

Bruk av spillvarme til dyrking og prosessering av andemat *Lemna minor* i Midt-Norge

En bærekraftig proteinkilde til fiske- og dyrefôr

Åsa Maria Espmark, Ingrid Lein, Anne Kjersti Bakken, Gerd Marit Berge, Anne-Kristin Løes, Atle Wibe, Øistein Høstmark, Eyolf Langmyhr, Børre Olsen, Knut Måløy, Ivar Bakken, Jørund Kvande, Per Helge Malvik og Georg Tvedt





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 470 ansatte. Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på seks ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra, Averøy og Tromsø.

Hovedkontor Tromsø
Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø
Tlf.: 77 62 90 00
Faks: 77 62 91 00
E-post: nofima@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Rapport

 ISBN: 978-82-7251-951-2 (trykt)
 ISBN: 978-82-7251-952-9 (pdf)

 Rapportnr.:
 3/2012

 Tilgjengelighet:
Åpen

<i>Tittel:</i> Bruk av spillvarme til dyrking og prosessering av andemat i Midt-Norge En bærekraftig proteinkilde til fiske- og dyrefôr	<i>Dato:</i> 16. januar 2012
<i>Forfatter(e):</i> Åsa Maria Espmark, Ingrid Lein, Anne Kjersti Bakken, Gerd Marit Berge, Anne-Kristin Løes, Atle Wibe, Øistein Høstmark, Eyolf Langmyhr, Børre Olsen, Knut Måløy, Ivar Bakken, Jørund Kvande, Per Helge Malvik, Georg Tvedt	<i>Antall sider og bilag:</i> 51
<i>Oppdragsgiver:</i> Regionalt forskningsfond	<i>Prosjektnr.:</i> 21218 <i>Oppdragsgivers ref.:</i> 208985
<i>Tre stikkord:</i> Andemat, spillvarme, proteinkilde	
<i>Sammendrag:</i> <p>Motivasjonen for prosjektet var å legge grunnlag for en kommersiell satsing på å bruke spillvarme i en bærekraftig dyrking og prosessering av andemat i Midt-Norge, for bruk i kommersielle fiske- og dyrefôr samt å initiere et Midt-norsk og blå-grønt samarbeid mellom industri og FoU. Sunndal Energi arbeider for å finne gode prosjekter som kan utnytte spillvarme kommersielt. Formålet var derfor å legge grunnlag for en kommersiell satsing på å bruke spillvarme i en bærekraftig dyrking og prosessering av andemat i Midt-Norge, for bruk i kommersielle fiske- og dyrefôr. Rapporten tar for seg faglige vurderinger av alternative dyrkingsmetoder, næringsinnhold i andemat, husdyrgjødsel og biorest som næringsmedium, og metoder for avvanning og tørking. I tillegg blir det foretatt en vurdering av lønnsomhet.</p> <p>Rapporten konkluderer med at en helårsproduksjon av andemat vil kreve investeringer i dyrkingsfasiliteter og energi til lys og klimaregulering, og at dette kan bli kostbart. Utfra næringssammensetning kan andemat brukes som relevant råvare dersom tilstrekkelig kvantum er tilgjengelig. For å dyrke andemat kan en kombinasjon av fiskeslam fra ferskvannsbaserte anlegg og blautgjødsel fra storfe være gunstig for andemat, siden dette vil øke innholdet av P, som ser til å kunne bli det begrensende næringsstoffet hvis kun husdyrgjødsel brukes som næringskilde. Fiskeslam fra saltvannsbasert oppdrett er for salt. Andemat krever mye avvanning. Mekanisk avvanning etterfulgt av et tørkesystem basert på mekanisk fluidisering under tørkeprosessen (paddeltørke), eventuelt et ringtørke- system vil trolig bli den mest effektive metoden. De økonomiske analysene viser at det er utfordrende å oppnå lønnsomhet i dyrking og prosessering av andemat til førformål.</p>	

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for prosjektet	1
1.2	Hvorfor andemat?	1
1.3	Utfordringer	2
1.3.1	FoU-utfordring	2
1.3.2	Utfordringer med tilgang på egnede proteinkilder til fôr	3
1.3.3	Utfordring med andemat som proteinkilde	3
1.3.4	Utfordringer med dyrkingsmetoder	4
1.3.5	Utfordringer med slam/biogass som næringsmedium	4
1.4	Utfordringer med avvanning og tørking av andemat	5
1.4.1	Økonomiske og markedsmessige utfordringer	5
1.5	Metode	5
1.6	Mål	6
1.6.1	Delmål	6
2	Vurdering av dyrkingsmetoder	7
2.1	Teoretisk og realisert produksjonspotensial hos andemat	7
2.2	Behov for tilleggslys i en norsk helårsproduksjon	8
2.3	Behov for oppvarming/kjøling i en helårsproduksjon	10
2.4	Næringsforsyning	10
2.5	Utfordringer med vekst av alger og andre uønskede organismer i kulturen	11
2.6	Aktuelle arealer og typer produksjonsanlegg	11
2.6.1	Produksjonshall til helårsdyrking	11
2.6.2	Utendørsanlegg til produksjon i mai-september	12
2.7	Forskningsbehov på kort og lang sikt	12
3	Vurdering av næringsinnhold	13
3.1	Næringsverdi for fisk og andre dyr	15
3.2	Spesielle muligheter	16
3.3	Andre forhold	17
3.4	Konklusjon	17
4	Vurdering av slam/biogass som næringsmedium	18
4.1	Litt om andemat: Biologi, voksesteder, og praktisk bruk	18
4.2	Næringsinnhold i planten, og krav til næringsinnhold i vekstmediet	19
4.3	Forsøk med dyrking av andemat på Tingvoll 2011	21
4.3.1	Metode	21
4.3.2	Observasjoner underveis	24
4.3.3	pH målinger	25
4.3.4	Tørrstoffproduksjon	25
4.3.5	Veksthastighet	26
4.3.6	Næringsinnhold	27
4.4	Hvor godt utnyttet andematen næringen i gjødsla?	29
4.5	Hvordan kan fiskeslam egne seg som gjødsel for andemat?	29
4.6	Mulige opplegg for dyrking av andemat under norske forhold	30
4.7	Konklusjoner	31
5	Vurdering av metoder for avvanning og tørking	32
5.1	Prosesseringsmuligheter med andemat	32
5.1.1	Mekanisk avvanning	32

5.1.2	Termisk avvanning	33
5.1.3	Elektroosmose	34
5.1.4	Spillvarme fra Sunndal Energi	34
5.2	Undersøkelse av prosessmuligheter	36
5.2.1	Kompresjonstest i juni	36
5.2.2	Forsøk med ostepresse i august	36
5.3	Konklusjon	39
5.4	Videreføring	39
6	Økonomisk beregning av lønnsomhet	40
6.1	Investeringer	41
6.2	Driftsinntekter	42
6.3	Driftskostnader	42
6.4	Lønnsomhetsberegninger	44
6.5	Følsomhetsanalyser	45
6.5.1	Pris på andematmel	45
6.5.2	Pris pr kWh til oppvarming (av vann / anlegg)	45
6.5.3	Investering i produksjonsanlegg	45
6.6	En "modifisert" følsomhetsanalyse	45
6.7	Konklusjon	47
7	Referert litteratur	48

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Motivasjonen for prosjektet var å legge grunnlag for en kommersiell satsing på å bruke spillvarme i en bærekraftig dyrking og prosessering av andemat i Midt-Norge, for bruk i kommersielle fiske- og dyrefôr samt å initiere et Midt-norsk og blå-grønt samarbeid mellom industri og FoU. Sunndal Energi arbeider for å finne gode prosjekter som kan utnytte spillvarme kommersielt. En kontrollert produksjon og prosessering av andemat til dyre- og fiskefôr basert på bruk av spillvarme kombinert med bruk av slam fra oppdrett eller gass fra biogassanlegg vil være et miljøvennlig alternativ til mange av dagens fôrråstoff. Prosjektet la opp til en tverrfaglig FoU-aktivitet som både ville gi de involverte institusjonene ny kunnskap, og bidra til videre samarbeid innen fagområdene ut over prosjektperioden. Sunndal Næringssselskap og PIFF Sunndal arbeider for å skape ny aktivitet i Sunndal, og har som mål at forprosjektet skal resultere i oppstart av kommersiell produksjon og prosessering av andemat.

Det overordnede målet med prosjektet var å utnytte tilgangen på spillvarme i Midt-Norge til en bærekraftig utvikling i matproduksjonen i regionen. Dette kan oppnås gjennom å utnytte biologisk restavfall fra akvakultur og landbruk sammen med spillvarme til lokal produksjon av fôrråvarer. Målet var å utvikle metodikk for en forutsigbar produksjon av andemat med høyt og stabilt næringsinnhold, og en energiøkonomisk metodikk for tørking av andemat hvor næringstapet under tørkeprosessen minimeres. Det var ønskelig at forprosjektet skulle resultere i en større satsing på Sunndalsøra hvor det skulle bygges et anlegg i semi-kommersiell skala for produksjon og prosessering av andemat i forsknings- og utviklingsøyemed. En forutsigbar produksjon av andemat med hensyn til mengde og kvalitet er en forutsetning for at produktet skal være av interesse for kommersielle fôrprodusenter. En positiv konklusjon med hensyn til produksjon og prosessering vil gi grunnlag for utnyttelse av de mange spillvarmekildene som finnes i Midt-Norge (Hydro Aluminium Sunndal, Norske Skog, Skogn, Statoil på Tjeldbergodden). Andemat er en proteinkilde som kan benyttes som ingrediens i fôr både til fisk og andre dyr i oppdrett, og en kommersiell produksjon av andemat kan redusere belastningen på marine proteinkilder.

1.2 Hvorfor andemat?

Andemat er en vannplante som vokser vilt og produseres over store deler av verden. Planten har et stort vekstpotensial, og under gunstige dyrkingsforhold kan en høste ca 2,4 tonn tørrstoff av andemat per dekar/år. Biologien hos andemat er godt undersøkt, men det er behov for oppskalering og optimalisering av produksjonsmetodene for at dette skal bli kommersielt interessant. Det er også behov for å klarlegge om bruk av spillvarme som varmekilde, og dyrking under kontrollerte forhold vil gjøre andemat økonomisk bærekraftig som ingrediens i kommersielle fiske- og dyrefôr. Andemat er benyttet i fôr til enkelte fiskearter som karpe (Kalita et al., 2008) og tilapia (Peters et al., 2009), men den dyrkes da under andre klimatiske forhold enn de som finnes i vår landsdel. Andemat har et usedvanlig stort produksjonspotensial per dekar sammenlignet med andre planter som dyrkes i vår

landsdel, men næringsinnholdet varierer betydelig avhengig av dyrkingsforholdene. Andemat absorberer effektivt næringsstoffer fra vann (Ferdoushi et al., 2008). I forsøk med bruk av andemat i fôr til husdyr er det undersøkt om planten kan brukes som bærer for ernæringsmessige viktige mineraler (Chojnacka 2006) siden organiske former av mineraler ofte har høyere tilgjengelighet enn uorganiske former. Andemat er lite undersøkt med tanke på andre komponenter enn hovednæringsstoffer, men det finnes undersøkelser som antyder at andemat kan inneholde både viktige antioksidanter og andre bioaktive stoffer (Gulcin et al., 2010). Man skal imidlertid være oppmerksom på at evnen til å ta opp store mengder næringsstoff også gjelder uønskede elementer, som tungmetaller (Bjørndahl, 1985 s 64-65). Det er viktig å utvikle produksjonsmetoder som sikrer et stabilt næringsinnhold.

Andemat inneholder store mengder vann sammenlignet med andre planter som er vanlige i landbruket. For at andemat skal bli interessant som ingrediens i kommersielle fôr er det derfor nødvendig å utvikle effektive og energiøkonomiske metoder for avvanning som både omfatter mekaniske og termiske avvanningsmetoder. Kommersielle aktører innen fôrindustri og annen industri benytter i dag ulike teknikker, men det er ikke klarlagt hvilke metoder som er best egnet for andemat. I tillegg til å være energiøkonomisk må tørkemethoden som velges også medføre minst mulig tap av næringsstoffer under tørkeprosessen. Spillvarmen fra Hydro Aluminium i Sunndal har en høy temperatur (ca 80°C), noe som gjør at den kan være egnet til bruk i tørkeprosessen. Kunnskap om bruk av industriell spillvarme kan ha overføringsverdi til biogassanlegg, der produksjon av strøm medfører spillvarme.

Det kommer stadig krav om at større deler av fiskeproduksjonen må flyttes på land, og bruk av landbasert smoltoppdrett i resirkuleringsanlegg vil trolig bli vanligere framover. Dette innebærer store mengder biologisk restavfall i form av fôrrester og gjødsel. I et slikt anlegg kan man regne med restavfall i et omfang tilsvarende 0,25 kg tørrstoff pr kg fôr brukt i anlegget. Til nå har bruk av dette avfallet vært lite diskutert. Bruk av det biologiske restavfallet som næringsstoff i produksjonen av andemat eller andre planter kan være en god metode for gjenbruk av avfallet.

1.3 utfordringer

1.3.1 FoU-utfordring

Midt-Norge har stor tilgang på uutnyttet energi i form av spillvarme. Midt-Norge er også størst på akvakultur i Norge, og landbruket i regionen kan være interessert i alternative produksjoner. Stadig strengere krav til utslipp fra oppdrettsanlegg vil føre til at en større del av produksjonen blir flyttet til landbaserte anlegg med resirkulasjonsteknologi, noe som igjen vil føre til en større andel biologisk restmateriale uten definert bruksområde. Gjennom å kombinere behov og ressurser innen de ulike sektorene kan vi utvikle en helt ny produksjon som kan bidra til lokalt produserte og kortreiste proteinråvarer til fiske- og dyrefôr, og som kan bidra til en økologisering av matproduksjonen i regionen gjennom å utnytte biologisk restavfall fra både oppdrett og landbruk og redusere bruken av fiskeprotein i fôret til fisk og andre dyr. De store spillvarmeressursene fra Hydro Aluminium Sunndal, sammen med det nyoppførte resirkulasjonsanlegget for fisk hos Nofima Sunndalsøra, vil være sentrale i gjennomføringen av både forprosjekt og en eventuell videre satsing. Dersom konklusjonen i

dette forprosjektet er positiv, vil dette danne grunnlag for en større satsing på en produksjon og prosessering av andemat på Sunndalsøra. Den planlagte aktiviteten på Sunndalsøra vil da omfatte en betydelig andel forskning og utvikling som skal kunne legge forholda til rette for oppbygging av produksjonsanlegg for andemat nær bedrifter med overskudd av spillvarme (smelteverk, biogassanlegg o.s.v.).

Behovet for forskning knyttet til bruk av andemat som føringrediens kan skisseres i følgende punkter:

- Grundigere vurdering av næringsinnhold i norskprodusert andemat
- Fordelaktige bioaktive komponenter
- Antinæringsstoff; kartlegging av problematiske komponenter
- Tilgjengelighet og fordøyelighet av næringsstoff i ulike kvaliteter av andemat
- Smakelighet, effekt på forinntak
- Effekt på tilvekst (med realistiske innblandingsnivå) for ulike aktuelle arter
- Innhold av toksiske metall
- Innhold av miljøgifter
- Pilotforsøk med dyrking av andemat i felt, der fjernvarme brukes til å utvide vekstsesongens lengde

1.3.2 utfordringer med tilgang på egnede proteinkilder til fôr

Oppdrett av laks er den husdyrproduksjonen som vokser raskest, og som har størst behov for nye og alternative råvarer. Laks er en carnivor fisk (rovfisk), og har behov for et relativt høyt innhold av protein i fôret. Tradisjonelt har laksefôr vært basert på fiskemel, som er en begrenset ressurs. Akvakultur bruker per i dag over 60 % av total produksjon av fiskemel i verden, gris bruker 25 % av total produksjon mens kylling bruker 8 % (data fra The International Fishmeal and Fish Oil Organisation (IFFO)). I et bærekraftperspektiv er det ønskelig at mest mulig fangstet fisk skal brukes direkte til humant konsum, og hvis produksjonen av fisk og andre husdyr skal øke, er det viktig å ha alternative proteinfôrmidler. For at alternative ingredienser skal være aktuelle i praksis, må de ha et tilfredsstillende innhold av tilgjengelige næringsstoffer, de må være tilgjengelige i store nok kvanta, og prisen må være konkurransedyktig.

1.3.3 utfordring med andemat som proteinkilde

Andemat har lavt innhold av protein sammenlignet med andre vegetabiliske proteinråvarer som soya, canola og erteprotein, som alle ligger i området 40-50 % råprotein (Tab 3.3). Enkeltreferanser oppgir mulighet for å oppnå 40-43 % protein ved dyrking under optimale forhold og med svært næringsrikt substrat, men det er realistisk å regne med noe lavere, omkring 28-35 %. Skal andemat være konkurransedyktig som proteinkilde, bør

proteininnholdet være så høyt at prisen per enhet protein ikke er altfor forskjellig fra andre alternativer.

1.3.4 utfordringer med dyrkingsmetoder

Hovedutfordringen når det gjelder dyrkingsmetoder vil være å finne system med lave nok investerings- og driftskostnader. De avlingene en forventer å kunne ta ut, vil få en høy enhetspris både når det gjelder protein og tørrstoff.

De fleste tekniske og praktiske utfordringene vil være mulig å løse først med forskningsinnsats, og seinere investeringer i reguleringsteknikk, doseringssystem for næringstilførsel, lys og kjøleanlegg, men uten en svært stor økning i markedsverdien på produktet vil slike framtidige produksjonsanlegg ikke være lønnsomme.

En må finne løsninger eller svar på følgende konkrete spørsmål:

- Hva er optimale kombinasjoner av temperatur (i luft og dyrkingsmedium), lysnivå og næringstilførsel (total konsentrasjon/osmotisk trykk i mediet og forholdet mellom ulike næringsstoffer)
- Hvilke krav stiller andemat til innhold av oksygen og karbondioksid/karbonat i dyrkingsmedium og atmosfære
- Hvordan begrense eller forebygge vekst av alger og andre uønska organismer i andematkulturen uten at det hemmer veksten av andematen
- Hva er optimal høstefrekvens/plantetetthet og høsteteknikk
- Hvor og hvordan praktisk bygge dyrkingssystem som legger til rette for en lønnsom produksjon, enten gjennom minimerte (svært låge) kostnader eller maksimalt produksjonsnivå ut fra hva som er biologisk mulig.

1.3.5 utfordringer med slam/biogass som næringsmedium

Et enkelt forsøk sommeren 2011 viste at andemat vokste godt på vann tilsatt blautgjødning. Biorest (anaerobt gjæret husdyrgjødning) ga betraktelig mindre vekst. En fordel med organisk næring, som husdyrgjødning, er at den ser ut til å være godt tilpasset næringsbehovet til andemat. For husdyrgjødning kan det se ut til at fosfor kan være det næringsstoffet det raskest vil bli mangel på. Slam fra saltvannsbasert oppdrett vil ikke egne seg til dyrking av andemat, da saliniteten vil bli for høy. Slam fra ferskvannsbaserte smoltanlegg inneholder for lite kalium til å egne seg som næringskilde til andemat. En blanding av husdyrgjødning og slam fra ferskvannsbasert oppdrett kan være et egnet substrat som det ville være nyttig å prøve ut. I en periode med gode vekstbetingelser- høy temperatur, godt med lys og god næringstilgang – oppnådde vi høy veksthastighet for andemat dyrket på Tingvoll. Proteininnholdet ble også betydelig, hele 44 %. Dette viser at planten kan ha et stort potensial for proteinproduksjon hvis forholdene legges til rette.

Hvis andemat skal dyrkes utendørs kreves areal, som ikke bør være eksponert for kraftig vind.

1.4 utfordringer med avvanning og tørking av andemat

Med kun ca 5 % tørrstoff i høstet andemat vil det stille spesielle krav til kostnadseffektive avvanningsmetoder for å oppnå et lagringsstabil produkt. Kostnadene med industriell vannfjerning vil være avhengig av hvilken teknologi og enhetsoperasjoner som benyttes i prosessen. Termisk avvanning er mer kostnadskrevenne enn mekanisk avvanning i en industriell prosess. Før termisk avvanning starter i en konveksjonstyrke basert på varmluft, bør tørrstoffinnholdet i massen av andemat som tilføres tørken minst ha nådd 35-40 % for et produkt som skal benyttes som ingrediens i fôr. Innledende laboratorieforsøk tyder på at dette kan være mulig, men utfordringen blir å oppnå tilsvarende industrielt. I kapittel 5 er alternative metoder for avvanning og kostnader nærmere beskrevet og diskutert.

1.4.1 Økonomiske og markedsmessige utfordringer

Økonomiske analyser som er utført, viser at det er utfordrende å oppnå lønnsomhet i dyrking og prosessering av andemat til fôrformål. For å ha berettiget håp om å oppnå tilfredsstillende lønnsomhet, må *minst en* av følgende karakteristika være oppfylt:

- Investeringer må være "lave". Det er svært utfordrende å oppnå lønnsomhet i intensiv dyrking, men også utfordrende å oppnå lønnsomhet ved ekstensiv dyrking.
- Arbeidsforbruket må minimeres gjennom utvikling av egnet produksjons- og høstingsteknologi.
- Andemat-dyrking bør foregå i umiddelbar nærhet til spillvarmekilde; dette for å minimere investeringer knyttet til transport av spillvarme.
- Det må tilstrebes å finne anvendelser/markeder for andemat som er mer betalingsvillig enn markedet for fôrprodukter.

1.5 Metode

I forprosjektet var det ikke lagt opp til praktisk forsøksarbeid. Rapporten omhandler derfor i hovedsak litteraturstudier og annen kunnskapsinnsamling og –tolkning. Det er imidlertid utført små enkeltforsøk (dyrking, analyse av næringsinnhold, utvanning/tørking) som er nærmere beskrevet i sine respektive kapitler.

Prosjektgruppen angrep oppgaven tverrfaglig. Prosjektgruppen besto av ulike FoU-miljøer som har kunnskap om og erfaring med dyrking av andemat (Bioforsk Midt-Norge), økologisk produksjon (Bioforsk Økologisk), vurdering av næringsinnhold, avvanning og tørking av fôrråstoff (Nofima) og økonomi (PIFF og Høyskolen i Nord-Trøndelag). Spillvarmeleverandøren Sunndal Energi gikk inn med kunnskap om spillvarme. Landbruk Nordvest fungerte som en lokal diskusjonspartner med planteproduksjonskompetanse.

Grønn Forskning var en av initiativtakerne til prosjektet og representerer landbruksnæringas kunnskap og behov i hele Midt-Norge.

I løpet av prosjektperioden er det avholdt 2 prosjektgruppemøter (10. mars 2010 og 23. juni 2011). Begge møtene er avholdt i lokalene til Sunndal Energi på Sunndalsøra. Under følger referat fra de to møtene.

1.6 Mål

Prosjektet skal legge grunnlag for en kommersiell satsing på å bruke spillvarme i en bærekraftig dyrking og prosessering av andemat i Midt-Norge, for bruk i kommersielle fiske- og dyrefôr

1.6.1 Delmål

- Klarlegge potensialet for helårig produksjon og prosessering av andemat i Midt-Norge ved bruk av spillvarme
- Klarlegge om biologisk restmateriale fra landbasert oppdrett eller fra landbruk kan benyttes som næringsstoffer i produksjonen av andemat
- Utrede ulike alternativer for prosessering (avvanning, spillvarmeutnyttelse med mer) av andemat til bruk i fiske- og dyrefôr
- Evaluere egnetheten av andemat som fôringrediens basert på tilgjengelig kunnskap om næringsinnhold
- Klarlegge produksjonskostnadene ved ulike dyrkingsalternativer (helårig, friland/drivhus, spillvarme/naturlig temperatur, kunstig lys/naturlig lys etc)
- Klarlegge om andemat kan konkurrere med andre proteinkilder i fiske- og dyrefôr

2 Vurdering av dyrkingsmetoder

2.1 Teoretisk og realisert produksjonspotensial hos andemat

I småskala dyrkingsforsøk på Bioforsk Midt-Norge i Stjørdal er det oppnådd tilvekstrater i småskaladyrking på maksimalt 0,17 g tørrstoff /g tørrstoff og dag (Langerud, 2012). I de fleste forsøkene i kar utendørs og i veksthus låg tilveksten under dette.

I sjudagers laboratoriekulturer med lysnivå på $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ oppnådde Driever *et al.* (2005) maksimalt 0,3 g/g og dag. Det var ved en plantetetthet på 9 g tørrvekt per m^2 dyrkingsareal. Ved høyere tetthet avtok veksten. Ved ekstrapolering fra funksjonen for sammenheng mellom tetthet og vekstrate kom de til den at den maksimale tilvekstraten teoretisk var 0,41 g/g og dag. Hodgson (1970) og Szabó *et al.* (2003) har målt rater over 0,3. I det sistnevnte arbeidet er det usikkert om det er *Lemna minor* eller en annen *Lemna*-art som er brukt.

I storskala-kulturer av lengre varighet, oppsummerer Reddy og DeBusk (1987) variasjon i årlige tørrstoffavlinger hos *Lemna* sp. fra 600 til 2600 kg tørrstoff per daa. Debusk *et al.* (1981) oppgir å ha oppnådd spesifikt for *Lemna minor* en produksjon på 3,7 g tørrstoff/ m^2 og dag, noe som tilsvarer 1350 kg /daa og år. Dette var i Florida med høsting en gang i uka ned til en optimal bestandstetthet på 20 g TS/ m^2 .

Det er flere forskere og forskningsmiljø som poengterer at produktiviteten er sterkt avhengig av bestandstetthet eller tykkelse på matta med andematplanter, men hva som er optimalt er avhengig av temperatur, lysforhold og næringstilgang (Driever *et al.* 2005, Lasfar *et al.* 2007).

Dersom en kombinerer den teoretisk maksimale daglige tilvekstraten på 0,40 g/g, og antar at en høster hver fjerde dag ned til en optimal bestandstetthet på 10 g tørrstoff per m^2 produksjonsareal, kommer en til et årlig produksjonspotensial på ca 2500 kg tørrstoff per år og dekar (Tabell 1). Bruker vi det som er oppnådd i prøvinger på Bioforsk Midt-Norge på 0,17 g/g og dag, og videre antar at produksjonen holdes høyest ved dobbel tetthet (20 g m^{-2}), kommer en til at 1500 kg tørrstoff årlig er mulig å oppnå (Tabell 1). De høyeste teoretiske avlingene i Tabell 1 på over 4000 kg TS årlig, oppnås kun dersom maksimal vekstrate kan holdes ved tettheter så høge som 80 og 100 g m^{-2} , noe vi mener er vanskelig å opprettholde (Driever *et al.* 2005). Teoretiske råproteinavlinger finner en ved å multiplisere tørrstoffavlingene med 0,35. Dette gitt at proteininnholdet er 35 %.

Tabell 1 Teoretisk totalproduksjon av tørrstoff andemat under ulike forutsetninger når det gjelder hyppighet på høsting og hva som er maksimal vekstrate og optimal bestandstetthet. Ved hver høsting er det antatt at en etterlater andemat i mengder som gir optimal bestandstetthet.

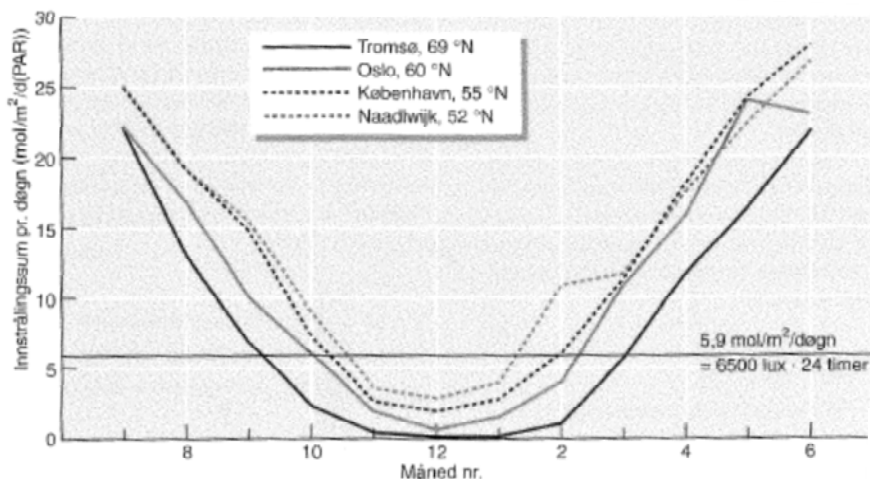
	Maksimal vekstrate	
Optimal bestandstetthet og innlagt høstefrekvens	0,17 g g ⁻¹ dag ⁻¹	0,40 g g ⁻¹ dag ⁻¹
Bestandstetthet 10 g TS m ⁻² , høsting hver 4. dag	770 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	2540 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹
Bestandstetthet 10 g TS m ⁻² , høsting hver 7. dag	975 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	4680 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹
Bestandstetthet 10 g TS m ⁻² , høsting hver 10. dag	1290 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	Kulturen når for høg bestandstetthet*) innenfor vokseperioden
Bestandstetthet 20 g TS m ⁻² , høsting hver 4. dag	1540 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	5080 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹
Bestandstetthet 20 g TS m ⁻² , høsting hver 7. dag	1950 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	Kulturen når for høg bestandstetthet*) innenfor vokseperioden
Bestandstetthet 20 g TS m ⁻² , høsting hver 10. dag	2580 kg TS daa ⁻¹ år ⁻¹	Kulturen når for høg bestandstetthet*) innenfor vokseperioden

*) Dersom kulturen når utrekna bestandstetthet på 100 g TS m⁻² eller mer innenfor vokseperioden, antas vekstraten å bli så mye nedsatt at det ikke gir mening å oppgi produksjonstall (Driever *et al.* 2005). Hadde grensa blitt satt på 50 g TS m⁻², ville den i tillegg ha blitt overskredet med høsting hver 7. og 10. dag på lågeste maksimale vekstrate og optimal bestandstetthet 20 g TS m⁻². På høgste maksimale vekstrate ville alle oppgitte produksjonstall være meningsløse med unntak for det som kommer fram med høsting hver 4. dag ned til optimal bestandstetthet på 10 g TS m⁻².

2.2 Behov for tilleggsllys i en norsk helårsproduksjon

Vi har ikke sett at det er gjennomført studier av lysresponsene hos *Lemna minor* med opphav på norske breddegrader, men Aarnes *et al.* (1993) fant at fotosyntesen hos *Lemna gibba* nådde lysmetning ved 950 μmol m⁻² s⁻¹. Lasfar *et al.*, (2007) har studert canadisk *Lemna minor*, og refererer til lysmetning ved 342 μmol m⁻² s⁻¹

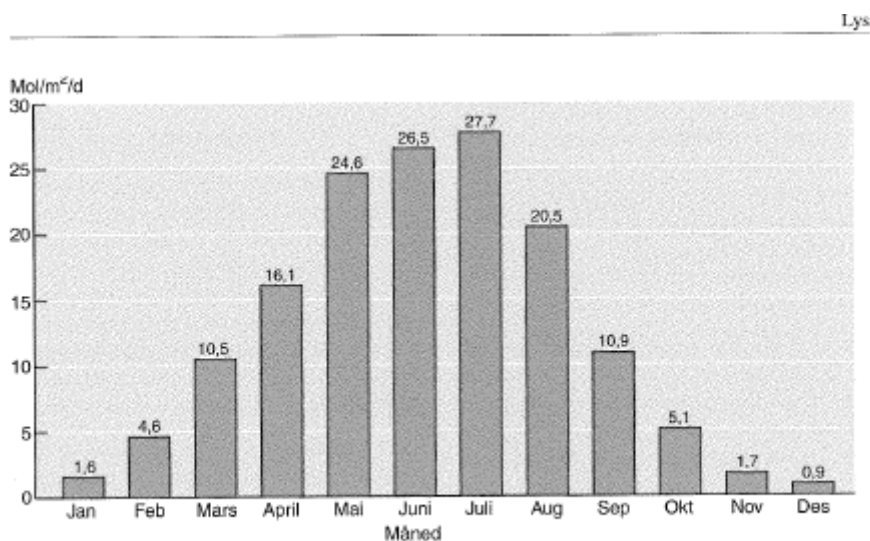
Summeres lyskvantene (fotonene, målt i måleenhet μmol) som kommer inn med naturlig dagslys på arealbasis på et døgn, er det store variasjoner gjennom året, spesielt på våre breddegrader (Figur 1). Det er under 5,0 mol m⁻² i Oslo i fire måneder i året.



Figur 2.10 Innstråling til ulike tider av året ved ulike breddegrader. (Etter Moe & Rystedt/Andersen & Hansen 1990)

Figur 1 Hentet fra Bævre og Gislerød 1999.

Om en skulle anta at lysnivået (lyssummen) som måtte til for å holde en andematkultur i veksthus i god vekst, var ca 15 mol m^{-2} , måtte det brukes tilleggsllys i 7 måneder av året (Figur 2). Denne lyssummen er under halvparten av det en rekner må til for en høgproduktiv agurk-, tomat- og rosekultur. Trolig måtte det installeres lamper som minimum kunne yte $150 \mu\text{mol/m}^2 \text{ s}^{-1}$ (12-13.000 lux). Slike lamper kunne være høgtrykksnatriumdampplamper som er den mest brukte typen i tradisjonelle veksthuskulturer eller LED-lamper som ennå er så dyre i innkjøp at de er uaktuelle til de fleste dyrkingsformål.



Figur 2.11 Innstråling i veksthus med 60 % lysgjennomgang på Norges landbrukshøgskole, Ås. Månedsmiddel for 1993-1995.

Figur 2 Fra Bævre og Gislerød (1999).

Enten andematen dyrkes i veksthus eller på friland, må en også tenke på at det kan være behov for å skygge ut lys om sommeren. Dette både for å holde temperaturen i rom og dyrkingsmedium nede og for å hindre for sterk direkte stråling. Hva som er skadelige eller veksthemmende lysnivå, vet vi ikke, men ut fra at planten vokser på skyggefulle steder og at *Lemna gibba* ble funnet å nå lysmetning under $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Aarnes *et al.* 1993), kan en foreslå at skygging og/eller kjøling er nødvendig i veksthus i de fire mest solrike månedene av året.

2.3 Behov for oppvarming/kjøling i en helårsproduksjon

Norsk *Lemna minor* har ikke nødvendigvis de samme temperaturoptima som økotyper fra mer sørlige breddegrader, men individer av arten med antatt opphav fra Skottland (Hodgson 1970), hadde høyest netto assimilasjonsrate ved $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og høyest relativ vekstrate ved $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette var under naturlig dagslys utendørs høst og sommer.

Lasfar *et al.* (2007) refererer at andemat kan vokse ved temperaturer mellom 5 og $35 \text{ }^\circ\text{C}$, med optimum mellom 20 og $31 \text{ }^\circ\text{C}$, avhengig av art. Som for alle planter, vil optimumstemperaturen være avhengig av lysnivå.

Ved dyrking i innendørs anlegg (haller, veksthus) med produksjonslys installert vil det være lite behov for oppvarming i store deler av året. Om sommeren kan det bli behov for kjøling av dyrkingsmediet, noe avhengig av hvor store volum vatn det er per arealenhet dyrkingsflate.

Tenker en seg storskala dyrkingsanlegg utendørs som ikke er aktuelt for helårsproduksjon på grunn av lysbegrensing, kan det være perioder vår og høst hvor temperaturen begrenser produksjonen vesentlig mer enn tilgangen på lys. Da kan en skissere et opplegg hvor rørgater med spillvarme holder temperaturen i karene oppe til $15 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Slike produksjonsanlegg kan da ikke ligge langt unna varmekilde/industrianlegg.

2.4 Næringsforsyning

Dette temaet er nærmere drøftet i kapittel 4. Her vil vi påpeke at det er langt vanskeligere å balansere næringsforsyning i en vannkultur enn i jord eller veksttorv. Det trengs et system for utskifting, eventuelt resirkulering av mediet. Kanskje kan en tenke seg at vatnet fornyes hver gang det høstes ut materiale. Da kan karene tappes ned maksimalt. En kan også tenke seg noe mer komplisert system der løsningen hele tida sirkulerer og går gjennom et analysetrinn med etterfølgende dosering av næringsstoffer etter hva som trengs. Med bruk av avfall som næringskilde, blir dette vanskeligere. Der er forholdet mellom N, P, K og andre makro- og mikronæringsstoffer gitt.

En må også tenke på at det skal være nok CO_2 og O_2 i vatn og atmosfære.

2.5 utfordringer med vekst av alger og andre uønskede organismer i kulturen

I alle forsøkene med dyrking av andemat ved Bioforsk Midt-Norge har algevekst vært et problem. Siden andematen sjøl er ganske sensitiv for de stoffene som en vet hemmer alger og mikroorganismer, må en trolig finne mekaniske måter til forebygging eller fjerning (vasking, filtrering).

2.6 Aktuelle arealer og typer produksjonsanlegg

Det er etter vårt syn ikke aktuelt å omdisponere dyrkajord til utendørs produksjonsanlegg for andemat. Basseng, kar, kanaler eller det som måtte være aktuelle dyrkingsenheter, vil måtte plasseres på lågproduktive landareal. Er utnytting av spillvarme i produksjonen et mål eller et premiss, må dyrkingsanleggene ligge nært kilder for slik varme. Er det utnytting av avfall fra fiskeoppdrett eller husdyrproduksjon som er grunnlaget, må andematen dyrkes steder hvor det ikke blir lange transportavstander for dette avfallet.

Til grunnlag for estimat for hva som kreves av investeringer i et produksjonsanlegg og avkastninger fra disse, har vi skissert to typer.

2.6.1 Produksjonshall til helårsdyrking

En uisolert stålhall med akrylplater (av typen som brukes i veksthus) i taket. Det er også lufteluker med automatisk og temperaturstyrt regulering. Grunnflata kan være 20 m x 50 m og raftehøgda 5 m. I hallen er det tre etasjer med dyrkingsrenner av glassfiber, 7 m breie og 40 m lange og 40 cm djupe. Dette gir et netto produksjonsareal på 1680 m². En rekner da to renner i hver av tre etasjer. Hallen er oppvarma/kjølt til 20 °C året rundt. Her kan spillvarme brukes i den kalde årstida, forutsatt at vannbåren varme er installert. Belysning kommer fra LED-dioder i rekker over hver dyrkingsrenne. Installasjonene for lys må yte 10-15 mol/m² og dag. Næringsforsyning skjer gjennom at næringsstoffer i mineralsk form løst i vatn (i konsentrerte stamløsninger) doseres på grunnlag av automatiserte og kontinuerlige analyser av dyrkingsmediet. Et alternativ er hyppig utskifting av dyrkingsmediet med ny standardblanding. Dette gir da dårlig næringsstoffutnytting og et avfallsproblem. CO₂ må kunne doseres etter behov. Videre må det tenkes på oppsett for automatisk høsting (avsiling), enten ved at rennene tappes ned for vatn slik at andematen blir igjen eller at laget med andemat på overflate blir skavet eller dratt av. Det er viktig at det er god kontroll på mengden andemat som blir igjen slik at en sikrer rask og optimal oppstart av neste produksjonssyklus.

Med en produktivitet på 1500 kg tørrstoff per dekar og år, produseres det totalt ca 2500 kg tørrstoff (TS) og totalt ca 880 kg råprotein i denne hallen, forutsatt et råproteininnhold på 35 % av TS. En slik og videre en doblet produktivitet er teoretisk fullt mulig med hyppig høsting og ellers helt optimale betingelser (Tabell 1), men er ikke rapportert oppnådd i praksis.

2.6.2 Utendørsanlegg til produksjon i mai-september

På ellers udyrka eller gjengroende areal hos gårdbrukere eller nært et oppdrettsanlegg, eventuelt en spillvarmekilde installeres renner eller kar som en sirkulerer næringsstoff (avfall fra fiskeoppdrett, husdyrgjødsel i kontrollerte og uttynna mengder) gjennom. Det går rørgater til vannbåren kjøling/oppvarming i veggene på dyrkingsrennene. Kjølevatn er fra kommunalt nett eller brønnvatn. Oppvarmingsvatn er spillvarme fra industrianlegg eller annet fyringsanlegg. Dette høstes fra 1 gang per uke i perioden mai-september (5 måneder), og vi kan anta ei maksimal avling på 1000 kg TS (350 kg råprotein) per netto dekar produksjonsareal og år. Høstestyr som sikrer at det blir et jevnt bestand igjen etter høsting, er nødvendig.

2.7 Forskningsbehov på kort og lang sikt

Det er behov for omfattende og systematisk prøving i liten og mellomstorskala både på krav til lys, temperatur og næringsforsyning før en kan utvikle prototyper for anlegg til kommersiell produksjon og kan vurdere hvilket produksjonspotensial som er mulig å nå i praksis. Det kan også være aktuelt å gjennomføre dyrkingsforsøk med andre Lemna-arter enn *L. minor*, og andre økotyper av *L. minor* enn norske.

3 Vurdering av næringsinnhold

Andemat kan vekse raskt ved optimal næringstilgang. Næringsinnhold i planta blir påverka av vekstforhold (lys, næringstilgang, temperatur, tetthet, pH, osv). Andemat dyrka under gode forhold kan innehalde relativt mykje av både protein, fett, stivelse og mineral. Det er også sannsynleg at det er ein genetisk komponent i plantene sin variasjon i evne til å produsere og deponere næringsstoff.

Fersk andemat inneheld over 90 % vatn, altså mindre enn 10 % tørrstoff. Innhald av næring i tørrstoff varierer. I ein sakteveksande kultur blir det høgare innhald av fiber og aske enn i ein raskt veksande kultur med regelmessig hausting der det vil bli produsert meir protein.

Andemat som er dyrka under optimale forhold vil kunne ha eit innhald i tørrstoff på omkring 5-15 % fiber, 35-43 % råprotein og 5 % fett. Til samanlikning kan "vill" andemat frå næringsfattig miljø innehalde 15-30 % fiber og 15-25 % protein. Tabell 2 viser næringsinnhald i andemat hausta frå forskjellige vekstvilkår i Australia (Leng et al. 1995, viser til upubliserte data). Tabell 3 viser eksempel på næringsinnhald i kommersielt dyrka andemat frå Nederland.

Tabell 2 Næringsinnhald (%DM) i andemat hausta i Armidale, NSW (Leng et al., 1995).

	Råprotein	Feitt	Fiber	Aske
Naturleg lagune	15-35	4,4	8-25	15
Dyrka i avløpsvatn/kloakk	40-43	5,4	5	13

Tabell 3 Næringsinnhald i kommersielt dyrka andemat frå Nederland % tørrstoff, % av tørrstoff og MJ/kg tørrstoff.

	Tørrst	Aske	Råprotein	Råfeitt	Karbohydrat	Fosfor	Bruttoenergi
Schneider et al., 2004	89,7	16,0	33,8	3,2	3,7	1,96	15,7
El-Shafai et al., 2004 Tørka andemat	87,3	10,6	35,0	10,0	9,4*	1,13	19,9
El-Shafai et al., 2004 Fersk andemat	7,5	12,4	36,1	6,0	10,9 (råfiber)	0,96	19,0

Tabell 4 Aminosyreprofil (g/100g råprotein) i andemat og andre vegetabilske proteinkjelder, samanlikna med fiskemjøl og laks.

	Andemat ¹	Andemat ^{2,3}	Erteprotein ³	Kveitegluten ³	Soya ⁴	Canola ⁴	Maisgluten ⁴	Fiskemjøl ⁴	Laks ⁵
Råprotein	28,0	28,1	50,9	84,6	47-50	39	61	71-75	16-17
Ala		5,9	6,6	2,5	4,6	5,0	8,5	5,9-6,2	6,52
Arg	5,1	6,9	10,2	3,5	7,5	6,6	3,7	5,9-6,8	6,61
Asp	-	11,3	12,2	3,2	12,4	7,5	7,2	10,7-11,3	9,92
Cys		1,2	1,4	2,0	1,4	1,5	1,5	0,6-1,7	0,95
Glu		13,4	19,2	37,9	16,5	15,8	19,0	11,7-13,0	14,31
Gly		4,9	4,5	3,2	5,0	5,0	3,2	6,7-8,2	7,41
His	1,7	2,0	2,7	2,0	3,3	3,4	2,8	2,2-2,8	3,02
Ile	4,3	4,9	4,8	3,7	5,0	4,2	3,5	4,5-4,9	4,41
Leu	7,8	8,3	8,1	6,9	7,7	7,0	11,4	7,2-7,6	7,72
Lys	3,7	6,4	8,3	1,9	6,2	6,6	1,8	7,6-9,1	9,28
Met	1,5	1,9	1,1	1,6	1,7	3,0	2,3	3,0-3,2	1,83
Phe		4,5	5,5	5,1	5,1	5,6	6,6	4,0-4,7	4,36
Pro		4,7	4,5	12,1	5,0	6,8	9,4	4,2-5,0	4,64
Ser	-	4,9	5,5	4,9	4,3	3,4	4,4	3,1-3,9	4,61
Thr	4,2	4,3	4,1	2,5	4,2	3,1	3,8	4,9-5,7	4,95
Trp	4,2	1,3	1,0	1,0	0,3	0,5	0,5	0,3-0,9	0,93
Tyr		3,9	4,2	3,6	3,5	2,9	5,5	3,1-3,9	3,50
Val	5,8	6,2	5,2	3,9	5,5	5,9	4,4	5,1-5,9	5,09

¹ Data henta frå FAO <http://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/Dw2.htm>

² Analyser av andemat dyrka i Tingvoll (blautgjødsel som næringssubstrat)

³ Analyser utført ved Nofima AS

⁴ Forskjellige kvalitetar av fiskemjøl og vegetabilske førmiddel, Anderson et al., 1992.

⁵ Wilson and Cowey, 1985

For å vurdere næringsverdi av andemat er det viktig å ha opplysningar om aminosyreprofil. Tabell 4 viser eksempel på aminosyreprofil i andemat samanlikna med andre vegetabilske førmiddel vanleg brukt til laks. Det er lite tilgjengelege data på aminosyrer i andemat, og egne analyser av andemat dyrka i Tingvoll er tatt med i tabellen. Aminosyreprofil i fiskemjøl og i heil laks er også tatt med. Behov for aminosyrer i før til laks er ikkje fullstendig kjent, men profil i heil laks er i prinsippet likt det laksen har behov for av tilgjengelege aminosyrer.

Andemat ser ut til å ha høgare innhald av lysin og arginin enn kveitegluten og maisgluten, men lågare enn protein frå erter, soya og raps. Vanlege vegetabilske førråvarer har som regel lågare innhald av lysin og methionin enn fiskemjøl, og relativt innhald er lågt i høve til venta behov. Innhald av methionin i andemat er lågare enn i raps og maisgluten, men er ikkje så forskjellig frå kveitegluten og soya.

Analyser av andemat dyrka i Norge er mest relevant for denne rapporten. Vi ser at andemat har lågare innhald av methionin og lysin enn fiskemjøl, tilsvarande det ein finn i andre vanlege vegetabilske råvarer. Andemat ser ut til å ha relativt høgt innhald av tryptofan.

Andemat kan ta opp mineralar frå vatn svært effektivt, noko som kan utnyttast i samband med bruk av andemat til fôr. Fosfor er eit mineral som er viktig å sjå på av fleire grunnar. Forsyning av fosfor kan bli ein avgrensande faktor for både planteproduksjon og produksjon av fisk og andre husdyr. Derfor er det viktig å ta vare på og resirkulere denne ressursen i størst mulig grad. Dersom avfall som slam frå oppdrett kan brukast som næring til andemat, vil ein kunne fange opp ufordøyd fosfor og oppkonsentrere dette i plantemateriale som igjen kan gå til fôr som eit viktig bidrag til mineralforsyninga. Tabell 5 viser korleis andemat kan oppkonsentrere fosfor frå vatn til plantetørrstoff (Leng et al. 1995, viser til delvis upubliserte data). Potensiale for å bruke andemat til å produsere mineralrike produkt for tilsetjing i fôr har vore vurdert som interessant Chojnacka (2006). Sidan andemat så lett oppkonsentrerer mineralar, er det også eit potensiale for å oppkonsentrere skadelege tungmetall, dersom slike stoff er tilstades i vekstsubstratet.

3.1 Næringsverdi for fisk og andre dyr

Grunnen til at andemat er vurdert som interessant til fôr, særleg for einmaga dyr og fisk, er lågt innhald av fiber og relativt høgt innhald av protein med høg biologisk verdi, sjølv om proteinet inneheld relativt lite lysin og methionin. I følgje Hillman and Culley (1978), sitert av Leng et al., 1995, har andemat ein aminosyreprofil som liknar meir på animalsk protein. For laksefisk og andre einmaga husdyr i intensive produksjonar vil det uansett ikkje vere aktuelt å bruke andemat som einaste fôr, men som ingrediens i kombinasjon med andre fôrmiddel med annan aminosyreprofil. Syntetiske aminosyrer kan også tilsetjast om ønskeleg. For økologisk fiskeoppdrett, som ikkje tillet syntetiske aminosyrer i fôret, kan andemat ha ei spesiell interesse.

Andemat har vore brukt som fôr til fiskeartar som tilapia og karpe. Dette er artar som i utgangspunktet er omnivore (altetende) og herbivore (planteetende), og som gjerne blir oppdretta i system der det er enkelt å bruke fersk andemat direkte. Desse fiskeartane utnyttar næringsstoffa i andematen godt. Det kan vere forskjellar mellom typar av andemat, for eksempel i effekt av smakelighet. *Lemna perpusilla* og *Spirodela polyrrhiza* blei begge fôra til tilapia i eit forsøk, og *L. perpusilla* ga betre vekst og fôrutnytting enn *S. polyrrhiza* (Hassan and Edwards, 1992).

Tabell 5 Samanheng mellom mengde P i andemat (mg/g DM) og konsentrasjon av P i vatn (mg/liter), antal prøver i kvar kategori (Leng et al., 1995).

P-andemat P-vatn	Antal prøver totalt	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
0-0,5*	6	3	3					
0,5-1,0*	1			1				
1,0-1,5*	3					1		2
1,5-2,0	2							2
2,0-2,5	3					1		2
2,5-3,0	1							1

* Data frå Sutton and Ornes, 1975.

Mjøl av andemat er testa i fôr til Red tilapia (Peters et al., 2009), og inntil 25 % andemat kunne brukast i fôret med godt resultat dersom det vart kombinert med andre proteinfôrmiddel.

Tilgjengelighet av næringsstoff er viktig for at eit potensielt nytt fôrmiddel skal vere interessant. Fordøyingsgrad av næringsstoff i fôr med andemat vart undersøkt i eit forsøk med tilapia (Schneider et al., 2004). Det var ikkje statistisk sikker forskjell mellom andemat- og fiskemjølbasert fôr i fordøying av tørrstoff og protein, men andematfôret hadde signifikant betre fordøyingsgrad for fosfor.

Laks er viktigaste arten i norsk akvakultur, med det fins ikkje publisert informasjon om effekten av andemat i fôr til laks. Det er dermed vanskeleg å seie så mykje om næringsverdi av andemat for laks, ut over at aminosyreprofilen ser ut til å vere gunstig samanlikna med andre vanlege planteråvarer.

Andemat har vore brukt i fôr til fjørfe med til dels gode resultat. Unge broilerkyllingar fekk redusert vekst med innblanding av andemat over 15 %, medan verpehøner produserte godt med relativt høgt nivå (40 %) av andemat (Haustein et al., 1992; Islam,2002).

Gris er også eit einmaga dyr som teoretisk kunne utnytte andemat i fôret. Det har vore gjort lite forskning på dette, men Leng et al. (1995) refererer eit arbeid der gris blei fôra med andematmjøl med lav protein/ høg fiber-innhald. Dette ga redusert vekst og høgare fôrfaktor.

Det er også vurdert om andemat kan vere ei aktuell proteinkjelde for drøvtyggarar, og i følgje Leng et al (1995) kan det vere aktuelt å gjere tiltak for å bevare proteinkvaliteten forbi vomma (by-pass protein)

Mange vegetabiliske fôrmiddel inneheld antinæringsstoff av ulike slag. Det er ikkje kjent om dette er tilfelle for andemat.

3.2 Spesielle muligheter

Andemat kan brukast som "bærar" for mineral i lett absorberbare former

Andemat inneheld pigment; caroten og xanthophyll. Det er ikkje publisert arbeid som går på eventuell utnyttelse av desse pigmenta. Haustein et al. (1994) rapporterer signifikant betre pigmentering av fugl som har fått andemat i fôret. Pigment er absolutt ein interessant faktor både for verpehøner og laksefisk, sjølv om pigmenta i andemat ikkje er dei optimale for laks.

Andemat kan innehalde fleire bioaktive stoff. Gulcin et al. (2010) har vist i *In vitro* forsøk at andemat inneheld komponentar med antioksydanteffekt, og også antibakteriell og anticandida effekt. Eid et al (1992) viste at ekstrakt av andemat kan ha instecticid effect på mygg.

Slike spesielle forhold kan kanskje gi ein tilleggsverdi til andemat som produkt, og bør undersøkast

3.3 Andre forhold

For at andemat-mjøl skal vere eit interessant fôrmiddel til kommersiell produksjon av fôr til fisk eller andre einmaga dyr, er det ein føresetnad at produktet er tilgjengeleg i store nok kvanta året rundt, til ein fornuftig pris. I 2010 blei det produsert 1,4 millionar tonn fiskefôr i Noreg. Ein ny fôringrediens bør kunne bli tilgjengeleg i kvanta som tilsvarar om lag 2 % innblanding i ferdig for, det vil seie opp mot 28 tusen tonn årleg. Prisen fôrindustrien er villig til å betale vil alltid stå i forhold til prisen på alternative fôrmiddel, sidan fôrblendingane blir optimalisert ut frå minste kostnad.

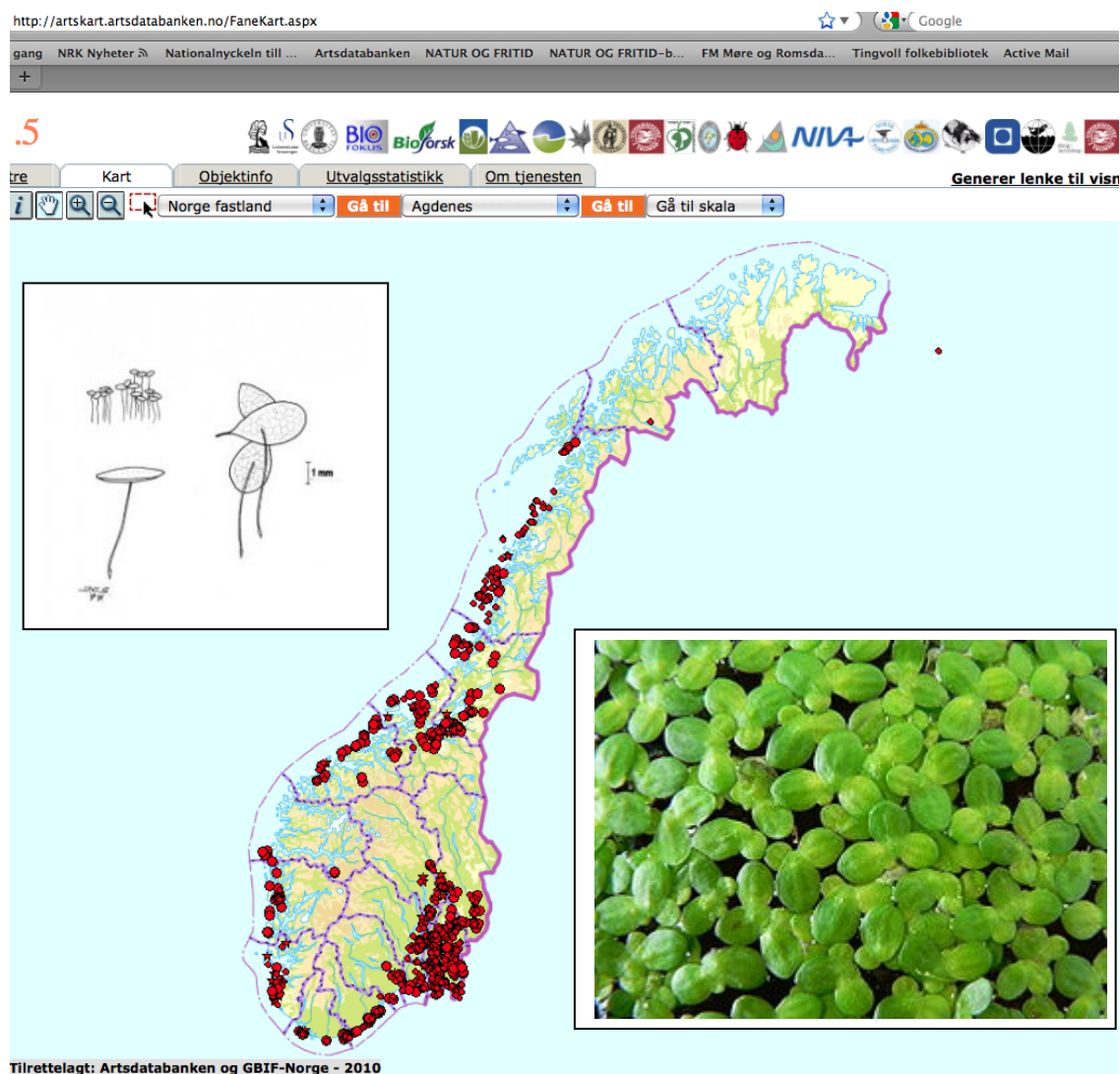
3.4 Konklusjon

Basert på analyser av aminosyreprofil i andemat, er innhaldet på linje med andre vegetabiliske proteinkjelder. Det som er gjort av fôringsforsøk på fisk, fjørfe og gris tyder på at andemat gjerne kan brukast som del av dietten til alle dyreslaga. Det er likevel lite publisert forskning som er relevant for intensivt husdyrhald og akvakultur. Dersom ferdig tørka mjøl av andemat er tilgjengeleg i store nok kvanta og til rett pris, er det all grunn til å tru at det vil vere ein aktuell råvare i fôr. Potensialet for andemat som bærer av lett tilgjengelege mineral, og mulig innhald av bioaktive stoff, kan vere viktig for å oppnå ein høgare pris for produktet, men meir forskning er nødvendig for å skaffe meir kunnskap om desse felta.

4 Vurdering av slam/biogass som næringsmedium

4.1 Litt om andemat: Biologi, voksesteder, og praktisk bruk

Andemat (*Lemna minor*, engelsk duckweed) er en vannplante med blanke, friskt grønne skiveformede blader, 2-3 mm brede, som flyter på overflaten i rolig vann. Bladene henger gjerne sammen i grupper. Typiske voksesteder er vannpytter, grøfter og dammer (Lid, 1979). Planten er mest vanlig i indre strøk av Østlandet, men finnes også spredt i Midt-Norge (Figur 3). På Smøla vokser planten flere steder, og da gjerne i dammer som får næringstilførsel fra råtnende tang (Todal, 2006). Langerud og Wikdahl (2012) oppgir imidlertid at de har hentet andemat til forsøk ved Bioforsk Midt-Norge fra grøfter i oppdyrka myr på Smøla, så planten vokser også i kulturlandskapet.



Figur 3 Utbredelse av andemat (*Lemna minor* L.) i Norge. Kilde: Artsdatabanken, 2011. Innfelt bilde nede til høyre: Nærbilde av planten. Kilde: Wikipedia, <http://no.wikipedia.org/wiki/Andemat> 20.10.2011. Innfelt bilde oppe til venstre: Detaljer. Kilde: Miljølære.no, http://nml.uib.no/data/ut/art/?or_id=257 20.10.2011.

Planten samler opplagsnæring og synker til bunnen om høsten, og flyter opp igjen om våren (Hjelmstad, 2011). Bladskivene sitter på en rottråd som kan bli inntil 15 cm lang. Under overflaten er stilkene gjerne sammenfiltret til en tett masse. Andemat blomstrer sjelden; Lid gir ingen informasjon om blomster, men Hjelmstad (2011) oppgir at den har ørsmå blomster bestående av to pollenbærere og ett fruktblad, men at blomstene kan være vanskelige å se. Universitetet i Oslo opplyser at andemat blomster ved økende daglengde («langdagsplante»)(Aarnes, 2011). Planten formerer seg ved knoppskyting, og kan spre seg og vokse raskt.

Andemat er i praktisk bruk som akvarieplante, hvor den kan dempe algevekst (men også bli et ugrasproblem!) og fungere som næringskilde for planteetende fisk. Den brukes også som testplante for giftighet av ulike forbindelser (e.g. OECD, 2006). I land med varmere klima er andemat er mye brukt i «phytoremediation», dvs. i systemer som søker å fjerne næringsstoff og forurensninger fra voksemediet (her vann), se f.eks. Megateli et al (2009) og Del-Campo Marin & Oron (2007). Det er også vanlig å kombinere oppdrett av ferskvannsfisk med dyrking av andemat i tropiske områder.

4.2 Næringsinnhold i planten, og krav til næringsinnhold i vekstmediet

Andemat har tidligere vært i fokus som kilde for fiskefôr, og det ble da gjennomført flere forsøk med dyrking i næringsløsning i veksthus ved Bioforsk Midt-Norge (Fig 4.2 og 4.3).



Figur 4 Dyrking av andemat ved Bioforsk Midt-Norge. Foto Rolf Selset. Tilgjengelig på <http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/39903/Andemat.pdf>. Sett 20.10.2011.



Figur 5 Andemat dyrket i vann fra en dam i Bålkåsen nær Bioforsk Midt-Norge på Kvithamar ved Stjørdal uten tilsetning av næring (Beh. 5) øverst på bildet, og med tilsetning av 20 ppm nitrogen (Beh. 6) nederst på bildet. Bildet er tatt etter dyrking i 14 dager. Begroing med alger kan være et problem ved dyrking av andemat. Algeveksten er synlig på bildet som grønn farge i vekstmediet. Foto Anne Langerud.

Andemat vokser gjerne i vann med god næringstilgang. En kjemisk analyse av vann fra ei grøft på Smøla med god vekst av andemat viste at vannet inneholdt 74,9 mg totalnitrogen per liter, eller 74,9 ppm total-N (Langerud og Wikdahl, 2012). Av dette var 17 ppm nitrat eller nitritt, og 0,0087 ppm var ammonium. Mer enn 3/4 av nitrogenet var altså organisk bundet. I følge Bjørndahl (1985) er andematen i stand til å nytte enkle organiske forbindelser som N-kilde. Ellers inneholdt vannet 47,5 ppm kalium (K), og 13,2 ppm fosfor (P). pH i grøftevannet var 6,1. I følge grunneieren på Smøla hadde dette vannet godt tilsig fra dyrket og gjødslet mark. Til sammenlikning inneholdt vann fra et nedbørsfelt i et intensivt landbruksområde i Rogaland, Time-bekken, mellom 2 og 6 mg tot-N i perioden 1995-2008 (Rød 2009). Blautgjødsel med 6 % tørrstoff kan gjerne inneholde 2,5 kg total-N og 3 kg K per tonn; dette tilsvarer 2500 og 3000 ppm. Grøftevannet på Smøla kan vi altså forestille oss som en del blautgjødsel pluss 30-60 deler vann.

Bjørndahl (1985) har referert en stor mengde vitenskapelig litteratur om vekst, næringsopptak og mulig kommersiell utnyttelse andemat. *Lemna minor* nevnes ikke spesielt her, men basert på to kilder oppgis innholdet av makronæringsstoff i gruppen *Lemna* sp. I prosent av tørrstoff (TS) var innholdet av N 2,24-4,13, P 0,57-0,80, K 1,86-3,03, Ca 1,23-1,55 og Mg 0,29-0,43 (Bjørndahl, 1985; side 51, tabell 9). Med unntak av kalsium (Ca) er variasjonen betydelig, og reflekterer antakelig at planten kan vokse i vann med ulik næringstilgang, og at ved god tilgang kan det tas opp mye næringsstoff. Til sammenlikning kan plantemassen i blader fra havre på buskingsstadiet (TS) inneholde 3,9 % N, 0,44 % P, 4,3 % K, 0,94 % Ca og 0,21 % Mg (Mengel og Kirkby, 2001). Andemat kan dermed

sammenliknes med unge jordbruksvekster i god vekst. Planten inneholder lite støttevev og dermed mye næring per g TS, men vi bør merke oss Bjørndahls kommentar ved avslutningen av kapittelet om næringsinnhold i andemat: «Since duckweeds anyhow do not show any greater standing crop at a give moment, there are limitations as to the amount of nutrients that can be stored in a duckweed community at a given moment. For nutrient removal from water by duckweeds, regular harvest is essential» (Bjørndahl, 1985; side 65).

Proteininnholdet i *Lemna minor* varierte i ulike artikler fra 14 til 29 % av TS (Bjørndahl, 1985). En artikkel fra Canada (Muztar et al., 1978 ref i Bjørndahl 1985) oppgir 20 % råprotein i *Lemna minor*, og videre 16,2 % fiber og 16,6 % aske (% av TS). Anslaget på 35 % i kapittel 2 i denne rapporten kan derfor synes noe høyt, men som resultatene av vårt enkle forsøk viser vil dette variere svært mye med høstetid og næringstilførsel.

I forsøkene med dyrking av andemat på Kvithamar (Langerud og Wikdahl, 2012) ble det fokusert på forhold som pH, tungmetaller og nitrogenkonsentrasjon. Ved kommersiell dyrking av andemat (eller hvilken som helst annen rasktvoksende plante) i kunstig sammensatt næringsløsning vil det lett bli en utfordring at pH endres brått til ugunstig høye eller lave nivå, fordi plantene tar opp mer anioner enn kationer (spesielt nitrat, da vil pH stige), eller mer kationer enn anioner (ammonium, da vil pH synke). Tilgangen på mikronæringsstoff hemmes ved økende pH verdier. Samtidig blir de samme mikronæringsstoffene lett toksiske hvis konsentrasjonen blir for høy. Å balansere vekstmediet slik at produksjonen maksimeres er en krevende oppgave, spesielt i nye kulturer. Forsøk med ulike nitrogenkonsentrasjoner og ammonium- eller nitratbasert nitrogen på Kvithamar viste at andematen vokste best ved N-konsentrasjoner opp til 75 ppm, med et optimalt nivå på ca 45 ppm, og at veksten ble bedre med nitrat enn med ammonium som N-kilde (Langerud og Wikdahl, 2012).

4.3 Forsøk med dyrking av andemat på Tingvoll 2011

Et delmål i prosjektet har vært å klarlegge om biologisk restmateriale fra landbasert oppdrett eller landbruk kan benyttes som næringsstoffer i produksjonen av andemat. En utprøving av fortynnet blautgjødning fra storfe som vekstmedium sommeren 2011 viste at andematen vokste godt når den først fikk etablert seg. Forsøket ble gjennomført på Bioforsk Økologisk, Tingvoll.

4.3.1 Metode

24. juni 2011 ble fire firkantede murerstamper fylt med 50 liter springvann (pH 7,5). Det ble tilsatt noe varmt vann slik at temperaturen ble 17 °C, nær utendørs lufttemperatur. Karene ble satt på nordsiden av driftsbygningen på Tingvoll gard, dvs. i dagslys, men med lite direkte sol. Hvert kar ble tilsatt husdyrgjødsel slik at nitrogenkonsentrasjonen i løsningen skulle bli 100 ppm. To typer husdyrgjødsel ble brukt: Vanlig bløtgjødsel fra storfe, og biorest laget av denne gjødsla. Biorest er husdyrgjødsel etter anaerob utråtning for produksjon av biogass. Gjødsla kommer fra storfebesetningen i fjøset på UMB (Universitet for miljø- og biovitenskap) på Ås. Bioresten ble produsert i en pilotreaktor for biogass på UMB, til bruk i et forsøk på Tingvoll gard. Næringsinnholdet i de to gjødslerypene er vist i Tabell 6. Gjødsla som ble brukt til forsøket med andemat var gjødning som var til overs etter spredning av gjødning på forsøksfelt i slutten av april. Ved spredningen ble gjødning rørt om i palletanken og så overført

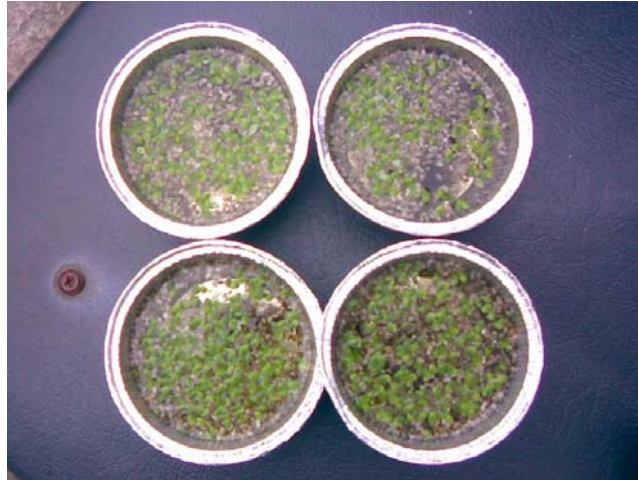
med en grov hevert til et omrøringsfat med volum ca 450 dm³. Det var regelmessig omrøring i dette fatet under hele spredningsarbeidet. En del gjødsel ble lagret i maursyrekaner på kjølelager. Kannene med blautgjødsel og biorest ble ristet godt før tilsetning i de fire karene i andematforsøket.

Tabell 6 Kjemisk sammensetning av blautgjødsel, og biorest av samme type blautgjødsel, brukt i forsøk med dyrking av andemat. Analysene er utført på omrørt blautgjødsel som var lagret i en palletank, og biorest tatt ut ved opptapping i palletank i mars 2011.

Innhold		Bløtgjødsel	Biorest
Tørrstoff	%	6,8	5,2
pH		6,8	7,8
Kjeldahl-N	kg/tonn	2,7	2,8
Fosfor (P)	kg/tonn	0,5	0,46
Kalium (K)	kg/tonn	3,3	3
Ammonium (N-NH ₄)	kg/tonn	1,6	2
Kalsium (Ca)	kg/tonn	0,82	0,65
Magnesium (Mg)	kg/tonn	0,46	0,39

Per 10 liter vann ble det tilsatt $1 / 2,7 = 0,370$ kg blautgjødsel eller $1 / 2,8 = 0,357$ kg biorest, for å oppnå en N-konsentrasjon på 100 ppm. Porsjoner med 1,852 kg blautgjødsel eller 1,7862 kg biorest ble veid opp og tilsatt karene. Det ble altså tilsatt 5 g N per kar, og videre om lag 6 g K og 1 g P. Det ble også satt 20 liter vann uten gjødsel i ei bøtte som «nulledd». Noen få andemateksemplar ble satt i denne bøtta for å teste om de ville overleve på bare vann, og det gjorde de, men veksten var dårlig.

Det var en liten mengde morplanter av andemat tilgjengelig, medbragt av Anne Kjersti Bakken fra dammen på Boksåsen ved Kvithamar til et prosjektmøte dagen før. 310 g vann med andematplanter ble delt i fire porsjoner a 77,5 g. Fordelingen foregikk med skje, slik at det skulle bli omlag like mange planter i hver porsjon. Porsjonene ble plassert i hver sin boks (Figur 6) for å vurdere om det ble tilført omtrent like mye andemat til hvert kar. Plantene ble helt opp i karet, og steg raskt til overflaten. En opptelling av antall planter på en forstørret utgave av bildet i Figur 6 viste at det var henholdsvis 87, 80, 92 og 85 planter i boksene, regnet fra venstre mot høyre med start i øvre rad, i snitt 86 planter. Langerud og Wikdahl (2012) oppgir at 20 enkeltplanter veier 0,02 g TS. Vi kan anta at det ble tilført 0,086 g TS til hvert kar som en startvekt, for å beregne tilveksthastigheten (relative growth rate). Se kapittel 4.3.5.



Figur 6 Bokser med morplanter av andemat fra Boksåsvatnet ved Kvithamar. En boks ble tilført per kar. Foto: Anne-Kristin Løes.

For å unngå anaerobe forhold i vannet ble hvert kar utstyrt med en luftslange koplet til en akvariepumpe. Munningen på luftslangen ble plassert under en stein for å bremse luftstrømmen, men skapte likevel sterk bevegelse i vannoverflaten. Siden andemat er tilpasset et liv i stillestående vann ble luftepumpa brukt i korte perioder med ujevne mellomrom, som kunne vare opptil en uke. Ved et par anledninger ble pumpa stående på til neste dag, uten at plantene tok synlig skade av dette. Det var aldri noen ubehagelig lukt fra vannet verken før eller under omrøring i løpet av forsøket.

Det var ikke praktisk mulig å flytte om på karene underveis i forsøket. Kar 1 og 4 inneholdt biorest, mens kar 2 og 3 inneholdt blautgjødning (Figur 7).



Figur 7 Fire kar med andemat, fra venstre: Biorest1, Blautgjødning2, Blautgjødning3 og Biorest4, fotografert 15. juli 2011. Tydelig bedre vekst i kar med blautgjødning. Foto: A.K. Løes.

Det ble et betydelig nedbørsoverskudd på Tingvoll sommeren 2011, og vi måtte beskytte baljene mot nedbør ved å dekke dem med veksthusplater som slapp igjennom noe lys. Vi

fjernet platene i tørre perioder. For å unngå at andematplantene skulle renne bort øste vi ut en del vann fra baljene underveis i forsøket, totalt ca 6 liter per balje.

Ved hver høsting forsøkte vi å fjerne om lag tre fjerdedeler av plantebestanden i hver balje. Plantene øst opp med en melsikt. Forsøks teknikeren så seg ut et område som ikke skulle høstes, og førte så melsikta omkring dette området i en sammenhengende bevegelse (Figur 8).



Figur 8 Melsikt full av andemat ved høsting, sammenliknet med den mengden av andemat som ble igjen i karet. Foto: Hanne Dahlen.

Ved første høsting ble plantene plassert i kaffefilter for å tørke. Senere ble plantene lagt i tørkeposer av perforert plast, som ble forsiktig klemt for å fjerne fritt vann før tørking i skap. Tørking skjedde i godt ventilerte avtrekksskap ved 30 °C.

Materialet fra fire av totalt fem høstedataer ble analysert for makro- og mikronæringsstoffer ved Eurofins laboratorium. Ved høstedata 2. september var det for dårlig tørkekapasitet til at prøvene kunne tørkes i de store tørkeskapene med god ventilasjon. De ble plassert i et mindre skap med dårligere ventilasjon, hvor de lå fra fredag til mandag. Da luktet de ubehagelig, så det kan ha vært noe gjæring i materialet i løpet av helga. Prøvene ble så lagt i det store skapet og tørket ferdig. Prøvene fra 2. september ble ikke sendt til kjemisk analyse. Tørrstoffverdiene fra 2. september kan være noe lave pga. tørrstofftap under tørking, men dette vil være likt for alle prøvene.

4.3.2 Observasjoner underveis

27. juni var plantene spredt litt fra hverandre i karene.

1. juli, en uke etter etablering: Plantene har samlet seg i hjørnene av karet. Rørte om for hånd, det var litt bunnfall i karene med vanlig gjødsel, lite i karene med biorest. Pga. nedbør er det like før karene renner over. Vi snudde dem slik at de kom på langs inn mot låveveggen, og satte over veksthusplater på skrå for å hindre mer nedbør, men slippe inn

lys. Etter "omrøring" var det mange gråhvite til gjennomsiktige, flytende enkeltblad. Ingen tegn til vekst foreløpig.

15. juli: Plantene har omsider begynt å vokse, og det er tydelig bedre vekst i karene med blautgjødning.

4.3.3 pH målinger

Første pH måling ble utført 1. juli (Tabell 7). Plantene hadde på det tidspunktet knapt påvirket vannet i baljene fordi veksten var minimal siden 24. juni, så verdiene 1. juli antas å være slik de var ved oppstart. pH i vannet i dammen på Boksåsen varierer mellom 6 og 8 i følge Langerud og Wikdahl (2012). pH verdien i karene skulle derfor være akseptable for planteveksten.

pH steg til ca 8 i midten av juli, og sank deretter til 7 -7,5. Det var ingen systematiske forskjeller mellom baljer med biorest og baljer med blautgjødning.

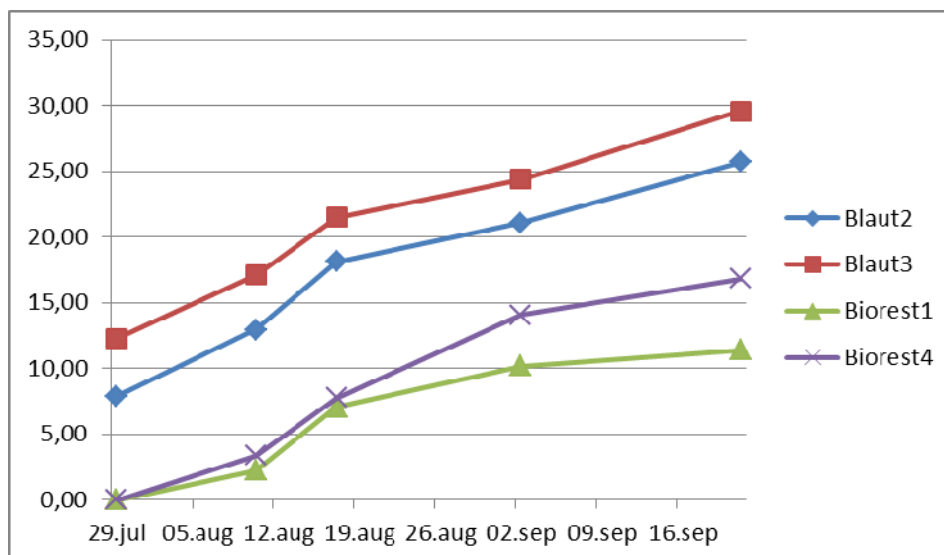
Tabell 7 pH i baljene med andemat dyrket i vann med blautgjødning eller biorest gjennom vekstsesongen 2011. Tallene 2, 3, 1, 4 angir baljenes plassering fra venstre mot høyre (jfr. Figur 7).

Dato	Blaut2	Blaut3	Biorest1	Biorest4
1. juli	7,8	7,5	7,8	7,8
14. juli	8,0	8,0	8,1	8,1
17. august	7,3	7,5	6,9	7,7
21. september	7,3	7,2	7,5	7,5

Temperatur 15.7.2011 kl 10: Kar 1: 6,5 °C; Kar 22: 6,5 °C; Kar 3: 7 °C; Kar 4: 7 °C

4.3.4 Tørrstoffproduksjon

I begynnelsen av perioden var veksten betydelig sterkere i kar med blautgjødning. 29. juli var det behov for å høste disse, da plantene begynte å dekke en vesentlig del av overflaten og vi antok at det kunne begrense veksten om vi ventet lengre med å høste. Ca 2 uker seinere kunne vi høste i alle karene. Til sammen høstet vi på fem datoer: 29. juli, 10. august, 17. august, 2. september og 21. september (avslutning). Da målingene fra alle karene ble oppsummert, viste det seg at kar med blautgjødning hadde produsert nesten dobbelt så mye andemat som kar med biorest. Akkumulert mengde tørrstoff var $11,4+16,8= 28,2$ g for biorest (sum for to kar), og $25,7+29,6= 55,3$ g for blautgjødning (sum for to kar). Mot slutten av perioden, fra 26. august til 2. september hadde et kar med biorest høyere produksjon enn kar med blautgjødning (Figur 8), men ved sluthøstingen var produksjonen igjen høyest i kar med blautgjødning. Forskjellen mellom kar 1 og 4, og 2 og 3, tyder på at det var bedre vekstforhold (mer lys) i kar som sto lengst til høyre (= lengst mot vest).



Figur 9 Tørrstoffproduksjon (g) per kar ved fem høstet datoer gjennom vekstsesongen 2011.

4.3.5 Veksthastighet

Som vist i kapittel 4.3.1 kan vi regne 0,086 g TS andemat i hvert kar som en startvekt. Tilveksthastigheten (relative growth rate) kan så beregnes som den naturlige logaritmen (\ln) til tørrstoffmengden en gitt dag minus \ln til tørrstoffmengden en tidligere dato, delt på antall dager mellom disse to datoene. Benevningen blir g TS per g TS og dag. Siden vi ikke har brukbare tall for hvor mye TS som var igjen i karene etter hver høsting, er tilveksthastigheten beregnet på grunnlag av de akkumulerte tørrstoffverdiene for hvert kar gjennom vekstsesongen (som vist i Figur 9) I første del av perioden var verdiene som ble oppnådd i forsøket på Tingvoll ganske nær verdiene som ble oppnådd ved Bioforsk Midt-Norge (0.17). For lengre perioder, der det også ble høstet underveis, var de naturlig nok betydelig lavere (Tabell 8). Vi må huske at med unntak av verdiene ved siste høsting er tilveksthastighetene lavere enn det som er korrekt, fordi de ikke tar hensyn til den mengden andemat som var produsert, men var igjen i karet etter hver høsting.

Hvis vi forutsetter at $\frac{1}{4}$ av andematen ble igjen i karene ved hver høsting, og beregner tilveksthastigheten mellom hver høstet dato i hvert kar ut fra de totale tørrstoffmengdene i hver balje og startvekten av andemat ved hver ny periode som dette gir, finner vi at veksthastighetene i juli (Tabell 9) var betydelig over maksimalverdien oppgitt i kapittel 2. Bjørndahl (1985, side 10) refererer 0,30 som en maksimalverdi for Lemna gibba under naturlige vekstforhold, så tallene i Tabell 9 må tolkes med forsiktighet. Men de viser at ved gode forhold – rikelig næringstilgang, startplanter i god vekst, godt lys og høy temperatur - kan andemat vokse svært raskt.

Tabell 8 Tilveksthastighet fra start til høsting ved ulike høstet datoer for fire kar med andemat dyrket i vann med blautgjødning eller biorest gjennom vekstsesongen 2011.

Lengde av vekstperiode	35	47	53	69	88
Dato	29.7	10.8	17.8	2.9	21.9
Behandling					
Blaut2	0,133	0,109	0,103	0,081	0,066
Blaut3	0,146	0,115	0,106	0,083	0,067
Biorest1		0,071	0,085	0,070	0,056
Biorest4		0,080	0,087	0,075	0,061

Tabell 9 Tilveksthastighet i ulike vekstperioder for fire kar med andemat dyrket i vann med blautgjødning eller biorest gjennom vekstsesongen 2011.

Antall dager med vekst	34	12	6	16	19
Dato	29.7	10.8	17.8	2.9	21.9
Behandling					
Blaut2	0,140	0,096	0,274	0,065	0,097
Blaut3	0,152	0,056	0,253	0,075	0,103
Biorest1		0,007	0,394	0,074	0,024
Biorest4		0,031	0,313	0,123	0,029

4.3.6 Næringsinnhold

For de fleste næringsstoffene viste planteanalysene at næringskonsentrasjonene avtok gjennom vekstsesongen (Tabell 10 og 4.6). Mens de høyeste verdiene for N-konsentrasjoner ble funnet allerede ved første høsting, var konsentrasjonene av P og K høyere ved andre og tredje høsting. Det var en tendens til høyere K innhold i andemat med biorest. De høyeste verdiene er betydelig over det Bjørndahl (1985) oppgir som variasjonsområde for Lemna sp. (se kapittel 4.2 i denne rapporten). Kalsium (Ca) skiller seg ut ved å ha ganske jevne konsentrasjoner gjennom hele perioden (Tabell 9), mens konsentrasjonene av jern (Fe) og aluminium (Al) var høyere mot slutten av vekstsesongen (Tabell 10). Regner vi med at proteininnholdet = 6,25 x innhold av total-N, varierte proteininnholdet i vårt materiale fra 12,5 til 44,4 % av TS, avhengig av høstetid og næringsinnhold i vannet.

Tabell 10 *Innhold av makronæringsstoff (N, P, K, Ca, Mg, S) og natrium (Na) oppgitt i % av TS, i andemat dyrket i kar med vann tilsatt blautgjødning eller biorest gjennom vekstsesongen 2011. Kar med biorest ble ikke høstet 29. juli.*

Dato	Beh	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
29.juli	Blaut2	7,1	2,5	2,7	1,5	0,68	0,77	0,21
29.juli	Blaut3	6,8	2,6	3,5	1,5	0,6	0,74	0,25
10.august	Biorest1	6,1	2,9	6,8	1,5	0,38	0,97	0,53
10.august	Biorest4	6,1	3,3	6,8	1,7	0,47	0,98	0,46
10.august	Blaut2	6,1	3	6,4	1,6	0,45	0,95	0,49
10.august	Blaut3	6	2,8	6,3	1,5	0,39	0,84	0,55
19.august	Biorest1	5,6	2,4	6,7	1,3	0,34	0,72	0,4
19.august	Biorest4	4,9	2,5	7,5	1,4	0,43	0,76	0,31
19.august	Blaut2	5,5	2,2	6,2	1,4	0,39	0,68	0,39
19.august	Blaut3	5,2	1,9	5,9	1,3	0,38	0,6	0,35
21.september	Biorest1	2	1,2	5	1,7	0,4	0,36	0,2
21.september	Biorest4	2,2	1,2	3,8	1,9	0,43	0,36	0,16
21.september	Blaut2	3	1,3	4	2,2	0,31	0,42	0,19
21.september	Blaut3	2,4	0,83	3	1,3	0,3	0,27	0,09

Tabell 11 *Innhold av mikronæringsstoffene Mn, Cu, Zn, B, Fe, og av Al, oppgitt i mg per kg TS, i andemat dyrket i kar med vann tilsatt blautgjødning eller biorest gjennom vekstsesongen 2011. Kar med biorest ble ikke høstet 29. juli.*

Dato	Beh	Mn	Cu	Zn	B	Fe	Al
29.juli	Blaut2	4500	17	720	270	65	25
29.juli	Blaut3	3600	17	630	200	71	34
10.august	Biorest1	1600	12	470	140	148	66
10.august	Biorest4	1500	15	510	130	138	70
10.august	Blaut2	1800	11	380	110	125	35
10.august	Blaut3	719	11	280	72	119	33
19.august	Biorest1	788	11	320	86	486	351
19.august	Biorest4	945	15	400	78	373	262
19.august	Blaut2	889	8,5	230	60	348	222
19.august	Blaut3	311	7,6	151	34	290	181
21.september	Biorest1	208	6,1	300	170	143	87
21.september	Biorest4	251	6,7	145	33	267	229
21.september	Blaut2	182	8,7	130	68	384	152

For planter med lang veksttid er konsentrasjoner av næringsstoff gjerne høye i starten, for så å avta når det akkumuleres mer tørrstoff. For andemat som høstes jevnlig, uten ny næringstilførsel, er det avtakende innholdet mot slutten av vekstsesongen et uttrykk for at det begynte å bli mangel på næringsstoffer. Plantene viste heller ikke samme friske, grønne farge da forsøket ble avsluttet, som tidligere på sommeren. Hvis vi hadde kommet i gang med forsøket tidligere på sommeren kunne det vært aktuelt å tilføre mer næringsstoff, men

det var på tide å avslutte forsøket for å få utført planteanalysene i prosjektperioden, og vekstbetingelsene var uansett i ferd med å bli dårlige med lite lys og mye nedbør.

4.4 Hvor godt utnyttet andematen næringen i gjødsla?

Som nevnt i kapittel 4.3.1 ble det tilsatt 5 g N og ca 6 g K og 1 g P per kar. Hvis vi summerer mengden N, P og K som ble fjernet i andematen ved hver høsting, ser vi at andematen ikke har klart å ta opp mer enn 10-30 % av N, 25-60 % av P og 10-20 % av K (Tabell 12). Siden andemat høstet 2. september ikke ble analysert, er det brukt gjennomsnittsverdier for konsentrasjonene 19. august og 21. september for næringsopptaket 2. september. Resultatene tyder på at fosfortilgangen var det som var nærmest til å begrense veksten mot slutten av perioden, i den grad veksten ble begrenset av næringstilgang. Det kunne vært interessant å prøve ut blautgjødning tilsatt superfosfat som vekstmedium for andemat. Björndahl (1985, side 76-77) oppsummerer at andemat kan fjerne store andeler av løste næringsstoff som ortofosfat og ammonium, og også store andeler av total-N i voksemediet. Dette tilsier at synkende temperatur og mindre lys kanskje var vel så viktige for at veksthastigheten i karene avtok utover høsten.

Tabell 12 Opptak av N, P og K gjennom vekstsesongen i andemat i fire kar med vann tilsatt blautgjødning eller bioest.

Behandling	Opptak av N, g	Opptak av P, g	Opptak av K, g
Blaut2	1,42	0,57	1,19
Blaut3	1,59	0,62	1,28
Bioest1	0,55	0,25	0,72
Bioest4	0,70	0,37	1,02

4.5 Hvordan kan fiskeslam egne seg som gjødning for andemat?

Vi kjenner ikke til at fiskeslam, forstått som en blanding av avføring og fôrspill fra fisk i oppdrett, er prøvd ut som næringskilde til andemat under norske forhold. For slam fra saltvannsbasert oppdrett kan saltkonsentrasjonene bli et problem, men *Lemna minor* ser ut til å være relativt robust for salinitet (= saltinnhold i vekt % av vannet). Björndahl (1985) oppgir at *Lemna minor* kan tåle salinitet opp til 0,6 % uten at veksten reduseres, og dette er definert som brakkvann. Til sammenlikning regnes vann som ferskvann når saliniteten er under 0,05 %, mens havvann typisk inneholder 3,5 % salt.

Gebauer (2004) oppgir sammensetningen i slamfiltrert ut fra saltvannsbasert oppdrett av laks (som ble prøvd ut som substrat for biogassproduksjon) til å inneholde 8.2-10.2 % TS, og av næringsstoffer 2,4-3 g total-N, 1,3-1,7 g P, 0,5 g K, 4,6 g Ca, 1,8 g Mg og 10,2 g Na målt per liter. Innholdet av klor var 23,6 g per liter. Hvis dette substratet skal brukes til å lage en næringsløsning på 100 ppm N og vi forutsetter 3 g N per liter slam, vil det til 100 liter vann trenge 10 g N, som vi finner i 3,3 liter slam. Holder vi oss til innholdet av Na og Cl vil saltinnholdet i næringsløsningen være 111,5 g per 100 000 g vann dvs. 0,11 %. Det er vanskelig å si om andemat vil trives under slike forhold, og om planten vil akkumulere mye Na og Cl eller om disse elementene vil bli igjen i vannet mens planten bruker opp

næringsstoffene den trenger til vekst. Sannsynligvis vil det ikke tas opp på langt nær så mye Na og Cl i andemat som vekstmediet inneholder, slik at hvis ny tilførsel av N, P og K etc. skal komme fra samme type slam, vil vekstmediet over tid raskt tilta i salinitet over grensa for det andemat kan tåle.

Hva med slam fra ferskvannsbasert oppdrett, f.eks. av smolt? Her oppgir Gebauer og Eikebrokk (2006) at slammet inneholder 6.3-12.3 % TS, med en salinitet på 1,4 %, og innhold av næringsstoffer 5,5-10,6 g total-N, 1,4-2,8 g P, 0,07 g K, 3,9 g Ca, 0,19 g Mg, 0,21 g Na og 1,3 g Cl per liter. Forutsetter vi det høyeste N-innholdet, er det nok med 1 liter slikt slam per 100 liter vann til vekstmedium for andemat, og saliniteten beregnet ut fra Na og Cl blir 0,00151, dvs. klassifisert som ferskvann. Det er imidlertid alt for lite kalium i dette substratet til at andematen vil trives, mens P-innholdet er høyt. Lavt innhold av K i slam fra smoltanlegg bekreftes av Braaten m.fl. (2010) (Tabell 1, side 31). For seks smoltanlegg fant de et innhold av K på 0,03-0,6 % av TS, mens innholdet av total-N varierte fra 3,2 til 8,6 % av TS. Vårt enkle forsøk på Tingvoll tydet på at husdyrgjødsel inneholder i minste laget med P for dyrking av andemat, mens K-innholdet er rikelig. Det ville være interessant å undersøke om en blanding av slam fra smoltanlegg og husdyrgjødsel kan egne seg for kommersiell dyrking av denne planten.

4.6 Mulige opplegg for dyrking av andemat under norske forhold

Hensikten med prosjektet har vært å vurdere andemat som proteinkilde for husdyr, spesielt fjørfe og fisk. Selv om veksthastigheten av andemat kan være imponerende under gode forhold, vil det neppe være økonomisk realistisk å investere i drivhus med avanserte styringssystem for å dyrke denne planten. I denne rapporten har vi derfor valgt å ikke gå videre inn på dyrking av andemat i kunstige medier. I den grad dette vurderes som aktuelt vil rapporten fra Langerud og Wikdahl (2012) være et nyttig utgangspunkt.

Produksjon av andemat i stor skala vil kreve betydelige areal for å samle (naturlig) lys. Av økonomiske årsaker bør dyrkingen kombineres med andre gode formål enn å skaffe protein. Rensing av næringsrikt vann, f.eks. i jordbruksområder eller i renseanlegg, kan være et alternativ. Som vårt enkle forsøk viste, kan det være en utfordring å kombinere en målsetning om høy produksjon av andemat og et ønske om å fjerne mest mulig næringsstoff fra et gitt volum med vann.

Siden utgangspunktet for arbeidet var lokale forutsetninger i Sunndal som rikelig tilgang på varmtvann og høy kompetanse på oppdrett av fisk, kan man tenke seg at det prøves ut et pilotanlegg der slam fra smolt eller annet ferskvannsbasert oppdrett blandes med husdyrgjødsel og vann i en konstruert dam (f.eks. grunn grop dekket med gummiduk), hvor det er lagt varmerør på bunnen. Man kunne tenke seg to dammer; en til oppformering av andemat, og en til oppformering av ferskvannsfisk f.eks. karpe. Når andematbestanden har blitt tilstrekkelig stor dam nr. 1, flyttes fisk over dit, mens andematen i dam nr. 2 får vokse i fred en periode.

Et annet alternativ kunne være «risdyrking»: Et flatt areal legges under vann ved at det etableres jordvoller langs kanten av arealet. Jorda bør være leirholdig. Det tilføres jevnlig vann slik at vannstanden holdes på ca 5-10 cm, og det dyrkes andemat gjennom en

vekstsesong. Næringssubstrat tilføres ved behov. Vekstsesongen kan forlenges i begge ender ved at det er lagt ut sløyfer med varmtvann direkte på arealet, slik at dyrking kan starte f.eks. i mars. Når siste andemat er høstet, f.eks. i oktober, stoppes vanntilførselen. Næringsstoffene som gjennom sesongen har samlet seg i jorda vil være god gjødsel for f.eks. korn eller poteter året etter. Varmtvannssløyfene legges da over på et annet areal. Lasfar et al. (2007) oppgir at *Lemna minor* vokser dårlig ved temperaturer under 10 °C. Populasjonen de brukte til å undersøke effekten av temperatur på vekst var hentet fra et renholdsverk i Quebeck, Canada, og kan dermed være representativ også for norske forhold.

Det kan være mulig at temperaturen mer enn lyset begrenser vekst av andemat under norske forhold vår og øst. Planten vokser godt i skygge, og kan ikke sies å være lyskrevende. Lasfar et al. (2007) oppgir at *Lemna minor* kan vokse selv ved en daglengde på bare 2 timer. I deres forsøk var lysstyrken $371 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Dette oppgis av disse forfatterne til å være noe over lysmetningspunktet på $342 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Denne verdien er betydelig høyere enn oppgitt i kapittel 2 basert på en annen kilde.

Bjørndahl (1985) diskuterer dyrking av andemat som proteinkilde. Han påpeker at vind kan ødelegge dyrkingsopplegg ved at plantene samler seg i lag som senere ikke fordeler seg utover igjen. Man skal også være oppmerksom på at planten kan ta opp store mengder tungmetaller og andre uønskede forbindelser. Problemer med algevekst er allerede nevnt.

4.7 Konklusjon

Andemat vokser godt med blautgjødsel som næringskilde. Biorest ser ut til å fungere betydelig dårligere.

Veksten avtok betydelig i september, dette skyldtes neppe næringstilgang.

Fiskeslam fra saltvannsbasert oppdrett er neppe egnet som vekstmedium for andemat, p.g.a. for høyt saltinnhold.

Fiskeslam fra smoltanlegg i ferskvann er ikke egnet som næringskilde for andemat alene p.g.a. for lavt innhold av kalium.

En kombinasjon av fiskeslam og blautgjødsel fra storfe kan være gunstig for andemat, siden dette vil øke innholdet av P, som ser til å kunne bli det begrensende næringsstoffet hvis kun husdyrgjødsel brukes som næringskilde.

Pilotforsøk med dyrking av andemat i felt, der fjernvarme brukes til å utvide vekstsesongens lengde, ville være en interessant forlengelse av prosjektet.

5 Vurdering av metoder for avvanning og tørking

5.1 Prosesseringsmuligheter med andemat

Andemat inneholder ca 95 % vann ved høsting. Det betyr at store mengder vann må fjernes for å oppnå et tørt produkt. Dersom mikrobiologisk og enzymatisk aktivitet skal være eliminert i sluttproduktet må det varmebehandles før eller under prosessen. En pH – justering vil kunne forhindre mikrobakteriell aktivitet, men naturlige eller tilsatte enzym vil fortsatt være aktive. Autolyse ved bruk av syre eller en oppvarming og hydrolyse i kombinasjon vil kunne få andematen over på væskeform og øke muligheten for rimeligere avvanning. Derimot vil et slikt alternativ medføre andre kostnader (syre/enzym mm.) som må vurderes opp mot muligheten for en rimeligere avvanning. Sluttproduktet som inkluderer auto/hydrolyse kan både bli et væskekonsentrat og et pulver. Det er knyttet usikkerhet til mulighetene for en total enzymatisk nedbrytingsprosess for andemat, og dette må undersøkes.

5.1.1 Mekanisk avvanning

Bortsett fra sol og vindtørking i det fri er mekanisk avvanning den rimeligste form for vannfjerning. Avsiling, pressing og membranfiltrering kommer inn under begrepet mekanisk avvanning. For andemat ser det ikke ut til at en kommer særlig under 95 % vann etter avsiling. Ytterligere avvanning kan foretas med eksempelvis pressing. Det er vanskelig å si hvor mye væske som kan dreneres ved pressing for ubehandlet andemat, men tørrstoffet kan kanskje heves til mellom 10 og 20 %. For å få god effekt av pressen bør andematen forbehandles, for eksempel med varme eller syre. Hvilken presstype som egner seg er avhengig av strukturen til råstoffet. En skrupresse gir god avvanning, men utsetter råstoffet for hard mekanisk belastning. Beltepresser er mer skånsomme, men vanninnholdet i presskaken blir trolig høyere. Under begrepet pressing regnes også sentrifugering som inkluderer dekanter, sedikanter og kurvsentrifuge mm. Avhengig av den massen som skal konsentreres kan mengde oppnådd tørrstoff i faststoffmassen variere betydelig mellom pressemetodene.

Hvis pressvæsken inneholder interessante komponenter må den konsentreres før tørking. Membranfiltrering (omvendt osmose) kan være et alternativ. Ved omvendt osmose vil det meste av tørrstoffet bli beholdt, mens membraner med større porer kan selektivt fjerne salter, små molekyler eller peptider. Jo større poreåpning dess lavere trykkfall over membranen og dess mindre energi brukes. Det er trolig ikke mulig å oppkonsentrere retentatet høyere enn til ca 20 % tørrstoff. Resterende avvanning fra ca 20 % tørrstoff til tørt pulver må gjennomføres termisk.

Når det gjelder andemat, har vi ingen erfaring med hvor mye av vannet som lar seg fjerne med mekanisk avvanning. Det er derfor behov for undersøkelse av ulike kombinasjoner av forbehandling og avvanningsmetoder. Det er gjennomført noen innledende laboratorietester som kan gi indikasjoner på muligheter med tanke på mekanisk avvanning ved bruk av press.

5.1.2 Termisk avvanning

Med termisk avvanning menes inndamping/konsentrering av væsker og tørking for mer eller mindre fast materiale. Ved å anvende spraytørke kan også væsker tørkes til et tørt pulver. Industrielt finnes det flere typer inndampere fra ett trinn til flere/mange trinns. Flere trinn betyr rimeligere avvanning.

5.1.2.1 Inndamping

Væskefasen konsentreres ved inndamping. Et 3-trinns inndampingsanlegg vil forbruke 0,3-0,4 kWh pr kg vann fjernet. Den rimeligste form for inndamping er mekanisk rekompresjon som kun behøver ca 0,03 kWh/kg vann fjernet. Energimessig vil dette være på linje med omvendt osmose. Pressvæske eller retentat fra membranfiltrering kan muligens konsentreres til 40 % tørrstoff eller mer, men vi har ingen erfaring med væskefasen fra andemat. Viskositeten til konsentratet vil normalt sette begrensninger for hvor mye det er mulig å dampe inn.

5.1.2.2 Tørking

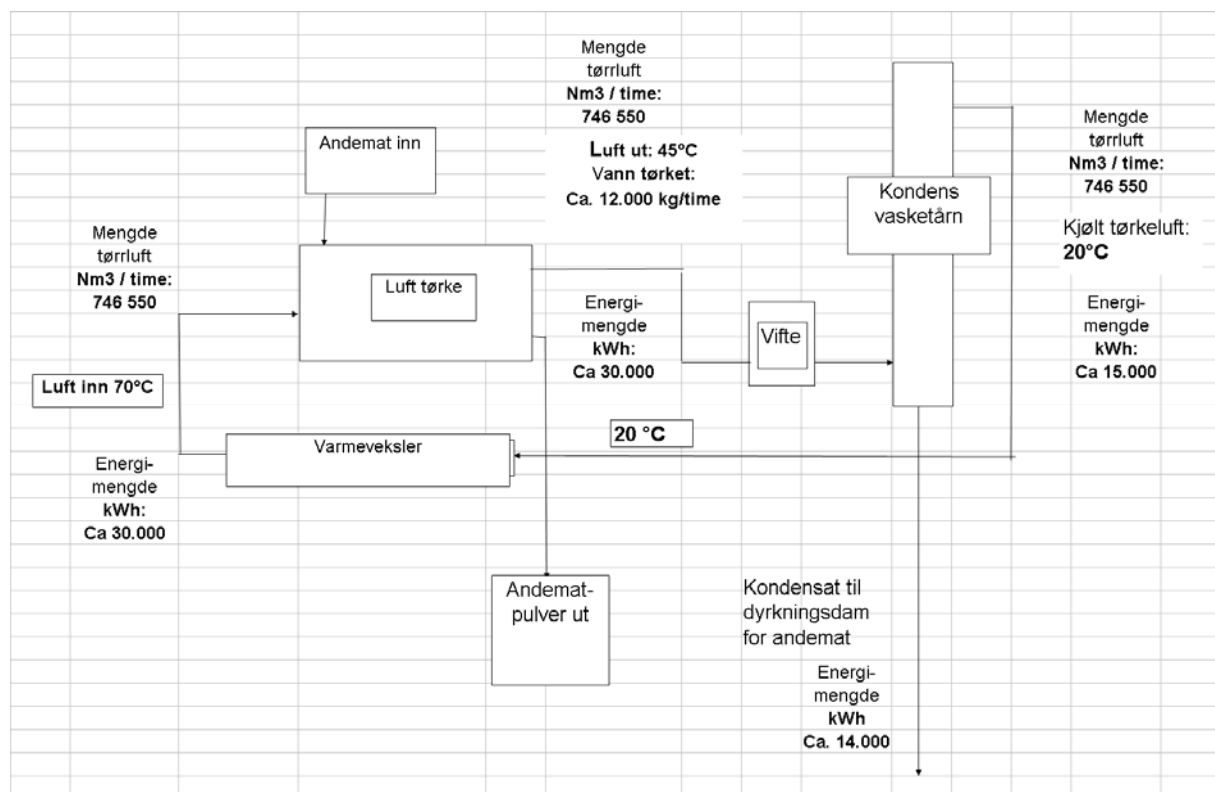
Industriell tørking er den dyreste form for avvanning. Det benyttes både konveksjonstørker og kontakttørker industrielt. Konveksjonstørkene er vanligvis mer energikrevende enn kontakttørkene, men for varmfølsomme produkter blir temperaturen i tørkegodset betydelig lavere enn for en kontakttørke. For en konveksjonstørke under atmosfæriske betingelser kan energiforbruket variere fra 0,9 til 1,5 kWh pr kg vann avhengig av tørketype og valgt temperatur i tørkeluften. For en kontakttørke (eksempelvis indirekte damptørke) vil forbruket ligge omkring 0,9 kWh/kg vann. Avdampen fra en kontakttørke kan også utnyttes i en inndamper. Konveksjonstørking i kombinasjon med varmepumpe vil kunne redusere energikostnadene for tørking ned mot 0,3 kWh/kg, men pga. lave temperaturer (< 100 °C) i tørkeluften for varmepumpetørkene må det benyttes store luftmengder for å få kapasitet på tørken. Dette vil øke investeringskostnadene. En kan også tenke seg vannet fjernet under trykk eller vakuum i dampatmosfære. Under trykk vil volumet av avvanningsenheten kunne reduseres for samme avvanningskapasitet, men ulempen blir høyere temperatur i tørkegodset og dermed fare for varmeskade på varmfølsomme produkter. På grunn av økning i gassvolumet under vakuum må volumet av avvanningsenheten økes ved samme avvanningskapasitet. Fordelen med en vakuamtørke ligger i at avvanningen kan skje ved lavere temperatur i tørkegodset enn for en atmosfærisk kontakttørke. Dersom tørkemediet for en konveksjonstørke forandres fra luft til overhetet damp vil energiforbruket under atmosfæriske forhold kunne bli lavere enn 0,8 kWh/kg. Ulempen blir at tørkegodset får en temperatur omkring 100 °C. Dampen som produseres under tørking kan benyttes til andre formål for oppvarming. Det er under utvikling konveksjonstørker som benytter overhetet damp under vakuum. I slike tørker er det mulig å senke produkttemperaturen ned til 60-70 °C. Frysetørking gir den laveste temperaturbelastningen på tørkegodset. Ulempen er at tørkene har svært lav kapasitet. Tørketiden blir lang, og energikostnadene (hvis en ser bort fra varmepumpevarianten) ca 7 kWh/kg vann.

5.1.3 Elektrosmose

Elektrosmose kan muligens være en aktuell avvanningsmetode også for andemat. Teknologien er under utvikling i kombinasjon med mekanisk avvanning på sil/ filtreringsband, Metoden anvendes blant annet på slam industri, jord/torv og matavfall hvor tørrstoffinnholdet i massen kan økes fra ca 20 % og opp til ca 30 %. Energiforbruket for avvanningsmetoden er noe usikker, men det er antydnet et forbruk på ca 0,1 kWh/kg vann. Det finnes bandteknologi som både filtrerer, presser og tørker et produkt. Denne teknologien kunne være interessant å få prøvet ut for andemat gjerne i kombinasjon med elektrosmose.

5.1.4 Spillvarme fra Sunndal Energi

Utnyttelse av spillvarme fra Sunndals Energi var et av målene for dette prosjektet. Spillvarmen som de har til rådighet ble oppgitt til å være ca 960.000 m³ luft med 70 °C pr time. Dette representerer en energimengde på ca 30.000 kWh. I Figur 10 er skissert et forslag til hvordan en kan tenke seg å utnytte denne energien i et atmosfærisk og adiabatisk og tørkeopplegg for andemat.



Figur 10 Skjematisk oppsett av tørrluftmengder, energi og avvannet mengde i tørke.

Med energimengden som er til rådighet skulle det teoretisk være mulig å fjerne ca 12 tonn vann i tørken pr time. Basert på opplysningene fra Sunndal Energi om temperatur og luftmengder er energiforbruket pr kg vann fjernet beregnet til ca 1,2 kWh/kg vann.

På grunn av varmetap, luftlekkasjer og behov for lavere fuktighet enn 45 % i luften ut fra tørken for å oppnå tørt produkt, vil det i praksis ikke være mulig å fjerne stort mer enn 8 -10 tonn vann pr time. Det betyr at det blir viktig å utnytte muligheten for mekanisk avvanning før

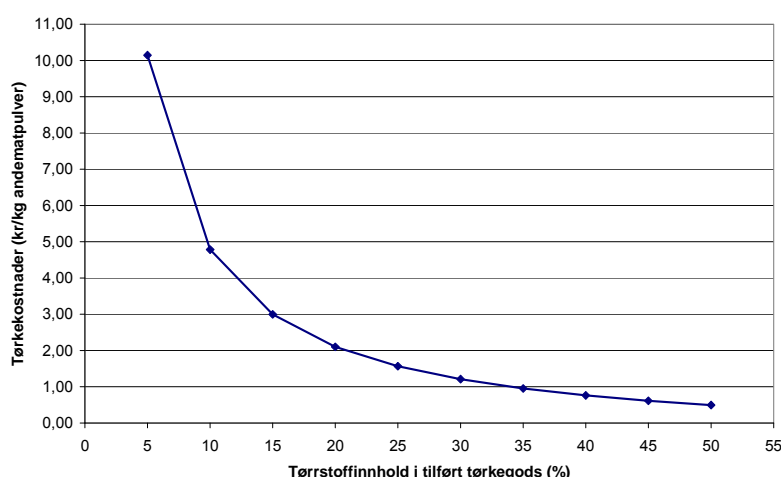
tørke maksimalt. Fordelen med et slikt opplegg er at energimengden i spillvarmen både kan benyttes til å tørke og til å varme opp vann for dyrking av andemat.

Tabell 14 viser oppsettet og Figur 12 illustrerer energikostnader for tørkeprosessen pr kg mel avhengig av oppnådd tørrstoffinnhold i mekanisk avvannet andemat som tilføres tørken. Energikostnadene er satt til kr. 0,50/kWh og temperaturen i luften som tilføres tørken er satt til 70 °C. For at det tørre produktet av andemat skal være lagringsstabil må vannaktivitet til pulveret være lavere enn 0,7. Vannaktiviteten (a_w) til det tørre pulveret fra andemat relatert til vanninnholdet er ikke analysert, men for sildemel med 7 % vann vil a_w være i området 0,4 – 0,5. Pulvermekanisk sett vil vanninnholdet også ha betydning. Dette er grunnen til at 93 % tørrstoff i sluttproduktet er valgt. Hvis andematen kun kan avvannes mekanisk til 15 % tørrstoff i henhold til laboratorieforsøkene i pkt. 5.2.1.2 blir energikostnadene til tørking kr 3,00 pr kg tørt pulver.

Tabell 13 Avvanningskostnader relatert til tørrstoffet i mekanisk avvannet masse.

Mengde andemat og/eller mekanisk avvannet andemat (kg)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tørrstoffinnholdet i masse tilført tørke (%)	5	10	20	30	40	50
Tørrstoff pulver %	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0
Mengde pulver kg	53,8	107,5	215,1	322,6	430,1	537,6
Mengde vann å tørke kg	946,2	892,5	784,9	677,4	569,9	462,4
Energiforbruk pr. kg vann fjernet kWh	1,153	1,153	1,153	1,153	1,153	1,153
Energiforbruk til tørking kWh	1091	1029	905	781	657	533
Pris pr. kWh kr.	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energikostnad (tørking) kr pr. kg pulver	10,14	4,78	2,10	1,21	0,76	0,50

Med tanke på utnyttelse av spillvarmen fra Sunndal Energi bør det diskuteres med aktuelle maskinleverandører for alternative tørkevarianter (eksempelvis: bandtørker, trommeltørker, ”fluid bed tørker”, mekanisk ”fluid bed” - tørker/paddeltørker eller pneumatiske tørker/ringtørker) som kan utnytte de store varmluftsmengdene på en effektiv måte.



Figur 11 Avvanningskostnader relatert til tørrstoffinnholdet i mekanisk avvannet andemat (Temperaturen i luft tilført tørke er satt til 70 °C og energiprisen er satt til kr 0,50/kWh.)

5.2 Undersøkelse av prosessmuligheter

5.2.1 Kompresjonstest i juni

Mottok en liten prøve med frisk andemat ultimo juni 2011. Andemat ble oppbevart i beholder med vann. Grønne blad ble fisket opp av vannet og 10,48 g ble fylt opp i en 10 ml plastsprøyte. Stempelet ble satt i og andematmassen ble komprimert så mye som mulig (Figur 10). Det ble presset ut 2,56 g væske fra andematen. Dette ga en vektreduksjon for andematen på 42,1 %, og tørrstoffinnholdet i komprimert andemat ble analysert til 8,1 %. Væsken som ble presset ut var vannklar. Ved å anta at tørrstoffinnholdet i væsken var ubetydelig ble tørrstoffet i selve andematen beregnet til 4,7 %.



Figur 12 Komprimeringsmetode for andemat.



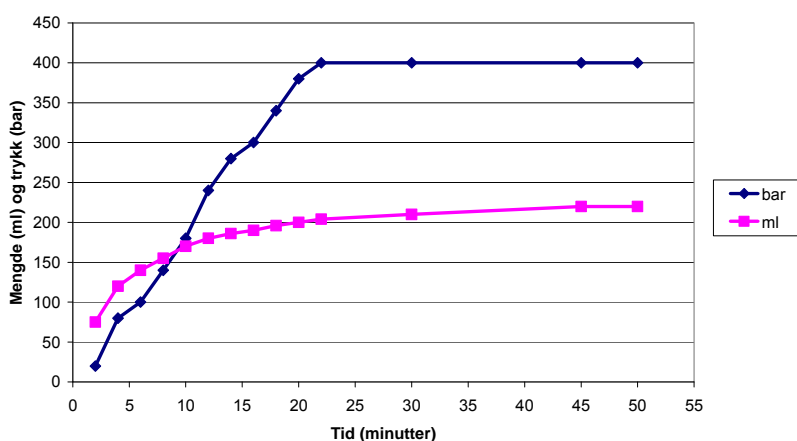
Figur 13 Ostepresse.

5.2.2 Forsøk med ostepresse i august

Mottok ca 1,5 kg frisk andemat den 23. august og gjennomførte 2 forsøk den 23.08.11 og den 24.08.11 på en ostepresse (Figur 11). I hvert av forsøkene ble det fisket opp 400 g frisk andemat som ble fylt i pressen. Massen ble pakket inn i en duk av gas før press (Figur 12) I det første forsøk ble presset langsomt bygget opp og holdt i 50 minutter med et maksimalt hydraulisk trykk på 400 bar. Av 400 g andemat ble det presset ut 220 ml svakt farget væske. Presskaken hadde en tykkelse på 0,5 til 1 cm. Presskake og pressvæske ble analysert.



Figur 14 Presskake fra 400 g andemat.



Figur 15 Mengde pressvæske fra 400 g andemat og trykkoppbygging avhengig av tid i ostepressen.

Det ble foretatt et nytt tilsvarende forsøk neste dag hvor trykket i pressen ble registrert med 2 minutters intervaller. Figur 13 viser forløp av trykkoppbygging og drenering av væske versus tid.

Reproduserbarheten fra første forsøk var god med 220 ml pressvæske både etter 45 og 50 minutters press.. I forsøk 2 ble presskaken revet opp og varmebehandlet til 60 -70 °C i en gryte. Deretter ble varmebehandlet presskake overført til ostepressen for ytterligere avvanning. Varmebehandlingen resulterte i at ytterligere 30 ml mørkfarget pressvæske kunne presses ut før drenering stoppet opp ved 30 minutter etter en trykkoppbygging til 400 bar.

Tabell 13 viser resultatet av analysene av pressvæske og presskake for forsøk 1 og 2 samt for forsøket med varmebehandling av presskaken i forsøk 2. Basert på analysene er det foretatt beregninger av tørrstoff og mengder. Det viste seg at tørrstoffanalysen av

presskaken ga for høye verdier relatert til utbytte fra tørkeforsøket, og det var dessuten store avvik mellom parallellene (1,2 % -enheter). Det kan være to forklaringer på dette. Enten har presskaken ikke vært homogen, eller så er det dannet skorpe på prøven i varmeskapet under tørrstoffbestemmelsen. Prøvene ble reanalysert, men snittverdiene lå i samme området. Hvis presskakeprøvene har vært innhomogen, som er det mest sannsynlige, kan det tyde på at bruk av skrupresse vil øke mulighetene for avvanning. Tørrstoffet på 36 % for varmebehandlet presskake er opplagt ikke representativt for hele presskakemengden. Beregnet verdi for mengde tørrstoff i varmebehandlet presskake ble hele 53 g relatert til 25 g i frisk andemat. Når det gjelder tap ved pulverfremstillingen, kan det aksepteres noen få gram svinn, men ikke 9-10 g som Tabell 13 viser. Beregnet tørrstoff i andematen på 6,3 % er trolig også for høyt. Kompresjonstesten i juni ga en beregnet verdi på 4,7 %.

Tabell 14 Mengder, analyser og beregninger.

	Mengde	Tørrstoff (TS)	Mengde (TS)	Mengde pulver
	g	%	g	g
Andemat 23.08.11	400	6,3 *	25*	16
Andemat 24.08.11	400	6,3 *	25*	
Presskake 23.08.11	180*	14	27*	
Presskake 24.08.11	180*	14	27*	
Pressvæske 23.08.11	220	<0,1	0*	
Pressvæske 24.08.11	220	<0,1	0*	
Koagulert presskake 24.08.11	146*	36	53*	12,2
Pressvæske koagulert	34	1,8	0,68*	
Andemat til sentrifuge	89,1	5,9*	5,3	
Sentrifugert grakse 24.08.11	55,1*	9,2	5,1	
Sentrifugert væske 24.08.11	27	0,7	0,19	
*) Beregnede verdier				

I en ostepresse ligger massen i ro under trykkbelastningen. I en skrupresse eltes massen under press, og det kan åpne for ytterligere oppkonsentrering av presskaken. De sprikende tørrstoffverdiene i fra ostepressen underbygger muligheten. Et forsøk på skrupressen vil kunne gjennomføres når mengder på 50-100 kg andemat blir tilgjengelig.

Både kald og varmebehandlet presskake ble tørket i en "fluid-bed"-tørke med lufttemperatur på 70-80 °C. For å bedre kontakten mellom tørkegodts og varmluft ble presskaken revet opp før tørking. Utbytte av tørt pulver pr 400 g andemat ble henholdsvis 16 g (4 %) og 12,2 g (3 %) pulver. Utbytte ble naturlig nok høyere uten varmebehandling. Pulveret av varmebehandlet presskake fikk en noe mørkere grønnfarge enn uten varmebehandling.

5.2.2.1 Sentrifugeringsforsøk i august

Industrielt benyttes kurvsentrifuger for å presse vann ut av fuktig masse. For å studere muligheten til at dette også kan være aktuell avvanningsteknikk for andemat, ble det gjennomført et sentrifugeforsøk i lab skala. Et sentrifugerør (400 ml) ble fylt opp med ca 200 ml kinesiske trekuler, ($\Phi = 5$ mm), og 89,1 g andemat ble lagt oppå kulene. Andematen ble

sentrifugert i 10 minutter med en gjennomsnittlig g-belastning på ca 2700 g eller ca 27.000 gmin som er betydelig høyere g-belastning enn hva som er vanlig industrielt (ca 1000 gmin).

Fra 89,1 g andemat ble det frigjort ca 27 ml svakt farget væske som ble analysert for tørrstoffinnhold sammen med avvannet andemat (grakse). Tørrstoffinnholdet i sentrifugert grakse og sentrifugert væske fremgår i Tabell 13. At tørrstoffinnholdet i graksen ble lavere enn for presskaken var som forventet. Et beregnet tørrstoffinnhold på 5,9 % i andematen basert på tørrstoffinnholdet i graksen indikerer at heller ikke graksen kan ha vært homogen.

5.3 Konklusjon

For å redusere avvanningskostnadene til produktet blir det viktig å fokusere på mulighetene for mekanisk avvanning av andemat. En eventuell videreføring og uttesting vil kreve tilgang på større mengder andemat. Gjennomføring av aktuelle pilotundersøkelser vil kreve større økonomiske resurser enn hva som er til rådighet i øyeblikket.

Foreløpige laboratorietester viser at det kan bli en utfordring å oppnå god mekanisk avvanning av ubehandlet andemat. Forpressing etterfulgt av varmebehandling med påfølgende etterpressing kan bedre mulighetene, men vil også øke produksjonskostnadene.

Etter en mekanisk avvanning kan det bli behov for å rive opp komprimert masse for å bedre kontakt mellom tørkegods og luft under tørkeprosessen. Et tørkesystem basert på mekanisk fluidisering under tørkeprosessen (paddeltørke), eventuelt et ringtørke- system vil trolig bli den mest effektive metoden.

5.4 Videreføring

Når det gjelder nye forsøk med mekanisk avvanning, er skrupresseforsøk, eventuelt i kombinasjon med varmebehandling av presskake og ny pressing, det mest nærliggende.

Elektrosmose som avvanningsmetode kan også være interessant for andemat. Det kunne derfor vært nyttig å få bygge opp kunnskap omkring denne avvanningsteknologien.

Egnede tørker for å utnytte spillvarmen fra Sunndal Energi bør utredes.

6 Økonomisk beregning av lønnsomhet

Dyrking og prosessering av andemat til fôrformål, kan illustreres ved følgende verdikjede:



Figur 16 Verdikjede andemat.

I kapittel 2, 4 og 5 er det redegjort for de fire prosessene som inngår i verdikjeden. I de nevnte kapitlene framgår det betydelig grad av usikkerhet til svært mange av de faktorene som inngår i hver av de fire prosessene i verdikjeden. Usikkerheten har sammenheng med at det finnes lite kunnskaper og erfaring med andemat-produksjon i stor skala. Økonomiske beregninger av lønnsomhet vil være preget av det høye omfanget av usikkerhet som er knyttet til dyrking, høsting og prosessering.

Analysen av lønnsomhet gjennomføres som en nåverdiberegning: Framtidige netto kontantstrømmer (innbetalinger minus utbetalinger fra drifta) sammenholdes med utbetalinger til de investeringene (på nå-tidspunktet) som må gjennomføres for å muliggjøre drifta. Framtidige kontantstrømmer neddiskonteres med en kalkulasjonsrente. Kalkulasjonsrenten skal bl.a. reflektere alternative avkastningsmuligheter og risikoen knyttet til investeringsprosjektet. Beregningene kan gjøres på basis av tallstørrelser korrigert for forventet prisstigning (nominelle verdier) eller faste tallstørrelser (reelle verdier). I den foreliggende analysen er det valgt å bruke faste tallstørrelser.

Nåverdi (NPV: “net present value”) beregnes slik:

$$NPV = -CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

der:

CF_0 : (“cash flow”) investering på nåtidspunktet – knyttet til *anlegg* for drift og prosessering

CF_t : netto kontantstrøm knyttet til drift i år t

t : år 1, 2, 3, ... , n

i : (“interest”) kalkulasjonsrenta

På grunnlag av nåverdiberegningen, vil det bli gjennomført følsomhetsanalyser. En følsomhetsanalyse vil gi et bilde av hvilken effekt i en parameter (for eksempel investeringsutgift, pris andemat-mel, energipris, mv) har på lønnsomheten; vi får et bilde av hvor *følsom* prosjektet er for endringer i de enkelte parameterne som inngår i lønnsomhetsberegningen. Følsomhetsanalysene vil – til en viss grad – bidra til at usikkerheten i prosjektet blir tatt hensyn til.

I den foreliggende analysen tar vi utgangspunkt i den “skissen til anlegg” som framgår av kapittel 2.6.1 Produksjonshall til helårsdyrking, samt behov for høsting og prosessering av biomasseproduksjonen ved et slikt anlegg.

6.1 Investeringer

I beregningene legges det til grunn en produksjonshall på 20 x 50 meter (1.000m²) med raffehøyde på 5 meter. Dyrkingskarene er i tre etasjer; med et samlet dyrkingsareal på 1.680m² (jamfør kapittel 2.6.1).

Følgende poster inngår i investeringen:

- Prosjektering: bygg, elektro, maskin
- Isolerte rør for overføring av fjernvarme fra varmekilde til produksjonshall
- Grunnarbeid (graving)
- Dekke i produksjonshall
- Bærestruktur for hyller for dyrking
- Hyller for dyrking 40 x 7 m (6 enheter)
- Lys (høytrykksnatriumsdamp lamper)
- Rørlegging og varmeveksler for oppvarming av vann
- Utstyr for skjerming av sollys på sommeren
- Produksjonshall stålstruktur og akryltak 20 x 50 m
- Montasje produksjonshall
- Elektrisk anlegg

I tilknytning til produksjonshallen må det videre investeres i “utstyr” for mest mulig automatisert høsting av andematen. Høstingen vil foregå tilnærmet kontinuerlig.

Basert på et produksjonsareal på 1.680m², og produksjon av 2.500 kg tørrstoff pr år og dekar, vil den produserte mengden andemat (gitt 95 % vanninnhold) bli på 84.000 kg pr år. Dette vil kunne gi 4.200 kg (4,2 tonn) andematmel pr år. Med en årlig produksjon på 84.000 kg andemat, må det hver uke må høstes en biomasse på 1.615 kg (som også er den ukentlige mengde som skal tørkes/prosesseres).

Det er knyttet usikkerhet til høstingsteknologien, og det er således også knyttet usikkerhet til investeringsomfanget relatert til høsting.

Med ukentlig høsting på 1.615 kg biomasse må samme mengde også ukentlig tørkes/prosesseres til “mel” med 93 % tørrstoffinnhold. 1.615 kg “andematråstoff gir” 81 kg ferdig prosessert andemat med 93 % tørrstoffinnhold. Det er knyttet en del usikkerhet til hva som er “optimal” prosess for tørking av andemat; jamfør kapittel 5 Vurdering av metoder for avvanning og tørking.

Investeringene knyttet til avvanning/tørking forutsettes å være tilpasset et volum på inntil 100 kg tørket råstoff pr uke, og inkluderer følgende poster:

- Prosjektering: bygg, elektro, maskin

- Isolerte rør for overføring av fjernvarme fra varmekilde til produksjonshall
- Grunnarbeid
- Bygg
- Lys, stikk og varme (“grunnleggende elektrisk anlegg”)
- Utstyr for mekanisk avvanning til 20 % TS
- Utstyr for termisk tørking (fra 20 % TS til 93 % TS)

En investering i anlegg for avvanning og tørking kan utføres som del av dyrkingsanlegget. En slik fysisk samordning vil bl.a. føre til investeringsmessige besparelser og gi mulighet for gjenbruk av energi som medgår til tørkeprosessen.

De samlede investeringene til dyrkings- og prosesseringsanlegg som skissert over, forutsettes å være kr 15.000.000. Denne investeringsutgiften ikke basert på eksakte kalkyler, men på erfaringstall fra tilsvarende bygg/anlegg med noenlunde tilsvarende tekniske utrustning og kompleksitet. Det foreligger således en del usikkerhet til investeringene, men følsomhetsanalysene (se kapittel 6.5) vil gi et bilde av hvor store investeringer andematprosjektet “kan tåle”.

En eventuell *skalering* av anlegget, dvs økning eller reduksjon av produksjonskapasiteten, vil ikke innebære “lineære” justeringer i det samlede investeringsbehovet (i den forstand at doblet produksjonskapasitet krever dobbelt så store investeringer). Noen av investeringspostene kan endre seg lineært, men de fleste investeringspostene vil være “underproporsjonale” i den forstand at investeringene ikke øker like mye som økningen i produksjonskapasitet.

6.2 Driftsinntekter

Andemat kan fungere som et substitutt for vegetabiliske proteinkilder i fôr til bl.a. fisk. For at andemat skal framstå som et *attraktivt* substitutt til andre vegetabiliske proteinkilder, må årlig produksjon opp i 28.000 tonn (jmfør kapittel 3.3). Dette betinger ca 6.700 anlegg (!) av den dimensjonen som er skissert i kapittel 6.1.

Andemat må forventes å oppnå en pris tilsvarende den som oppnås for andre vegetabiliske proteinkilder, f.eks soyamel. Basert på soyamelpriser i de siste fem år, er det “rimelig” å forutsette en pris for andematmel på kr 20 pr kg.

<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybean-meal&months=60¤cy=nok> (besøkt 19.12.2011 kl 10:30)

6.3 Driftskostnader

I det følgende er det gjort rede for de viktigste driftskostnadene som forventes å følge av dyrking og prosessering av andemat. Følgende forutsetninger ansees som realistiske, og er lagt til grunn (gitt anlegg og dyrkingskapasitet som vist til i kapittel 6.2):

- Dyrking og høsting:
 - Arbeidsforbruk pr år: 0,35 årsverk, hvilket gir en samlet lønnskostnad (inkl sosiale kostnader) på kr 196.000. (Til sammenligning: Arbeidsforbruket med dyrking av agurk i veksthus er 1.000-1.200 timer pr daa. Kilde: NILF, 2010)
 - Energiforbruk til oppvarming av vann i dyrkingsbassengene: Oppvarming av dyrkingsvann til 20°C kan gjennomføres på flere ulike måter; bl.a.
 - Hele dyrkingshallen varmes opp (kjøles ned) til 20°C. Vannet i dyrkingsbassengene (som kan være forholdsvis stillestående gjennom en en ukes dyrkingssyklus) kan tempereres indirekte (fra omgivelsene)
 - Direkte oppvarming av vannet i dyrkingsbassengene – ved bruk av vannbåren varme i ledninger i bassengene. Ved bruk av spillvarme i form av varm luft, må vannbåren varme besørges ved luft til vann varmevekslere.
- Energiforbruket vil avhenge av bl.a. 1) hvilken teknologi som benyttes (se punktene over), 2) vanntemperatur fra vannkilden, 3) lufttemperatur (dersom hele hallen skal varmes opp), 4) grad/omfang av utskifting av vannet i bassengene, og 5) evt gjenvinning av rest-energi fra tørkingsanlegget for andemat.
- Energiprisen for spillvarme forutsettes å være kr 0,50 pr kWh. Forbruket av energi er usikkert, men stipuleres til ca 150.000 kWh pr år.
- Energiforbruk belysning: Selv om andemat er en “skygge-elskende” vekst, så trengs det tilstrekkelig med lys for å oppnå optimal vekst. Det forutsettes et energiforbruk til belysning på 10.000 kWh og en pris pr kWh på kr 1,00.
 - Næringsstoffer/gjødsling: Det forutsettes at gjødsel (fra jordbruk; evt også fra settefiskoppdrett) er å betrakte som avfallsstoffer, og kan skaffes kostnadsfritt. (til sammenligning: i økologisk jordbruk er det vanlig å betale ca 50 kr pr tonn for “tørrgjødsel” fra husdyr). Det vil påløpe kostnader med lagring og håndtering av gjødsel, samt kontroll med dosering av gjødsel. Disse kostnadene forutsettes å være inkludert i henholdsvis *investeringer* og *lønnskostnad*.
 - Høsting: Variable kostnader forbundet med høsting forutsettes å utgjøre en andel av de tidligere stipulerte lønnskostnadene.
- Avvanning og tørking:
 - Transport: Det forutsettes at anlegget for avvanning/tørking ligger i umiddelbar nærhet av dyrkingsanlegget, og transportkostnader ansees som en del av høstekostnadene.

- Lønnskostnader: Det forutsettes at lønnskostnader knyttet til avvanning og tørking er en del av de tidligere stipulerte lønnskostnadene.
- Energikostnader: Både avvanning (til 15 – 20 % TS) og tørking (til 93 % TS) vil kreve energi. Med henvisning til kapittel 5.1.4, stipuleres energikostnaden (kun *tørking*) til ca kr 3,00 pr kg andematmel. Energiforbruk til *avvanning* (forholdsvis usikkert) stipuleres til samme beløp; dvs kr 3,00 pr kg andematmel.

Listen over kostnadselementer er ikke uttømmende. I kalkylen er det gjort et “kostnadspåslag” på 10 % for å gi rom for ikke-spesifiserte kostnader.

6.4 Lønnsomhetsberegninger

I lønnsomhetsberegningen forutsettes det følgende:

- Investering som forutsatt i kapittel 6.1. Levetida forutsettes å være 20 år. Det forutsettes ingen restverdi på anlegget etter at 20 år er gått.
- Inntektene (med tilhørende innbetalinger) er som forutsatt i kapittel 6.2
- Kostnadene (med tilhørende utbetalinger) er som forutsatt i kapittel 6.3
- Kalkulasjonsrenten (*realrente*) er på 5 %

Budsjettet for innbetalinger og utbetalinger i hvert enkelt år, blir som følger:

Tabell 15 Netto kontantstrøm (basisforutsetninger).

År	0	1	2	...	20
Produksjon, kg TS		4 200	4 200	4 200	4 200
Innbetalinger (salgsinntekter)		84 000	84 000	84 000	84 000
Utbetalinger:					
Investering	15 000 000				
Lønn		196 000	196 000	196 000	196 000
Energi, oppvarming		75 000	75 000	75 000	75 000
Energi, lys		10 000	10 000	10 000	10 000
Energi, tørking		25 200	25 200	25 200	25 200
Diverse kostnader		30 620	30 620	30 620	30 620
Sum utbetalinger	15 000 000	336 820	336 820	336 820	336 820
Netto kontantstrøm	-15 000 000	-252 820	-252 820	-252 820	-252 820

Kontantstrømmen viser at i samtlige år er utbetalingene større enn innbetalingene. Utbetalinger til lønn aleine er større enn innbetalingen fra salg av andematmel. Prosjektet framstår således som ikke lønnsomt selv før beregning av netto nåverdi. Ved beregning av netto nåverdi blir framtidige kontantstrømmer (år 1–20) neddiskontert til investeringstidspunktet (år 0).

Beregning av netto nåverdi (jamfør innledningen til kapittel 6) gir en negativ netto nåverdi på kr -18.150.696. For at prosjektet skal være lønnsomt må netto nåverdi være positiv.

6.5 Følsomhetsanalyser

Følsomhetsanalyser brukes for å analysere hvordan endringer i *en enkelt* forutsetning (som ligger til grunn for lønnsomhetsberegningen) vil påvirke lønnsomheten i prosjektet – gitt at alle de andre forutsetningene holdes konstant. I denne sammenhengen blir spørsmålet: Hvilken verdi må vi ha på forutsetning x (f.eks pris pr kg andematmel) før prosjektet framstår som lønnsomt; dvs at netto nåverdi = null?

I den foreliggende lønnsomhetskalkylen (jamfør kapittel 6.4) er kontantstrømmen gjennomgående negativ. Dette innebærer noen utfordringer når det skal gjennomføres følsomhetsanalyser; f. eks at investeringsutgiften “må skifte fortegn” (man må få betalt for å gjøre investeringen) for at det skal oppnås lønnsomhet.

6.5.1 Pris på andematmel

Prosjektet framstår som lønnsomt (netto nåverdi = 0) dersom det kan oppnås en pris pr kg andematmel på kr 367 dvs nær 20 ganger mer enn hva som er akseptabel pris til fôrproduksjon. Man kan ikke helt avskrive muligheten for å oppnå en slik pris (eller høyere) til helt andre markeder og anvendelser enn fôrproduksjon til fisk og husdyr.

6.5.2 Pris pr kWh til oppvarming (av vann / anlegg)

Prosjektet framstår som lønnsomt (netto nåverdi = 0) dersom prosjektet *får betalt* kr 8,33 for hver kWh som prosjektet mottar for oppvarming av vann og dyrkingsanlegg. Dette innebærer massiv subsidiering (og vel så det), og må anses som et lite sannsynlig scenario.

6.5.3 Investering i produksjonsanlegg

Prosjektet framstår som lønnsomt (netto nåverdi = 0) dersom prosjektet *får betalt* kr 3.151.000 for å ta i bruk dyrkingsanlegget: I stedet for å bruke kr 15.000.000 på investeringer, så *mottar* man kr 3.151.000 for å ta i bruk anlegget (gratis anlegg + en sjekk på kr 3.151.000). Dette er også et lite sannsynlig scenario.

6.6 En “modifisert” følsomhetsanalyse

Det fremgår av kapittel 6.5 at det kan være utfordrende å oppnå lønnsom andematproduksjon i intensiv dyrking under norske klimatiske forhold og med “norsk kostnadsnivå”.

I den foreliggende rapporten er det i både kapittel 2 og 4 vist til muligheten av “ekstensiv” dyrking av andemat. Dette innebærer utendørs dyrking i sommerhalvåret; på brakklagte jordbruksarealer eller i et vekselbruk med andre vekster (“risdyrkingsprinsippet”). Det vil være ønskelig å tilføre varme (spillvarme) for å sikre tilfredsstillende vekst. Foruten

investeringer knyttet til "tilpasning" av dyrkingsarealet (planering, voller, m.v), vil det være nødvendig med investeringer for rasjonell høsting og et anlegg for avvanning/tørking.

De momentene som er nevnt i avsnittet over, innebærer endring i *mer enn en* av de forutsetningene som framgår i kapittel 6.1 – 6.3, og benevnes således som en "modifisert" følsomhetsanalyse.

Følgende forutsetninger legges til grunn:

- Dyrkingsareal på 10 mål (i umiddelbar nærhet av spillvarme-kilde)
- Investeringer knyttet til: modifisering av dyrkingsarealet, rør for transport/fordeling av spillvarme, høstestyr og anlegg for avvanning og tørking: kr 1.000.000
- Avling (tørrstoff) pr mål: 1.000 kg
- Lønnskostnad pr årsverk: kr 560.000
- Årsverk (for hele dyrkingsarealet inkl høsting og tørking): 0,35 årsverk. Dette er samme arbeidsforbruk som for innendørs-anlegget med 1,68 mål dyrkingsareal. Det kan synes urealistisk at arbeidsforbruket skal være likt – og det *kan* argumenteres for at arbeidsforbruket i innendørs-anlegget burde vært lavere enn 0,35 årsverk (men lavere arbeidsforbruk alene ville ikke ha berget lønnsomheten!)
- Energiforbruk til oppvarming av vann (for hele dyrkingsarealet – særlig vår og høst): 150.000 kWh. I ekstensiv dyrking vil en eventuell stor avstand til spillvarmekilden føre til betydelige investeringer i isolerte rør for transport av spillvarme).
- Energikostnad spillvarme: kr 0,50 pr kWh
- Energiforbruk til avvanning og tørking til 93 % tørrstoff: 9 kWh pr kg TS
- Energikostnad til avvanning og tørking: kr 0,67 pr kWh (en kombinasjon av spillvarme og "vanlig" elektrisk kraft)
- Påslag for diverse uidentifiserte kostnader: 10 % av øvrige kostnader
- Anleggets levetid: 20 år
- Kalkulasjonsrente (realrente): 5 %

På basis av disse forutsetningene, får vi følgende kontantstrøm (innbetalinger minus utbetalinger) knyttet til ekstensiv dyrking av andemat:

Tabell 16 Netto kontantstrøm (modifiserte forutsetninger).

År	0	1	2	...	20
Produksjon, kg TS		10 000	10 000	10 000	10 000
Innbetalinger (salgsinntekter)		200 000	200 000	200 000	200 000
Utbetalinger:					
Investering	1 000 000				
Lønn		196 000	196 000	196 000	196 000
Energi, oppvarming		75 000	75 000	75 000	75 000
Energi, lys		-	-	-	-
Energi, tørking		60 000	60 000	60 000	60 000
Diverse kostnader		33 100	33 100	33 100	33 100
Sum utbetalinger	1 000 000	364 100	364 100	364 100	364 100
Netto kontantstrøm	-1 000 000	-164 100	-164 100	-164 100	-164 100

Vi får også her – med de modifiserte forutsetningene – en “uheldig” kontantstrøm: Negativ netto kontantstrøm i alle år, og en netto nåverdi på kr -3.046.000.

Dersom vi forutsetter at andemat kan selges til mer betalingsvillige markeder enn tradisjonell fôrproduksjon, så kan ekstensiv være økonomisk forsvarlig. En kilopris på kr 45 for andematmel vil gi en netto nåverdi på null – og tilfredsstillende lønnsomhet gitt at ingen andre forutsetninger endrer seg.

En følsomhetsanalyse på faktoren “arbeidskraftforbruk” viser at prosjektet får en netto nåverdi på null dersom arbeidsforbruket reduseres fra 0,35 årsverk til -0,04. Dette innebærer at det må utføres tilnærmet gratis dugnadsarbeid for å oppnå lønnsomhet (gitt at ingen andre forutsetninger endrer seg).

6.7 Konklusjon

De økonomiske analysene viser at det er utfordrende å oppnå lønnsomhet i dyrking og prosessering av andemat til fôrformål. For å ha berettiget håp om å oppnå tilfredsstillende lønnsomhet, må *minst en* av følgende karakteristika være oppfylt:

- Investeringer må være “lave”. Det er svært utfordrende å oppnå lønnsomhet i intensiv dyrking, men også utfordrende å oppnå lønnsomhet ved ekstensiv dyrking.
- Arbeidsforbruket i må minimeres gjennom utvikling av egnet produksjons- og høstingsteknologi.
- Andemat-dyrking bør foregå i umiddelbar nærhet til spillvarmekilde; dette for å minimere investeringer knyttet til transport av spillvarme.
- Det må tilstrebes å finne anvendelser/markeder for andemat som er mer betalingsvillig enn markedet for fôrprodukter. Dette kan være produkter som utnytter andematens biologiske egenskaper.

7 Referanser

- Aarnes, H., Baumann, C., Eriksen, A.B., Solås, A., Sundbye, A. og Sølvernes, K.A., 1993. Photosynthesis in ozone-exposed duckweed (*Lemna gibba*). *Physiologia plantarum* 87: 256-262.
- Aarnes, H. 2011. Andemat som modellplante – studier av endringer i miljøet. (Forslag til masteroppgave ved UiO). <http://www.mn.uio.no/bio/studier/masteroppgaver/okologi-og-evolusjon/Aarnes1.html> . Sett 20.10.2011
- Anderson J.S., Lall S.P., Anderson D.M., Chandrasoma J., 1992. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea water. *Aquaculture* 108, 111-124
- Björndahl, G. 1985. *Growth performance, nutrient uptake and human utilization of duckweeds (Lemnaceae family)*. The Phytotron, University of Oslo. ISBN 82-991150-0-0.
- Braaten, B., Lange, G. & Bergheim, A. 2010. Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett til sjø. Rapport IRIS (International Research Institute of Stavanger) 2010/134. ISBN 978-82-490-0703-5.
- Bævre, O.A. og Giselrød, H.R. 1999. *Plantedyrking i regulert klima*, 2. utgave. Landbruksforlaget.
- Chojnacka, K., 2006. The application of multielemental analysis in the elaboration of technology of mineral feed additives based on *Lemna minor* biomass. *Talanta* 70, 966-972.
- Debusk, T.A., Ryther, J.H., Hanisak, M.D. og Williams, L.D. 1981. Effects of seasonality and plant density on the productivity of some freshwater macrophytes. *Aquatic Botany* 10: 133-142.
- Del-Campo Marin, C. & Oron, G. 2007. Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: A potential method for the remediation of boron-polluted waters. *Water Research* 41(20), p 4579-4584
- Driever, S.M., van Nes, E.H., and Roijackers, R.M.M. 2005. Growth limitation of *Lemna minor* due to high plant density. *Aquatic Botany* 81: 245-251.
- Eid, M.A.A., Kandil, M.A.E., Moursy, E.B., Sayed, G.E.M., 1992. Bioassay of duckweed vegetation extracts. *Insect-Science, and its application* 13, 741-748.
- El-Shafai, S.A., El-Gohary, F., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., Geizen, H.J., 2004. Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture research* 35, 574-586.

- FAO report. Duckweed: A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment. <http://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/Dw2.htm>
- Ferdoushi,Z, Haque,F., Khan,S, Haque,M., 2008. The effect of two aquatic floating macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as biofilters of nitrogen and phosphate in fish ponds. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 8, 253-258
- Gebauer, R. 2004. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. Bioresource Technology 93, p 155–167.
- Gebauer, R. & Eikebrokk, B. 2006. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. Bioresource Technology 97, p 2389–2401.
- Gulcin,I., Kirecci,E., Akekmic,E., Topal,F., Hisar,O., 2010. Antioxidant, antibacterial, and anticandidal activities of an aquatic plant: duckweed (*Lemna minor* L. Lemnaceae). Turkish Journal of Biology 34(2), 175-188
- Hassan,M.S., Edwards,P., 1992. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 104, 315-326.
- Haustein,A.T., Gilman,R.H., Skillicorn,P.W., Guevara,V., Diaz,F., Vergara,V., Gastanaduy,A., Gilman,J.B., 1992. Compensatory growth in broiler chicks fed on *Lemna gibba*. British Journal of Nutrition 68 (2), 329-335.
- Haustein,A.T., Gilman,R.H., Skillicorn,P.W., Hannan,H., Diaz,F., Guevara,V., Vergara,V., Gastanaduy,A., Gilman,J.B., 1994. Performance of broiler chickens fed diets containing duckweed (*Lemna gibba*). Journal of Agricultural Science 122, 285-289.
- Hillman,W.S., Culley,D.D., 1978. The uses of duckweed. American Scientist 66, 442-451.
- Hjelmstad, R. 2011. Andemat. Urtekildens planteleksikon.Tilgjengelig på: http://www.rolv.no/urtemedisin/medisinplanter/lemn_min.htm . Sett 20.10.2011, sist oppdatert 14.04.2011.
- Hodgson, G.L. 1970. Effects of Temperature on the Growth and Development of *Lemna minor*, under Conditions of Natural Daylight Annals of Botany 34: 365-381.
- Islam, K.M.S., 2002. Feasibility of duckweed as poultry feed – a review. Indian Journal of Animal Science 72(6), 486-491.
- Kalita,P., Mukhopadhyay,P.K., Mukherjee,A.K., 2008. Supplementation of four non-conventional aquatic weeds to the basal diet of *Catla catla* and *Cirrhinus mrigala* fingerlings: Effect on growth, protein utilization and body composition of fish. Acta Ichtyol. Piscat. 38, 21-27
- Langerud A., Wikdahl R., 2012. Dyrkingsbetingelser for *Lemna minor*. Rapport fra dyrkingsforsøk med andemat i veksthus. Bioforsk rapport 7(3).

- Lasfar, S., Monette, F., Millette, L. og Azzouz, A. 2007. Intrinsic growth rate: A new approach to evaluate the effects of temperature, photoperiod and phosphorus-nitrogen concentrations on duckweed growth under controlled eutrophication. *Water Research* 41: 2333-2340.
- Leng, R.A., Stambolie, J.H., Bell, R., 1995. Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*, 7(1),
- Lid, J. 1979. Norsk og svensk flora. Samlaget, Oslo.
- Megateli, S. Semsari, S & Couderchet, M. 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72(6), p 1774-1780
- Mengel, K. og Kirkby E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition. Kluwer Academic Publishers
- OECD/OCDE 2006: OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS. GUIDELINE 221: *Lemna* sp. Growth Inhibition Test. Available at: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/fulltext/9722101e.pdf?expires=1319112896&id=id&acname=freeContent&checksum=BC17320CE1BA694E58D4631FC53B149A>. Sett 22.10.2011.
- Peters, R.R., Morales, E.D., Morales, N.M., Hernandez, J.L., 2009. Feeding quality evaluation of *Lemna obscura* meal as an ingredients in the elaboration of food for Red tilapia (*Oreochromis spp.*)
- Reddy, K.R. og DeBusk, T.A. 1987. State-of the-art-utilization of aquatic plants in water pollution control. *Water Science and Technology* 19: 61-79.
- Rød, L.M. (red.) 2009: Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Feltrapporter fra programmet i 2008. Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 164. Bioforsk Jord og miljø, Ås.
- Schneider, O., Amirkolaie, A.K., Vera-Cartas, J., Eding, E.H., Schrama, J.W., Verreth, J.A.J., 2004. Digestibility, faeces recovery, and related carbon, nitrogen and phosphorus balances of five feed ingredients evaluated as fishmeal alternatives in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture research* 35, 1370-1379.
- Sutton, D.L., Ornes, W.H., 1975. Phosphorus removal from static effluent using duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 4(3), 367-370.
- Szabó, S., Roijackers, R., Scheffer, M. 2003. A simple method for analysing the effects of algae on the growth of *Lemna* and preventing algal growth in duckweed bioassays. *Archiv für Hydrobiologie* 157: 567-575.
- Todal, A. 2006. Andemat for andre enn ender. Tidens krav (dagsavis for Nordmøre) 18.04.2006.

Wilson,R.P., Cowey, C.B., 1985. Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture* 48, 373-376.

