12914380	0,1 g Chitosan per liter skördningsvatten	
Storlek pond (m3)	200	Total vikt Chitosan som används per dag (kg)	1291438	Det vill säga 0,1 kg chitosan per m3 skördningsvatten	
Antal tankar för 10 ponds	2	Total volym Chitosan som används (m3)	2582,876	Bulk densitet 0,5 g/ml, det vill säga 500 kg/m3	
Tanken är lika stor på alla sidor(6 sidor) (m)	4,641588834	Antal 100 m3 tankar	25,82876		
Material för tank (m2)	129,2660814	Material för tank (m2)	129,2660814	Total material för tankar (km2)	0,003338783
		Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)	Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)
		0,005	83469,56483	0,02	66,77565186

Tank extractions tank		Då lika mycket biomassa produceras i alla anläggningar per år, borde dessa tankar vara beroende på den produktionen gentemot en procentsats mot skördningstankar	
Volym extractions tank(m3)	100	Producerad biomassa (ton)/år	3555555,556
Total mängd processerad biomassa per tank	18250	Antar att antal ton biomassa är ekvivalent med antal kubik, varje extrationstank har 50 m3 hexan och lika mycket biomassa, utslaget på 365 dagar (1 sats per dag)	
Antal tankar (utjämnat)	195	Volym hexan (m3)	9741
Tanken är lika stor på alla sidor(6 sidor) (m)	4,641588834	Densitet (kg/m3)	660
Material för tank (m2)	129,2660814	Vikt hexan (ton)	6429
		Total material för tankar (km2)	
		0,025184259	
		Antag tjocklek (m)	Volymberäkning (m3)
		0,02	503,6851878

Materialberäkningar p.2

Destillationstorn	Antar en tank, kubisk form för material		
Volym tank (m3)	100		
Antal tankar	Beror på antalet extraktionstankar, 50 % då dessa är lipider + hexan		
	97		
Tanken är lika stor på alla sidor (6 sidor) (m)	4,641588834		
Material för tank (m2)	Total material för tankar (km2)		
	129,2660814	0,01259213	
	Antag tjocklek (m)	Volymsberäkning (m3)	
		0,02	251,8425939

Upphållstank råolja	Antar en tank, kubisk form för material		
Volym tank (m3)	500	Producerad biomassa (ton)/år	Total råolja från lipider/år
		355555,556	1066666,667
Mängd avhämtning råolja (ton)/vecka	Storleken anses bero på totala produktionen råolja, där avhämtning av råolja anses ske 1 gång i veckan, dvs 52 ggr per år		
	20512,82051		
Antal tankar	Då dessa tankar skall kunna innehålla ovan nämnda mängd råolja		
	41		
Tanken är lika stor på alla sidor(6 sidor) (m)	7,93700526		
Material för tank (m2)	Total material för tankar (km2)		
	377,976315	0,015506721	
	Antag tjocklek (m)	Volymsberäkning (m3)	
		0,02	310,1344123

Upphållstank biomassa	Antar en tank, kubisk form för material		
Volym tank (m3)	500	Producerad biomassa (ton)/år	Total biomassa efter extraktion/år
		355555,556	2488888,889
Mängd avhämtning biomassa (ton)/vecka	Storleken anses bero på totala produktionen biomassa, där avhämtning av biomassa anses ske 1 gång i veckan, dvs 52 ggr per år		
	47863,24786		
Antal tankar	Då dessa tankar skall kunna innehålla ovan nämnda mängd biomassa		
	96		
Tanken är lika stor på alla sidor(6 sidor) (m)	7,93700526		
Material för tank (m2)	Total material för tankar (km2)		
	377,976315	0,036182348	
	Antag tjocklek (m)	Volymsberäkning (m3)	
		0,02	723,646962

Rörssystem	Diameter (m)		
Längd (m)	20	0,5	
Mantelarea (m2)	Total material (km2)		
	31,41592654	20,28586067	
	Antag tjocklek (m)	Volymsberäkning (m3)	
		0,005	101429,3033

El till system

Elkonsumtion för open pond system, omrörning	Från "el LCA odling"		
Litterära siffror (W/m3)	3,72		
År Per pond (W)	Total (W) för alla produktionsenheter under ett år		
	744	480414936,1	
	Total (kWh)	1729493770	
	Total (MJ)	6226177571	

Ingen elkonsumtion från soltorkning!

Elkonsumtion för avfallsvattenpumpar	Igång 10 timmar om dagen	$Ph=q*p*g*h/(3,6*10^6)$	$Ps=Ph/n$	
q flöde (m3/h)	n effektivitet (%)	p densitet (kg/m3)	h, differential head (m)	
	60	0,85	1000	0,05
Ph (kW)	Ps (kW)			
	0,008175	0,009617647		
Elförbrukning per pump (kWh)	Per dag, 10 h (kWh)	Per år (kWh)		
	34,62352941	346,2352941	126375,8824	
Antal Pumpar	Total elförbrukning per år (kWh)		Total elförbrukning per år (MJ)	
	21523,96667	2,72E+09	9,79E+09	

Elkonsumtion för skördningspumpar	Igång 10 timmar om dagen	$Ph=q*p*g*h/(3,6*10^6)$	$Ps=Ph/n$	
q flöde (m3/h)	n effektivitet (%)	p densitet (kg/m3)	h, differential head (m)	
	60	0,85	1000	0,05
Ph (kW)	Ps (kW)			
	0,008175	0,009617647		
Elförbrukning per pump (kWh)	Per dag, 10 h (kWh)	Per år (kWh)		
	34,62352941	346,2352941	126375,8824	
Antal Pumpar	Total elförbrukning per år (kWh)		Total elförbrukning per år (MJ)	
	21523,96667	2,72E+09	9,79E+09	

LCA Analys

Tripoli		Beräkning av LCA-värde				
Odling		ELU-värde/enhet	Antal	Omvandling till kg	Tot ELU	
Markanvändning		0,00055 m ²	847,5061876 km ²	847506187,6	4,66E+05	
Koldioxid, fosfat, nitrat, alger och vatten beror på slutgiltig oljeproduktion, därav är dessa ej beroende på produktionsanläggningen						
Koldioxid		-0,108 kg	36977777,78 ton	36977777,78	-3,99E+06	
Fosfat		0 kg	54556 ton	54556000	0,00E+00	
Nitrat		0 kg	9393,12 ton	9393120	0,00E+00	
Alger		0 kg	3555555,556 ton	3555555556	0,00E+00	
Vatten		0,003 kg	7,11111E+12	liter	7,11111E+12	2,13E+10
Material till bassänger Räknar med 2 cm tjocklek		PVC Densitet 1175 kg/m ³	0,03297 kg	3434579,362 m ³	4035630750	1,33E+08
Växthus av plast		PVC Densitet 1175 kg/m ³	0,03297 kg	4224616,558 m ³	4963924456	1,64E+08
Material till paddel		Stål Densitet 8000 kg/m ³	64,54719 kg	6457,190001 m ³	51657520,01	3,33E+09
Elektricitet Elkälla		Uran 8200000 MJ/kg	1190 kg	6226177571 MJ	759,2899477	9,04E+05
Pumpar						
Avfallsvatten Stål till pump		Vatten Densitet 8000 kg/m ³	64,54719 kg	322,8595 ton	322859,5	2,08E+07
Elektricitet Elkälla		Uran 8200000 MJ/kg	1190 kg	9,79E+09 MJ	1194,194757	1,42E+06
Skördningssvatten Stål till pump		Vatten Densitet 8000 kg/m ³	64,54719 kg	322,8595 ton	322859,5	2,08E+07
Elektricitet Elkälla		Uran 8200000 MJ/kg	1190 kg	9,79E+09 MJ	1194,194757	1,42E+06
Skördning Räknar med 10% spill per år Chitosan			0 kg	129,1438 ton	129143,8	0,00E+00
Tankar chitosan		Stål Densitet 8000 kg/m ³	64,54179 kg	66,77565186 m ³	534205,2149	3,45E+07
Tankar		Stål Densitet 8000 kg/m ³	64,54179 kg	83469,56483 m ³	667756518,6	4,31E+10
Urvattning						
Markanvändning		0,00055 m ²	423,7530938 km ²	423753093,8	2,33E+05	
		PVC Densitet 1175 kg/m ³	0,03297 kg	2118765,469 m ³	2489549426	8,21E+07
Extraktion						
Räknar med 10% spill per år Hexan			2,57 kg	643 ton	642922,3744	1,65E+06
Tankar		Stål Densitet 8000 kg/m ³	64,54179 kg	503,6851878 m ³	4029481,502	2,60E+08

Destillationskolonn

Tankar	Stål		64,54179 kg	251,8425939 m ³	2014740,751	1,30E+08
	Densitet	8000 kg/m ³				

Uppehåll**Råolja**

Tankar	Stål		64,54179 kg	310,1344123 m ³	2481075,298	1,60E+08
	Densitet	8000 kg/m ³				

Biomassa

Tankar	Stål		64,54179 kg	723,646962 m ³	5789175,696	3,74E+08
	Densitet	8000 kg/m ³				

Övrigt

Rörsystem	Stål		64,54179 kg	101429,3033 m ³	811434426,8	5,24E+10
	Densitet	8000 kg/m ³				

Transport

annan enhet???

Energi/elektricitet		1190 kg uran		196992000 MJ	24,02439024	2,86E+04
CO2		0,108		kg	14044800	1,52E+06
NOX		2,13		kg	391248	8,33E+05
HC	12,3-194	Medelvärde: 90,85		kg	18240	1,66E+06
PM		36		kg	18604,8	6,70E+05
CO		0,331		kg	7934,4	2,63E+03
SO2		3,27		kg	238944	7,81E+05

Summa 1,22E+11

Ekonomiberäkningar

Koncept 1		Göteborg		Tot	
Antal					
1271,25928 km2	Markkostnad	6,73E+03 sek/ha		8,56E+08 SEK	
10,666667 ggr/år	Frakt	2,84E+06 sek		3,02E+07 SEK/år	
	Tull	0,077		4,50E+08 SEK	
Produktionsanläggning					
686,915872 km2	PVC plast Växthus	3,48E+01 SEK/m2		2,39E+10 SEK	
844,923312 km2	PVC plast Pond liner	2,09E+01 SEK/m2		1,77E+10 SEK	
645719 Ponds	Paddelhjul	7,20E+03 SEK/Antal		4,65E+09 SEK	
	totalt			4,62E+10	
Pumpar					
21523,9667 Pumpar	Avfallsvatten (60 m3/h)	7,20E+04 SEK/pump		1,55E+09 SEK	
7174,65556	Ronings filter för avloppspump (6 m3/h)	1,22E+05 SEK/Antal		8,72E+08 SEK	
21523,9667 Pumpar	Skördingsvatten (60 m3/h)	7,20E+04 SEK/pump		1,55E+09 SEK	
	totalt			3,97E+09	
Tankar					
129143,8 tankar	Skördingsstank (100m3)	1,31E+05 SEK/tank		1,69E+10 SEK	
25,82876 tankar	Chitosantank (100 m3)	1,31E+05 SEK/tank		3,37E+06 SEK	
195 tankar	Extraktionstank (100 m3)	1,31E+05 SEK/tank		2,55E+07 SEK	
97 tankar	Destillationskolonn (50 m3)	2,36E+04 SEK/tank		2,30E+06 SEK	
96 tankar	Uppehållstank biomassa (500 m3)	6,53E+05 SEK/tank		6,25E+07 SEK	
41 tankar	Uppehållstank råolja (500 m3)	6,53E+05 SEK/tank		2,68E+07 SEK	
	totalt			1,70E+10	
Torkning					
423,753094 km2	Markkostnad	6,73E+03 sek/ha		2,85E+08 SEK	
423,753094 m2	PVC liner	2,09E+01 SEK/m2		8,86E+09 SEK	
	MEC TOTAL			7,60E+10	
Andra Kostn. Kan bero på odlingstyp?					
	Underhåll	0,03 %*100 av Tot		2,28E+09 SEK	
	Installations kostnader	0,15 %*100 av Tot		1,14E+10 SEK	
	Instrument och kontroll	0,1 %*100 av Tot		7,60E+09 SEK	
	Rör	0,3 %*100 av Tot		2,28E+10 SEK	
	Byggnader	0,15 %*100 av Tot		1,14E+10 SEK	
	KAPITAL TOTAL			1,22E+11 SEK	
Årliga kostnader					
Kemikalier					
6429 ton	Hexan	8,31E+03 sek/ton		5,34E+07 SEK	
1291,438 ton	Chitosan	7,11E+04 sek/ton		9,19E+07 SEK	
El					
2,72E+09 kWh	Avfallsvatten (60 m3/h)	2,20E-01 sek/kwh		5,98E+08 SEK	
2,72E+09 kWh	Skördingsvatten (60 m3/h)	2,20E-01 sek/kwh		5,98E+08 SEK	
1,73E+09 kWh	Omvärming	2,20E-01 sek/kwh		3,80E+08 SEK	
	Löner			4,27E+06 sek/år för 200 pers inklusive arbetsgivaravgifter och försäkring	
Rörliga kostnader					
	Underhåll			2,28E+09 SEK	
	Instrument och kontroll			7,60E+09 SEK	
	RÖRLIGA TOTAL			1,21E+10 SEK	
Tot		1,35E+11 SEK			
Prod DW	355555556 kg	1,01E+02 sek		Vi får ut 160 000 ton flygfotogen vilket är 15% -> 1066666,667 ton råolja= 133333333 liter	
	1333333333 l	6,50E-01 USD/l		9/4-2012	
		4,39E+00 sek/l			
Intäkter					
248888,89 ton	Biomassa	1,00E+02 sek/ton		2,49E+08 sek	

Resultat -1,2849E+11

lj amortering	År	Årliga kostnader	Kapitalkostnad	Ränta 10 %	Avskrivning 5 %	Finansiell kostn	Avskrivnings kostn	Tot Kost (exkl. avskriv/Intäkter)	Resultat	pris/liter	pris/kgDW	TOT KOSTNAD	Resultat	pris/liter	pris/kg		
	0		1,21E+10	1,22E+11	0	0	0,00E+00	0	1,35E+11	6,10E+09	-1,28E+11	1,01E+02	3,79E+01	1,35E+11	-1,28E+11	1,01E+02	37,853
	1		1,21E+10	1,22E+10	0,1	0,05	1,22E+10	6,12E+09	2,43E+10	6,10E+09	-1,82E+10	18,255457	6,845796268	3,05E+10	-2,44E+10	22,8491203	8,5684

Avskrivningar enligt plan Livslängd anläggning 20 år