



# Utveckling inom användning av sjögräs

Casper Savén

Lärdomsprov

Process- och materialteknik

2026

# Lärdomsprov

Casper, Savén

Utveckling inom användning av sjögräs.

Yrkeshögskolan Arcada: Process- och materialteknik, 2026.

## Sammandrag:

Detta arbete behandlar sjögräs, algen *Ulva* och dess potential som resurs i en hållbar biobaserad ekonomi. Syftet var att undersöka de olika möjligheterna och begränsningarna som finns för att använda *Ulva* i olika industriella tillämpningar, samt att analysera hur en cirkulär bioraffinaderimodell kan bidra till ett mer resurseffektivt användande av biomassa.

Arbetet stödjer sig på en litteraturstudie där vetenskapliga artiklar, rapporter och andra studier har analyserats. Arbetet inkluderar bland annat forskning om näringsinnehåll, processmetoder, odlingsförhållanden och värdekedjor för sjögräsbaseade system.

Resultaten visar att *Ulva* har flera lovande användningsområden, såsom bioplaster, foder, bioenergi och jordförbättring, tack vare höga innehåll av kolhydrater, mineraler och bioaktiva ämnen. Det kommer även fram viktiga begränsningar, bland annat betydande variationer i biomassans sammansättning, hög vattenhalt som försvårar transport och torkning, samt tekniska och ekonomiska hinder kopplade till extraktion och fraktionering. Dessutom kommer det fram behovet av standardiserade odlingsmetoder för att möjliggöra en stabil råvaruförsörjning.

Allt i allt visar studien att *Ulva* har stor potential i framtida hållbara värdekedjor men att realisering av storskaliga system kräver fortsatt forskning, utveckling av tekniken och det ekonomiska.

## Nyckelord:

Sjögräs

Tarmalg

Hållbar utveckling

*Ulva*

# Degree Thesis

Casper, Savén

Developments in seaweed applications.

Arcada University of Applied Sciences: Mechanical and sustainable engineering, 2026.

## **Abstract:**

This study examines seaweed, specifically the *Ulva* algae, and its potential as a resource within a sustainable bio-based economy. The purpose was to explore the opportunities and limitations associated with the industrial use of *Ulva* and to analyze how a circular biorefinery model could support more resource-efficient biomass utilization. The study was conducted as a literature review, drawing on peer-reviewed scientific articles, reports, and other relevant publications. The reviewed material includes research on chemical composition, processing technologies, cultivation conditions, and value-chain development for seaweed-based systems.

The findings indicate that *Ulva* offers several promising applications, including bioplastics, animal feed, bioenergy production and soil improvement, largely due to its high content of carbohydrates, minerals and bioactive compounds. However, the results also identify key constraints, such as substantial variation in biomass composition, the high-water content that complicates transport and drying and technical as well as economic challenges related to extraction and fractionation of valuable biomolecules. Additionally, the study highlights the need for standardized cultivation practices to ensure stable and predictable biomass supply.

Overall, the results suggest that *Ulva* holds significant potential within future sustainable value chains. Nevertheless, the development of large-scale biorefinery systems will require continued research, technological innovation, and long-term economic viability.

## **Keywords:**

Seaweed

Green Algae

Circular economy

*Ulva*

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Litteratur</b> .....	<b>8</b>
2.1	Bakgrund.....	8
2.2	Sjögrässets funktioner.....	10
2.3	Nuvarande utveckling av sjögräs .....	13
2.3.1	Sjögräs för hälsa och medicin .....	13
2.3.2	Nedbrytbar plast av alger .....	15
<b>3</b>	<b>Metod</b> .....	<b>16</b>
3.1	Systematisk litteraturstudie .....	16
3.2	Förenklad massbalansmodell för Ulva.....	17
3.3	Massbalans och komponentsammansättning hos Ulva .....	18
3.3.1	Industriella tillämpningar baserat på Ulvas komponentsammanfattning .....	20
3.3.2	Variationer i Ulvas kemiska sammansättning .....	20
3.3.3	Koppling med cirkulär ekonomi .....	20
3.4	Begränsningar och utmaningar .....	22
<b>4</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>22</b>
4.1	Massbalans och produktionseffektivitet för Ulva.....	23
4.2	Bioraffinaderimodell och utmaningar i värdekedjan.....	24
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Källor</b> .....	<b>29</b>

## Ordlista

**Mangrove:** Mangroven är ett av världens mest produktiva ekosystem. Det återfinns mellan land och hav längs med tropiska och subtropiska kuster. Med sina rötter och trädstammar, fungerar den som barnkammare, skydd och skafferi åt fiskar, skaldjur och andra vattenlevande djur.

**Fotosyntes:** Fotosyntes är den process där växter och andra levande organismer tar hand om energi från solljus och lagrar energin i kemiska bindningar.

**Sedimentera:** En naturlig process som sker när partiklar, till exempel lera, sand eller organsikt material som finns "svävande" i vatten och blir tunga nog att lägga sig på botten.

**Polysackarider:** Är kolhydrater som består av långa kedjor av många enklare sockermolekyler. Strukturen kan vara linjär eller förgrenad. De är i allmänhet svårösliga i vatten och saknar smak.

**Lipider:** Lipider är inom kemin ett samlingsnamn på en stor grupp ämnen bestående av fetter eller fettliknande ämnen.

**Fraktionering:** Är att dela upp en blandning i beståndsdelar alltså fraktioner, genom en separationsprocess. Separera och rena olika komponenter i en vätska.

**Bioraffinaderi:** En anläggning som förädlar förnybar biomassa, som avfall, skogsråvara eller jordbruksrester, till olika produkter som biodrivmedel, biobaserade kemikalier, energi och material. Betydelsen ligger i att det kan minska fossilbaserade råvaror, kunna bidra till att nå globala klimatmål genom att ersätta fossila produkter med förnybara alternativ och utnyttja biologiska resurser mer effektivt genom att ta tillvara på alla delar av biomassan.

**Enzymer:** Det är proteiner som fungerar som biologiska katalysatorer i levande organismer.

**Hydrolysat:** Alger kan omvandlas till en vätska med sockerarter som används för näring för bakterier för att producera biologiskt nedbrytbar plast.

# 1 Introduktion

Marin biomassa har under de senaste åren blivit mer och mer populär och har potential som en del av omställningen mot en mer hållbar och biobaserad ekonomi. I synnerhet makroalger, betraktas som en lovande resurs eftersom de växer snabbt, inte konkurrerar med jordbruksmark och kan bidra med upptag av koldioxid samt förbättrad vattenkvalitet. Till skillnad från andra landbaserade skördar behöver alger varken sötvatten, gödningsmedel eller växtskyddsmedel, därför blir de särskilt intressanta ur ett hållbarhetsperspektiv. Alger kan samtidigt fungera bra som råvara för olika produkter inom livsmedel, foder, materialutveckling och bioenergi.

Trots det finns stora fördelar är den storskaliga användningen av makroalger fortfarande begränsad. Algbiomassans kemiska sammansättning är en av de centrala utmaningarna och varierar mycket beroende på art, säsong, odlingsförhållanden och geografisk plats. Det betyder att det blir svårare för både planering och optimering av industriella processer. Det innebär även att den höga vattenhalten i färsk biomassa ger tekniska och logistiska utmaningar vid skörd, lagring, transport och vidare bearbetning. Det krävs därför välutvecklade processer för avvattning, fraktionering och resurseffektiv användning av hela biomassan, för att alger ska kunna användas effektivt i industriella sammanhang.

Detta arbete fokuserar sig på makroalger från släktet *Ulva*, kallas även för tarmalg. Den är en av de mest studerade och snabbväxande alggrupperna. *Ulva* är en väldigt intressant art eftersom den innehåller stor mängd av kolhydrater, proteiner och mineraler plus bioaktiva ämnen, det gör den lämplig för fler olika tillämpningar inom en cirkulär bioekonomi. Genom att analysera massbalans och komponentsammansättning kan *Ulvas* potential som råvara i ett bioraffinaderisystem studeras noggrannare.

Syftet med arbetet är att undersöka *Ulvas* möjligheter och begränsningar som resurs i en hållbar biobaserad ekonomi, med fokus på massbalans, kemisk sammansättning och industriella tillämpningar. Arbetet riktas också till att klarlägga hur en cirkulär bioraffinaderimodell kan bidra till ett mer effektivt användande av algbiomassa.

Följande forskningsfrågor ligger till grund för studien:

Arbetet undersöker vilken kemisk sammansättning Ulva har och hur variationer i biomassans innehåll påverkar massbalansen. Det analyseras vidare vilka industriella tillämpningar som är mest relevanta utifrån Ulvas komponentsammansättning, samt vilka tekniska, logistiska och ekonomiska begränsningar som påverkar möjligheten till storskalig användning. Slutligen behandlas hur en bioraffinaderimodell kan bidra till ett mer cirkulärt och resurseffektivt användande av Ulva inom en biobaserad ekonomi.

Arbetet avgränsas till att omfatta en litteraturbaserad analys och förenklade massbalansberäkningar baserade på publicerade data. Experimentella studier, ekonomiska livscykelanalyser och detaljerade miljökonsekvensbedömningar ingår inte i arbetets omfattning.

Arbetet är strukturerat enligt följande: Kapitel 2 presenteras den vetenskapliga bakgrunden och relevant litteratur om sjögräs och användningsområden. Kapitel 3 beskrivs metoder som används, inklusive litteraturstudie och massbalansräkningar. Kapitel 4 redovisar resultat från litteraturanalysen och massbalansen. Kapitel 5 diskuterar det om resultaten i relation till tidigare forskning och ett cirkulärt perspektiv, och till slut i kapitel 6 och 7 kommer sammanfattning av arbetets huvudsakliga slutsatser och källor.

## 2 Litteratur

### 2.1 Bakgrund

Det unika med sjögräs är att de är de enda blommande växterna som pollineras under vattnet. De bildar stora ängar på grunda havsbottnar över hela världen, och det finns idag över 50 kända arter av sjögräs (Naturskyddsföreningen, 2021).

Dessa sjögräsängar är några av de mest produktiva ekosystem på jorden och finns längs kusterna på alla kontinenter utom Antarktis. Ängarna är viktiga för många skaldjur och fiskar som växer upp där, och de fungerar också som matplats för andra havsdjur som havssköldpaddor och den sällsynta dugongen (sjökon) (Naturskyddsföreningen, 2021) (Forskning.se, 2022).

Sjögräs spelar stor roll i kustlandskapet tillsammans med mangrove och korallrev. Sjögräset binder löst sediment dvs. sand och andra små partiklar, vilket gör det lättare för koraller att överleva i sedimentrika områden. Korallreven skyddar i sin tur sjögräsängarna från kraftiga vågor som annars skulle kunna brytas ner, eller slita bort de sediment sjögräset växer i. I tropiska områden är mangrove, sjögräsängar och korallrev sammankopplade, många unga korallrevsfiskar växer upp i sjögräsängar eller mangrover och simmar sedan till korallreven när de blir större. Flera fiskar rör sig också mellan dessa miljöer för att hitta mat, som skapar en balans av energi och näringsämnen och hjälper till att hålla nere mängden födodjur på sjögräsängarna. Eftersom dessa miljöer är så sammanlänkande kan problem i ett område påverka de andra (Forskning.se, 2022) (Naturskyddsföreningen, 2021).

Sjögräsängarna fyller flera viktiga funktioner. De syresätter vattnet, stabiliserar botten, skyddar kusterna mot erosion och dämpar vågor och strömmar. Dessutom kan sjögräsängar lagra koldioxid, vilket hjälper till att bromsa klimatförändringar. Trots deras betydelse för biologisk mångfald, klimatet och kustsamhällen är sjögräsens värden ofta underskattat (Naturskyddsföreningen, 2021).

I figur 1 illustreras en typisk sjögräsäng som fungerar som livsmiljö och skydd för marina arter.



*Figur 1 Sjögräsäng som ger skydd och liv åt marina arter (Forskning.se, 2022).*

Sjögräs bidrar till att minska klimatförändringarnas påverkan genom att lagra kol från atmosfären. Även om sjögräs bara täcker 0,1 % av havsbotten är de väldigt effektiva på att fånga in o lagra kol. Upp till 18% lagras av allt kol i haven.

Under de senaste åren har sjögräs fått större uppmärksamhet som en hållbar resurs inom olika områden, såsom matproduktion, textilindustrin och bioenergin. Sjögräs, vilket är en näringsrik och snabbväxande växt spelar en stor roll för både miljön och för innovationer inom hållbara material.

Trots stora möjligheter med sjögräs, förekommer också vissa utmaningar. Sjögräs växer under vattnet, vilket gör det svårt att skörda och odla i stor skala jämfört med landbaserade odlingar. Sjögräs kräver specifika miljöförhållanden vilket gör det svårare att upprätthålla. Bearbeta sjögräs är kostsamt, vilket kan göra sjögräsprodukter dyrare än alternativa material, särskilt för områden som biomaterial och bioenergi.

Miljörisker vid felaktig odling av sjögräs kan påverka marina ekosystem negativt genom att förändra havsbottnens sammansättning och konkurrera med andra arter.

Sjögräs är ett ganska nytt material i många industrier och är därför fortfarande en låg efterfrågan med begränsad marknad (Förenta nationerna, 2023).

## 2.2 Sjögrässets funktioner

Sjögräs är ett av de mest effektiva systemen för att binda kol längs kusterna, vilket gör att bevarandet och skötseln av sjögräsängar är mycket viktigt i kampen mot förlusten av dessa livsmiljöer. Sjögräsängar har en viktig roll i att lagra kol, som är en av många värdefulla uppgifter de bidrar med (Naturskyddsföreningen, 2021).

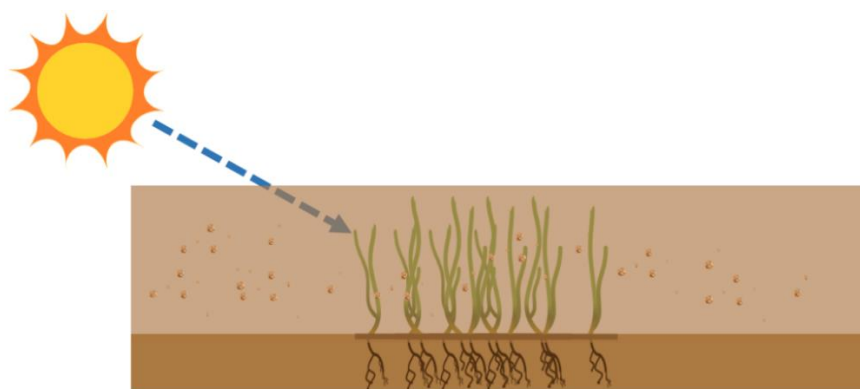
Förutom att lagra kol fungerar sjögräsängar som uppväxtområden för fiskar och ryggradslösa djur som är viktiga för både kommersiellt fiske och fritidsfiske. De skyddar även kustlinjer från stormar genom att dämpa vågor och förbättrar vattenkvaliteten.

Sjögräs har också ett kulturellt värde. De är estetiskt vackra och lockar till sig aktiviteter så som jakt, fiske och kajakpaddling. Det skördade sjögräset kan användas som foder, strö, gödningsmedel och kompost (Behesht, 2018).

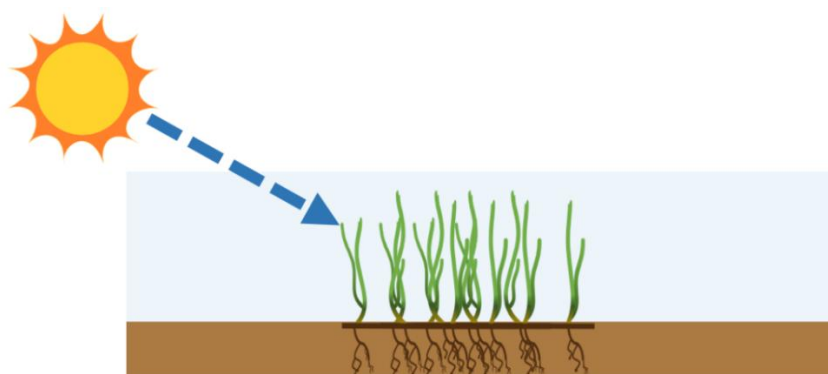
När det gäller reglerande och ekonomiska värden hjälper sjögräs till att skydda kustlinjer från stormar, lagra koldioxid, förbättra vattenkvaliteten och skapa livsmiljöer för arter som människor livnär sig på. Dessa saker gör sjögräs till en viktig resurs, både för miljön och ekonomin (Behesht, 2018).

För att sjögräs ska överleva behövs det mycket solljus, och därför påverkas deras utbredning av hur klart vattnet är. Om vattnet är för grumligt blockeras solljuset från att nå sjögräset, vilket gör det svårt för dem att genomföra fotosyntes. När vattenkvaliteten blir sämre kan det leda till att sjögräset dör, eller endast kan växa på grunt vatten, och i värsta fall att de försvinner helt (Behesht, 2018).

Figur 2 visar hur grumligt vatten begränsar ljusets inträngning, medan Figur 3 illustrerar hur klart vatten möjliggör bättre ljusförhållanden för sjögrässets fotosyntes.



Figur 2 Svårigheter för ljus att nå sjögräs i grumligt vatten (Behesht, 2018).



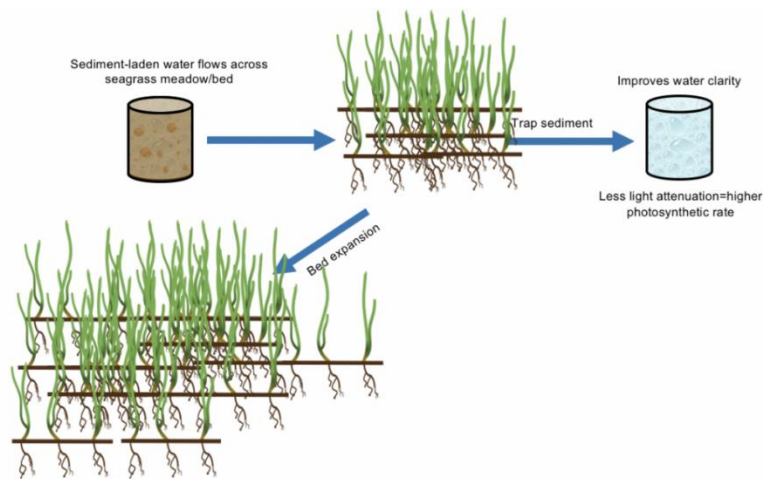
*Figur 3 Ljus som når sjögräs i klart vatten (Behesht, 2018).*

När vattnet är grumligt kan solljuset inte ta sig igenom lika bra. Det innebär att sjögräset får mindre ljus för fotosyntes och kan göra så att sjögräsängarna minskar. Om vattnet däremot är klart kan mer ljus nå sjögräset och det hjälper sjögräset att växa bättre, vilket betyder att det bildas nya plantor och sprider sig till djupare vatten eller växa vidare från befintliga platsen.

Sjögräs fungerar också som ekosystemingenjörer, det innebär att de kan förändra sin omgivning på ett sätt som stöder deras egen överlevnad. Sjögräsets struktur saktar ner vattenflödet när det passerar över ängen. Detta gör att partiklar som flyter med i vattnet sjunker ner och samlas på botten.

Genom att de samlar upp dessa partiklar förbättras vattnets klarhet och tar bort grumligheten. När vattnet blir klarare får sjögräset mer solljus och även på djupare vatten växer det bättre (Behesht, 2018).

I Figur 4 visas hur sjögräset bidrar till klarare vatten genom att partiklar sedimenteras på botten.



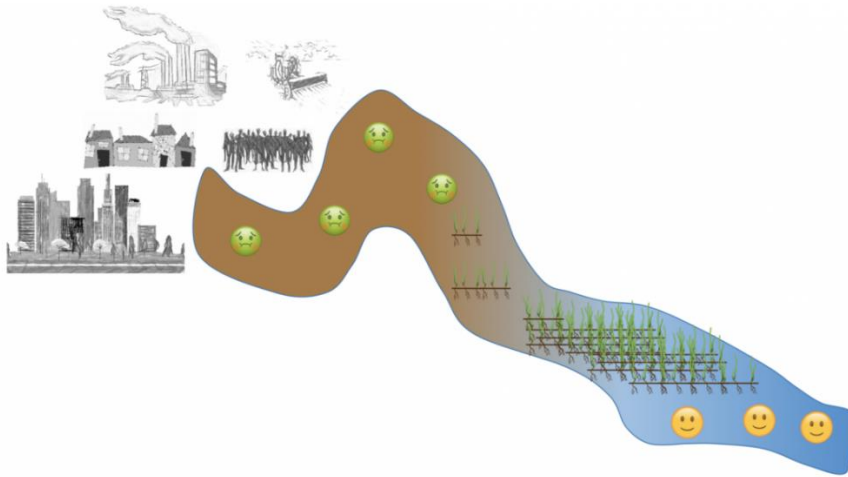
Figur 4 Sjögräsens förbättring av vattnets klarhet genom sedimentation av partiklar (Behesht, 2018).

Sjögräs tar upp näringsämnen från vattnet, och hur snabbt det sker beror på flera saker. Hur snabbt vattnet rör sig, hur mycket näring som finns i vattnet jämfört med i växten och gränsskiktet. Gränsskiktet påverkas av vattenhastighet, vågor och hur näringsämnen rör sig från vattnet till sjögräsbladen (Behesht, 2018).

I många områden, som flodmynningar med saltmarker och sjögräsängar, fungerar sjögräs som ett naturligt vattenfilter. De fångar upp sediment och näringsämnen från vattnet, som gör att vattnet blir renare när det rinner ut.

Sjögräs kan också höja pH-värdet och öka mängden löst syre i vattnet ovanför dem, detta förbättrar vattenkvaliteten ytterligare (Behesht, 2018).

I Figur 5 visas hur sjögräs fungerar som ett naturligt filter genom att fånga upp sediment och näringsämnen ur vattnet.



Figur 5 Naturlig vattenfiltrering av sjögräs (Behesht, 2018).

## 2.3 Nuvarande utveckling av sjögräs

Följande avsnitt berättas det mer om två forskningsområden som handlar om alger generellt, men som är relevanta för Ulva eftersom det ofta används i liknande materialrelaterade och biotekniska tillämpningar.

### 2.3.1 Sjögräs för hälsa och medicin

Studier från Tel Aviv University och Israel Oceanographic and Limnological Research Institute har visat ett väldigt bra sätt att förbättra tångens förmåga att tillverka nyttiga ämnen för människor, som antioxidanter. Enligt studien steg mängden av dessa ämnen i tången dubbelt så mycket, tre gånger fler blev det naturliga UV-skyddsmedlet och skyddande pigment som har medicinska fördelar med en ökning på hela tio gånger.

Resultaten av detta har hjälpa kosmetika-, livsmedels-, läkemedels- och kosttillskottsindustrin. En metod som kallas integrerat vattenbruk, användes forskarna sig av där tång odlas tillsammans med fiskodling. Detta gör att tången växer snabbare och bättre till lika som miljöpåverkan minskas och vattnet renas (Algae Planet, 2023).

Ashkenazi et al. (2023) förklarar att tång som lever i tidvattenzoner utsätts för hårda miljöförhållanden, som UV-strålning, förändring i temperatur och salthalt. Tången har utvecklat unika kemiska försvar för att överleva, som kan användas för medicinska ändamål (Algae Planet, 2023).

Forskning som gjorts tidigare av samma grupp har tillverkat tång som har mycket näringsämnen och är viktiga så som, proteiner, järn, zink och magnesium. I denna nyare studie hade forskarna mer fokus på att få ut allt av tångens produktion av hälsosamma ämnen som antioxidanter, skyddande pigment och naturliga UV-filter. Tre tångarter testades, Ulva, Gracilaria och Hypnea. De odlades tillsammans med vatten från fiskodling och utsattes sedan för olika stressfaktorer som starkt ljus och brist på näring och hög salthalt. Mängden av värdefulla ämnen ökade kraftigt i dessa förhållanden (Algae Planet, 2023).

I Figur 6 visas tången som producerats med den nya forskningsmetoden, med högre halter av antioxidanter och skyddande pigment.



*Figur 6 Tång som skapats med den nya forskningsmetoden (Algae Planet, 2023).*

”Vi utvecklade optimala odlingsförhållanden och uppfann ett nytt och rent sätt att öka nivåerna av hälsosamma naturliga bioaktiva föreningar i tång till en aldrig tidigare skadad nivå”, säger Ashkenazi. ”Vi producerade faktiskt skräddarsydda ”supertång” utformade för att användas av de framväxande hälsoindustrierna för livsmedels- och hälso-tillämnningar”.

### 2.3.2 Nedbrytbar plast av alger

Ett pågående forskning- och innovationsprojekt, Waste2Plastic, vid Umeå universitet har börjat med att försöka producera biologiskt nedbrytbar plast med hjälp av mikroalger, med en summa på 15 miljoner kronor de fått från energimyndigheten och sina industriella partners. Meningen med processen är att algerna kommer odlas i avloppsvatten, där det omvandlar koldioxid från rökgaser till biomassa. Biomassan matas sedan till bakterier som skapar plast till förpackningar och lampor (Olsson, 2024).

Plast har nästan alltid blivit gjort av fossila råvaror, eftersom det alltid har funnits och är billigt. Den globala plastproduktionen har ökat 1.5 miljoner ton till över 395 miljoner ton per år på 50 år. Den mesta delen av den här plasten hamnar på soptippar. Bara 9 procent återvinns, 12 procent förbränns, och resten 79 procent av plasten bryts långsamt ner som kan räcka flera hundra år. En lösning till detta är att tillverka biobaserad plast av förnybara resurser. Nya olika sätt att bryta ner eller återvinna plast och använda mindre giftiga kemikalier under tillverkning. Biobaserad plast kan även minska användningen av fossila bränslen (Olsson, 2024).

2022 stod bioplast endast för 1 procent av all plastproduktion, vilket därför biologiskt nedbrytbar plast föreslås som alternativ för framtidens behov. Processen för att göra biologiskt nedbrytbar plast mer vanlig är en av de större utmaningarna, eftersom det fortfarande är dyrare än att producera fossilbaserad plast (Olsson, 2024).

Exempel på hur mikroalger odlas i avloppsvatten för produktion av bioplast illustreras i Figur 7.



*Figur 7 Avloppsvatten där mikroalger odlas vid Umeå universitet (Olsson, 2024).*

För att göra plasterna biologiskt nedbrytbara och minska behovet av fossila bränslen syftar Waste2plastic projektet till att minska koldioxidutsläppen genom att använda nordiska mikroalger som råvara för att tillverka bioplaster. Algerna odlas i avloppsvatten från kommuner och industrier i Umeå. Under odlingen sker det fotosyntes för att omvandla koldioxid från rökgaser till biomassa.

Många fördelar kommer av att odla mikroalger. Det hjälper till att bromsa klimatförändringarna genom att det tar upp koldioxid från rökgaser. Mikroalger tar bort föroreningar och därmed renar avloppsvatten. Där på är mikroalger en förnybar resurs och behöver inte dyrt material, odlingsmark för att växa eller näringsämnen. (Olsson, 2024)

Bakgrunden av sjögräs och deras egenskaper utgör en viktig marin resurs med breda användningsområden. Ulva är en av de mest studerade gröna makroalgerna och kommer vidare i arbetet att bli mer fokus på det i massbalans- och tillämpningsanalysen.

### **3 Metod**

Detta arbete baseras på en litteraturstudie som bygger på förståelse i kombination med förenklade massbalansräkningar. Det har valts för att möjliggöra en sammansättning och analys av befintlig forskning om Ulva som biobaserad resurs, även för att bedöma hur algens kemiska sammansättning kan kopplas till industriella tillämpningar och cirkulära bioraffinaderimodeller. Genom att sätta ihop litteraturbaserad kunskap med massbalansanalys skapas en helhetsbild av både möjligheter och begränsningar för storskalig användning av Ulva.

#### **3.1 Systematisk litteraturstudie**

Studien genomfördes via olika sökningar i vetenskapliga databaser och forskningsplattformar, Google Scholar, ScienceDirect, Springer Nature Link, MDPI och andra

nätsidor. Valet av dessa databaser var eftersom de innehåller och hittades ett stort antal referentgranskade artiklar inom områden som marin bioteknik, bioekonomi, algforskning och bioraffinaderisystem.

Sökningarna genomfördes med relevanta nyckelord och kombinationer av sökord som handlar allt från sjögräs till cirkulär ekonomi. Exempel på använda sökord var *Ulva*, *seaweed*, *green macroalgae*, *mass balance*, *chemical composition*, *biomass*, *industrial applications* samt *circular economy*. Fokus var det mest på vetenskapliga publikationer från de senaste 10 åren för att det skulle vara aktuell och relevant forskning, äldre studier kan ha inkluderats ifall de bedömdes vara grundläggande.

Urvalet av litteratur baserades på studier som behandlar Ulvas kemiska sammansättning, processmetoder, variationer i biomassa, industriella tillämpningar, samt kopplingar till cirkulär ekonomi och hållbara värdekedjor.

### **3.2 Förenklad massbalansmodell för Ulva**

Massbalansanalysen i arbetet baseras på data från den vetenskapliga litteraturen och syftar till att uppskatta hur Ulvas biomassa kan fördelas på olika kemiska komponenter. Analysen utgår från den information jag sökt är att färsk Ulva innehåller cirka 80–90% vatten, som innebär att torrsubstansen motsvarar ungefär 10–20% av den totala våt vikten.

Utifrån torrvikten fördelas biomassan på olika huvudkomponenter, baserat på intervallvärden i tidigare studier. Massbalansen illustreras genom exempelberäkningar där 100 kg våt Ulva används som utgångspunkt för att visa hur mycket torr biomassa och respektive komponenter som kan potentiellt tas till vara.

Beräkningarna ska betraktas som förenklade och indikativa i stället än exakta, eftersom Ulvas kemiska sammansättning varierar beroende på art, säsong, plats och odlingsförhållanden. Resultaten presenteras i form av figurer och tabeller för att göra det enklare att förstå variationerna i biomassa som påverkar möjliga produktutbyten och industriella tillämpningar.

### 3.3 Massbalans och komponentsammansättning hos Ulva

I den här delen fokuseras massbalansanalysen på Ulva eftersom den används inom forskning och industriell utveckling av sjögräsbaseade produkter.

Ulva kan användas som råvara inom livsmedel, bioenergi, materialutveckling och är därför viktigt att analysera algens komponentsammansättning och massbalans.

Ulva består cirka 80–90% av vatten, vilket innebär att 10–20% av biomassan återstår efter torkning. I torrsvikt dominerar Ulvan av kolhydrater speciellt den polysackariden Ulvan, som ofta utgör 40–60%.

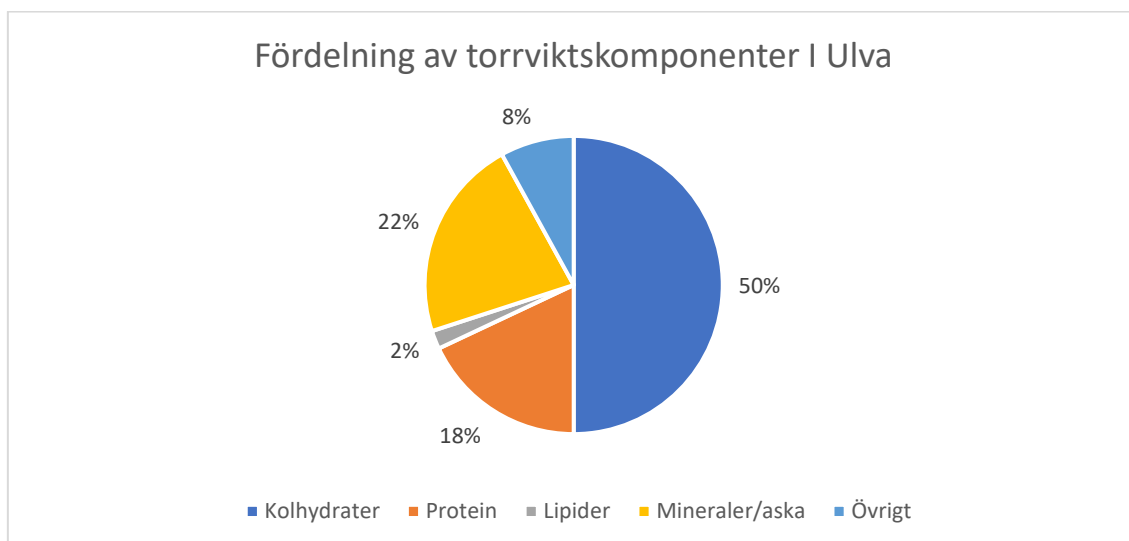
Proteininnehållet ligger vanligtvis mellan 10–25% medan lipider, en mycket liten del på 0,5–3%. Aska och mineraler står för ungefär 15–30% av torrsvikten.

Genom att kombinera dessa värden kan en massbalans beräknas där till exempel 100kg våt Ulva ger ungefär 10–20 kg torr biomassa, som i sin tur kan delas upp i uppskattade mängder av protein, lipider, kolhydrater och mineraler. Denna typ av analys är central för att bedöma hur mycket av varje komponent som kan utvinnas vid storskalig produktion och vilka användningsområden biomassa från Ulva lämpar sig bäst för (Matos et al., 2024).

Det är viktigt att skilja mellan våt vikt och torrsvikt när biomassa från Ulva analyseras eftersom dessa två mått ger helt olika information. Våt vikt beskriver algens naturliga tillstånd direkt efter skörd och består till 80–90% vatten. Efter att allt vatten avlägsnats, erhålls torrsvikten och leder till att endast de faktiska biomolekylerna återstår. Forskare använder torrsvikt för att kunna jämföra kemisk sammansättning mellan arter, säsonger och geografiska regioner utan att vattenhalten påverkar resultatet.

Inom industrin används torrsvikt för att beräkna kostnader och hur mycket biomassa som behövs för en specifik produktionslinje. Vattenhalten kan variera kraftigt mellan olika skördar, vilket kan leda till våt vikt gör missvisande beräkningar om den inte omvandlas till torrsubstans. Massbalansanalysen är därför alltid baserad på torrsvikt, även om råvaran skördas och transporteras i våt form (Manikandan & Lens, 2023).

Figur 8 illustrerar massbalansen för Ulvas biomassa och visar hur den totala biomassan fördelas mellan olika huvudkomponenter.



Figur 8 Diagrammet visar en genomsnittlig torrviktsfördelning hos Ulva av komponenterna.

Massbalans är en central metod inom både forskning och industri eftersom den visar hur mycket av varje komponent som faktiskt kan utvinnas ur en given mängd biomassa. För industriella aktörer är detta nödvändigt för att beräkna råvarubehov, optimera processer och utvärdera ekonomisk lönsamhet. Ett exempel kräver produktion av bioplast från Ulva att man känner till hur många kilogram polysackarider som kan erhållas från varje ton skördad Ulva. För foder- och livsmedelsindustrin är proteinhalten avgörande för att bedöma näringsvärde och möjliga tillämpningar (Manikandan & Lens, 2023).

Massbalanser används även inom miljömodeller för att uppskatta hur mycket koldioxid som binds av sjögräsodlingar samt hur mycket restmaterial som uppstår vid bearbetning. Genom att koppla kemisk sammansättning till mängd biomassa kan forskare identifiera vilka arter, skördetidpunkter och odlingsmetoder som ger högst utbyte av värdefulla komponenter (Jansen et al., 2022).

### **3.3.1 Industriella tillämpningar baserat på Ulvas komponentsammansättning**

Ulvas rika innehåll av kolhydrater, särskilt polysackarid Ulvan gör den till en eftertraktad råvara för utveckling av bioplast, hydrogeler, förtjockningsmaterial och biologiskt nedbrytbara förpackningsmaterial. Ulvan uppvisar goda filmformade och biokompatibla egenskaper, vilket gör den intressant för både medicintekniska produkter och livsmedelsindustrin. Proteinfraktionen används främst inom foderproduktion, men forskning pågår för att använda Ulva proteiner som funktionella ingredienser i växtbaserade livsmedel. Mineral -och askinnehållet gör biomassan lämplig som jordförbättringsmedel, speciellt i ekologiskt jordbruk där mineralrika algprodukter används som naturligt gödsmedel. Lipidhalten är låg men de små mängder bioaktiva lipider som finns används i kosmetik och vissa bioenergitillämpningar. Sammantaget innebär den varierande kemiska sammansättningen att Ulva lämpar sig för ett brett spektrum av produkter, även om vissa fraktioner kräver mer avancerad extraktion (Queirós et al., 2021).

### **3.3.2 Variationer i Ulvas kemiska sammansättning**

Sammansättningen hos Ulva varierar kraftigt beroende på årstid, temperatur, näringsnivåer, salthalt och geografisk plats. Det har visats att proteinhalten kan variera upp till 300 % mellan sommar- och vinterprover medan Ulva halten påverkas av ljusintensitet och tillgång på kväve. Också ålder på algvävnaden har stor betydelse, yngre blad innehåller mer protein medan äldre blad håller mer strukturella polysackarider. Dessa variationer innebär att massbalansdata alltid bör tolkas som intervall, inte exakta värden. För industriell produktion betyder det att stabila odlingsförhållanden och optimala skördetidpunkter är avgörande för ett jämt och förutsägbart utbyte (Cameselle et al., 2025).

### **3.3.3 Koppling med cirkulär ekonomi**

För ett cirkulärt biobaserat system där flera komponenter kan användas parallellt och mycket lite biomassa går till spillo, är Ulvas kemiska sammansättning väl lämpad för. Ulva fungerar som en råvara i ett cirkulärt perspektiv där alla fraktioner i olika industriella värdekedjor kan utnyttjas. Kolhydratfraktionen speciellt Ulvan, kan användas till

filmer, hydrogeler och bioplaster, medan proteinerna fungerar mer som funktionella livsmedelsingredienser eller för foder. Genom att föra tillbaka mineral -och askfraktionen till jordbruket som naturligt gödningsmedel, får man till vara näringsämnen för ekosystemet.

Biogas eller bioetanol kan omvandlas för den biomassan som inte kan användas i material -eller livsmedelsproduktionen, vilket skapar energi samtidigt som restprodukter minimeras. På så sätt kan samma råvara ge en början till flera produkter i ett kretsloppsystem med låga förluster. Dessutom bidrar odlingen av Ulva miljönytta genom koldioxidbindning, förbättrad vattenkvalitet och upptag av näringsämnen, som på så sätt stärker en cirkulär och hållbar ekonomi (Balina et al., 2017).

Figur 9 visar hur Ulva kan ingå i ett cirkulärt bioraffinaderisystem där olika fraktioner tas tillvara i flera parallella värdekedjor med minimalt avfall.



Figur 9 Cirkulär bioraffinaderi och resursloop av Ulva.

### 3.4 Begränsningar och utmaningar

Ulva har stor potential som råvara för livsmedel, bioenergi och material men finns många utmaningar som påverkar forskning och industriell tillämpning. Variationen i kemisk sammansättning mellan olika arter, säsonger och odlingsförhållanden är en av de största osäkerheterna. Kraftigt som kan variera är kolhydrat, protein och mineralinnehåll, som i sin tur kan bli osäkra massbalansräkningar och påverka planeringen för storskalig produktion. Hanteringen med storskalig skörd av Ulva blir också utmanande. En stor mängd vattenhalt ökar volymen och vikten som ska transporteras och där bli högre kostnader och logistiska problem. Torkning och lagring är också ett kritiskt steg om man vill hålla kvaliteten och minska förluster för vidare bearbetning (Konda et al., 2015).

Vid extraktion av specifika komponenter som Ulvan, lipider och protein blir det ekonomiska och tekniska begränsningar som sedan ytterligare begränsar utbytet av högvärdesproduktioner. Separation och rening kan göra processen kostsam eftersom det krävs avancerad utrustning och energi.

Dessa begränsningar är delar man måste beakta när man gör utvärdering av Ulva som råvara i industriella system. De tekniska utmaningarna och hindren är avgörande för att nå Ulvas potential inom hållbar produktion och cirkulär ekonomi och är därför bra att kunna identifiera och hantera de olika variationerna (Steinhagen et al., 2021).

## 4 Resultat

Massbalansanalysen visar att Ulva är en biomassa där kolhydrater utgör den huvudsakliga fraktionen, vilket gör den särskilt intressant för materialutveckling och biotekniska processer. De stora variationerna i sammansättning innebär dock att både forskning och industri måste ta hänsyn till miljöfaktorer och säsong för att kunna optimera råvaruutbytet. Genom att kombinera kunskap om torrviktskomposition, industriella användningsområden och biologiska variationer skapas en helhetsbild som är nödvändig för att förstå Ulvas potential som hållbar marin resurs.

## 4.1 Massbalans och produktionseffektivitet för Ulva

Det kom fram i massbalansanalysdelen att färsk Ulva innehåller ungefär 80–90 % vatten, varav torrvikten utgör omkring 10–20 % av färsk biomassa. Biomassan som är torr delades sedan upp enligt de uppskattade andelarna, huvudkomponenterna: kolhydrater, proteiner, lipider, mineraler och övrigt.

Det visades att 100 kg våt Ulva, skulle man kunna erhålla 10–20 kg torr biomassa. Kolhydraterna för materialproduktion, proteinerna för livsmedel och foder, mineraler för jordförbättring eller gödsel, plus lipider och det övriga motsvarar flera kilo av denna mängd för de separata fraktionerna.

Tabell 1 sammanfattar de antagna ingångvärden och beräknade fraktioner som används i massbalansberäkningen för Ulvas biomassa.

<b>Komponent</b>	<b>Torrviikt (%)</b>	<b>Torr biomassa från 100 kg våt Ulva (kg)</b>
<b>Kolhydrater</b>	40–60%	4-12kg
<b>Protein</b>	10–25%	1-5kg
<b>Lipider</b>	0,5–3%	0,05–0,6kg
<b>Mineraler/Aska</b>	15–30%	1,5-6kg
<b>Övrigt (vitaminer, pigment, osv.)</b>	5–10%	0,5-2kg
<b>Total torr biomassa</b>		10-20kg

Tabell 1. Komponentssammansättning hos Ulva baserat på torrviikt.

Litteraturen stärker att Ulva har ett kemiskt samband som gör det lovande för bioraffinaderi. Kolhydratsfraktionen, medräknat sulfat innehållande polysackarider blir mer och mer en stor del av torrvikten, medan proteiner och mineralinnehåll är tillämplig för jordbruk, livsmedel eller foder (Simon et al., 2022).

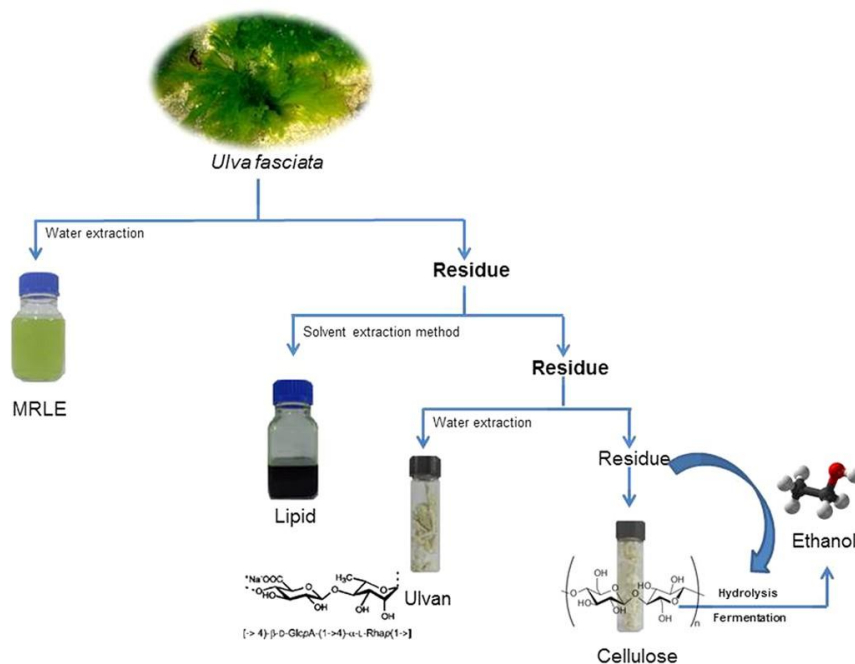
I studien *Ulva lactuca* skrevs det om en behandlingsmetod att genom het-vattenbehandling, en biokemisk process där enzymer används för att bryta ner stora molekyler till mindre delar och centrifugering kan sockerhaltiga hydrolysat och proteinrika fraktioner

fås. Det gör det möjligt att torrviktsmassan kan omvandlas till industriellt användbara produkter för både kolhydrater och protein (Bikker et al., 2016).

Dessa resultat lutar sig på att en bioraffinaderistrategi för Ulva kan ge flera liknande produktströmmar, med ett verkligt utbyte av viktiga komponenter men på de villkor att massbalans och extraktion fungerar på bästa möjliga sätt.

## 4.2 Bioraffinaderimodell och utmaningar i värdekedjan

Resurseffektiv och hållbar användning av Ulva förutsätter en bioraffinaderimodell där många delar av biomassan förbrukas samtidigt. Kolhydratsfraktionen, speciellt polysackarider som Ulvan kan i en sådan modell användas för produktion av bioplaster och biomaterial, under tiden som proteinfraktionen kan användas som fördel inom livsmedel- och foderindustrin. Mineral- och askfraktionerna lämpar sig särskilt bra som jordförbättringsmedel för cirkulära odlingssystem plus att den biomassan som blivit kvar kan omvandlas till bioenergi, antingen bioetanol eller biogas. Dessa sätt underlättar Ulva en värdekedja där flera stora delar av biomassan får en funktion och därmed effektiv resursanvändning.



*Figur 10 Schematisk modell som illustrerar processen där bioetanolproduktion kombineras med en ordnad ordning extraktion av olika biomolekyler från färsk biomassa av *Ulva fasciata* (Trivedi et al., 2016).*

Fast det finns potential har forskningen många utmaningar som påverkar möjligheten att upprätthålla eller grunda ett fungerande *Ulva*-bioraffinaderisystem. Variationen i den kemiska sammansättningen är en av de mest centrala begränsningarna. Kolhydrater, proteiner och mineralerna av *Ulvas* innehåll varierar mycket mellan arter, geografi, säsong och näringstillgången i vattnet, därför blir det så att massbalans data måste tolkas mer som intervall i stället för exakta värde (Juel et al., 2024).

En annan utmaning är avvattning och torkning. *Ulva* består 80–90% av vatten som innebär att transport, lagring och bearbetning vidare kräver energi -och kostnadskrävande avvattningsprocesser. Nyare studier har visat att pulserade elektriska fält, ett energieffektivare alternativ kan användas till traditionell torkning men tekniken har inte än kommit till användning och utvecklingskede (Prabhu et al., 2020).

I Figur 11 visas en algodlingsfarm i Sverige, där *Ulva* odlas linor/rep, vilket illustrerar de praktiska odlingsmetoderna som används för att producera alger för bioraffinaderier.



*Figur 11 Bild från Sveriges algodlings farm, där det odlas alger på linor/rep (Fletcher, 2024).*

Det ekonomiska och tekniska är kopplade till extraktion av biomolekyler och blir därför också ett hinder. Avancerade processer som centrifugering eller hydrolys krävs för att utvinna polysackarider, proteiner och lipider. Tekniker som dessa är oftast väldigt kostsamma och energiintensiva, vilket gör att balansen mellan kvalitet, kostnad och utbyte blir avgörande för ekonomin att kunna växa på långsikt.

Slutligen, en av de viktigaste faktorerna för ett fungerande bioraffinaderi är en stabil råvaruförsäljning. Skörd som växer vilt är mycket beroende av säsong och väder, medan storskalig odling krävs det investeringar i infrastruktur och kontroll av odlingsparametrar. Behovet är därför stort av standardiserade odlingsmetoder för att säkerställa en jämn och förutsägbar tillgång till biomassa (Zhang et al., 2022).

## 5 Diskussion

Syftet med detta arbete var att undersöka Ulvas potential som råvara i en hållbar och cirkulär biobaserad ekonomi, med fokus på kemisk sammansättning, industriella tillämpningar, begränsningar samt möjligheten att använda en bioraffinaderimodell. Resultaten visar att Ulva har flera egenskaper som gör algen intressant ur både industriellt och miljömässigt perspektiv, men också att det finns tydliga utmaningar som påverkar möjligheten till storskalig implementering för att införa en ny idé.

Analysen av Ulvas kemiska sammansättning visar att algen innehåller betydande mängder kolhydrater, mineraler och bioaktiva ämnen, vilket gör den relevant för olika tillämpningar inom bland annat foder, biomaterial, jordförbättring och bioenergi.

Massbalansräkningen tydliggör samtidigt hur den höga vattenhalten kraftigt påverkar den faktiska mängden tillgänglig torr biomassa, det gör det avgörande för industriella processer. Detta innebär att Ulvas potential inte enbart bör bedömas utifrån näringsinnehåll, utan också utifrån hur biomassan kan bearbetas, lagras och transporteras. I ett cirkulärt perspektiv framstår en integrerad bioraffinaderimodell som särskilt relevant, där flera komponenter kan användas parallellt och restströmmar omvandlas till energi eller andra produkter, vilket i sin tur minimerar förlust och ökar resurseffektiviteten.

Samtidigt visar resultaten att variationer i Ulvas sammansättning, beroende på säsong, geografiskt läge och odlingsförhållanden, utgör det en betydande begränsning. Detta påverkar både massbalansens tillförlitlighet och möjligheten att uppnå stabila produktutbyten i industriell skala. Även tekniska och ekonomiska utmaningar kopplade till avvattning, torkning och extraktion av biomolekyler framstår som centrala hinder. Dessa faktorer begränsar i dagsläget möjligheten att fullt ut realisera Ulvas potential, trots att råvaran i teorin är väl lämpad för cirkulära värdekedjor.

Den metod som använts i arbetet består av en litteraturstudie med massbalansräkningar som ger en lämplig översiktlig och sammanställande bild av forskningsläget. Samtidigt finns metodologiska begränsningar, kopplade främst till variationer i data mellan olika studier samt antaganden om torrsubstanshalt och genomsnittliga komponentsammansättningar. Detta innebär att resultaten bör tolkas som uppskattningar i stället för exakta värden, det speglar också verkliga förhållanden inom sjögräsbaseerade system.

Utifrån resultaten kan framtida forskning med fördel fokusera på standardisering av odlingsmetoder, utveckling av energieffektiva processer för avvattning och extraktion samt vidare utvärdering av integrerade bioraffinaderimodeller. Sådan forskning är avgörande för att Ulva ska kunna bidra till hållbara, cirkulära och ekonomiska gångbara värdekedjor i större skala.

## **6 Slutsats**

Detta arbete har undersökt Ulvas potential som biobaserad resurs med fokus på massbalans, kemisk sammansättning och möjliga tillämpningar inom en cirkulär ekonomi. Genom att kombinera den befintliga forskningen kommer det fram tydligt att Ulva har en rik och användbar biomassprofil med stora mängder kolhydrater och betydande mängder protein och mineraler. I massbalansanalysen visar att trots den stora vattenhalten kommer praktiska utmaningar, kan man säga att torrsubstansen erbjuder en värdefull

råvara för flera industriella användningsområden. Det tyder att Ulva kan fungera som en flexibel plattform för ett antal produkter, såsom livsmedelsingredienser, bioplaster, foder och bioenergi.

Arbetet visar även att en hållbar och ekonomisk fungerande Ulva kräver utveckling av effektiva processer för avvattning, extraktion och fraktionering. Variationer i biomassa mellan säsonger, odlingsförhållanden och geografiska områden innebär att både processer och utbyten måste gå utifrån intervall och inte exakta värden. Detta betyder att kommersiella system behöver vara starkt och tåligt att motstå påfrestningar plus flexibla.

Det kommer fram dessutom att en stabil och förutsägbar råvarutillgång är en central förutsättning för storskalig produktion, som där med stärker behovet av standardiserade odlingsmetoder och kontrollerade produktionsmiljöer.

Potentialen för Ulva är stor, men är beroende av att logistiska, tekniska och ekonomiska utmaningar bör hanteras på rätt sätt. I ett cirkulärt perspektiv utmärker sig Ulva genom att alla fraktioner kan tas tillvara och restmaterial kan omvandlas till energi, vilket minskar förlust av varor och ökar resurseffektiviteten. Med detta visar det att Ulva är en lovande kandidat i den växande bioekonomin, speciellt i utvecklingen och mot mer hållbara material och förnybara råvaror.

I det stora hela visar arbetet att Ulva kan spela en central roll i framtida biobaserade värdekedjor, men att utgå från att forskningen fortsätter att utveckla bättre processer för extraktion och odling samt att industrin investerar i tekniska lösningar som möjliggör storskalig produktion.

Arbetet bidrar därmed till en bredare förståelse för hur marina resurser kan utnyttjas mer effektivt och hur cirkulära system kan hjälpa övergången till en mer hållbar fossilfri ekonomi.

## 7 Källor

Algae Planet (2023). Forskare skapar förbättrad sjögräs för hälsa och medicin.

<https://algaepianet.com/sv/researchers-create-enhanced-seaweed-for-health-and-medicine/>

Balina, K., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (2017). Seaweed biorefinery concept for sustainable use of marine resources. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217339115>

Behesht, K. (2018). Sjögräs, Naturens vattenfilter. The Ocean Foundation.

<https://oceanfdn.org/sv/sj%C3%B6gr%C3%A4s-naturens-vattenfilter/>

Bikker, P., van Krimpen, M. M., van Wikselaar, P., Houweling-Tan, B., Scaccia, N., van Hal, J. W., & Huijgen, W. J. J. (2016). Biorefinery of the green seaweed *Ulva lactuca* to produce animal feed, chemicals and biofuels. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-016-0842-3?>

Cameselle, C., Maietta, I., Torres, M. D., Simón-Vázquez, R., & Domínguez, H. (2025). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds and biopolymers from *Ulva* spp. using response surface methodology. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-025-03492-2?>

Fletcher, R. (2024). Insights from Sweden's number one seaweed farm. The Fish Site.

<https://thefishsite.com/articles/insights-from-swedens-number-one-seaweed-farm>

- Forskning.se. (2022). Sjögräs stoppar stranderosion – funkar som armering. <https://forskning.se/2022/11/28/sjogras-stoppar-stranderosion-funkar-som-armering/>
- Förenta nationerna. (2023). Sjögräs: havets lungor är i fara. <https://unric.org/sv/sjogras-havets-lungor-ar-i-fara/>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643824002238?>
- Jansen, H. M., Bernard, M. S., Nederlof, M. A. J., van der Meer, I. M., & van der Werf, A. (2022). Seasonal variation in productivity, chemical composition and nutrient uptake of *Ulva* spp. (Chlorophyta) strains. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-022-02708-z?>
- Juel, N., Juul, L., Tanambell, H., & Dalsgaard, T. K. (2024). Extraction and purification of seaweed protein from *Ulva* sp. - Challenges to overcome.
- Konda, N. V. S. M., Singh, S., Simmons, B. A., & Klein-Marcuschamer, D. (2015). An Investigation on the Economic Feasibility of Macroalgae as a Potential Feedstock for Biorefineries. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-015-9594-1?>
- Manikandan, N. A., & Lens, P. N. L. (2023). Sustainable biorefining and bioprocessing of green seaweed (*Ulva* spp.) for the production of edible (ulvan) and non-edible (polyhydroxyalkanoate) biopolymeric films. <https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12934-023-02154-7?>
- Matos, J., Cardoso, C., Serralheiro, M. L., Bandarra, N. M., & Afonso, C. (2024). Seaweed bioactives potential as nutraceuticals and functional ingredients: A review <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157524004873>
- Naturskyddsföreningen. (2021). Tropiska sjögräs - ett underskattat ekosystem. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/tropiska-sjogras-ett-underskattat-ekosystem/>

Olsson, E. (2024). Får 15 miljoner: Ska skapa nedbrytbar plast – av alger.

[https://www.umu.se/nyheter/far-15-miljoner-ska-skapa-nedbrytbar-plast--av-alger\\_11986555](https://www.umu.se/nyheter/far-15-miljoner-ska-skapa-nedbrytbar-plast--av-alger_11986555)

Prabhu, M., Levkov, K., Levin, O., Vitkin, E., Israel, A., Chemodonav, A., & Golberg, A. (2020). Energy efficient dewatering of far offshore grown green macroalgae *Ulva* sp. biomass with pulsed electric fields and mechanical press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419314592?via%3Dihub>

Queirós, A. S., Circuncisao, A. R., Pereira, E., Válega, M., Abreu, M. H., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2021). Valuable Nutrients from *Ulva rigida*: Modulation by Seasonal and Cultivation Factors <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/13/6137?>

Simon, C., McHale, M., & Sulpice, R. (2022). Applications of *Ulva* Biomass and Strategies to Improve Its Yield and Composition: A Perspective for *Ulva* Aquaculture. <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/11/1593?>

Steinhagen, S., Enge, S., Larsson, K., Olsson, J., Nylund, G. M., Albers, E., Pavia, H., Undeland, I., & Toth, G. B. (2021). Sustainable Large-Scale Aquaculture of the Northern Hemisphere Sea Lettuce, *Ulva fenestrata*, in an Off-Shore Seafarm. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/6/615?>

Trivedi, N., Baghel, R. S., Bothwell, J., Gupta, V., Reddy, C. R. K., Lali, A. M., & Jha, B. (2016). An integrated process for the extraction of fuel and chemicals from marine macroalgal biomass. <https://www.nature.com/articles/srep30728>

Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814611005152>

Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. <https://link.springer.com/article/10.1186/s43014-022-00103-2>

