



Universitetet
i Stavanger

**HANDELSHØGSKOLEN VED UIS
BACHELOROPPGAVE**

STUDIUM:

Økonomi og administrasjon

OPPGAVEN ER SKREVET INNEN FØLGENDE
TEMATISKE RETNING:

Samfunnsøkonomi

TITTEL:

I hvilken grad vil alternative råstoffer til laksefôr, som kan produseres i Norge, kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi?

ENGELSK TITTEL:

To what extent will alternative salmon feed ingredients, produced in Norway, contribute to a more sustainable and circular economy?

FORFATTER:

Kandidatnr:

7796
.....

Navn:

Amalie Midjord Torkildsen
.....

VEILEDER:

Ragnar Tvetervås

Forord

Tre spennende år som bachelorstudent er plutselig over, og jeg hatt nettopp opplevd en av studietidens beste høydepunkter: jeg er ferdig med bacheloroppgaven min! Da jeg startet som student i 2018 var dette noe av det jeg gruet meg aller mest til. Jeg visste ikke hvordan jeg noen gang skulle få til å skrive en så lang oppgave, men nå sitter jeg altså her, med min egen, fullførte oppgave foran meg.

Halve studietiden min har vært preget av pandemi og digitale forelesninger, og selv om dette til tider har vært utfordrende, har det tvunget meg til å bli mye mer selvstendig i arbeidet og læringen min. Gjennom arbeidet med denne oppgaven har jeg også oppdaget andre sider ved meg selv, både positive og negative, og jeg sitter nå igjen med mange nyttige erfaringer og nye egenskaper som jeg kommer til å ta med meg videre.

Med det sagt ønsker jeg å rette en takk til veilederen min, Ragnar Tveterås. Han har alltid vært tilgjengelig med hjelp og gode råd, og uten hans gode kunnskaper ville ikke denne oppgaven vært den samme.

Stavanger, 10. mai 2021

Amalie Midjord Torkildsen

Sammendrag

Norge har som ambisjon å øke den årlige produksjonen av oppdrettslaks til 5 millioner tonn innen 2050. Dette er nærmest fire ganger så mye som dagens produksjonsnivå, og hovedutfordringen ved denne økningen vil være å sikre tilgang på nok fôr. Ettersom de fleste råstoffene som inngår i dagens laksefôr allerede blir nærmest fullstendig utnyttet, vil det ikke være mulig å øke fôrproduksjonen nok uten å ta i bruk nye råstoffer. Det er også ønskelig at disse nye råstoffene kan produseres i Norge, for å sikre bedre selvforsyningsevne.

Derfor skal det i denne oppgaven undersøkes i hvilken grad alternative fôrråstoffer, som kan produseres i Norge, vil kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi. Før eventuelle nye råstoffer analyseres, blir en beskrivelse av den norske oppdrettsnæringen av laks og laksemarkedet presentert. Det er også viktig å kjenne til dagens laksefôr og hvilke råstoffer som inngår i det, så dette beskrives også. Deretter presenteres nye råstoffer som potensielt kan anvendes i laksefôret.

De nye råstoffene blir vurdert ut ifra om de egner seg til produksjon i Norge, og om den norske produksjonsmengden vil kunne bidra med å dekke en betydelig del av det forventede fôrbehovet i 2050. Videre undersøkes det om de aktuelle råstoffene vil medføre miljøeksternaliteter, det vil si negative miljøeffekter som ikke blir kompensert for i råstoffprisen, og om disse eventuelt utgjør høyere eller lavere kostnader for miljøet enn miljøeksternalitetene forbundet med dagens fôrråstoffer. Til slutt undersøkes det om de aktuelle råstoffene vil føre til en mer sirkulær økonomi eller ikke.

Innholdsfortegnelse

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
INNHOLDSFORTEGNELSE	IV
FIGURLISTE	VI
TABELLISTE	VII
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	2
2. MIKROØKONOMISK TEORI	3
2.1 FRI KONKURRANSE	3
2.1.1 Forutsetninger for fri konkurranse.....	3
2.1.2 Tilbud, etterspørsel og markedslikevekt	4
2.2 PROFITMAKSIMERING	5
2.3 ØKONOMISK EFFEKTIVITET.....	6
2.4 EKSTERNALITETER	8
2.4.1 Negative eksternaliteter: miljøeksternaliteter.....	8
2.4.2 Hvordan korrigere markedssvikt som følger av miljøeksternaliteter	11
2.5 SIRKULÆR ØKONOMI	12
3. NORSK OPPDRETT OG LAKSEMARKEDET	14
3.1 ATLANTISK LAKS.....	14
3.2 OPPDRETT I NORGE	14
3.2.1 Produksjonskjeden.....	15
3.2.2 Verdiskaping og sysselsetting	16
3.3 EKSPORT AV NORSK LAKS.....	18
3.4 GLOBAL PRODUKSJON AV ATLANTISK LAKS	19
3.5 VERDEN TRENGER MER MAT.....	20
3.6 NORGES AMBISJONER MOT 2050.....	21
4. LAKSEFØR I DAG	22
4.1 SAMMENSETNINGEN AV LAKSEFØRET	22
4.2 FORBRUK, KOSTNADER OG PRISUTVIKLING	25
4.2.1 Forbruk og førfaktor.....	25
4.2.2 Førkostnad og -pris	26
4.3 UTFORDRINGER VED DAGENS FØR	28
4.3.1 Karbonfotavtrykk.....	28

4.3.2 Soyaproblematikken.....	28
4.3.3 Tilgang på nok EPA og DHA.....	30
5. NYE FØRRÅSTOFFER.....	31
5.1 BEHOVET FOR FØR VOKSER	31
5.1.1 Det økte behovet for protein og EPA/DHA.....	32
5.2 SELVFORSYNINGSEVNE	32
5.3 DATAGRUNNLAG	33
5.4 PRESENTASJON AV POTENSIELLE RÅVARER	34
5.4.1 Råvarer fra havet.....	34
5.4.2 Plantebaserte råvarer.....	39
5.4.3 Restråstoff etter slakt av husdyr.....	42
5.4.4 Dyrkede organismer	44
6. SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE AV ALTERNATIVE FØRRÅSTOFFER.....	58
6.1 HVILKE RÅSTOFFER VIL KUNNE EGNE SEG TIL PRODUKSJON I NORGE?	58
6.2 HVOR MYE KAN POTENSIELT PRODUSERES AV DISSE RÅSTOFFENE?	59
6.2.1 Råstoffer som kan bidra til å dekke en betydelig andel av fôrbehovet	63
6.3 VIL DISSE RÅSTOFFENE VÆRE KONKURRANSEDYKTIGE PÅ PRIS MED DAGENS FØRRÅSTOFFER?	64
6.3.1 Råstoffer som vil kunne være konkurransedyktige.....	65
6.3.2 Norsk produksjon og profittmaksimerende produsenter	66
6.4 ER DET NOEN MILJØEKSTERNALITETER FORBUNDET MED PRODUKSJONEN AV DISSE RÅSTOFFENE?.....	67
6.4.1 Miljøeksternaliteter forbundet med dagens fôrråstoffer.....	68
6.4.2 Miljøeksternaliteter forbundet med alternative fôrråstoffer.....	68
6.4.3 Råstoffer som er mer bærekraftig, eller like bærekraftig, som dagens fôrråstoffer	70
6.4.4 Miljøeksternaliteter er mer enn bare CO ₂ -utslipp.....	70
6.5 VIL DISSE RÅSTOFFENE KUNNE BIDRA TIL EN MER SIRKULÆR ØKONOMI?	71
6.5.1 Restråstoffer fra sjømatindustrien	71
6.5.2 Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer	71
6.5.3 Andre råstoffer som kan bidra til en mer sirkulær økonomi.....	72
6.6 ØKONOMI ER IKKE ALT	73
6.6.1 Forskning og utvikling.....	73
6.6.2 Tidsperspektiv.....	73
KONKLUSJON	74
REFERANSELISTE	76

Figurliste

Figur 1: Pristaking under fri konkurranse	4
Figur 2: Profittmaksimering	6
Figur 3: Forbruker- og produsentoverskudd ved økonomisk effektivitet	7
Figur 4: Negative eksternaliteter ved produksjon av miljøskadelig produkt	9
Figur 5: Negative eksternaliteter ved konsum av miljøskadelig produkt.....	10
Figur 6: Salg av slaktet matfisk i Norge, 1986-2018 (Kilde: Statistisk sentralbyrå, funnet i: NOU 2019:18, 2019).....	14
Figur 7: Produksjonskjeden for oppdrettslaks i Norge (Kilde: Mowi, 2020, s. 52).....	15
Figur 8: Sysselsetting og verdiskaping (løpende priser) i havbrukssektoren, 2008-2018. (Kilde: Richardsen et al., 2019, s. 22).....	17
Figur 9: Landene med størst lakseimport fra Norge i 2010, 2015 og 2019 (Kilde: Statistisk sentralbyrå, funnet i: Steinset, 2020).....	18
Figur 10: Global produksjon og handel av oppdrettet atlantisk laks i 2019 (oppgitt i tonn rund vekt) (Kilde: Mowi, 2020, s. 41)	19
Figur 11: Ocean Farm 1 (Kilde: SalMar ASA, 2018).....	21
Figur 12: Sammensetning av laksefôr 1990-2016 (Kilde: Almås et al., 2020).....	22
Figur 13: Kostnader per kg produsert matfisk i 2019. (Tall hentet fra: Fiskeridirektoratet, 2020c).....	26
Figur 14: Utvikling i pris per kg fiskefôr og fôrkostnad per kg produsert fisk fra 2008-2019. (Tall hentet fra: Fiskeridirektoratet, 2020b, 2020c)	27
Figur 15: Mulig fremtidsbilde av det norske laksefôret ved produksjon av 5 millioner tonn oppdrettslaks i 2050. (Kilde: Almås et al., 2020, s. 11).....	31

Tabelliste

Tabell 1: Karbonfotavtrykk og vannforbruk per produserte kilogram kjøtt. (Kilde: Mowi, 2020, s. 22).....	20
Tabell 2: Nøkkeltall for ressursbruken til laksefisk og husdyr. (Basert på tabell fra: Tveterås et al., 2020, s. 20)	20
Tabell 3: Fôrfaktor for matfisk av atlantisk laks og regnbueørret 2008-2019. Tall hentet fra (Fiskeridirektoratet, 2020b).....	26
Tabell 4: Kjøttproduksjonen og resulterende restråstoff i 2015. (Basert på tabell fra: Lindberg et al., 2016, s. 15)	42
Tabell 5: Dagens produksjonsvolum og estimert potensial for 2050 for de råstoffene som kan være aktuelle for produksjon i Norge. Tall hentet fra tabell i Almås et al., 2020, s. 108-110).	59
Tabell 6: Norskproduserte råstoffer som kan dekke >5 % av protein og/eller EPA/DHA-behovet forventet i 2050. *Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer kan ikke produsere >5 % av både protein- og EPA/DHA-behovet samtidig.	64
Tabell 7: Dagens pris (kr/kg) for protein og EPA/DHA fra råstoffene som kan være aktuelle bidragsyttere til å dekke fôrbehovet i 2050. Priser hentet fra: Almås et al., 2020, s. 108-110).....	64

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Det blir stadig flere mennesker i verden, og FN estimerer at befolkningen vil vokse med omtrent 2 milliarder mennesker innen 2050, fra 7.7 milliarder i dag til 9.7 milliarder i 2050. (De forente nasjoner, 2020). Flere mennesker betyr at det vil være behov for mer mat, og det forventes at sjømat vil spille en stor rolle i å dekke det økende behovet. Kun 3 % av dagens mat kommer fra havet, men denne andelen kan potensielt mangedobles ved å øke produksjonen av akvakultur. (Tveterås et al., 2020, s. 7). Akvakultur, også kalt havbruk, omfatter dyrking og oppdrett av organismer, både planter og dyr, i vann. (FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO), 1998).

I Norge domineres akvakulturproduksjonen av lakseoppdrett. Norge er dessuten det landet i verden som produserer mest oppdrettet atlantisk laks, med et salgsvolum i 2019 på over 1.3 millioner tonn atlantisk laks. (Berge, 2018; Fiskeridirektoratet, 2020a). Ambisjonen til Norge er imidlertid å nærmest firedoble denne mengden innen 2050, til 5 millioner tonn. (Tveterås et al., 2020, s. 125).

På samme måte som at flere mennesker krever mer mat, vil også flere laks kreve mer fôr. Tilgangen på flere av råstoffene i dagens laksefôr er dessverre begrenset, så det vil ikke være mulig å mette 5 millioner tonn laks uten å endre fôrsammensetningen først. Derfor vil det være nødvendig å finne alternative råstoffer som kan benyttes, slik at det blir mulig å produsere nok fôr. (Almås et al., 2020, s. 10).

Å kunne produsere laksen på en bærekraftig måte er også viktig. Noen av råstoffene som benyttes i dagens laksefôr, særlig brasilianske soyabønner, er assosiert med negative miljøeffekter, eller miljøkjesternaliteter. (Almås et al., 2020, s. 35) Av hensyn til dette er det derfor ønskelig å finne mer bærekraftige alternativer, som også potensielt kan erstatte noen av de problematiske råstoffene tidligere enn 2050, og dermed gi et mer bærekraftig laksefôr.

1.2 Problemstilling

I denne oppgaven vil følgende problemstilling belyses:

I hvilken grad vil alternative råstoffer til laksefôr, som kan produseres i Norge, kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi?

Problemstillingen er avgrenset til råstoffer som egner seg til produksjon i Norge. Denne avgrensningen gjøres av hensyn til selvforsyningssevne, nye som vil utdypes ytterligere i kapittel 5.2.

Før problemstillingen kan besvares er det viktig å forstå flere aspekter ved oppdrettsnæringen, ikke bare selve fiskefôret. Det vil derfor legges frem informasjon om hvordan lakseoppdrett foregår i Norge, både med hensyn på produksjonsprosesser og verdiskaping, og hvordan det globale handelsbildet for den atlantiske laksen ser ut.

Videre er det viktig å forstå dagens situasjon for laksefôret: hvilke råstoffer inngår, og hvordan har fôrkostnader og -priser utviklet seg over tid? I tillegg er det viktig å belyse hvilke utfordringer som er knyttet til dagens fôr, både med hensyn på bærekraftsutfordringer og tilgang på viktige næringsstoffer.

Deretter vil alternative råstoffer, som potensielt kan bidra til å dekke fôrbehovet, presenteres. Disse vil så gjennomgå en økonomisk vurdering, basert på den mikroøkonomiske teorien som vil bli lagt frem i førstkommende kapittel. I denne vurderingen vil følgende **fem forskningsspørsmål** besvares:

1. Hvilke råstoffer vil kunne egne seg til produksjon i Norge?
2. Hvor mye kan potensielt produseres av disse råstoffene?
3. Vil disse råstoffene være konkurransedyktige på pris med dagens fôrråstoffer?
4. Er det noen miljøkjesternaliteter forbundet med produksjonen av disse råstoffene?
5. Vil disse råstoffene kunne bidra til en mer sirkulær økonomi?

2. Mikroøkonomisk teori

2.1 Fri konkurranse

2.1.1 Forutsetninger for fri konkurranse

I et frikonkurransemarked, også kalt et perfekt marked eller fullkommen konkurranse, er det veldig mange produsenter og forbrukere som opererer, og prisen på produktet bestemmes av tilbud og etterspørsel i markedet. For at et marked skal kunne klassifiseres som fullkommen konkurranse må tre grunnleggende forutsetninger holde (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 289-291):

1. Det produseres *homogene produkter*

Ved fullkommen konkurranse produserer alle produsentene identiske, eller nær identiske, produkter. Med andre ord er produktene homogene, og dette betyr dermed at produktene er tilnærmet perfekte substitutter for hverandre, noe som gjør det veldig enkelt for en forbruker å erstatte én produsents produkt med en annens. Når dette er tilfellet vil ikke produsenter kunne øke prisen sin over markedspris, det vil si prisen alle andre produsenter tar for produktet, uten å miste store deler av eller hele markedsandelen sin. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 290).

2. Produsenter og forbrukere er *pristakere*

Siden markedet består av veldig mange produsenter, som alle produserer homogene produkter, vil hver enkelt produsent kun stå for en veldig liten andel av det totale tilbudet i markedet. På grunn av dette, og at produktene er homogene, har ikke produsentene noe påvirkningskraft på prisen gjennom egne beslutninger; de er pristakere. Det samme gjelder forbrukerne, som det også er veldig mange av. Ettersom hver av dem kun kjøper en relativt liten andel av produksjonen, siden det er så mange av dem, er det heller ingen enkelt forbruker som har muligheten til å påvirke prisen de betaler for produktet, og de er med andre ord pristakere. Dermed styres prisen på produktet av markedskreftene tilbud og etterspørsel. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 290).

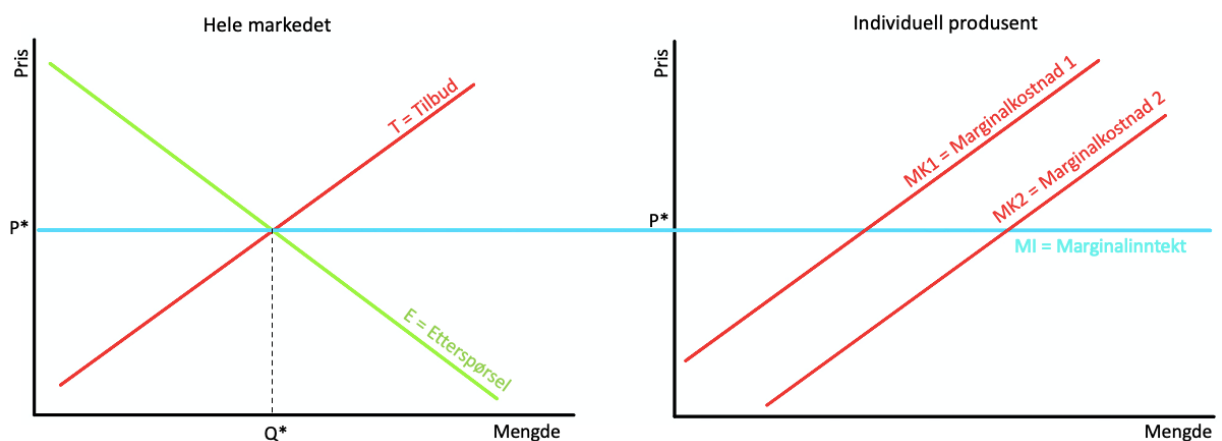
3. Det er *fri inngang og utgang* i markedet

Ved fri konkurranse finnes det ingen inngang- og utgangsbarrierer. Dette betyr at det er enkelt for nye bedrifter å innta markedet og starte opp egen produksjon, samtidig som at det også er enkelt og nærmest kostnadsfritt for bedrifter å legge ned produksjonen sin og forlate markedet, dersom de ikke klarer å oppnå fortjeneste. Denne mangelen på inngang- og utgangsbarrierer er årsaken for at det er så mange produsenter som opererer i markedet. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 290-291).

2.1.2 Tilbud, etterspørsel og markedslikevekt

Tilbudet og etterspørselen i et marked kan representeres henholdsvis av en tilbuds- og en etterspørselskurve. Markedets tilbudskurve er summen av alle produsentenes tilbudskurver, og illustrerer dermed markedets marginalkostnader, altså tilleggskostnaden forbundet med å øke produksjonen, eller tilbudet, i markedet med én ekstra enhet. Denne kurven er som regel stigende. Etterspørselskurven, derimot, er som regel synkende, da den på sin side illustrerer markedets marginale betalingsvilje, som vil si hvor mye forbrukerne i markedet er villige til å betale for én ekstra enhet av produktet. Man kan derfor også kalle denne kurven markedets marginalinntekt: inntektsøkningen gitt salg av én ekstra enhet. (Riis & Moen, 2017, s. 60, 140, 204-205, 207).

I et marked med fullkommen konkurranse bestemmes prisen, som tidligere nevnt, nettopp av tilbudet og etterspørselen i markedet. Figuren under illustrerer både tilbuds- og etterspørselskurvene for hele markedet og for en individuell produsent:



Figur 1: Pristaking under fri konkurranse

I figur 1 ser man at markedsprisen for produktet er gitt ved P^* . Dette er prisen ved markedslikevekt, som er balansepunktet mellom markedets tilbud- og etterspørselskurver. Med andre ord er P^* den prisen hvor markedets marginalkostnad er lik markedets marginale betalingsvilje, mens Q^* er produksjonsmengden ved dette punktet. I et frikonkurransemarked vil markedet operere ved dette punktet, mens de individuelle produsentene vil ha en horisontal, det vil si perfekt elastisk, etterspørselskurve gitt ved markedsprisen P^* , ettersom de er pristakere. Denne horisontale kurven representerer den individuelle produsentens marginalinntektskurve. Uansett hvilken marginalkostnadskurve produsenten selv har, for eksempel MK1 eller MK2, vil den aldri kunne ta høyere eller lavere pris enn P^* . Gjør den det vil den miste markedsandel sin og gå i tap. (Riis & Moen, 2017, s. 207).

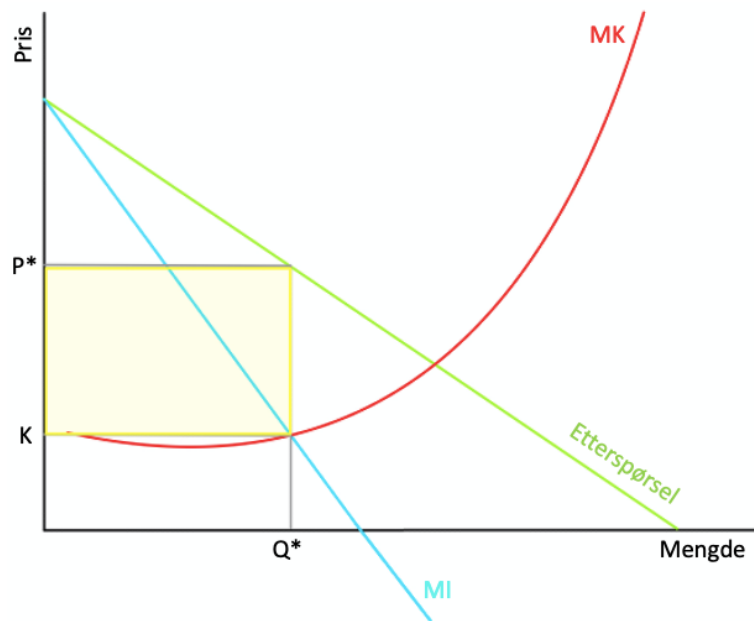
2.2 Profittmaksimering

En viktig antakelse i mikroøkonomi er at bedrifter alltid vil ønske å produsere den produktmengden som genererer mest mulig profitt. Med andre ord er bedrifter profittmaksimerende. Profitt måles som differansen mellom bedriftens totale inntekter og totale kostnader, og en profittmaksimerende bedrift vil produsere ved det punktet hvor følgende forhold holder (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 292, 294-295):

$$\text{Marginalinntekt (MI)} = \text{Marginalkostnad (MK)}$$

I forrige delkapittel ble markedets marginalkostnad definert som tilleggs-kostnaden for å produsere én ekstra enhet av produktet i markedet. Dette stemmer også for marginalkostnad på bedriftsnivå, men vil da kun omfatte tilleggs-kostnaden forbundet med at den enkelte bedrift øker produksjonen med én ekstra enhet. Marginalinntekten, derimot, er avhengig av kundenes betalingsvilje, og representerer endringen i bedriftens inntekt forbundet med å selge én ekstra enhet. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 294-296).

Profittmaksimering, for en bedrift som ikke er pristaker, kan dermed illustreres på følgende måte, vist i figur 2 på neste side:



Figur 2: Profittmaksimering

I figur 2 illustrerer det gule rektangelet profitten som oppnås ved å produsere Q^* til prisen P^* . Fordi $MI = MK$ er dette den profittmaksimerende produksjonsmengden og prisen. K representerer kostnaden til bedriften for å produsere denne mengden.

For en konkurransedyktig bedrift, det vil si en bedrift som produserer i et frikonkurransemarked, vil etterspørselskurven imidlertid være horisontal og lik markedsprisen, ettersom bedriften er pristaker. Dette er vist i figur 1 på side 3. En bedrift i et frikonkurransemarked vil derfor produsere den produksjonsmengden som gir (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 297):

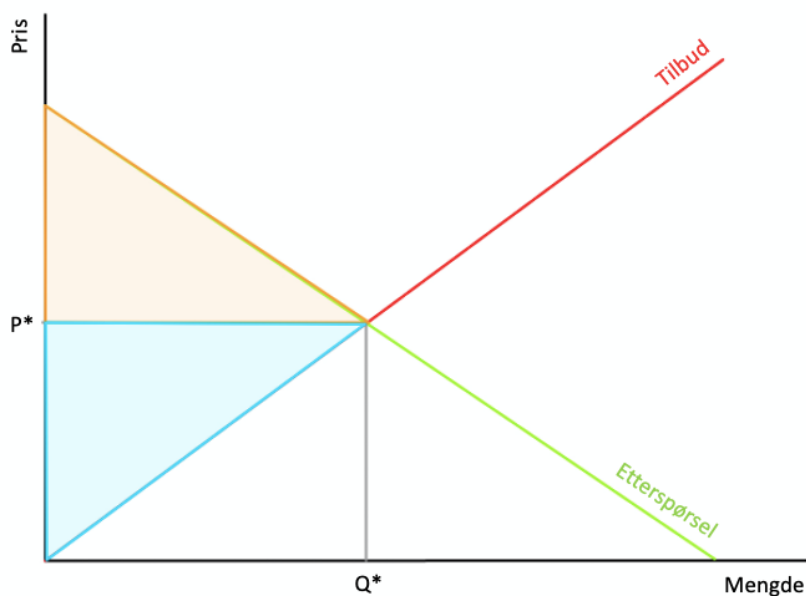
$$\text{Pris (P)} = \text{Marginalinntekt (MI)} = \text{Marginalkostnad (MK)}$$

Dette betyr imidlertid at det, ved fullkommen konkurranse, ikke er mulig for en individuell bedrift å tjene en profitt, ettersom prisen vil være lik kostnadene.

2.3 Økonomisk effektivitet

I et uregulert frikonkurransemarked vil forbrukere og produsenter kjøpe og selge produktet til markedspris. Det er imidlertid alltid noen forbrukere som ville vært villige til å betale mer for varen, da de verdsetter den høyere enn markedsprisen. Dermed oppstår et

forbrukeroverskudd, som utgjør den totale fordel eller verdien som forbrukerne får utover det de betaler for varen. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 328). Dette forbrukeroverskuddet er illustrert som den oransje trekanten, under etterspørselskurven og over markedsprisen P^* , i figur 3 under.



Figur 3: Forbruker- og produsentoverskudd ved økonomisk effektivitet

Det oppstår også et lignende overskudd for produsentene, ettersom det alltid er noen produsenter som er villige til å selge varen til en lavere pris enn markedspris. Disse produsentene, som har lavere kostnader enn andre, oppnår dermed enn fordel eller økt verdi ved å selge produktet til en høyere pris enn nødvendig. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 329). Produsentoverskuddet er også illustrert i figur 3, og utgjør den blå trekanten som ligger over tilbudskurven og under markedsprisen.

Sammen gir konsument- og produsentoverskuddet det totale samfunnsøkonomiske overskuddet for markedet. Et marked er økonomisk effektivt når dette overskuddet er maksimert. Dette betyr at markedet må operere ved markedslikevekt, hvor prisen er P^* og produksjonsmengde er Q^* , for å være økonomisk effektivt. Et uregulert frikonkurransemarked vil alltid ende opp med å operere ved dette punktet, så lenge det ikke oppstår noen markedssvikt. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 333-334).

2.4 Eksternaliteter

I et frikonkurransemarked kan markedssvikt oppstå dersom markedsprisen svikter i å gi riktige signaler til produsenter og forbrukere. Dette vil da føre til økonomisk ineffektivitet fordi det enten vil produseres og konsumeres for mye eller for lite av produktet, og dermed oppstå en feilallokering av ressurser. Markedet vil med andre ord ikke produsere ved det samfunnsoptimale punktet, og på den måten vil ikke det samfunnsøkonomiske overskuddet maksimeres. En slik situasjon kan oppstå enten fordi det er en skjev fordeling av informasjon mellom produsenter og forbrukere angående produktets kvalitet eller art, og at forbrukerne dermed ikke klarer å maksimere nytten sin riktig, eller fordi det oppstår eksternaliteter i markedet. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 333-334).

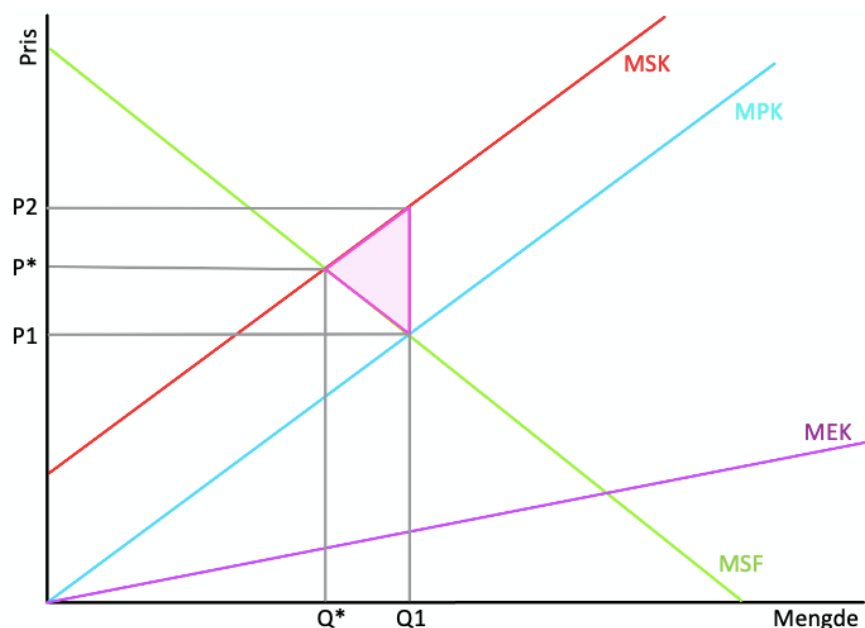
Eksternaliteter, også ofte kalt tredjepartsvirkninger eller eksterne virkninger, er positive eller negative virkninger fra produksjon eller konsum som går ut over tredjeparter, det vil si aktører som selv ikke deltar i disse aktivitetene, og som det ikke tas hensyn til i markedsprisen. Slike eksterne virkninger kan både være positive eller negative, og de kan forekomme mellom produsenter, mellom forbrukere eller mellom produsenter og forbrukere. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 334, s. 675).

Positive eksternaliteter er virkninger som gagnar tredjeparten, og benevnes derfor ofte som eksterne fordeler. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 676). Et dagsaktuelt eksempel på et produkt som gir en slik ekstern fordel er vaksiner; ved å vaksinere seg vil man ikke bare beskytte seg selv fra å bli syk, man vil også unngå å spre smitte videre til andre i samfunnet.

2.4.1 Negative eksternaliteter: miljøeksternaliteter

I denne oppgaven vil det imidlertid fokuseres på miljøeksternaliteter. Dette er en type negative eksternaliteter, det vil si eksterne kostnader for en tredjepart som det ikke kompenseres for i markedsprisen. (Riis & Moen, 2017, s. 442). For miljøeksternaliteter utgjør de eksterne kostnadene de negative miljøeffektene som resulterer fra konsum eller produksjon av miljøskadelige råvarer eller produkter, slik som for eksempel petroleum.

Figur 4 illustrerer hvorfor miljøeksternaliteter vil føre til markedssvikt, eller økonomisk ineffektivitet, i et uregulert frikonkurransemarked:



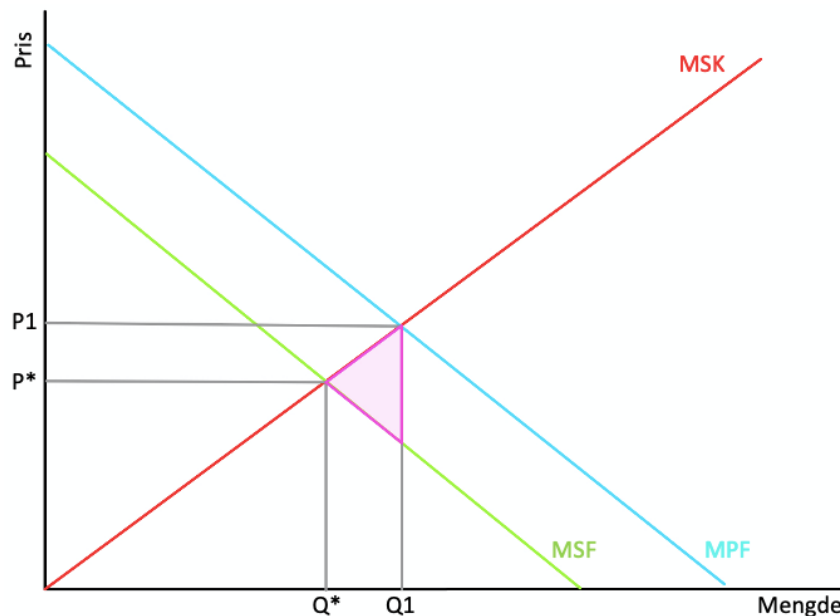
Figur 4: Negative eksternaliteter ved produksjon av miljøskadelig produkt

I figuren representerer MSF-kurven etterspørselen i markedet, og er dermed den marginale betalingsviljen. MSF står for marginal samfunnsfordel. MEK er den marginale eksterne kostnaden, og denne øker etter hvert som mer av det miljøskadelige produktet produseres. MPK er den marginale private kostnaden til produsentene av produktet, og viser dermed tilleggskostnaden produsentene opplever ved produksjon av én ekstra enhet. Denne kurven er altså den samme som marginalkostnadskurven beskrevet i de tidligere delkapitlene. MSK (marginal samfunnskostnad) er summen av MPK og MEK og viser hvor mye det faktisk koster både produsentene og miljøet, og dermed samfunnet, å øke produksjonen med én enhet. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 676-677).

Et uregulert frikonkurransemarked vil produsere $Q1$ enheter av produktet til prisen $P1$, altså ved normal markedslukevekt. Dessverre er ikke denne allokeringen økonomisk effektiv, ettersom de eksterne kostnadene for samfunnet som følger av produksjonen ikke blir kompensert for. Det samfunnsoptimale produksjonsvolumet er Q^* til en pris av P^* , det vil si punktet hvor den marginale samfunnsfordelen er lik den marginale samfunnskostnaden. Feilallokeringen ved normal markedslukevekt fører til et for høyt produksjonsvolum til en for lav pris, og kostnaden for samfunnet blir mye høyere enn samfunnsfordelen. Ved produksjonsvolumet $Q1$ vil nemlig kostnaden for samfunnet utgjøre differansen mellom $P2$ og $P1$. Dermed oppstår markedssvikt og et netto

velferdstap, representert av den rosa, skraverte trekanten i figur 4. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 677).

Dette gjelder også konsum av miljøskadelige råvarer og produkter:



Figur 5: Negative eksternaliteter ved konsum av miljøskadelig produkt

I figur 5 har vi MPF som fungerer som markedets etterspørselskurve, og er den marginale private fordelen for forbrukerne forbundet med å konsumere én ekstra enhet av produktet. MSF er den marginale samfunnsfordelen, og som man ser fra figuren er denne betraktelig lavere enn MPF. Igjen, i et uregulert frikonkurransemarked, vil markedet allokere ved normal markedslivevekt, det vil si $Q1$ enheter av produktet til prisen $P1$. Dette er imidlertid er for høyt konsumnivå enn hva som er samfunnsoptimalt, som er Q^* enheter til prisen P^* . Dermed er den marginale samfunnskostnaden høyere enn den marginale samfunnsfordelen, og nok en gang fører den frie konkurransen til et netto velferdstap, representert av den rosa trekanten i figur 5. (Economics Online, 2020).

2.4.2 Hvordan korrigere markedssvikt som følger av miljøeksternaliteter

I situasjoner hvor markedssvikt oppstår som følger av miljøeksternaliteter er det som oftest nødvendig med statlige inngrep for å korrigere dette. Dette gjøres for at markedsprisen også skal reflektere eksternalitetene, slik at konsum og produksjon reguleres med hensyn til disse eksterne virkningene. (Riis & Moen, 2017, s. 443-446).

Dersom de negative eksternalitetene kommer av produksjon, er det særlig to verktøy som ofte blir brukt for å korrigere markedet. Den første er å innføre en forurensingsavgift for bedrifter. En slik avgift blir gitt avhengig av hvor mye bedriften forurenses, og hensikten er dermed å øke bedriftens marginale private kostnad, slik at den vil produsere mindre av produktet som forårsaker forurensningen. Målet er da å dekke den eksterne kostnaden, slik at MPK-kurven skifter oppover mot MSK-kurven, og dermed produserer markedet nærmere det samfunnsoptimale volumet. Dette kan imidlertid være krevende å få til, da det er vanskelig å måle hvor stor den eksterne kostnaden for samfunnet virkelig er, og dermed hvor stor avgift man skal gi produsentene. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 682-683).

Det andre verktøyet som ofte brukes er en forurensingskvote. Implementering av en slik kvote innebærer at staten setter en øvre grense for hvor mye hver bedrift kan forurense. Dersom bedriften overstiger denne grensen vil den motta en straff, vanligvis i form av bøter. På den måten kan staten kontrollere hvor mye forurensing som produseres, og dermed også hvor mye av det forurensende produktet som produseres. Likevel er det fortsatt vanskelig å konstatere hvor mye de negative eksternalitetene virkelig utgjør, så det kan være utfordrende å finne den riktige totale kvoten. Med det sagt kan innføring av slike kvoter føre til at produsenter blir mer effektive, med lavere utslipp og bedre utnyttelse av ressurser, og dermed også en lavere ekstern kostnad. (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 682).

Også på konsumsiden kan staten benytte seg av avgifter for å korrigere markedet. For eksempel kan staten innføre høyere moms på produkter som fører til negative eksternaliteter ved konsum, slik at produktprisen blir høyere og salgsmengden reduseres. Alternativt kan staten subsidiere andre produkter som ikke har slike eksterne kostnader, og som er substitutter for det miljøskadelige produktet, slik at forbrukere heller kjøper dette produktet. (Economics Online, 2020).

2.5 Sirkulær økonomi

I dag klassifiseres det meste av verdensøkonomien som lineær økonomi: nye råvarer og materialer utvinnes for å produsere nye produkter, som så konsumeres av forbrukere, før de til slutt blir ødelagte eller utdaterte og havner i avfallsdunken. Med et økende fokus på bærekraft i samfunnet har denne måten å produsere på møtt på mye kritikk, både fordi den medfører enorme mengder avfall, og fordi den forbruker råvarer og ressurser i et veldig høyt tempo. Tilgangen på disse råvarene er tross alt ikke ubegrenset, og det er derfor ikke usannsynlig at det en dag vil gå tomt. (Ellen MacArthur Foundation & Granta Design, 2015, s. 7). FN har dessuten estimert at den økte befolkningen på 9.7 milliarder mennesker i 2050 vil kreve tre jordkloder for å dekke behovet for naturlige ressurser, dersom vi fortsetter å forbruke varer og ressurser slik vi gjør i dag. (De forente nasjoner, 2016).

Med hensyn til disse utfordringene har det dermed oppstått en ny økonomisk modell med økende popularitet, nemlig sirkulær økonomi. I en sirkulær økonomi utnyttes ressursene i mye større grad og gjerne flere ganger. Etersom dette er et relativt nytt økonomisk konsept finnes det ulike tolkninger av begrepet, men i 2017 publiserte Kirchherr, Reike og Hekkert en analyse av 114 ulike definisjoner av sirkulær økonomi, hvor de så la fram følgende utfyllende definisjon som resultat:

... an economic system that replaces the ‘end-of-life’ concept with reducing, alternatively reusing, recycling and recovering materials in production/distribution and consumption processes. It operates at the micro level (products, companies, consumers), meso level (eco-industrial parks) and macro level (city, region, nation and beyond), with creating environmental quality, economic prosperity and social equity, to the benefit of current and future generations. It is enabled by novel business models and responsible consumers. (Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017, s. 229).

Som det fremgår i denne definisjonen er det fire hovedkonsepter som skiller den sirkulære økonomien fra den lineære. Disse er *reducing* (redusere), *reusing* (gjenbruke), *recycling* (resirkulere) og *recovering* (gjenopprette), og omhandler hvordan materialer utnyttes i en økonomi. (Kirchherr et al., 2017, s. 223).

Målet med en sirkulærøkonomi er å oppnå en mer bærekraftig produksjonsprosess hvor man bruker ressursene mer effektivt enn i den tradisjonelle lineære økonomien. Dette gjøres ved å redusere tilførselen av nye materialer og skape en lukket produksjonssyklus, hvor man bruker de samme ressursene flere ganger ved å gjenbruke, resirkulere og gjenopprette allerede brukte materialer. Med andre ord skaper man en mer sirkulær produksjonssyklus. Implementering av slike systemer vil både konservere mer energi og genere mer verdi fra de knappe ressursene over en lengre tidsperiode, enn om man bare skulle fortsatt med et lineært bruk-og-kast-system. (Urbinati, Chiaroni & Chiesa, 2017, s. 487-488).

Definisjonen poengterer også at innføring av sirkulær økonomi muliggjøres av nye foretningsmodeller og ansvarlige forbrukere. Dette er et viktig poeng da en bedrifts foretningsmodell beskriver hvordan den skal operere og generere profitt, og dermed på hvilken måte den skal utnytte ressurser og materialer. (Kopp, 2020). For å lykkes med en sirkulær produksjonssyklus er det dermed nødvendig for bedrifter å tilpasse eller fornye foretningsmodellen sin, med hensikt om å heller bruke de samme materialene om igjen enn å kaste dem. (Urbinati et al., 2017, s. 490). I tillegg er man som bedrift avhengig av at man har ansvarlige forbrukere å selge til, som er villige til å bidra i den sirkulære økonomien.

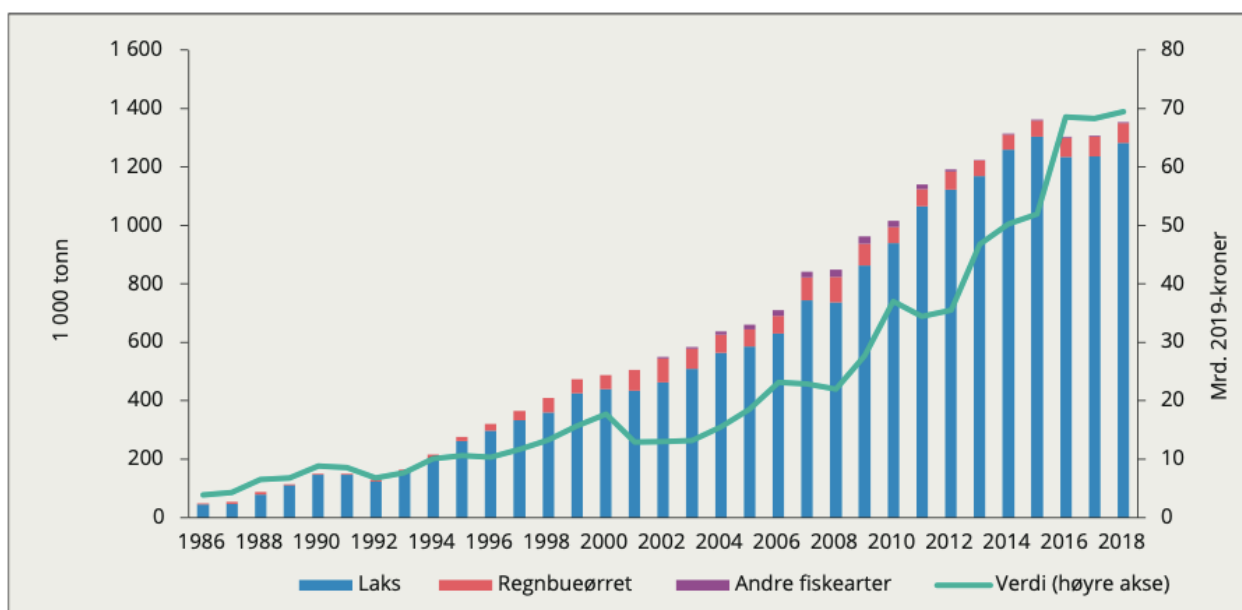
3. Norsk oppdrett og laksemarkedet

3.1 Atlantisk laks

Det finnes mange typer laksefisk i verden, men i denne oppgaven referer begrepet «laks» til atlantisk laks, *salmo salar*, ettersom dette er den laksearten som det drives mest oppdrett av i Norge. I 2019 var det totale salget av matfisk fra oppdrett i Norge på 1 447 531 tonn rund vekt, hvorav 1 364 042 tonn var atlantisk laks. Rund vekt er vekten på fisken før den er blitt sløyd. Med andre ord utgjorde atlantisk laks 94.2 % av den totale matfiskproduksjonen i Norge dette året. (Fiskeridirektoratet, 2020a). Denne mengden gjør også Norge til den største produsenten av atlantisk laks i verden, med en global markedsandel på 52.7 % i 2017. (Berge, 2018).

3.2 Oppdrett i Norge

Sjømatnæringen er en viktig del av norsk industri, og den består av to sektorer: akvakultur og fiske. (Tveterås, Reve, Haus-Reve & Misund, 2019, s. 35). Matfiskproduksjon, inkludert oppdrett av atlantisk laks, inngår i akvakultur, også kalt havbruk. De siste tiårene har oppdrettsnæringen av atlantisk laks i Norge opplevd en enorm vekst, slik figur 6 under viser. Bare siden 2008 har salgsmengden av slaktet laks nærmest fordoblet seg, fra 737 254 tonn i 2008 til 1 364 042 tonn i 2019. (Fiskeridirektoratet, 2020a).



Figur 6: Salg av slaktet matfisk i Norge, 1986-2018 (Kilde: Statistisk sentralbyrå, funnet i: NOU 2019:18, 2019)

3.2.1 Produksjonskjeden

Før laksen er klar til å selges gjennomgår den en lang og tidkrevende produksjonsprosess. Det hele starter med å fange stamfisk som brukes til kunstig formering i et settefiskanlegg.

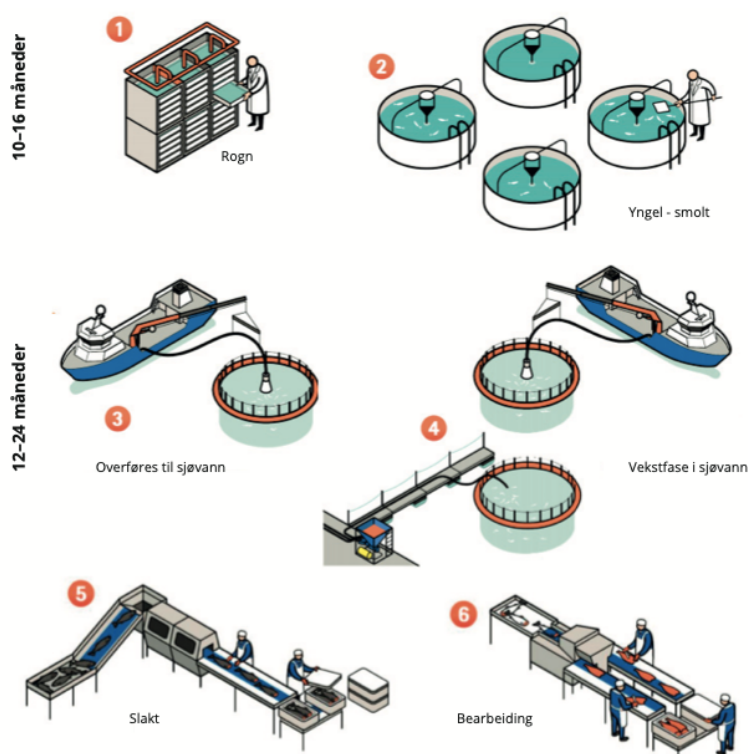
Når stamfisken er klar til gyting, det vil si befruktning, strykes den. Dette gjøres for å hente rogn fra hunnene og melke fra hannene, og deretter blandes dette slik at man får befruktete egg. En hunnlaks har omtrent 500 egg ved gyting, og etter befruktning legges disse eggene i klekkebakker. (Labora, 2019; Erko Seafood, u.å.). Dette er illustrert som steg 1 i figur 7.

I klekkebakkene strømmer det hele tiden ferskvann over eggene.

Temperaturen holdes nede på rundt 8 °C og eggene eksponeres

ikke for lys. Etter omtrent 25-30 dager blir rognen til såkalte øyerogn, og egget vil få to synlige sorte prikker. Dette er øynene til fiskelarven inne i egget. Larven klekkes ut etter omtrent 60 dager, som en plommesekkkyngel. Plommesekkkyngelen livnærer seg de første ukene på en stor plommesekk som henger på magen, derav navnet, og siden den ikke har noe særlig svømmeferdigheter enda, ligger den for det meste på bunnen i klekkebakkene. (Erko Seafood, u.å.; SalMar ASA, u.å.).

Laksekyngelen flyttes fra klekkebakkene til fiskekar, slik som steg 2 viser i figur 7, når plommesekken er gått tom for næring. Nå er yngelen klar til å ta imot føde og startfôringen settes dermed i gang. Etter seks uker med dette sorteres yngelen etter størrelse og flyttes til større fiskekar. I løpet av de neste månedene vil de vaksineres og smoltifiseres, det vil si at de forberedes på å gå over fra ferskvann til saltvann. Gjennom denne prosessen forandres både fiskens farge og gjeller, og den gjøres klar til å settes ut i matfiskanleggene. Totalt tar det i et settefiskanlegg omtrent et halvt år fra larven klekkes til den er blitt smolt, mens villaks bruker mellom 2 og 5 år på samme prosess. Den raske smoltifiseringen i



Figur 7: Produksjonskjeden for oppdrettslaks i Norge (Kilde: Mowi, 2020, s. 52)

settefiskanleggene skyldes optimal tilgang på fôr og høyere temperatur, i tillegg til at man kan kontrollere hvor mye lys fisken utsettes for. (SalMar ASA, u.å.; Erko Seafood, u.å.).

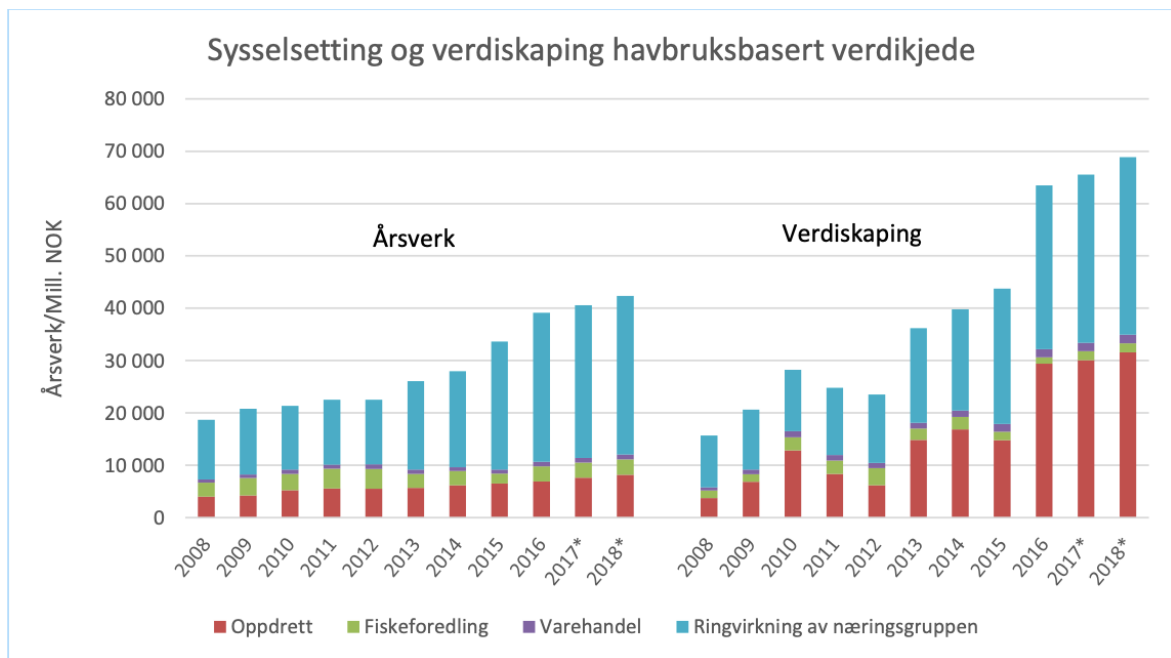
Når settefisken er blitt smolt fraktes den i brønnbåt ut til matfiskanlegg, det vil si åpne merder ute i sjøen. I figur 7 er dette illustrert som steg 3. En fiskemerd består av en stor notpose som henger ned i vannet og en flytende ring som holder denne oppe. Når fisken blir flyttet til et slikt anlegg er den per definisjon en matfisk. Likevel tar det nokså lang tid før den er slakteklar, ved ca. 4-6 kg, og den lever derfor ofte i merdene i 2-2.5 år, avhengig av fôring, lysforhold og vanntemperatur og -kvalitet. (SalMar ASA, u.å.; Labora, 2019; Erko Seafood, u.å.).

Etter hvert som tiden går og fisken vokser, sorteres også matfisken i merdene etter størrelse. Vekstraten kan variere mellom individer, og noen laksefisk er faktisk allerede klar til slakt etter kun ett år i merden. Når fisken er slakteklar flyttes den til fiskebrønningen ombord en brønnbåt, og blir deretter fraktet levende til land og plassert i ventemerder. (SalMar ASA, u.å.). For å unngå unødvendig lidelse og stress bedøves laksen, enten ved hjelp av elektrisk strøm eller slag mot hodet, før den så avlives og avblødes. (Laksefakta, 2018a).

Til slutt bearbeides den slaktede laksen og gjøres klar til eksport og videreforedling. Det finnes mange ulike produktvarianter av laks, og den blir enten solgt filetert, porsjonert, hel eller i form av andre produkter. (SalMar ASA, u.å.).

3.2.2 Verdiskaping og sysselsetting

Som grafen i figur 6 indikerer ligger det også mye økonomisk verdi i matfiskproduksjonen. Verdiskaping til en industrinæring måles som dens bidrag til bruttonasjonalproduktet (BNP). I 2018 ga den norske sjømatnæringen for første gang en total verdiskaping, inkludert ringvirkninger, på hele 100 milliarder kroner. Over to tredjedeler av dette, nærmere bestemt 68 milliarder, kom fra havbrukssektoren alene. (Richardsen, Myhre & Tyholt, 2019, s. 6, 14 og 23). Figur 8 på neste side viser hvordan verdiskapingen fra havbruk har utviklet seg fra 2008-2018.



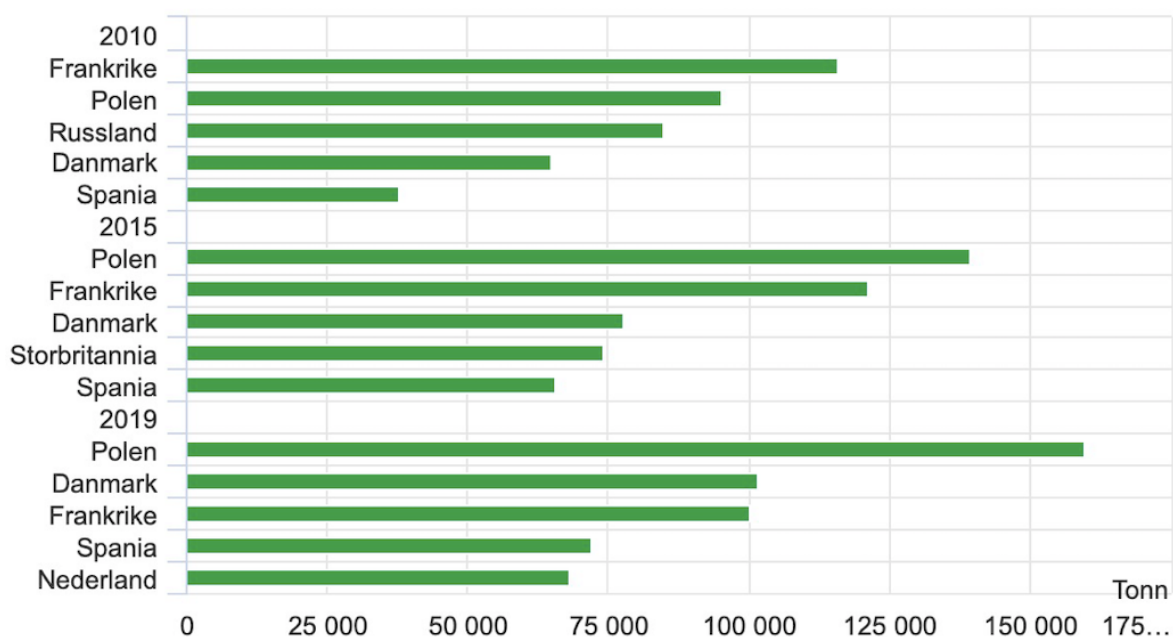
Figur 8: Sysselsetting og verdiskaping (løpende priser) i havbrukssektoren, 2008-2018. (Kilde: Richardsen et al., 2019, s. 22)

Verdiskapingens positive utvikling skyldes i stor grad den store veksten innen lakseoppdrett, i tillegg til at oppdrettsfisken har hatt veldig gode markedspriser siden 2016. I 2015 ble laks og ørret eksportert for en gjennomsnittlig pris på 46 kr/kg, mens i 2016 steg eksportprisen betraktelig og lå i gjennomsnitt på 62.30 kr/kg. (Richardsen et al., 2019, s. 23). I uke 15 2021 var eksportprisen på fersk/kjølt laks på 60.99 kr/kg, mens frossen laks ble eksportert for 64.01 kr/kg. (Statistisk sentralbyrå, 2021).

Den store produksjonsveksten innen havbruk har også ført til en positiv trend innen sysselsetting, men mest gjennom ringvirkninger. Direkte i verdikjeden til havbruk var det sysselsatt omtrent 12 000 årsverk i 2018. Dette inkluderte oppdrettsdelen, som har hatt en stabil årlig positiv trend, og sysselsatte anslagsvis 8 200 årsverk i 2018, i tillegg til slakting og foredling med ca. 3 000 årsverk, og grossist og eksportvirksomheten med rundt 900 årsverk. Økningen i ringvirkningssysselsatte skyldes at det, fra og med 2016, er stilt høyere krav til havbruksnæringen når det gjelder lusebehandlinger, sertifiseringer og teknisk utstyr. Dette har så resultert i økt spesialisering hos tjenesteleverandørene. (Richardsen et al., 2019, s. 22).

3.3 Eksport av norsk laks

Mesteparten av den atlantiske laksen Norge produserer eksporteres til andre land. I 2019 eksporterte Norge totalt 1.1 millioner tonn oppdrettslaks til en verdi av 72.5 milliarder kroner. Denne eksportmengden utgjorde omtrent 80 % av det totale salget av norsk laks i 2019. Det var 111 land som kjøpte norsk laks dette året, hvorav europeiske land sto for omtrent 75 % av all import. (Steinset, 2020; Fiskeridirektoratet, 2020a). Figuren under viser hvor mye de fem landene som importerer mest laks fra Norge importerte i 2010, 2015 og 2019:

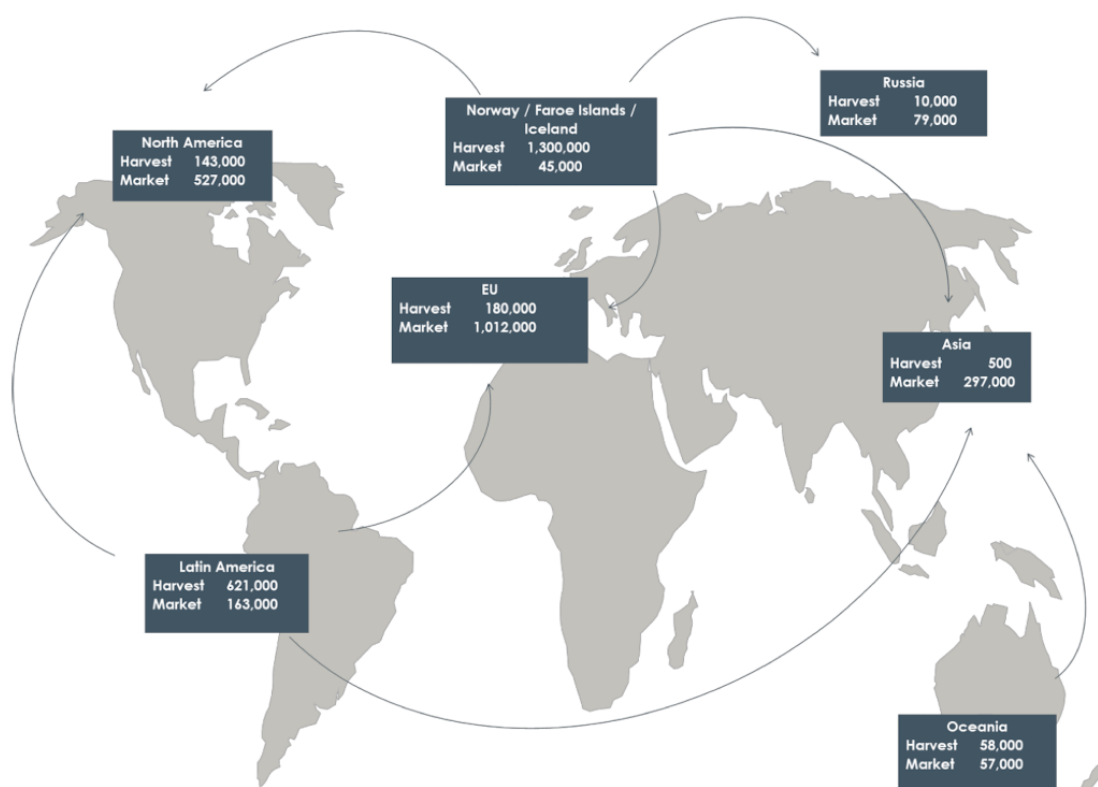


Figur 9: Landene med størst lakseimport fra Norge i 2010, 2015 og 2019 (Kilde: Statistisk sentralbyrå, funnet i: Steinset, 2020)

Som figur 9 viser har både Polen og Danmark økt importen av atlantisk laks fra Norge i løpet av årene 2010-2019. Dette sammenhenger med at Norge må betale toll til EU for å eksportere foredlet laks til det europeiske markedet, og dermed heller eksporterer for det meste uforedlet laks. Både i Polen og Danmark, som begge er fritatt fra denne tollavgiften ettersom de er EU-land, har det vokst frem stor industri for foredling av norsk laks for videresalg til andre europeiske land. Også andre land i EU, slik som Nederland, Tyskland og Sverige, kjøper stadig mer uforedla laks fra Norge med hensikt om å foredle og videreselge den. Frem til 2013 var Russland også blant de største importørene av norsk laks, men i 2014 innførte landet importforbud mot all fisk fra Norge. (Steinset, 2020).

3.4 Global produksjon av atlantisk laks

Selv om Norge i dag er verdens ledende produsent av atlantisk laks, er vi langt ifra det eneste landet som driver med lakseoppdrett. Kartet i figur 10 under viser det globale handelsmarkedet for atlantisk laks. Pilene i figuren indikerer handelsstrømmer, og som man ser eksporterer de nordiske landene Norge, Færøyene og Island til Nord Amerika og Asia, i tillegg til EU. Pilen som peker til Russland gjelder ikke eksport fra Norge, grunnet importforbudet som ble innført i 2014. (Mowi, 2020, s. 41).







Figur 10: Global produksjon og handel av oppdrettet atlantisk laks i 2019 (oppgitt i tonn rund vekt) (Kilde: Mowi, 2020, s. 41)

For det totale akvakulturmarkedet, som oppdrettsnæringen går inn under, er Asia imidlertid den regionen som produserer mest. Asia har en produksjonsandel på 90 % av all akvakultur, hvorav Kina står for 61 % av den globale produksjonen. Til sammenligning er Norge det syvende største produsentlandet innen akvakultur, med en markedsandel på 1.7 %. Med hensyn til folketall er Norge imidlertid den største produsenten av akvakultur per innbygger, med en produksjonsmengde i 2016 på 252 kg per capita, mens Kinas produksjon var 34 kg per capita samme år. (Tveterås et al., 2020, s. 11-12).

3.5 Verden trenger mer mat

FN estimerer, som nevnt, at verdens befolkning vil vokse til rundt 9.7 milliarder i 2050. (De forente nasjoner, 2020). Flere mennesker betyr også at behovet for mat vil vokse, og ifølge FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO) må matproduksjonen økes med 60 % for å dekke dette. (Graziano da Silva, u.å.). For å få til dette må havets ressurser utnyttes i enda større grad enn i dag. Til tross for at havet dekker 70 % av jordas overflate bidrar sjømat med kun 3 % av maten i verden, og fisk utgjør kun 7 % av proteinkildene til menneskelig konsum i dag. (Tveterås et al., 2020, s. 7; Mowi, 2020, s. 10).

Oppdrettslaks er dessuten en mer klimavennlig animalsk proteinkilde enn både svin og storfe. Bare fjørfe har et lavere karbonfotavtrykk enn laksen, men laksen har derimot det aller laveste vannforbruket per produserte kilogram kjøtt. (Mowi, 2020, s. 22). Dette fremgår i tabellen under:

				
Carbon Footprint				
Kg CO ₂ / Kg edible meat	7.9 kg	6.2 kg	12.2 kg	39.0 kg
Water consumption				
Litre / Kg edible meat	2,000*	4,300	6,000	15,400

*Total water footprint for farmed salmonid filets in Scotland, in relation to weight and content of calories, protein and fat.

Tabell 1: Karbonfotavtrykk og vannforbruk per produserte kilogram kjøtt. (Kilde: Mowi, 2020, s. 22)

Lakseproduksjonen er også mer ressurseffektiv enn produksjonen av husdyrene, da det kreves færre landområder i produksjonen, fôret utnyttes mer effektivt, med en lavere fôrfaktor, og andelen kjøtt i forhold til kroppsvekt er større. (Tveterås et al., 2020, s. 20-21). Dette vises i tabell 2 under:

Art	Laksefisk	Fjørfe	Svin	Storfe	Sau
Produksjon i mill. tonn	3.2	107.1	118.2	66	9.3
Landområde brukt per 100 g protein i m ²	3.7	7.1	11	102	185
Fôrfaktor (kg fôr per kg tilvekst)	1.2-1.5	1.7-2.0	2.7-5.0	6.0-10.0	-
Utbytte kjøtt i forhold til total kroppsvekt	68 %	46 %	52 %	-	38 %

Tabell 2: Nøkkeltall for ressursbruken til laksefisk og husdyr. (Basert på tabell fra: Tveterås et al., 2020, s. 20)

Siden laksefisk er mer ressurseffektiv og har et relativt lavt karbonfotavtrykk, særlig sammenlignet med storfe, vil det altså være mer bærekraftig å utvide matproduksjonen fra akvakultur enn fra husdyr. (Tveterås et al., 2020, s. 21). Dermed vil utvikling innen denne sektoren spille en meget viktig rolle i årene fremover.

3.6 Norges ambisjoner mot 2050

Norge har som ambisjon å øke den årlige produksjonen av atlantisk laks til 5 millioner tonn innen 2050. (Tveterås et al., 2020, s. 125). For å oppnå en så stor vekst kreves det en del forskning og utvikling, ikke bare med hensyn til fôr, men også for selve produksjonskjeden.

For å produsere nærmest det firedoblete av dagens produksjonsvolum vil det for eksempel være behov for flere, og gjerne større fiskemerder enn i dag. Dagens fiskemerder er lokalisert langs den norske kysten, men ved en mye større produksjon, slik ambisjonen for 2050 innebærer, vil det være utfordrende å få plass til nok merder her. Dermed forskes det nå på muligheten for å flytte laksen lengre ut i havet, og drive industrielt havbruk til havs. (Tveterås et al., 2020, s. 7).

Figur 11 er et bilde av SalMars Ocean Farm 1, et av verdens første oppdrettsanlegg offshore. Denne havfarmen brukes for å undersøke hvorvidt det egner seg å produsere oppdrettslaks offshore, og så langt har forskningen vist gode resultater for vekst, overlevelse, fôrforbruk og kjøttkvalitet, sammenlignet med tradisjonelle merder. (The Explorer, u.å.; Soltveit, 2020). Ved produksjon offshore har Norge dessuten et stort kunnskapsfortrinn, etter mange år med utvinning av olje offshore, som vil komme godt med ved slik produksjon. (Tveterås et al., 2020, s. 7).



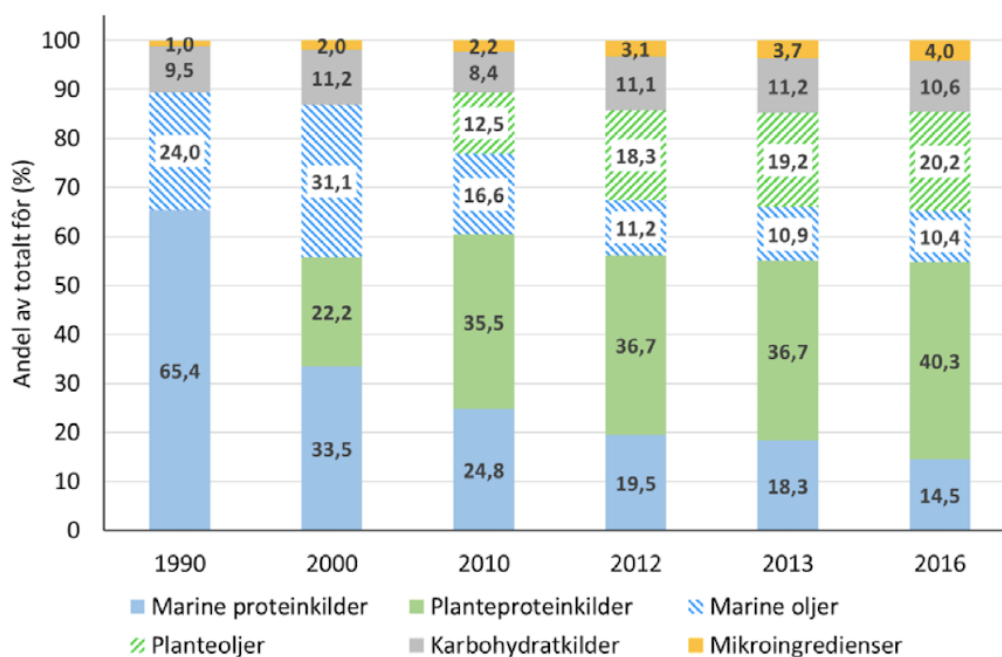
Figur 11: Ocean Farm 1 (Kilde: SalMar ASA, 2018)

4. Laksefôr i dag

4.1 Sammensetningen av laksefôret

Frem til 1990 utgjorde marine råstoffer, slik som fiskemel og fiskeolje, ca. 90 % av alt innholdet i laksefôret. Disse råvarene er imidlertid begrensede, og økt produksjon av oppdrettslaks har derfor ført til økt bruk av vegetabiliske råstoffer i fôret. (Ytrestøyl, Aas & Åsgård, 2015, s. 368). I 2016 utgjorde marine proteinkilder kun 14.5 % av laksefôret, samtidig som marine oljer ikke utgjorde mer 10.4 %. (Aas, Ytrestøyl & Åsgård, 2019, s. 3).

Figur 12 under viser hvordan sammensetningen av fôret som blir gitt til oppdrettslaks i Norge har utviklet seg siden 1990 til 2016:



Figur 12: Sammensetning av laksefôr 1990-2016 (Kilde: Almås et al., 2020)

Som sagt, og som figuren også illustrerer, har andelen vegetabiliske råstoffer i laksefôret steget mye siden 1990. Dette inkluderer planteoljer, planteproteinkilder, karbohydratkilder og mikroingredienser, og det er særlig de to førstnevnte som har økt i andel. I 2016 utgjorde vegetabiliske råstoffer altså omtrent 75 % av alt laksefôret.

Videre følger en nærmere beskrivelse av de ulike fôrkomponentene som finnes i dagens laksefôr.

Marine proteinkilder

Marine proteinkilder er fiskemel produsert av pelagisk fisk, for eksempel sardiner og ansjos, og fiskeavskjær, slik som hoder, ben og annet restråstoff som ellers ville gått som avfall i konsumfiskindustrien. (Almås et al., 2020, s. 12). Det har vært en betydelig reduksjon i andelen disse proteinkildene utgjør av fôret siden 1990, da de dominerte fôrsammensetningen med 65.4%, til 2016, hvor de kun utgjorde 14.5 %. Denne negative kursen vil trolig også fortsette etter hvert som tilgangen på disse ressursene reduseres ytterligere, både av den grunn at pelagisk fisk går mer og mer til humankonsum, og fordi mye av restråstoffet går til andre industrier, slik som helsekost og legemidler, hvor de bidrar som omega-3-kilde. (Almås et al., 2020, s. 12; Ytrestøyl et al., 2015, s. 369). I tillegg, som nevnt i kapittel 3.3, eksporteres mesteparten av laksen som produseres i Norge til andre land, og kun 16 % av dette er foredlet laks. (Steinset, 2020). Det betyr at mye av restråstoffene forsvinner til utenlandske fabrikker, og gjerne også forbrukere som kjøper hele laks, med hodet og alt.

Marine oljer

Som figur 12 viser på forrige side var marine oljer, som fiskeolje, den eneste typen olje i laksefôret både i 1990 og 2000. I 2010 ser man imidlertid at andelen marine oljer i fôret ble omtrent halvert, og i 2016 inneholdt det kun 10.4 % fiskeolje. Denne reduksjonen skyldes at nesten all tilgjengelig fiskeolje allerede utnyttet, og etter hvert som lakseproduksjonen har økt betraktelig i volum er det ikke lenger nok olje tilgjengelig til å mate all laksen. Kildene til marine oljer er tross alt de samme som de marine proteinkildene, altså pelagisk fisk og fiskeavskjær, og dermed står tilgangen på marine oljer ovenfor samme problematikk; mer pelagisk fisk går rett til konsum og mengden tilgjengelig restråstoffer avtar. (Almås et al., 2020, s. 11).

Planteproteinkilder

Selv om tilgangen på marine proteinkilder er avtagende har laksen fortsatt samme proteinbehov som før. Derfor har store deler av proteininnholdet i laksefôret blitt erstattet med planteproteinkilder, slik som blant annet soyaproteinkonsentrat, hvetegluten,

maisgluten, fababønner, solsikkemel, erteproteinkonsentrat og solsikkeprotein. I 2016, da 40.3 % av innholdet i fôret var av plante proteinkilder, utgjorde omtrent halvparten av dette soyaproteinkonsentrat, som alene utgjorde 19 % av fôrsammensetningen. (Aas et al., 2019, s. 4).

Planteoljer

Planteoljer benyttes også i økende grad som næringsstoff i laksefôret. I Norge får laksen rapsolje, camelinaolje og linfrøolje, og disse utgjorde totalt 20.2 % av fôret i 2016, hvor rapsolje og camelinaolje sammen sto for 19.8 %. (Aas et al., 2019, s. 4). En utfordring knyttet til bruk av planteoljer som erstatning for marine oljer er at fisken trenger å få i seg nok av de essensielle omega-3-fettsyrene eikosapentaensyre (EPA) og docosaheksaensyre (DHA). Disse er viktige både for vekst og kvalitet, men også for fiskevelferden. Det vil derfor være viktig å finne nye kilder til disse fettsyrene, og det forskes i dag på genmodifisering av rapsolje, slik at den vil inneholde mer DHA, i tillegg til muligheten for å benytte nye marine kilder i fôret, slik som mikroalger. (Kraugerud, 2019). EPA og DHA problematikken vil bli forklart ytterligere senere, i kapittel 4.3.3.

Karbohydratkilder

Karbohydrater, det vil si sukkere og stivelser, tilsettes hovedsakelig som bindemiddel i fôret. (Aas et al., 2019, s. 3) Varme- og trykkbehandling gjør nemlig karbohydratene i stand til å klistre sammen ingrediensen og forme små pellets. I tillegg til denne egenskapen omgjøres karbohydratene til energi hos fisken. (Kyst.no, 2007). I Norge benyttes blant annet hvete og ertestivelse som karbohydratkilder, og andelen i fôret har vært nokså stabil siden 1990, slik figur 12 viser, og utgjør ca. 10 % av hele fôrsammensetningen. (Aas et al., 2019, s. 4).

Mikroingredienser

Innholdet av mikroingredienser har, som man ser fra figur 12, økt gradvis siden 1990, når det kun utgjorde 1.0 % av fôret, til 2016, hvor det utgjorde fire ganger så mye (4.0 %). Disse inkluderer vitaminer og mineraler, fosforkilder, astaxanthin, og krystallinske aminosyrer. (Aas et al., 2019, s. 3).

4.2 Forbruk, kostnader og prisutvikling

4.2.1 Forbruk og fôrfaktor

I 2016 var forbruket av laksefôr på 1 627 478 tonn, noe som ga et salgsvolum på 1 233 619 tonn atlantisk oppdrettslaks. (Aas et al., 2019; Fiskeridirektoratet, 2020a). Dette betyr at for hvert kilogram laks solgt i 2016 gikk det ca. 1.32 kg laksefôr. I Fiskeridirektoratets felles lønnsomhetsanalyse for matfiskproduksjon av atlantisk laks og regnbueørret har de imidlertid beregnet den økonomiske fôrfaktoren for 2016 til å være 1.25 ved bruk av følgende formel (Fiskeridirektoratet, 2020b):

$$\frac{\text{forlager pr. 1.1.} + \text{forkjøp} - \text{fôrlager pr. 31.12.}}{\text{produksjon av fisk}}$$

Fiskeridirektoratets fôrfaktor sier altså hvor mye fôr som forbrukes, ved å se på endring i beholdningen i løpet av året, i forhold til produsert mengde fisk, noe som betyr at 1.25 kg fôr må til for å produsere 1 kg fisk. Nevneren i formelen, altså «produksjon av fisk», er definert ved følgende formel (Fiskeridirektoratet, 2020b):

$$\text{solgt mengde fisk} + \text{UB frossen lager} + \frac{\text{UB biomasse} - \text{vekt på utsatt smolt} + \text{IB biomasse}}{1.067}$$

Her står UB for utgående beholdning, IB for inngående beholdning, og biomasse representerer antall levende fisk multiplisert med gjennomsnittlig vekt. Fiskeridirektoratet oppgir både solgt mengde fisk og utgående beholdning av frossen fisk i rundvekt, og derfor omgjøres vekten av den levende fisken, altså biomassebeholdningen og smolten, til rundvekt ved bruk av omregningsfaktoren 1.067, slik at man unngår flere typer vekter i nevneren. (Fiskeridirektoratet, 2020b).

Fordi Fiskeridirektoratet benytter denne definisjonen, som inkluderer mye mer enn bare solgt mengde fisk, er det ikke uventet at deres fôrfaktor vil avvike fra den forenklede utregningen som ga at 1.32 kg laksefôr måtte til for å produsere 1 kg laks i 2016. Imidlertid har ikke Fiskeridirektoratet klart å skille mellom atlantisk laks og regnbueørret i utregningene sine. Selv om regnbueørret kun utgjør mindre enn 10 % av produksjonen av matfisk, er det mulig at fôrfaktorene ikke gir en perfekt representasjon av laksen forbruk. (Fiskeridirektoratet, 2020b).

Fiskeridirektoratets fôrfaktor for matfisk har holdt seg relativ stabil fra 2008 til 2019, slik tabellen under viser (Fiskeridirektoratet, 2020b):

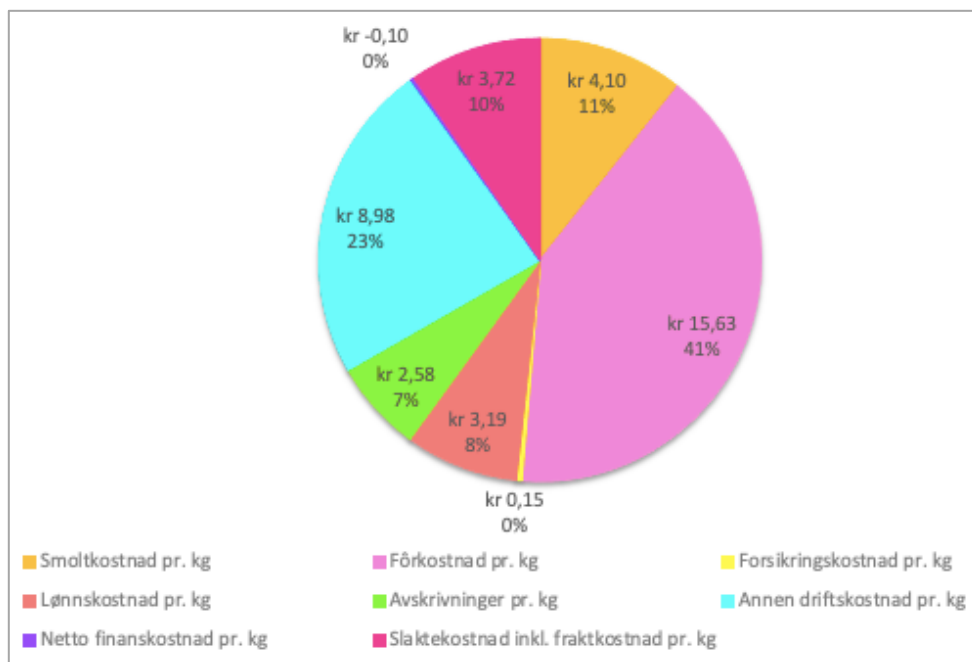
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Fôrfaktor	1.28	1.28	1.35	1.24	1.21	1.25	1.22	1.23	1.25	1.32	1.26	1.34

Tabell 3: Fôrfaktor for matfisk av atlantisk laks og regnbueørret 2008-2019. Tall hentet fra (Fiskeridirektoratet, 2020b)

Med hensyn til gjennomsnittet av disse tallene, som gir en gjennomsnittlig fôrfaktor på 1.27, og avviket mellom Fiskedirektoratets tall for 2016 og den forenklete beregningen til 1.32, antas det videre i oppgaven at **fôrfaktoren for atlantisk laks er 1.30**. Dette gjøres for å enklere kunne analysere laksen fôrbehov senere i oppgaven. Det skal likevel nevnes at fôrforbruket kan påvirkes av mange andre faktorer enn fiskens inntak, for eksempel et uheldig tap av fôr eller ødeleggelse av det, og at det dermed går til svinn.

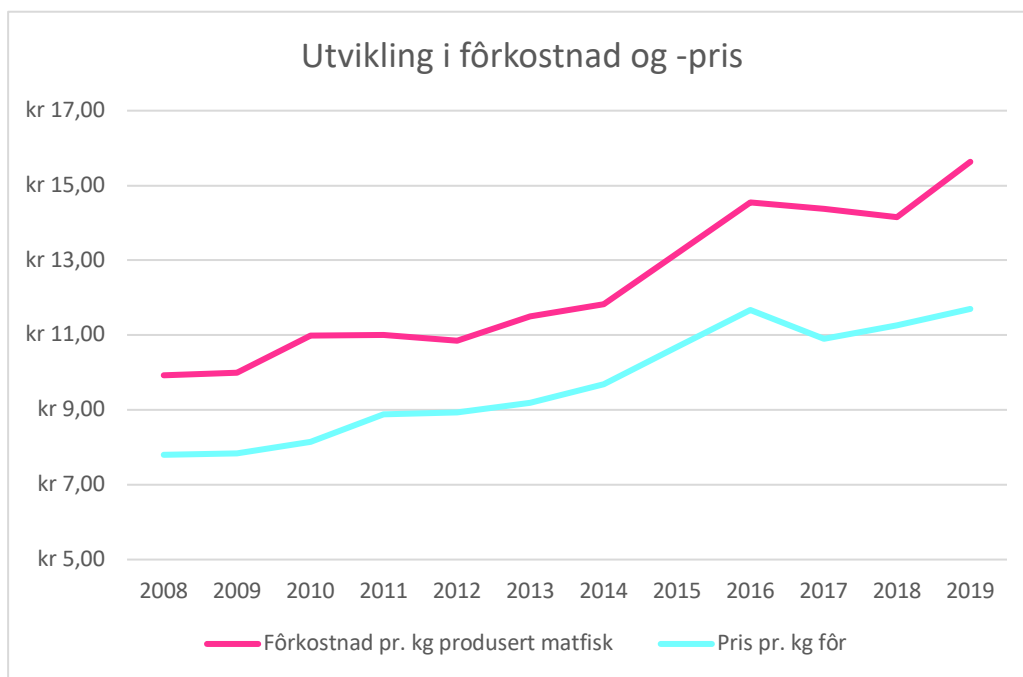
4.2.2 Fôrkostnad og -pris

I 2019 var den gjennomsnittlige kostnaden av å produsere 1 kg matfisk, det vil altså si atlantisk laks og regnbueørret, i Norge kr 38.26. (Fiskeridirektoratet, 2020c). Av alle faktorer som inngår i produksjonen er fôr den desidert største kostnadsdriveren:



Figur 13: Kostnader per kg produsert matfisk i 2019. (Tall hentet fra: Fiskeridirektoratet, 2020c)

Som det fremgår av sektordiagrammet i figur 13 utgjorde fôrkostnader 41 % av alle kostnadene som gikk til å produsere 1 kg matfisk i 2019. På grunn av dette har prisen på ingrediensene og det resulterende fiskefôret stor innvirkning på lønnsomheten av matfiskproduksjonen, inkludert produksjonen av atlantisk laks, i Norge. Grafen under viser utviklingen i kiloprisen for fiskefôr fra 2008-2019, i tillegg til hvordan fôrkostnaden per kilogram produsert matfisk har utviklet seg i løpet av samme tidsperiode:



Figur 14: Utvikling i pris per kg fiskefôr og fôrkostnad per kg produsert fisk fra 2008-2019. (Tall hentet fra: Fiskeridirektoratet, 2020b, 2020c)

Både fôrkostnaden og prisen på fôret har, som figur 14 viser, økt i løpet av disse årene. Dette har trolig en sammenheng med både inflasjon og endringer i fôrets sammensetning, hvor det i løpet av samme tidsrom har vært en økning i andel plantebaserte råvarer (se figur 12). Ikke alle råstoffer har samme pris, og dermed vil fôrprisen i stor grad avhenge av hvilke råstoffer det består av og hvor stor andel hvert råstoff utgjør.

4.3 utfordringer ved dagens fôr

4.3.1 Karbonfotavtrykk

I kapittel 3.5 kom det frem at oppdrettslaks har et lavere karbonfotavtrykk per kilogram produsert kjøtt enn både svin og storfe; kun fjørfe har et noe lavere CO₂-utslipp enn laksen. Forskjellen mellom laks og fjørfe utgjør imidlertid kun 1.7 kg CO₂ per kilogram kjøtt, som vist i tabell 1, hvorav laksen produserer 7.9 kg CO₂/kg kjøtt mens fjørfe produserer 6.2 kg CO₂/kg kjøtt. (Mowi, 2020, s. 21).

Det aller meste av laksens karbonfotavtrykk skyldes fôret. (Mowi, 2020, s. 32). Dette er blant annet fordi mange av råstoffene som blir brukt i fôret i dag må fraktes over lange distanser, da de ikke avles, eller ikke kan avles, frem i Norge. Ser man likevel bort ifra denne transportfaktoren er dagens fôringredienser fortsatt ansvarlige for 75-83 % av karbonfotavtrykket til lakseoppdrett. Særlig mikroingrediensene, som krever produksjonsprosesser med enorme mengder klimagassutslipp, og soyaproteinkonsentratet er skyldig for dette. (Bellona, 2020, s. 7). Soyaproblematikken utdypes i kapittel 4.3.2 under.

4.3.2 Soyaproblematikken

I 2016 ble det brukt omtrent 310 tusen tonn soyaproteinkonsentrat, som utvinnes fra soyabønner, i laksefôret, og med det sto denne ingrediensen for 19 % av hele laksefôrsammensetningen. (Aas et al., 2019, s. 4). Soyaproteinkonsentrat er dermed den viktigste kilden til protein i dagens fôr. (Almås et al., 2020, s. 35). Soyabønner er en veldig attraktiv fôringrediens, også for varmblodige dyr, da de har et veldig høyt innhold av protein (38-45 %) og olje (~20 %), og på verdensbasis går omtrent 75 % av all soya til dyrefôr. I Norge går hele 70 % av den totale soyaimporten til fiskefôr alene. (Almås et al., 2020, s. 35; Laksefakta, 2018b). Dette er likevel ikke problemfritt.

Avskoging

Norske fôrprodusenter importerer det meste av soyaen sin fra Brasil, som over tid har blitt verdens største soyaproduserende land. (Laksefakta, 2018b; Almås et al., 2020, s. 35). I løpet av de siste 15 årene har soyabønneproduksjonen i Brasil mer enn fordoblet seg, fra 57 millioner tonn i 2005-2006 til 123 millioner tonn i 2019-2020. (The Soybean Processors Association of India, 2020).

Dessverre har den økte soyaproduksjonen i Brasil og andre sør-amerikanske land, som Argentina, Paraguay og Bolivia, bidratt betydelig til avskoging i Sør-Amerika. Siden 70-tallet har den brasilianske delen av Amazonasregnskogen alene blitt redusert med over 700 000 km², hvorav om lag 510 000 km² skyldtes avskoging. (Butler, 2020). I årene fra 2006 til 2017 ble mer enn 17 000 km² av regnskogen avskoget for soyaproduksjonen. (Asher, 2019). Dette var soyabønnenes direkte bidrag til avskoging i denne perioden, men den virkelige effekten soyabønnene har på regnskogen er imidlertid enda større.

Selv om det er storfeproduksjonen som får skyld for det aller meste av avskogingen spiller også soyabønneproduksjonen en veldig stor rolle, også indirekte. Studier viser nemlig til en sammenheng mellom disse industriene. Kostnadene knyttet til å utvide og flytte storfeproduksjonen til nye beitemarker i skogen er lavere enn kostnadene som følger med å avskoge og forberede nye landarealer til jordbruk, slik som å gro soyabønner. Arealer som allerede er blitt brukt som beitemark egner seg ypperlig som grobunn for blant annet soyabønner, og storfebøndene velger dermed å selge disse til soyaprodusenter, mens de selv flytter til nye områder inne i regnskogen. (Fehlenberg et al., 2017, s. 35; Richards, Walker & Arima, 2014, s. 2). På denne måten er soyaproduksjonen også med på å drive avskogingen indirekte, men dette fremgår ikke like synlig i statistikken.

Tilgangen på ikke-genmodifisert soya

I det norske laksefôret benyttes kun soyabønner som ikke er genmodifiserte. (Laksefakta, 2018b). Tilgangen på denne typen soya er veldig knapp; over 80 % av alle soyabønner i verden i dag kommer fra genmodifiserte planter, og hos hovedleverandøren til Norge, Brasil, utgjør non-GMO-soya mindre enn 2 % av produksjonen. Andelen GMO-soya vil sannsynligvis også fortsette å øke, opp mot 100 %, noe som vil gjøre det enda vanskeligere å få tak i ikke-genmodifisert soya i årene fremover. (Almás et al., 2020, s. 36-37; Laksefakta, 2018b).

Forskning har foreløpig ikke funnet noen forskjeller når det gjelder vekst, fordøyelighet og fôrutnyttelse ved å gi laks ikke-GMO eller GMO-soya i fôret, og Verdens helseorganisasjon (WHO) har heller ikke funnet noen farer knyttet til menneskelig konsum av mat som er genmodifisert eller som inneholder genmodifiserte råvarer. (Almás et al., 2020, s. 36-37). Med hensyn til avskoging kan man imidlertid konkludere med at det

fortsatt er like skadelig for regnskogen og klimaet å produsere GMO-soya som ikke-GMO-soya, ettersom Brasils produksjon allerede nærmere seg 100 % genmodifisert.

Redusert bruk av brasiliansk soya

På grunn av det store karbonfotavtrykket forbundet med soyaproduksjon, grunnet avskoging og ikke minst at soyabønnene må fraktes langt for å nå den norske laksen, har den norske oppdrettsnæringen lenge blitt kritisert for å fortsette bruken av denne førkomponenten. I 2020 valgte Bremnes Seashore, en av Norges største lakseoppdrettere, å kutte ut all brasiliansk soya i laksefôret sitt, og vil i stedet kun bruke soya produsert i Europa. (Regnskogfondet, 2020)

4.3.3 Tilgang på nok EPA og DHA

Omega-3-fettsyrene EPA og DHA er viktige svært viktige næringsstoffer i laksens diett. Forskning viser at høyere innhold av disse marine fettsyrene i fôret fører til blant annet raskere og bedre vekst, bedre kvalitet på laksemuskelen og bedre fiskevelferd- og helse enn ved lavt innhold. I tillegg blir laksekjøttet rødere og omega-3-innholdet i sluttproduktet høyere, noe som gjør det mer attraktivt for forbrukere. (Kraugerud, 2019).

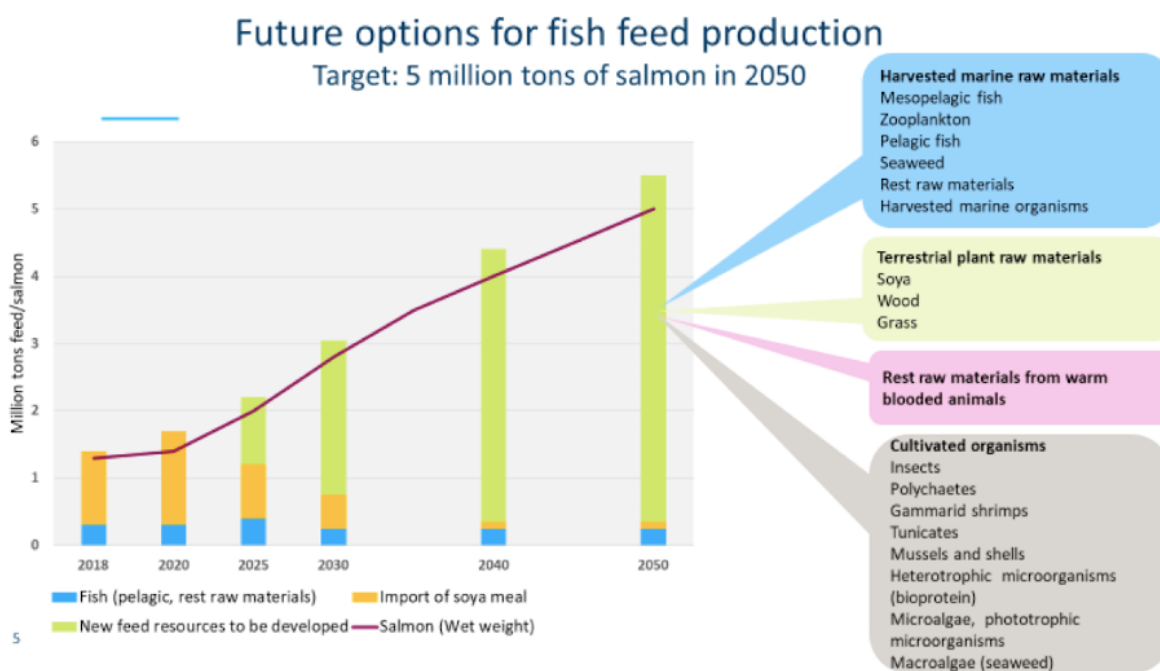
Å opprettholde EPA og DHA-nivåene i fôret anses derfor som svært viktig, men dessverre er den tradisjonelle kilden til disse fettsyrene, nemlig fiskeolje, svært begrenset. (Almås et al., 2020, s. 11). Det vil derfor være nødvendig å finne alternative kilder, noe som kommer til å kreve en del mer forskning og utvikling.

5. Nye fôrråstoffer

5.1 Behovet for fôr vokser

Som tidligere beskrevet har Norge som ambisjon å øke den årlige produksjonen av laks til 5 millioner tonn innen 2050. (Tveterås et al., 2020, s. 125). Dette representerer nærmest en firedobling av dagens produksjonsvolum på omtrent 1.3 millioner tonn, og behovet for nok fôr kommer til å øke minst like mye. Basert på fôrfaktoren som ble estimert til å være 1.3 i kapittel 4.2.1, vil 5 millioner tonn oppdrettslaks kreve 6.5 millioner tonn fôr.

Tilgangen på nok fôr er hovedutfordringen forbundet med å øke lakseproduksjonen, og dermed er det viktig å finne nok av gode råvarer som kan sikre rikelig tilgang på fôr. (Almås et al., 2020, s. 10). Som det også ble forklart i kapittel 4 har fôrsammensetningen endret seg mye siden 1990, fra å tidligere bestå i hovedsak av marine råstoffer til å i dag være primært bestående av plantebaserte råstoffer (se figur 12). Denne utviklingen har skjedd som følger av økt lakseproduksjon og begrenset tilgang på marine råstoffer. Også frem til 2050 vil fôrsammensetningen fortsette å endre seg for å dekke det fremdeles økende behovet, og det kan være aktuelt å ta i bruk helt nye råstoffer. Figur 14 under illustrerer mulighetene for laksefôret i 2050, og hvor mye som må dekkes av alternative råvarer som ikke ennå er i bruk i dag. (Almås et al., 2020, s. 10-11).



Figur 15: Mulig fremtidsbilde av det norske laksefôret ved produksjon av 5 millioner tonn oppdrettslaks i 2050. (Kilde: Almås et al., 2020, s. 11)

5.1.1 Det økte behovet for protein og EPA/DHA

Ettersom omtrent 1/3 av laksefôrsammensetningen består av protein og omtrent 1/3 av olje, vil et økt årlig fôrbehov på 6.5 millioner tonn i 2050 bety at det vil være behov for ca. 2.17 millioner tonn protein og ca. 2.17 millioner tonn olje. Dersom man klarer å redusere fôrfaktoren noe ned fra 1.3, ved å redusere mengden fôr som går til svinn, kan man gjerne redusere det totale fôrbehovet til 5.5 millioner tonn. (Almås et al., 2020, s. 12).

For enkelhetens skyld vil det videre i denne oppgaven antas at behovet for fôr i 2050 vil være 6 millioner tonn, og dermed 2 millioner tonn protein og 2 millioner tonn olje. Av oljebehovet utgjør behovet for EPA og DHA 135 tusen tonn per år. Disse antagelsene er basert på antagelsene gjort i SINTEF Oceans analyse av alternative fôrråstoffer, *Bærekraftig fôr til norsk laks* (Almås et al., 2020, s. 12), da denne rapporten vil brukes som datagrunnlag videre i oppgaven.

5.2 Selvforsyningsevne

Det siste året har vært meget spesielt grunnet den pågående covid-19-pandemien. Vi har fått sett og opplevd hvor sårbar verden faktisk er, og denne ekstraordinære situasjonen har gitt oss flere nye perspektiver. Blant annet har vareflyten mellom landegrenser blitt redusert, i stor grad på grunn av færre fly- og skipsavganger, noe som dessuten har ført til høyere transportkostnader. Inkludert i vareflyten er eksport og import av matvarer, og for land som produserer svært lite mat selv, har pandemien medført både mangel på nok mat og sterke prisøkninger på matvarene. Når man i tillegg gjerne har en redusert arbeidsinntekt, eller fullstendig bortfall av inntekt, grunnet den økte arbeidsledigheten pandemien har ført til, blir dette en ekstremt krevende situasjon som dessverre har rammet mange mennesker i verden. (Johansson, 2020; Matprat, 2021; The World Bank Group, 2021).

Selvforsyningsevne, det vil si at man produserer nok mat for egen befolkning og ikke er avhengige av matvareimport fra andre land for å mette befolkningen, har dermed vist seg å være svært viktig, spesielt under slike krisesituasjoner som denne pandemien.

(Landbruksalliansen, 2013). I Norge var selvforsyningsgraden 45 % i 2019, og den har ligget relativt stabilt mellom 45 og 50 % siden 1979. (Kildahl, 2020).

Selvforsyningsgraden oppgir hvor mye av maten som spises i Norge som er norskprodusert

og blir regnet i kalorier, altså på energibasis. (Bollestad, 2021). Med en selvforsyningsgrad på kun 45 % er Norge dermed i stor grad avhengig av importerte matvarer for å kunne mette hele befolkningen. (Dybdal, 2020).

I den oppgitte selvforsyningsgraden er det ikke tatt hensyn til hvor fôret som blir gitt husdyrene og fiskene kommer fra. Dersom man kun skal basere seg på norsk fôr faller faktisk selvforsyningsgraden til 36 % for 2019. (Kildahl, 2020). For å øke Norges selvforsynevne er det derfor ikke bare viktig å øke selve matproduksjonen, men også øke egenproduksjonen av fôr, slik at man ikke er avhengig av importert fôr og/eller fôrråvarer for å produsere den nødvendige maten.

Av hensyn til dette vil det altså være en fordel å finne alternative råstoffer til laksefôret som kan produseres i Norge. Dessuten vil egenproduksjon av fôrråstoffer bidra til å redusere mye av karbonfotavtrykket forbundet med oppdrettslaks (se kapittel 4.3.1), da råstoffene ikke lenger må fraktes langt med fly eller skip. I løpet av de neste nesten 30 årene før 2050 kan det også hende at dagens fôrråstoffer blir enda knappere enn de allerede er i dag, da gjerne andre land også øker lakseproduksjonen sin eller etterspør råstoffene for andre formål. Dette kan da føre til økte priser og redusert tilgjengelighet av råstoffene, og da er det en fordel å ikke være avhengig av slike importerte råstoffer for å opprettholde lakseproduksjonen i Norge.

5.3 Datagrunnlag

Det uavhengige forskningsinstituttet SINTEF Ocean la i 2020 frem rapporten *Bærekraftig fôr til norsk laks*. I denne rapporten la de frem 23 mulige råstoffer som potensielt kan bidra til å dekke det forventede fôrbehovet i 2050. Dette inkluderte både marine råvarer, plantebaserte råvarer, restråstoffer fra husdyrslakt, og dyrkede organismer. Disse råstoffene ble så vurdert basert på følgende tre kriterier (Almås et al., 2020, s. 6):

1. Hvor mye råvare kan være tilgjengelig?
2. Kan råvaren bidra til å dekke det framtidige behovet for protein og EPA/DHA?
3. Kan dette fremskaffes på en bærekraftig måte til en akseptabel pris?

For å foreta denne vurderingen har SINTEF Ocean basert seg på den vitenskapelige forskningen og kunnskapen som allerede foreligger for disse 23 aktuelle råvarer. Forskningsinstituttet har samlet informasjon fra andre publiserte artikler og rapporter, i tillegg til noe egen forskning, og dermed gir rapporten svært utfyllende informasjon om hvert av de aktuelle råstoffene. Av den grunn egner rapporten seg meget godt som datagrunnlag for en samfunnsøkonomisk analyse.

I SINTEFs rapport blir både globale og lokale råstoffer presentert på lik linje. Av hensyn til selvforsyningssevne vil det imidlertid i denne oppgaven være et viktig kriterium at råstoffene kan produseres eller fremstilles i Norge, og dette er derfor spesifisert oppgavens problemstilling:

I hvilken grad vil alternative råstoffer til laksefôr, som kan produseres i Norge, kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi?

Dermed vil ikke alle de 23 råstoffene fra *Bærekraftig fôr til norsk laks* inkluderes i den etterfølgende samfunnsøkonomiske analysen. Kun råstoffer som er aktuelle for produksjon i Norge vil vurderes.

Før analysen kan gjennomføres er det likevel nyttig å ha en forståelse for alle de 23 råstoffene som kan være potensielle bidragsyttere i laksefôret, uavhengig av produksjonsland. Det følger derfor nå en noe kortfattet presentasjon av alle råvarene som ble inkludert i SINTEFs rapport.

5.4 Presentasjon av potensielle råvarer

5.4.1 Råvarer fra havet

Fisk

Fisk, i form av fiskemel og fiskeolje, var lenge den viktigste kilden til næringsstoffer i laksefôret. Etter hvert som oppdrettsnæringen har vokst, og mer og mer fisk går rett til konsum, har denne råvaren imidlertid utgjort en mye mindre rolle i fôret. I 2018 gikk faktisk så mye som 87 % av verdens totale fiskeproduksjon direkte til humant konsum. (Almås et al., 2020, s. 12, s. 15).

Som nevnt i kapittel 4 er det **pelagisk fisk**, som sild, makrell, lodde og brisling, som hovedsakelig brukes for å produsere fiskemel og -olje. Andelen av disse ingrediensene er likevel, som tidligere beskrevet, avtagende, og det er heller ikke sannsynlig at man vil kunne øke den senere. Dette kommer av at tilgangen på denne råvaren, til bruk i fôr, også er avtagende. På grunn av økende etterspørsel av pelagiske fisk, særlig sild og makrell, for menneskelig konsum, går enda mindre fisk til oppmaling og produksjon av fiskemel og fiskeolje. Selv om 50-65 % av den norske fangsten av pelagisk fisk fortsatt går til bruk i laksefôr, er det ikke tilgang på nok til å føre hele den voksende lakseproduksjonen. (Almås et al., 2020, s. 16, s. 17).

En alternativ fiskesort, som så langt ikke utnyttes, er **mesopelagisk fisk**. Dette er små fiskearter som lever dypt nede i havet, vanligvis på mellom 200 og 1000 meters dybde. (Bjordal & Wiech, 2020). Så langt er det svært få tilfeller hvor disse fiskeartene utnyttes kommersielt, men dette kan potensielt være en alternativ kilde til omega-3-fettsyrene EPA og DHA, i tillegg til protein, på samme måte som pelagisk fisk. (Almås et al., 2020, s. 18).

Dessverre er det fortsatt mye uvisst rundt mesopelagisk fisk, og vi mangler fortsatt både biologisk og økonomisk kunnskap angående høsting, prosessering og utnyttelse av denne typen fisk i føret. Før denne ressursen kan være aktuell for å føre oppdrettslaks må det derfor gjennomføres mye forskning og utvikling, noe som kan ta lang tid. I Norge er det allerede satt i gang et slikt arbeid, hvor målet er å finne måter man kan benytte mesopelagisk fisk til å fremstille blant annet konsumprodukter og fôrkomponenter. Det er derfor fortsatt uvisst hvor mye som kan produseres av denne råvaren, og hvor mye av fôrbehovet den potensielt vil kunne dekke. (Almås et al., 2020, s. 18).

Zooplankton

Zooplankton, også kjent som dyreplankton, er små heterotrofe organismer som finnes i store vannmasser, som hav og ferskvannssystemer. (Biology Dictionary, 2018). De varierer i størrelse, fra mikroskopiske organismer til større arter, og eksempler inkluderer maneter, krill og raudåte. I likhet med fisk kan zooplankton være kilde til både protein og omega-3-fettsyrer for laksen, og det estimeres at den årlige totale biologiske produksjonen av zooplankton i norske farvann ligger mellom 2 og 4 milliarder tonn, hvorav 200-300 millioner tonn er raudåte og ca. 287 millioner tonn er nordlig krill. Selv om det finnes mye av denne ressursen i norske farvann er den så langt ikke tatt i bruk i lakseføret. Dette

skyldes blant annet mangel på kunnskap om hvor og hvordan man kan høste inn zooplanktonene og hvorvidt dette vil lønne seg økonomisk, sett i forhold til andre råvarer. (Almås et al., 2020, s. 20, s. 23).

Siden 2006 har det vært forbudt å fiske zooplankton i Norge. Likevel har det foregått mye forskning og utvikling i dette feltet, og i 2019 åpnet regjeringen for å ta i bruk **raudåte** gjennom bærekraftig høsting, ved å legge frem en forvaltningsplan med en tillat totalkvote på 254 000 tonn raudåte for det året. Raudåte (*Calanus finmarchicus*) er viktig føde for fisken som lever i norske havområder, og det er den største høstbare arten av zooplankton i Norskehavet. (Almås et al., 2020, s. 20; Nærings- og fiskeridepartementet, 2019). Gjennom en rekke studier er det funnet at calanusolje, det vil si olje av raudåte, kan tilsettes laksefôret og erstatte opptil 30 % av lipidene, det vil si fettstoffer, i fôret uten negative effekter for laksen. Ved høyere andel fant man at laksen ikke ble like stor i størrelse. (Almås et al., 2020, s. 21).

Med dagens teknologi er det mest aktuelt å fange raudåte som befinner seg nær kysten, det vil si innenfor 1000 meters dybde. Kun 8 000 tonn kan fiskes innenfor denne dybden, altså kystnært, mens det resterende av kvoten (246 000 tonn) må fanges utenfor dette området. Dette betyr at enda mer forskning og utvikling må til før raudåte kan potensielt bli en viktig bidragsyter i føresammensetningen, da det i dag mangler teknologi og kunnskap for å finne og høste raudåte i storskala utenfor de kystnære områdene. Lykkes dette er det mulig at totalkvoten kan økes vesentlig også, slik at enda mer av råvaren blir tilgjengelig. Dette kommer av at Havforskningsinstituttet tidligere har kommentert at totaluttaket av raudåte kan være opptil 10 % eller mer av biomassen, som er estimert til 200-300 millioner tonn, mens dagens totalkvote på 254 000 tonn kun tillater innhøsting av omtrent 1 % av denne biomassen. (Almås et al., 2020, s. 21-22).

Til tross for at det nå er lov å høste raudåte, opprettholdes forbudet mot fangst av **nordlig krill** og andre zooplankton. Det er derfor lite kunnskap tilgjengelig angående både høsting av krillen og hvordan den egner seg i laksefôret. Nordlig krill er likevel mye større enn raudåte, og teknologiutviklingen knyttet til raudåtefangsten kan dermed komme til nytte ved en eventuell innhøsting av krill. (Almås et al., 2020, s. 21, s. 24)

Viltvoksende tang og tare

Viltvoksende tang og tare, eller makroalger, kan potensielt bidra med protein til laksefôret, men er ikke en betydelig kilde til omega-3-fettsyrer. Det er lange tradisjoner for bruk av tang, og særlig grisetang, som fôr for husdyr langs kysten, da dette er en lett tilgjengelig ressurs som vokser i fjæresonen. Årlig estimeres produksjonen av grisetang, blæretang og sagtang langs norskekysten til å være 900 tusen tonn. Tare, derimot, estimeres til å ha en mye høyere biomasse enn dette, hvorav den årlige produksjonen av stortare alene estimeres til 59 millioner tonn og sukkertare til 20 millioner tonn. På tross av den store biomassen av tare i norske havområder er det ikke fritt fram å høste inn denne ressursen. Tareskogene spiller en viktig rolle i økosystemet langs kysten, og det er viktig å ikke ødelegge dette ved høsting av taren. (Almås et al., 2020, s. 26).

I dag høstes det mellom 130 og 180 tusen tonn **stortare** langs kysten mellom Rogaland og Trøndelag. For å sikre god gjenvekst av taren veksles det hvert femte år mellom ulike avgrensede felt for høsting, og i disse feltene høstes ikke mer enn 10-15 % av biomassen. Havforskningsinstituttet evaluerer og kontrollerer høstingsaktiviteten og dens påvirkning på økosystemet i havet kontinuerlig, og til tross for kritikk fra miljøvernorganisasjoner er det foreløpig ikke funnet noen endring i artssammensetningen av fiskebestanden som lever her. (Almås et al., 2020, s. 27).

Selv om **grisetang**, i form av tangmel, allerede brukes i fôr for husdyr, kjæledyr og fisk, er det foreløpig ikke noe som antyder at denne ressursen vil kunne bidra mye til å dekke laksefôr-behovet i 2050. Det høstes nemlig kun 20 tusen tonn i året, noe som gir ca. 180-900 tonn protein og 15 tonn EPA, noe som er langt lavere enn det estimerte behovet for 2050: 2 millioner tonn protein og 135 tusen tonn EPA/DHA. (Almås et al., 2020, s. 27-28).

Dersom tang og tare skal kunne utnyttes i større skala i laksefôret vil det ikke være nok med den høstbare mengden. Det kan derfor være aktuelt å heller dyrke disse makroalgene, noe som vil bli beskrevet senere, under kapittel 5.4.4.

Restråstoff fra sjømatindustrien

I 2018 endte nærmere 27 % av den samlede sjømatproduksjonen i Norge som restråstoff. Det vil si at det var 954 000 tonn tilgjengelig restråstoff dette året, hvorav det meste, det vil si 82 %, ble utnyttet. Slikt restråstoff er en ypperlig kilde til både marine proteiner og oljer,

og dermed også omega-3-fettsyrer, og i dag brukes det blant annet som ingredienser i dyre- og fiskefôr og konsumprodukter, slik som tran. (Almås et al., 2020, s. 30).

Ettersom oppdrettslaks er den største sjømatnæringen i Norge er det klart at mye av restråstoffet kommer fra laks. Etter hvert som lakseproduksjonen vokser vil det også oppstå enda mer restråstoff av denne typen. Dessverre kan ikke dette uten videre gis som fôr til annen laks; protein fra restråstoff av laks egner seg ikke, og er heller ikke lov å gi til laks. Lakseoljen kan derimot, etter å ha blitt prosessert riktig, bidra som en god kilde til EPA og DHA. I tillegg kan restråstoffene fra andre oppdrettsfisker enn laks benyttes uproblematisk i lakseføret. (Almås et al., 2020, s. 30, s. 32).

Som forklart i kapittel 3.3 er mesteparten av laksen som eksporteres ut fra Norge uforedlet. (Steinset, 2020). Dette betyr at mye av restråstoffet uansett følger med laksen ut av landet, og noen ganger følger det også helt med til forbrukeren selv. Ettersom omtrent 40 % av enhver oppdrettsfisk ender opp som restråstoff vil mer videreføringen i Norge kunne gi tilgang på mye mer restråstoff. Gitt at lakseproduksjonen er 5 millioner tonn i 2050 estimeres det at mengden utnyttet restråstoff vil ligge rundt 972 tusen tonn, hvorav 194 tusen tonn vil være lipider, altså fettsyrer. Dette vil potensielt kunne dekke mye av EPA og DHA behovet for lakseføret. Selv om ikke alt lipid i restråstoffet vil kunne utvinnes som lakseolje, kan man estimere at det kanskje kan bidra med å dekke 4-7 % av behovet i 2050. (Almås et al., 2020, s. 30-31).

Restråstoffer fra villfanget pelagisk fisk, hvitfisk og skalldyr kan, i likhet med annen oppdrettsfisk enn laks, uproblematisk benyttes som kilde til både protein og omega-3-fettsyrer i lakseføret. Dessverre forventes det imidlertid mye lavere økning i produksjonen av disse sammenlignet lakseindustrien, men det er likevel potensial for å utnytte mer av disse restråstoffene. Dette gjelder særlig for hvitfisk- og skalldyrproduksjonen hvorav henholdsvis kun 59 % og 36 % av restråstoffene utnyttes. I dag kastes mye av dette bare over bord fra fiskeflåten, da det mangler gode nok insentiver og tekniske løsninger for å bringe det i land. Ved bedre utnyttelse kan restråstoffene fra villfanget fisk og skalldyr teoretisk dekke opp imot 3.5 % av proteinbehovet for laksen i 2050, men lipidinnholdet er estimert til å være en del lavere. (Almås et al., 2020, s. 31).

5.4.2 Plantebaserte råvarer

Importerte råvarer

I dag benyttes en rekke vegetabiliske råvarer som ikke egner seg særlig til produksjon i Norge. Dette inkluderer soya, som er dagens viktigste proteinkilde i fôret, og andre belgfrukter, i tillegg til rapsolje, camelinaolje, hvete- og maisgluten. (Almås et al., 2020, s. 35, s. 40-42).

Problematikken knyttet til soyaproduksjon er forklart tidligere i kapittel 4.3.2. Denne ressursen er uansett ikke mulig å dyrke i Norge per dags dato, og dermed vil den ikke være aktuell for analysen senere i oppgaven. I dag importeres også mye av oljevekstene rapsolje og camelinaolje. Selv om disse faktisk kan dyrkes i Norge, vil volumet som potensielt produseres her til lands være alt for lavt for å kunne bidra noe særlig til å dekke fôrbehovet i 2050. Dette stemmer også for den norske produksjonen av hvete- og maisgluten. (Almås et al., 2020, s. 40-42).

Soya er en av flere belgfrukter som kan anvendes som proteinkilde i laksefôr. Andre aktuelle sorter er favabønner, erter, lupiner/søtlupiner, hagebønner, kikerter, linser og peanøtter. Flere av disse er mulig å dyrke i Norge, og noen dyrkes allerede her. Dessverre er dagens norske produksjonsvolum av disse også relativt begrenset, så det vil, gitt dagens situasjon, bli utfordrende å dekke fôrbehovet ved hjelp av slike belgfrukter. Dessuten er det ikke nok kunnskap om alle og hvorvidt de faktisk ville egnet seg som næringsstoff i laksens diett. (Almås et al., 2020, s. 42-44).

Norsk protein og oljevekster

I dag består den norske landbruksproduksjonen av planteprotein hovedsakelig av kornvekster, med en samlet årlig produksjonen på rundt 110 tusen tonn. Dette blir imidlertid allerede utnyttet, hvorav det meste går til kraftfôr, mens mye av hveten, byggkornene og havren går til produksjon av mat for humant konsum. (Abrahamsen, Uhlen, Waalen & Stabbetorp, 2019, s. 166).

Skog

Hvert år vokser det frem omtrent 25 millioner m³ ny skog i Norge, hvorav omtrent 10 millioner m³ allerede utnyttes årlig. Dette går til produksjon av papir og trelast, mens den resterende skogmassen, ca. 15 millioner m³, er tilgjengelig for annet bruk. Det er imidlertid ikke all skogmasse som er like lett tilgjengelig for mennesker og maskiner, så noe kan være for dyrt, både økonomisk og miljømessig, til at det lar seg høste. Den høstbare skogmassen kan derimot være en potensiell kilde til både proteiner og omega-3-fettsyrer til laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 48).

I skogen finner man både trevirke, barnåler og løv som potensielt kan utnyttes. Selve **trevirket** består hovedsakelig av lignocellulose, som, når trevirket er tørt, inneholder 42-44 % cellulose, 27-33 % hemicellulose, og 23-27 % ligning. Gjennom hydrolyse, en prosess hvor en type enzymer kalt hydrolaser splitter molekyler i to deler ved tilførsel av vann, kan både cellulose og hemicellulose gjøres om til sukker, først og fremst glukose. Glukose er en sukkerart som egner seg bra til fermentering, eller gjæring, med mikroorganismer, hvor sukkeret blir brutt ned til enda mindre molekyler, og på den måten frigir blant annet encelleprotein og omega-3-rike oljer som kan benyttes i fôr. (Institutt for biovitenskap, 2020a, 2019a; Almås et al., 2020, s. 48)

Den sistnevnte komponenten i trevirket, ligning, er derimot ikke egnet for hydrolyse og fermentering, da den er veldig tungt biologisk nedbrytbar. I lignocellulose er koblingen mellom ligning, cellulose og hemicellulose meget tett, noe som betyr at det kan være utfordrende å skille dem. Dermed må trevirket forbehandles gjennom mekaniske, termiske og/eller kjemiske prosesser, slik at ligninen fjernes og hydrolysen av cellulosen og hemicellulosen, og fermenteringen av den resulterende glukosen, kan gjennomføres. (Almås et al., 2020, s. 48). Slik prosessering vil bli ytterligere forklart senere, under kapittel 5.4.4.

Skogmassen som ikke allerede utnyttes vil i teorien kunne gi omtrent 6 millioner tonn tørt trevirke. Som sagt er ikke alt egnet for høsting, men selv en sjettedel av dette, altså 1 million tonn, vil anslagsvis, gitt 85 % utbytte, kunne gi 660 tusen tonn sukker. Gjennom fermentering kan dette da gi 264-330 tusen tonn tørr mikrobiell celledmasse med 50 % protein, eller om lag 200 tusen tonn mikroorganismer med et fettinnhold på 60 % hvorav 30 % er DHA. Dermed kan det fra 1 million tonn tørt trevirke utvinnes 132-165 tusen tonn

protein eller 120 tusen tonn olje, inkludert 35 tusen tonn DHA. Produksjon av olje vil imidlertid redusere utbyttet av protein, og vice versa. (Almås et al., 2020, s. 48-49).

Også skogens **barnåler og løv** kan i teorien bidra som kilder til protein i lakseføret. Råproteininnholdet for barnåler og løv er henholdsvis 6-12 % og 12-20 %. Høsting av disse direkte fra trærne vil imidlertid være kostbart, selv om teknologien allerede eksisterer, med mindre dette gjøres i sammenheng med trefelling. Dessuten vil fjerning av barnåler og løv fra skogen kunne være skadelig for ny skogvekst, da dette også fjerner viktige og nødvendige næringssalter som ellers ville ha havnet på bakken og gitt næring til skogen. Foreløpig er det ikke sett nærmere på høsting av dette for videre bruk, og det foreligger dermed heller ingen mengdeanslag for hvor mye protein barnåler og løv eventuelt kan bidra med i fôr. (Almås et al., 2020, s. 49)

Halm og gras

I likhet med tremasse kan også **halm**, det vil si visne strå og blader som er igjen etter høsting av korn, være en potensiell kilde til protein og omega-3-fettsyrer for laksefôr. Også halm består av lignocellulose, og årlig produseres det mellom 500 og 700 tusen tonn halm i Norge. 100 tusen tonn går allerede til bruk i drøvtyggenes fôr, men dette krever at det behandles med ammoniakk først. Det finnes også andre anvendelser for halm, som blant annet biobrensel og jordforbedring. (Almås et al., 2020, s. 50; Institutt for biovitenskap, 2019b).

Oppbyggingen av lignocellulosen varierer noe ut ifra halmtypen, og tørr hvete-halm inneholder 35-39 % cellulose, 23-30 % hemicellulose, og 12-16 % lignin. Rughalm, derimot, inneholder 36-43 % cellulose, 24-33 % hemicellulose, og 6-9 % lignin. Både cellulosen og hemicellulosen i halm kan hydrolyseres til sukker, slik som i trevirke, og disse sukkerne kan videre fermenteres og gi både proteiner og omega-3-rike oljer. Potensialet for halm og trevirke, som bidragsyttere i lakseføret, er dermed tilnærmet likt per tonn tørrvekt. (Almås et al., 2020, s. 50).

Lignininnholdet i halm er dessuten mye lavere enn i trevirke, noe som betyr at cellulosen og hemicellulosen i halm er lettere å skille ut for prosessering. I tillegg er høsting av halm vesentlig lettere enn for mye av den ledige skogmassen. Til tross for disse fordelene er det likevel kun rundt 500 tusen tonn tørr halm som er tilgjengelig årlig for utnyttelse i fôr, noe

som er langt lavere enn skogens overskudd, som er opp imot 6 millioner tonn tørt trevirke i året. (Almås et al., 2020, s. 50).

Gras kan, i likhet med barnåler og løv fra skogen, også være en potensiell proteinkilde for laksen. Tørt gras har et råproteininnhold på 10-20 %, avhengig av når det høstes, og ettersom Norge produserer hele 6.7 millioner tonn tørt gras i året, kan dette gi så mye som 870 tusen tonn råprotein per år. Denne mengden kan potensielt dekke store deler av laksens proteinbehov, men det krever imidlertid at det blir prosessert riktig først, slik at det kan utnyttes av andre enn kun drøvtyggere. (Almås et al., 2020, s. 50-51)

Ved menneskekonsum har man funnet at proteinpulver av gras har en bitter smak. Dette kan eventuelt også være en utfordring i fiskefôr, og man må gjerne finne måter å maskere smaken slik at fisken ikke unnlater å spise fôr med grasprotein. Med det sagt er kvaliteten på grasproteiner, med hensyn til aminosyrer, forholdsvis likt protein fra soyabønner. Undersøkelser viser dessuten at gras vil kunne gi mer protein per dekar i Norge, rundt 80 kg/dekar, enn både belgvekster, oljevekster og korn. (Almås et al., 2020, s. 51).

5.4.3 Restråstoff etter slakt av husdyr

Husdyrproduksjonen i Norge består hovedsakelig av storfe, sau, svin og fjørfe. Fjørfe inkluderer både kylling og kalkun. Ved slakt av disse dyrene genereres det store mengder restråstoff bestående av bein, innvoller, skinn, fjær og fett. (Almås et al., 2020, s. 52). I 2016 publiserte Nofima en rapport hvor det blant annet ble undersøkt hvor mye dette restråstoffet faktisk utgjør. (Lindberg et al., 2016, s. 15). Tabell 4 under viser den resulterende oversikten:

Husdyr	Antall dyr	Gjennomsnittlig levende vekt (kg)	Total biomasse ved slakt (tonn)	Kjøtt (tonn)	Restråstoff (tonn)	Restråstoff (%)
Svin	1 605 490	117	187 084	117 190	69 895	37
Storfe	284 201	561	159 437	63 775	95 662	60
Sau	1 222 767	45,2	55 290	20 347	34 943	63
Kylling	63 406 246	1,77	111 912	55 366	56 546	51
Kalkun	1 260 617	12,6	15 922	8 722	7 199	45

Tabell 4: Kjøttproduksjonen og resulterende restråstoff i 2015. (Basert på tabell fra: Lindberg et al., 2016, s. 15)

Basert på levende vekt er altså andelen restråstoff som generes fra slakt så mye som 63 % for sau, 60 % for storfe, 51 % for kylling, 45 % for kalkun og 37 % for svin. Svin er den mest kjøtteffektive husdyrproduksjonen, noe som blant annet skyldes at skinnet i stor grad følger med grisekjøttet, i tillegg til at det brukes som bindemiddel i pølser og andre blandingsprodukter. (Lindberg et al., 2016, s. 15).

Selv om det i 2015 totalt ble generert i overkant av 264 tusen tonn restråstoff fra husdyrene, blir langt mindre faktisk utnyttet. Mye følger med kjøttet helt til forbrukeren, slik som bein og innvoller i kalkun eller bein på ribber og koteletter, og er dermed ikke tilgjengelig til videre utnyttelse, men mye blir også bare destruert. Av det resterende restråstoffet går mye til kjæledyr- og pelsdyrfôr. I tillegg går noe til mer verdifulle produkter, slik som ull til garn og stoffer, og skinn til eksklusive vesker, jakker og hansker. (Almås et al., 2020, s. 52; Lindberg et al., 2016, s. 15-17).

Til tross for at husdyrrestråstoffer allerede føres til kjæledyr og pelsdyr, er det forbudt i Norge og EU å benytte slakteavfallet fra drøvtyggere i fôr til matproduserende dyr, slik som laksen. Dette skyldes at slakteavfallet i verste fall kan overføre spongiforme encelfalopatii (TSE) til dyret som spiser fôret, og deretter følge videre til menneskematen. Dette forbudet gjelder også det meste av slakteavfallet fra ikke-drøvtyggere, slik som svin og fjørfe, men blodmel og proteinhydrolysater fra disse kan likevel anvendes. (Almås et al., 2020, s. 52).

Restråstoffer fra slakt av fjørfe

Fjørfe er ikke drøvtyggere, og det er dermed lov å bruke blodmel og proteinhydrolysater, slik som hydrolysert fjærmel, som proteinkilde i laksefôr. Både Chile og Canada benytter allerede restråstoffer fra slakt av kylling i laksefôr, men disse landene benytter også «poultry by-product meal» (PBM) i tillegg til fjærmel. Med dagens regelverk er ikke PBM tillatt i Norge og EU. (Almås et al., 2020, s. 53).

For hver kylling utgjør fjær 5-7 % av kroppsvekten, noe som betyr at det årlig produseres 6-9 tusen tonn fjær i Norge, hvorav minst 2 tusen tonn estimeres å være tilgjengelig for videre prosessering. Slike fjær har et høyt proteininnhold, rundt 80 % av våtvekt, noe som betyr at den tilgjengelige mengden fjær kan gi omtrent 1.6 tusen tonn protein, men dette kan økes dersom behandling av fjær forbedres i slakteriene. (Almås et al., 2020, s. 53).

Dersom disse fjærene hydrolyseres i nærvær av lave mengder av stoffet sulfitt (Na_2SO_3) vil de kunne produsere et fjærmel med næringsverdier som er godt egnet for laks. Før dette kan bli en aktuell fôringrediens må imidlertid produksjonen og teknologien oppskaleres, i tillegg til at fôringsforsøk må utføres. (Almås et al., 2020, s. 53).

5.4.4 Dyrkede organismer

Insekter

Insekter er nok en potensiell proteinkilde for laksen, og de har alltid vært en del av det naturlige kostholdet til ville fisker, inkludert villaks. I oppdrettsnæringen er dette imidlertid en ny fôrkomponent, ettersom Norge og EU først åpnet opp for bruk av insektmel i fôret i 2017. Insektmel lages av dyrkede insektlarver, og disse må være fôret på egnet fôr, som er basert vegetabiliske produkter og/eller noen få animalske produkter. De animalske produktene som er tillatt inkluderer blant annet egg- og melkeprodukter, honning, fiskemel, og blodmel fra ikke-drøvtyggere. Larvene kan ikke ha spist gjødsel, slam eller matavfall, og de må bearbeides på riktig måte før de benyttes i fiskefôret. Det er ikke tillatt å gi levende insekter eller larver til fisken. I tillegg er det foreløpig også kun et begrenset utvalg insektlarver som er lovlig å benytte, og disse er svart soldatflue, melbiller, sirisser og husflue. (Almås et al., 2020, s. 55).

Både protein- og lipidinnholdet i insektlarvene er høyt. Likevel er omega-3-innholdet lavt, og dermed er det insektmel som er mest aktuelt for utnyttelse i laksefôr. Det er gjennomført studier hvor opptil 85 % av proteinet i fôret har vært basert på insekter, og resultatene viste at både veksten og kjøttkvaliteten til laksen ble bevart, sammenlignet med dagens vanlige fôr. Fôrprodusenten Skretting produserer til og med allerede et fôr som inneholder insektmel for settefisk, men mengden er likevel begrenset. I 2018 var det, ifølge produsenten, svært begrenset tilgang på insektmel på det europeiske markedet. (Almås et al., 2020, s. 55-56; Fiskeribladet, 2018).

Produksjonen av både insekter og insektlarver til bruk i mat og fôr øker betydelig fra år til år, med en antatt årlig vekstrate på 10-15 %, eller kanskje til og med over 20 %. Det er imidlertid vanskelig å finne konkrete produksjonstall for den globale produksjonen, så det er vanskelig å estimere hvor mye disse insektene faktisk kan bidra med i laksefôret.

Likevel antas det at det i 2030, i beste fall, kan produseres 50-150 tusen tonn insektmel per år. Også i Norge planlegges det å utvide produksjonen av insekter og insektlarver, og selskapet Metapod startet å dyrke sirisser i 2018, med hensikt om å benytte disse i laksefôr. (Almås et al., 2020, s. 57).

Dessuten kan dagens regelverk i Norge og EU sette en bremse på insektmelets potensial. Dette gjelder blant annet hvilket fôr larvene kan gis, som i dag i hovedsak består av landbruksavfall som frukt, grønnsaker og kornrester. Man vet ikke helt sikkert hvor mye av disse overskuddsressursene som er tilgjengelige, men produksjonsmengden vil i stor grad avhenge av dette, gitt dagens regelverk. Blir det derimot mulig å ta i bruk matavfall som fôr for insektlarver vil situasjonen være en annen. Årlig estimeres det at det produseres omtrent 90 millioner tonn matavfall i Europa, og globalt hele 1.5 milliarder tonn. 30-35 % av dette avfallet kan potensielt gis som fôr til insektlarver, og kun basert på Europas matavfall vil dette da, teoretisk, kunne gi et årlig produksjonsvolum, oppgitt i våtvekt, på 45-50 millioner tonn insekter. Dersom det etter hvert blir lovlig å ta i bruk matavfall fra industri og storkjøkken som insektfôr kan dette dermed gi en årlig produksjon av insektmel på 2-5 millioner tonn på det europeiske markedet. (Almås et al., 2020, s. 58).

Det kreves imidlertid fortsatt mye forskning og utvikling før insektmel kan konkurrere med soyaprotein og fiskemel på pris. Dermed er det enda uvisst om insekter en dag vil være en stor bidragsyter i fiskefôret eller ei. Dessuten, skal man basere seg på kun norske råstoffer, er det uansett enda mer usannsynlig at insektprotein vil spille en særlig stor rolle i fôret noen gang, da det ikke vil være tilgang på nok insektfôr i Norge alene til å produsere insektlarver i stor nok skala. (Almås et al., 2020, s. 58). Man vil derfor eventuelt måtte basere seg på import fra andre europeiske land, gjerne i tillegg til egen produksjon.

Lavtrofiske arter

Lavtrofiske arter er organismer som befinner seg nesten helt nederst i havets næringskjede; kun mikro- og makroalger, som er fototrofe arter, er lengre nede, og disse er helt på bunnen av kjeden. De lavtrofiske organismene kan både være kilde protein og omega-3-fettsyrer, og noen av dem dyrkes allerede, eller kan dyrkes, for menneskelig konsum, for bruk i fiskemat og som fiskeagn. (Almås et al., 2020, s. 61)

Børstemark

En av artene som allerede dyrkes kommersielt i Kina, Australia, Taiwan og Japan er **børstemark**. Denne organismen er en type leddorm, som er en dyregruppe bestående av omtrent 20 000 ulike arter, og omtrent 15 000 av disse er av typen marine flerbørstemark. I norske farvann har man funnet i overkant av 700 ulike arter av flerbørstemark. Felles for flerbørstemarkene er at de aller fleste livnærer seg på detritus, det vil si dødt organisk materiale av plante- og dyrerester som er tilgjengelig i sjøen. Noen arter spiser også symbionter, parasitter og rovdyr. (Almås et al., 2020, s. 61 og 63; Store norske leksikon, 2020).

Å produsere børstemark forutsetter at man har nok kunnskap om dens biologi til å kunne lukke livssyklusen, men foreløpig er dette bare tilgjengelig for et begrenset antall arter. Dessuten er det funnet at biologien av samme art varierer avhengig av geografisk lokasjon, og det bør uansett kun brukes lokale arter i dyrkingen, slik at man ikke kan være uheldig å slippe ut fremmede arter i den norske naturen. Derfor vil det være nødvendig å gjennomføre egen forskning for alle arter som kan være aktuelle for dyrking i Norge, uavhengig av om det allerede finnes publiserte data fra andre land, da det norske miljøet og klimaet vil være annerledes. (Almås et al., 2020, s. 61-62).

Studier har vist at børstemarkproduksjon kan bidra til økt fôrutnyttelse i fiskeoppdrett. Dette er fordi det er mulig å fôre børstemarken med avfallsstoffer fra fisk og skalldyr, og dermed kan disse organismene gjenvinne proteiner og fettsyrer som ellers ville forblitt i avfallet. EU setter imidlertid en stopper for slik produksjon foreløpig, av samme årsak som at mye av restråstoffet fra slakt av husdyr ikke kan benyttes i fôr til matproduserende dyr; det er risiko for overføring av TSE. Det er likevel ikke mye kunnskap om den reelle faren ved å fôre en fôringrediens på slikt avfall enda, så det er fortsatt en mulighet for at dette kan bli tillatt etter hvert. Dessuten er det allerede tillatt å gi avfalls-næringsstoffer til fototrofe planter og mikroalger, og disse organismene kan så brukes til fôring av børstemarken. (Almås et al., 2020, s. 62).

Hvis børstemark lykkes å produsere i Norge vil dette være en meget velegnet fôrkomponent, med hensyn til næringsstoffsammensetning, da den har et rikelig innhold av både marint protein og marine lipider, deriblant både DHA og EPA. Som et eksempel inneholder en dyrket børstemark av arten *Heidiste diversicolor* 54-58 % protein (tørrvekt),

og henholdsvis 4.6-7.8 % og 19-22.6 % DHA og EPA (av totale fettsyrer). I børstemark finnes det også innhold av hormonaktive stoffer, og dette kan potensielt bidra til å gjøre lakseyngelen raskere kjønnsmoden i settefiskanlegget. (Almås et al., 2020, s. 63).

Dessverre estimeres dagens pris for børstemarkprotein til å være 1500-2000 kr/kg, mens prisen for EPA+DHA fra børstemark ligger rundt 20-25 tusen kr/kg. Disse prisene er alt for høye, sammenlignet med prisen for dagens fôrkomponenter, til at børstemark vil kunne bidra som råstoff i laksefôret. I tillegg er dagens globale produksjonsvolum kun estimert til 100-1000 tonn (våtvekt), som heller ikke er i nærheten av å kunne dekke en brøkdel av fôrbehovet i 2050. Selv om produksjonen vokser betraktelig er det usannsynlig at børstemark vil kunne bidra som en protein- og lipidkilde i laksefôret, da prisen antageligvis ikke vil kunne reduseres nok til å bli konkurransedyktig med andre råvarer. (Almås et al., 2020, s. 64).

Gammaridaer

Gammaridaer, slik som tanglopper, kan også dyrkes som kilde til marine proteiner og omega-3-fettsyrer. Tanglopper, også kjent som amfipoder, er en type små krepsdyr, og det finnes nærmere 400 ulike marine arter av disse krepsdyrene langs kysten av Norge, i tillegg til fem ferskvannsarter. SINTEF Ocean har lenge holdt de to gammaridaene *Gammarus oceanicus* og *Gammarus locusta* i kultur, og forskningsinstituttet har gjennomført flere omfattende studier for å dokumentere vekst og den kjemiske sammensetningen av disse. I likhet med de fleste børstemarker spiser også gammaridaer detritus, altså dødt organisk materiale av dyre- og planterester. Dette betyr at gammaridaene også har et potensiale for å utnytte restråstoff fra blant annet fiskeoppdrett, landbruk og papirindustrien. (Almås et al., 2020, s. 65).

Også gammaridaer har et høyt proteininnhold, hvor *G. locusta* og *G. oceanicus* inneholder henholdsvis 47-53 % og 48-51 % protein (tørrvekt). I tillegg inneholder de henholdsvis 5-10 % og 7-10 % DHA, og henholdsvis 8-12 % og 9-12 % EPA. Prosentandelene DHA og EPA er gitt som andeler av de totale fettsyrene i gammaridaene. Disse lavtrofiske organismene inneholder også mye karotenoider, det vil si gule, oransje eller røde pigmenter, og av dette er 80-85 % av typen astaxanthin, et rødt pigment som vil kunne bidra til forbedret rødfarge i laksekjøttet. (Almås et al., 2020, s. 65-66; Institutt for biovitenskap, 2020b).

På samme måte som at børstemarken ikke tillates å bli fôret med avfallsstoffer fra fisk og skaldyr, kan heller ikke gammaridaer produseres på denne måten. De kan imidlertid fôres på plantebaserte restråstoffer. Følger produksjonen regelverket for matproduserende dyr vil gammaridaene defineres som fiskemel, noe som medfører at de kan brukes i fôr til fisk, svin og fjørfe. (Almås et al., 2020, s. 66).

Foreløpig gjenstår det fortsatt mye forskning og utvikling før man kan drive industriell dyrking av gammaridaer. Det utføres fortsatt laboratorietesting for å kartlegge hvordan en slik stor skala produksjon eventuelt kan fungere, og SINTEF Ocean hadde per 2020 et pågående prosjekt hvor de undersøkte muligheten for å bruke restråstoffer og slam som fôr for gammaridaene. Fordi forskningen enda er i en så tidlig fase er det fortsatt usikkert hvor mye som vil kunne produseres årlig, og hvilken kilopris proteinet og EPA/DHA fra gammaridaene vil få. (Almås et al., 2020, s. 66-67).

Tunikater

Tunikater, også kalt sjøpunger eller sekkedyr, er verdens eneste celluloseproduserende dyr. Disse dyrene ser ut som rør, hvor selve røret er laget av hovedsakelig cellulose, mens vevet inne i røret er rikt på både proteiner og lipider. De gror ofte på sjøinstallasjoner og tauverk, og særlig grønnsekkedyr og langhalssekkedyr er vanlige arter som vokser i norske farvann. (Amundsen, 2013; Almås et al., 2020, s. 68).

Fordi sekkedyrene for det meste får stå i fred i havet, da ingen dyr vil spise dem, vokser det ofte frem tette kolonier med 2500-10000 individer per kvadratmeter. Det er også mulig å dyrke grønnsekkedyr med denne tettheten, og en slik produksjon kan gi 200-450 kg (våtvekt) per m². Grønnsekkedyrene har et høyt protein- og lipidinnhold, men prosesseringen av dyrene etter høsting medfører dessverre at både andelen proteiner og lipider reduseres. Dette er fordi dyrene inneholder mye vann (rundt 95 % av våtvekt) og aske (40-60 % av tørrvekt), og dermed må de både behandles med to runder i en skrupresse og en runde i en hydraulisk presse for å redusere vann- og askeinnholdet. (Amundsen, 2013; Almås et al., 2020, s. 69).

Prosesseringen kan imidlertid forbedres, slik at gjerne mindre protein og lipid går tapt. Likevel består det askefrie tørrstoffet av grønnsekkedyrene av 50 % protein, mens henholdsvis 24-25 % og 3-11 % av fettsyrene er av EPA og DHA. Inntil videre estimeres

det uansett at et produksjonsvolum på 100 tusen tonn protein fra dyrkede sekkedyr vil kreve et totalt sjøareal på mellom 33 og 50 km², og dyrking bør foregå på steder hvor det er strøm i havet. (Almås et al., 2020, s. 69).

Dersom man produserer 100 tusen tonn protein fra sekkedyr, vil mengden dyr som inngår også gi 12-28 tusen tonn lipid, hvorav 2-6 tusen tonn er av EPA og 0.3-2.5 tusen tonn er av DHA. I tillegg vil dette produksjonsvolumet gi rundt 25 tusen tonn cellulose fra rørene til sekkedyrene. Denne cellulosen kan eventuelt hydrolyseres og fermenteres til encelleprotein eller encelleolje, slik som ved produksjon av trevirke og halm. Ulikt fra trevirke og halm er at cellulosen fra sekkedyr ikke er tilknyttet hemicellulose og ligning, og dermed lettere å utnytte. (Almås et al., 2020, s. 70)

Muslinger og skjell

Muslinger og skjell dyrkes i førsterekke for menneskelig konsum. Selv om proteininnholdet er høyt, hvorav for eksempel mel av blåskjell består av om lag 65 % protein, i tillegg til at innholdet av EPA/DHA også er relativt høyt, er det foreløpig ikke aktuelt å benytte disse organismene i laksefôr. Kostnadene er nemlig alt for høye, og dersom prisen skulle reduseres vil dette sannsynligvis kun føre til enda mer etterspørsel av skjell og muslinger til menneskelig konsum. Tross alt er konsumet av blåskjell i Europa høyere enn konsumet av laks. (Almås et al., 2020, s. 70)

Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer

Heterotrofe mikroorganismer lever av organisk materiale, mens kjemoautotrofe er selvforsørgende og lever av å oksidere uorganisk substrater. (Institutt for biovitenskap, 2021a, 2021b). Dyrking av mikroorganismer, som blant annet bakterier, gjær og sopp, på heterotroft eller kjemoautotroft vis representerer nok en potensiell mulighet til å produsere næringsstoffer til laksefôret, da det både kan fremskaffes encelleproteiner og encelle-oljer ved prosessering av slike mikroorganismer. (Almås et al., 2020, s. 72).

Proteininnholdet i de fleste mikroorganismer er høyt, med rundt 50 % protein av tørrvekt. Disse organismene inneholder imidlertid sjeldent noe DHA og EPA, selv om de kan inneholde noe oljer. Thraustochytrider er en av de svært få artene som inneholder omega-

3-fettsyrer, og denne arten kan produsere relativt høye mengder DHA (>30 % av tørrvekt). (Almås et al., 2020, s. 72).

Sukkere som råstoff

Sukker er en type karbohydrater og inneholder karbonatomer. (Institutt for biovitenskap, 2020c). Både sukrose, sukker fremstilt fra sukkerrør og sukkerroer, og glukose, sukker fremstilt fra hydrolysering av stivelse, har lenge blitt brukt i fermentering. Fermentering, eller gjæring, er, som det også tidligere ble forklart, en prosess hvor en substans, her glukose eller sukrose, blir brutt ned til mindre molekyler. Dette frigir energi og kan enten gi encelleprotein eller encelle-olje. Slik prosessering av disse to sukkerartene produserer allerede blant annet 5 millioner tonn aminosyrer per år, som går til både mat og fôr. Den eneste begrensningen for hvor mye encelleprotein eller encelle-olje som kan fremstilles på denne måten er tilgangen på sukkere, men dessverre er prisen foreløpig for høy til å være konkurransedyktig. (Institutt for biovitenskap, 2019a; Almås et al., 2020, s. 72-73).

Som det ble beskrevet tidligere i oppgaven består både trevirke og halm av lignocellulose, et kompleks av cellulose, hemicellulose og lignin. Mens cellulose består kun av sukkerarten glukose, er hemicellulose sammensatt av flere ulike sukkere, både C6-sukkere, deriblant glukose, og C5-sukkere. Forskjellen på C6- og C5-sukkerarter er at de inneholder henholdsvis seks og fem karbonatomer. For å produsere encelleprotein eller encelle-olje fra lignocellulose må ligninen skilles fra cellulosen og hemicellulosen, slik at disse da kan hydrolyseres til blant annet glukose, som deretter fermenteres. Det foregår fortsatt mye forskning og utvikling angående prosessering og utnyttelse av lignocellulose, men foreløpig er sukkere fra lignocellulose dyrere en tradisjonell glukose og sukrose. (Institutt for biovitenskap, 2020c; Almås et al., 2020, s. 73).

Fermentering av sukkere til gjær for å produsere encelleprotein, som kan benyttes blant annet i fôr, er en veletablert teknologi, og i dag produseres det årlig omtrent 580 tusen tonn cellemasse (tørrvekt) globalt. Av dette blir ca. 215 tusen tonn produsert i Europa.

Proteinutbyttet er 50-55 %, noe som betyr at det årlig produseres om lag 300 tusen tonn encelleprotein globalt på denne måten, hvorav den europeiske produksjonen utgjør 110 tusen tonn. Dagens sukkerpriser forårsaker imidlertid at dette proteinet ikke kan konkurrere med soyaproteinkonsentrat eller fiskemel på kostnad. Over tid kan dette likevel endre seg,

da det foregår aktiviteter innen forskning og utvikling for å effektivisere produksjonen, slik at proteinprisen kan bli noe lavere. (Almås et al., 2020, s. 74-75).

Som nevnt inneholder thraustochytrider mer enn 30 % DHA, og fermentering av denne mikroorganismen for å utvinne encelle-olje, inkludert DHA, er også veletablert teknologi. Foreløpig er det fortsatt høye produksjonskostnader forbundet med denne teknologien, så produksjonen går i vesentlig grad til kosttilskudd for menneskelig konsum. Likevel har flere fôrprodusenter i Norge begynt å ta i bruk små doser av denne typen DHA i fôret. Thraustochytrider inneholder derimot lite EPA, vanligvis mindre enn 5 %. Det er imidlertid nokså stort potensial for produktivitetsforbedring, større enn for produksjon av encelleprotein fra gjær. (Almås et al., 2020, s. 75).

Naturgass (metan) som råstoff

Fremstilling av encelleprotein fra bakterier ved å benytte metan (CH₄) som karbonkilde til å produsere bakteriene er også etablert teknologi. Ifølge SINTEFs rapport er ressurstilgangen tilnærmet uendelig i fôr-sammenheng, og bare Norges eksportmengde av naturgass i 2018, på 114 milliarder standard m³, kunne i teorien ha gitt 91-114 millioner tonn bakterier. Dette kunne da tilsvart 46-57 millioner tonn protein. (Almås et al., 2020, s. 76).

Til tross for nærmest ubegrenset ressurstilgang kan ikke det metanbaserte encelleproteinene konkurrere med protein fra fiskemel på pris enda. Å oppnå en økonomisk lønnsom produksjonsprosess er dermed hovedutfordringen ved dette alternative fôrråstoffet. Metan er imidlertid en rimeligere karbonkilde, målt per enhet karbon, enn andre substrater, slik som glukose. Med det sagt kreves det likevel mye mer oksygen ved produksjon av metan enn ved dyrking av glukose, da metanmolekylene er svært reduserte. Ikke bare vil dette utgjøre en kostnadsforskjell, men det høye behovet for oksygen gjør at konsentrasjonen av bakterier i en metanbasert fermentering blir mye lavere enn konsentrasjonen i en glukosebasert fermentering. (Almås et al., 2020, s. 76-77).

Fremstilling av encelleprotein ved bruk av naturgass har også noen utfordringer knyttet til klimautslipp; karbonet som brukes i prosessene vil til slutt ende opp i atmosfæren. Dessuten er metan i seg selv en kraftig drivhusgass, og det vil sannsynligvis være en del metan som slippes ut i atmosfæren når proteinet produseres. For å ta hensyn til dette kan

det være aktuelt å heller benytte metan fra biogass som substrat, men da reduseres ressurstilgangen betydelig. (Almås et al., 2020, s. 77).

Når det gjelder produksjon av lipider fra metan har disse så langt hovedsakelig gått til bruk i biodrivstoff. Omega-3-fettsyrer, slik som DHA og EPA, har foreløpig ikke blitt fremstilt på denne måten før, da det ikke finnes egnede produksjonsstammer. (Almås et al., 2020, s. 77).

CO₂ som råstoff

«CO₂ er en uuttømmelig [karbonkilde] for produksjon av både lipider og protein ved hjelp av planter og mikroorganismer.» (Almås et al., 2020, s. 78). Denne karbonkilden finnes overalt rundt oss i lufta, og kan blant annet høstes direkte fra lufta, fra avgassen i forbrenningsprosesser eller fra biogassanlegg. Norges fem største punktutslipp av CO₂ er Mongstad oljeraffineri, Kårstø gassprosesseringsanlegg, Melkøya LNG-prosessenanlegg, Herøya gjødselabrikk og Brevik sementfabrikk. Den totale mengden CO₂-utslipp fra disse fem punktutslippene utgjorde 5.92 millioner tonn i 2018. Gitt 75 % utnyttelse av CO₂ kan denne utslippmengden i teorien gi så mye som 1.2 millioner tonn encelleprotein, det vil si 60 % av proteinbehovet som er estimert for lakseføret i 2050. (Almås et al., 2020, s. 78).

Mikroorganismene som skal produsere proteinet trenger imidlertid energi for å få til dette, og tilgangen på nok energi vil dermed kunne sette en begrensning for produksjonspotensialet. Denne energien kan komme fra sollys, hydrogen eller fra oksidasjon av reduserte uorganiske forbindelser, og utfordringen vil være å finne en økonomisk lønnsom måte å produsere protein på denne måten, slik at den kan konkurrere med fiskemelsprotein på pris. (Almås et al., 2020, s. 78). Videre følger beskrivelser av to måter man kan fremstille protein fra bakterier med CO₂ som karbonkilde.

Den første måten er å bruke kjemolitotrofe bakterier, det vil si bakterier som benytter reduserte uorganiske stoffer som elektron- og energikilde, med CO₂ som karbonkilde. (Institutt for biovitenskap, 2020d). Hydrogensulfid (H₂S) er det eneste reduserte uorganiske stoffet med høy nok tilgjengelighet til at det vil være mulig å drive industriell produksjon av encelleprotein på denne måten, og denne gassen forekommer ofte i store mengder i olje- og gassbrønner. Gassen er imidlertid svært giftig, og må derfor håndteres

på produksjonsstedet, noe som foregår via kjemisk oksidasjon av hydrogensulfiden til elementært svovel. (Almås et al., 2020, s. 78).

Fordi den giftige gassen uansett må behandles, kan mikrobiell oksidasjon være en alternativ behandlingsmetode, da dette vil kunne bidra som energi kilde for produksjon av encelleprotein. Avhengig av bakterietype og prosessbetingelser kan mikrobiell oksidasjon av hydrogensulfid fortsette til sulfat, i stedet for å stoppe ved elementært svovel. Da vil bakterien få et dobbelt så høyt energiutbytte per oksiderte molekyl av H₂S. Dessuten ble det konkludert i en studie gjennomført av Bioengineering Resouces, Inc. at produksjon av encelleprotein på denne måten, med mikrobiell oksidasjon av H₂S til sulfat som energikilde, var økonomisk lønnsomt sammenlignet med dagens hoved proteinkilde, soya. I Norge er det imidlertid begrenset tilgang på H₂S, da norsk olje og gass vanligvis inneholder lite av dette stoffet. (Almås et al., 2020, s. 79).

Den andre måten er å bruke såkalte «knallgass»-bakterier. Energikilden for disse bakteriene er hydrogen (H₂), mens karbonkilden fortsatt vil være CO₂. Fordi disse bakteriene må dyrkes i nærvær av både hydrogen og oksygen er det risiko for at en eksplosjon forekommer, derav navnet «knallgass»-bakterier. Derfor kreves det betydelige sikkerhetstiltak for å gjennomføre fermentering av disse bakteriene for å produsere encelleprotein. Denne produksjonsprosessen er per i dag ikke økonomisk lønnsom da kostnadene er for høye, men det er lite begrensinger på hvor stort volum som kan produseres dersom fermenteringsteknologien blir mer lønnsom. (Almås et al., 2020, s. 79-80).

I tillegg til fermentering av kjemolitotrofe bakterier og «knallgass»-bakterier, kan CO₂ også i seg selv hydrogeneres, med hjelp av H₂, til andre produkter, blant annet metan, metanol, etanol, dimetyleter, olefiner og høyere hydrokarboner. Av disse kan metan, metanol og etanol brukes som karbonkilder for å produsere encelleprotein og/eller encelleolje gjennom mikrobielle fermenteringsprosesser. Dette er imidlertid ikke økonomisk lønnsomt, da denne alternative fremstillingen av metan, metanol og etanol er dyrere enn ved tradisjonell fremstilling. (Almås et al., 2020, s. 81).

Syntesegass som råstoff

Biomasse som består av lignocellulose, for eksempel trevirke, kan brukes for å fremstille syntesegass (syngas: $\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$), ved å gassifisere biomassen, altså gjøre den om til gassform. Syntesegass er en energirik gass som blant annet kan brukes i mikrobiell gassfermentering. Her benyttes kjemoautotrofe, anaerobe bakterier, og disse bruker H_2 og CO som energikilde, mens CO og CO_2 benyttes som karbonkilde. Resulterende produkter inkluderer blant annet eddiksyre (acetat) og etanol. (Almås et al., 2020, s. 81-82).

Denne prosessen har hovedsakelig gått til å produsere etanol som biodrivstoff, og med dagens produksjonsvolum er det uansett ikke særlig mye celledensitet å hente encelleprotein og/eller -olje fra. Eventuelle nye prosesser, som kan gi mer av disse næringsstoffene, ser heller ikke ut til å kunne være økonomisk lønnsomme. (Almås et al., 2020, s. 82).

Fotoautotrofe mikroorganismer

Også fotoautotrofe mikroorganismer, slik som mikroalger og blågrønnbakterier, kan være potensielle kilder til protein og omega-3-fettsyrer for laksefôr. Slike fotoautotrofe organismer inneholder pigmenter, slik som klorofyller, karotenoider og fykobiliner, og disse bruker de til å høste lysenergi. Denne lysenergien blir omdannet til kjemisk energi som så brukes til å omdanne CO_2 til biomolekyler. (Almås et al., 2020, s. 85).

Selv om det har oppstått økt interesse for benyttelse av mikroalger i både konsum- og fôrprodukter, mangler det fortsatt en del vitenskapelig kunnskap rundt slik anvendelse. For eksempel er det behov for mer kunnskap om næringsverdi og fordøybarhet for dyr. Med det sagt er proteininnholdet i disse organismene høyt, vanligvis rundt 50 % av tørrvekt. EPA/DHA-innholdet varierer noe mer, mellom ulike arter og dyrkingsbetingelser, men noen mikroalger har relativt høyt innhold av disse omega-3-fettsyrene. (Almås et al., 2020, s. 85).

Så langt har produksjon av mikroalger i storskala hovedsakelig gått til biodrivstoff. Her benyttes imidlertid kun lipidene til å produsere biodiesel, noe som betyr at det blir et overskudd av tilgjengelig protein fra mikroalgene, som for eksempel kan anvendes i laksefôr. Mikroalgene som benyttes i biodieselproduksjon er imidlertid av typen som akkumulerer store mengder lipid, og dermed vil det være noe lavere proteininnholdet (ca. 50 % av ikke-lipid tørrvekt i stedet for total tørrvekt). (Almås et al., 2020, s. 85).

Lysenergi er som sagt svært viktig i produksjonen av mikroalger, og i de fleste land blir sollys brukt. I nordiske land, slik som Norge, er det derimot ikke like stor tilgang på sollys, og da benyttes heller kunstig lys, for eksempel LED. Vann er også viktig for produksjonen, og her kan sjøvann, prosessvann og/eller avløpsvann benyttes for å gi en mer bærekraftig produksjon. Dessuten er det mulig å koble produksjon av mikroalger sammen med resirkuleringsanlegg i oppdrettsnæringen, og på den måten både få behandle vannet, ved å fjerne nitrogen før det slippes ut igjen, og produsere mikroalger som kan brukes i fôr til fisken. (Almås et al., 2020, s. 86).

Det estimeres at dagens årlige produksjon av dyrkede mikroalger, inkludert blågrønnbakterier, ligger rundt 30-40 tusen tonn tørrvekt globalt. Mer enn 95 % av dette produksjonsvolumet blir produsert i solfylte land, slik at det de kan produseres i åpne dam-systemer, noe som ikke er like velegnet i Norge. De mikroalgene som blir produsert med kunstig lys blir i dag hovedsakelig benyttet i høy-verdi produkter, som helsekost og astaxanthin. Astaxanthin er et pigmentstoff som for eksempel kan forbedre rødfargen i laksekjøtt. Uansett lyskilde må produksjonsvolumet økes betraktelig hvis mikroalger skal kunne bidra som protein- og/eller EPA/DHA-kilde i laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 87 og 89).

Jo større produksjonsvolumet er, jo lavere vil produksjonskostnadene per kilogram være. For et årlig volum mellom 200 tonn og 125 tusen tonn tørrvekt estimeres produksjonskostnadene til å være mellom 7 og 250 kr/kg. Med et gjennomsnittlig proteininnhold på ca. 50 % gir dette en proteinpris på mellom 14-500 kr/kg protein. Prisen på EPA/DHA estimeres derimot til å være et sted mellom 117 og 4167 kr/kg. Produksjonskostnadene vil imidlertid avhenge av både tilgang på lys og areal, og solrike land vil ha et økonomisk konkurransefortrinn. (Almås et al., 2020, s. 87).

Med dagens tekniske løsninger og tilgjengelige mikroalgestammer synes det lite sannsynlig at man vil kunne produsere betydelige mengder protein og omega-3-fettsyrer til laksefôr. Særlig i Norge vil dette være vanskelig å gjøre på en lønnsom måte, grunnet relativt knapp tilgang på sollys. Likevel jobbes det i dag med utvikling av reaktorer som kan forbedre produksjonsprosessen, i tillegg til at det forskes på nye arter, som enda ikke har blitt benyttet til dyrking tidligere. (Almås et al., 2020, s. 88).

Makroalger (tang og tare)

Tidligere ble det beskrevet hvordan viltvoksende makroalger, eller tang og tare, kan være en potensiell kilde til protein for laksefôret, men at mengden som kan høstes er ganske begrenset i forhold til det totale proteinbehovet som er estimert for 2050. Et alternativ kan da være å dyrke slike makroalger, noe som kan gi et høstbart utbytte på 10-30 tonn tørrvekt per hektar. (Almås et al., 2020, s. 92).

Makroalger har lenge blitt dyrket i Asia, men også i Europa, inkludert i Norge, har det oppstått økt interesse for slik produksjon. Norske produsenter produserte faktisk 174 tonn dyrket sukkertare og 2 tonn dyrket butare i 2018. Til tross for at dyrkingen enda er i en tidlig fase, og at det dermed fortsatt er en del uforutsigbarhet og høye kostnader forbundet med produksjonen, er dyrking av akkurat disse makroalgene godt egnet for norske forhold. Det jobbes imidlertid kontinuerlig med å forbedre teknologien og effektivisere produksjon, slik at uforutsigbarheten og kostnadene sannsynligvis vil minke på sikt. (Almås et al., 2020, s. 92).

Ved å dyrke taren i nærhet av oppdrettsanlegg vil man kunne øke produktiviteten, da nitrogenutslipp fra anlegget vil kunne fungere som et slags gjødsel for taren. Dessuten havner nærmere 40 % av nitrogenet i laksefôr i havet som ammonium, noe taren gledelig tar opp som næringsstoff. Av disse grunnene er det vist at tare som dyrkes på denne måten har et høyere nitrogeninnhold enn tare produsert andre steder, og dette kan resultere i et høyere innhold av protein. (Almås et al., 2020, s. 92-93).

Foreløpig er det forsket lite på hvorvidt brunalger, slik som sukkertare og butare, egner seg til bruk i fiskefôr, og dermed mangler det enda kunnskap om fordøyelighet, effekt på fiskevelferd og kjøttkvalitet. De har likevel potensiale til å være gode proteinkilder, så lenge det utvikles en mer kostnadseffektiv prosess for å hente ut dette proteinet fra taren. De prosessene som brukes i dag er både ikke økonomisk lønnsomme og for tidkrevende. Det høye vanninnholdet (75-90 %) er det som gjør det krevende å høste og prosessere slike makroalger, i tillegg til at konsentrasjonen av protein (10-12 % av tørrstoff) er betydelig mye lavere enn for dagens proteinkilder (ca. 72 % råprotein av tørrstoff for både soyaproteinkonsentrat og fiskemel). (Almås et al., 2020, s. 93-94).

Selv om prosessene for utvinning av protein ikke er økonomisk lønnsomme per i dag, inneholder makroalger blant annet karotenoider (gule og røde pigmenter), vitaminer og mineraler. Disse kan både øke næringsinnholdet i laksekjøttet og forbedre rødfargen på kjøttet, og av den grunn kan disse stoffene selges for en høyere kilopris enn proteinkonsentrat kan. Dersom makroalgene skal kunne bidra som proteinkilde i fôret må imidlertid produksjonsvolumet økes betraktelig i skala, slik at produksjonskostnadene reduseres og råstoffet kan konkurrere med andre proteinkilder. (Almås et al., 2020, s. 94).

Ved storskala produksjon av tare vil konservering være en utfordring som må adresseres. Taren blir nemlig fort dårlig etter at den er høstet, og kombinert med at sesongen for høsting er kort, må store biomasser kunne konserveres raskt, for eksempel ved hjelp av frysing, tørking eller syrekonservering. Av disse konserveringsmetodene har syrekonservering de laveste energikostnadene og vil dermed være mest aktuell. (Almås et al., 2020, s. 95).

6. Samfunnsøkonomisk analyse av alternative fôrråstoffer

Med SINTEFs rapport som datagrunnlag kan de fem forskningsspørsmålene som ble presentert i innledningen av denne oppgaven besvares.

6.1 Hvilke råstoffer vil kunne egne seg til produksjon i Norge?

Av marine råstoffer kan fisk, både pelagisk og mesopelagisk, zooplankton og viltvoksende tang og tare høstes i Norge. Når det gjelder zooplankton er det imidlertid kun tillatt å høste raudåte foreløpig. I tillegg er også restråstoffer fra den norske sjømatindustrien tilgjengelig for potensiell anvendelse i laksefôr. (Almås et al., 2020, s. 17-18, 21, 27-28, 30-32).

Norge er preget av mye skog, bestående av trevirke, barnåler og løv, i tillegg til mye halm og gras. Her er det mye tilgjengelig råstoff som ikke allerede anvendes, og dette kan dermed også potensielt benyttes i laksefôr. (Almås et al., 2020, s. 48-49, 50-51).

Selv om det er mye tilgjengelig restråstoff etter slakt av husdyr i Norge, har både EU og det norske lovverket satt strenge restriksjoner for hva som er tillatt og hva som ikke er tillatt å benytte i fôr til matproduserende dyr. Dette skyldes risiko for overføring av spongiforme encefalopatier (TSE) som i verste fall kan følge med fisken til middagsbordet. Det er imidlertid tillatt å bruke blodmel og proteinhydrolysater fra ikke-drøvtyggere, noe som betyr at griseblod, fjørfeblod og fjærmel potensielt kan utnyttes i laksefôr. (Almås et al., 2020, s. 52-53).

Når det gjelder dyrkede organismer er det enda flere muligheter. Rent teknisk er det mulig å dyrke insekter eller insektlarver i Norge, bare ikke i så stor skala. Ellers kan også de lavtrofiske artene gammaridaer og tunikater produseres her til lands, mens det er behov for litt mer forskning før man kan fastslå om børstemark kan produseres i Norge eller ikke. Også hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer som benytter sukkere, metan eller CO₂ som karbonkilde kan produseres i Norge, noe også både mikro- og makroalger kan. (Almås et al., 2020, s. 57-58, 61-62, 65, 68, 73, 76, 78, 87, 89, 92).

6.2 Hvor mye kan potensielt produseres av disse råstoffene?

Basert på SINTEFs rapport estimeres følgende produksjonspotensial for de aktuelle råstoffene i 2050:

	Volum i dag (tonn)	Potensielt volum i 2050 (tonn)	Protein potensial 2050 (tonn)	EPA + DHA potensial 2050 (tonn)
<i>Pelagisk fisk</i>	1 300 000	1 500 000	225 000	18 000
<i>Mesopelagisk fisk</i>	2 000	10 000 000	1 500 000	120 000
<i>Raudåte</i>	1 000	3 000 000	510 000	11 000
<i>Viltvoksende stortare</i>	160 000	400 000	3 500	0
<i>Viltvoksende grisetang</i>	20 000	50 000	600	0
<i>Restråstoff sjømatindustrien</i>	820 000	1 400 000	70 000	24 000
<i>Trevirke</i>	7 8000 000 ^A	15 000 000 ^A	600 000 - 2 000 000 ^B	0 - 525 000 ^B
<i>Barnåler/løv</i>	0	100 000	15 000	0
<i>Halm</i>	500 000 ^A	500 000 ^A	20 000 - 67 000 ^B	0 - 17 500 ^B
<i>Gras</i>	33 500	33 500	870 000	0
<i>Griseblod</i>	13 000	13 000	2 000	0
<i>Fjørfe</i>	60 000	100 000	10 000 - 20 000	0
<i>Insekter/insektlarver</i>	Usikkert	Usikkert	Usikkert	0
<i>Børstemark</i>	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert
<i>Gammaridaer</i>	0	3 000	150	1
<i>Tunikater</i>	<1 000	100 000	1 250	90
<i>Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer</i>	<10 000	200 000 ^A	45 000 ^C (100 000 ^D)	33 000 ^C (0 ^D)
<i>Mikroalger</i>	<10 000	50 000 ^A	11 000 ^C (25 000 ^D)	8 000 ^C (0 ^D)
<i>Makroalger</i>	<10 000	20 000 000	100 000	0

Tabell 5: Dagens produksjonsvolum og estimert potensial for 2050 for de råstoffene som kan være aktuelle for produksjon i Norge. Tall hentet fra tabell i Almås et al., 2020, s. 108-110).

Merknader i tabellen:

- A) Tørrvekt
- B) Produksjonen av EPA/DHA reduserer utbyttet av protein, og vice versa.
- C) Antatt EPA/DHA som hovedprodukt og protein som biprodukt.
- D) Protein er hovedprodukt

Det er usikkert hvor mye norsk produksjon av insekter og børstemark kan bidra med. Globalt er potensialet for insektproduksjonen estimert til 2 000 000 tonn og børstemark 5 000 tonn. (Almås et al., 2020, s. 110). Lokalt vil produksjonen sannsynligvis være mye mer begrenset, så import fra andre land vil antageligvis være nødvendig dersom disse skal bidra i lakseføret.

Ellers er også de andre estimatene noe usikkert. Det er lenge til 2050, så mye kan skje på den tid. Prosesseringer og ekstraksjon av protein og EPA/DHA kan ha endret seg for noen, slik at potensialet gjerne er enda høyere. Ellers kan kanskje produksjonen generelt ha økt enda mer enn potensialet. Med det sagt gir tabell 5, med tall fra SINTEFs rapport, et godt estimat og grunnlag for videre analyse.

Som forklart i kapittel 5.1.1 er behovet for fôr i 2050 forventet å innebære et behov for 2 millioner tonn protein og 135 tusen tonn EPA/DHA. Med dette som utgangspunkt kan man vurdere om råstoffene, som egner seg til produksjon i Norge, vil kunne bidra betydelig i lakseføret eller ikke:

Pelagisk fisk

Denne råvaren vil kunne dekke i overkant av 11 % av proteinbehovet og ca. 13 % av EPA/DHA behovet. Dette er tilnærmet likt andelen som finnes i dagens laksefôr (se figur 12). Pelagisk fisk utnyttes allerede i føret, som fiskemel og fiskeolje, så det er ikke forventet stor vekst mellom dagens produksjonsvolum og produksjonsvolumet i 2050. I tillegg, som forklart tidligere, går mer og mer pelagisk fisk rett til humant konsum. Dette kan eventuelt medføre at tilgjengeligheten til bruk i fôr svekkes ytterligere innen 2050. (Almås et al., 2020, s. 17-18, 108).

Mesopelagisk fisk

Ut ifra tallene som er oppgitt i tabell 5 kan mesopelagisk fisk teoretisk dekke inntil 75 % av proteinbehovet for 2050, i tillegg til ca. 88 % av EPA/DHA-behovet. Dette er imidlertid fortsatt teoretiske tall ettersom det gjenstår mye forskning og utvikling før denne råvaren eventuelt kan anvendes i laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 18, 108).

Raudåte

Denne råvaren kan teoretisk dekke 25.5 % av proteinbehovet og ca. 8 % av EPA/DHA behovet i 2050. Foreløpig høstes raudåte kun for bruk i forskning, så det gjenstår fortsatt en del arbeid før denne råvaren eventuelt kan gis i laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 21, 108).

Viltvoksende makroalger

Viltvoksende stortare og grisetang vil dessverre ikke kunne være betydelige bidragsyttere i laksefôret. De er ikke kilde til hverken EPA eller DHA, og proteinet de produserer vil totalt kun kunne dekke 0.2 % av behovet for 2050. (Almås et al., 2020, s. 108).

Restråstoffer fra sjømatindustrien

Med dagens utnyttelsesgrad vil restråstoffene fra sjømatindustrien kunne dekke 3.5 % av proteinbehovet og ca. 17.8 % av EPA/DHA behovet. Dersom reguleringene for anvendelse av restråstoffet endres, kan potensialet bli noe større. (Almås et al., 2020, s. 108).

Skog

Råstoffene fra skogen inkluderer både trevirke og barnåler/løv. Barnåler og løv vil imidlertid kun kunne bidra med 0.75 % av proteinbehovet, basert på tall fra tabell 5. Trevirke, derimot, kan alene potensielt bidra med 30-100 % av proteinbehovet, i tillegg til å dekke EPA/DHA-behovet flere ganger, med opptil 388.9 %. (Almås et al., 2020, s. 109).

Produksjon av EPA/DHA vil imidlertid begrense utbytte av protein, og motsatt. Det vil dessuten være vanskelig å høste all skogmassen som teoretisk sett er tilgjengelig for utnyttelse i laksefôr. I tillegg er forskningen av utnyttelse av trevirke i en tidlig fase, så det gjenstår å se hvor gode utvinningsprosessene for næringsstoffene blir innen 2050. (Almås et al., 2020, s. 48-49, 109).

Halm og gras

Halm vil kun kunne bidra med 1-3.35 % av proteinbehovet, men ca. 13 % av behovet for EPA/DHA i 2050. På lik linje med trevirke er det også behov for mer forskning her, dersom man skal kunne utnytte halmet til å produsere encelleprotein og/eller encelle-oljer. (Almås et al., 2020, s. 50-51, s. 109).

Gras kan ikke være kilde til lipider, men kan potensielt bidra med 43.5 % av proteinbehovet. Det vil imidlertid kreve at man utvikler gode nok prosesser for å utvinne proteinet fra graset. (Almås et al., 2020, s. 109).

Restråstoffer fra slakt av husdyr

Ettersom det er strenge restriksjoner for anvendelse av disse restråstoffer fra slakt av husdyr i fôret til matproduserende dyr, vil de ikke kunne bidra stort til å dekke fôrbehovet. Restråstoffer av fjørfe kan dekke 0.5-1 % av proteinbehovet, mens griseblod kun vil dekke 0.1 % av behovet. Dersom myndighetene i Norge og EU letter litt på regelverket kan imidlertid potensialet bli noe større, men det virker fortsatt usannsynlig at de vil kunne bidra betydelig i fôret. (Almås et al., 2020, s. 52-53, s. 109).

Insekter

Det er svært usikkert hvor mye insekter som vil kunne produseres i Norge. Sannsynligvis vil det uansett ikke være nok fôr til insektlarvene i Norge til at det vil kunne produseres innsekter i stor nok skala til å bidra særlig i laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 57-58).

Lavtrofiske organismer

I likhet med insekter er det usikkert hvor mye børstemark som potensielt kan produseres i Norge. Det vil sannsynligvis være svært begrenset, og dermed vil ikke denne råvaren heller kunne bidra noe særlig i laksefôret. (Almås et al., 2020, s. 61-62).

Også gammaridaer og tunikater vil kun kunne bidra i begrenset grad. Gammaridaer kan potensielt dekke 0.0075 % av proteinbehovet og tilnærmet ingenting av EPA/DHA-behovet. Tunikater har noe høyere potensiale, men disse vil ikke kunne dekke mer enn 0.0625 % av proteinet og 0.0667 % av EPA/DHA. (Almås et al., 2020, s. 110).

Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer

Dersom EPA/DHA er hovedprodukt, vil disse mikroorganismene kunne bidra med ca. 24 % av EPA/DHA-behovet og 2.25 % av proteinbehovet. Er imidlertid protein hovedprodukt, vil de kunne bidra med 5 % av proteinbehovet, men til gjengjeld 0 % av EPA/DHA-behovet. (Almås et al., 2020, s. 110).

Mikroalger

Mikroalger kan, dersom EPA/DHA er hovedprodukt, dekke 5.9 % av EPA/DHA-behovet, men kun 0.55 % av proteinbehovet. Er protein derimot hovedprodukt vil de kunne bidra med 1.25 % av proteinbehovet, og ingen EPA/DHA. (Almås et al., 2020, s. 110).

Skal det imidlertid lønne seg å benytte norskproduserte mikroalger i laksefôret må produksjonsprosessene videreutvikles og forbedres. Norge har en relativt begrenset tilgang på sollys, sammenlignet med mange andre land, og dette vil gjøre det utfordrende å produsere mikroalger på den mer tradisjonelle måten, i åpne dammer. (Almås et al., 2020, s. 88, 110).

Dyrkede makroalger

Selv om viltvoksende makroalger kun kan bidra i en svært begrenset grad til å dekke fôrbehovet, kan dyrkede makroalger potensielt dekke 5 % av proteinbehovet i 2050. Det er fremdeles behov for en del forskning, men dette pågår allerede i dag. (Almås et al., 2020, s. 110).

6.2.1 Råstoffer som kan bidra til å dekke en betydelig andel av fôrbehovet

Ikke alle råstoffene som kan dyrkes i Norge vil være aktuelle for utnyttelse i laksefôret. Dersom det skal lønne seg å anvende et nytt råstoff i fôret må det kunne produseres i stor nok skala. Tross alt er det både dyrt og tidkrevende å gjennomføre den nødvendige forskningen for å se om råvaren egner seg i fôret eller ikke. Derfor vil kun de råstoffene som kan dekke minst 5 % av proteinbehovet og/eller 5 % av EPA/DHA-behovet følge videre i analysen. Dersom råstoffet kan dekke 5 % av ett av behovene vil den kunne bidra med det andre næringsstoffet (protein eller EPA/DHA) også, men da som et biprodukt som uansett blir tilgjengeliggjort ved produksjon av hovedproduktet.

Tabell 6 på neste side gir en oversikt over de råstoffene dette gjelder.

	Protein (≥ 5 % av behovet)	EPA/DHA (≥ 5 % av behovet)
<i>Pelagisk fisk</i>	x	x
<i>Mesopelagisk fisk</i>	x	x
<i>Raudåte</i>	x	x
<i>Marine restråstoffer</i>		x
<i>Trevirke</i>	x	x
<i>Halm</i>		x
<i>Gras</i>	x	
<i>Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer</i>	x*	x*
<i>Mikroalger</i>		x
<i>Dyrkede makroalger</i>	x	

Tabell 6: Norskproduserte råstoffer som kan dekke > 5 % av protein og/eller EPA/DHA-behovet forventet i 2050.

*Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer kan ikke produsere > 5 % av både protein- og EPA/DHA-behovet samtidig.

6.3 Vil disse råstoffene være konkurransedyktige på pris med dagens fôrråstoffer?

I tabell 7 under er dagens protein- og EPA/DHA-priser oppgitt for råstoffene som kan produseres i Norge, og som potensielt kan dekke en betydelig andel av fôrbehovet i 2050, det vil si ≥ 5 % av proteinbehovet og/eller ≥ 5 % av EPA/DHA-behovet.

	Pris i dag (kr/kg) protein	Pris i dag (kr/kg) EPA/DHA
<i>Pelagisk fisk</i>	30	70
<i>Mesopelagisk fisk</i>	48	105
<i>Raudåte</i>	>600	$>25\ 000$
<i>Marine restråstoffer</i>	13	100 - 150
<i>Trevirke</i>	35 - 63	90 - 281
<i>Halm</i>	35 - 63	90 - 281
<i>Gras</i>	20	-
<i>Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer</i>	28 - 50	72 - 225
<i>Mikroalger</i>	20 - 300	120 - 4 200
<i>Dyrkede makroalger</i>	6 500	-

Tabell 7: Dagens pris (kr/kg) for protein og EPA/DHA fra råstoffene som kan være aktuelle bidragsyttere til å dekke fôrbehovet i 2050. Priser hentet fra: Almås et al., 2020, s. 108-110)

Basert på dagens førsammensetning estimerer SINTEF Ocean i sin rapport at nye førråstoffer bør ha en proteinpris på maksimum 30 kr/kg protein, og en omega-3-fettsyrepris på 70 kr/kg EPA/DHA, dersom de skal kunne konkurrere med dagens råstoffer. Dette er nemlig dagens priser for fiskemel, fiskeolje og soyaproteinkonsentrat, som utgjør store andeler av dagens lakseførsammensetning (se figur 12). (Almås et al., 2020, s. 13).

I tabell 7 ser man imidlertid at svært få råstoffer faller innenfor disse grenseprisene. En del ligger imidlertid nær nok til at det kan være aktuelt å benytte dem i føret uansett, men at produksjonsprosessene gjerne må effektiviseres på sikt, slik at produksjonskostnadene, og dermed også prisen, kan reduseres.

Noen råstoffer ligger derimot langt over det konkurransedyktige nivået. Dette gjelder særlig protein og EPA/DHA av raudåte og protein av dyrkede makroalger. Også prisen på EPA/DHA av marine restråstoffer kan enten være litt over konkurransedyktig nivå eller være dobbel så høy som prisen på dagens råstoffer. Dette gjelder også prisen for protein og EPA/DHA av trevirke, halm, hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer, og mikroalger. Mikroalgene har imidlertid en mye høyere prisvariasjon, og kan enten være høyere enn dagens priser eller ekstremt mye høyere enn dagens priser. (Almås et al., 2020, s. 108-110).

6.3.1 Råstoffer som vil kunne være konkurransedyktige

Kun råstoffer som potensielt kan konkurrere på pris, eller som i det minste ikke koster det mangedobbelte av prisen på dagens råstoffer, vil følge videre i denne analysen. Derfor elimineres både raudåte og dyrkede makroalger for nå, da dagens priser, oppgitt i tabell 7, er så høye at det ikke virker sannsynlig at prisnivået vil kunne reduseres nok innen 2050 til at disse råstoffene vil kunne konkurrere med andre alternativer på pris.

Ettersom prisen på mikroalger kan variere enormt elimineres også disse for nå. Norge har uansett ikke de beste naturgitte forholdene til å drive storskala produksjon av disse organismene, da tilgangen på sollys er svært begrenset sammenlignet med andre land. Dermed vil trolig ikke norske mikroalger uansett kunne konkurrere på pris med mikroalger produsert i andre, mer solfylte land.

De resterende råstoffene fra tabell 7 kan imidlertid være konkurransedyktige. I det minste er de nærmere protein- og EPA/DHA-prisene for råstoffene som benyttes i dagens fôr, og de kan dermed ikke utelukkes som mulige alternativer for fremtidens laksefôr.

6.3.2 Norsk produksjon og profittmaksimerende produsenter

I dag benyttes mange importerte råvarer i laksefôret, og de fleste av råstoffene som kan produseres i Norge, produseres også i andre land. Man kan derfor anta at prisene som er oppgitt i tabell 7 reflekterer det globale prisnivået for råstoffene. Fôrprodusenter ønsker åpenbart å produsere fôret sitt til lavest mulig kostnad, og dermed vil de velge en utenlandsk råstoffleverandør fremfor en norsk råstoffleverandør, dersom den utenlandske tilbyr lavere pris.

I kapittel 2.1 ble det forklart at et frikonkurransemarked finner sted når følgende forutsetninger holder (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 289-291):

1. Produktene som produseres er homogene
2. Produsenter og forbrukere er pristakere
3. Det er ingen inngang- eller utgangsbarrierer

Dette stemmer for de internasjonale markedene for de ulike råstoffene. Et råstoff vil være nærmest identisk uansett hvor i verden det er produsert, og ingen nye produsenter kan nektes å eksportere råstoffet sitt og dermed innta det globale markedet. Siden markedet inkluderer hele verden, er det også veldig mange produsenter og forbrukere. Dermed er det ingen produsent eller forbruker som kan styre prisen, ettersom de selv kun utgjør en veldig liten del av markedet. Med andre ord er både råstoffprodusentene og -forbrukerne pristakere.

Dersom Norge i stedet skulle ønske å øke selvforsyningsgraden sin, blant annet ved å gi laksen fôr laget av kun norske råstoffer, vil prisene trolig være annerledes. I en situasjon hvor norske råstoffer blir benyttet eksklusivt vil nemlig ikke de norske råstoffprodusentene måtte forholde seg til de internasjonale konkurrentene lengre. Det vil også være færre produsenter på det lokale markedet sammenlignet med det internasjonale, noe som betyr at det ikke vil være et frikonkurransemarked lengre. Med andre ord vil ikke råstoffprodusentene i Norge være pristakere lengre, og de kan heller velge å operere med

profittmaksimerende produksjonsvolum og pris. Som forklart i kapittel 2.2 er dette gitt ved produksjonsmengden som gir (Pindyck & Rubinfeld, 2018, s. 292, 294-295):

$$\text{Marginalinntekt (MI)} = \text{Marginalkostnad (MK)}$$

Det vil trolig medføre høyere protein- og EPA/DHA-priser for de norske råstoffene.

Så lenge det ikke finnes noen lover eller regler som forhindrer utnyttelse av internasjonale råvarer i laksefôret, vil norske råstoffprodusenter imidlertid være nødt til å forholde seg til de internasjonale prisene. Hvis ikke vil fôrprodusentene velge å importere råvarer fremfor å benytte de norske som selges til en høyere pris.

6.4 Er det noen miljøeksternaliteter forbundet med produksjonen av disse råstoffene?

Basert på bidragspotensiale og prisnivå har vi at følgende råstoffer kan være aktuelle for produksjon i Norge:

- Pelagisk fisk (benyttes allerede)
- Mesopelagisk fisk
- Marine restråstoffer
- Trevirke
- Halm
- Gras
- Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer

Med et økt fokus på bærekraft i verden er det imidlertid viktig å vurdere hvorvidt disse vil kunne bidra til et mer bærekraftig laksefôr eller ikke. Dessuten er målet med denne oppgaven å undersøke i hvilken grad de alternative, norskproduserte, fôrstoffene kan bidra til en mer bærekraftig (og sirkulær) økonomi.

I kapittel 2.4.1 ble konseptet *miljøeksternaliteter* beskrevet. Eventuelle miljøeksternaliteter forbundet med produksjonen av et fôrstoff, altså negative effekter på miljøet som følger av produksjonen, vil være en god indikasjon på at råstoffet ikke nødvendigvis er bærekraftig. For å vurdere om de alternative råstoffene er mer bærekraftige enn dagens råstoffer er det også nødvendig å se på miljøeksternalitetene forbundet med dagens fôrstoff.

6.4.1 Miljøeksternaliteter forbundet med dagens fôrråstoffer

Karbonfotavtrykk, eller CO₂-utslipp, er blant miljøeksternalitetene forbundet med råstoffene som benyttes i dagens fôr. Som forklart i kapittel 4.3.1 er det meste av CO₂-utslippet som kommer fra lakseoppdrett forårsaket av fôret. (Mowi, 2020, s. 32). Dette kommer blant annet av at mye av råstoffene må fraktes langt før de utnyttes i fôret, noe som krever store mengder drivstoff for transportmidlene. Uavhengig av transport produseres det uansett mye CO₂-utslipp fra dagens fôr, da særlig mikroingrediensene, slik som vitaminer og mineraler. Disse krever store mengder energi for å fremstilles. (Bellona, 2020, s. 7).

Dessuten, som beskrevet i kapittel 4.3.2, er fremstilling av soyaproteinkonsentrat, som utgjør 19 % av dagens fôrsammensetning, i stor grad medskyldig i avskogingen i Brasil, både direkte og indirekte. (Aas et al., 2019, s. 4; Asher, 2019; Fehlenberg et al., 2017, s. 35; Richards et al., 2014, s. 2). Dette er en betraktelig stor miljøeksternalitet forbundet med soyaproduksjon, og den kommer i tillegg til karbonfotavtrykket til soya på 6 kg CO₂/kg protein. (Almås et al., 2020, s. 111).

Alt i alt er det totale karbonfotavtrykket fra lakseoppdretten 7.9 kg CO₂/kg kjøtt (se tabell 1). Uten transportutslippene skyldes 75-83 % av dette laksefôret. (Bellona, 2020, s. 7).

6.4.2 Miljøeksternaliteter forbundet med alternative fôrråstoffer

Pelagisk fisk

Ettersom pelagisk fisk allerede benyttes i laksefôret og inklusjonen i fôret uansett er forventet å avta innen 2050, ettersom mer og mer går til humant konsum, kan man anta at videre anvendelse av denne råvaren ikke vil ha noen innvirkning på miljøeksternalitetene forbundet med laksefôret. Eventuelt kan frafallet av pelagisk fisk i fôret føre til at andre råstoffer, med større effekter på miljøet, vil få plass i fôrsammensetningen.

I SINTEFs rapport oppgis det at karbonfotavtrykket forbundet med pelagisk fisk er på 4 kg CO₂/kg protein. (Almås et al., 2020, s. 108).

Mesopelagisk fisk

Det er enda uklart hvordan mesopelagisk fisk skal høstes og prosesseres for utnyttelse i laksefôret. Derfor er det uansett uvisst hvor mye denne råvaren faktisk vil bidra med, til

tross for det estimerte potensialet oppgitt i tabell 5. I SINTEFs rapport blir karbonfotavtrykket estimert til å være et sted mellom 1.8 og 7.6 kg CO₂/kg protein. Dette utgjør energien som kreves for å utvinne næringsstoffer og gjøre råstoffet klart til anvendelse i fôret. (Almås et al., 2020, s. 105).

Marine restråstoffer

Marine restråstoffer krever ingen høsting, ettersom de gjøres tilgjengelig når fisk og skaldyr allerede er høstet og prosessert. For å utvinne næringsstoffene kreves det imidlertid en del energi, og karbonfotavtrykket er estimert til 3.1 kg CO₂/kg protein for restråstoff av pelagiske arter og 7.9 kg CO₂/kg protein for restråstoff av hvitfisk. (Almås et al., 2020, s. 105).

Trevirke

Med dagens prosesser for utvinning og hydrolysering av sukkere i trevirke medgår det mye energi. Karbonfotavtrykket er per i dag >12 kg CO₂/kg protein. (Almås et al., 2020, s. 109). I tillegg kan økt trefelling anses som en miljøeksternalitet, da dette reduserer den årlige tilveksten av naturlig vegetasjon. Det er imidlertid uklart hvor betydningsfull denne miljøeksternaliteten kan være.

Halm

Fordi halm og trevirke må gjennom samme prosesser for å utvinne næringsstoffer som kan benyttes i laksefôr, har de det samme energiforbruket: >12 kg CO₂/kg protein. (Almås et al., 2020, s. 109).

Eventuell effektivisering eller forbedring av prosessene kan potensielt redusere dette høye karbonfotavtrykket forbundet med trevirke og halm som fôrråstoffer. Dette vil imidlertid kreve både mye forskning og utvikling for å oppnås.

Gras

Det er usikkert hvilke miljøeksternaliteter som er forbundet med utnyttelse av grasprotein i fôret, men SINTEF estimerer at karbonfotavtrykket er «Lavt?» i sin rapport. Det gjenstår likevel å utvikle velegnede metoder for å utvinne proteinet, slik at andre enn drøvtyggere kan konsumere graset. (Almås et al., 2020, s. 109).

Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer

Til tross for at disse mikroorganismene kan produseres med avgasser som karbonkilde, som forklart tidligere, er karbonfotavtrykket forbundet med produksjonen av disse stort. I SINETFs rapport oppgis det til å være så mye som 27 kg CO₂/kg protein (tørrstoff), noe som er langt høyere enn de andre aktuelle råstoffene beskrevet her. (Almås et al., 2020, s. 110).

6.4.3 Råstoffer som er mer bærekraftig, eller like bærekraftig, som dagens fôrråstoffer

Basert på karbonfotavtrykk kan mesopelagisk fisk, marine restråstoffer og gras potensielt bidra til mer bærekraftig fôr enn i dag, eller i det minste tilnærmet like bærekraftig fôr som i dag. Pelagisk fisk kan selvfølgelig også brukes videre. Dette kommer av at dagens hovedråstoffer, det vil si fiskemel, fiskeolje og soyaproteinkonsentrat, gir 4 kg CO₂/kg protein (fiskemel og -olje av pelagisk fisk) og 6 kg CO₂/kg protein (soya). (Almås et al., 2020, s. 108, 111). Karbonfotavtrykket for soyaproteinkonsentratet tar imidlertid ikke hensyn til avskogingsproblematikken, som også utgjør en betydningsfull miljøeksternalitet.

Dermed er det mulig at mesopelagisk fisk vil befinne seg under, og i verste fall ikke veldig langt over, soyaens utslippsnivå. Når det gjelder marine restråstoffer utgjør restråstoffer av pelagiske arter et lavere CO₂-utslipp enn både soya og fiskemel/-olje, mens restråstoffer av hvitfisk overstiger soya-utslippet litt. Det er foreløpig usikkert hvordan utslippet fra grasproteinproduksjon vil være, men det forventes å være lavere enn karbonfotavtrykket til soya. (Almås et al., 2020, s. 108-111).

6.4.4 Miljøeksternaliteter er mer enn bare CO₂-utslipp

Produksjon kan medføre flere negative effekter på miljøet enn bare CO₂-utslipp. Det er imidlertid vanskelig å måle eller estimere omfanget av andre miljøeksternaliteter. Derfor vurderes de aktuelle fôrråstoffene basert på karbonfotavtrykket de eventuelt vil bidra med, da dette enklere kan kvantifiseres, og det allerede finnes estimater å basere vurderingen på. I realiteten kan den egentlige effekten på miljøet være vesentlig større, også for et råstoff med et estimert lavt energiforbruk tilknyttet prosessering og utvinning av næringsstoffer. Det kan også forekomme miljøeksternaliteter ved konsum, slik det ble forklart i kapittel 2.4.1. Dette kan for eksempel være fôrets effekt på økosystemet i vannet hvor laksen befinner seg og blir matet. Ettersom laksen befinner seg i notposer ute i vannet kan man

anta at det alltid vil være noe fôr som slippes ut, gjennom nettet, og som dermed kan havne på havbunnen. Hvordan dette påvirker miljøet i vannet er det derimot vanskelig å fastslå, men det utgjør sannsynligvis en miljøeksternalitet. Antageligvis vil ikke dette endres ut ifra hvilke råstoffer som benyttes i fôret, men det utgjør likevel en negativ miljøeffekt.

6.5 Vil disse råstoffene kunne bidra til en mer sirkulær økonomi?

Som forklart i kapittel 2.5 vil råvarer og materialer utnyttes i mye større grad i en sirkulær økonomi enn i en tradisjonell lineær økonomi. Dette er fordi brukte råvarer og materialer gjenbrukes, resirkuleres eller gjenopprettes i stedet for å kastes, slik som i en lineær økonomi. (Kirchherr et al., 2017, s. 223).

Av de råstoffene som kan produseres i Norge, og kan dekke minst 5 % av protein- og/eller EPA/DHA-behovet, i tillegg til å være relativt konkurransedyktig på pris, er det to råstoffer som potensielt kan bidra til økt sirkularitet. Dette er restråstoffene fra sjømatindustrien, og hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer.

6.5.1 Restråstoffer fra sjømatindustrien

Det sier seg nesten selv at utnyttelse av marine restråstoffer representerer et bidrag til økt sirkularitet i økonomien. I stedet for å kaste eller destruere restråstoffene kan de skape ny verdi. Ved å utvinne EPA/DHA og proteiner fra dem vil store deler av restråstoffene kunne resirkuleres og gjenbrukes som fôr til ny sjømat, deriblant laks.

Selv om det estimeres at det vil være 1 400 000 tonn tilgjengelig marint restråstoff i 2050 (se tabell 5), vil ikke alt dette være tilgjengelig for anvendelse i laksefôr. Mye utnyttes allerede i fôr og konsumprodukter, og i tillegg har myndighetene satt begrensninger på hva som kan og ikke kan anvendes i laksefôr. Med dagens forutsetninger estimeres det likevel at disse restråstoffene potensielt kan dekke 17.8 % av EPA/DHA-behovet og 3.5 % av proteinbehovet i 2050. (Almås et al., 2020, s. 30, 108).

6.5.2 Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer

Fordi noen hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer kan produseres med CO₂-avgasser fra forbrenningsprosesser eller biogassanlegg, kan disse også bidra til en mer sirkulær økonomi. (Almås et al., 2020, s. 78). Avgassene ville uansett ha havnet i luften som

utslipp, så ved å heller utnytte dem som karbonkilder til produksjon av encelle og/eller encelle-olje av hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer, vil man i stedet kunne resirkulere avgassen og skape mer verdi. Karbonfotavtrykket forbundet med produksjonen av disse mikroorganismene er imidlertid mye høyere enn for dagens fôrårstoffer, med hele 27 kg CO₂/kg protein. (Almås et al., 2020, s. 110).

6.5.3 Andre råstoffer som kan bidra til en mer sirkulær økonomi

Selv om følgende råstoffer ikke kan produseres i stor nok skala i Norge til at de kan utnyttes i lakseføret, kan de likevel ha potensiale til å bidra til en mer sirkulær økonomi:

Restråstoff etter slakt av husdyr

På samme måte som marint restråstoff, kan denne råvaren bidra til en mer sirkulær økonomi ved å resirkulere råstoffer som ellers ville blitt kastet, og gjenbruke næringsstoffene i dem i fôr til andre dyr, blant annet laks. Foreløpig setter lovverket i både Norge og EU store begrensninger for hvor mye som kan utnyttes i fôr til matproduserende dyr, men på sikt, dersom regelverket myker opp, kan dette potensielt være en nokså bærekraftig råvare, sett i forhold til karbonfotavtrykk (5-7 kg CO₂/kg protein) som bidrar til økt sirkularitet. Likevel er det usannsynlig at disse restråstoffene vil kunne bidra i betydelig grad til å dekke fôrbehovet i 2050. (Almås et al., 2020, s. 52-53, 109).

Insekter, børstemark og gammaridaer

Insekter og de lavtrofiske organismene børstemark og gammaridaer kan produseres med biprodukter som næringskilde. For insekter betyr dette at de spiser landbruksavfall som overskuddsfrukt og -grønnsaker, i tillegg til kornrester. Dette gir også økt sirkularitet, da landbruksavfallet blir tatt i bruk som næringsmiddel i stedet for at det kastes. Potensialet kan imidlertid være mye større. I dag er det lover og regler som forbyr muligheten til å benytte matavfall som fôr til insektlarver. Dersom det blir lovlig å benytte matavfall fra industri og storkjøkken kan insekter bidra i mye større grad til økt sirkularitet i økonomien. Inntil videre er imidlertid bidragspotensialet til disse organismene nokså begrenset, så de vil ikke kunne dekke en særlig stor andel av fôrbehovet. (Almås et al., 2020, s. 55, 58, 110).

Både børstemark og gammaridaer kan føres på avfallsstoffer fra fisk og skalldyr. Dagens lovverk begrenser imidlertid denne muligheten grunnet en fryktet risiko for overførsels av TSE. Dersom forskning viser at den reelle faren, ved å gi avfallsstoffer til råstoffer som potensielt vil inngå i føret til matproduserende dyr, er lavere enn fryktet kan gjerne lovverket lettes, og dermed vil børstemark og gammaridaer kunne bidra til en mer sirkulær økonomi. (Almås et al., 2020, s. 62, 65).

6.6 Økonomi er ikke alt

Denne analysen har hovedsakelig lagt vekt på den økonomiske siden av de nye fôrråstoffene. Det har blitt lagt fokus på hvor mye råstoffene potensielt kan dekke av det forventede fôrbehovet i 2050, hvorvidt de kan konkurrere på pris, om de medfører større miljøeksternaliteter og hvorvidt de eventuelt kan bidra til en mer sirkulær økonomi. Dette er imidlertid langt ifra alt som må vurderes før et nytt råstoff kan bli tatt i bruk i lakseføret.

6.6.1 Forskning og utvikling

Flere ganger i løpet av oppgaven har det blitt nevnt at det enten er behov for forskning og utvikling, eller at forskning og utvikling pågår, for flere av råstoffene. Selv om slik forskning også kan gi estimer for produksjonsvolum og kostnader, vil den også avdekke hvor velegnet råstoffene er for anvendelse i lakseføret. Vil de gi samme vekst og kjøttkvalitet for laksen? Hvordan vil fiskevelferden påvirkes? Vil omega-3-fettsyrer fra plantebaserte kilder gi de samme fordelene for fisken og sluttproduktet som ved bruk av marine kilder? Hvordan skal råstoffet høstes og prosesseres for å utvinne næringsstoffene? Dette er alle viktige faktorer som må vurderes, i tillegg til de økonomiske.

6.6.2 Tidsperspektiv

Det er mye tid som gjenstår før vi befinner oss i 2050 – nesten 30 år faktisk. I løpet av denne tiden vil mye kunne skje, for eksempel store utviklinger og fremskritt innen teknologi. Dessuten er det umulig å forutse hvordan markedet vil se ut for de ulike råstoffene; kanskje råstoffet blir aktuelt for en ny type anvendelse slik at etterspørselen plutselig øker mye, og dermed reduseres tilgangen ytterligere, og prisen for råstoffet øker betraktelig. Selv om et råstoff gjerne vurderes som aktuelt nå, basert på dagens data, kan dette gjerne være helt uaktuelt i 2050. Dette gjelder også motsatt vei; noe som er vurdert uaktuelt i dag kan gjerne være en stor bidragsyter i 2050. Dette vil da vise seg med tiden.

Konklusjon

I den samfunnsøkonomiske analysen i det foregående kapittelet ble det funnet at mesopelagisk fisk, marine restråstoffer, trevirke, halm, gras, og hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer vil kunne produseres i Norge, ved et volum som vil kunne bidra betydelig til å dekke fôrbehovet i 2050, det vil si minst 5 % av protein og/eller EPA/DHA-behovet, og til relativt konkurransedyktige priser, sammenlignet med dagens råstoffer. Dette gjelder også pelagisk fisk, som allerede produseres og anvendes i laksefôret.

Med et årlig produksjonsvolum på 5 millioner tonn oppdrettslaks, estimeres det totale fôrbehovet å være på 6 millioner tonn i 2050. Av dette utgjør proteinbehovet 2 millioner tonn, mens behovet for EPA/DHA utgjør 135 tusen tonn. Selv om de ovenfor nevnte råstoffene vil kunne bidra til å dekke en del av dette, skulle denne oppgaven imidlertid også undersøke bærekrafts- og sirkulærpotensialet til de aktuelle råstoffene:

I hvilken grad vil alternative råstoffer til laksefôr, som kan produseres i Norge, kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi?

For å evaluere bærekraften til råstoffene ble det forsøkt å se på eventuelle miljøeksternaliteter som kan oppstå ved produksjonen av disse råstoffene. Dette var det imidlertid svært begrenset tilgang på data og informasjon for, da det er vanskelig å måle miljøeksternaliteter. Dermed ble estimater for karbonfotavtrykkene forbundet med råstoffene det eneste kvantitative sammenligningsgrunnlaget. Basert på dette ble det funnet at inklusjon av norskprodusert mesopelagisk fisk, marine restråstoffer og gras kan bidra til et lavere totalt karbonfotavtrykk for fôret, eller i det minste tilnærmet likt dagens nivå, ettersom disse råstoffene hver for seg har lavere, eller nokså like, karbonfotavtrykk som dagens hovedråstoffer, fiskemel, fiskeolje og soyaproteinkonsetrat.

Videre, ut ifra de råstoffene som er aktuelle for produksjon i Norge, vil anvendelse av marine restråstoffer og produksjon av hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer, som benytter avgass-CO₂ som karbonkilde, kunne bidra til en mer sirkulær økonomi. Begge disse råstoffene representerer muligheter for å resirkulere og gjenbruke avfallsstoffer, og dermed skape mer verdi av ressurser som ellers uansett ville blitt destruert eller forsvunnet opp i atmosfæren. Det må likevel merkes at produksjonen av mikroorganismene er

forbundet med et nokså høyt karbonfotavtrykk (27 kg CO₂/kg protein), så selv om de kan gi økt sirkularitet i økonomien, vil de ikke kunne kalles et særlig bærekraftig råstoff. Dette karbonfotavtrykket er mange ganger høyere enn for dagens råstoffer, som er inntil 6 kg CO₂/kg protein for et enkelt råstoff (soya).

Det er lite sannsynlig at laksefôret kun vil bestå av norske råstoffer. Dermed kan man også øke sirkulariteten ved å velge importerte råstoffer som resirkulerer eller gjenbraker brukte råvarer og materialer. Dette gjelder blant annet produksjon av insekter, som benytter landbruksavfall som fôr, og som potensielt også kan utnytte matavfall som fôr, i tillegg til gammaridaer og børstemark, som kan ta til seg næring av avfallsstoffer fra fisk- og skalldyrindustrien. Både insekter og gammaridaer kan teknisk sett produseres i Norge, men produksjonspotensialet i Norge er mye lavere enn det globale, som også her forholdsvis lavt. Dermed vil disse organismene kun kunne bidra i nokså begrenset grad i laksefôret, så eventuell utnyttelse vil kreve at det gjennomføres betraktelig forskning og utvikling som kan oppskalere det internasjonale produksjonspotensialet. Endringer i lovverket angående bruk av matavfall og avfallsstoffer vil også være nødvendig, dersom disse råstoffene i praksis skal kunne bidra til en mer sirkulær økonomi.

Som det har blitt nevnt et par ganger kommer mye av det totale karbonfotavtrykket forbundet med dagens laksefôret fra fremstilling av mikroingredienser, slik som vitaminer og mineraler. Det kreves mye energi for å utvinne disse mikroingrediensene, men det er likevel ikke foreslått noen endringer i denne oppgaven som eventuelt kan redusere karbonfotavtrykket forbundet med fremstillingen av disse. Derfor, skal man kunne gjøre fôret betraktelig mer bærekraftig, vil det være viktig å undersøke hvordan man kan utvinne mikroingredienser på en mindre energiintensiv måte. Det burde derfor settes i gang forskning innen dette, slik at fôret i 2050 kan bli mer bærekraftig enn dagens.

Alt i alt kan det konkluderes med at alternative fôrråstoffer, produsert i Norge, vil potensielt kunne bidra til en mer bærekraftig og sirkulær økonomi, men kun i en begrenset grad. Det vil fortsatt være nødvendig å anvende importerte råvarer i 2050, men norske råstoffer kan bidra med en ganske stor andel, gitt at mer forskning og utvikling gjennomføres for de aktuelle råstoffene. Likevel er det lenge til 2050, så det er heldigvis enda god tid til å forbedre fôret og utnyttelsen av råstoffer.

Referanseliste

- Aas, T. S., Ytrestøyl, T., & Åsgård, T. (2019). Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports*, 15, 100216. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100216>
- Abrahamsen, U., Uhlen, A. K., Waalen, W., & Stabbetorp, H. (2019). Muligheter for økt proteinproduksjon på kornarealene. I 160-169. NIBIO. Hentet fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2605814>
- Almås, K. A. (red.), Josefsen, K. (red.), Gjøsund, S. H., Skjermo, J., Forbord, S., Jafarzadeh, S., Sletta, H., Aasen, I., Hagemann, A., Chauton, M. S., Aursand, I., Evjemo, J. O., Slizyte, R., Standal, I. B., Grimsmo, L., & Aursand, M. (2020). *Bærekraftig fôr til norsk laks* (2020:01128). SINTEF Ocean AS.
- Amundsen, B. (2013, august 14.). *Håper på drivstoff og fiskefôr fra sjøpung*. Hentet fra: <https://forskning.no/a/626448>
- Asher, C. (2019, april 3.). *Brazil soy trade linked to widespread deforestation, carbon emissions*. Hentet fra: <https://news.mongabay.com/2019/04/brazil-soy-trade-linked-to-widespread-deforestation-carbon-emissions/>
- Bellona. (2020). *Bærekraftig havbruk 2030: Tiltak for havbrukssektoren frem mot 2030*. Bellona.
- Berge, A. (2018, januar 2.). *Tungt fall for Norges markedsandel i laks*. Hentet fra: <https://ilaks.no/tungt-fall-for-norges-markedsandel-i-laks/>
- Biology Dictionary. (2018, desember 17). *Zooplankton*. Hentet fra: <https://biologydictionary.net/zooplankton/>

Bjordal, Å., & Wiech, M. (2020, mai 15.). *Mesopelagisk fiskeri – klart for gjennombrudd?*

Havforskningsinstituttet. Hentet fra:

<https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/mai/mesopelagisk-fiskeri-klart-for-gjennombrudd>

Bollestad, O. (2021, april 15.). *Svar på skriftlig spørsmål om selvforsyningsgraden*. Hentet

fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/svar-pa-skriftlig-sporsmal-om-selvforsyningsgraden/id2844792/>

Butler, R. A. (2020a). *Calculating Deforestation Figures for the Amazon*. Hentet fra:

https://rainforests.mongabay.com/amazon/deforestation_calculations.html

De forente nasjoner. (2016). *Goal 12: Ensure sustainable consumption and production*

patterns. Hentet fra: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>

De forente nasjoner. (2020). *World Population Day*. Hentet fra:

<https://www.un.org/en/observances/world-population-day>

Dybdal, S. E. (2020, mai 15.). *Matsikkerhet på dagsordenen*. Hentet fra:

<https://www.nibio.no/nyheter/matsikkerhet-pa-dagsordenen>

Economics Online. (2020, januar 17.). *Negative externalities*. Hentet fra:

https://www.economicsonline.co.uk/Market_failures/Externalities.html

Ellen MacArthur Foundation & Granta Design. (2015). *Circularity Indicators: An*

Approach to Measuring Circularity (Methodology). Hentet fra:

https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Methodology_May2015.pdf

Erko Seafood. (u.å.). *Laksens livssyklus*. Hentet 23. april 2021, fra

<https://erkoseafood.no/laks/>

- Fehlenberg, V., Baumann, M., Gasparri, N. I., Piquer-Rodriguez, M., Gavier-Pizarro, G., & Kuemmerle, T. (2017). The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global Environmental Change*, 45, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001>
- Fiskeribladet. (2018, oktober 21.). *Nå tester Nordlaks ut fôr fra insektmel*. Hentet fra: <https://www.fiskeribladet.no/nyheter/na-tester-nordlaks-ut-f-r-fra-insektsmel/8-1-63030>
- Fiskeridirektoratet. (2020a). *Laks, regnbueørret og ørret—Matfiskproduksjon: Salg 1994-2019*. Hentet fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Matfiskproduksjon>
- Fiskeridirektoratet. (2020b). *Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskproduksjon: Fôrpris pr kg 2008-2019*. Hentet fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- Fiskeridirektoratet. (2020c). *Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskproduksjon: Kostnad pr Kg 2008-2019*. Hentet fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO). (1998). *Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews*. Hentet fra: <http://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm>
- Graziano da Silva, J. (u.å.). *Feeding the World Sustainably*. United Nations. Hentet 24. april 2021, fra: <https://www.un.org/en/chronicle/article/feeding-world-sustainably>

Institutt for biovitenskap. (2021b, februar 14.). *Autotrof*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/a/autotrof.html>

Institutt for biovitenskap. (2019a, september 7.). *Fermentering*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/f/fermenter.html>

Institutt for biovitenskap. (2019b, november 13.). *Halm*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/h/halm.html>

Institutt for biovitenskap. (2021a, februar 14.). *Heterotrof*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/h/heterotrof.html>

Institutt for biovitenskap. (2020a, februar 26.). *Hydrolyse*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/h/hydrolyse.html>

Institutt for biovitenskap. (2020b, oktober 22.). *Karotenoider*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/k/karotenoid.html>

Institutt for biovitenskap. (2020d, juli 13.). *Kjemolitotrofe*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/k/kjemolitotrofe.html>

Institutt for biovitenskap. (2020c, november 18.). *Sukker*. Hentet fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/sukker.html>

Johansson, A. (2020, mars 24.). *COVID-19: A Catalyst for Greater Food Self-Sufficiency?*

Hentet fra: <https://mycorena.com/covid-19-a-catalyst-for-greater-food-self-sufficiency>

Kildahl, K. (2020, mai 15.). *Ferske tal om norsk sjølvforsyning*. Hentet fra:

<https://www.nibio.no/nyheter/ferske-tal-om-norsk-sjolvforsyning>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Kopp, C. M. (2020, juli 3.). *Business Models*. Hentet fra:
<https://www.investopedia.com/terms/b/businessmodel.asp>
- Kraugerud, R. L. (2019, september 2.). *Omega-3-nivået i fôret er viktig for laksens velferd*. Nofima. Hentet fra: <https://nofima.no/nyhet/2019/09/omega-3-nivaet-i-foret-er-viktig-for-laksens-velferd/>
- Kyst.no. (2007, desember 7.). *Laksen blir hva den spiser—Kyst.no*. Hentet fra:
<https://www.kyst.no/article/laksen-blir-hva-den-spiser/>
- Labora. (2019, april 1.). *Stamfisk, settefisk eller matfisk?* Hentet fra:
<https://labora.no/aktuelt/stamfisk-settefisk-eller-matfisk/>
- Laksefakta. (2018a). *Slakting av oppdrettslaks*. Hentet fra:
https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/slakting_av_oppdrettslaks/
- Laksefakta. (2018b). *Soya og laksefôr*. Hentet fra: <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/soya-og-laksefor/>
- Landbruksalliansen. (2013, mars 5.). *Ulike mål på selvforsyning*.
<http://landbruksalliansen.no/2013/03/05/ulike-mal-pa-selvforsyning/>
- Lindberg, D., Aaby, K., Borge, G. I. A., Haugen, J.-E., Nilsson, A., Rødbotten, R., & Sahlstrøm, S. (2016). *Kartlegging av restråstoff fra jordbruket* (Nr. 67/2016; s. 46). Nofima.
- Matprat. (2021, mars 15.). *Norsk selvforsyning og matsikkerhet – hvorfor er det så viktig?* Hentet fra: <https://www.matprat.no/artikler/matproduksjon/norsk-selvforsyning-og-matsikkerhet--hvorfor-er-det-sa-viktig/>
- Mowi. (2020). *Salmon Farming Industry Handbook 2020*. Hentet fra:
<https://corpsite.azureedge.net/corpsite/wp-content/uploads/2020/06/Mowi-Salmon-Farming-Industry-Handbook-2020.pdf>
- NOU 2019:18. (2019). *Skattelegging av havbruksvirksomhet*. Oslo: Finansdepartementet.

- Nærings- og fiskeridepartementet. (2019, mars 13.). *Plankton kan bli ny industri*. regjeringen.no. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/plankton-kan-bli-ny-industri/id2632217/>
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2018). *Microeconomics* (Ninth edition). Harlow: Pearson Education Limited.
- Regnskogfondet. (2020, desember 8.). *Norwegian salmon company excludes Brazilian soy due to deforestation risk*. Hentet fra: <https://www.regnskog.no/en/news/norwegian-salmon-company-excludes-brazilian-soy-due-to-deforestation-risk>
- Richards, P. D., Walker, R. T., & Arima, E. Y. (2014). Spatially complex land change: The Indirect effect of Brazil's agricultural sector on land use in Amazonia. *Global Environmental Change*, 29, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.011>
- Richardsen, R., Myhre, M. S., & Tyholt, I. L. (2019). *Nasjonal betydning av sjømatnæringen: En verdiskapings- og ringvirkningsanalyse med data fra 2017 og 2018* (2019:00469). SINTEF Ocean AS og SINTEF Community.
- Riis, C., & Moen, E. R. (2017). *Moderne mikroøkonomi* (4. utgave). Oslo: Gyldendal Akademisk.
- SalMar ASA. (u.å.). *Oppdretts ABC*. Hentet 23. april 2021, fra: <https://www.salmar.no/oppdrettens-abc/>
- Soltveit, T. (2020, mars 3.). *Runde to med fisk i havfarmen viser svært gode resultater*. Hentet fra: <https://www.kyst.no/article/runde-to-med-fisk-i-havfarmen-viser-svaert-gode-resultater/>
- Statistisk sentralbyrå. (2021, april 21.). *Eksport av laks*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/utenriksokonomi/utenrikshandel/statistikk/eksport-av-laks>

Steinset, T. A. (2020, mai 18.). *Oppdrettslaks til heile verda*. Hentet fra:

<https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/oppdrettslaks-til-heile-verda>

Store norske leksikon. (2020). *Detritus*. Hentet fra: <http://snl.no/detritus>

The Explorer. (u.å.). *Moving fish farms out to sea*. Hentet 7. mai 2021, fra

<https://www.theexplorer.no/solutions/ocean-farm-1--moving-fish-farms-out-to-sea/>

The Soybean Processors Association of India. (2020). *World Soybean Production*. Hentet

fra: <http://www.sopa.org/statistics/world-soybean-production/>

The World Bank Group. (2021, april 13.). *Food Security and COVID-19*. Hentet fra:

<https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/food-security-and-covid-19>

Tveterås, R., Hovland, M., Reve, T., Misund, B., Nystøyl, R., Bjelland, H. V., Misund, A., & Fjelldal, Ø. (2020). *Verdiskapingspotensiale og veikart for havbruk til havs*. Stimm Aqua Cluster.

Tveterås, R., Reve, T., Haus-Reve, S., & Misund, B. (2019). *En konkurransedyktig og kunnskapsbasert havbruksnæring*. Handelshøyskolen BI.

Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (u.å.). Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*.

Ytrestøyl, T., Aas, T. S., & Åsgård, T. (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448, 365–374.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.023>