



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Komponenter og energiforbruk i RAS- anlegg**

Components and energy use in RAS

Oda Ildahl Svendsen  
Maskin, prosess og energiteknikk

**Forord:**

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2019 ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet ved institutt for matematiske fag og teknologi. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og er den avsluttende delen av en mastergrad i maskin, prosess- og produktutvikling med retning innen prosess og energiteknikk.

Oppgaven tar for seg energiforbruk i RAS-anlegg for å undersøke hvilke komponenter som har høyest energiforbruk og hvordan dette energiforbruket kan reduseres.

Oppdrettsteknologi, og RAS- anlegg har vært et nytt og utfordrende tema jeg har jobbet mye med å sette meg inn i. Jeg har tilegnet meg kunnskap og forståelse for et fagfelt jeg i utgangspunktet ikke hadde noe kunnskap om.

Jeg vil benytte anledningen til å takke for god veiledning av hovedveileder førsteamanuensis Odd Ivar Lekang, i tillegg til oppfølging og gode ideer fra universitetslektor Ola Sørby Omberg og universitetslektor Håkon Hoel Olsen.

Til slutt vil jeg takke pappa for diskusjoner, råd og støtte, mamma og Synne for motivasjon og interesse gjennom denne oppgaven, Krutt for at han luftet seg selv og hodet mitt på tur, og min samboer Kalle - for at han holdt ut – gode diskusjoner, faglig hjelp, støtte og alt annet.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås  
14. mai 2019

---

Oda Ildahl Svendsen

## Sammendrag:

Oppdrett er den største bidragsyteren til produksjon av marint protein til en stadig økende befolkning. Tradisjonelt har fiskeoppdrett på land hatt utfordringer med stort vannbehov og miljøpåvirkninger i form av utslipp av avfallsstoffer. Ferskvann er en begrenset ressurs, og avfallsstoffene som blir sluppet ut har ført til påvirkning av miljøet rundt anleggene.

Fiskeoppdrett i sjøen har utfordringer med miljøpåvirkninger som utslipp av avfallsstoffer som kan føre til økt groing på havbunnen, rømming av fisk og spredning av sykdommer.

Tradisjonelt har ikke oppdrettsanlegg kunne blitt plassert fritt rundt, i nærheten av store markeder eller der transportbehovet er lavest. Parametere som tilgang på ferskvann for anlegg på land, strømning og oksygentilførsel i sjøen og værforhold har hatt påvirkning på hvor anleggene kunne plasseres.

Dette har ført til et behov for oppdrett av marint protein som har lavere påvirkning på miljøet og står mer fritt i forhold til plassering.

RAS- anlegg er en løsning på utfordringene tradisjonell oppdrett møter. Disse anleggene er avgrenset fra omverdenen, og har komponenter for vannbehandling på anleggene. Vannbehandlingen gjør det mulig å benytte vannet flere ganger, i tillegg til at avløpsvannet og inntaksvannet kan renses ved behov. Redusert bruk av vann og rensing av utslipp vil redusere miljøpåvirkningen fra anlegget. Dette gjør også at anleggene kan plasseres på steder der tradisjonelle anlegg ikke har kunnet driftes, noe som gjør det mulig å ha anleggene knyttet nærmere store markeder.

RAS- anleggene er adskilt fra omverdenen, og faren for rømming og spredning av gener og sykdommer til ville bestander blir dermed lettere å kontrollere og redusere enn for anlegg som ligger i sjøen.

RAS- anlegg tilbyr en intensiv oppdrettsløsning som produserer et stort antall fisk på et lite område, siden anlegget ikke blir påvirket av sesongvariasjoner fra klimaet utenfor kan man ha produksjon året rundt, noe som gir konstant tilgang på fersk fisk til forbrukerne.

RAS- anleggene har også noen utfordringer. Det er anlegg som krever mye utstyr og de er derfor dyre å investere i, og dermed avhengig av en høy produksjon. Siden det ikke er noen tilknytning til miljøet utenfor kreves det løsninger for varsling dersom en feil oppstår i kretsen og back- up systemer som settes i drift ved for eksempel strømbrytning for å hindre at fisken dør av mangel på oksygen. I tillegg krever komponentene i kretsen energi for å driftes. Dette gjør anlegget energikrevende. Vannbehandlingen produserer også slam, som må behandles videre og fjernes fra anlegget.

Denne masteroppgaven tar for seg energiforbruk i RAS-anlegg, og hvilke komponenter som krever mest energi. Alternativer til reduksjon av energibehovet blir også presentert.

Resultatene viser at pumper, tilførsel av oksygen og kjøling av vann, bidrar mest til energiforbruket. Reduksjon av høyder i anlegget, mer energieffektive pumper, varmeveksling og varmepumping av vann samt måling og effektiv tilsetting av oksygen kan være løsninger som kan bidra til å redusere energibehovet.

**Abstract:**

Aquaculture is the largest contributor to the production of marine protein for the world's growing population. Traditionally, land based aquaculture facilities has had challenges regarding their need for water, and environmental impacts due to emission of waste products. Fresh water is a limited resource, and the waste products influence the environment around the aquaculture facilities. For aquaculture systems located in the sea there has been problems regarding waste products to the sea, escaping fish and spreading of diseases. The traditional aquaculture facility has not been located freely, close to markets, but is bounded by the access to fresh water, flow, oxygen supply and weather conditions in the sea.

This has lead to a need for a way to farm marine protein with lower impact on the environment and more possibilities regarding location.

RAS is a solution to the challenges of traditional aquaculture. The RAS facilities are separated from the outside environment and have components for water treatment in the plant. The water treatment makes it possible to re-use the water and clean the wastewater and intake water if needed. The reduced need of fresh water and cleaning of effluent water reduce the environmental impact from the facility.

This makes the location of the facility more freely and it can be located near large markets.

The production in RAS is separated from the outside world, and the risk of escaping and spreading genes and diseases to wild populations is thus easier to control and reduce unlike in facilities in the sea.

RAS is an intensive way of farming and produces a large number of fish in a small area, and since the plant is not affected by seasonal changes from the outside, production can be produced all year round, which gives continuous access to fresh fish to the consumers.

RAS also have some challenges. They are complex and require a lot of equipment that makes the investment costs high. The facility is in need of sensors and alarms to detect errors and a back-up system in case of power outage to prevent the fish from dying from the lack of oxygen. In addition, the components in the circuit require energy for operation, and the water treatment produces sludge, which must be treated and removed from the plant.

This master thesis addresses energy consumption in RAS, and which components that require most energy. Alternatives to reducing energy demand are also presented.

The result show that pumps, addition of oxygen and cooling of water require most energy. Reduction of height in the facility, pumps that are more energy efficient, heat exchangers and heat pumps ass well as good procedures for measuring and efficient addition of oxygen can be solutions that can contribute to reduce the energy demand.

**Innhold:**

|   |    |
|---|----|
| Forord:.....  | 1  |
| Sammendrag:.....  | 2  |
| Abstract:.....  | 3  |
| Innhold: .....  | 4  |
| Definisjoner:.....  | 6  |
| Figurliste: .....   | 7  |
| Tabelliste:.....  | 7  |
| 1. Bakgrunn .....   | 8  |
| 1.1 Problemstilling .....   | 8  |
| 1.2 Forståelse.....   | 8  |
| 1.3 Begrensninger for oppgaven .....  | 8  |
| 1.4 Delmål.....   | 8  |
| 2. Innledning .....   | 9  |
| 2.1 Utviklingen av akvakultur .....   | 9  |
| 2.2 utfordringer i akvakulturen .....   | 9  |
| 2.3 Produksjonssystemer i akvakultur.....   | 9  |
| 3. RAS- anlegg generelt.....  | 12 |
| 3.1 Marked .....  | 13 |
| 3.2 Miljø.....  | 13 |
| 3.3 Fordeler og ulemper ved RAS-anlegg .....  | 14 |
| 4 Oppbygging av RAS- anlegg.....  | 16 |
| 4.1 Flytskjema .....  | 16 |
| 4.2 Prosessbeskrivelse.....   | 16 |
| 5 Komponenter i RAS- anlegg.....  | 17 |
| 5.1 Oppbygging av RAS- anlegg .....   | 17 |
| 5.2 Design .....  | 17 |
| 5.3 Produksjonstank.....  | 17 |
| 5.4 Mekanisk filtrering .....   | 18 |
| 5.4.1 Mekaniske filtre .....  | 18 |
| 5.4.2 Dybdefiltrering.....  | 19 |
| 5.4.3 Sedimentering .....   | 19 |
| 5.4.4 Integrerte systemer .....   | 20 |
| 5.5 Desinfisering.....  | 20 |
| 5.6 Temperaturregulering .....  | 21 |
| 5.7 Biofiltrering.....  | 21 |
| 5.8 Gasskontroll.....   | 22 |
| 5.9 Pumper.....   | 23 |
| 5.9.1 Pumpetyper .....  | 24 |
| 5.10 Transport .....  | 25 |
| 5.11 Avfallshåndtering og behandling av avløpsvann .....                            | 25 |
| 5.12 Overvåking.....  | 25 |
| 5.13 Rør .....  | 25 |
| 5.14 Tilleggsutstyr ved behov .....   | 26 |
| 6. Nyere utvikling i RAS- anlegg .....  | 27 |
| 6.1 Tekniske forbedringer og energieffektive løsninger i resirkuleringskretsen..... | 27 |
| 6.2 Gjenbruk av næringsstoffer gjennom integrert oppdrett.....                      | 27 |
| 6.3 Mer utbredt bruk av automasjon, robotisering og bedre kontrollsystemer. ....    | 27 |
| 6.4 Utvikling innen avfallshåndtering.....  | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 6.5 RAS- anlegg lokalisert nær store markeder.....                                | 28 |
| 6.6 Øke antallet arter produsert i RAS- anlegg.....                               | 28 |
| 6.7 Bærekraftig utvikling.....  | 29 |
| 7. Energiforbruk i RAS- anlegg.....   | 30 |
| 7.1 Komponenter som krever energi.....  | 31 |
| 7.1.1 Temperaturregulering.....   | 31 |
| 7.1.2 Vannsirkulasjon.....  | 32 |
| 7.1.3 Oksygenering og lufting.....  | 33 |
| 7.1.4 Filtrering.....   | 33 |
| 7.1.5 Slambehandling.....   | 33 |
| 7.1.6 Desinfisering.....  | 34 |
| 7.1.7 Belysning.....  | 34 |
| 7.1.8 Tekniske innretninger som automatiserer produksjonen.....                   | 34 |
| 7.2 Alternative energikilder.....   | 35 |
| 7.2.1 Geotermisk energi.....  | 35 |
| 7.2.2 Solenergi.....  | 35 |
| 7.2.3 Spillvarme.....   | 35 |
| 7.2.4 Vannkraft.....  | 35 |
| 8. Eksempel på energiforbruk i et RAS- anlegg.....                                | 36 |
| 8.1. Beregningsresultater.....  | 37 |
| 8.1.1. Energiforbruk i produksjonsenhet 1.....                                    | 37 |
| 8.1.2 Energiforbruk i produksjonsenhet 2.....                                     | 37 |
| 8.1.3 Energiforbruk i vannbehandling, temperaturregulering og pH- regulering..... | 38 |
| 8.1.4 Energiforbruk i valgfrie komponenter.....                                   | 38 |
| 8.1.5 Komponenter med høyest energiforbruk.....                                   | 38 |
| 8.1.6 Totalt energiforbruk.....   | 38 |
| 8.2 Sammenlikning.....  | 39 |
| 9. Diskusjon.....   | 40 |
| 10. Konklusjon.....   | 41 |
| Referanser.....   | 42 |

## Definisjoner:

Tabell 1: Definisjoner

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Smolt                       | Fisk med vekt på 70-200 gram.(Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes (2018a))   |
| Post-smolt                  | Fisk med vekt mellom 200 g og 1kg.  |
| Matfisk                     | Fisk som oppnår slaktevekt, 5 kg.(Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes, 2018b)  |
| Bærekraftig                 | Definisjon: "Utvikling som tilfredsstillter dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillere sine behov".<br>Dette vil si at man finner en best mulig balanse mellom miljø, samfunn og økonomi for videre utvikling. (A. Tjernshaugen, 2018) |
| Patogen                     | Patogener er bakterier som kan utløse sykdom hos fisk. (Kåss, 2018)   |
| RAS                         | Recirculating Aquaculture Systems   |
| CO <sub>2</sub> -ekvivalent | Et mål på utslipp av ulike klimagasser, alle omgjort til en enhet. Dette gjøres ved å sammenlikne et tonn utslipp av den aktuelle klimagassen med utslipp av et tonn CO <sub>2</sub> over et gitt tidsrom. (Sentralbyrå, 2018)  |

## Figurliste:

|  |    |
|--|----|
| Figur 1: RAS- anlegg.....                    | 12 |
| Figur 2: Flytskjema RAS-anlegg.....          | 16 |
| Figur 3: Oppbygging av luft- løftepumpe..... | 24 |

## Tabelliste:

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1: Definisjoner.....   | 6  |
| Tabell 2: Sammenligning gjennomstrømningsanlegg og RAS- anlegg..... | 11 |
| Tabell 3: Sammenlikning RAS og åpne systemer .....                  | 11 |
| Tabell 4: Energibruk i matproduksjon .....                          | 14 |
| Tabell 5: Komponentvis energibruk produksjonsenhet 1 .....          | 37 |
| Tabell 6: Komponentvis energibruk i produksjonsenhet 2.....         | 37 |
| Tabell 7: Komponentvis energiforbruk vannbehandling.....            | 38 |
| Tabell 8: Komponentvis energiforbruk valgfrie komponenter .....     | 38 |
| Tabell 9: Komponenter med høyest energibruk .....                   | 38 |



## 1. Bakgrunn

Denne masteroppgaven er en teorioppgave som tar for seg energiforbruk i RAS- anlegg, der hensikten er å undersøke energiforbruket til de ulike komponentene i anlegget. Oppgaven inneholder også et eksempel på et pilot RAS-anlegg på Campus Ås, for en innledende sammenlikning av energiforbruk på pilotanlegget i forhold til kommersielle oppdrettsanlegg.

### 1.1 Problemstilling

Hvordan fordeles energiforbruket på de ulike komponentene og prosessene i et RAS-anlegg?

### 1.2 Forståelse

RAS- anlegg er en fremtidsrettet måte å produsere smolt, post-smolt og matfisk på. De landbaserte anleggene vil ha kontrollert miljøpåvirkning og vil kunne være i stand til å gjenbruke 95-99% av vannet i anlegget. RAS- anlegg krever allikevel energi, og oppgaven vil belyse hvor de største energislukene befinner seg i anlegget i tillegg til en diskusjon om hvordan energiforbruket i RAS-anlegg kan reduseres.

### 1.3 Begrensninger for oppgaven

- Det vil ikke gjøres en økonomisk analyse av energiforbruket.
- Det vil kun bli gjort analyser av oppdrettsanlegg for laks, nødvendige antakelser for beregninger blir gjort.
- Ser ikke på rogn og klekking.

### 1.4 Delmål

For å besvare problemstillingen ble det utarbeidet følgende delmål:

- Utføre en litteraturstudie innenfor sentrale temaer knyttet til oppgaven.
  - Litteraturstudien skal gi leseren en introduksjon til sentrale begreper innenfor akvakultur med fokus på RAS-anlegg og energibruk.
  - Litteraturstudien skal presentere en oversikt over marked for RAS-anlegg.
  - Litteraturstudien skal gi leseren en oversikt over oppbygging og virkemåte av et RAS- anlegg.
  - Litteraturstudien skal presentere en oversikt over fordeler og utfordringer ved RAS- anlegg.
- Innhente driftsdata for RAS- anlegg på Campus Ås.
- Sette opp en oversikt for RAS-anlegget på Campus Ås basert på bidragene fra de ulike komponentene.
- Gjøre en innledende sammenlikning av energiregnskapet til RAS-anlegget på Campus Ås i forhold til kommersielle oppdrettsanlegg.
- Diskusjon om hvordan man kan redusere energiforbruket i RAS-anlegg i fremtiden.

## 2. Innledning

Dette kapittelet vil gi en kort innføring i utviklingen av akvakultur, en innføring i utfordringer innen akvakultur og ulike produksjonssystemer.

### 2.1 Utviklingen av akvakultur

Akvakultur vil si å produsere fisk og andre organismer som lever i vann, slik som tang, alger, skjell og skalldyr. Allerede 2000-1000 år f.kr fantes det oppdrett av karpe i Kina, i form av enkel oppdrett i en dam, men utviklingen innen akvakultur slik vi kjenner det i dag begynte ikke før på 1950- tallet, med utviklingen av merder som et gjennombrudd i teknologien som førte til hurtig vekst i industrien. Merder vil si store innhegninger i sjøen der fisken er innesperret av nett. (Nofima (u.å.))(Alimentarium, u.å.)

Akvakultur er en industri i stadig økning, i 1970 sto akvakultur for 3,9 % av all sjømatproduksjon, i år 2000 var tallet steget til 27,3 % før industrien i 2014 stor for mer enn halvparten av sjømatproduksjonen i verden. (A. Jostrom, 2015) (K. White, 2004) Årsaken til at akvakultur har tatt over for tradisjonelt fiske som den som produserer mest fisk, er fordi tradisjonelt fiske ikke lenger vil være bærekraftig dersom det øker mengden som tas opp.

(J.S. Lucas, P.C. Southgate, C.S.Tucker, 2019; Initiative, u.å.; Association, 2018)

### 2.2 Utfordringer i akvakulturen

Akvakulturanlegg som ligger på land og bruker vannet kun en gang, har et stort behov for vann, noe som gjør at anleggene må ligge i nærheten av vannkilder enten det er elver, dammer eller sjøen. Dette kan føre til at anleggene må plasseres på andre steder enn der markedene befinner seg, noe som fører til transportbehov. Dersom vannet ikke renses før det kommer inn i anlegget kan det føre med seg patogener som kan skade fisken i anlegget, og anlegget kan påvirke nærliggende miljø dersom ikke avløpsvannet blir renses.

Anlegg som ligger i sjøen påvirker også miljøet da avfallsstoffene ikke renses før de føres videre i med strømmen i vannet. Det er også fare for rømming og overføring av sykdom som for eksempel lakselus. Det er rømming og lakselus som ansees som de to største miljøutfordringene fra anlegg i sjøen.(T. Svåasant, 2017) Anlegg i sjøen er også påvirket av ytre faktorer for fiskevelferden, slik som blant annet temperatur i vannet og oksygennivå i tillegg til at anleggene er utsatt for vær og strømning i vannet som sliter på komponentene og kan føre til rømming. (Lekang, 2007a; Laksefakta, 2018a; Bregnballe, 2015a)

### 2.3 Produksjonssystemer i akvakultur

Generelt kan man dele inn anleggene etter hvor intensivt de produserer.

- **Ekstensive systemer**

Et slikt system driver oppdrett i dammer, der tettheten av fisk er lav.

Påvirkning fra mennesker er liten, og fisken spiser det som naturlig finnes i dammen.

Levevilkårene til fisken er avhengig av klimaet på stedet anlegget er plassert.

(Lekang, 2007a; J.S. Lucas, P.C.Southgate, C.S.Tucker, 2019; R.Gebauer, 1992a)

- **Intensive systemer**

Disse systemene har høy tetthet av fisk og bruker mer teknologi enn ekstensive systemer. Her får fisken ekstra fôr, og man har systemer for å unngå sykdommer slik at man kan opprettholde en høy tetthet av fisk. For å opprettholde en høy produksjon påvirker man leveforholdene til å være så optimale som mulig for fiskevekst.

(Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992a)

- **Semi-intensive anlegg**

Dette er en kombinasjon av intensive og ekstensive anlegg. Dette kan for eksempel være ved intensiv smoltproduksjon og ekstensiv matfiskproduksjon. Dette kan for eksempel brukes dersom artene som produseres er andronome. Dette vil si at fiskene klekkes og er yngel i ferskvann, før de lever sitt voksne liv i saltvann. (R.Gebauer, 1992b) For slike typer fisk er det derfor nødvendig med to produksjonsanlegg, et med ferskvann og et med saltvann, der de to anleggene kan ha ulik intensitet.

Anleggene kan også deles inn etter hvor avgrenset de er fra naturen.

- **Åpne anlegg**

Dette er anlegg som ikke er adskilt fra miljøet rundt, og blir derfor påvirket og påvirker miljøet.

Eksempler på dette kan være merder i sjøen, der vannet som strømmer igjennom merden er avhengig av den naturlige strømmingen på stedet. Sykdom er vanskelig å kontrollere fordi smittebærerne kommer med vannet, og avfallsstoffer slippes ut i miljøet rundt. Disse anleggene er rimeligere å drifte enn lukkede da de ikke trenger å pumpe vann, eller vannresingsteknologi, men de påvirker også miljøet i stor grad.

- **Semi-lukkede anlegg**

Dette er anlegg som ligger i sjøen, men anlegget er avgrenset fra vannet rundt og påvirkes derfor ikke av miljøet rundt. Vannet som benyttes hentes dypere ned i sjøen for å unngå behov for rensing før det brukes i anlegget. Anleggene slipper ut avfallsstoffene i sjøen og påvirker derfor miljøet rundt.

- **Anlegg på land**

Dette er anlegg som ligger på land, der vann pumpes inn i anlegget fra området rundt. Anlegget kan ha rensesystemer for vannet slik at det kan brukes flere ganger i kretsen, og rensingen fører til at påvirkningen av miljøet blir mindre.

De landbaserte anleggene kan igjen deles inn etter hvor mye vann de renses og bruker på nytt.

- Gjennomstrømningsanlegg er anlegg der vannet brukes en gang.
- Gjennomstrømningsanlegg med resirkulering benytter en del av vannet, rundt 50 %, på nytt.
- Resirkuleringsanlegg, RAS, også kalt lukket anlegg som benytter opp til 99,6% av vannet på nytt.

Ved liten grad av gjenbruk, har anleggene stort vannbehov, og vannet må pumpes inn i kretsen fra omkringliggende elver, sjøer eller innsjøer, noe som er energikrevende. Vannkvaliteten fra kildene varierer, og uten teknologi til å bedre vannkvaliteten blir plasseringen av anlegget begrenset til der det er kilder med god kvalitet på vannet. Ved gjenbruk av vannet reduseres vannbehovet, men det kreves mer energi og teknologi i form av renseteknologi for vannet, og tilsetning av oksygen for å sikre gode vekstforhold for fisken.

(Nofima, u.å.; Lekang, 2007a; J.S.Lucas, P. C. S., C.S. Tucker, 2019)

Tabell 2 inneholder en sammenlikning mellom vannforbruk i gjennomstrømningsanlegg og RAS- anlegg.(Bregnballe, 2015b)

Tabell 2: Sammenlikning gjennomstrømningsanlegg og RAS- anlegg

| Anlegg                              | Grad av gjenbruk av vann [%] | Forbruk av nytt vann per kilo fisk produsert hvert år [m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------------|------------------------------|---|
| Gjennomstrømning                    | 0                            | 30  |
| RAS - lav grad av resirkulering     | 95,9                         | 3   |
| RAS – middels grad av resirkulering | 98,6                         | 1   |
| RAS – høy grad av resirkulering     | 99,6                         | 0,3   |

Tabell 3 inneholder en oppsummering av åpne og lukkede anlegg. (J. Dalsgaard, 2013; Bregnballe, 2015c)

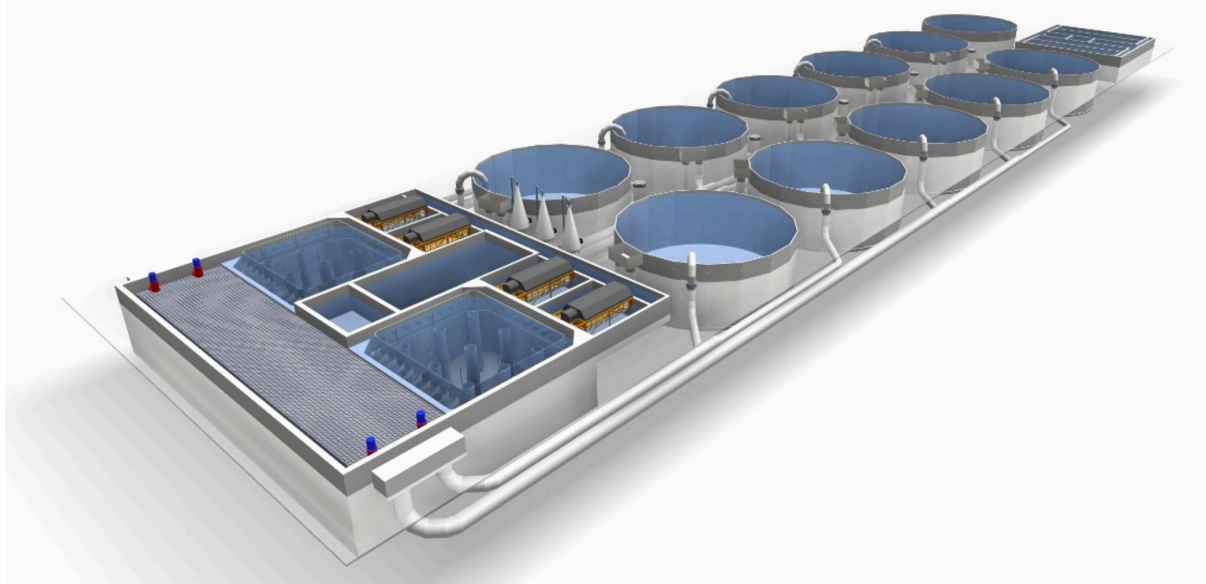
Tabell 3: Sammenlikning RAS og åpne systemer

| Type anlegg         | RAS               | Åpne                                     |
|---------------------|-------------------|--|
| Plassering          | Hvor som helst    | Elver, dammer, hav                       |
| Investeringskostnad | Høy               | Moderat                                  |
| Arter produsert     | Ca. 15            | Over 100                                 |
| Energibruk          | Høy               | Lav (hentet fra miljøet rundt)           |
| Fare for rømming    | Lav               | Høy                                      |
| Avfallsbehandling   | Renset og fjernet | Ikke rensset, sluppet ut i miljøet rundt |

### 3. RAS- anlegg generelt

Dette kapittelet vil ta for seg markedet for RAS-anlegg og miljøaspekter. Til slutt følger en oppsummering som tar for seg fordeler og ulemper med RAS- anlegg.

Figur 1 viser en modell av et RAS- anlegg. (iLaks, 2016)



Figur 1: RAS- anlegg

RAS – Recirculating Aquaculture Systems – er et alternativ til de åpne anleggene og gjennomstrømningsanleggene, der forskjellen i hovedsak er at fisken lever i et helt lukket miljø hvor vannet i anlegget renses og benyttes på nytt i produksjonen. Da fisken i et RAS- anlegg er helt adskilt fra ytterverden er den derfor avhengig av konstant tilførsel av friskt, oksygenrikt vann med riktig temperatur. Vannet må renses for farlige stoffer, og fisken må få et fôr som gir den alle nødvendige næringsstoffer. RAS- anlegg kan variere i størrelse, og størrelsen tilpasses det ønskede produksjonsvolumet. Utformingen av anlegget varierer, og er avhengig av forholdene på stedet anlegget ligger. Dette gjelder for eksempel om det er behov for rensing og tilsetning av oksygen til vannet som skal inn i kretsen, eller om dette har god nok kvalitet til at dette ikke er nødvendig.

Det eneste vannet som trengs nytt er det som forsvinner på grunn av spruting, fordamping eller det som brukes for å fjerne avfallsstoffer, dette kan være så lite som 0,3m<sup>3</sup> vann per kilo fisk i året.

Anleggene kan både produsere smolt og post-smolt, eller fullstendig produksjon helt frem til matfisk. (Lekang, 2007a; Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes, 2018c)

### 3.1 Marked

Fisk som matkilde økte fra 1961 til 2016 med 3,2%. Dette er mer enn økningen på annen type kjøtt, som var på 2,8%.

Den økte etterspørselen av fisk og annen sjømat krever høyere produksjon og øker interessen for intensive oppdrettsmetoder slik som RAS- anlegg.

Antallet RAS- anlegg verdens over er stadig økende. I USA og Europa var antallet RAS- anlegg i 2014 på 360.

I Europa er det Danmark og Nederland som har de fleste RAS- anleggene, men også Storbritannia, Frankrike og Tyskland har anlegg. På verdensbasis er det Norge og Canada som er viktige land spesielt for lakseproduksjon i RAS- anlegg og Kina bygger store innendørs for å øke produksjonen av sjømat i landet.

(A. Jostrom, 2015; Association, 2018; J. Dalsgaard, 2013; J.S. Lucas, P. C. S., C.S. Tucker, 2019) (C.I.M Martin, 2010)

### 3.2 Miljø

Vann og energi er de to hovedressursene RAS-anleggene avhenger av. Gjenbruk og vannbehandling gjør at RAS-anlegg påvirker miljøet i mindre grad enn andre typer oppdrettsanlegg.

Det er ulikt behov for vannbehandling avhengig av hvor RAS-anleggene befinner seg, allikevel er det noen prosedyrene som generelt er med hos alle anleggene. Dette vil være overvåkning og regulering av vannstrømning, oksygenmengde, temperatur, mengde CO<sub>2</sub> og mengde ammoniakk.

For å undersøke miljøpåvirkningen fra et RAS- anlegg kan det gjøres en analyse som undersøker påvirkninger anlegget har på miljøet. En slik analyse, utført av M. Badiola et. al. viste at det er fôr, energibehov og avfall som påvirker miljøet mest.

Fôr som ikke blir spist må fjernes fra vannet før vannet kan brukes på nytt. Et fôr som er sammensatt på en måte som gjør at fisken tar opp mest mulig av næringsstoffene vil dermed redusere mengden avfall. Transport av fôret til anleggene er også energikrevende, og det er derfor ønskelig med mer lokalprodusert fiskefôr for å redusere transportbehovet.

Analysen viste også at RAS-anlegg bruker 1,4- 1,8 ganger så mye energi som et gjennomstrømningsanlegg. Grunnen til dette er mengden vann som blir renses og gjenbrukt i kretsen.

(M. Badiola, 2018)

RAS- anlegg er underlagt krav om utslipp som er strengere enn oppdrett i sjø. Utslippene fra anleggene i sjø er i hovedsak uspiset fôr som bidrar til utslipp av næringssalter og organisk materiale. Hvordan disse utslippene sprer seg er ulikt for forskjellige anlegg avhengig av strømning, dybde og synkehastighet på fôret.

(Laksefakta, 2018a; Nofima, 2018; Fiskeridirektoratet, 2015)

I et RAS- anlegg vil disse utslippene kunne renses og avfallsstoffene samles opp og fjernes for videre behandling.

Rømming fra anlegg i sjøen påvirker miljøet dersom oppdrettsfisk gyter sammen med villfisk, fordi oppdrettsfisken da blander inn sine gener i villfisken. (Laksefakta, 2018b). Lakselus er et problem fordi fisken står tett i anleggene i sjøen noe som gjør at lakselusen kan masseformere seg. Lakselusen flyter med strømmen frem til den fester seg på fisken og kan skape sår det kan gå infeksjoner i. Dersom lakselusen masseformerer seg og deretter spres med strømmen før den fester seg på bestander av villfisk, kan den i verste fall føre til at villaksbestanden dør ut. Dersom en fisk får for mange lus på seg kan den dø, 9-11 lakselus anses som dødelig. (J.S. Lucas, P.C. Southgate, C.S.Tucker, 2019; Initiative, u.å.; Laksefakta, 2018c; L.A. Helfrich; Miljødirektoratet, 2015)

Sammenliknet med annen kjøttproduksjon er utslippene av drivhusgasser fra lakseoppdrett lav. Tabell 4 viser en oversikt over utslipp av CO<sub>2</sub> ekvivalenter til produksjon av ulike former for kjøtt. (Association, 2018; Mowi, u.å.; Thoring, 2017)

**Tabell 4: Energibruk i matproduksjon**

| Dyr     | Mengde CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kgCO <sub>2</sub> ekvivalenter/kg] |
|---------|---|
| Laks    | 0,58  |
| Gris    | 5,9   |
| Storfe  | 30  |
| Kylling | 2,7   |

### 3.3 Fordeler og ulemper ved RAS-anlegg

Fordelene og ulempene ved RAS-anlegg sammenliknet med gjennomstrømningsanlegg og anlegg i sjøen, kan oppsummeres:

Fordeler med RAS- anlegg sammenliknet med gjennomstrømningsanlegg:

- Lavere vannforbruk, et RAS- anlegg gjenbraker 95-99% av vannet om igjen, sammenliknet med en gjennomstrømningsanlegg som gjenbraker omkring 50%.
- Mindre avhengig av kvaliteten på nytt vann fordi anlegget kan rense vannet før det strømmer inn i produksjonstanken.
- Større frihet i forhold til lokalisering, kan velge plassering nærmere store markeder, infrastruktur, og i innlandet. Dette gir lavere transportkostnader og utslipp.

Fordeler med RAS-anlegg sammenliknet med anlegg i sjøen:

- Bedre kontroll over parametere for vekstforhold, for eksempel temperatur.
- Produksjon året rundt, ikke påvirket av sesong.
- Redusert bruk av antibiotika, hormoner og andre kjemikalier.
- Større frihet i forhold til lokalisering, kan velge plassering nærmere store markeder, infrastruktur, og i innlandet. Dette gir lavere transportkostnader og utslipp.
- Rensing av utslipp og avfall.
- Bedre overvåking av sykdommer og eventuelle parasitter slik som lus.
- Bedre kontroll på rømming.
- Ikke trusler fra rovdyr.

Ulemper med RAS-anlegg sammenliknet med gjennomstrømningsanlegg:

- Mer energikrevende vannbehandlingsavdeling fordi et større volum vann skal behandles.
- Større investeringskostnad på grunn av større vannbehandlingssystem.

Ulemper med RAS- anlegg sammenliknet med anlegg i sjøen:

- RAS- anlegg krever store investeringer for å settes i drift.
- Det er høy risiko forbundet med strømbrudd, eller mekaniske feil på kretsen slik at strømmingen i anlegget stopper. Da er det nødvendig med en reaksjonstid på 10-15 minutter eller mindre for å hindre at all fisken dør på grunn av oksygenmangel.
- Overvåking , varsling og teknisk kompetanse er nødvendig for å forhindre fiskedød og dermed store økonomiske tap.
- Back- up systemer er nødvendige. I enkleste form kan dette bestå av en tank med rent, oksygenrikt vann som kan koples på dersom vannkvaliteten reduseres.
- Krever mye energi.
- Krever kontinuerlig drift.
- Mer komplekst.
- Produserer slam, som må behandles videre.
- Ved sykdom, kan det i alvorlige tilfeller være nødvendig å vaske og desinfisere hele anlegget, noe som kan ta 6 måneder for å gjennomrette bakteriekulturen på biofilteret, og dette er da 6 måneder uten produksjon og inntekt.
- Dersom man brukes sjøvann eller brakkvann i anlegget kan det dannes H<sub>2</sub>S, hydrogenulfid, som kan føre til sykdom og død. (Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, Eirik. S. Hognes, 2018)

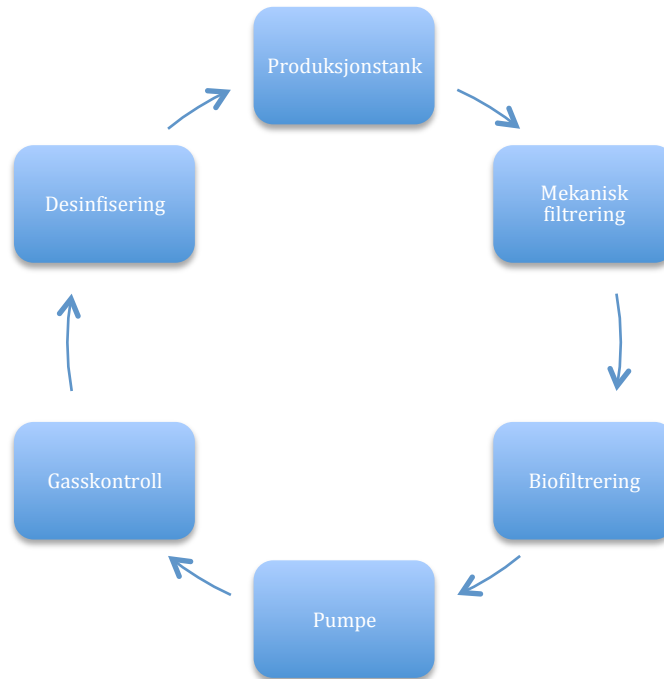


## 4 Oppbygging av RAS- anlegg

Kapittelet gir en enkel oversikt over oppbygging av RAS-anlegg.

### 4.1 Flytskjema

Alle RAS anlegg må tilpasses hver enkelt plassering. Hvilke komponenter som er aktuelle å benytte varierer, men et enkelt anlegg består av følgende komponenter:



Figur 2: Flytskjema RAS-anlegg

### 4.2 Prosessbeskrivelse

Fra produksjonstanken renner vannet igjennom et mekanisk filter og deretter videre til et biofilter. Etter filtreringen føres vannet gjennom pumper, før uønskede gasser fjernes, blant annet CO<sub>2</sub> og oksygen tilsettes før vannet går igjennom desinfiseringsmekanismer og så tilbake inn i produksjonstanken. Man kan tilsette flere andre komponenter for eksempel pH- regulering, temperaturregulering og automatisk fôring, dersom det er nødvendig for anlegget. (Bregnballe, 2015d)

## 5 Komponenter i RAS- anlegg

Dette kapittelet beskriver komponentene et RAS- anlegg er satt sammen av.

### 5.1 Oppbygging av RAS- anlegg

Oppbygging av et RAS- anlegg varierer med størrelsen på produksjonen og stedet anlegget er plassert. Man kan generelt dele opp et RAS- anlegg i følgende hoveddeler:

1. Produksjonstank
2. Mekanisk filtrering
3. Desinfisering
4. Temperaturregulering
5. Biofiltrering
6. Gasskontroll
7. Pumpe for vannsirkulasjon
8. Transportsystemer
9. Avfallshåndtering og behandling av avløpsvann.
10. Overvåking

Ved behov kan også flere komponenter legges til i anlegget, dette kan være ulike metoder for desinfeksjon, for eksempel UV- desinfeksjon, pH regulator, varmeveksler og utstyr for automatisk fôring. (Lekang, 2007a; Bregnballe, 2015d)

### 5.2 Design

Når man skal sette opp et RAS- anlegg må man designe anlegget med tanke på kostnader, fiskevelferd, produktkvalitet og miljøpåvirkning. Designet av anlegget bør bidra til en balanse mellom viktige parametere som temperatur, CO<sub>2</sub>, oksygen, mengde faste stoffer, ammoniakk, nitritt og nitrat. (J.S.Lucas, P. C. S., C.S.Tucker, 2019)

Det er ulike forhåndsregler som tas for å forhindre utbrudd av sykdommer i RAS- anlegg, dette innebærer

1. Prosedyrer for å ha fisken i karantene før den blir introdusert inn i en ny tank.
2. Rensing av vannet og tilførsel av oksygen før det blir gjenbrukt i kretsen.
3. Rensing av avløpsvann før det blir sluppet ut i miljøet.

### 5.3 Produksjonstank

Produksjonstanken der fisken oppholder seg kan variere både i størrelse og form. For å gjøre rengjøring og sirkulasjon av vann enkelt brukes avrundet eller sirkulær form på tanken og glatte overflater. Materialet kan variere så lenge det holder på vann og ikke inneholder giftige stoffer for fisken. Temperaturen i tanken kan man oppnå ved å varme opp og isolere produksjonsbygningen eller ved direkte oppvarming og bruk av varmevekslere. Direkte oppvarming krever dyrere tanker med lokk, som er svært godt isolert, og som har integrerte løsninger for belysning, overvåking og fôring av fisken. Tanken kan også ha sensorer for måling av oksygeninnhold, temperatur og lignende slik at dette kan reguleres automatisk.

Fisken plasseres i ulike tanker ut fra størrelse, dette for å unngå for høy tetthet av fisk, og eventuelt fare for kannibalisme, i tillegg til at alle fiskene i samme tank oppnår slaktevekt samtidig. (J.S.Lucas, P. C. S., C.S.Tucker, 2019)

## 5.4 Mekanisk filtrering

I et RAS- anlegg er det nødvendig å fjerne partikler fra vannet som gjenbrukes. I tillegg kan det være nødvendig å fjerne partikler fra innløpsvann, dersom vannkvaliteten på innløpsvannet krever dette, og det fjernes også partikler fra avløpsvannet.

Fjerning av partikler gjøres fordi en for høy konsentrasjon av partikler i produksjonstanken påvirker veksten til fisken og kan i verste tilfelle føre til død. Filtreringen har som mål å fjerne en del av partiklene i vannet, men ikke alle. Det finnes ulike typer filtre, og de forskjellige typene fjerner ulik mengde partikler avhengig av størrelsen på hullene i filteret. Det er ønskelig at partiklene ikke brytes opp i mindre deler, da de blir vanskeligere å fjerne.

Partiklene deles inn i ulike klassifikasjoner. Dette er

- TSS – total suspended solids, som er partikler som stoppes av filtre med porestørrelse på 0,45 µm.
- TS – total solids, total mengde partikler i vannet, kalles også total mengde tørrstoff.
- Fine solids - Finkornede partikler med størrelse mindre enn 20 µm som er for små til å bli fanget opp i mekaniske filtre. Disse kan fjernes med for eksempel skumfraksjonering, kjemisk oksidering (ozonering). (M. Badiola, 2018)
- TDS – total dissolved solids. Totalt innhold av oppløste stoffer, både organiske og uorganiske.(Oram) Disse stoffene kan ikke fjernes av partikkelfiltre, og man må benytte andre typer filter, for eksempel biofilter.

Typen partikler kommer an på art, vannkvalitet, hva slags fôr som brukes og hvor mye av fôret som er blitt spist.

Det er fire ulike metoder for å fjerne partikler. Dette er

- Mekanisk filtrering.
- Dybdefiltrering, også kalt sandfiltering.
- Sedimentering.
- Integrerte systemer.

Man kan også benytte membranfiltrering og ozonering for å fjerne mindre partikler. Disse teknikkene er dyre. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b; Bregnballe, 2015d)

### 5.4.1 Mekaniske filtre

Et mekanisk filter settes inn i vannstrømmen slik at vannet strømmer igjennom det. Filteret samler opp partikler større enn hullene i filteret og slipper resten av vannet og mindre partikler igjennom. Når filteret er fullt må det renses, og for å unngå stopp i vannstrømmen ved rensing har man laget ulike typer selvrensende filtre. Selvrensingen kan enten gjøres ved at filteret vibrerer (sjelden brukt) eller at et fullt filter erstattes av et nytt før det tas opp til overflaten og spyles med vann eller luft.

Det er vanlig å benytte roterende filtre. Dette er filtre som er delvis over og under vann. Når filteret er over vannet renses det. De kan karakteriseres ut fra hvordan de roterer:

- Aksiell rotasjon: Dette filteret står normalt på retningen til strømmingen. En vanlig type er diskfilter som består av flere filterplater etter hverandre med minkende størrelse på hullene.
- Radiell rotasjon. Dette filteret har strømning normalt ut fra filteret. En vanlig type er trommefilter. Trommefilter består av en roterende trommel, der slammet blir liggende i trommelen og gradvis ledet ut av en trakt, mens vannet filtreres ut av sidene på trommelen. (Novatek (u.å.))
- Roterende beltefilter. Denne typen filter kan stå både i strømningsretningen og normalt på strømningsretningen. Dette filteret har et belte strukket ut mellom valser som roterer slik at beltet er delvis over og under vann og på den måten kan renses ved spyling når det er over vann. (J. Solbakken, 2005)
- Horisontalt roterende disk. Dette filteret står over vannoverflaten slik at vannet renner ovenfra og gjennom filteret.

(Sterner, u.å.) (Lekang, 2007a)

#### 5.4.2 Dybdefiltrering

Dette er en type filter der vannet går igjennom et lag med partikler, for eksempel sand. Når vannet går igjennom filteret vil partikler større enn en gitt størrelse bli fanget i filteret. Størrelsen på partiklene som blir fanget bestemmes av kornstørrelsen på filterpartiklene. (Lekang, 2007a)

#### 5.4.3 Sedimentering

I en sedimenteringstank vil partikler med høyere tetthet enn vann vil synke til bunnet av et tanken. Tanken må ha et stort overflateareal slik at vannhastigheten blir redusert. Partiklene vil synke til bunnen av bassenget når tyngdekraften blir sterkere enn kraften fra vannstrømmen. Sedimenteringen kan skje horisontalt og vertikalt. Dersom det skjer vertikalt vil vannstrømmen gå sakte opp igjennom en et søyleformet basseng slik at partiklene faller ned fortare enn vannstrømmen går opp. Ved horisontal sedimentering vil vannstrømmen strømme sakte gjennom en tank med stort overflateareal slik at partiklene synker til bunns.

Partiklene må fjernes regelmessig slik at ikke næringsstoffene som er knyttet til de løsrives og føres ut i vannstrømmen igjen.

Sedimenteringsbasseng fjerner ikke partikler mindre enn 100µm.

En mer effektiv måte som benytter seg av samme prinsipp er en virvelseseparator. Her roteres vannet slik at sentrifugalkrefter også bidrar til fjerning av partiklene.

Vannet som skal renses kommer inn langs kanten på en sirkulær tank og partiklene blir presset ut på sidene og faller ned, mens det rensede vannet presses inn i midten av tanken for deretter å bli drenert ut fra senteret. Denne typen filter er mindre plasskrevende enn et sedimenteringsbasseng, men krever at vannstrømmen er uniform for å fungere optimalt. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

#### 5.4.4 Integrerte systemer

I integrerte systemer bruker man naturlige metoder for å rense vannet.

Ved å plassere for eksempel våtmarksområder og algedammer i tilknytning til vannet ut fra produksjonstanken, kan planter og alger bruke næringsstoffer fra avfallsvannet som næring, og vil på den måten fungere som et biofilter.

Alger brukes i vannbehandling for å fjerne næringsstoffer, tungmetaller og mikroorganismer. Den produserte biomassen fra algene kan være en matressurs for noen arter med fisk og skalldyr og anaerobisk nedbrytning av biomassen produserer biogass. Ved riktig kombinasjon av planter i våtmarksområdet vil disse utgjøre en komponent for å fjerne nitrogen, fosfor og organisk materiale, i stedet for slik det er i kommersielle RAS-anlegg at alle de ulike prosessene skjer i hver sin komponent. (Lekang, 2007a; C.I.M Martin, 2010)

#### 5.5 Desinfisering

Desinfisering brukes i vannbehandlingen i RAS-anleggene for å redusere antallet mikroorganismer som er i vannet, slik at mellom 99% og 99,6% av mikroorganismene fjernes. Mikroorganismer det er av interesse å redusere antallet av er bakterier, virus, sopp og parasitter da disse kan føre til sykdom hos fisken.

Det er ulike metoder for desinfisering:

- Kjemiske midler – klor, ozon, alkohol, såpe. De fleste av de kjemiske midlene oksiderer organisk materiale, også mikroorganismer.
- Fysisk – oppvarming og UV stråling.
- Mekanisk – fjerning av partikler, fordi mange mikroorganismer er festet til partikler.
- Stråling – elektromagnetisk stråling, partikkelstråling.

I akvakulturen er det vanlig å benytte kjemiske midler i form av ozon og fysiske midler i form av UV-stråling.

Ved bruk av UV-stråling ødelegges DNA-et til mikroorganismene. Den elektromagnetiske strålingen har bølgelengder mellom 10 og 400 nm, og bølgelengder mellom 200 og 300 nm har den egenskapen at de kan eliminere mikroorganismer ved at de blir ute av stand til å reprodusere seg og infisere. Mest effektiv er UV-strålingen når bølgelengden ligger mellom 250-270 nm.

For at UV-strålingen skal være mest mulig effektiv kan det ikke være mange partikler i vannet som skal desinfiseres, slik at strålingen når igjennom vannet. Intensiteten til UV-strålingen i vannet kan måles kontinuerlig slik at det automatisk kan reguleres.

Ozon er et kraftig oksidasjonsmiddel som fører til skade på cellene til mikroorganismer når de blir utsatt for det. Ozon bryter også ned lange molekyler, slik at de blir lettere å fjerne i biofilteret, ozon kan også brukes for å fjerne partikler som er mindre enn 20 µm. En ulempe ved bruk av ozon er at det er veldig giftig for fisken, selv i svært små konsentrasjoner, derfor må det undersøkes om det er mer ozon igjen i vannet, og eventuelt fjerne dette, før kan vannet kan tilføres produksjonstanken. God overvåking er derfor viktig.

Ozon bør produseres på anlegget, fordi det brytes fort ned. For å lage ozon sendes luft eller ren oksyngass igjennom et elektrisk felt med høy spenning. Det er mest kostnadseffektivt å benytte luft, men denne må være så tørr som mulig og man må derfor ha en tørker. (TrojanUV (u.å.))

Det finnes også andre typer desinfisering for eksempel ved oppvarming av vannet slik at mikroorganismene dør, men dette krever mye energi. Det positive med oppvarming er at det ikke danner seg noen farlige stoffer for fisken. Man kan også bruke klor, men i likhet med ozon er dette veldig giftig for fisken selv i små doser. Klor brytes ikke ned like fort som ozon og derfor går det med store mengder vann for å spyle vekk overflødig klor etter desinfisering. Også en justering av pH kan brukes for desinfisering, men dette er tungvint fordi man må justere pH-en tilbake før man kan tilsette vannet i produksjonstanken igjen. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

## 5.6 Temperaturregulering

Temperaturen i vannet er viktig for veksten til fisken. Fisken kan deles i tre grupper ut fra hva slags temperaturer som er optimale. (J.S.Lucas, P. C. S., C.S.Tucker, 2019; aquaculture, 2009)

- Kaldtvannsfisk – trives i temperaturer under 15°C.
- Fisk som trives i en mellomtemperatur – temperaturer mellom 15°C og 20 °C.
- Varmtvannsfisk – trives i temperaturer over 20°C.

Fisk er vekselvarme, slik at kroppstemperaturen er den samme som temperaturen i vannet. Laks trives best i temperaturområder mellom 4°C og 12°C som fullvoksen. Golfstrømmen gjør at temperaturene rundt kysten av Norge er relativt høye, mens i elver der fisken klekkes og er på smoltstadiet er temperaturene lavere. Derfor bruker fisken som lever vilt 2-5 år på tiden fra klekking til settefisk. I intensiv oppdrett med oppvarming av vannet kan denne tiden reduseres til et år eller kortere. Dette har stor økonomisk betydning da det gir større produktivitet på anlegget og lavere produksjonsomkostninger pr smolt. En kombinasjon av varmeveksling og varmpumpe er en vanlig måte å regulere temperaturen i et RAS- anlegg. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

## 5.7 Biofiltrering

Biofilteret består av bakterier som danner en biofilm som fjerner forurensninger fra fiskens avfall. Det er i hovedsak to ting biofilteret fjerner, det er fôr som ikke er blitt spist og så er det avfall fra fisken, da dette inneholder ammoniakk som er giftig for fisken ved høye konsentrasjoner. Ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) finnes i vannet i vanlig form og som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Det er en likevekt mellom disse i vannet:  $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$ . Det vil si at dersom man reduserer den ene, så blir den andre også redusert.

Man kan fjerne ammoniakk ved kjemisk desinfisering med ozon eller biologisk i et biofilter. På biofilteret for nitrifiseringsprosessen er det bakteriekulturer som gjør om ammoniumionet til nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Denne prosessen krever luft, fordi bakteriene utfører en aerob nedbrytning av ammoniumionet. Dersom det ikke er nok oksygen tilgjengelig i prosessen kan det oppstå dannelse av  $\text{H}_2\text{S}$  som er veldig giftig for fisken. Tilstrekkelig oksygen er derfor viktig for at nitrifiseringsprosessen skal fungere tilfredsstillende. Nitrat er ikke giftig for fisken, men dersom konsentrasjonen blir svært høy kan det påvirke veksten til fisken. Derfor er det ønskelig å fjerne nitrat også, slik at man kan bruke mer av vannet på nytt igjen. Da brukes et denitrifiseringsfilter. På denitrifiseringsfilteret er det bakterier som bryter ned nitrattet til nitrogen gass,  $\text{N}_2$ . Bakteriene på dette filteret utfører anaerobisk nedbrytning, og luft må derfor fjernes fra vannet før reaktoren, i tillegg til at bakteriene krever karbon, noe som kan være nødvendig å tilsette.

Det er ulike metoder for hvordan biofiltre fungerer, eksempelvis:

- Gjennomstrømningsfilter, der vannet drypper eller renner gjennom et lag med bakterier. (Kun nitrifisering på grunn av kontakt med luft.)
- Fluid bed, her er bakteriene festet til slam som flyter i vannet og nitrifikasjonen skjer på overflaten til slammet.
- Granulært filter, her renner vannet gjennom et lag med partikler som har bakteriene på overflaten slik at vannet kommer i kontakt med disse.

Ammoniakk kan også fjernes ved hjelp av ionebyttere, som er stoffer som har evnen til å tiltrekke seg spesielle ioner på grunn av sin ladning for så å bytte disse ionene ut med andre ioner som ikke er bundet like sterkt. Ved kjemisk rensing av ammoniakk er det ammoniumionet som blir fjernet, og da fjernes også ammoniakken på grunn av likevekten mellom disse. Denne metoden er veldig kostbar, og brukes derfor sjeldent. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

Når ammoniakken fjernes i det biologiske filteret blir pH-en i vannet lavere. Derfor må pH-en justeres etter filteret for å opprettholde vannkvaliteten. Dette kan for eksempel gjøres ved å tilsette kalk. (Bregnballe, 2015d)

## 5.8 Gasskontroll

Oksygen bruker fisken for å forbrenne næringsstoffene i fôret og omgjøre disse til energi. Når fisken stresser bruker den mer oksygen. Fisken kan stresse av dårlig vannkvalitet, mye håndtering, for tett bestand og støy. Organisk materiale som ligger i bunnen av produksjonstanken forbruker oksygen når det brytes ned. Dersom det ikke er tilstrekkelig oksygen slik at det skjer en anaerobisk nedbrytning, og det vil kunne dannes H<sub>2</sub>S som er giftig for fisken. Dette gjelder spesielt i produksjonstanker som inneholder saltvann og brakkvann. Det er viktig med nok oksygen, men ikke overmettet med oksygen da dette er skadelig for fisken. For matfisk er et oksygennivå på over 7mg/l anbefalt dersom temperaturen er over 10°C.

Oksygenstyring er derfor viktig i RAS- anlegg for å kunne holde tettheten av fisk høy samtidig som at levevilkårene blir ivaretatt.

Vannbehandling krever også oksygen da bakteriene på biofilteret for nitrifisering er avhengige av oksygen for å omdanne ammoniakk, og for å leve.

Oksygen kan tilsettes vannet ved at vannet luftes eller det kan injiseres ren oksygen inn i vannet. RAS-anlegg bruker enten lufting, eller en kombinasjon av lufting og injisering av oksygen i vannet (kalles oksygenering).

CO<sub>2</sub> må også fjernes fra vannet etter det har vært i produksjonstanken da høy konsentrasjon påvirker pH og fiskens evne til å puste. Ved god lufting, blir CO<sub>2</sub> fjernet, men det kan også være nødvendig med en prosess som kalles stripping. Stripping vil si at luft blåses inn i bunnen av en beholder med væske som inneholder CO<sub>2</sub>, og tar med seg CO<sub>2</sub> ut av væsken. (B.J. Vinci (u.å.))

En annen gass som også fjernes fra vannet er nitrogengass N<sub>2</sub> fra denitrifiseringsfilteret. En lufter vil fjerne CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>, i tillegg til å tilføre oksygen. Den fungerer ved at den skaper turbulens i vannoverflaten for at overføring av gass fra vannet til luften skal skje mest mulig effektivt ved at overflaten der kontakten skjer blir stor. Luft kan enten tilsettes en strøm av vann, eller vann kan tilsettes en strøm av luft. Dersom lufteren er konstruert for å tilsette oksygen kalles det *gassing* og dersom den er konstruert for å fjerne nitrogen og CO<sub>2</sub> kalles det *degassing*.

De to vanligste luftemetodene er kolonnelufter og kaskadelufter. En kolonnelufter er en sylinder med plastlegmer med stor overflate slik at kontaktflaten mellom luft og vann blir stor når vannet renner gjennom sylindere. En kaskadelufter består av plater med hull plassert over hverandre med avstand mellom. Vannet renner ovenfra og igjennom platene og får dermed god kontakt med luft på veien ned. Luftingen kan skje sentralt ved at vannet luftes før det fordeles ut i produksjonstankene, eller i hver tank, da er det desentralt.

Oksygenering vil si å tilføre oksyngass til vannet, slik at nivået for oksygen i vannet blir høyere. Oksygen kan produseres på stedet, eller transporteres til anlegget i flytende eller gassform. Det er vanlig å transportere oksygenet i flytende form, da er volumet mindre enn i gassform. Dersom oksygenet skal produseres på stedet brukes en oksyngenerator.

For å tilsette oksygenet kan det bobles inn i vannet, eller vannet kan dryppe igjennom rent oksygen, da kan det også fjerne  $N_2$  og  $CO_2$  fordi oksyngassen ikke inneholder disse stoffene, og da kan ta plassen til  $N_2$  og  $CO_2$  i vannet.

Luft er gratis mens oksygen er dyrt. Driftskostnadene for lufting blir derfor lavere enn driftskostnadene for oksygenering. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

### 5.9 Pumper

RAS anlegg krever utstyr for å sikre en god vannstrøm igjennom anlegget slik at oksygenivået holdes tilstrekkelig oppe, og avfallsstoffer fjernes effektivt i filtrene. Friskt vann må også pumpes inn, dette kan hentes fra ferskvann, brakkvann eller fra sjøen.

Hvor mye vann som skal holdes i bevegelse kommer an på størrelsen på anlegget og hvilke arter som produseres. Det er viktig i et RAS- anlegg at vannstrømmingen er pålitelig, for å sikre gode levevilkår for fisken. Pumper sikrer denne vannstrømmingen, de kan også ved behov endre hastigheten på vannet og også retningen. Det er ulike typer pumper å velge mellom. Valget av pumpen avhenger av mengden væske som skal pumpes og løftehøyden. I akvakultur er luft-løftepumper, sentrifugalpumper eller propellpumper vanlige pumper å benytte.

Pumpekarakteristikken beskriver ytelsen til pumpen. En pumpe skal jobbe nærmest mulig konstruksjonspunktet, da er virkningsgraden høyest. En vanlig virkningsgrad på pumper i akvakulturanlegg er 70%. Det er tap som oppstår i de ulike delene av pumpen som påvirker virkningsgraden. Lav virkningsgrad resulterer i mer dannelse av varme. I RAS-anlegg der vannet brukes om igjen kan denne varmen ha innvirkning og man kan få et behov for kjøling.

Det er vanlig å pumpe vannet opp før det benyttes i kretsen, slik at det er tyngdekraften som fører til strømning i kretsen, det er ønskelig å minimere høydeforskjeller i anlegget for å unngå å løfte vann. Dette for å spare energi. (Association, 2018)



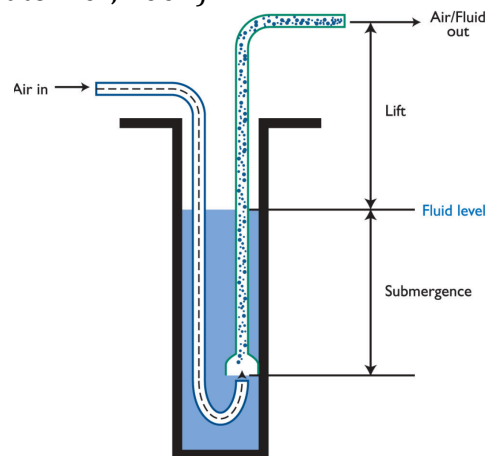
### 5.9.1 Pumpetyper

- Sentrifugalpumpe: Pumpen består av tre deler; en elektrisk motor, en pumpeaksling og impelleren. Motoren sørger for at pumpeakslingen og impelleren roterer, når impelleren roterer blir det høyere trykk i pumpehuset, og vannet presses ut i kretsen.

Som regel er sentrifugalpumpen nedsenket i vannet, men den kan også stå tørroppstilt. Ved en tørroppstilt pumpe blir motoren kjølt ned av en vifte, mens en nedsenket pumpe vil bli kjølt av vannet. Tørroppstilte pumper har enklere vedlikehold, fordi tilgangen er enklere, men krever en ekstra vifte for kjøling. Pumpene egner seg til å pumpe vann mot stort trykk, for eksempel ved henting av grunnvann eller lange rørstrekk. Alt vann som skal pumpes går igjennom pumpehuset, så jo mer vann, jo større pumpehus. I store RAS- anlegg er derfor sentrifugalpumpen arealkrevende. Effektiviteten på slike pumper avhenger av impellerens design noe som kan begrense størrelsen av faste stoffer som kan gå igjennom pumpen.

Service og vedlikehold på sentrifugalpumper er ofte krevende fordi pumpene genererer høyt trykk og høyt turtall.

- Luft-løftepumpe består av en kompressor som fører luft med høyt trykk inn i et rør som står i en tank. Dette røret er åpent og delvis under vannoverflaten i tanken, og går så opp og ut av tanken. Når kompressoren øker trykket på luften, reduseres tettheten i vannet når vann og luft blandes. Dette gjør at volumet til vannet øker og vannet presses inn i det åpne røret og videre ut av tanken. Denne pumpen kan i tillegg til å brukes som pumpe, brukes for å tilsette luft eller for å transportere fisk. Luft- løftepumpen krever mindre energi enn sentrifugalpumpen. Figur 3 viser en skjematisk oversikt over oppbyggingen av en luft- løftepumpe. (Kratowicz, 2002)



Figur 3: Oppbygging av luft- løftepumpe

- Propellpumpe er en type aksial strømningspumpe. Den består av en aksling og propell, og en standard motor. Denne typen pumpe brukes dersom det er snakk om lave høyder som skal pumpes, og store vannvolum. Pumpen står tørroppstilt, og vannstrømmen drives i akselretningen gjennom propellen. Propellpumpen krever mindre energi enn sentrifugalpumpen og opererer ved lavt trykk, noe som gjør at den krever mindre vedlikehold og er utsatt for mindre slitasje enn sentrifugalpumpen.

(Lekang, 2007a; Grundfos, u.å.; vann, u.å.)

### 5.10 Transport

Det er nødvendig med transport av fisk mellom de ulike tankene i et RAS- anlegg. Dette gjøres for eksempel ved å presse fisken så trangt sammen at de tvinges til å flytte seg. Pumper brukes til å presse eller til å skape vakuum som tvinger fiskene til å flytte seg. Da er fisken konstant i vann. Man kan også transportere fisken ved å ved å løfte de. Ved løfting brukes nett eller tanker som løfter fisken ut og inn av vannet. Fiskene transporteres for å deles i ulike kar ut i fra størrelsen de har eller dersom de er blitt behandlet..

(Lekang, 2007b)

### 5.11 Avfallshåndtering og behandling av avløpsvann

Man ønsker å minimere miljøpåvirkning på grunn av oppdrettsanlegg.

Lov om vern mot forurensninger og om avfall og Forskrift om begrensning av forurensning setter krav for utslipp fra RAS- anlegg.

Kravene for rensing innebærer rensing av organisk stoff, næringssalter og fosfor.

Organisk avfall for eksempel død fisk og fôr som ikke er spist fjernes i filtrene, og dette produserer slam. For å redusere mengden slam som dannes er det viktig med riktig fôr og riktig fôringsstrategi slik at mest mulig blir spist. Slammet må behandles før det kan fjernes fra anlegget. Det inneholder mye vann og teknologier for å fjerne vannet og gjøre slammet tykkere er for eksempel mekaniske filtre og geotekstilfiltre (fiberduk). Disse filtrene fjerner væske fra slammet og det blir derfor en reduksjon i volum og vekt slik at lagring og transport enklere. Slammet brytes ned før det lagres, og det kan enten brytes ned aerobisk, eller anaerobisk. Ved anaerobisk nedbryting dannes metangass (biogass) som kan benyttes som energikilde, noe som vil kunne erstatte fossilt brensel som energikilde og redusere klimagassutslipp. Slammet inneholder mye næringsstoffer, og kan derfor også benyttes som gjødsel i jordbruket (Lekang, 2007a; M. Badiola, 2018)

### 5.12 Overvåking

Instrumentering og utstyr for overvåking er nødvendig for å oppdage feil på anlegget og for at reaksjonstiden for iverksetting av tiltak skal bli så kort at man unngår fiskedød.

Sensorer benyttes for å måle viktige parametere som oksygen, pH, temperatur og vannmengde. Svarene sensorene gir kan brukes til å varsle dersom noe er galt, eller til å automatisk regulere nivået slik at det blir tilfredsstillende igjen. (R.Gebauer, 1992b)

### 5.13 Rør

For å transportere vann inn til RAS anlegget og rundt i anlegget kan man benytte åpne kanaler eller rør. I RAS-anlegg er det vanlig å bruke rør laget av termoplast, de kommer i ulike typer med ulike egenskaper. Herdeplast kan også benyttes i noen spesialtilfeller. Felles for alle materialene er at de ikke kan være giftige for fisken. Friksjonstap i rørene for eksempel i bend og ved ventiler eller friksjon på grunn av materialet som er valgt påvirker hvor mye energi pumpen må levere for å skape sterk nok strømning. (Lekang, 2007a)

### 5.14 Tilleggsutstyr ved behov

Ved behov kan også flere komponenter legges til i anlegget, dette kan være ulike metoder for desinfeksjon, for eksempel pH- regulator og utstyr for automatisk fôring. Da brukes ofte sensorer for å kontrollere verdier og en kontrollenhet som starter og stopper komponenten. Automatisk fôring gjør at fôringstiden reduseres i forhold til om det skulle blitt gjort for hånd, men noen typer krever energi for eksempel spredning av fôret i tanken og kontrollenhet for å starte og stoppe fôringen. Dispensere er eksempler på fôringssystemer som ikke krever energi. (Lekang, 2007b)

Etter biofiltrering må ofte pH-en reguleres. En pH- regulator består av en sensor for å måle pH-en i vannet og en doseringsmekanisme, for eksempel en doseringspumpe, som doserer stoffet som skal tilsettes for å regulere pH-en. Dette kan for eksempel være kalk. I tillegg er det viktig at vannet og det regulerende stoffet blandes godt. Dette kan for eksempel gjøres ved en mekanisk mikser, eller ved å tilsette det regulerende stoffet før vannet skal inn i pumpen. (Lekang, 2007a)

## 6. Nyere utvikling i RAS- anlegg

Det som driver utviklingen av RAS-anlegg er behovet for en løsning på utfordringene tradisjonelle oppdrettsanlegg har. Dette gjelder for eksempel behovet for vann, utslipp av avfallsstoffer, variasjoner i sesong og rømming. Særlig produksjonen av smolt går over fra tradisjonelle gjennomstrømningsanlegg til RAS-anlegg. Noe av grunnen til dette er lavere vannbehov.

(Association, 2018; Mowi, 2019)

Pågående utvikling fokuserer på RAS- anlegg som er mer energi- og kostnadseffektive. Noen fokusområder er:

1. Tekniske forbedringer og energieffektive løsninger i resirkuleringskretsen.
2. Gjenbruk av næringsstoffer gjennom integrert oppdrett.
3. Mer utbredt bruk av automasjon, robotisering og bedre kontrollsystemer.
4. Utvikling innen avfallshåndtering.
5. RAS- anlegg lokalisert i nærheten av store markeder.
6. Øke antallet forskjellige arter produsert i RAS- anlegg.
7. Bærekraftig utvikling.

(C.I.M Martin, 2010)

### 6.1 Tekniske forbedringer og energieffektive løsninger i resirkuleringskretsen.

Tekniske løsninger som vil gjøre anleggene mer energieffektive kan være å benytte pumper som krever mindre energi, slik som luft-løftepumper, i tillegg til å redusere høydeforskjeller i RAS-anleggene.

Det undersøkes også hvordan man kan øke effektiviteten på biofiltrene ved høyere grad av kontroll og styring på filteret, i tillegg til ulike metoder for å tilføre oksygen til vannet og undersøkelser på om man kan bruke karbon fra slammet fra anlegget i denitrifiseringsreaktoren for å slippe å hente det utenfra. (C.I.M Martin, 2010) (A. Jostrom, 2015)

### 6.2 Gjenbruk av næringsstoffer gjennom integrert oppdrett.

Det skjer en utvikling for gjenbruk av næringsstoffer der man etterlikner hvordan vann renses naturlig, av alger i dammer og i våtmarksområder. Ved å lage tilsvarende økosystem og bruke som vannbehandlingsmetode vil flere av renseprosessene kunne foregå i en komponent. Denne typen vannrensing er plasskrevende, og den mest effektive kombinasjonen av ulike planter undersøkes.

(C.I.M Martin, 2010)

### 6.3 Mer utbredt bruk av automasjon, robotisering og bedre kontrollsystemer.

Ved en høyere grad av automatisering og bruk av roboter og kontrollsystemer, vil kontrollrommet på RAS- anlegget kunne styre de fleste prosesser på anlegget. Med ny utvikling av automasjon og økt bruk av robotisering og forbedring av kontrollsystemet vil anlegget kunne bli mer energieffektivt.

Ved å la roboter gjøre oppgaver tidligere utført av personell vil faren for menneskelig feil reduseres. Dette gjelder særlig i forhold til sterilisering og overføring av smitte.

Hvor mye som automatiseres avhenger fra anlegg til anlegg, men komponenter som kan styres og overvåkes er vandrdistribusjon, vannkvalitet, temperaturkontroll,

fôringssystem, belysning og strøm til selve anlegget til for eksempel til alarmer. Dette bidrar til at feil oppdages tidlig og tiltak kan iverksettes.

Automatiske fôringssystemer er vanlig på de fleste anlegg, da fisken fôres flere ganger daglig for å unngå fôr som ikke blir spist, noe som er tidkrevende dersom det skal utføres av personell. (R.Gebauer, 1992b) Nanoteknologi kan benyttes for høyere grad av individuell overvåking av hver enkelt fisk.

(Lekang, 2007a)

#### **6.4 Utvikling innen avfallshåndtering.**

Forbedring av oppsamling og håndtering av avfall vil kunne virke positivt på vannkvaliteten og fiskeveksten. Spesielt er det fokus på partikler med størrelse mindre enn 20 µm, da disse ikke blir fanget opp i tradisjonelle filtre.

Forbedringen kan skje ved utvikling av fôring slik at det blir mindre avfallsstoffer, designet til tankene slik at avfallet lettere kan fjernes, og effektiviteten på filterne som fjerner av stoffer i systemet. Prioriteringer for utvikling inkluderer metoder for å fjerne partikler mindre enn 20 µm. En løsning på dette er å implementere skumfraksjonering i kretsen. Skumfraksjonering er en metode for å separere stoffer. Dette gjøres ved å føre bobler igjennom en beholder som inneholder de stoffene man vil fjerne, og stoffene fester seg på boblene før boblene danner et lag på toppen av beholderen og kan fjernes. (Karger (u.å))

Det eksisterer renseteknologier som anaerob ammoniakk oksidering (anammox) der ammoniakk konverteres rett til nitrogen gass, noe som kan være et alternativ til nitrifisering og denitrifisering. Muligheten for å benytte denne typen teknologi i RAS-anlegg må undersøkes.

Fosfatfjerning i RAS-anlegg har ikke vært et stort fokusområde, men det er forventet en fremtidig mangel på kilder til fosfat og resirkulering og lagring av fosfat er derfor hensiktsmessig. For å redusere fosfat i vannet er fôret viktig slik at fosfatopptaket til fisken blir høy, i tillegg til å fjerne mat som ikke blir spist.

Det er også ønskelig å redusere utslipp av fosfor mest mulig da dette er et næringsstoff som i stor grad fører til økt gjengroing i miljøet rundt utslippspunktet. Ved å redusere utslipp av fosfor vil RAS-anleggene bli mer bærekraftig da miljøpåvirkningen blir lavere. For å gjøre dette er det naturlig at man vil fortsette å forbedre fjerning av faste stoffer i avfall fra akvakultur, fordi de faste stoffene inneholder høye fraksjoner med fosfor. Alt avfallet som blir filtrert ut av RAS-anlegget produserer mye slam. Dette slammet inneholder mye vann. Metoder for å gjøre slam fra RAS-anlegg tykkere er viktig for videre utvikling da slammet krever lagring, transport og gebyr for å kvitte seg med. (C.I.M Martin, 2010)

#### **6.5 RAS- anlegg lokalisert nær store markeder.**

Dette vil bidra til tilgang på fersk fisk nærme kunden og redusere transportkostnader.

#### **6.6 Øke antallet arter produsert i RAS- anlegg.**

Det er omkring 10-15% av artene som produseres i akvakulturanlegg i dag, som produseres i RAS-anlegg. Flere arter vil gi større mangfold til kundene, men vil kreve undersøkelser om hva de nye artene krever for best mulig levevilkår. (A. Jostrom, 2015) (Bregnballe, 2015a)

### **6.7 Bærekraftig utvikling.**

For å fortsette å utvikle seg i bærekraftig retning er det fokus på fiskevelferd, alternativer til fôr, slik at det blir mindre utslipp av uspisst fôr og å redusere bruken av kjemikalier.

## 7. Energiforbruk i RAS- anlegg

I dette kapittelet kommer en gjennomgang av komponenter som krever energi i anleggene og en oversikt over mulige fornybare kilder som kan benyttes på RAS- anlegg.

I RAS – anlegg i dag benyttes elektrisk energi til å drifte komponentene slik at vannet strømmer i kretsen og rensesystemet fungerer slik det skal.

Ethvert RAS- anlegg er ulikt blant annet på grunn av størrelse, plassering og behov for vannrensing. Derfor er det totale energibehovet for RAS- anlegg varierende fra anlegg til anlegg.

Det er ingen komponenter som har 100% virkningsgrad, som er målet på forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt. Noe av energien som blir tilført går over til varme på grunn av friksjon i komponentene. Denne varmen påvirker temperaturen i omgivelsene eller i vannet. I RAS-anlegg vil varmen som havner i vannet påvirke levestandardene til fisken, og kan føre til et behov for kjøling av vannet før det igjen går inn i produksjonstankene.

Komponentene som krever energi på RAS-anlegg er blant annet:

- Temperaturregulering
- Vannsirkulasjon
- Oksygenering og lufting
- Filtrering
- Slambehandling
- Desinfisering
- Belysning
- Tekniske innretninger som automatiserer produksjonen.
- Installasjoner på anlegget slik som vifter, brannalarm, husalarm og liknende.

(Lekang, 2007a; M. Badiola, 2018; Badiola, 2018)

Valg av design og tekniske løsninger, art som produseres, plassering og produksjonsvolum i tillegg til om man produserer smolt eller matfisk er parametre som har store påvirkninger på energibruken i anlegg. Dette kan man se ved å se på energiforbruksindeksen til RAS-anlegg. Den måles ofte i kWh/kg fisk. I en rapport skrevet av M. Badiola et.al. som omhandler energiforbruk i RAS- anlegg rapporteres det om et forbruk som varierer mellom 2,9 og 81,49 kWh/kg avhengig av nevnte parametre. (M. Badiola, 2018)

Mengden energi som kreves på RAS- anlegg hentes tradisjonelt fra fossile energikilder og gir derfor miljøpåvirkninger, noe som reduserer bærekraftigheten til anleggene. Dette er fordi det tradisjonelt hentes energi til RAS-anlegg fra det nasjonale strømmettet der fossile energikilder ofte benyttes. Derfor er det interessant å undersøke om fornybare energikilder kan benyttes, eller om RAS-anleggene kan benytte spillvarme fra andre industrier, slik at behovet for fossil energi reduseres og dermed også miljøpåvirkningene.

Hvilke energikilde som er tilgjengelig på RAS-anlegg varierer ut fra plassering av anleggene. Dersom anleggene ligger på avsidesliggende steder kan det være enklere å benytte fornybare kilder enn dersom anleggene ligger plassert i mer urbane strøk. Både fordi anleggene da ligger langt unna eksisterende strømmnett og infrastruktur, i tillegg til at å benytte fornybare kilder kan påvirke områdene rundt anlegget for eksempel i form av behov for areal, utsikt og støy. Friheten RAS-anlegg har i forhold til plassering gjør at anleggene kan plasseres på steder med enklere tilgang på fornybar energi (for eksempel i ørken- nære strøk og benyttelse av solenergi), men dette vil øke kostnader og utslipp på transport til og fra anlegget. (Lekang, 2007a; M. Badiola, 2018)

## 7.1 Komponenter som krever energi.

### 7.1.1 Temperaturregulering.

Grunnlag for beregning av varmebehov er:

- Hvor mye vann som er i kretsen, og hvor mye friskt vann som tilsettes.
- Temperatur på vann i kretsen, og i det friske vannet.
- Ideell temperatur for fiskevekst i kretsen.

Energien som kreves for å varme opp vann er gitt ved likningen:

$$P = mc_p \Delta t.$$

$$m = \text{vannstrøm [m}^3/\text{s]}$$

$$c_p = \text{spesifikk vamekapasitet [kJ/kg}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta t = \text{temperaturdifferansen [}^\circ\text{C]}$$

*Beregningseksempel:*

Ved en vannstrøm på 6000m<sup>3</sup>/h (1,7m<sup>3</sup>/s)

C<sub>p</sub> på 4,18kJ/kg°C

Og en temperatur som skal økes 15 grader kreves:

$$P = 104,5 \text{ kJ/s} = 104,5 \text{ kW}$$

Den totale mengden energi som tilføres avhenger av tiden.

$$Q = P \cdot t$$

Q = total mengde energi [kWh]

P= effekt [kW]

t= tid som oppvarmingen skjer [h]

Så dersom denne oppvarmingen skjer i to timer er den totale mengden energi som må tilføres:

$$Q = 104,5 \cdot 2$$

$$Q = 209 \text{ kWh}$$

Det er den tilførte energien som koster penger per kWh.

Ved en strømpris på 47,76 øre/kWh (29.04.2019 Drammen) (Energi, 2019) kan kostnaden for de to timene beregnes:

$$209 \text{ kWh} \cdot 47,76 \text{ øre/kWh} = 9981,84 \text{ øre} = 99,8 \text{ kroner}$$



Dersom det er behov for å endre temperaturen på vannet i et RAS- anlegg er det et stort volum med vann som man må endre temperaturen på, derfor er det ønskelig å gjenbruke så mye som mulig av varmen i vannet. Denne formen for oppvarming kalles direkte oppvarming. Indirekte oppvarming vil si at man varmeveksler vannet som går ut av produksjonstanken.

Ved indirekte oppvarming er det vanlig å benytte et energianlegg bestående av varmeveksler og varmepumper.

I et RAS- anlegg gjenvinnes så mye av vannet at det er lite friskt vann det er behov for å varme opp, men det kan være nødvendig med kjøling av vannet i kretsen fordi komponentene som er i kretsen avgir varme til vannet. Ved avkjøling av vann må energi fjernes. Formelen for mengden energi er den samme som ved oppvarming. For avkjøling av vannet kan man varmeveksle, eller tilsette kaldt vann eller is til vannet. (Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

### 7.1.2 Vannsirkulasjon

Energibehovet til pumpene påvirkes av hvor høyt vannet må løftes, lavere pumpehøyde vil føre til at pumpene benytter mindre energi. Når man skal beregne hvor høyt vannet skal løftes, må man ta hensyn til friksjonstap. Andre steder i kretsen der det er tap som pumpene må veie opp for er friksjonstap, sammenkoplinger og i filtre. (R.A Bucklin, 1993)

Løftehøyden har mye å si på energibruken, og en økt høyde på en meter kan føre til 20-40% økning i energibruk, mens en høyde på tre meter kan øke energibruken med 44-69%. De ulike typene pumper krever ulik mengde energi avhengig av design, og det er luft-løftepumpen som krever minst energi, men denne har også lav løftehøyde, noe som påvirker designet av RAS- anlegget. Løftehøyden er maksimalt på 0,3 m, luft-løftepumpen kan bruke opp til 40% mindre energi enn en sentrifugalpumpe. Ved bruk av luft-løftepumpe til vannsirkulasjon og til lufting kan man redusere energibehovet i anlegget med 35%.

Denitrifisering og oksygenering gjør at vannbehovet reduseres, noe som igjen påvirker mengden pumpeenergi som kreves. Pumper som drives i konstruksjonspunktet er mest energieffektive.

Energiforbruket til pumpen avhenger av hvor høyt vannet skal løftes. Dette kan beregnes ved formelen

$$P = \rho ghQ$$

$\rho$  = tettheten til vannet [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = tyngdens akselerasjon [9,81m/s<sup>2</sup>]

$h$  = høyden vannet skal løftes [m],

$Q$  = vannstrøm [m<sup>3</sup>/s]

$P$  = energien som kreves [J/s evt. W]

*Regneeksempel:*

Dersom man har en vannstrøm på 6000m<sup>3</sup>/h, og en tetthet på vannet (saltvann) som er 1025 kg/m<sup>3</sup>, som skal løftes 10 meter inkludert friksjon, vil energien som kreves av pumpen være:

$$P = 1025 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 10\text{m} * (6000/3600 \text{ m}^3/\text{s}) = 167587,5 \text{ W} = 167 \text{ kW.}$$

(M. Badiola, 2018) (C.I.M Martin, 2010) (Lekang, 2007a)

### 7.1.3 Oksygenering og lufting

Tilførsel av oksygen gjør at man kan benytte mindre vann i kretsen og fortsatt opprettholde gode levevilkår. Dette fører til at man kan redusere størrelsen på pumper, og dermed energibruk på pumping, størrelsen på produksjonstanken, og antall produksjonstanker, størrelse på vannbehandlingssystemet, og dermed den totale størrelsen på RAS- anlegget.

Alle luftere krever energi. Dette kan tilføres direkte (elektrisitet) eller det kan være energi som er lagret i vannet som potensiell energi (luftere som bruker tyngdekraften). Den potensielle energien kan hentes ut ved å sende vannet fra en høyde og ned til et lavere nivå gjennom en lufter. Når man velger lufter er det viktig at den bruker energien tilført så effektivt som mulig.

Den mekaniske energien som må tilføres lufteren slik at grenseflaten skal blir stor kan være pumpeenergi, energien for å drive en blåsemaskin eller energien for å drive en overflatelufter.

Oksygeneringssystemet består av to deler: injiseringssystemet og kilden til oksyngengass. For å få mest mulig gass inn i vannet som mulig trenger man et injiseringssystem. Ved oksygenproduksjon på anlegget kreves en kompressor som produserer luft under trykk som skal benyttes i oksyngengeneratoren. Dersom oksygen kommer levert flytende til anlegget krever produksjon og transport til anlegget 0,12% av den totale energien brukt i anlegget.

(Lekang, 2007a; R.Gebauer, 1992b)

### 7.1.4 Filtrering

Filter er en hindring for vannstrømmen og reduserer derfor hastigheten på vannet. Dette gjør at pumpebehovet øker, noe som er energikrevende. Ønsket om liten reduksjon av strømning påvirker valget av filter.

Tilbakespyling av filtre avhengig av energi, slik at filteret blir tilstrekkelig rengjort.

Tilbakespylingen kan kreve opp til fem ganger så mye energi som vanlig drift av filteret.

Mengden og størrelsen på partiklene som skal filtreres påvirker hvor ofte denne tilbakespylingen må skje, og dermed også behovet for energi. Noen filtre bruker også energi på å bevege seg, slik som for eksempel roterende beltefilter.

(Lekang, 2007a); (M. Badiola, 2018)

### 7.1.5 Slambehandling

Slammet som samles opp krever energi i videre behandling. Mekanisk filtrering for å fjerne vann krever energi, dette gjør også sensorer og røremekanismer i tankene for nedbrytning av slammet.(Lekang, 2007a; Scanship, 2019)

### 7.1.6 Desinfisering

Desinfisering krever energi i form av for eksempel sensorer doseringsmekanismer og komponenter for blanding av vann og tilsatt stoff og eventuelt rengjøring av komponentene etter desinfisering hvis det er giftige reststoffer til stede.

UV-stråling produseres i elektriske lamper som inneholder kvikksølv damp. Det er to typer lamper man kan benytte, det er høytrykk og lavtrykk kvikksølv lamper. I høytrykkslamper er det 6% av den tilførte elektriske energien som blir omgjort til UV-stråling, mens prosentandelen for lavtrykkslamper er 40-50%. Høytrykkslamper produserer også mye varme, som kan påvirke temperaturen i vannet. Derfor er det mest vanlig å benytte lavtrykkslamper. (R.Gebauer, 1992b)

Et anlegg for ozonering består av to deler. Den ene delen produserer ozonet, og den andre delen er et kammer der ozonet er i kontakt med vannet.

5-10 % av den energien som tilføres ozongeneratoren går til å lage ozon, resten av energien går til varme. Ozongeneratoren forbruker 15-30 kWh/kgO<sub>3</sub> som blir produsert, høyere ozonkonsentrasjon krever høyere energiforbruk. Ozongeneratoren bruker luft for å produsere ozon, og denne luften må være tørr og ren, en prosess som også er energikrevende. Injiseringen av ozonet krever også energi, i tillegg til at mengden ozon må overvåkes slik at man ikke overdoserer, og rester må eventuelt fjernes etter desinfiseringen. (Technology (u.å.))

Dersom man skal bruke oppvarming som desinfisering kan man gjenvinne mesteparten av varmen til det desinfiserte vannet i tillegg til at man må ha en ekstern varmetilførsel for å skape nok temperaturdifferanse mellom varm og kald side på varmeveksleren. Som regel er dette en varmepumpe, elektrisk varmekolbe eller dampkjel. Temperaturen reguleres ved en termostat. Etter vannet har oppholdt seg i tanken og blitt oppvarmet slik at det er blitt desinfisert, passerer vannet igjennom en varmeveksler hvor det avgir det meste av varmen til den innkommende vannstrømmen. For et anlegg med kapasitet på 100l/min er installert effekt 60kW og gjennomsnittlig strømforbruk 40kW.

Denne typen desinfisering er lite brukt i RAS- anlegg da det er svært energikrevende. (R.Gebauer (1992b))

### 7.1.7 Belysning

Belysning på anlegget, inne og ute i tillegg til dersom man ønsker belysning i tankene om de har lokk, krever elektrisk energi.

### 7.1.8 Tekniske innretninger som automatiserer produksjonen

Automatisering, bruk av roboter, sensorer, kontrollenheter og varslingssystemer vil alle kreve energi i form av elektrisitet. Pumper for å endre trykk slik at fisk blir transportert er også energikrevende. Til dette kan luft – løftepumper benyttes.

## 7.2 Alternative energikilder

Toppen er nådd for fossilt brensel og bruken av fornybare kilder er forventet å øke signifikant opp til 30-80% innen 2100. I Europa er målet at 20% av energien som benyttes skal komme fra fornybare kilder innen 2020. Vannkraft og bioenergi har allerede blitt viktige kilder i verdens energiproduksjon og bidrar til å dekke omtrent 18% av verdens energibehov.

Nye fornybare kilder som sol, vind og geotermisk energi, bidrar til å dekke rundt 2% av dagens energibruk. (M. Badiola, 2018)

### 7.2.1 Geotermisk energi

Geotermisk energi kan benyttes både for produksjon av elektrisitet og varmt vann avhengig av temperatur på kilden. Varmevekslere er ofte nødvendige når man benytter geotermisk energi på grunn av kjemikalier i vannet fra kilden. Dette kan være kjemikalier som arsenikk og oppløste gasser som er skadelig for planter og dyr. Bruken av geotermisk energi i akvakultur er særlig attraktiv i anlegg med driftstemperatur mellom 25°C og 35°C. Den store ulempen for RAS- anlegg er bruken av varmeenergi for å produsere elektrisitet, da varmeenergien også kan benyttes til oppvarming. Bruken av geotermisk energi i RAS- anlegg har blitt praktisert i land som Island og Alaska og Egypt. (M. Badiola, 2018)

### 7.2.2 Solenergi

Solenergi er en stor kilde til produksjon av elektrisitet uten forurensing, men kan ha store påvirkninger på miljøet slik som tap av naturlige habitater og farlige materialer som brukes i produksjon av panelene.

Solenergi kan deles i to avhengig av måten energien blir hentet inn og distribuert. Passiv solenergi (naturlig konveksjon og direkte sol absorpsjon) eller aktiv solenergi (solfanger eller PV- systemer). I akvakultur brukes både direkte og passive teknologer. Løsninger for å integrere solenergi krever investering og har derfor begrenset direkte økonomisk fordel, men store indirekte fordeler (bedre for miljøet, bærekraftighet og sosiale perspektiver) (M. Badiola (2018))

### 7.2.3 Spillvarme

Spillvarme fra industri har blitt brukt for kommersiell produksjon av østers og laks, men er ikke veldig utbredt. Det kan være signifikante problemer med hygiene ved bruk. Vannet må derfor varmeveksles slik at energien kan gjenbrukes.(M. Badiola, 2018)

### 7.2.4 Vannkraft

Vannkraft er pålitelig og kostnadseffektivt og har med mange teknologier tilgjengelig. Dette er en av energikildene som blitt brukt i RAS- anlegg og som bidrar til å redusere miljøpåvirkningene og de økonomiske kostnadene. (M. Badiola, 2018)

## 8. Eksempel på energiforbruk i et RAS- anlegg.

I eksempelet på energiforbruk på et RAS- anlegg ble det gitt data for installert effekt på et pilotanlegg på Campus Ås, i tillegg til dimensjoneringskriterier. RAS- anlegget produserte smolt med størrelse mellom 10 og 150 gram. Studiet ble beregnet ut fra en tid på et år, der de ulike komponentene sto slått på 24 timer i døgnet. Komponentene sto ikke på maksimal effekt hele tiden, men en antagelse ble gjort om at komponentene sto på 70% av maks. Energiforbruket til komponentene ble beregnet og det ble undersøkt hvor mye bidrag den enkelte komponent hadde på det totale energiforbruket. Deretter ble det totale energiforbruket sammenliknet med tall for kommersielle oppdrettsanlegg for smolt.

RAS- anleggets komponenter var følgende:

En produksjonsenhet med følgende energikrevende komponenter:

- Trommelfilteravdeling bestående av to trommelfilter og pumpe for spyling.
- RAS- pumper, denne avdelingen besto av åtte sentrifugalpumper.
- Biofilteravdelingen besto av åtte vifter og pumper.
- UV avdeling bestående av tre enheter.
- CO2 fjerningssystem som besto av 14 vifter.
- Sirkuleringspumpe varmeveksler + vannutslipp besto av tre sentrifugalpumper.
- Oksygenering besto av fire sentrifugalpumper.
- Behandlingssystem av død fisk besto av en vifte.
- Annet; to sentrifugalpumper.

En produksjonsenhet med følgende energikrevende komponenter:

- Trommelfilteravdeling bestående av to trommelfilter og pumpe for spyling.
- RAS- pumper, denne avdelingen besto av åtte sentrifugalpumper.
- Biofilteravdelingen besto av åtte vifte og pumper.
- UV avdeling bestående av tre enheter.
- CO2 fjerningssystem som besto av 14 vifter.
- Sirkuleringspumpe varmeveksler + vannutslipp besto av tre sentrifugalpumper.
- Oksygenering besto av fire sentrifugalpumper.
- Annet; to sentrifugalpumper.

I tillegg til komponenter for:

- Vannbehandling
  - Slambehandling som besto av to beltefilter og slampumpe.
  - Vifte for blanding.
- Temperaturregulering og pH- regulering
  - Tilsetting av kalk; doseringssystem for kalk.
  - Avkjøling som besto av to energianlegg.
- Valgfritt
  - CIP rens; CIP rengjøring for varmeveksler
  - Vakuum og silingssystem for død fisk; oppsamling og behandling

## 8.1. Beregningsresultater

### 8.1.1. Energiforbruk i produksjonsenhet 1

Tabell 5 viser en oversikt over energiforbruket til de ulike komponentene i produksjonsenhet 1.

Tabell 5: Komponentvis energibruk produksjonsenhet 1

| Komponent                              | Forbruk [kWh]    | % av totalt kWh i avdelingen | % av totalt energiforbruk på anlegget |
|--|------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Trommelfilter avdeling                 | 43537,2          | 3,2                          | 1,1                                   |
| RAS- pumper                            | 539616           | 39,0                         | 13,1                                  |
| Biofilter avdeling                     | 113442           | 8,2                          | 2,8                                   |
| UV avdeling                            | 40471,2          | 2,9                          | 0,98                                  |
| CO2 avdeling                           | 128772           | 9,3                          | 3,1                                   |
| Sirkulasjonspumpe varmeveksler + avløp | 125706           | 9,1                          | 3,05                                  |
| Oksygenering                           | 269808           | 19,5                         | 6,6                                   |
| Behandling av død fisk                 | 24528            | 1,8                          | 0,6                                   |
| Andre                                  | 97498,8          | 7,0                          | 2,3E-05                               |
| <b>Total</b>                           | <b>1383379,2</b> |                              | <b>33,6</b>                           |

### 8.1.2 Energiforbruk i produksjonsenhet 2

Tabell 6 viser en oversikt over energiforbruket til de ulike komponentene i produksjonsenhet 2.

Tabell 6: Komponentvis energibruk i produksjonsenhet 2

| Komponent                              | Forbruk [kWh]    | % av totalt kWh i enheten | % av totalt energiforbruk på anlegget |
|--|------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Trommelfilter avdeling                 | 43537,2          | 3,2                       | 1,1                                   |
| RAS- pumper                            | 539616           | 39,7                      | 13,1                                  |
| Biofilter avdeling                     | 113442           | 8,3                       | 2,8                                   |
| UV avdeling                            | 40471,2          | 3,0                       | 1,0                                   |
| CO2 avdeling                           | 128772           | 9,5                       | 3,1                                   |
| Sirkulasjonspumpe varmeveksler + avløp | 125706           | 9,3                       | 6,6                                   |
| Oksygenering                           | 269808           | 19,9                      | 2,4                                   |
| Andre                                  | 97498,8          | 7,2                       | 2,1                                   |
| <b>Total</b>                           | <b>1358851,2</b> |                           | <b>33,0</b>                           |

### 8.1.3 Energiforbruk i vannbehandling, temperaturregulering og pH- regulering

Tabell 7 viser en oversikt over energiforbruket for vannbehandlingsenheten.

Tabell 7: Komponentvis energiforbruk vannbehandling

| Komponent          | Forbruk [kWh] | % av totalt energiforbruk på anlegget |
|--------------------|---------------|---------------------------------------|
| Slambehandling     | 153300        | 3,7                                   |
| Vifte              | 45990         | 1,1                                   |
| Tilsetning av kalk | 226884        | 5,5                                   |
| Kjøler 1           | 337260        | 8,2                                   |
| Kjøler 2           | 337260        | 8,2                                   |

### 8.1.4 Energiforbruk i valgfrie komponenter

Tabell 8 viser en oversikt over energiforbruket på de valgfrie komponentene.

Tabell 8: Komponentvis energiforbruk valgfrie komponenter

| Komponent              | Forbruk [kWh] | % av totalt energiforbruk på anlegget |
|------------------------|---------------|---------------------------------------|
| CIP rens               | 183960        | 4,5                                   |
| Vakuumsystem og siling | 91980         | 2,2                                   |

### 8.1.5 Komponenter med høyest energiforbruk

Tabell 9 viser en oversikt over de komponentene i kretsen som har høyest energiforbruk.

Tabell 9: Komponenter med høyest energiforbruk

| Komponent                | Totalt forbruk [kWh] | % av totalt energiforbruk på anlegget | kWh/kg [kWh/kg] |
|--------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------|
| RAS- pumper              | 1079232              | 26,2                                  | 10,65908148     |
| Biofilter                | 226884               | 5,5                                   | 2,24082963      |
| CO <sub>2</sub> fjerning | 257544               | 6,3                                   | 2,543644444     |
| Oksygenering             | 539616               | 13,1                                  | 5,329540741     |
| Varmeveksler             | 251412               | 6,1                                   | 2,483081481     |
| Slambehandling           | 226884               | 3,7                                   | 153300          |
| Avkjøling                | 674520               | 16,4                                  | 3,3             |
| pH- regulering           | 226884               | 5,5                                   | 1,1             |

### 8.1.6 Totalt energiforbruk

Beregningene viser at det totale energiforbruket på anlegget var **4118864 kWh**.

## 8.2 Sammenlikning

Resultatet fra beregningene viser at det er pumper, oksygenering og avkjøling som bidrar mest til energiforbruket på anlegget.

Sammenliknet med kommersielle anlegg i Norge har anlegg for settefisk en elektrisitetskostnad på 2127290 kr, med en gjennomsnittlig elektrisitetspris på 0,59 kr i 2017. En beregning ut i fra dagens elektrisitetskostnad (47,76 øre/kWh )på pilotprosjektet gir en pris på 1967169 kr. Dette er 8% mindre enn for det kommersielle anlegget, en årsak til dette kan være at kommersielle anlegg har tatt med elektrisitetskostnad for hele anlegget, og derfor har med utgifter som for eksempel belysning i sin beregning mens pilotanlegget kun har med komponentene i selve produksjonen som krever energi. Ut ifra disse beregningene, og med tanke på at tallene fra de kommersielle anleggene har med flere komponenter enn pilotprosjektet, kan man konkludere med at energiforbruket i pilotanlegget tilsvarer energiforbruket til de kommersielle anleggene.

((Energi, 2019); Fiskeridirektoratet (2018))



## 9. Diskusjon

Denne diskusjonen tar for seg mulige løsninger for å redusere energiforbruket i RAS-anlegg.

Dette kan gjøres ved å videreutvikle den eksisterende teknologien innen vannrensing som blir benyttet i dag, og med større grad av automatisering.

Ved å produsere anlegg med lave eller ingen høydeforskjeller, vil pumpene kreve mindre energi, og det vil også bli mulig å kunne benytte de mer energieffektive luftløftepumpene i større grad.

Effektive mekaniske filtre og desinfisering som fjerner partikler, vil føre til at biofiltret kan operere mer effektivt. Færre partikler i kretsen vil også redusere behovet for tilbakespyling, som er energikrevende, og redusert mengde organisk materiale som brytes ned vil redusere faren for utvikling av H<sub>2</sub>S.

Ved å benytte denitrifiseringsreaktorer vil man kunne gjenbruke en større del av vannet, og pumping av inntaksvann vil derfor reduseres, i tillegg til energibehov for eventuell rensing av innløpsvann og oppvarming av dette.

Ved å benytte sensorer som måler verdier som for eksempel CO<sub>2</sub> vil man kunne skru av og på luftere ved behov.

Høy grad av gjenbruk og innendørs anlegg eller godt isolerte tanker vil man kunne redusere behovet for oppvarming av vann, men temperaturøkning på grunn av komponentene i kretsen kan gjøre det nødvendig med avkjøling av vannet. Ved å sette komponenter som kan stå tørroppstilt over vann og ikke ned i vannstrømmen vil varmen fra komponenten påvirke temperaturen i luften rundt tanken, og ikke vanntemperaturen.

Tilsetting av oksygen til vannet vil redusere vannbehovet, og dermed behovet for pumping, og gjøre nitrifikasjonsfilteret effektivt.

Å fjerne stoffer som er mindre enn 20 µm med ozon er energikrevende da ozongenerering krever mye energi. Bedre fôr og fôring, samt å benytte filter som ikke bryter ned større partikler til denne størrelsen vil kunne bidra til å redusere energibehovet.

Ved bruk av sensorer og kontrollenheter kan feil oppdages og feilretting iverksettes hurtig.

Integrerte systemer kan være en løsning for å redusere energiforbruket på rensesprosessen, men de krever stor plass.

Ved å benytte energi fra fornybare kilder vil anlegget bli mer bærekraftig selv om det trenger energi for å driftes.

RAS-anlegg kan plasseres nær store markeder, og transportkostnadene kan dermed reduseres.

Fôr med et innhold der mest mulig av næringsstoffene blir tatt opp i fisken kan være en løsning på færre partikler i kretsen. Produksjon og transport av fôr er også energikrevende, og ved større frihet på beliggenhet av RAS-anlegg kan anleggene plasseres nærmere produsent av fôr dersom dette er hensiktsmessig.

## 10. Konklusjon

I denne masteroppgaven undersøkes energiforbruket på RAS-anlegg og hvordan dette kan reduseres. RAS- anlegg er en løsning på problemet med miljøpåvirkning som tradisjonelle oppdrettsanlegg har utfordringer med. En tilnærmet lukket krets, avlukket fra miljøet rundt vil gi stor grad av kontroll på utslipp til miljøet. Allikevel har RAS-anlegg en utfordring når det gjelder energibehovet som er høyt i forhold til tradisjonelle oppdrettsanlegg. Ved å forbedre og effektivisere komponentene i kretsen kan energibehovet reduseres, og ved å implementere bruken av fornybare energikilder vil anlegget kunne få et lavere behov for fossil energi og dermed bli mer bærekraftig. Dette vil også benyttelse av slammet som blir dannet i anlegget kunne bistå med ved produksjon av biogass.

Komponenter som bidrar til vannstrømning, temperatur regulering og gasskontroll er de komponentene som bruker mest energi. Dette var også resultatet av regneeksempelet et pilotprosjektet da resultatet, der ble 68,1% av energien brukt av disse komponentene. Andre komponenter som har høyt energiforbruk er biofiltrering, slambehandling og regulering av pH.

## Referanser

- Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes. (2018a). *Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks - matfisk og post-smolt*: Sintef (Sider 10) Tilgjengelig fra: [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse\\_av\\_landbasert\\_oppdrett\\_Postsmolt\\_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse_av_landbasert_oppdrett_Postsmolt_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y) (lest 20.02.2019)
- Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes. (2018b). *Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks - matfisk og post-smolt*: Sintef (Sider 16) Tilgjengelig fra: [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse\\_av\\_landbasert\\_oppdrett\\_Postsmolt\\_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse_av_landbasert_oppdrett_Postsmolt_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y) (lest 01.05.2019)
- A. Tjernshaugen, K. O. (2018). *Bærekraftig utvikling*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/b%C3%A6rekraftig\\_utvikling](https://snl.no/b%C3%A6rekraftig_utvikling) (lest 03.05.2019).
- Kåss, E. (2018). *Patogen*. Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/patogen> (lest 03.05.2019).
- Sentralbyrå, S. (2018). *Utslipp til luft*: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-forelopige>.
- Nofima. (u.å.). *Ulike typer oppdrettsanlegg*: Nofima. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/verdt-a-vite/ulike-typer-oppdrettsanlegg/> (lest 03.05.2019).
- Alimentarium. (u.å.). *The history of aquaculture*: Alimentarium. Tilgjengelig fra: <https://www.alimentarium.org/en/knowledge/history-aquaculture> (lest 01.05.2019).
- A. Jostrom, R. E. (2015). *Fish 2.0 Market Report: Aquaculture An Investor Update on Sustainable Seafood*. Fish2.0. Tilgjengelig fra: [http://fish20.org/images/Fish2.0MarketReport\\_Aquaculture.pdf](http://fish20.org/images/Fish2.0MarketReport_Aquaculture.pdf) (lest 12.03.2019).
- K. White, B. O. N., Z. Tzankova. (2004). *At a Crossroads: Will Aquaculture Fulfill the Promise of the Blue Revolution?*: SeaWeb Aquaculture Clearinghouse. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/havbrukhttps://www.cetmar.org/DOCUMENTACION/dyp/At\\_Crossroads.pdf](https://snl.no/havbrukhttps://www.cetmar.org/DOCUMENTACION/dyp/At_Crossroads.pdf) (lest 06.03.2019).
- J.S. Lucas, P. C. S., C.S.Tucker. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic ANimals and Plants, 3rd Edition*. 3 utg.: John Wiley& Sons Ltd. (sider 1-17) Tilgjengelig fra: [https://books.google.no/books?id=kG10DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=no&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0 - v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?id=kG10DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=no&source=gbs_ge_summary_r&cad=0 - v=onepage&q&f=false) (lest 28.01.2019)
- Initiative, G. S. (u.å.). *The future of aquaculture*: Global Salmon Initiative. Tilgjengelig fra: <https://globalsalmoninitiative.org/en/what-is-the-gsi-working-on/the-future-of-aquaculture/> (lest 10.01.2019).
- Association, I. S. F. (2018). *Salmon Farming: Sustaining communities and feeding the world*: International Salmon Farmers Association. Tilgjengelig fra: <https://sjomatnorge.no/wp-content/uploads/2018/06/ISFA-Report-2018-FINAL-FOR-WEB.pdf> (lest 10.01.2019).
- T. Svåsan, E. S. G., Ø.Karlsen, B.O. Kvamme, K.S.Glover, V. Husa, T.S. Kristiansen. (2017). *Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017*: Havforskningsinstituttet (Sider 170) Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2017/0517/Fortsatt-utfordringer-for-norsk-fiskeoppdrett>

- Lekang, O. I. (2007a). *Aquacultural Engineering*: Blackwell Publishing (sider 1-6)  
Tilgjengelig fra: <https://www.slideshare.net/ssuserd95617/aquaculture-engineering-44112675> (lest 20.01.2019)
- Laksefakta. (2018a). *Hva er bærekraft*: Laksefakta. Tilgjengelig fra:  
<https://laksefakta.no/laks-og-miljo/hva-er-barekraft/> (lest 15.01.2019).
- Bregnballe, J. (2015a). *A Guide to Recirculation Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Sider 9-13) Tilgjengelig fra:  
<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf> (lest 15.04.2019)
- J.S. Lucas, P. C. S., C.S.Tucker. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. 3 utg. Wiley Blackwell: John Wiley & Sons Ltd (sider 19-39) Tilgjengelig fra:  
[https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir\\_esc=y-v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir_esc=y-v=onepage&q&f=false) (lest 24.04.2019)
- R.Gebauer, G. E., E. Hansen, B.Eikebrokk. (1992a). *Oppdrettsteknologi*: Tapir Forlag (sider 11-27) Tilgjengelig fra:  
<https://www.nb.no/nbsok/nb/fc65bfff21bee3855ef69755f424e646?lang=no-5> (lest 20.04.2019)
- R.Gebauer, G. E., E. Hansen, B.Eikebrokk. (1992b). *Oppdrettsteknologi*: Tapir forlag (sider 473-529) Tilgjengelig fra:  
<https://www.nb.no/nbsok/nb/fc65bfff21bee3855ef69755f424e646?lang=no-8> (lest 21.04.2019)
- J.S.Lucas, P. C. S., C.S. Tucker. (2019). *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*: Wiley Blackwell (sider 19-38) Tilgjengelig fra:  
[https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir\\_esc=y-v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir_esc=y-v=onepage&q&f=false) (lest 02.05.2019)
- Bregnballe, J. (2015b). *A Guide to Recirculation Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Sider 10) Tilgjengelig fra:  
<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf> (lest 01.04.2019)
- J. Dalsgaard, I. L., R. Thorarinsdottir, A. Drenstvig, K. Arvonen, P.B.Pedersen. (2013). *Farming different species in RAS in NORDIC countries: current status and future perspective*: Researchgate. Tilgjengelig fra:  
[https://www.researchgate.net/publication/256974179\\_Farming\\_different\\_species\\_in\\_RAS\\_in\\_NORDIC\\_countries\\_current\\_status\\_and\\_future\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/256974179_Farming_different_species_in_RAS_in_NORDIC_countries_current_status_and_future_perspectives) (lest 03.05.2019).
- Bregnballe, J. (2015c). *A guide to Recirculation Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Sider 37) Tilgjengelig fra:  
<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf> (lest 02.05.2019)
- iLaks. (2016). *Bygger to anlegg for storsmolt i Rogaland*: iLaks. Tilgjengelig fra:  
<https://ilaks.no/bygger-to-anlegg-for-storsmolt-i-rogaland/> (lest 12.05.2019).
- Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes. (2018c). *Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks - matfisk og post-smolt*: Sintef (Sider 86)  
Tilgjengelig fra: <http://fisk.no/attachments/article/6572/landbasert-lakseoppdrett-analyse.pdf>
- J.S. Lucas, P. C. S., C.S. Tucker. (2019). *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*: Wiley Blackwell (sider 10) Tilgjengelig fra:  
[https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir\\_esc=y-v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCfVbAUxBmiGMEiYf7JF3ANEh4&redir_esc=y-v=onepage&q&f=false) (lest 02.05.2019)

- C.I.M Martin, E. H. E., M.C.J Verdegem, L.T.N. Heinsbroek, O. Schneider, J.P Blancheton, E.Roque dÓrbcastel, J.A.J. Verreth. (2010). *New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability*. Tilgjengelig fra: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.926.6247&rep=rep1&type=pdf> (lest 15.03.2019).
- M. Badiola, O. C. B., R. Piedrahita, P. Hundley, D. Mendiola. (2018). Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 81: 57-70 Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860917302327> (lest 20.04.2019)
- Nofima, S. O., Barentswatch. (2018). *Utslipp fra oppdrettsanlegg*: Nofima, Sintef Ocean, BarentsWatch. Tilgjengelig fra: <https://www.barentswatch.no/havbruk/miljoovervakning> () (lest 15.01.2019).
- Fiskeridirektoratet. (2015). *Gode miljøforhold ved oppdrettsanleggene*: Fiskeridirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2015/0215/Gode-miljoeforhold-ved-oppdrettsanleggene> (lest 10.01.2019).
- Laksefakta. (2018b). *Hvorfor rømmer laksen*: Laksefakta. Tilgjengelig fra: <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/romming/> (lest 17.01.2019).
- Laksefakta. (2018c). *Hva er lakselus?*: Laksefakta. Tilgjengelig fra: <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/lus/> (lest 15.02.2019).
- L.A. Helfrich, G. L. *Fish farming in recirculating aquaculture systems (RAS)*. Tilgjengelig fra: <http://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/Fish-Farming-in-Recirculating-Aquaculture-Systems-RAS.pdf> (lest 13.02.2019).
- Miljødirektoratet. (2015). *Lakselus*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljostatus.no/tema/ferskvann/laks/lakselus/> (lest 08.02.2019).
- Mowi. (u.å.). *We are leading the Blue Revolution*: Mowi. Tilgjengelig fra: <https://mowi.com/sustainability/> (lest 03.05.2019).
- Thoring, L. (2017). *Vår vannkrevende mat*: Fremtiden i våre hender. Tilgjengelig fra: <https://www.framtiden.no/201705037142/aktuelt/mat/var-vannkrevende-mat.html>.
- Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, Eirik. S. Hognes. (2018). Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks- matfisk og post- smolt. 83 Tilgjengelig fra: [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse\\_av\\_landbasert\\_oppdrett\\_Postsmolt\\_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2564532/Konsekvensanalyse_av_landbasert_oppdrett_Postsmolt_Matfisk.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- Bregnballe, J. (2015d). *A Guide to Recirculation Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Sider 13-35) Tilgjengelig fra: <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf> (lest 15.04.2019)
- J.S.Lucas, P. C. S., C.S.Tucker. (2019). *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*. 3 utg.: Wiley Blackwell (sider 31-55) Tilgjengelig fra: [https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCFvBAUxBmiGMEiYf7F3ANEh4&redir\\_esc=y - v=onepage&q=production%20tank&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=kG10DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=aquaculture+in+general&ots=Ph03ixUgiU&sig=7nCFvBAUxBmiGMEiYf7F3ANEh4&redir_esc=y - v=onepage&q=production%20tank&f=false) (lest 24.04.2019)
- Oram, B. *Water Testing Total Dissolved Solids Drinking Water Quality*: Water Reserach Center. Tilgjengelig fra: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/total-dissolved-solids> (lest 20.04.2019).

- Novatek. (u.å.). *Trumma Trommelfilter*: Novatek AS. Tilgjengelig fra: <https://www.novatek.no/vannbehandling/filteranlegg/trommelfilter> (lest 02.05.2019).
- J. Solbakken, J. I. H., H. Liltved, R. Johannson, L. Windmar, C. Voegelsang. (2005). *Beste tilgjengelige teknikker for fiskeoppdrett i Norden*: Nordisk ministerråd (sider 117) Tilgjengelig fra: [https://books.google.no/books?id=7gA-flgG16QC&pg=PA117&lpg=PA117&dq=beltefilter+hvordan+fungerer+det&source=bl&ots=yQGhFrAi-9&sig=ACfU3U23-ZrhRw4M-5UyDbUKF0uYVtmRgw&hl=no&sa=X&ved=2ahUKEwirq\\_y1l\\_zgAhUVxMQBHVlgAGYQ6AEwBnoECAkQAQ-v=onepage&q=beltefilter%20hvordan%20fungerer%20det&f=false](https://books.google.no/books?id=7gA-flgG16QC&pg=PA117&lpg=PA117&dq=beltefilter+hvordan+fungerer+det&source=bl&ots=yQGhFrAi-9&sig=ACfU3U23-ZrhRw4M-5UyDbUKF0uYVtmRgw&hl=no&sa=X&ved=2ahUKEwirq_y1l_zgAhUVxMQBHVlgAGYQ6AEwBnoECAkQAQ-v=onepage&q=beltefilter%20hvordan%20fungerer%20det&f=false) (lest 02.05.2019).
- Sterner. (u.å.). *Filtrering*: Sterner. Tilgjengelig fra: <http://www.sterner.no/sortiment/filtrering/> (lest 20.04.2019).
- TrojanUV. (u.å.). *Introduction to UV Desinfection*: TrojanUV. Tilgjengelig fra: <https://www.trojanuv.com/uv-basics> (lest 02.05.2019).
- aquaculture, A. f. s. (2009). *RAS land-based recirculating aquaculture systems*: Food and Water Watch. Tilgjengelig fra: <https://www.foodandwaterwatch.org/insight/land-based-recirculating-aquaculture-systems> (lest 10.04.2019).
- B.J. Vinci, S. T. S., R. H. Piedrahita, B.J. Watten, M.B. Timmons. (u.å.). *Carbon Dioxide Stripping*. Tilgjengelig fra: <https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA7/RecircWorkshop/Workshop PP & Misc Papers Adobe 2006/8 Gas Transfer/Degassing/CO2 Control.pdf> (lest 18.02.2019).
- Kratowicz, R. (2002). *Using air lift pumps or eductors for fluid handling*: Plant Services. Tilgjengelig fra: <https://www.plantservices.com/articles/2002/12/> (lest 12.05.2019).
- Grundfos. (u.å.). *Grunnleggende pumpeteori og pumpetyper*: Grundfos. Tilgjengelig fra: <https://no.grundfos.com/training-events/ecademy/all-topics/basic-principles-and-pump-types/about-pumps-and-the-two-main-pump-types.html> (lest 03.03.2019).
- vann, N. (u.å.). *VA -ordbok*: Norsk vann. Tilgjengelig fra: <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/view.php?id=676&mode=search&hook=pump&sortkey&sortorder=asc&fullsearch=1&page=1> (lest 27.03.2019).
- Lekang, O. I. (2007b). *Aquacultural Engineering*: Blackwell Publishing (sider 215-224) Tilgjengelig fra: <https://www.slideshare.net/ssuserd95617/aquaculture-engineering-44112675> (lest 07.05.2019)
- Mowi. (2019). *Global Salmon Initiative*. Mowi. Tilgjengelig fra: <https://mowi.com/sustainability/global-salmon-initiative/> (lest 01.05.2019).
- Karger, B. L. (u.å.). *Foam fractionation and flotation*. Britannica. Tilgjengelig fra: <https://www.britannica.com/science/separation-and-purification/Particle-electrophoresis-and-electrostatic-precipitation-ref619683> (lest 03.05.2019).
- Badiola, M. (2018). *Addressing the high energy consumption challenges associated with RAS use - first in a four -part series*. Hatchery international. Tilgjengelig fra: <https://www.hatcheryinternational.com/recirc/energizing-ras-3142> (lest 03.05.2019).
- Energi, N. (2019). *Finn dagens strømpris*: Norges Energi. Tilgjengelig fra: <https://norgesenergi.no/hjelp/strompriser/> (lest 29.04.2019).
- R.A Bucklin, C. D. B., C.A. Watson, F.A. Chapman. (1993). *Energy Use of Recycling Water Aquaculture Systems for Ornamental Fish Production*: University of Florida.

Tilgjengelig fra:

<http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/44/83/00001/AE03400.PDF> (lest 24.04.2019).

Scanship. (2019). *Bio-sludge handling*. Scanship. Tilgjengelig fra:

<https://www.scanship.no/marine/aquaculture/> (lest 03.05.2019).

Technology, A. (u.å.). *Tank systems Recirculation Systems*. Tilgjengelig fra:

<http://www.aquaculture-com.net/recircu.htm> (lest 02.05.2019).

Fiskeridirektoratet. (2018). *Lønnsomhetsundersøkelse for produksjon av laks og regnbueørret (2017)*: Fiskeridirektoratet. Tilgjengelig fra:

<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Loennsomhetsundersoekelser-for-laks-og-regnbueoerret> (lest 20.04.2019).



**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway