



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Veileder: Tor Kristian Stevik

Storskala oksygenering i oppdrettsmerd med luseskjørt

Large scale oxygenation in sea-cages with skirt

Tobias Glemming

Håkon Hoel Olsen

Industriell Økonomi

Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på vår femårige utdanning Industriell Økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Masteroppgaven er på 30 studiepoeng.

Vi ønsker å takke alle som har bidratt til oppgaven. Først rettes en stor takk til førsteamanuensis Tor Kristian Stevik for hjelpsomme tilbakemeldinger og gode diskusjoner underveis i masterperioden. Takk til førsteamanuensis Odd-Ivar Lekang for gode faglige innspill. Takk til seniorforsker Bjarne Gjerde ved Nofima for hjelp med våre analyser. Takk til samarbeidspartnere ved prosjekt Gulestø for datagrunnlag og svar på spørsmål underveis i oppgaven. Takk til Tonje, Lisa og Helene for effektiv korrekturlesning av teori.

Takk til alle forelesere og studenter som har bidratt til en hyggelig, sosial og lærerik studietid på Ås. En spesiell takk til gjengen på TF 210 som har bidratt med motivasjon gjennom en hektisk masterperiode.

Til slutt vil vi rette en stor takk til våre samboere Dina og Tonje for god støtte og tålmodighet i en krevende masterperiode.

Ås, mai 2018

Tobias Glemming

Håkon Hoel Olsen

Sammendrag

Lakselus er en av oppdrettsnæringen største utfordringer og innbefatter kostnader opp mot 8 milliarder NOK i 2015. Luseskjørt som en forebyggende metode mot lakselus har vist seg å kunne redusere lusepåslaget i oppdrettsanleggene. Luseskjørtet fører også til redusert vanngjennomstrømning, som er grunnen til tidvis lave og volatile oksygennivåer, noe som kan være skadelig for fisken. Det er imidlertid begrenset forskning på dette. Følgende masteroppgave har derfor undersøkt effekten av merder med luseskjørt og oksygenering, kalt Oxyskjold, og følgende problemstilling ble valgt: *«Kan tilførsel av oksygen i merd med luseskjørt opprettholde oksygenmetningen på et ønsket nivå, samtidig som det er økonomisk fordelaktig for oppdretter?»*

Oppgaven tar utgangspunkt i en casestudie på Gulestø hvor det har blitt foretatt regelmessige målinger i åtte merder med ulike konfigurasjoner. Gjennom visuell inspeksjon av data, regresjonsanalyse, utvikling av verdikalkulator og følgende følsomhetsanalyser har problemstillingen blitt søkt løst. Tre forskningsspørsmål er definert for å svare på problemstillingen.

- Gir merd med permanenteskjørt færre lusepåslag sammenlignet med merder uten permanenteskjørt?
- Vil oksygenering i merd kunne motvirke permanenteskjørtets hemmede effekt på oksygenmetningen i merden?
- Kan merd med permanenteskjørt og oksygenering kunne tilføre økonomisk gevinst som følge av økt tilvekst for laks?

Funnene i oppgaven viser ikke signifikant forskjell i oksygenmetning for merder med og uten Oxyskjold i noen av analyseperiodene, og viser med dette hvordan havets naturlige oksygenmetning er opprettholdt. Analysen viser en stor merdevariasjon. Det synes heller ingen forskjell i lusepåslag fra visuell inspeksjon. Vind, elveutløp og andre lokale forhold spiller inn på strømningsforholdene, noe som skaper lokale variasjoner i både oksygennivåer og lusepåslag. Empiri fra Gulestø viser flere fôringsdøgn i merder med Oxyskjold i 2017. Beregninger fra verdikalkulator viser potensiell økonomisk gevinst ved bruk av Oxyskjold. Dette på grunn av økte oksygennivåer i det skjermede volumet.

Videre forskning på oksygennivå og vannutskiftning i merd med Oxyskjold er essensielt for å skape et bedre virkelighetsbilde av merdforholdene. Laksens velferd som følge av Oxyskjold vil også trenge videre forskning. Videreutvikling av verdikalkulator er nødvendig for et sikrere økonomisk gevinstestimat.

Abstract

Salmon lice is one of the biggest challenges in the aquaculture industry with estimated costs of up to NOK 8 billion in 2015. Lice skirts as a preventive method against salmon lice have been shown to reduce salmon lice infestation in sea-cages. The lice skirt also leads to reduced water flow, which is the reason for occasional low and volatile oxygen levels, which can be harmful to the fish. However, there is limited research on this. The following master thesis has therefore investigated the effect of cages and oxygenation, “Oxyskjold”, and the following problem was chosen: *“Can oxygenation in sea-cages with lice skirts maintain oxygen saturation at a desired level while being economically beneficial to the breeder?”*

This assignment is based on a case study at Gulestø rearing facilities, where regular measurements have been made in eight cages with different configurations. Through visual inspection of data, statistical analysis, the development of an oxygenation calculator and following sensitivity analysis, the problem has been tried solved. Three research questions are defined to answer the problem.

- Do sea-cages with skirt have less salmon lice infestation compared with cages without skirt?
- Will oxygenation in cages prevent the skirt's inhibitory effect on oxygen saturation in the cage?
- Can skirt and oxygenation cause economic gain due to increased growth of salmon?

The results in this thesis show no significant difference in oxygen saturation for sea-cages with and without Oxyskjold during the analysis periods, indicating how the natural oxygen saturation of the sea is maintained. However, the analysis shows a large variance. Nor does there seem to be a difference in salmon lice infestation from visual inspection. Winds, river outlets and other local conditions influence the water flow conditions, which creates local variations in both oxygen levels and infestation. Empirical data from Gulestø shows more feeding days in Oxyskjold sea-cages in 2017. Calculations from the oxygenation calculator shows potential economic gain when using Oxyskjold. This is because of increased oxygen levels in the shielded volume.

Further research on oxygen levels and water flow in Oxyskjold sea-cages is essential to establish a better reality image of the cage conditions. Salmon welfare regarding Oxyskjold will also require further research. Further development of the oxygenation calculator is necessary for a more exact financial gain estimate.

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
INNHOLDSFORTEGNELSE	VII
1 INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.2 OPPGAVENS FORMÅL	2
1.3 PROBLEMSTILLING	2
1.3.1 Avgrensninger.....	2
1.4 OPPGAVENS OPPBYGNING OG FORUTSETNINGER.....	3
1.5 BEGREPSLISTE.....	5
2 TEORI	7
2.1 SJØMATNÆRINGEN I NORGE	7
2.2 VANNKJEMI.....	8
2.3 OPPDRETTSMERD OG DENS INNVIRKNING PÅ FISKENS MILJØ	8
2.3.1 Oksygen	8
2.3.2 Temperatur og salinitet	9
2.3.3 Stress.....	9
2.3.4 Vertikal plassering og biomassetetthet.....	10
2.4 VELFERD	11
2.4.1 Dyrevelferd.....	11
2.4.2 Fiskevelferd	11
2.5 LAKSELUS	12
2.6 BEHANDLENDE TILTAK MOT LAKSELUS.....	13
2.6.1 Medikamentelle behandlinger	13
2.6.2 Medikamentfrie behandlinger.....	13
2.7 LUSESKJØRT – EN IKKE-MEDIKAMENTELL OG FOREBYGGENDE METODE	15
2.7.1 Redusert vannutskiftning	15
2.8 KOSTNADSDRIVERE I OPPDRETT	16
2.8.1 Fôring.....	16
2.8.2 Avlusing.....	16
2.8.3 Lusekostnader totalt	18
3 CASE: PROSJEKTET «GULESTØ»	19
3.1 BAKGRUNN FOR GULESTØ	19
3.2 MERDER	19
3.3 OXYSKJOLD – LUSESKJØRT OG OKSYGENERING	20
3.4 LUSESKJØRT OG SOLVOX DROPIN	20
3.5 FORFLYTNING	21

4	METODE	23
4.1	HVA ER METODE.....	23
4.2	FORSKNINGSMETODE / SAMFUNNSFAGLIG METODE	23
4.3	VALG AV PROBLEMSTILLING	24
4.4	LITTERATURSTUDIE	24
4.4.1	<i>Søkestrategi</i>	24
4.5	VALG AV DESIGN.....	25
4.5.1	<i>Casestudie</i>	25
4.5.2	<i>Kvantitativ analyse</i>	25
4.5.3	<i>Modell</i>	25
4.6	BEHANDLING AV DATA	26
4.6.1	<i>Innsamling av data</i>	26
4.6.2	<i>Filtrering og reduksjon</i>	26
4.6.3	<i>Statistisk analyse – Mixed Model</i>	26
4.6.4	<i>Følsomhetsanalyse av verdikalkulator</i>	27
4.6.5	<i>Etterligning av Gulestø</i>	27
4.7	VALIDITET OG RELIABILITET	28
4.7.1	<i>Litteraturstudie</i>	28
4.7.2	<i>Kvantitativ analyse</i>	28
4.7.3	<i>Verdikalkulator</i>	29
5	VERDIKALKULATOR FOR OKSYGENERING I MERD	31
5.1	KALKULATORENS VIRKEMÅTE	31
5.2	GRUNNLAG FOR TALLMATERIALE.....	32
5.3	KALKULATORENS BEGRENSNINGER.....	33
6	RESULTATER	35
6.1	OKSYGENERING MED OG UTEN LUSESBJØRT	35
6.1.1	<i>Oksygenmetning og O₂-forbruk for utvalgte merder</i>	37
6.2	STATISTISK ANALYSE.....	46
6.2.1	<i>Periode 1: 26.juli – 21.september</i>	46
6.2.2	<i>Periode 2: 22.september 2017 – 19.oktober 2017</i>	50
6.3	LUSETELLINGER	53
6.3.1	<i>Merder - Med og uten Oxyskjold</i>	53
6.3.2	<i>Utvalgte populasjoner</i>	55
6.4	RESULTATER VERDIKALKULATOR FØLSOMHETSANALYSE.....	59
6.4.1	<i>Test 1 – Endring i settpunkt og verdien av biomasse</i>	59
6.4.2	<i>Test 2 – Dobbel Solvox DropIn</i>	62
6.4.3	<i>Test 3 – Endring av oksygenpris</i>	63
6.4.4	<i>Test 4 – Etterligning av Gulestø</i>	64
6.4.5	<i>Test 5 - Scenario</i>	64
7	DISKUSJON	65
7.1	OKSYGENERING OG OXYSKJOLD	65

7.2	LUSES KjØRT	67
7.3	ØKONOMISKE BETRÅKTNINGER	69
7.4	KRITISKE BETRÅKTNINGER	71
7.4.1	<i>Modellkritikk kalkulator</i>	71
7.4.2	<i>Kritikk av innhenting av data</i>	73
7.4.3	<i>Diskusjon av metode</i>	74
7.4.4	<i>Kildekritikk</i>	74
7.5	VELFERDSPERSPEKTIVER OG BÆREKRAFT	75
8	VIDERE ARBEID OG VIDERE FORSKNING	77
9	KONKLUSJON	79
9.1	KONKLUSJON PÅ FORSKNINGSSPØRSMÅLENE	79
9.2	KONKLUSJON PÅ PROBLEMSTILLING	79
10	REFERANSER	81

Figurliste

Figur 1 – Salg av slaktet laks. Kilde: https://www.ssb.no/fiskeoppdrett	7
Figur 2 – Oppdeling av laksens velferdsbehov. Kilde: (Noble et al., 2017)	12
Figur 3 – Illustrasjon av Thermolicer. Kilde: https://www.steinsvik.no/no/produkter/n/seaculture/fiskehelse/thermolicer (06.05.2018)	15
Figur 4 – Kostnader forbundet med avlusing Kilde: (Holan et al., 2017).....	18
Figur 5 – Oppsett av merder på Gulestø. Egen tilvirkning.	19
Figur 6 – Solvox DropIn. Kilde: (AGA et al., 2017)	20
Figur 7 – Illustrasjon av Oxyskjold. Kilde: (AGA et al., 2017).....	20
Figur 8 – Solvox DropIn i drift. Kilde: (AGA et al., 2017)	20
Figur 9 – Flyttehistorikk mellom merder. Illustrasjon Håkon Hoel Olsen	22
Figur 10 – Kostnadssiden (venstre halvdel) av verdikalkulatoren	31
Figur 11 – Gevinstsiden (høyre halvdel) av verdikalkulatoren	32
Figur 12 – Skisse av volumdekningen til én Solvox DropIn-enhet i merd med luseskjørt.....	32
Figur 13 – Daglige verdier av oksygenmetning på 3 meters dybde i merder med Solvox DropIn	35
Figur 14 – Daglige verdier av oksygenmetning på 3 meters dybde i merder uten Solvox DropIn	36
Figur 15 – Oksygenmetning per sensor i merd 1	37
Figur 16 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 2.....	38
Figur 17 – Oksygenforbruk per enhet i merd 2	39
Figur 18 – Oksygenmetning på 3m i merd 3.....	40
Figur 19 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 4.....	41
Figur 20 – Oksygenflyt per enhet i merd 4	42
Figur 21 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 5.....	42
Figur 22 – Oksygenflyt per enhet i merd 5	43
Figur 23 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 6.....	44
Figur 24 – Oksygenflyt per enhet i merd 6	45
Figur 25 – Oksygenmetning på 3m i merd 7.....	46
Figur 26 – Boxplot av oksygenmetning for periode 1: 26 juli - 21 september	47
Figur 27 – Merdeffekt for periode 1.....	49
Figur 28 – Oksygennivå for 22 september - 19 oktober	50
Figur 29 – Merdeffekt for periode 2.....	52
Figur 30 – Gjennomsnittlig antall lus i merder med Solvox DropIn	54
Figur 31 – Gjennomsnittlig antall lus i merder uten Solvox DropIn	54
Figur 32 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon A.....	55
Figur 33 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon B.....	56

Figur 34 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon D.....	57
Figur 35 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon H.....	58

Tabelliste

Tabell 1 – Kostnad knyttet til medikamentfrie behandlingsmetoder. Fritt etter Iversen (2017)	16
Tabell 2 – Kostnad knyttet til forebyggende behandlingsmetode. Fritt etter Iversen (2017) ..	17
Tabell 3 – Kostnad knyttet til medikamentelle behandlingsmetoder. Fritt etter Iversen (2017)	17
Tabell 4 – Oppsettinformasjon. Kilde: (Larsen 2018, pers.med)	21
Tabell 5 - Nøkkeltall fra Gulestø som grunnlag for etterligning.	27
Tabell 6 – Nøkkeltall for periode 1	47
Tabell 7 – Kovarians for periode 1	48
Tabell 8 – Solution for Fixed Effects i periode 1	48
Tabell 9 – Type 3 test for periode 1	49
Tabell 10 – Minste kvadraters metode for periode 1	49
Tabell 11 – Nøkkeltall periode 2	51
Tabell 12 – Kovarians for periode 2	51
Tabell 13 – Solution for Fixed Effects	52
Tabell 14 - Type 3 test for periode 2	53
Tabell 15 – Minste kvadraters metode	53
Tabell 16 - Input og output verdikalkulator: Verdi = 15 NOK/kg ; Settpunkt 6-8 mg/l	59
Tabell 17 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 20 NOK/kg ; Settpunkt 6-8 mg/l	60
Tabell 18 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Settpunkt 6-8 mg/l	61
Tabell 19 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; dobbel Solvox DropIn; Settpunkt 6-8 mg/l	62
Tabell 20 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Singel DropIn; settpunkt = 8mg/l; Oksygen = 2-4 NOK/kg	63
Tabell 21 – Input og output verdikalkulator for etterligning av Gulestø	64
Tabell 22 - Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Dobbelt DropIn; Settpunkt = 7 +0,5 mg/l; Oksygen = 2 NOK/kg	64

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Fra å være en tilleggsnæring for bønder til nummer seks på listen over verdens største oppdrettsnasjoner, har Norge blitt verdensledende i oppdrett av atlantisk laks. Halvparten av all oppdrettslaks kom i 2014 fra Norge (SSB, 2017). Næringen er i vekst og laksen økte i 2016 sin førstehåndsverdi med 35% fra 2015. Norske oppdrettsanlegg solgte i 2016 laks til en verdi av 63,9 milliarder (SSB, 2017)

Det er sysselsatt rundt 6991 personer fordelt på 978 oppdrettsanlegg for laks og ørret (Fiskeridirektoratet, 2017a), og 70% av den totale produksjon blir gjort av de ti største foretakene (SSB, 2017). Dette viser at det er en bransje preget av få, store aktører.

I dag produseres det 1,24 millioner tonn laks (Fiskeridirektoratet, 2017a). Imidlertid sier en rapport fra Olafsen et al. (2012) at det innen 2050 er mulig å oppnå en produksjon av laks og ørret på 5 millioner tonn, 240 milliarder kroner, gitt en stigning i behov på 5-6% per år. For oppdretter er det fordelaktig med så optimale forhold som mulig for laksen, da dette gir hurtigere vekst og kortere produksjonssyklus (Remen et al., 2012). For å kunne oppnå en slik vekst er det viktig at dagens utfordringer i oppdrettsnæringen løses på en bærekraftig og økonomisk gunstig måte.

Det finnes flere utfordringer i næringen hvorav lakselus regnes som en av de største (Holan et al., 2017). Bare telling av lakselus står for en kostnad på rundt 0,16 kr per kilo produsert laks og står for omtrent 190 millioner av kostnadene i næringen. Totale kostnader knyttet til lakselus på mellom 5 og 8 milliarder kroner for næringen (Iversen, 2017; Rødseth, 2016). I dag brukes både medikamentelle og medikamentfrie avlusingsbehandlinger. Både termisk, mekanisk, behandling med hydrogenperoksid og ferskvannsbehandling er typiske eksempler på behandlinger som brukes i bekjempelsen av lakselus (Iversen, 2017).

Luseskjørt er en av metodene det har blitt gjort flere forsøk på (Lien & Høy, 2011; Lien et al., 2015; Stien et al., 2012; Stien et al., 2018). Ved bruk av luseskjørt kan oppdretter slippe å måtte gjennomgå behandlende avlusinger. Imidlertid kan luseskjørt gi lavere oksygenivåer, noe som både reduserer fiskens tilvekst og velferd (Stien et al., 2012).

Oxyskjold er en case-studie gjort på lokasjonen Gulestø av Plany og AGA i samarbeid med Marine Harvest. Casen har som mål å utarbeide en driftsmetode med luseskjørt og

oksygentilførsel, kalt Oxyskjold, en metode som håpes å både ville opprettholde fiskens vekst og velferd samtidig som lusenivået holdes nede (AGA et al., 2017).

Oxyskjold er imidlertid en kompleks behandlingsmetode med flere faktorer som påvirker lusepåslag og oksygenivå. Både strømningsforhold, vær, biomasse i merd, dybde på skjørt og plassering av dyser er kjente faktorer som innvirker på det endelige resultatet, noe som gjør dette komplisert (Frank et al., 2013; Samsing et al., 2016). Det er ikke funnet noen forskning på den samlede effekten av luseskjørt og oksygenering i storskala.

1.2 Oppgavens formål

Formålet med denne oppgaven er å finne ut om merder med Oxyskjold fører til at lusepåslaget reduseres, samtidig som oksygenering kan motvirke skjørtets hemmende effekt på oksygenivået. Oppgaven har også som formål å undersøke hvilke forhold som påvirker det økonomiske utfallet ved å bruke Oxyskjold. Ønsket er at leseren skal sitte igjen med en dypere innsikt i hvordan Oxyskjold bidrar som forebyggende behandlingsmetode for lakselus.

1.3 Problemstilling

Problemstillingen denne oppgaven ønsker å studere er:

Kan tilførsel av oksygen i merd med luseskjørt opprettholde oksygenmetningen på et ønsket nivå, samtidig som det er økonomisk fordelaktig for oppdretter?

Problemstillingen blir forsøkt besvart svart gjennom 3 forskningsspørsmål:

- Gir merd med luseskjørt færre lusepåslag sammenlignet med merder uten luseskjørt?
- Vil oksygenering i merd kunne motvirke luseskjørtets hemmede effekt på oksygenmetningen i merden?
- Kan merd med luseskjørt og oksygenering kunne tilføre økonomisk gevinst som følge av økt tilvekst for laks?

1.3.1 Avgrensninger

I arbeid med en masteroppgave er det begrenset med tid og ressurser. Dette gjør at avgrensninger må gjøres for å unngå at oppgaven blir for generell og at det blir gått i dybden på det som skal undersøkes. Avgrensninger som er gjort:

- Oppgaven forholder seg til data innhentet fra casestudien Gulestø
- Litteratur tilgjengelig for offentligheten

1.4 Oppgavens oppbygning og forutsetninger

Oppgaven begynner med en begrepsliste hvor sentrale og grunnleggende begreper presenteres og forklares. Etter begrepslisten kommer et teorikapittel hvor relevante forhold knyttet til problemstilling forklares. I kapittel 3 presenteres casen «prosjekt Gulestø», etterfulgt av metodekapitlet, hvor begrunnelse for metodiske valg er beskrevet. Kapittel om verdikalkulator kommer etter metodekapitlet. Resultatene fra datainnsamling og analyser fremkommer i påfølgende kapittel, før oppgaven i de to siste kapitlene henholdsvis diskuteres og konkluderes. Forutsetninger som er gjort:

- Når det snakkes om laks menes atlantisk laks.
- Når det snakkes om oppdrettsbransjen menes all oppdrett i Norge. Kan også omtales som sjømatnæringen, fiskerinæringen, oppdrettsnæringen. Blir enkelte ganger omtalt om hverandre, men skal forstås som det samme.
- Luseskjørt og skjørt nevnes om hverandre, men disse skal også forstås som det samme.

1.5 Begrepsliste

Vekstfaktor – En faktor som sier noe om hvor mye biomassen har steget i løpet av en tidsperiode.

Luseskjørt – ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av laks (Sintef, 2017)

Fôrfaktor – Hvor mange kilogram fôr fisken skal ha for å vokse en kilogram biomasse (SNL, 2009). Det finnes biologisk og økonomisk fôrfaktor. Hvis ikke annet er nevnt menes biologisk fôrfaktor.

Oksygenkonsentrasjon – Oksygenkonsentrasjon er konsentrasjonen av oksygen i vannet. Benevnelsen for konsentrasjon er ofte i mg/l.

1 atm – måleenhet for trykk. 1 atmosfære er lik 101,3 kPa (SNL, 2017).

mmHg – måleenhet for trykk. 1 mmHg er lik 133,2 Pa (Hofstad, 2014).

Partialtrykk – trykket en enkelt gass i gassblanding ville utøvd gitt at den fyller tilgjengelig volum alene (Hauge, 2016).

Oksygenmetning – Oksygenmetningen er oksygenkonsentrasjon i vannet sett i forhold til maksimalt mulig oppløst oksygen (Crampton et al., 2003). Oksygenmetningen kan overstige 100 % grunnet fotosyntetisk produksjon av oksygen (YSI Enviromental, 2005)

Specific growth rate (1), SGR, % per dag (Johansson et al., 2009):

$$SGR = (e^{q-1})100, \quad \text{hvor } q = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

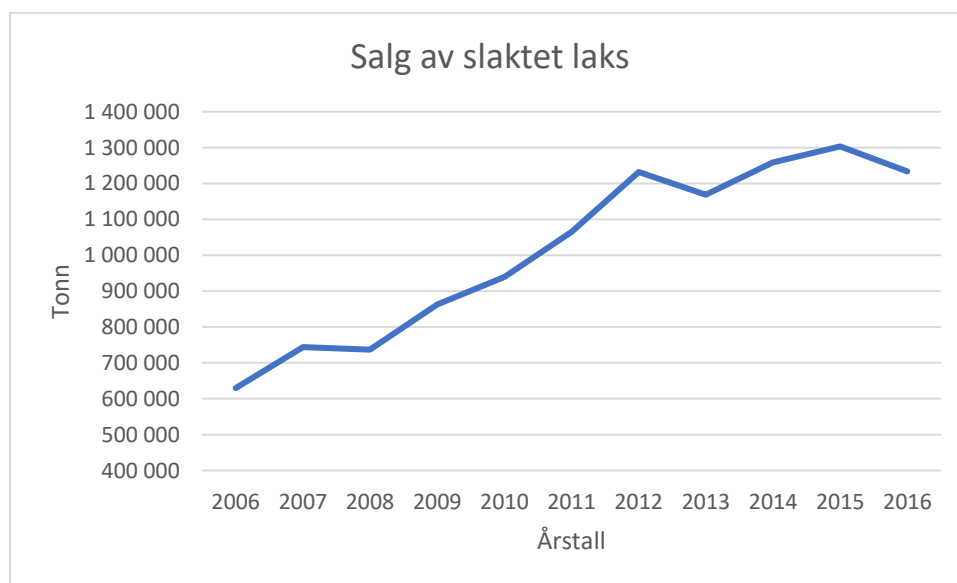
W_2 og W_1 er gjennomsnittlig kroppsvekt på tidspunkt t_2 og t_1

2 Teori

2.1 Sjømatnæringen i Norge

Fiskeoppdretten kan spores tilbake til gamle Kina og Romerriket hvor fisk ble produsert i dammer med lite eller ingen vannstrømning (Wedemeyer, 1997). På 1970-tallet la brødrene Grøntvedt grunnlaget for fiskeoppdrett slik vi kjenner den i dag med merder i sjø (Store Norske Leksikon, 2018). Nordmenn opparbeidet en industri og kultur innenfor fiskeoppdrett langs norskekysten parallelt med det store oljeeventyret (Olafsen et al., 2012).

I 2006 var den totale solgte mengden slaktet fisk i overkant av 800 000 tonn rundvekt. I løpet av ti år økte dette til 1,3 millioner tonn (Fiskeridirektoratet, 2017c), hvor laks alene utgjorde over 1,23 millioner tonn til en total verdi rett i overkant av 60 milliarder NOK (Fiskeridirektoratet, 2017b). Til sammenligning eksporterte Norge varer for en verdi av 10 milliarder NOK fra hele landbruket i 2016 (Landbruksdirektoratet, 2017). Etterspørselen etter laks har vært tilnærmet kontinuerlig stigende de siste årene (Figur 1).



Figur 1 – Salg av slaktet laks. Kilde: <https://www.ssb.no/fiskeoppdrett>

2.2 Vannkjemi

Løseligheten av gasser i vann avtar med stigende temperatur og stigende saltholdighet (Bjerknes et al., 2007). Løseligheten/konsentrasjonen av gasser i vann øker med økende trykk Henrys lov (2):

$$V_g = \alpha * \frac{P_g}{760} * V_{H_2O} \quad (2)$$

Der V_g er volumet løst gass i vann, α er løselighetskoeffisienten P_g er partielltrykket av gassen, 760 tilsvarer 1 atm i mmHg og V_{H_2O} er vannvolumet.

2.3 Oppdrettsmerd og dens innvirkning på fiskens miljø

I oppdrettsmerder i dag er typisk 200 000 til 400 000 individer fordelt på merdens volum, som varierer fra 20 000 – 80 000 m³. Merder i åpen sjø legger grunnlaget for et naturlig miljø for oppdrettslaks, men de legger også begrensninger på områder laksen kan bevege seg i. Ettersom faktorer som temperatur, konsentrasjon av oksygen, lysforhold endrer seg naturlig vil laksen forflytte seg til områder med mer foretrukne verdier (Oppedal et al., 2011a). I tillegg påvirker de forskjellige vannkvalitetsfaktorene hverandre, og fiskeindividets optimale vannkvalitet avhenger av størrelse, vekt, rase og tidligere opplevelser (Wedemeyer, 1996).

2.3.1 Oksygen

Ved begrenset føring er det mulig at enhver oksygenverdi under luftmetning vil kunne ha en negativ effekt for fisken vekst eller andre fysiologiske funksjoner (Wedemeyer, 1996 s. 74).

Oksygen i vann er essensielt for fiskens respirasjon, men det er også en av de viktigste faktorene for fiskens velferd (Oppedal et al., 2011b). Fiskens oksygenopptak skjer i gjellene ved at partielltrykket av oksygen er høyere i vannet enn i blodet til fisken (Wedemeyer, 1996). Oksygenet diffuseres dermed gjennom tynne lameller i gjellene og inn i blodet. På samme måte blir CO₂ avsatt til vannet ved hjelp av ulikt partialtrykk mellom vann og blod i gjellene.

Fisken kan regulere antall og styrke av gjellebevegelsene for å opprettholde et jevnt oksygenopptak ved varierende oksygenmetning, men kun til et visst nivå (Bjerknes et al., 2007; Oppedal et al., 2011a). Både salinitet, temperatur, vanngjennomstrømning samt andre biologiske individer, eksempelvis alger, påvirker oksygenivået i havet. I et forsøk gjort av Solstorm et al. (2018) ble det vist at fisk i et femminuttersintervall kan oppleve oksygenendringer opptil 32 prosentpoeng.

Flere forsøk anbefaler et krav til tålbart oksygenmetning lik 60 % og optimumsmetning på 100 % for laks i karvann (Rosten et al., 2004; Wedemeyer, 1996). Dette er her definert som det

nivået fisken kan bli utsatt for i kortere perioder. Forskning fra Klontz i 1993 kom frem (ifølge Wedemeyer, 1996 s. 73) til at denne verdien er den minste metningen vannet kan ha for å fullstendig oksygenere hemoglobinet i laksen.

Flere forskningsstudier (Beveridge, 1996; Crampton et al., 2003; Waldrop et al., 2018) viser at oppløst oksygen i vann er signifikant og positivt korrelert med fiskens tilvekst. Forsøk utført av Remen et al. (2012) viser hvordan laksens fôrinntak sank i takt med oksygenmetningen. I forsøket ble negativ effekt på fôrinntak registrert for første gang ved 70% O₂-metning. Sammenlignet med kontrollgruppen (90% O₂-metning) var fôrinntaket redusert til 29% ved 40% O₂-metning. Redusert fôrinntak vil gi redusert vekst og dermed redusert produksjonseffektivitet for oppdretter.

Når laks blir utsatt for ytre forstyrrelser vil den bli stresset og endre sin oppførsel. Denne endringen er ofte adaptiv, slik at sannsynligheten for overlevelse øker (Schreck et al., 1997). Dette stemmer godt med forsøket utført av Remen et al. (2012), hvor det ble påvist at laksen ble vant til regelmessige variasjoner i O₂-metning. Selv om hypoksi fortsatt hadde innvirkning på laksens metabolisme, viste forsøket hvordan den initiale stressreaksjonen ved lave oksygennivåer ble nedregulert etter én uke. Laksen kompenserte også sitt matopptak slik at de spiste mer enn vanlig i perioder hvor det var normale oksygenivåer.

2.3.2 Temperatur og salinitet

Laksen foretrekker temperaturer mellom 16°C og 18°C (Johansson et al., 2009), og opprettholder god appetitt ved disse temperaturer. Metabolismen øker dersom temperaturen øker (Bjerknes et al., 2007), og når temperaturen synker i vinterhalvåret reduseres laksens fôropptak og vekst. Løseligheten av oksygen i vann øker med synkende temperatur (Bjerknes et al., 2007). Dette er en uheldig sammenheng ettersom fisken forbruker mer oksygen når det blir varmere, samtidig som tilgangen til oksygen blir mindre (Beveridge, 1996).

På samme måte som temperatur vil saliniteten i sjø påvirke både fisken og oksygenet oppløst i vannet. Laksens metabolisme øker ved økende salinitet, og løseligheten til oksygen avtar med stigende salinitet (Bjerknes et al., 2007).

2.3.3 Stress

I ideelle omgivelser skal sjøvannet inneholde nok oksygen, bære med seg nok naturlig fôr, samt fortynne giftig avfall fra fiskens metabolisme. I moderne oppdrett er mange av disse vilkårene oppfylt ved store merder i åpen sjø med tilstrekkelig vanngjennomstrømning, spesialfôr, behandlinger mot infeksjoner og sykdom. Som følge av større populasjoner økes presset på anleggets bæreevne (Wedemeyer, 1997).

Svingninger i havets oksygennivå, unaturlige adferdsmønstre i laksepopulasjoner og ugunstige behandlinger i forbindelse med transport eller avlusing kan stresser fisken (Wedemeyer, 1997). Studier har påvist stress i form av endrende verdier av hormoner, blant annet kortisol (Barton, 1997). Vanligvis vil fisken prøve å løse opphavet til stress (Barton, 1997; Pankhurst & Van Der Kraak, 1997). Eksempelvis vil laksen flytte seg fra oksygenfattige til oksygenrike områder og holde avstand til dominante individer (Oppedal et al., 2011a). Ved oppdrett har ikke fisken like stor mulighet til å tilpasse seg på denne måten grunnet begrenset område (Pankhurst & Van Der Kraak, 1997).

Akutt dødelig stress forekommer sjeldent i oppdrett. Kronisk stress er derimot en større utfordring. Stress fører ofte til nedsatt motstandsdyktighet mot infeksjoner (Wedemeyer, 1997). En annen følge av stress er økt metabolisme som fisken må kompensere for fra egne reserver av glykose. Stress over en lengre periode gir vedvarende økt metabolisme, og kan dermed gå på bekostning av andre prosesser, eksempelvis vekst (Pankhurst & Van Der Kraak, 1997). Gjentakende stress kan også påvirke reproduksjonen ved at det forstyrrer det endokrine systemet til fisken. Forsøk har vist at gjentakende stress har gitt forsinket egglosning og reduserte eggstørrelser hos hunnfisk, samt færre sperm hos hanfisk (Sumpter, 1997).

2.3.4 Vertikal plassering og biomassetetthet

Det er flere faktorer som spiller inn på den vertikale plasseringa til laksen. I forsøket til Johansson et al. (2006) ble det gjennomført en multivariabel analyse for å kartlegge hvilke miljøfaktorer som i stor grad påvirker den vertikale plasseringa til laksen. Analysen anslo at relativ biomassetetthet over 10% ville forekomme på en dybde mellom 0 og 1,25 m i en merd med dybde på 14 m. Temperaturen var en av de variablene som hadde tydelig innvirkning, i tillegg til lysforhold. Johansson et al. (2006) observerte at laksen trakk seg mot overflaten ettersom solen gikk ned, og fordelte seg på dypere områder når solen steg opp igjen. Oppedal et al. (2001) fant at laksen samlet seg tettere i områder med kunstig belysning under havoverflaten om natten, og på denne måten ga mindre dagsvariasjoner.

Fôring i oppdrettsmerder kommer som oftest fra overflaten, noe som gjør at laksen trekker oppover når den er sulten eller forventer fôr, og synker ned igjen når den er forsynt. Hyppigheten av fôring har også vist seg å påvirke plasseringen ettersom færre og større fôringsrasjoner gjør at fisken trekker tilbake til et dypere nivå i forhold til hyppigere foringer (Oppedal et al., 2011a). Laksens vertikale plassering er altså en kompleks handling som ikke kan predikeres ut fra en variabel. Miljøfaktorer som hastighet på vannstrømning og frykt for predatorer er variabler som fortsatt er uklare, men som tilsynelatende har en innvirkning på dette (Oppedal et al., 2011a).

2.4 Velferd

2.4.1 Dyrevelferd

Dyrevern og dyreomsorg omhandler mennesker i samhandling med dyr, mens dyrevelferd retter fokuset på hvordan dyret selv oppfatter livet (Landbruksdepartementet, 2002). Både Landbruks- og matdepartementet og Mattilsynet henviser til Brambellkommisjonens utredning av begrepet dyrevelferd i sin rapport fra 1965 (Landbruksdepartementet, 2002). I tillegg til korrekt ernæring og tilrettelagte omgivelser trekker rapporten frem problematikken rundt oppfattelse av andre individers følelser og tilstand. Ingen kan oppfatte andre individers følelser fullt ut, og i mangel av verbal kommunikasjon er det tolkning av mer diffuse signaler som gir informasjon om individets situasjon. Avhengig av anatomiske og psykiske forskjeller vil ulike arter oppleve like fenomener forskjellig. Dermed vil situasjoner mennesker opplever som harmløse kunne være belastende for andre arter. Brambellkommisjonen trekker også fram de ukjente langsiktige effektene av tiltak, og at dårlig velferd kan gå utover dyrenes produktivitet eller vekst (Brambell, 1967). En oppsummerende tolkning som ofte blir brukt er «de fem friheter» (Landbruksdepartementet, 2002 s. 26):

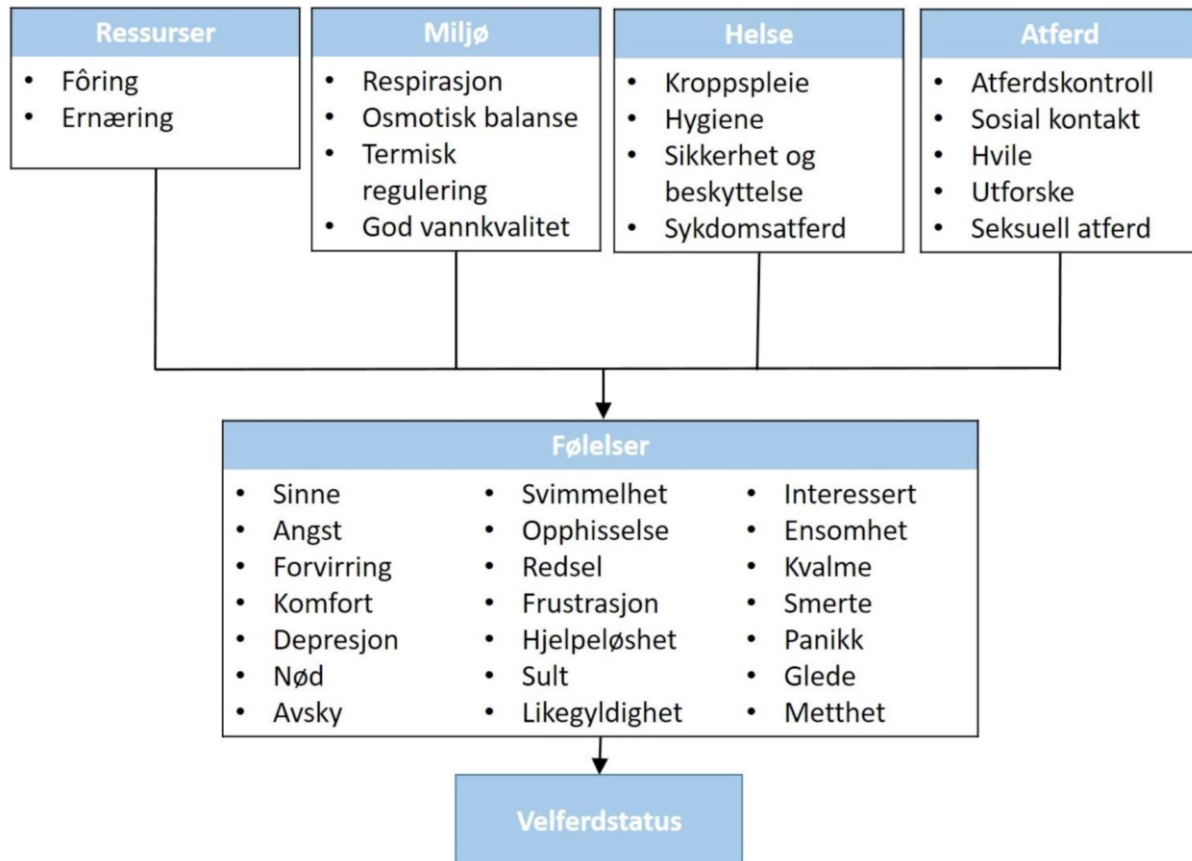
- *Frihet fra sult, tørst og feilernæring*
- *Frihet fra unormal kulde og varme*
- *Frihet fra frykt og stress*
- *Frihet fra skade og sykdom*
- *Frihet til å utøve normal adferd*

2.4.2 Fiskevelferd

Mennesker og fisk lever i to vidt forskjellige miljøer, og av dette er det naturlig at mennesker har mindre kunnskap om fiskens kognitive system, sammenlignet med andre dyrearter som mennesker har mye større omgang med (Brown, 2015). Diskusjonen om fiskens bevissthet er fortsatt gjenstand for debatt, ettersom vitenskapen ikke har et konkret svar for menneskers bevissthet (Noble et al., 2017). Forskning har bevist at fisk har hukommelse, en oppfatning av tid, og at den er i stand til å lære av og samhandle med andre individer (Brown, 2015). Eksempelvis gjenkjenner fisken rutiner for føring og opplever mindre stress av uregelmessigheter dersom individet er utsatt for uregelmessigheten tidligere (Brown, 2015; Remen et al., 2012).

Fisken har en rekke behov for å leve og for velvære. Behov som ernæring og respirasjon er nødvendig for å opprettholde liv, mens hopp, utforskning og seksuell adferd er viktig for utviklingen av individet. Fiskeri- og havbruksnæringens forskingsfond (FHF) deler opp velferdsbehovet til laks inn i fire hovedkategorier i sin rapport om velferdsindikatorer for

oppdrettslaks (Noble et al., 2017): Ressurser, miljø, helse og adferd. Fellesnevneren for disse er at alle, direkte eller indirekte, vil påvirke fiskevelferden. Enkelte velferdsbehov vil gi utslag i det emosjonelle belønningssystemet i hjernen og generere positive følelser dersom behovene er oppfylt, og negative følelser dersom behovene ikke er oppfylt. Andre velferdsbehov påvirker ikke følelsene direkte, eksempelvis mangel av vitaminer, som vil gi negative utslag på den generelle helsen (Noble et al., 2017).



Figur 2 – Oppdeling av laksens velferdsbehov. Kilde: (Noble et al., 2017)

2.5 Lakselus

Lakselus, eller *Lepeophtheirus salmonis* på latin, er en parasitt som finnes naturlig i de øverste meterne i sjøvann. Den ble for første gang omtalt på 1600-tallet og livnærer seg ved å spise av laksens skinn, slim, underliggende vev og blod (Havforskningsinstituttet, 2009b; Terje Svåsand & Kevin Glover, 2017). Dette medfører åpne sår og skadede finner, samt økt sannsynlighet for infeksjoner fra sopp og bakterier (Mattilsynet, 2016). Resultatet er svekket helsetilstand og redusert vekst for laksen (Havforskningsinstituttet, 2009c).

Ettersom lakseoppdretten i Norge har økt betraktelig de siste årene har lakselusa fått tilgang til flere verter som også har gitt en solid økning i antall lakselus i områder med oppdrett (Norsk

institutt for naturforskning, 2017). Luseforskriften sier at det skal være under 0,5 voksne hunnlus i gjennomsnitt per fisk i akvakulturanlegget i gjennom året, unntatt seks uker på våren hvor grensen er 0,2 (Forskrift om lakselusbekjempelse, 2017).

2.6 Behandlende tiltak mot lakselus

2.6.1 Medikamentelle behandlinger

Ved medikamentell behandling utsettes laksen for kjemiske midler mot lakselus, og foregår som oftest ved badebehandling eller ved fôring. Antibiotika er velutviklede kjemikalier som bruker lang tid på å brytes ned i kroppen. Det vil dermed kunne finnes spor av antibiotika i biomasse og avføring fra individer som er behandlet med dette. Bekjempelse av lakselus med antibiotika øker den totale sirkulasjonen av antibiotika, noe som øker sannsynligheten for antibiotikaresistens. Dette gjelder ikke bare for lakselus, men også for bakterier som påvirker mennesker (Burrige et al., 2010). Antibiotikaproblematikken har ført til at norsk oppdrett har kuttet ned bruken av dette i bekjempelsen av lakselus, selv om produksjonen av laks har vært økende (Burrige et al., 2010; Folkehelseinstituttet, 2018).

Hydrogenperoksid (H_2O_2) er et antiseptisk middel som er en av de mest brukte løsningene mot lakselus ((SLK), 2000 s. 11). I motsetning til antibiotika omdannes hydrogenperoksid lett til oksygen og vann etter bruk. Allikevel har enkelte forsøk vist at hydrogenperoksid påvirker enkelte arter negativt (Gro Harlaug Refseth, 2016). Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond sammen med Akvaplan-niva AS gjennomførte et begrenset laboratorieforsøk og risikotilnærming på sentrale arter fra det norske marine økosystemet i 2016. Forsøket viste at hydrogenperoksid fortynnes raskt i sjøen, og vil dermed i liten grad påvirke arter som har treg respons for hydrogenperoksid. For arter som responderer raskt, eksempelvis Raudåte, som er en viktig naturlig matkilde for fisk og annet dyreplankton (Havforskningsinstituttet, 2017), kan kort eksponering av større doser hydrogenperoksid forårsake dødelighet (Gro Harlaug Refseth, 2016).

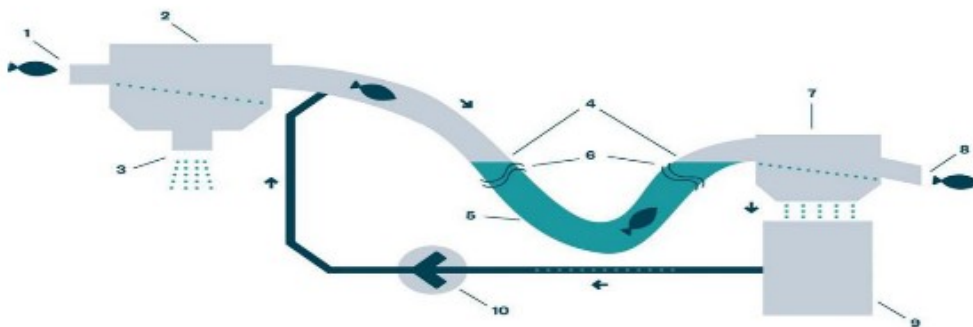
2.6.2 Medikamentfrie behandlinger

Rensefisk er fiskearter som settes ut i merdene sammen med laksen og som livnærer seg av lakselus fra huden til laks (Havforskningsinstituttet, 2016). På denne måten blir det en kontinuerlig avlusing, som reduserer behovet for andre typer avlusing (Havforskningsinstituttet, 2010). Arter som benyttes er bergnebb, berggyllt, grønngyllt, grasgyllt, rødnebb samt rognkjeks. Bruk av rensefisk har vist seg å være effektivt, men oppdretteren må ta hensyn til at det er to forskjellige populasjoner. Rensefisk trenger blant annet eget fôr, da de ikke bare kan livnære seg på lakselus. Dersom det skulle gro mye på nota, vil rensefisk spise dette i stedet for lusa på fisken, og effekten av rensefisken avtar. Dette vil allikevel forhindre

begroing av nota, som er positivt for miljøet i merden. Rensefisken trives i varmere vann enn laksen, noe som gjør at de nordligste oppdrettsanleggene ikke kan benytte seg av rensefisk. Gytetiden til rensefisk er også avhengig av vanntemperaturen, da denne begynner når det blir varmere utover våren. Å sette rensefisk i merd i gytetiden har gitt en høy dødelighet av fisk. Grunnet temperatur og gytetid benyttes rensefisk hovedsakelig i sommerhalvåret og utover høsten (Havforskningsinstituttet, 2016).

Som resultat av oppdrettsnæringens vekst og fokuset på å redusere bruk av kjemiske midler mot lakselus har utsett av rensefisk også hatt en markant økning (Fiskeridirektoratet, 2017d). Som følge av dette har det oppstått et forvaltningsspørsmål rundt artene som brukes til rensefisk. Bestandene må kontrolleres for å unngå utryddelse. Rensefisk transporteres også mellom større geografiske områder, for eksempelvis fra Sverige og Sør-Norge og nordover til Midt- og Nord-Norge. Her er det fare for at rensefisken har en annen genetisk bakgrunn eller bærer med seg andre sykdommer som vil kunne være kritisk ved eventuelt rømming. Det stilles også kritiske spørsmål til helsestatusen til rensefisk ved disse lange transportene (Havforskningsinstituttet, 2016). Det ligger foreløpig uforklarte årsaker til dødelighet av rensefisk i merder sammen med oppdrettslaks (Havforskningsinstituttet, 2010).

Ved mekanisk og termisk avlusing pumpes som oftest fisken opp av merden, gjennom en behandling før den transporteres tilbake til merden (Figur 3). Avspyling er en type mekanisk avlusing der laksen blir spylt med vann slik at lusen faller av. Spylingen kan volde fysiske skader på fisken, hvor store individer er spesielt utsatt (Veterinærinstituttet, 2017). Ved termisk avlusing blir laksen behandlet ved kort eksponering i temperert vann. I badet vil laksen utsettes for markant temperaturendring på 15°C til 20°C i fra sjøvann til behandlingsvann (Veterinærinstituttet, 2015). Lakselus behandles også med lengre eksponering i ferskvann i brønnbåter (Iversen, 2017). Med mekanisk og termisk avlusing unngår oppdretter kjemiske produkter, og behandlinger har vist seg å kunne redusere fra 75% og opp til 100% av bevegelige lus. Behandlingen laksen gjennomgår ved slike metoder kan skade individet. Laksen vil utsettes for trykkendringer i forbindelse med forflytning gjennom behandlingen, og den er utsatt for kollisjoner som kan resultere i snoteskader, gjelleblødninger og sår (Veterinærinstituttet, 2015; Veterinærinstituttet, 2017). Rapporten fra Veterinærinstituttet (2017) viste ingen store indikasjoner på at behandlingen stresset laksen. Andre undersøkelser viser allikevel at tilsvarende operasjoner, eksempelvis transport av fisk for slakt, kan være stressende for fisken (Havforskningsinstituttet, 2012).



Figur 3 – Illustrasjon av Thermolicer. Kilde:
<https://www.steinsvik.no/no/produkter/n/seaculture/fiskehelse/thermolicer> (06.05.2018)

2.7 Luseskjørt – En ikke-medikamentell og forebyggende metode

Studier har vist at påslag av lakselus er høyest i de øvre meterne i vannet (Hevrøy et al., 2003). Etersom lakselusa må være i fysisk kontakt med laksen for å gjøre skade, er det videre undersøkt om laksen kan fysisk skjermes fra lakselus ved hjelp av presenning rundt den øvre delen av merden.

Forskning i storskala har vist seg at luseskjørt kan ha en betydelig virkning mot lakselus. En rapport utarbeidet av Grøntvedt og Kristoffersen (2015) viser at effekten av skjørt er størst dersom skjørtet sitter på merden helt fra start. På de 52 merdene som hadde påmontert skjørt fra begynnelsen resulterte i et redusert gjennomsnittlig lusepåslag på 18% på merdnivå. Skjørt påmontert underveis hadde ikke en signifikant effekt. På lokalitetsnivå fastslår rapporten en reduksjon av gjennomsnittlig lusepåslag på 54%. Dette er basert på smittepress og luseutvikling på sju lokaliteter med skjørt på alle merder, sammenlignet mot nabolokasjoner innenfor en radius på 20 km.

På lik linje viser rapporten til Martin Næs (2014) fra forsøk med seks meter dype planktonduker påmontert på fire forskjellige lokasjoner en gjennomsnittlig reduksjon på 28% fastsittende lakselus. I samme forsøk ble det også testet ut ti meter dype planktonduker på to lokasjoner. Resultatene fra disse lokasjonene ga en gjennomsnittlig reduksjon på 49% av fastsittende lakselus.

2.7.1 Redusert vannutskiftning

Luseskjørtet bremser vannstrømningen innenfor luseskjørtet ved at vannet som treffer utsiden av luseskjørtet vil bøyes av til sidene eller presses ned under skjørtekanten (Lien & Volent, 2012). Dette har vist seg å kunne reduseres tilførselen av oksygen i det skjermede volumet, sammenlignet med åpen merd (Frank et al., 2013; Stien et al., 2012).

2.8 Kostnadsdrivere i oppdrett

Kostnadene relatert til norsk lakseoppdrett har fra 2012 og til 2016 steget med nesten 50 %. Fôr har lenge vært den største utgiftsposten i oppdrettsnæringen. Samtidig er det slik at den største prosentøkningen finnes i «diverse utgifter», posten hvor bekjempelse av lakselus ligger under (Iversen, 2017).

2.8.1 Fôring

I Norge har det fra 2012 til 2016 vært en kostnadsøkning fra 12 til 18 NOK pr. kilogram sløyd fisk. En økning i fôrkostnader samtidig med en lavere fôrfaktor har sammen bidratt til denne økningen. Selv om denne økningen er stor er det viktig å nevne at kostnadsandelen av fôr i forhold til totalkostnaden for laks har sunket i samme periode.

Både den biologiske og økonomiske fôrfaktoren har steget fra 2010 til 2016. Den biologiske faktoren har de siste årene vært jevn, men steg markant i 2016. Iversen (2017) forklarer denne økningen med en økning i antall avlusinger. Et større antall avlusinger gir flere sultedøgn og lavere tilvekst, noe som igjen gir en høyere fôrfaktor. Den økonomiske faktoren har også steget, også som følge av avlusinger. Flere avlusinger har påvirket antall kilogram fisk slaktet og solgt pr. kilogram fôr benyttet.

2.8.2 Avlusing

Medikamentfrie behandlinger

I prosentandel er avlusingskostnaden den kostnaden som de siste årene har økt mest (Iversen, 2017). Tallene som presenteres i dette delkapittelet baserer seg på en full lokalitetsbehandling av 4000 tonn med relativt stor fisk både for medikamentfrie og medikamentelle behandlingsformer.

Tabell 1 – Kostnad knyttet til medikamentfrie behandlingsmetoder. Fritt etter Iversen (2017)

Behandlingsmetode	Kostnad [kr/kg]
Termisk	0,57
Mekanisk	0,47
Ferskvann i brønnbåt	1,36
Rensefisk	1,25

Direkte kostnader i forbindelse med termisk avlusing omhandler selve bruken av avlusingslinjen, samt bruk av servicefartøy, arbeidskraft, energibruk og vedlikehold. Vedlikehold av plattformen er også estimert i indirekte kostnader (Tabell 1). Av direkte kostnader knyttet til mekanisk avlusing er bruk av maskin, plattform, servicefartøy og

arbeidskraft, samt energibruk og vedlikehold dominerende. Indirekte kostnader innbefatter vedlikehold og administrasjon. For kostnaden for brønnbåt legges det til grunn bruk av brønnbåt, arbeidskraft, ferskvann og servicefartøy i direkte kostnader. Dødelighet som følge av behandling er inkludert som indirekte kostnader i både termisk, mekanisk og ferskvann. Når det gjelder rensefisk er det kostnaden ved selve kjøpet som veier tyngst. Andre markante kostnader i forbindelse med bruk av rensefisk er økt arbeidsbehov og notvask (Iversen, 2017).

Forebyggende behandlingsmetoder

De modellerte enhetskostnadene for luseskjørt er derimot basert fra pr. kilogram fisk produsert på en lokalitet gjennom en generasjon (Tabell 2). Her er det viktig å påpeke at kostnaden gjelder for et skjørt med en estimert levetid på 3 år. Økonomiske anslag gir ofte investeringskostnader mellom 100 000 og 300 000 for et luseskjørt (Iversen, 2017). Økonomiske anslag gir ofte investeringskostnader mellom 100 000 NOK og 300 000 NOK for et luseskjørt (Iversen, 2017).

Tabell 2 – Kostnad knyttet til forebyggende behandlingsmetode. Fritt etter Iversen (2017)

Behandlingsmetode	Kostnad for en lokasjon & generasjon [kr/kg]
Luseskjørt	0,08

Medikamentelle behandlinger

Kostnadsstrukturen for medikamentelle behandlinger er fokusert rundt servicefartøy og arbeidskraft, men også dødelighet og kostnad for midler innbefattes. Ved badebehandling uten hydrogenperoksid menes behandling med tradisjonelle midler.

Tabell 3 – Kostnad knyttet til medikamentelle behandlingsmetoder. Fritt etter Iversen (2017)

Behandlingsmetode	Kostnad [kr/kg]
Badbehandling u/ Hydrogenperoksid	0,46
Badebehandling m/ Hydrogenperoksid	0,72

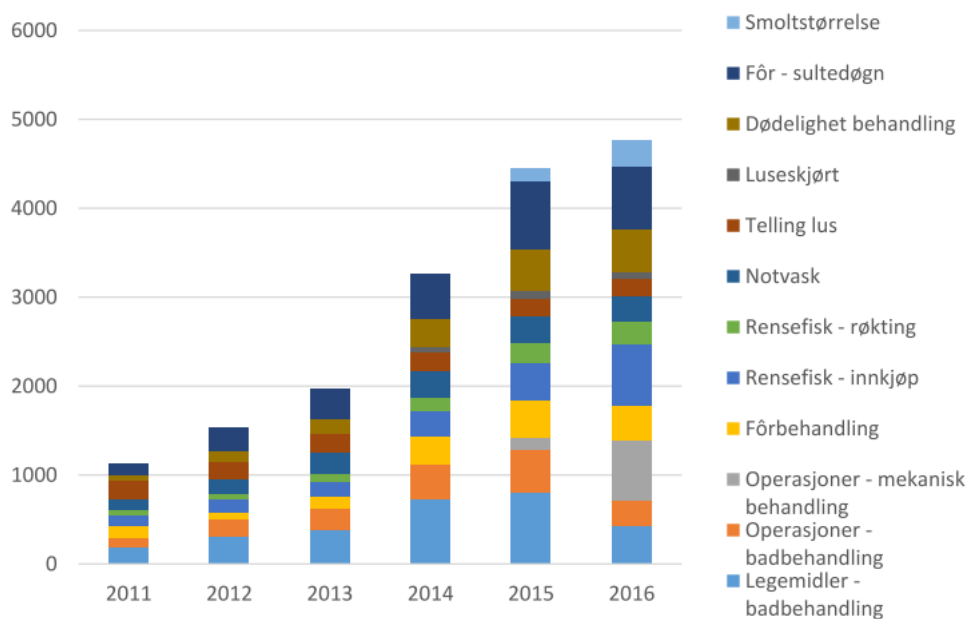
Fôrbehandlinger er også inngått under medikamentelle behandlinger. Det er derimot vanskelig å estimere kostnaden for dette, da forskjellige firmaer har forskjellige fôrpris. Iversen (2017) legger til grunn en prisdifferanse på 11,5 kr mellom vanlig fôr og lusefôr.

Tapt tilvekst

Det er viktig å merke seg at hverken medikamentell eller medikamentfri behandling regner med tilveksttap som følge av avlusing i tallene ovenfor. Abolfia et al. fant i 2014 (ifølge Holan et al. (2017 s 16) en signifikant negativ korrelasjon mellom lusenivå og biomassevekst. De viste videre hvordan en produksjonslokasjon kunne ha mellom 3% og 15% redusert tilvekst som følge av lus, noe det er rimelig å anta stammer fra dødelighet og mistet fôringstid på grunn av lusebehandling.

2.8.3 Lusekostnader totalt

I tillegg til fôrkostnader og avlusingskostnader er det flere andre direkte faktorer som påvirker den totale lusekostnaden i norsk oppdrettsbransje (Figur 4). Fra 2011 til 2016 har de direkte kostnadene knyttet til lus steget. Vi kan av grafen lese hvordan kostnadene for 2015 og 2016 er beregnet til å være mellom 4,5 og 5 milliarder kroner. Her er ikke tapet av tilvekst medberegnet. Beregninger gjort av Rødseth (2016) viser at det faktiske tapet ved å ta med tapt tilvekst lå mellom 7 og 8 milliarder kroner i 2015 (Figur 4).



Figur 4 – Kostnader forbundet med avlusing Kilde: (Holan et al., 2017)

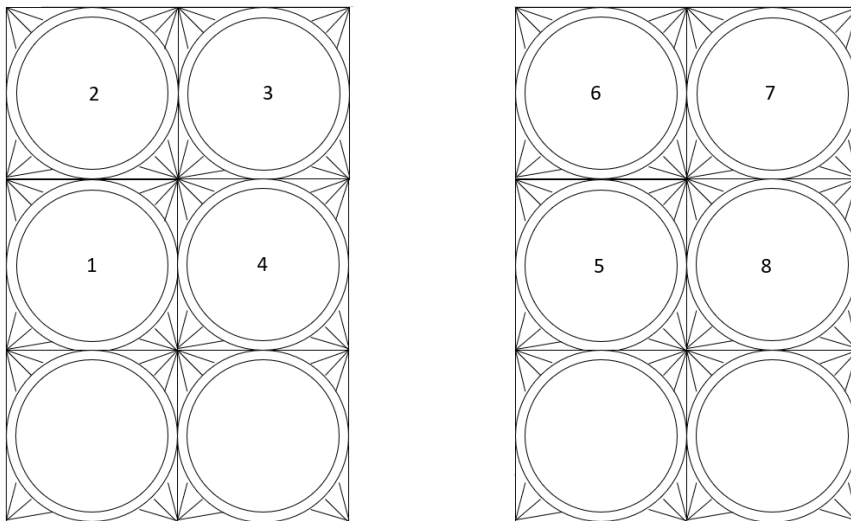
3 Case: Prosjektet «Gulestø»

3.1 Bakgrunn for Gulestø

Prosjektet «Gulestø» er gjort på oppdrettsanlegget Gulestø i Bremanger, Sogn og Fjordane. Prosjektet er et samarbeid mellom Plany, AGA og Marine Harvest, og er også støttet av Innovasjon Norge. Målet med prosjektet er å kunne dokumentere hvordan bruken av ikke-medikamentelle og forebyggende behandling kan hindre lusepåslag samtidig som fisken gjennom hele produksjonssyklusen opplever et optimalt miljø (AGA et al., 2017).

3.2 Merder

Prosjektet har brukt åtte merder av typen Polacirkel med en omkrets på 170 meter, samt en ekstra merd for mellomlagring (Figur 5). I merd 1 til og med merd 7 er det gjennomført periodiske målinger av oksygenmetning, pH-verdi, temperatur og forbruk av O₂. Målingene er gjort hvert tiende minutt for merd 1 mens det i merd 2 til og med merd 7 er målt hvert 15. minutt. I tillegg er det for alle de åtte merdene registrert biomasse (kg og antall), nettoproduksjon (kg), daglig tilvekst (SGR %), foring (kg), dødelighet (kg og antall) daglig og kontrollert antall lus ukentlig.



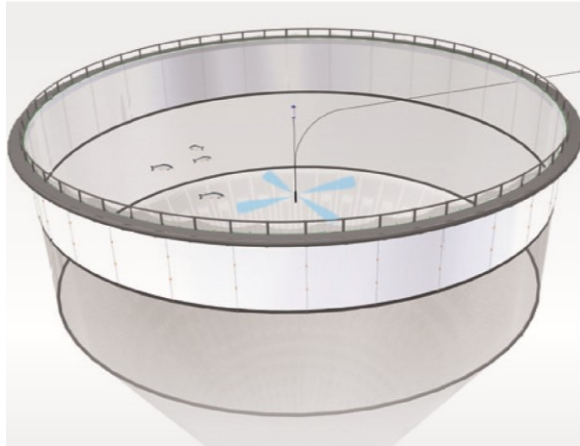
Figur 5 – Oppsett av merder på Gulestø. Egen tilvirkning.

3.3 Oxyskjold – luseskjørt og oksygenering

Prosjektet tar utgangspunkt i bruken av konseptet Oxyskjold, som bruker luseskjørt på merden samtidig som det oksygeneres (Figur 7). Solvox DropIn fra AGA er brukt som oksygeneringsenheter på prosjekt Gulestø (Figur 6). Solvox DropIn trekker inn vann i den nedre delen av enheten før det blandes med oksygen tilført fra ekstern oksygentank. Det oksygenerte vannet pumpes ut igjen i den øvre delen av Solvox DropIn-enheten.



Figur 6 – Solvox DropIn. Kilde: (AGA et al., 2017)



Figur 7 – Illustrasjon av Oxyskjold. Kilde: (AGA et al., 2017)



Figur 8 – Solvox DropIn i drift. Kilde: (AGA et al., 2017)

3.4 Luseskjørt og Solvox DropIn

Under forsøket var det to ulike oppsett på merdene. Alle merder fikk påmontert luseskjørt 15.februar 2017. Fire merder har i tillegg hatt montert Solvox DropIn. Tre av merdene med Solvox ble satt med en singel DropIn med settpunkt på 70 % oksygenmetning, mens den siste merden (merd 6) fikk dobbel DropIn med settpunkt på 85 %. 4.juni 2017 ble alle luseskjørt løftet grunnet drift og bekymring over lave oksygenverdier (Larsen 2018, pers.med.). Kun merder med oksygentilførsel fikk påmontert luseskjørt igjen ved slutten av juni måned. Grunnet dette har merder med Solvox hatt luseskjørt påmontert lengre enn de uten Solvox. Fra

15.februar 2017 frem til 21.september 2017 var Solvox DropIn plassert på tre meters dybde, mens de ble senket ned til fem meters dybde fra 21. september 2017 og frem til slakt. Av velferdsmessige behov ble det nødvendig med høyere oksygenmetning i merdene. Dermed ble det samtidig med nedsenkning også oppgradert til dobbel DropIn den 21.september 2017 (Tabell 4).

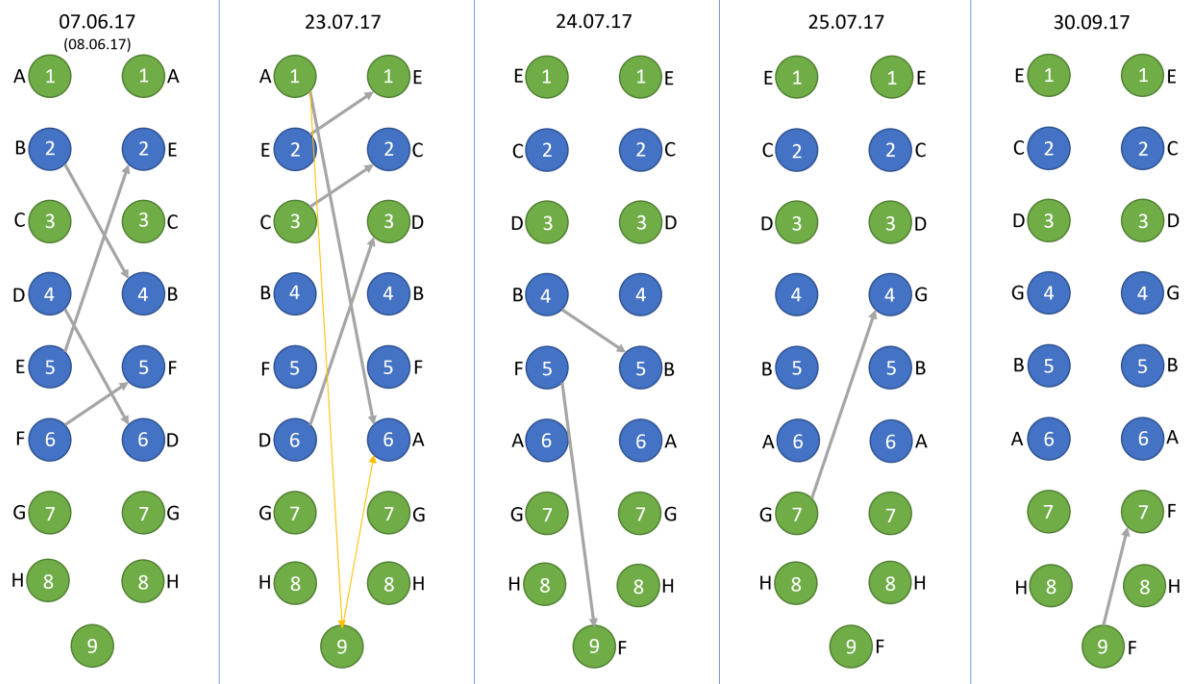
Tabell 4 – Oppsettinformasjon. Kilde: (Larsen 2018, pers.med)

Merid	Skjørt påmontert	Settpunkt O ₂ -metning	Sensordybde(m) O ₂ & temp	O ₂ -tilførsel flyttet fra 3m til 5m	2. DropIn O ₂ -tilførsel
1	15.feb.17-04.jun.17		3		
2	15.feb.17-04.jun.17, 25.jun.17-20.des.17	70%	3, 5, 10	21.sep.17	21.sep.17
3	15.feb.17-04.jun.17		3		
4	15.feb.17-04.jun.17, 30.jun.17-20.des.17	70%	3, 5, 10	21.sep.17	21.sep.17
5	15.feb.17-04.jun.17, 30.jun.17-20.des.17	70%	3, 5, 10	21.sep.17	21.sep.17
6	15.feb.17-04.jun.17, 28.jun.17-20.des.17	85%	3, 5, 10		
7	15.feb.17-04.jun.17		3		
8	15.feb.17-04.jun.17				

3.5 Forflytning

Biomassene har gjennom forsøksperioden blitt flyttet mellom de forskjellige merdene i forbindelse med avlusing. Flytteoversikten er grunnlaget for reorganiseringen av data fra «per merd» til «per populasjon» som brukes i resultater i oppgaven.

I figuren representerer blå sirkler merder med Solvox DropIn og grønn sirkel representerer merder uten. Bokstaven ved siden av en sirkel representerer fiskepopulasjonen som befinner seg i den respektive merden, henholdsvis før og etter flytting den gitte datoen. Eksempelvis er fiskepopulasjon A den populasjonen som ble satt ut i merd 1, mens fiskepopulasjon B ble satt ut i merd 2. Merd 9 er en ekstra merd, og har derfor ingen populasjon fra start.



Figur 9 – Flyttehistorikk mellom merder. Illustrasjon Håkon Hoel Olsen

4 Metode

Påfølgende kapittel vil belyse om valg av metode, og hvorfor denne har blitt valgt. Det vil også bli utdypet hvordan datainnsamlingen har foregått, samt hva slags behandling og hvilke analyser dataene har blitt utsatt for.

4.1 Hva er metode

Når det er noe som skal undersøkes er metoden redskapet som blir brukt. Det er dette som hjelper oss å samle inn data, en fremgangsmåte for å frembringe kunnskap og sjekke påstander som sanne, holdbare eller gyldige (Dalland, 2007).

I Aubert og Alstad (1985) beskrives metode på denne måten:

«En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med til arsenalet av metoder»

4.2 Forskningsmetode / samfunnsfaglig metode

I enhver oppgave er det forskningsmetoden som danner grunnlaget for kvaliteten på innsamlet data og hvordan informasjonen innhentes. Forskjellige metoder har forskjellige styrker og svakheter, og det skilles mellom kvalitativ og kvantitativ metode. Kvalitativ metode behøver seg med og er basert på observasjoner og utsagn, mens en kvantitativ metode har som mål å forklare og analysere basert på kvantitative størrelser, faktorer og variabler. Mens kvalitativ metode ofte har rom for personlige valg og improvisasjon, følger den kvantitative metoden et mye strengere sett av regler med tanke på fremgangsmåte og metode (Befring, 1994; Befring & Timmons, 2004).

I denne oppgaven er det valgt å bruke kvantitativ metode, da det er blitt samlet inn store mengder data. For å få innsyn i datamaterialet har det gjennom arbeidet blitt brukt både statistiske metoder for å få bedre innsikt i tallmaterialet.

Denne masteroppgaven er skrevet ut fra en induktiv metode, i motsetning til deduktiv metode. Den deduktive metoden blir også ofte kalt for hypotetisk-deduktiv forskning. Her blir det vanligvis presentert hypotese og metode, analyse og oppsett styres videre av denne. Verifisering og falsifisering av hypotesene forbedrer hele tiden den underliggende teorien.

Ved induktiv metode derimot, er det slik at et forskningsprosjekt oppstår ut fra en idé, tanke eller et oppstått problem. Disse fører til nye problemstillinger, som igjen kan føre til ny teori. Induktiv metode nevnes ofte i forbindelse med typiske «pilotstudier» der det er liten inngående

kjennskap i det det forskes på. Observasjoner og analyser av resultater skaper ofte nye problemstillinger for etterfølgende empiriske studier. (Befring, 1994; Befring & Timmons, 2004). Prosjekt Gulestø kan regnes å være en pilotstudie for oksygenering i merder med luseskjørt.

4.3 Valg av problemstilling

Gjennom fem år med studier i industriell økonomi, har undertegnede opparbeidet kunnskap innen økonomi, statistikk og tekniske fag. Å finne løsninger på vanskelige utfordringer har vært et stort fokus gjennom studietiden, og det var derfor naturlig å finne en masteroppgave som kombinerte fagene med en problemstilling som virket interessant.

Oppdrettssektoren i Norge er en bransje i vekst, og står ovenfor utfordringer som ved løsning kan både gi stor økonomisk og etisk gevinst. Det har gitt energi og motivasjon å kunne komme med innvendinger og forslag til løsninger som igjen kan gi næringen en reell nytteverdi.

4.4 Litteraturstudie

En litteraturstudie er kort fortalt studiet og forståelsen av litteratur som er relevant for temaet. Det er en type forskning som har som mål å summere all tilgjengelig informasjon om temaet uavhengig av om det er kvalitativ eller kvantitativ forskning. Det prøves gjennom denne metoden å presentere en analyse av tilgjengelig litteratur slik at leseren ikke behøver å lese hver rapport (Aveyard & Sharp, 2013).

4.4.1 Søkestrategi

En god søkestrategi er viktig i en litteraturstudie. Det er tatt utgangspunkt i tenkemåter og prinsipper fra Aveyard (2014) i utformingen av undertegnede søkestrategi.

Søkemotorer: Av søkemotorer som er brukt er Oria, Web of Science og Google Scholar hyppige. Disse søkemotorene spenner alle over flere norske og internasjonale databaser med bøker, tidsskrifter og magasiner. Det er fra disse blitt hentet inn diversifisert informasjon fra flere kilder, både via enkle og avanserte søk. I tillegg har også ScienceDirect vært en nyttig side som er blitt brukt.

Hvilken type litteratur: Først og fremst er det blitt benyttet mye informasjon fra forskningsartikler og avhandlinger, da dette holder et høyt faglig nivå. I tillegg til dette er det også brukt flere bøker og artikler fra norske institutter og departementer, samt diverse statistikker, direktiver og forskrifter.

Søkeord brukt: Da oppgaven omhandler luse- og oksygenproblematikk i

oppdrettsnæringen, er det ofte blitt brukt ord som innehar disse faktorene. Gjennom brainstorming og diskusjon har det kommet opp flere gode ord. Hypoksi, vannkvalitet, fiskevelferd, strømning, oksygen og lakselus er eksempler på ord som har blitt søkt på, både på norsk og engelsk. I tillegg til disse er det flere andre ord undertegnede har brukt og mener har hatt relevans i litteraturstudiet.

Forfattersøk: Som en del av søkestrategien har det også blitt gjort spesifikke søk på forfattere med flere publikasjoner i relevant litteratur.

Relevante kilder og siteringer i litteratur: Etter å ha funnet relevante artikler og tekster har det også blitt gjennomgått kildeliste og siteringer for å finne andre tekster med relevans for litteraturstudiet.

4.5 Valg av design

4.5.1 Casestudie

Casestudier blir ofte brukt for å beskrive en situasjon nærmere og gi innsikt om et forhold fører til et annet forhold. Fordelen med en slik studie er at det ofte finnes mye datamateriale som dermed gir grunnlag for å gå i dybden. På denne måten kan en komme frem til detaljerte og nøyaktige observasjoner av det som undersøkes (Dahlum & Wæhle, 2018).

Et av argumentene for å bruke en casestudie i denne oppgaven var den inngående datasamlingen som foregår ved en slik forskningsmetode. Studien gir et stort grunnlag for data knyttet til problemstillingen som søkes løst. Samtidig kan det argumenteres for at casen er paradigmatisk. Dette betyr at det på grunnlag av casestudiet kan være muligheter for generalisering eller at resultatene kan brukes som referansepunkt for etterkommende studier (Tjora, 2017).

4.5.2 Kvantitativ analyse

Kvantitativ analyse undersøker et større antall enheter, og brukes ofte for å teste om dataene man har kan generaliseres og gjelde for virkeligheten (Dahlum, 2017). På det store kvantitative datagrunnlaget hentet fra casestudien var det hensiktsmessig å bruke en kvantitativ analyse.

4.5.3 Modell

For å kunne estimere økonomiske resultater ved forskjellige forutsetninger ble det laget en verdikalkulator. Nøyaktig og gjennomtenkt utvelgelse av variabler er viktig for en systematisk studie av endring i observert respons. Kodene i en modell er ofte komplekse, da de prøver å gjengi den komplekse virkeligheten (Kuhnt & Steinberg, 2010). Modellen er grovt basert på prinsippet om spiralmodell (Boehm, 1988). På denne måten har det blitt gjort kontinuerlige

forbedringer på kalkulatoren. Under utviklingen av modellen har fire punkter blitt fulgt og repetert til optimal løsning ble funnet:

- Bestemmelse av objektiver, begrensninger og alternativer.
- Evaluering av alternativer, identifisering og løsninger av risikofaktorer
- Utvikling og verifisering av produktet
- Planlegging av neste fase

4.6 Behandling av data

4.6.1 Innsamling av data

Målinger av data ble gjort på 3 og 5 meters høyde, da dette skulle gi verdier i det skjermede volumet.

4.6.2 Filtrering og reduksjon

Det ble etablert et overblikk over dataen ved hjelp av grafisk fremstilling i samsvar med Befring og Timmons (2004). Behandling av data ble videre gjennomført med programmet R Studio mens den visuelle fremstillingen hovedsakelig foregikk i Excel (R Core Team, 2017). R Studio-pakker som er brukt til restrukturering, aggregering og akkumulering av dataen er «dplyr», «ggplot2», «tidyverse» og «lattice» (Sarkar, 2008; Wickham, 2009; Wickham, 2017; Wickham et al., 2017).

4.6.3 Statistisk analyse – Mixed Model

Analyse av oksygenmetning mellom merder med og uten Oxyskjold ble gjort i tidsperioden 26.juli 2017 til 19.oktober 2017 grunnet følgende:

- Fra 15.februar til 4.juni har alle merder luseskjørt påmontert.
- Fra visuell inspeksjon oksygeneres det minimalt før 4.juni.
- I perioden fra 4.juni til slutten av juni måned har ingen merder skjørt.
- Det gjennomføres flere avlusinger i perioden 23., 24 og 25. juli, som forstyrrer dataene.
- 19.oktober er første dagen med slakt, og merdene tømmes etter dette.

Effekten av behandling med og uten Oxyskjold ble undersøkt ved hjelp av en blandet lineær modell ved bruk av prosedyren Proc mixed i statistikkprogrammet SAS software (2017):

$$y_{ijk} = B_i + M_{ij} + b_1 \text{Tim}_{ijk} + b_2 \text{Tim}_{ijk}^2 + e_{ijk} \quad (2)$$

hvor

- y_{ijk} = målt oksygenivå på tidspunkt k (timer) innen merd j og behandling i ;
- B_i = en fast effekt av oksygentilsetting, $i = 1, 2$;
- M_{ij} = en tilfeldig effekt av merd $j = 1, 3$ og 7 med behandling $i = 1$ (merder uten oksygen tilsetting) og $j = 2, 4, 5$ og 6 med behandling $i = 2$ (merder med oksygentilsetting);
- b_1 = regresjonskoeffisient av oksygenivå på tid innen merd j med behandling i ;
- b_2 = regresjonskoeffisient av oksygenivå på tid kvadrert innen merd j og behandling i ;
- e_{ijk} = tilfeldig feil for oksygenivå målt på tidspunkt k innen merd j og behandling i .

4.6.4 Følsomhetsanalyse av verdikalkulator

Siden flere variabler påvirker utfallet av verdikalkulatoren, ble det gjennomført en følsomhetsanalyse. Dette gjøres for å se hvordan kalkulatoren reagerer med forskjellig input. (Chin & Lee, 2008).

4.6.5 Etterligning av Gulestø

Tabell 5 - Nøkkeltall fra Gulestø som grunnlag for etterligning.

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	4	Forbruk for oksygenering til settpunkt	197 836	395 670
Antall Solvox DropIn	1			
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,5			
Oksygenpris pr. kg	2,0			

Det ble også gjort en etterligning av Gulestø sine forhold. På denne måten er det mulig å se på resultatene fra kalkulatoren opp mot målingene fra Gulestø.

Til slutt ble det satt opp et scenario hvor resultatene fra kalkulatoren ble knyttet opp mot erfaringstall og estimater knyttet til lusebehandlinger. På denne måten kan kalkulatoren sees i et mer helhetlig perspektiv.

4.7 Validitet og reliabilitet

Ved bruk av data er det to krav som må oppfylles med hensyn til hvilken verdi de har i undersøkelsen og hva de kan brukes til. Disse kravene består av relevans og pålitelighet. Data skal ha relevans for problemstillingen, og de skal også være samlet inn på en pålitelig måte. Dette kalles validitet og reliabilitet.

Validitet

Validitet handler om vi har fått måleresultater for det som ønskes å måles, med andre ord hvor gyldig måleresultatet er. Dataen som samles inn må altså være relevant for problemstillingen som søkes løst. Høy validitet indikerer relevant data. I kvantitativ forskning skilles det ofte mellom indre og ytre validitet. Indre validitet indikerer ofte hvor godt man har målt det som skulle måles, mens ytre validitet brukes som et mål på hvor godt funnene representerer målpopulasjonen (Befring, 1994; Dahlum, 2018; Dalland, 2007).

Reliabilitet

Reliabilitet indikerer graden av presisjon og/eller målefeil, et slags mål på troverdigheten av undersøkelsen. Selv om data i utgangspunktet er relevante, er det viktig å ta hensyn til reliabiliteten på målingene, og i hvilken grad unøyaktigheter inntreffer. Måling vil alltid innebære en mulighet for feil, så reliabilitet bør være til stede i alle målinger (Befring, 1994; Dalland, 2007; Svartdal, 2018).

4.7.1 Litteraturstudie

I en litteraturstudie er det viktig å være kritisk til faktorer ved kilden som brukes, både når det gjelder forfatter, utgiver og relevansen for kilden. Litteraturen brukt i oppgaven ble vurdert opp mot problemstillingen i tillegg til annen relevant litteratur på feltet. Da problemstillingen i oppgaven involverer et felt det er lite forsket på, vil en kunne påstå at validiteten til litteraturen kunne vært høyere. Litteraturens reliabilitet er god, da det finnes flere undersøkelser som viser lignende resultater, samtidig som den er åpen for nye undersøkelser.

4.7.2 Kvantitativ analyse

Kvantitativ analyse har den fordel at den ofte blir mer representativ da man vanligvis studerer et større antall enheter. Analysen kan derfor sies å ha høy reliabilitet. Dataens indre validitet regnes å være høy, da målingene stammer direkte fra sensorer i merdene. Samtidig er analysen gjort over samme tidsperiode, slik at det ikke kan argumenteres å være forskjell med hensyn på tid. Det er satt opp minimum- og maksimumsverdier for å minimere tilfeldige målefeil, noe som bidrar til å øke reliabiliteten (Svartdal, 2018).

Videre kan det argumenteres for at analysens ytre validitet er høy. Større antall enheter gjør undersøkelsen mer representativ, og øker potensialet for å kunne generalisere resultatet fra analysen til et globalt perspektiv.

4.7.3 Verdikalkulator

Kalkulatoren reliabilitet kan sies å ha mindre god reliabilitet. Større deler av datagrunnlaget er basert på relevant litteratur. Likevel kunne presisjonen i kalkulatoren vært bedre, og reliabiliteten kunne med dette vært høyere. Den indre validiteten i kalkulatoren kan sies å være høy, da kalkulatoren bruker tar datagrunnlag fra lokasjonen det regnes på. Den ytre validiteten kan derimot sies å være svakere, da oksygennivå ofte avhenger av lokale forhold (Samsing et al., 2016). Det vil derfor være vanskeligere å generalisere resultatene fra følsomhetsanalysen til et globalt perspektiv.

5 Verdikalkulator for oksygenering i merd

5.1 Kalkulatorens virkemåte

Basert på inputdata beregner verdikalkulatoren et estimat på hva som kan forventes av månedlig oksygenforbruk, oksygenkostnader, økt vekst og fortjeneste ved bruk av oksygenering.

Modellen tar utgangspunkt i at oksygeneringen skal dekke oksygenbehovet til den biomassen som står i det skjermede volumet i merden, noe som den naturlige vannutskiftningen ikke dekker. Settpunktet for oksygenering, oksygenkonsentrasjonen i sjø og teoretisk oksygenbehov pr. kilogram laks beregner et forventet behov for oksygenering. Kalkulatoren tar hensyn til hvor stor andel av biomassen som blir berørt av oksygeneringen, og oppskalrer dette til et månedlig oksygenbehov og den påfølgende kostanden. Kalkulatoren har også mulighet for å definere en ytterligere økning i settpunkt, som gjør det mulig å se hva den eventuelle ekstra kostnaden eller gevinsten blir (Figur 10).

Utsettsvekt per merd		40		Settpunkt for oksygenering [mg/l]		8		Antall merd		8		Verdi av 1 kg biomasse		NOK 25		Antall Solvox Droplin		1	
	Biologiske verdier		Forventede verdier i sjø					Biologiske verdier		Forventede verdier for oksygenering									
	Forventet Biomasse Pr. merd [tonn]	Forventet vekstfaktor	Maks konsentrasjon i sjø	Temperatur i sjø [C]	O2-metning i sjø [%]	Dynamisk settpunkt [%]	O2-konsentrasjon i sjø [mg/l]	Teoretisk O2-behov [mg/kg/min]	Behov for oksygenering [mg/kg/min]	Andel av totalbehov dekket av oksygenering	Forbruk (per merd) [kg/time]	Daglig forbruk (hele anlegget) [kg/dag]	Månedlig forbruk (hele anlegget) [kg/mnd]	Solvox Droplin sin dekning av det skjermede volumet	Forventet forbruk for settpunkt [kg/mnd]	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning [kg/mnd]			
Jan	0	1.159	9,8	6	84	82	8,2	1,43	1,24	20%	0,0	0	0	30%	0	0			
Feb	0	1.174	9,8	6	92	82	9,0	1,43	0,41	21%	0,0	0	0	30%	0	0			
Mar	0	1.176	9,8	6	93	82	9,1	1,43	0,31	23%	0,0	0	0	30%	0	0			
Apr	40	1.177	9,4	8	94	85	8,8	1,90	1,07	24%	0,6	118	3 531	30%	1 059	0			
Mai	47	1.179	9,0	10	95	89	8,6	2,38	1,83	25%	1,3	250	7 911	30%	2 253	0			
Jun	56	1.167	8,6	12	88	93	7,6	2,86	3,25	27%	2,9	551	16 520	30%	4 956	0			
Jul	65	1.158	8,2	14	83	98	6,8	3,33	4,49	28%	4,9	934	28 015	30%	8 404	0			
Aug	75	1.160	7,9	16	84	101	6,7	3,81	5,14	29%	6,8	1296	38 893	30%	11 668	0			
Sep	88	1.148	8,1	15	78	99	6,2	3,45	5,21	30%	8,3	1996	47 884	30%	14 365	0			
Okt	101	1.135	8,4	13	70	95	5,9	3,10	5,21	32%	10,0	1918	57 544	30%	17 263	0			
Nov	115	1.152	8,8	11	80	91	7,0	2,62	3,61	33%	8,2	1576	47 294	30%	14 188	0			
Des	132	1.166	9,4	8	88	85	8,3	1,90	1,64	34%	4,5	860	25 801	30%	7 740	0			
Jan	154	1.159	9,8	6	84	82	8,2	1,20	1,01	36%	3,3	639	19 170	30%	5 751	0			
Feb	179	1.174	9,8	6	92	82	9,0	1,20	0,18	37%	0,7	140	4 200	30%	1 260	0			
Mar	210	1.176	9,8	6	93	82	9,1	1,20	0,09	38%	0,4	60	2 896	30%	716	0			
Apr	247	1.177	9,4	8	94	89	8,8	1,60	0,76	40%	4,5	859	25 763	30%	7 729	0			
Mai	291	1.179	9,0	10	95	89	8,6	2,00	1,45	41%	10,3	1982	59 469	30%	17 841	0			
Jun	343	1.167	8,6	12	88	93	7,6	2,40	2,79	42%	24,2	4642	139 258	30%	41 777	0			
Jul	401	1.158	8,2	14	83	98	6,8	2,80	3,96	43%	41,3	7937	238 102	30%	71 431	0			
Aug	466	1.160	7,9	16	84	101	6,7	3,20	4,53	45%	56,5	10853	325 588	30%	97 676	0			
Sep	542	1.148	8,1	15	78	99	6,2	2,90	4,65	46%	69,6	13366	400 993	30%	120 298	0			
Okt	625	1.135	8,4	13	70	95	5,9	2,60	4,71	47%	83,7	16061	481 840	30%	144 552	0			
Nov	713	1.152	8,8	11	80	91	7,0	2,20	3,19	49%	66,4	12751	382 516	30%	114 755	0			
Des	824	1.166	9,4	8	88	85	8,3	1,60	1,34	50%	33,1	6350	190 486	30%	57 146	0			
Grunne felt er inndata basert på erfaringstall og faglitteratur.														kg	762 829	0			
Første gule felt er vekst faktor. Andre gule felt er forventet andel av biomasse som står i det skjermede volumet														NOK	1 525 658	0			
Grå felt er kalkulasjoner basert på inndata og forholdstall																			

Figur 10 – Kostnadssiden (venstre halvdel) av verdikalkulatoren

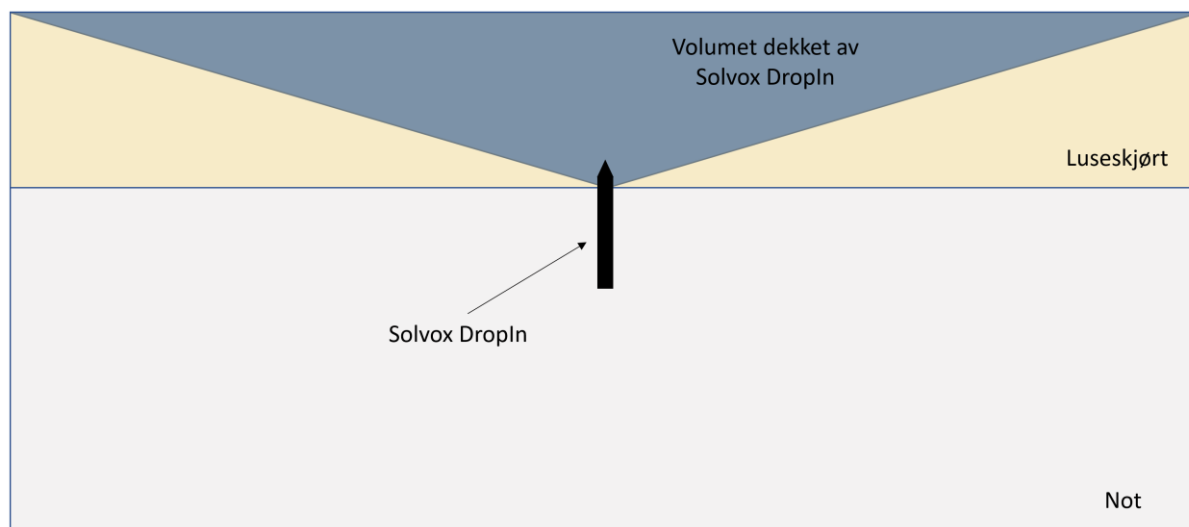
Videre i kalkulatoren kommer verdier for oksygenmetning, daglig SGR og vekstfaktor for henholdsvis i sjø, settpunkt og økningen av settpunkt. Når konsentrasjonen i sjø faller under settpunktet blir det registrert en økt vekst som følge av at oksygeneringen opprettholder en høyere oksygenkonsentrasjon i det skjermede volumet sammenlignet med sjøen. Vekstgevinsten multipliseres med verdien av biomasse som utgjør inntekten, samt at den ekstra biomassen legges til neste måneds forventede biomasse (Figur 11).

Dekningsgrad per Solvox DropIn		30 %	Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0	Oksygenpris pr. kg	NOK 2,00						
Forventet O2-metning				Forventet daglig tilvekst			Forventet månedlig vekstfaktor					
Naturlig i sjø	Settpunkt for oksygenering	Ønsket økning av settpunkt	Differanse i metning	Naturlig i sjø	Settpunkt for oksygenering	Ønsket økning av settåunkt	Naturlig i sjø	Settpunkt for oksygenering	Ønsket økning av settåunkt	Økning vekstfaktor	Forventet vekstgevinst [kg]	
84 %	82 %	0 %	0 %	0,492 %	0,482 %	0,000 %	1,159	1,155	0,000	0,000	0	Jan
92 %	82 %	0 %	0 %	0,536 %	0,482 %	0,000 %	1,174	1,155	0,000	0,000	0	Feb
93 %	82 %	0 %	0 %	0,541 %	0,482 %	0,000 %	1,176	1,155	0,000	0,000	0	Mar
94 %	85 %	0 %	0 %	0,546 %	0,500 %	0,000 %	1,177	1,161	0,000	0,000	0	Apr
95 %	89 %	0 %	0 %	0,551 %	0,520 %	0,000 %	1,179	1,168	0,000	0,000	0	Mai
88 %	93 %	0 %	0 %	0,517 %	0,541 %	0,000 %	1,167	1,176	0,000	0,008	291	Jun
83 %	98 %	0 %	0 %	0,491 %	0,565 %	0,000 %	1,158	1,184	0,000	0,026	1 113	Jul
84 %	101 %	0 %	0 %	0,497 %	0,584 %	0,000 %	1,160	1,191	0,000	0,031	1 610	Aug
78 %	99 %	0 %	0 %	0,461 %	0,574 %	0,000 %	1,148	1,187	0,000	0,039	2 520	Sep
70 %	95 %	0 %	0 %	0,422 %	0,553 %	0,000 %	1,135	1,180	0,000	0,045	3 468	Okt
80 %	91 %	0 %	0 %	0,471 %	0,530 %	0,000 %	1,152	1,172	0,000	0,020	1 849	Nov
88 %	85 %	0 %	0 %	0,514 %	0,500 %	0,000 %	1,166	1,161	0,000	0,000	0	Des
84 %	82 %	0 %	0 %	0,492 %	0,482 %	0,000 %	1,159	1,155	0,000	0,000	0	Jan
92 %	82 %	0 %	0 %	0,536 %	0,482 %	0,000 %	1,174	1,155	0,000	0,000	0	Feb
93 %	82 %	0 %	0 %	0,541 %	0,482 %	0,000 %	1,176	1,155	0,000	0,000	0	Mar
94 %	85 %	0 %	0 %	0,546 %	0,500 %	0,000 %	1,177	1,161	0,000	0,000	0	Apr
95 %	89 %	0 %	0 %	0,551 %	0,520 %	0,000 %	1,179	1,168	0,000	0,000	0	Mai
88 %	93 %	0 %	0 %	0,517 %	0,541 %	0,000 %	1,167	1,176	0,000	0,008	2 859	Jun
83 %	98 %	0 %	0 %	0,491 %	0,565 %	0,000 %	1,158	1,184	0,000	0,026	10 737	Jul
84 %	101 %	0 %	0 %	0,497 %	0,584 %	0,000 %	1,160	1,191	0,000	0,031	15 297	Aug
78 %	99 %	0 %	0 %	0,461 %	0,574 %	0,000 %	1,148	1,187	0,000	0,039	23 611	Sep
70 %	95 %	0 %	0 %	0,422 %	0,553 %	0,000 %	1,135	1,180	0,000	0,045	32 088	Okt
80 %	91 %	0 %	0 %	0,471 %	0,530 %	0,000 %	1,152	1,172	0,000	0,020	16 919	Nov
88 %	85 %	0 %	0 %	0,514 %	0,500 %	0,000 %	1,166	1,161	0,000	0,000	0	Des
											112 364	Fortjeneste
											2 809 102	1 283 445

Figur 11 – Gevinstsiden (høyre halvdel) av verdikalkulatoren

5.2 Grunnlag for tallmateriale

Én enhet Solvox DropIn antas å ikke kunne fordele oksygen i hele det skjermede volumet i en oppdrettsmerd. I denne modellen er det tatt utgangspunkt i Solvox DropIn-enheten senkes ned slik at dysene er på høyde med skjørtekanten og forsyner et kjeglevolum opp til vannoverflaten (Figur 12).



Figur 12 – Skisse av volumdekningen til én Solvox DropIn-enhet i merd med luseskjørt

$$\frac{V_{KJEGLE}}{V_{SKJØRT}} = \frac{\pi r^2 h}{\frac{3}{\pi r^2 h}} = \frac{1}{3} = 33\% \quad (3)$$

På bakgrunn av dette blir volumandelen én enhet Solvox DropIn forsyner avrundet til 30%. For å kunne dekke en større andel av det skjermede volumet kan oppdretter installere flere Solvox DropIn-enheter (3).

Erfaringstall og forholdstall fra AGA ligger til grunn for forventede verdier av sjøtemperatur og forventet andel av biomasse som oppholder seg i det skjermede volumet. Temperaturen er kontrollert opp mot målinger fra Gulestø (Vedlegg 2).

I kalkulatoren er det forventede oksygenbehovet til laks estimert ved å dividere temperaturen på en empirisk konstant. Verdiene er kontrollert mot tabellverdier i fra Lekang og Fjæra (1997) (Vedlegg 2).

Løseligheten til oksygen i sjøvann er hentet ut fra tabellverk (Crampton et al., 2003) (Vedlegg 2).

For forventet oksygenmetning i sjø er det satt inn verdier basert på en kombinasjon av målinger fra Gulestø og erfaringstall fra AGA (Vedlegg 2).

For beregning av forventet daglig SGR benyttes en lineærmodell fra regresjon(Crampton et al., 2003)

$$SGR = 0,0052 * DO + 0,0573 \quad (4)$$

Videre blir daglig SGR omgjort til forventet månedlig vekstfaktor. Ut fra månedlig vekstfaktor bestemmer modellen hva vekstgevinsten blir.

5.3 Kalkulatorens begrensninger

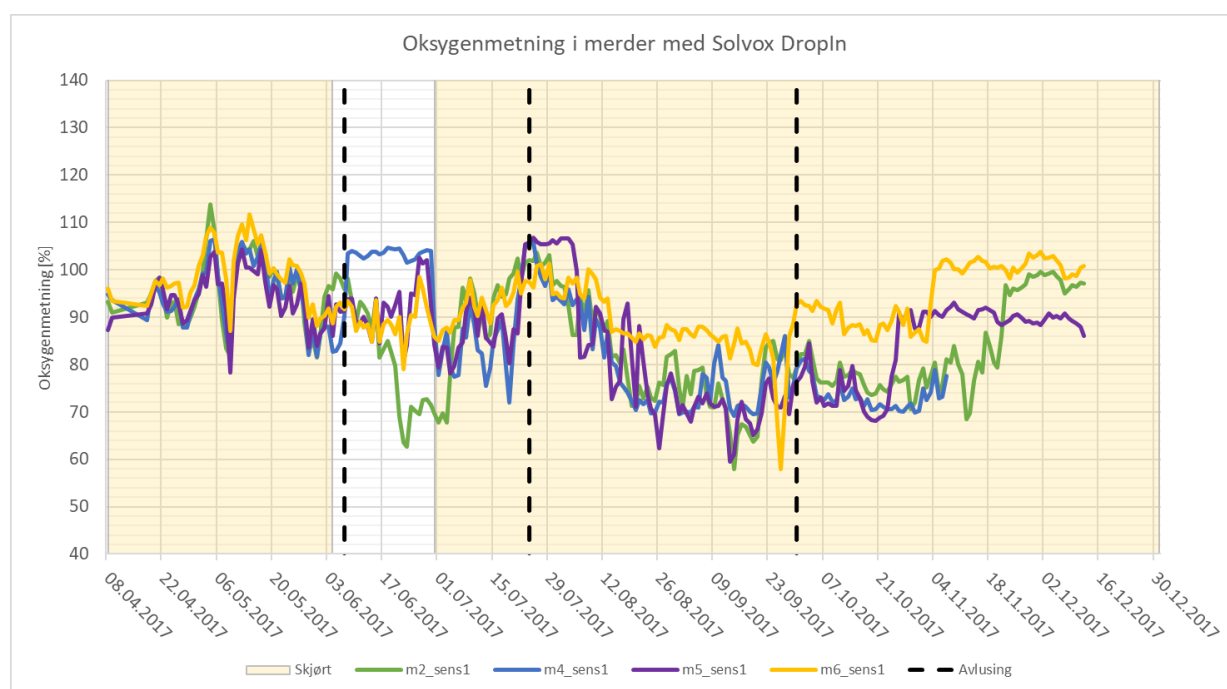
- Verdikalkulatoren tar ikke hensyn til investerings- og vedlikeholdskostnader.
- Verdikalkulatoren antar at det føres på et optimalt nivå gitt respektive oksygenivåer.
- Verdikalkulatoren tar ikke hensyn til avlusinger og kostnader forbundet til dette.
- Verdikalkulatoren er basert på lineære forhold.

6 Resultater

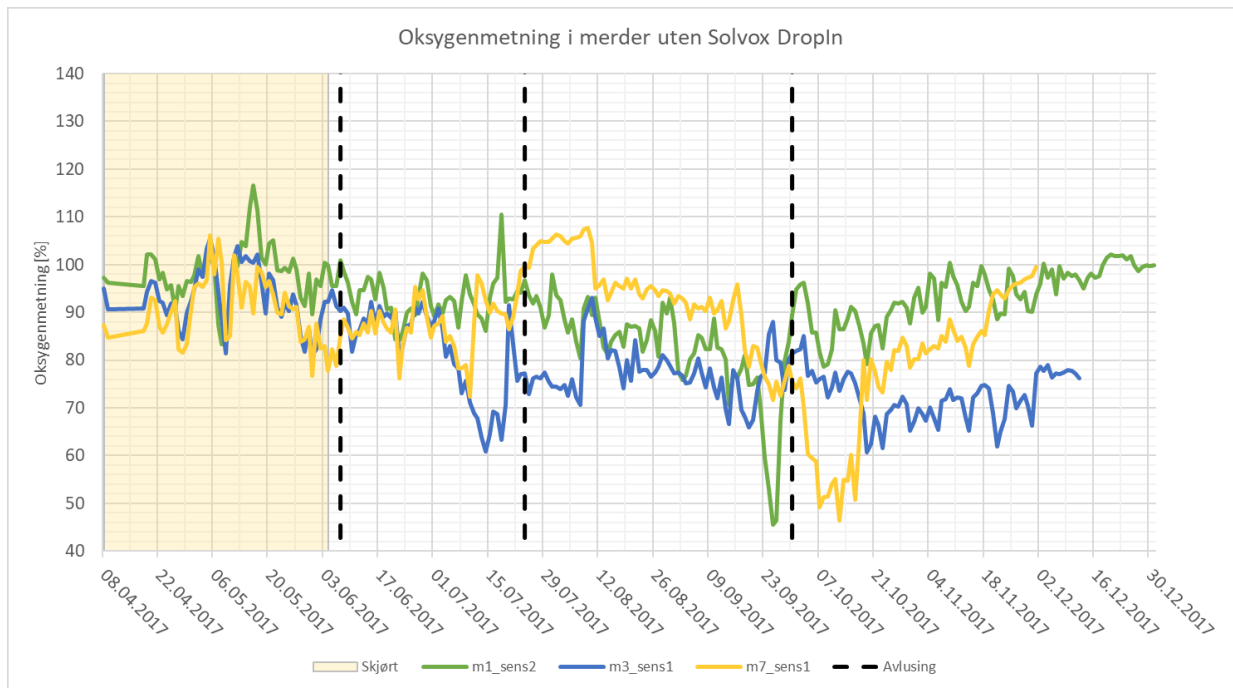
Først i dette kapitlet presenteres betraktninger av oksygenmålinger, før resultatene av den statistiske analysen legges fram. Videre presenteres lusetellingene før resultater fra følsomhetsanalysen av verdikalkulatoren. Sluttvis presenteres noen tall knyttet til et kort scenario som behandles mer i diskusjonen.

6.1 Oksygenering med og uten luseskjørt

Nedenfor presenteres oksygenmetning på tre meters dybde, gruppert etter om det var installert Solvox DropIn (Figur 13) eller ikke (Figur 14). Dataene er aggregert til dagsmålinger for å få en god visuell betraktning. Det gule feltet i bakgrunnen på figurene viser når det var påmontert luseskjørt, og de vertikale svarte stiplede linjene viser når det ble gjennomført avlusing.



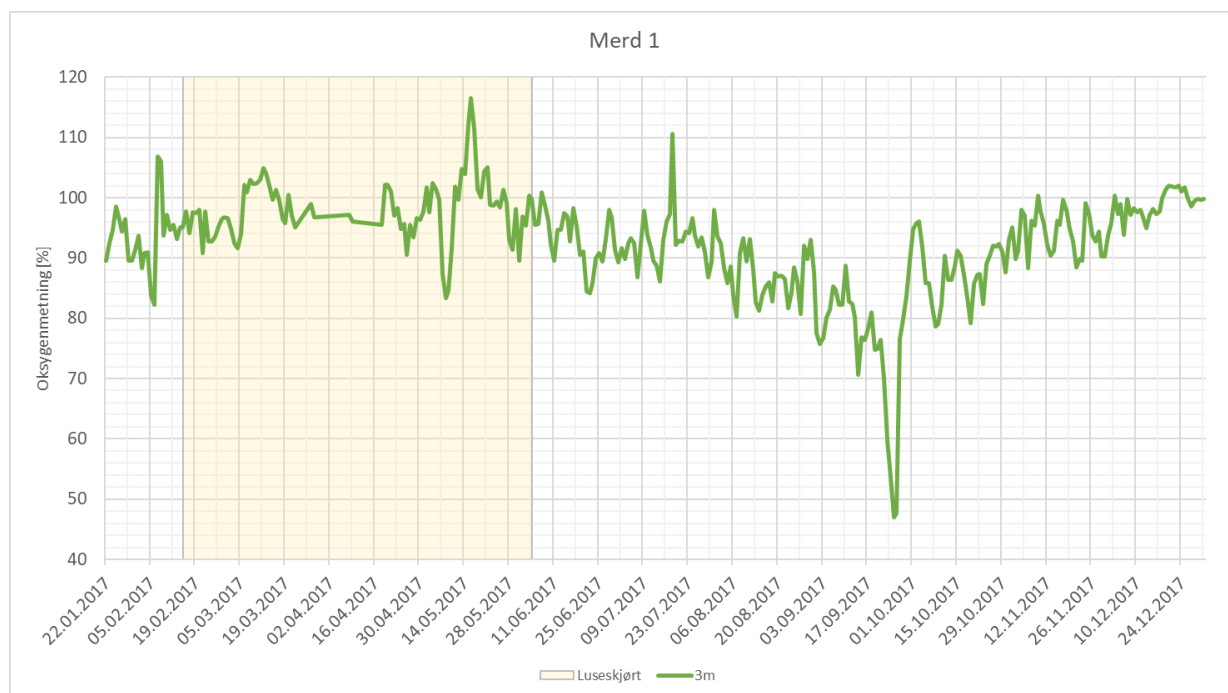
Figur 13 – Daglige verdier av oksygenmetning på 3 meters dybde i merder med Solvox DropIn



Figur 14 – Daglige verdier av oksygenmetning på 3 meters dybde i merder uten Solvox DropIn

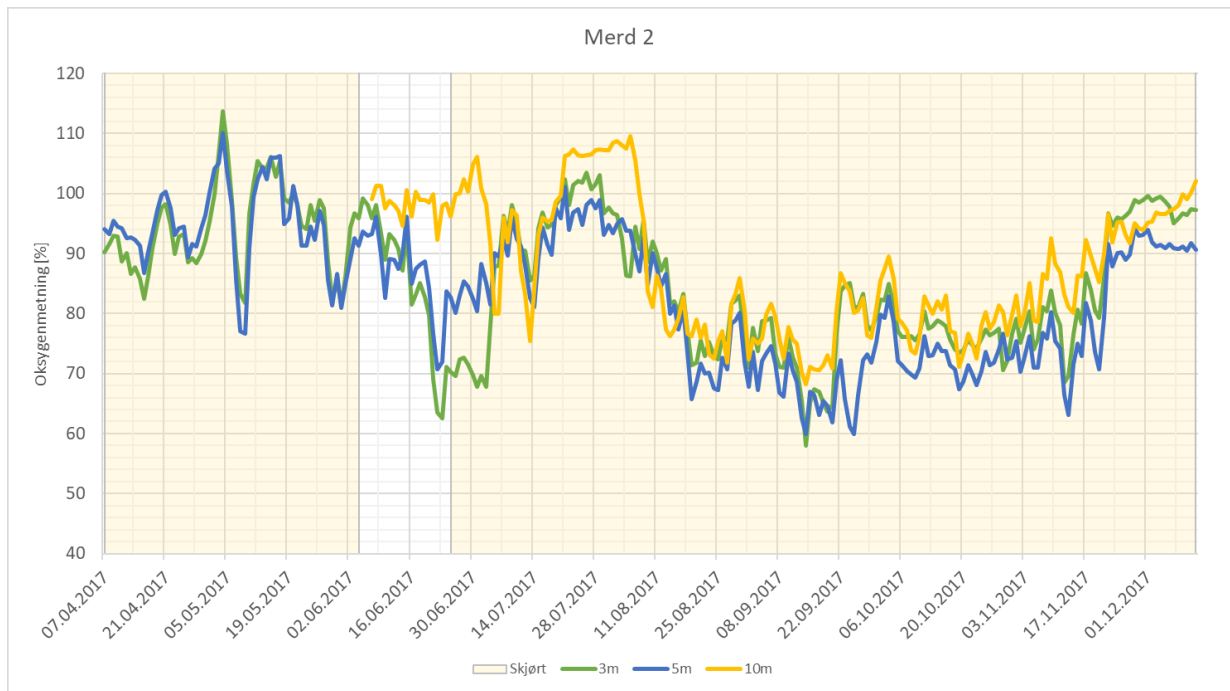
Fra midten av februar til juni har alle merder påmontert luseskjørt og oksygenmetningen flukserer rundt 95% på samtlige merder. 4.juni 2017 ble alle luseskjørt tatt av grunnet driftsmessige hensyn og bekymring for lave oksygenmetninger i merder uten oksygenering. Fire avlusinger ble gjennomført i juni, før luseskjørt ble montert på merder med oksygenering i slutten av måneden. Fra juli og ut året ser det ut til at oksygenmetningen i merder med Oxyskjold ligger mer samlet i forhold til de uten. I slutten av juli ble det gjennomført avlusing på sju av åtte merder. Både merder med og uten Oxyskjold viser en nedadgående trend i oksygenmetning utover høsten, og en svak økning igjen mot vinteren. Fra august skiller merd 6 seg noe fra sin gruppe ved at den ligger jevnt over på høyre oksygenmetning enn de andre.

6.1.1 Oksygenmetning og O₂-forbruk for utvalgte merder



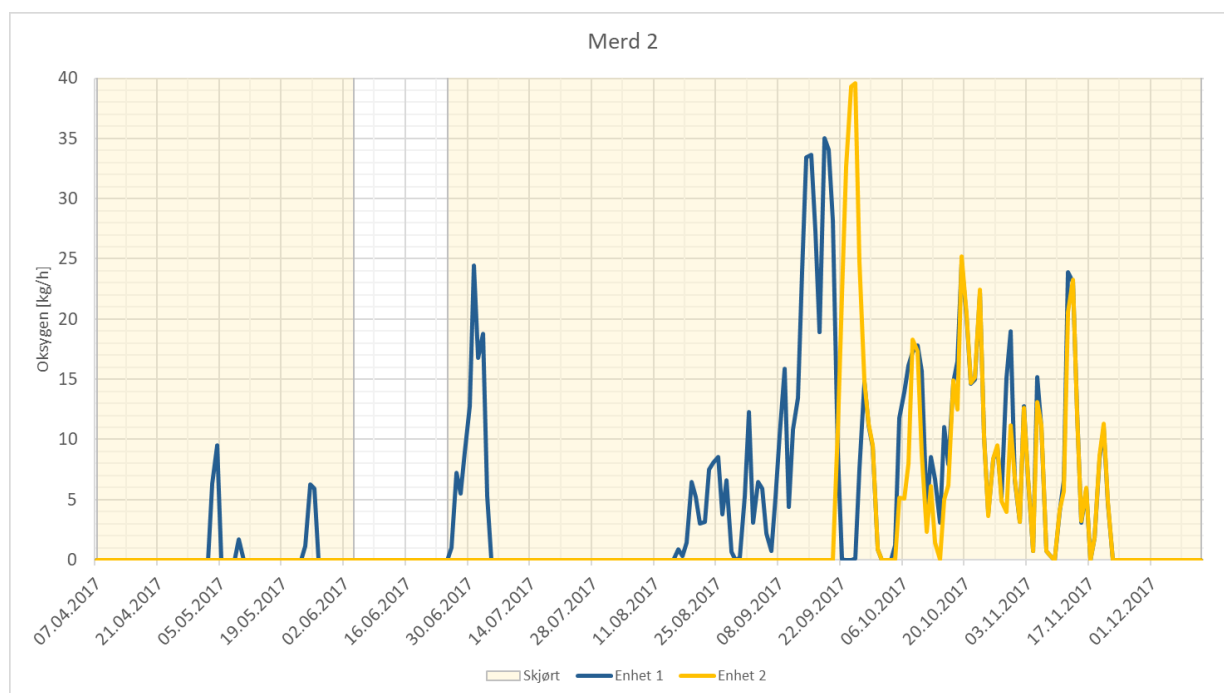
Figur 15 – Oksygenmetning per sensor i merd 1

Merd 1 har en lengre tidsperiode med målinger enn resterende merder, da dette var en rapporteringsmerd for oppdrettsanlegget (Figur 15). Oksygenmetningen varierte med sitt senter omtrentlig i området 95% fra januar og til juni. Grafen viser en nedadgående trend i metningen fra juli før til slutten av august, hvor det ble registrert en metningsbunn under 50 % rett før månedsskifte. Fra november er det registrerte en oppadgående trend til slutten av desember.



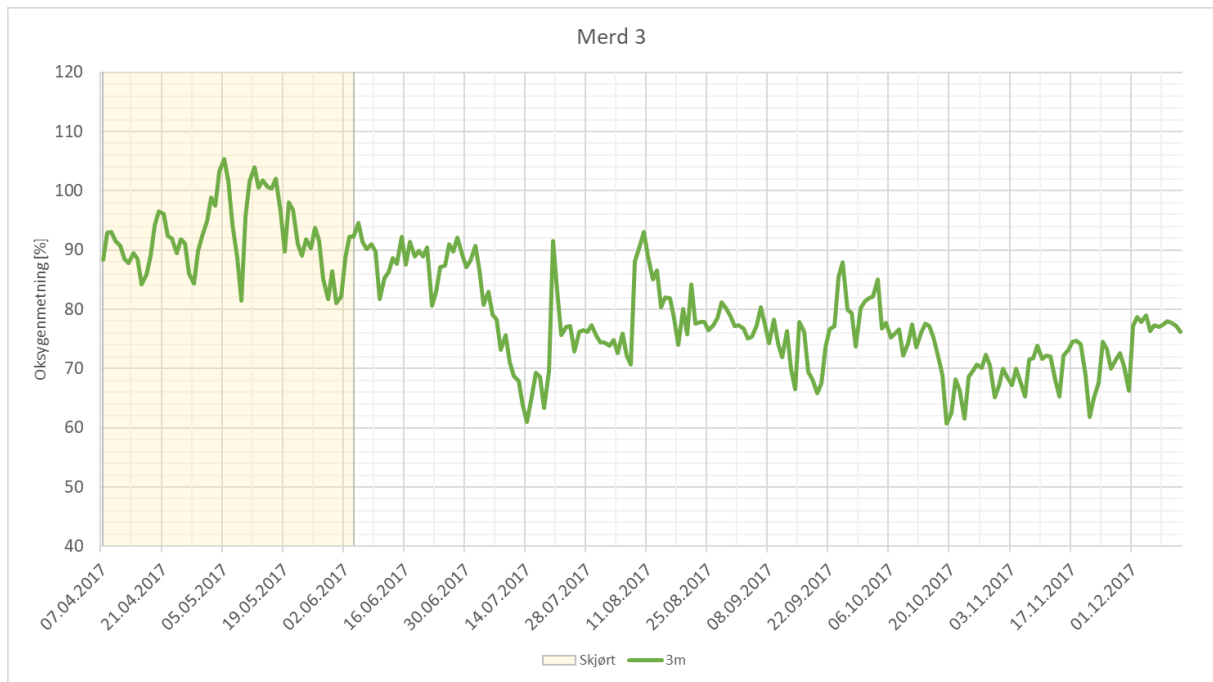
Figur 16 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 2

Merd 2 er en av merdene med Solvox DropIn og har dermed målinger på tre, fem og ti meters dybde (Figur 16). Grunnet tekniske feil ble det ikke registrert målinger på ti meters dybde før i juni. Oksygenmetningen på tre og fem meter flukserte mellom 80 og 110% når luseskjørt var påmontert fra starten av april til starten av juni. I juni og juli splittet nivåene seg, hvorav metningen på ti meters dybde var tidvis overmettet, mens metningen på fem og tre meter sank noe. Metningen på tre meters dybde krøp under 70% en kortere periode i juni, til tross for at det ikke var påmontert luseskjørt. Fra og med august og ut året var tendensen at metningen på tre og ti meter lå samlet, mens oksygenmetning målt på fem meter i underkant av disse. Målingene viser tendensen av en metningstopp i slutten av juli, før metningen gikk ned og stabiliserte seg rundt 70% utover sensommeren og høsten. Mot vinteren steg metningen igjen, slik som observert i merd 1.



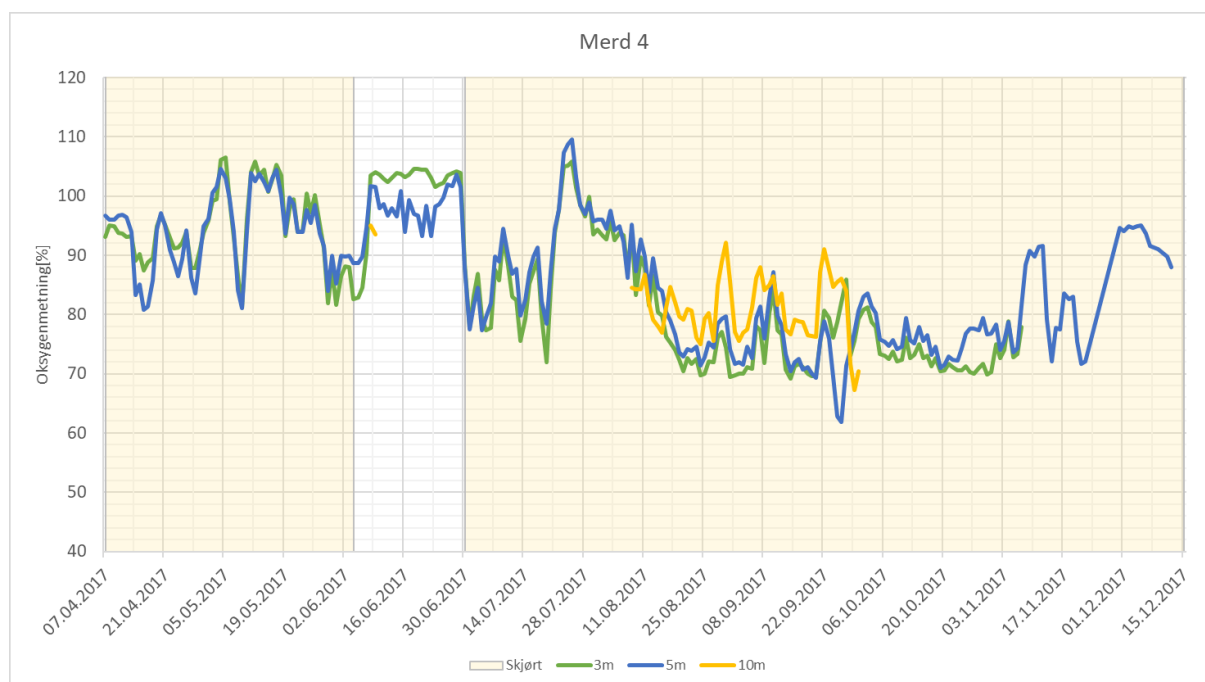
Figur 17 – Oksygenforbruk per enhet i merd 2

Oksygenforbruket til merd 2 (Figur 17) viser at det var lite oksygenering før juni. Det ble ikke oksygenert mens luseskjørtet var av mellom 04.juni og 25.juni. I etterkant av at skjørtet ble satt på igjen var det et betydelig forbruk over et par uker, før en periode uten oksygenering til august. Fra midten av august ble det oksygenert noe, men det var ikke før i september forbruket fikk en markant endring. Målingene viser også at andre Solvox DropIn ble satt inn 21.september 2017, og etter dette var forbruket fordelt ganske jevnt mellom de to enhetene ut produksjonssyklusen.



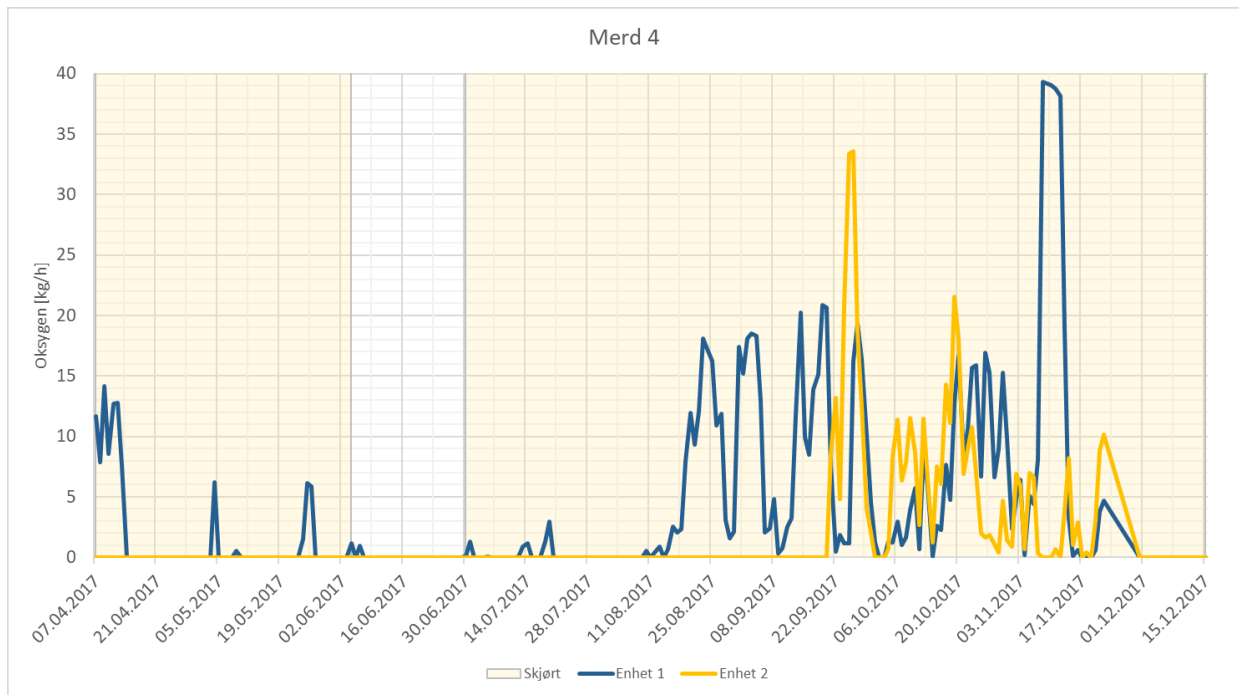
Figur 18 – Oksygenmetning på 3m i merd 3

Fra starten av april til starten av juni flukserte oksygenmetningen i merd 3 rundt 90 %. Denne perioden hadde merden også påmontert luseskjørt. 4.juni ble luseskjørtet tatt av og det er videre målt en svak nedadgående trend i oksygenmetning til slutten av november, hvor metningen stabiliserte seg rundt 70 %.



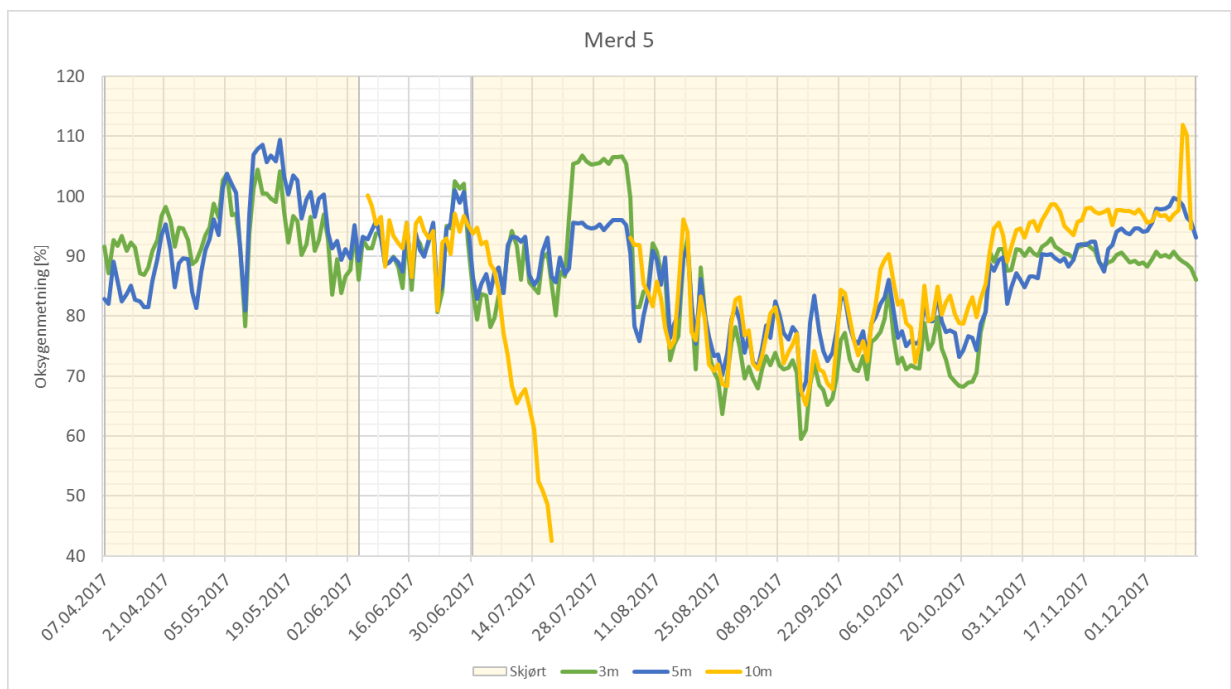
Figur 19 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 4

Merd 4 er en merd med Solvox DropIn, og derav målinger av oksygenmetning på tre, fem og ti meters dybde (Figur 19). Teknisk feil gjorde at sensoren på ti meter registrerte målinger kun i en kort tidsperiode mellom juni og oktober. På lik linje med merd 2 var oksygenmetningen på tre og fem meter sentrert rundt 90% fra starten av april og til juni. Etter at skjørtet var tatt av lå metningen relativt stabilt, sammenlignet med målingene før. Metningen lå rundt 100% i perioden mellom 10.juni og 30.juni. Etter 30.juni falt metningen noe. En markant metningstopp fant sted mot slutten av juni, etterfulgt av en nedadgående trend som stabiliserte seg i overkant av 70% i september. Målinger på tre meters dybde falt ut i midten av november, og metningen på fem meter steg mot vinteren.



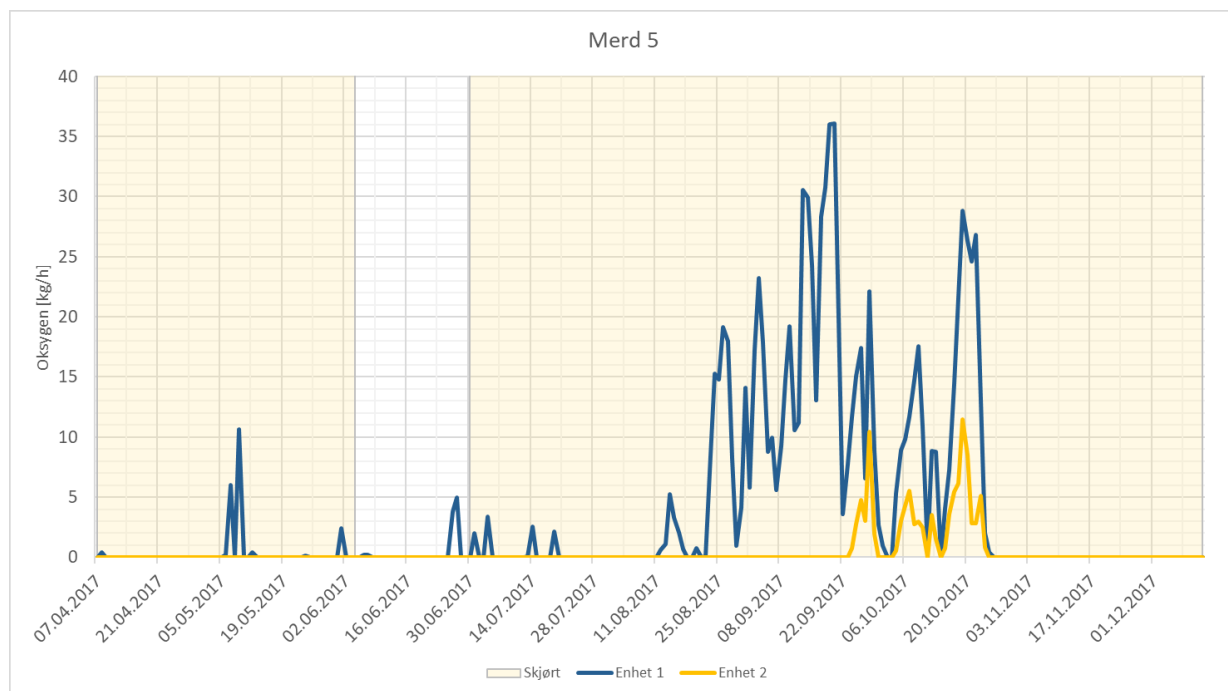
Figur 20 – Oksygenflyt per enhet i merd 4

Oksygenforbruket til merd 4 (Figur 20) viser stort sett de samme trekkene som i merd 2. Merd 4 brukte noe oksygen helt i starten av april, men det var lite eller null forbruk helt til august. I august og i etterkant ble det brukt oksygen jevnt over, men mengden ble fordelt noe ulikt mellom de to enhetene etter at andre Solvox DropIn var satt inn 21. september.



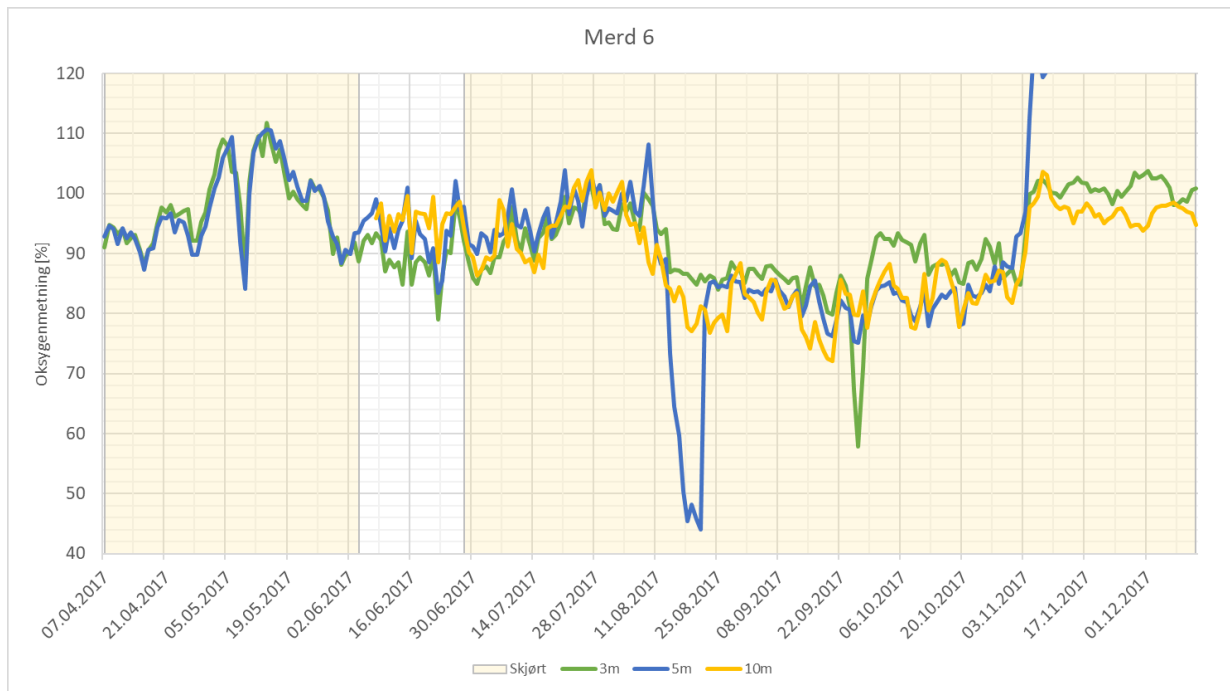
Figur 21 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 5

Merd 5 er med Solvox DropIn I denne merden er sensoren på ti meters dybde også beheftet med tekniske feil. Det kan se ut til at de tre dybdene i merd 5 har mindre spredning enn det som er observert i de foregående merdene med Solvox, men viser den samme trenden med nedgangsperiode på sensommeren og gjennom høsten, før metningen øker igjen til vinteren.



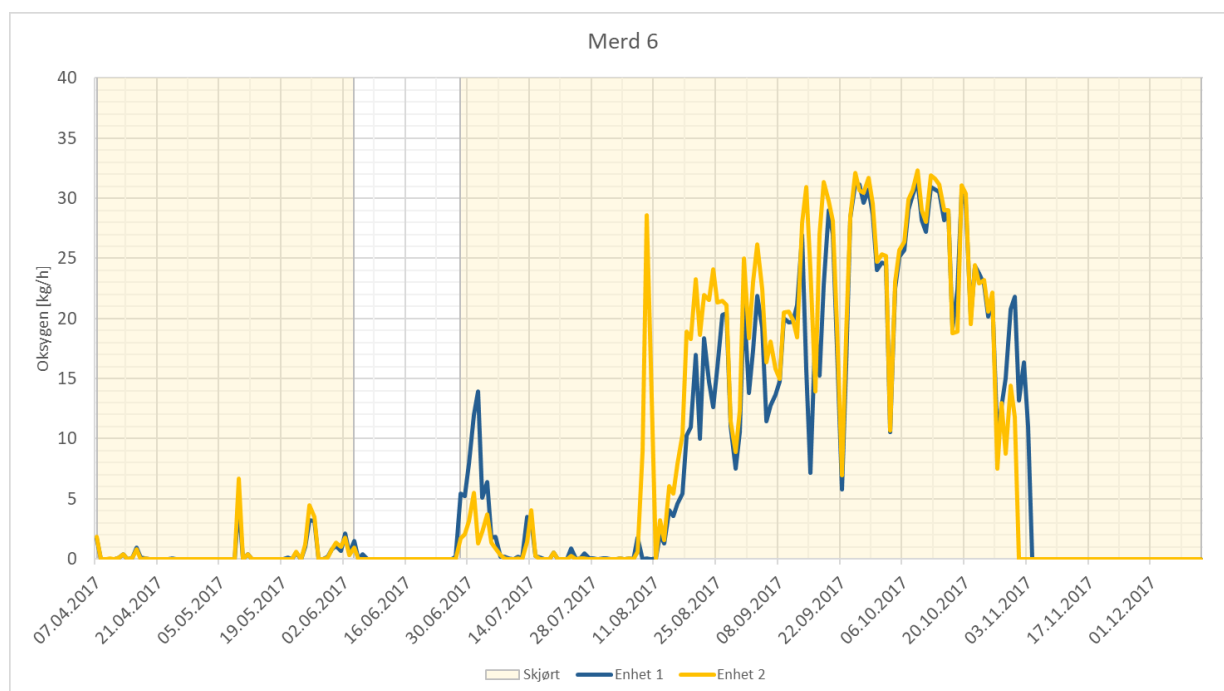
Figur 22 – Oksygenflyt per enhet i merd 5

Merd 5 hadde også høyt forbruk på sensommer og høsten, men en kan se fra Figur 22 at forbruket var skjevt fordelt på de to enhetene.



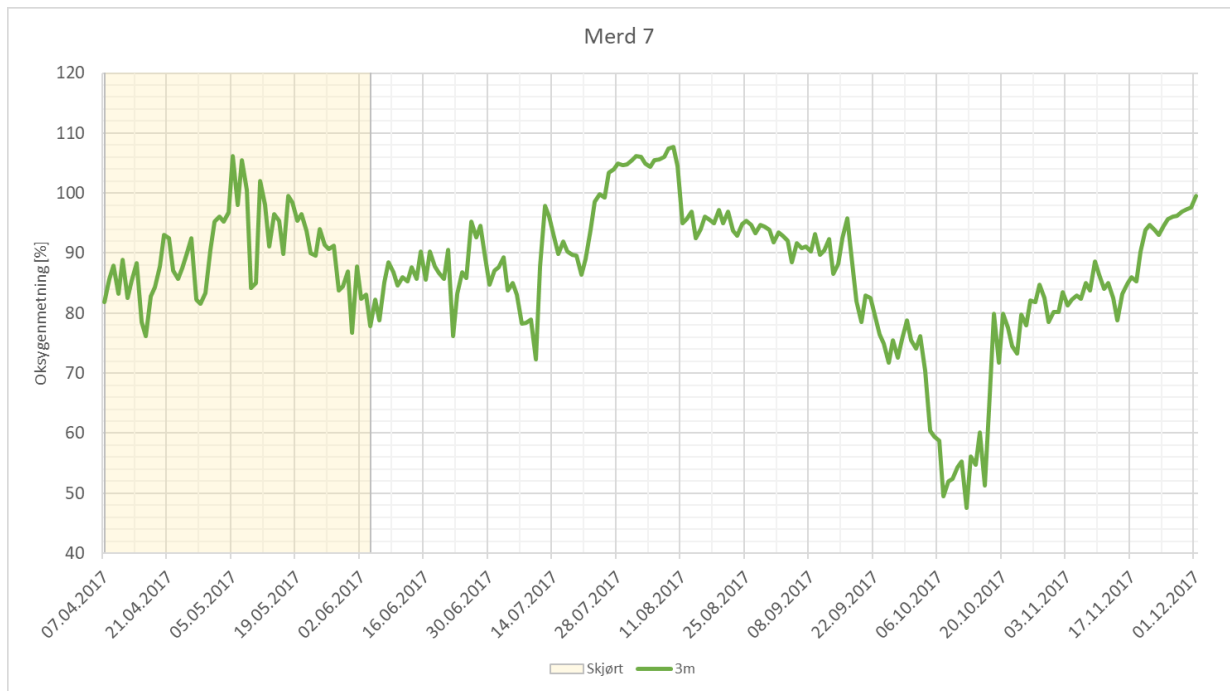
Figur 23 – Oksygenmetning på 3m, 5m og 10m i merd 6

Merd 6 har også metningsmålinger på tre, fem og ti meters dybde (Figur 23). Målingene på ti meter startet ikke før i juni grunnet teknisk feil. På lik linje med flere av de andre merdene flukserte metningen på tre og fem meter mellom 90% og 110% i den perioden luseskjørtet satt på, fra april til juni. Metningen på alle de tre dybdene sank og lå rundt 90% fra starten av juni til midten av juli. Herfra steg metningene noe før en nedadgående trend. I slutten av august var det et kraftig fall i metningen på 5 meters dybde som varte omtrentlig en uke. Metningene stabiliserte seg rundt 80% i starten av september, og fikk et markant hopp opp til 100% i starten av november.



Figur 24 – Oksygenflyt per enhet i merd 6

Merd 6 hadde dobbel Solvox DropIn fra start, men forbruket før juni var minimalt (Figur 24). Etter skjørtet ble satt på igjen 28.juni var det en mindre forbrukstopp med en gang, men det var lite oksygenering i juli generelt. I august og utover høsten ble det oksygenerert større mengder jevnlig, fordelt ganske likt mellom de to enhetene. Oksygeneringen stoppet i starten av november.



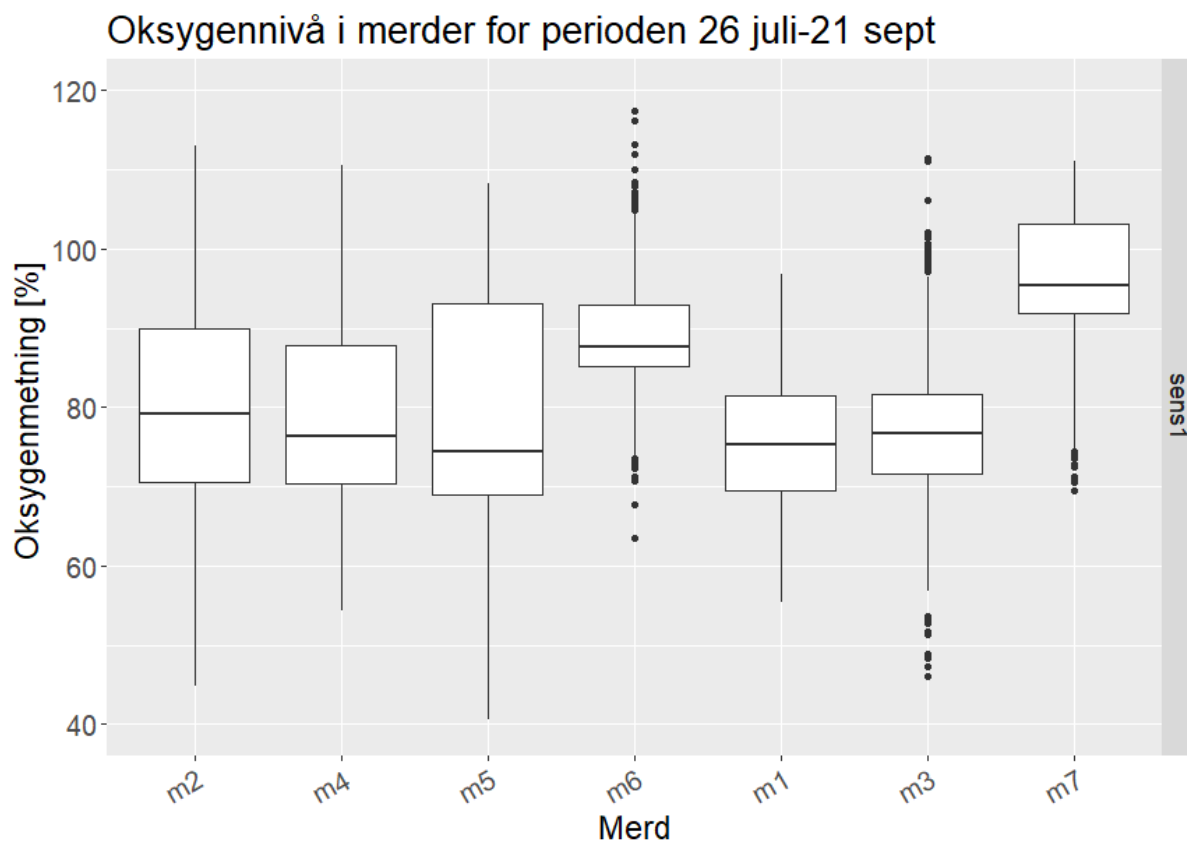
Figur 25 – Oksygenmetning på 3m i merd 7

Merd 7 er merd uten Solvox DropIn og har følgende kun målinger av oksygenmetning på tre meters dybde (Figur 25). Metningen fra april til september lå hovedsakelig mellom 80% og 100%. Lusekjørt satt på fra starten av april til starten av juni. I september sank metningen drastisk. Det er registrert oksygenmetning under 50% i denne metningsbunnen. Metningen hoppet opp igjen til rundt 80% i starten av november, og steg stabilt mot 100% til starten av desember

6.2 Statistisk analyse

6.2.1 Periode 1: 26.juli – 21.september

Merdene er gruppert etter om de er med Oxyskjold eller ikke i boxplottet nedenfor (Figur 26). Merd 2, merd 4 og merd 5 har alle første kvantil rundt 70% og tredje kvantil rundt 90%. Medianene for disse tre ligger mellom 75% og 80%. Merd 6 har vesentlig høyere median som er rundt av 87%, med første kvantil på 85% og tredje kvantil på 92%. Merd 1 og merd 3 har første kvantil rundt 70%, tredje kvantil rundt 80% og median 86%. Merd 7 skiller seg noe ut med median på 95%, første kvantil rundt 92% og tredjekvantil over 100%.



Figur 26 – Boxplot av oksygenmetning for periode 1: 26 juli - 21 september

Tabellen nedenfor viser nøkkeltall fra den statistiske analysen i periode 1 (Tabell 6). Behandling 1 er gruppen merder med Oxyskjold og behandling 2 er gruppen merder uten.

Tabellen viser nøkkeltall for dataene. Her vises informasjon om antall observasjoner, gjennomsnitt, standardavvik, min- og maksverdier. Her er behandling 1 merder med skjørt og oksygentilførsel, mens behandling 2 er merdene uten skjørt. Det kan leses av tabellen at det begge behandlingene gir nesten helt like gjennomsnitt i overkant av 82%, og at standardavviket for begge ligger i mellom 12% og 13%.

Tabell 6 – Nøkkeltall for periode 1

Analysis Variable : ox						
behand	N Obs	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
1	5568	5328	82.3246097	12.7082923	40.5300000	117.4175000
2	4176	3744	82.9186542	12.4784940	44.7750000	111.4300000

Tabell 7 – Kovarians for periode 1

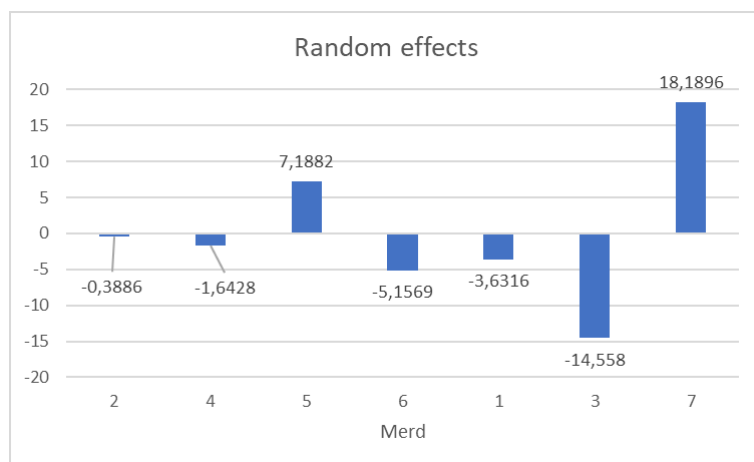
Covariance Parameter Estimates	
Cov Parm	Estimates
Merd(behand)	127,66
Residual	48,1406

Videre viser analysen at kovariansen mellom merder med og uten Oxyskjold er omtrent 2,5 ganger større enn residualen (Tabell 7). Altså er variasjonen mellom merder vesentlig større enn variasjonen innad i merdene.

Tabell 8 – Solution for Fixed Effects i periode 1

Solution for Fixed Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept			88.8436	6.5323	5	13.60	<.0001
behand	1		15.4983	8.6409	5	1.79	0.1328
behand	2		0	.	.	.	.
dag(behand*merd)	1	2	-0.05431	0.002003	9051	-27.11	<.0001
dag(behand*merd)	1	4	-0.05888	0.001851	9051	-31.81	<.0001
dag(behand*merd)	1	5	-0.07510	0.001851	9051	-40.57	<.0001
dag(behand*merd)	1	6	-0.00990	0.001851	9051	-5.35	<.0001
dag(behand*merd)	2	1	-0.03115	0.003081	9051	-10.11	<.0001
dag(behand*merd)	2	3	0.02424	0.001851	9051	13.09	<.0001
dag(behand*merd)	2	7	-0.01628	0.001851	9051	-8.80	<.0001
dag2(behand*merd)	1	2	0.000024	1.525E-6	9051	15.43	<.0001
dag2(behand*merd)	1	4	0.000027	1.287E-6	9051	21.27	<.0001
dag2(behand*merd)	1	5	0.000035	1.287E-6	9051	27.41	<.0001
dag2(behand*merd)	1	6	-0.00001	1.287E-6	9051	-8.86	<.0001
dag2(behand*merd)	2	1	0.000018	2.988E-6	9051	6.16	<.0001
dag2(behand*merd)	2	3	-0.00002	1.287E-6	9051	-18.10	<.0001
dag2(behand*merd)	2	7	-1.71E-6	1.287E-6	9051	-1.33	0.1830

Ut fra estimatkolonnen i tabellen over kan det observeres at analysen gir merdene en flat eller svak nedgang i endring i oksygenmetning fra analyseperiodens start til slutt (Tabell 8). Analysen viser en svak signifikant nedgang i oksygennivå som følge av tid.



Figur 27 – Merdeffekt for periode 1

De blå stolpene viser spredningen som følge av merdeeffekten. Summen av disse verdiene skal bli null i samme gruppe/behandling. Jo større spredningen er, jo større er variasjonen innad i gruppen. Merdene er gruppert etter om de har Oxyskjold eller ikke. Behandling 1 viser en mindre variasjon som følge av random-effekter enn behandling 2, hvor spesielt merd 3 og 7 viser sprikende oksygenverdier med henholdsvis -14,5 og 18,2 (Figur 27).

Analysen viser at det ikke ble funnet noen signifikant forskjell mellom merder med Oxyskjold og merder uten i perioden juli-september med et signifikansnivå på 5 % (Tabell 9).

Tabell 9 – Type 3 test for periode 1

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
behand	1	5	3.22	0.1328

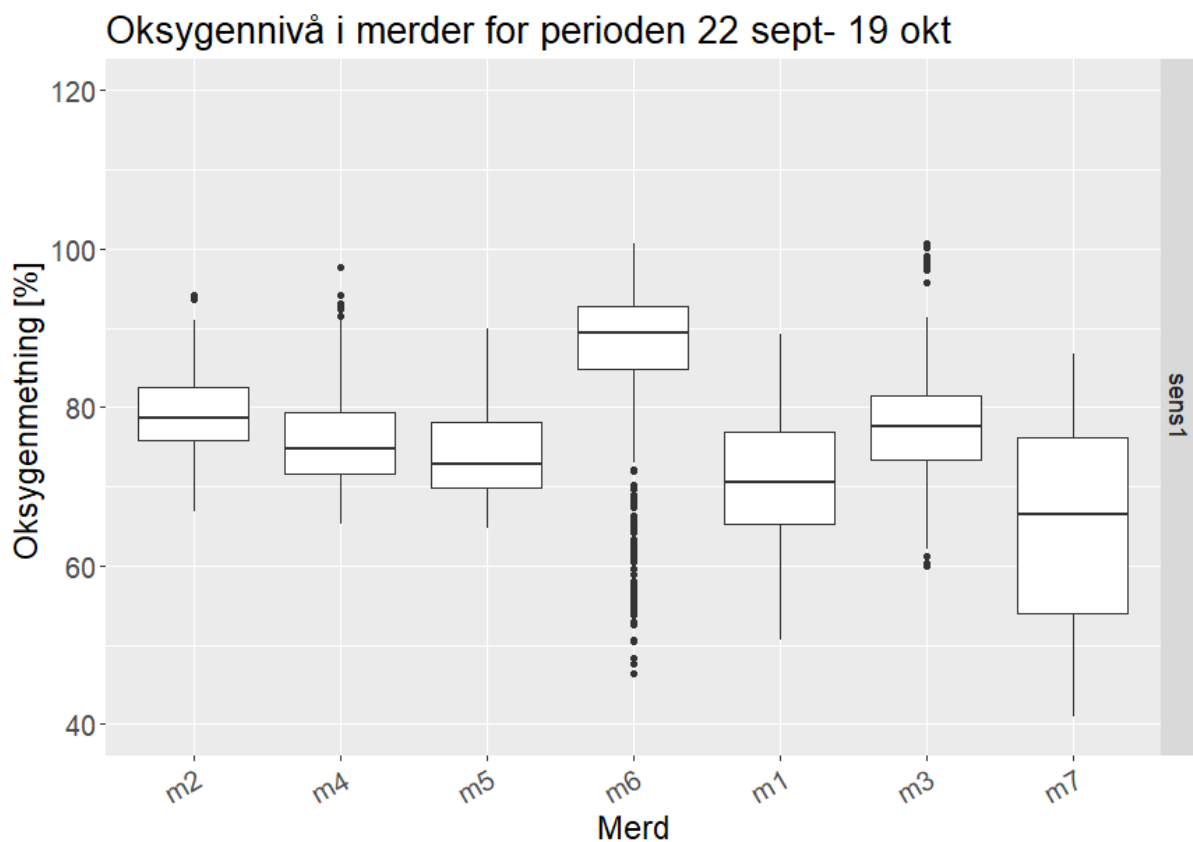
Videre viser analysen at standardfeilen på merdene er så stor at behandlingene overlapper det samme intervallet, som også sier at det ikke er statistisk signifikans mellom dem (Tabell 10).

Tabell 10 – Minste kvadraters metode for periode 1

Least Squares Means						
Effect	behand	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
behand	1	82.6212	5.6501	5	14.62	<.0001
behand	2	82.4348	6.5251	5	12.63	<.0001

6.2.2 Periode 2: 22.september 2017 – 19.oktober 2017

I Boxplottet nedenfor er merdene gruppert etter om de har Oxykjold eller ikke (Figur 28).



Figur 28 – Oksygennivå for 22 september - 19 oktober

Merd 2 har fortsatt medianen rett i underkant av 80 %, mens, første og andre kvantil har samlet seg til omtrentlig 76% og 72%. Merd 4 har en median lik 75 % og kvantiler på henholdsvis 72 % og 79 %. Merd 5 har en median på 73 % med første kvantil på 70 % og tredje kvantil på 78 %. Merd 6 har en høyere median lik 89 % og kvantiler på 85 % og 93 %. Merd 1 sin median ligger på 70 % og første kvantil ligger på 66 %. Tredje kvantil på 77 %. Merd 3 har median rundt 75% med første kvantil omtrentlig på 72% og tredje kvantil på 88%. Merd syv har den laveste medianen på 67 %, første kvantil 55 % og tredje kvantil på 76 %.

Gjennomsnittet (Mean) mellom behandling 1 og 2 er på 8 prosent, så det er en større differanse i perioden sept-okt enn den første perioden. En kan altså se en tendens ut fra gjennomsnittet at merdene med skjørt og oksygenbehandling har et høyere gjennomsnitt enn merder uten skjørt (Tabell 11).

Tabell 11 – Nøkkeltall periode 2

Analysis Variable : ox						
behandling	N Obs	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
1	2588	2588	79.0951391	8.2069463	46.3275000	100.7175000
2	1940	1892	71.3174157	10.7236671	40.8566667	100.6775000

Tabell 12 – Kovarians for periode 2

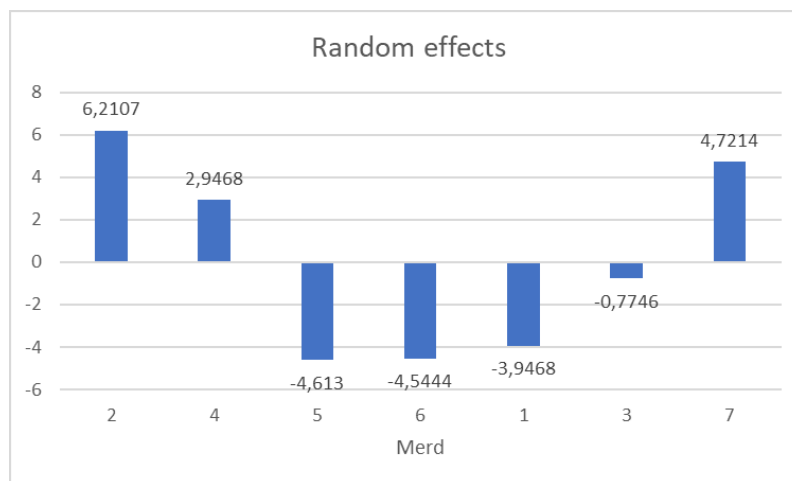
Covariance Parameter Estimates	
Cov Parm	Estimate
Merd(behand)	26,1828
Residual	45,9129

Videre viser analysen at kovariansen mellom merder med og uten Oxyskjold er omtrent halvparten av residualen (Tabell 12). Altså er variasjonen mellom merder i periode 2 mindre enn variasjonen innad i merdene.

Tabell 13 – Solution for Fixed Effects

Solution for Fixed Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept			81.3330	2.9941	5	27.16	<.0001
behand	1		-3.5793	3.9586	5	-0.90	0.4074
behand	2		0	.	.	.	.
dag(behand*merd)	1	2	-0.01926	0.005662	4459	-3.40	0.0007
dag(behand*merd)	1	4	-0.01490	0.005662	4459	-2.63	0.0085
dag(behand*merd)	1	5	0.01628	0.005662	4459	2.88	0.0041
dag(behand*merd)	1	6	0.08704	0.005662	4459	15.37	<.0001
dag(behand*merd)	2	1	-0.01592	0.006182	4459	-2.58	0.0100
dag(behand*merd)	2	3	0.002144	0.005666	4459	0.38	0.7051
dag(behand*merd)	2	7	-0.1186	0.005699	4459	-20.80	<.0001
dag2(behand*merd)	1	2	0.000012	8.463E-6	4459	1.37	0.1717
dag2(behand*merd)	1	4	1.04E-6	8.463E-6	4459	0.12	0.9022
dag2(behand*merd)	1	5	-0.00003	8.463E-6	4459	-3.42	0.0006
dag2(behand*merd)	1	6	-0.00011	8.463E-6	4459	-12.45	<.0001
dag2(behand*merd)	2	1	-7.34E-6	8.995E-6	4459	-0.82	0.4146
dag2(behand*merd)	2	3	-0.00003	8.468E-6	4459	-2.99	0.0028
dag2(behand*merd)	2	7	0.000125	8.526E-6	4459	14.62	<.0001

Ut fra estimatkolonnen i tabellen over kan det observeres at regresjonen gir merdene en signifikant flat eller svak nedgang i oksygenmetning fra analyseperiodens start til slutt.



Figur 29 – Merdeeffekt for periode 2

Merdene er gruppert etter om de har Oxyskjold eller ikke. Behandling 1 varierer mellom 6,2 i merd 2 og -4,6 i merd 5. Behandling 2 varierer mellom -3.9 i merd 1 og 4,7 i merd 7 (Figur 29).

Med en p-verdi lik 0,4074 har ikke analysen funnet signifikant forskjell i periode 2 mellom merder med Oxyskjold og merder uten, gitt et signifikansnivå på 5 %.

Tabell 14 - Type 3 test for periode 2

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
behand	1	5	0.82	0.4074

En kan se fra Tabell 15 at standardfeilen (standard error) er på mellom 2.5 og 3. Dette gjør at behandling 1 dekker intervallet fra 74 til 84, mens behandling 2 dekker intervallet fra 65 til 76. Variasjonen til gruppene dekker hverandre. Dette tilsier ikke statistisk signifikante resultater.

Tabell 15 – Minste kvadraters metode

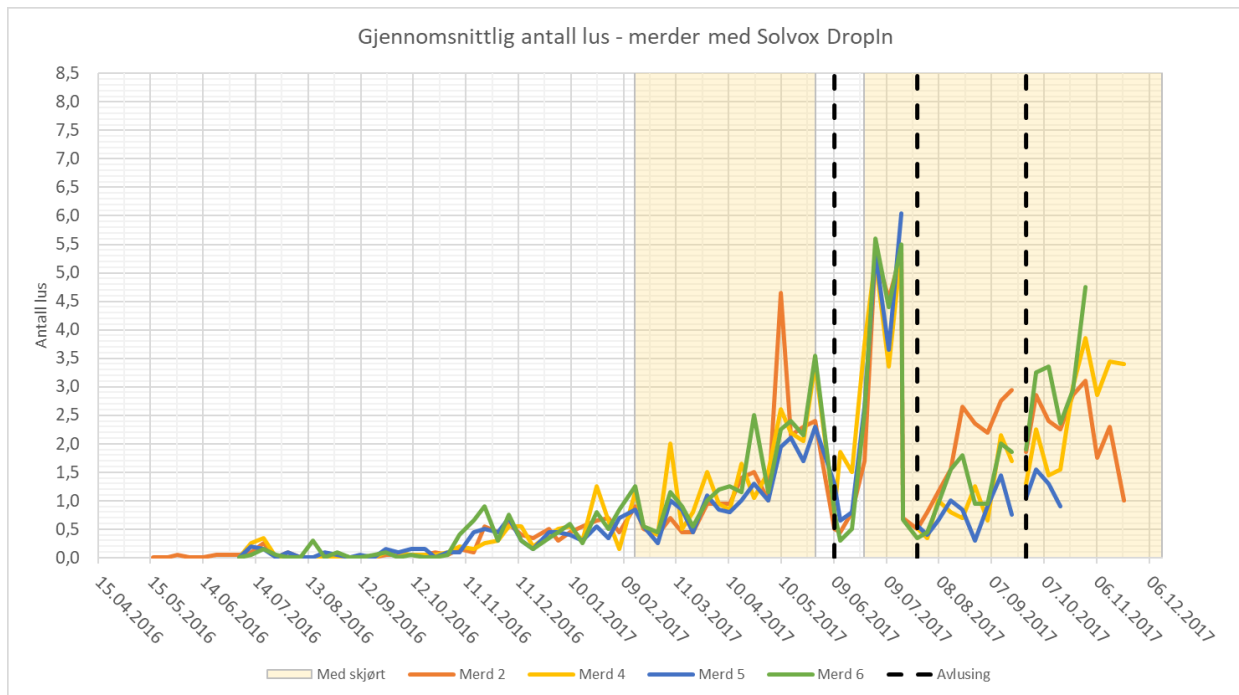
Least Squares Means						
Effect	behand	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
behand	1	79.0996	2.5619	5	30.88	<.0001
behand	2	71.2675	2.9584	5	24.09	<.0001

For fullstendig SAS-output, se vedlegg 5.

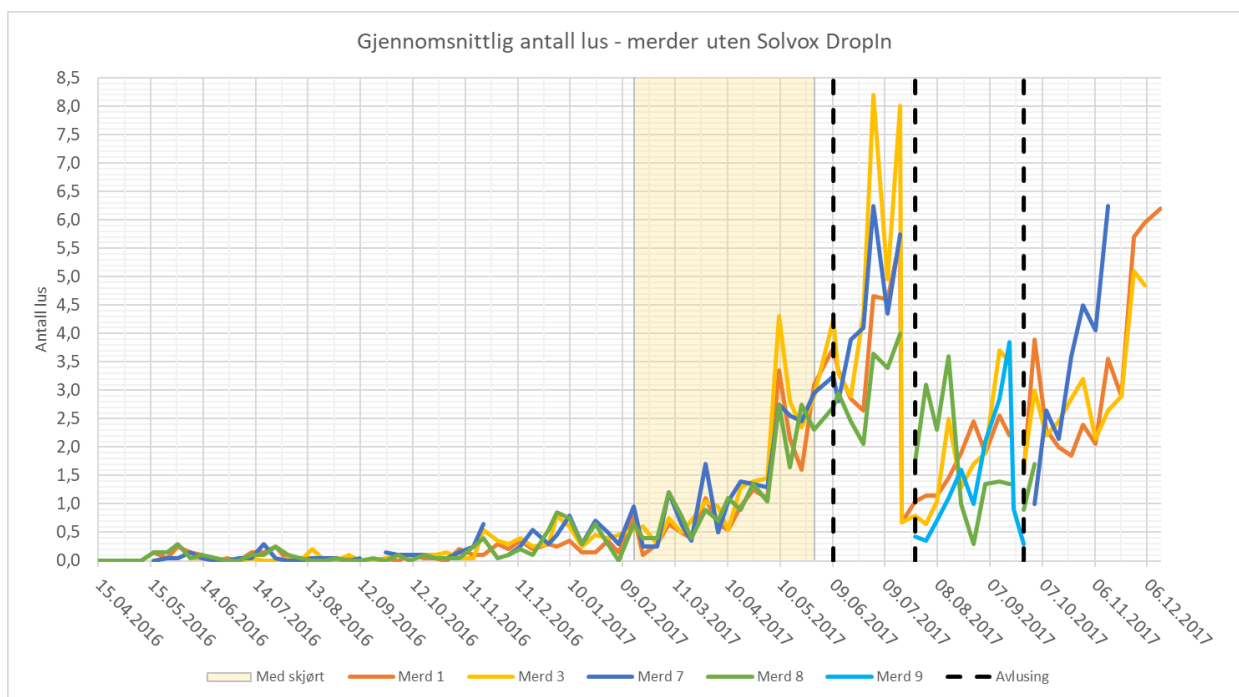
6.3 Lusetellinger

6.3.1 Merder - Med og uten Oxyskjold

Det gjennomsnittlige totale antallet lus per individ var ganske moderat fram til alle merder fikk luseskjørt 15.februar 2017 (Figur 30 & Figur 31). I perioden fra februar 2017 til juni hadde alle merder luseskjørt, og utviklingen av lusepåslag foregikk likt frem til avlusing 7. og 8. juni. Alle luseskjørt ble tatt av 4.juni 2017, men kun merder med oksygenering fikk de på igjen i slutten av juni. Det kan observeres at merder med luseskjørt i perioden 8.juni til 23.juni hadde omtrentlig like påslag. Merder uten luseskjørt hadde både tellingen med flest og færrest lus i samme periode. Det kan se ut som om det var mindre variasjon i antall lusepåslag i merder med skjørt etter avlusing 25.juli, sammenlignet med merder uten luseskjørt.



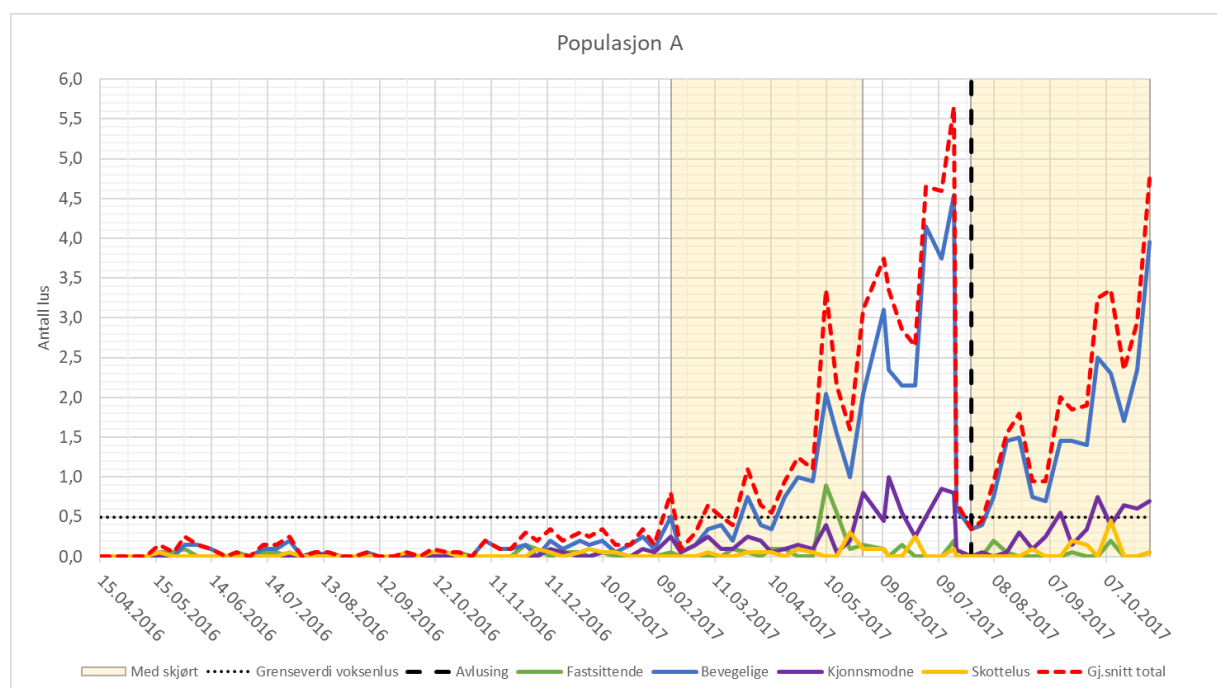
Figur 30 – Gjennomsnittlig antall lus i merder med Solvox Dropln



Figur 31 – Gjennomsnittlig antall lus i merder uten Solvox Dropln

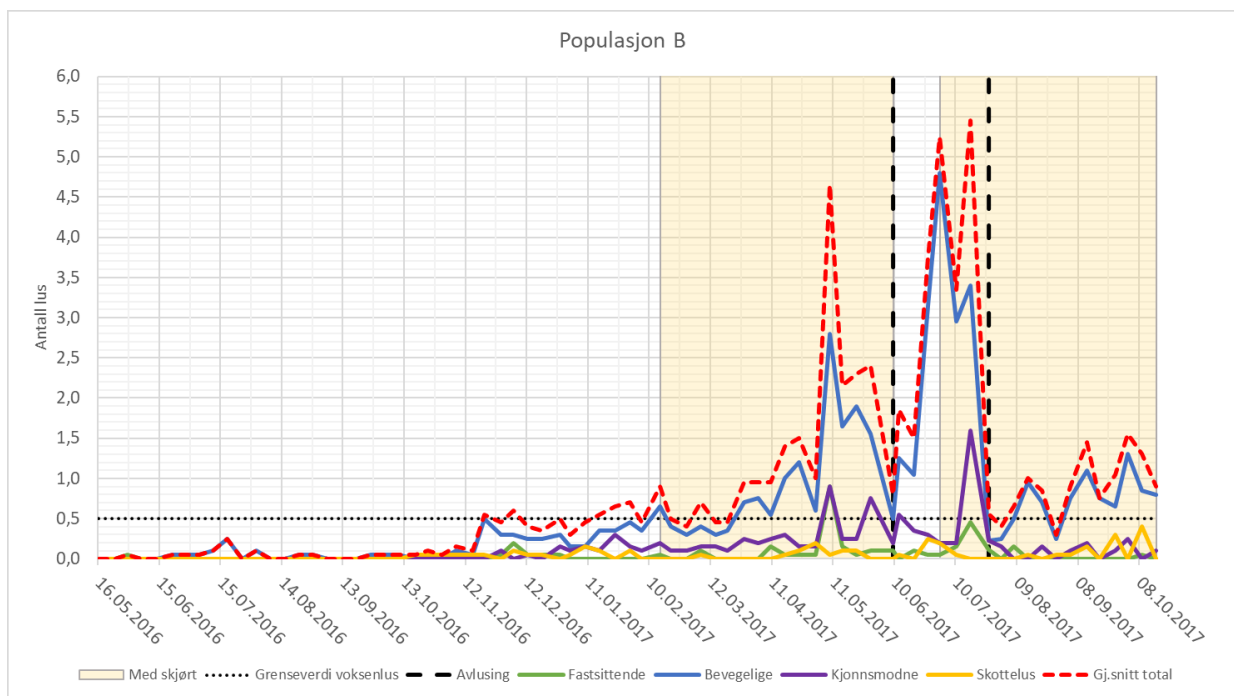
6.3.2 Utvalgte populasjoner

Lusa hadde allerede satt seg i populasjon A i det skjørtet ble påmontert 15.februar 2017, og påslaget økte gradvis i etterkant av påmonteringen (Figur 32). Rundt 10.mai 2017 er det registrert en plutselig økning i antall lus. Etter at skjørtet ble fjernet 04.juni 2017 fortsatte økningen og nådde sitt toppunkt før avlusing 23.juli 2017. En merkelig observasjon er det store fallet i lakselus rett før avlusing. I tiden etter avlusing var økningen av tilvarende perioden før avlusing. Mens fastsittende og kjønnsmodne lakselus, og skottelus, holdt seg ganske lavt var det den bevegelige lakselusa som utgjorde de største svingningene i totalt antall gjennomsnittlig lus. Populasjon G har flere likhetstrekk med populasjon A. Se vedlegg X for figur av populasjon G.



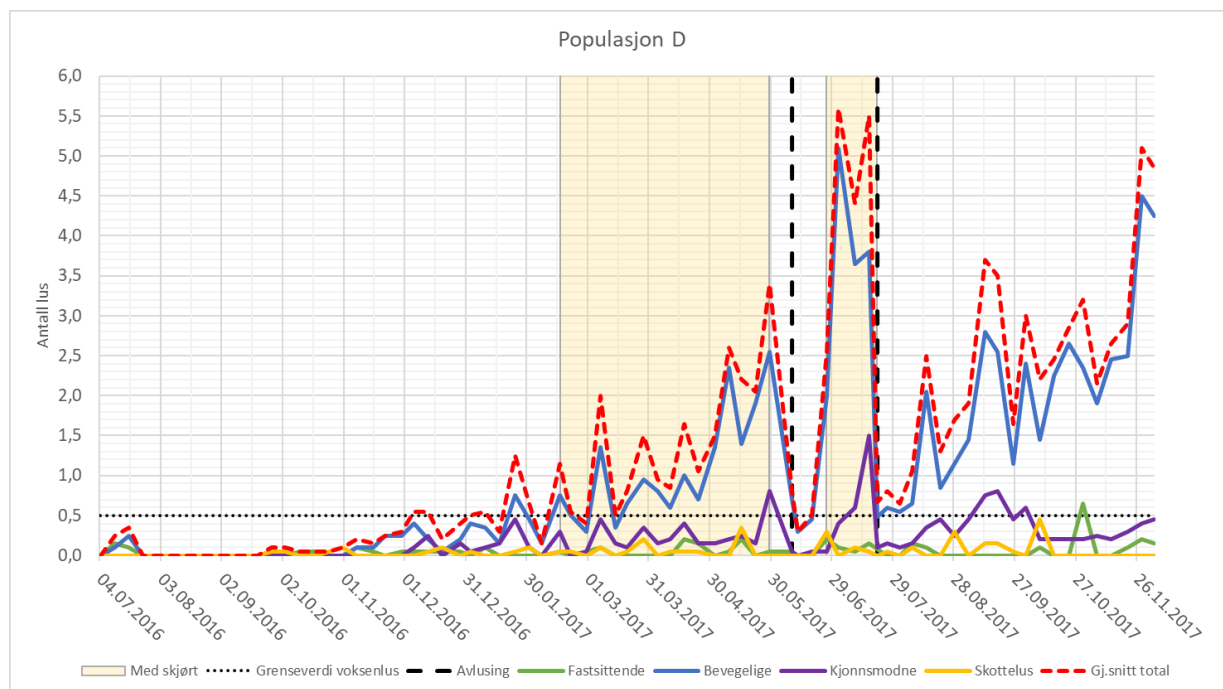
Figur 32 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon A

Populasjon B hadde også et lite lusepåslag før luseskjørtet ble påmontert 15.februar 2017 (Figur 33). I likhet med populasjon A var det et plutselig hopp i antall lus rundt 10.mai. Mellom avlusing 07.juni og 24.juli hadde populasjon B det største påslaget av lus. I tiden etter siste avlusing ble det funnet færre lus sammenlignet med populasjon A. Det var den bevegelige lakselusa som utgjorde det største gjennomsnittlige antallet lus i denne populasjonen også. Populasjon C har flere likhetstrekk med populasjon B. Se vedlegg 3 for figur av populasjon C.



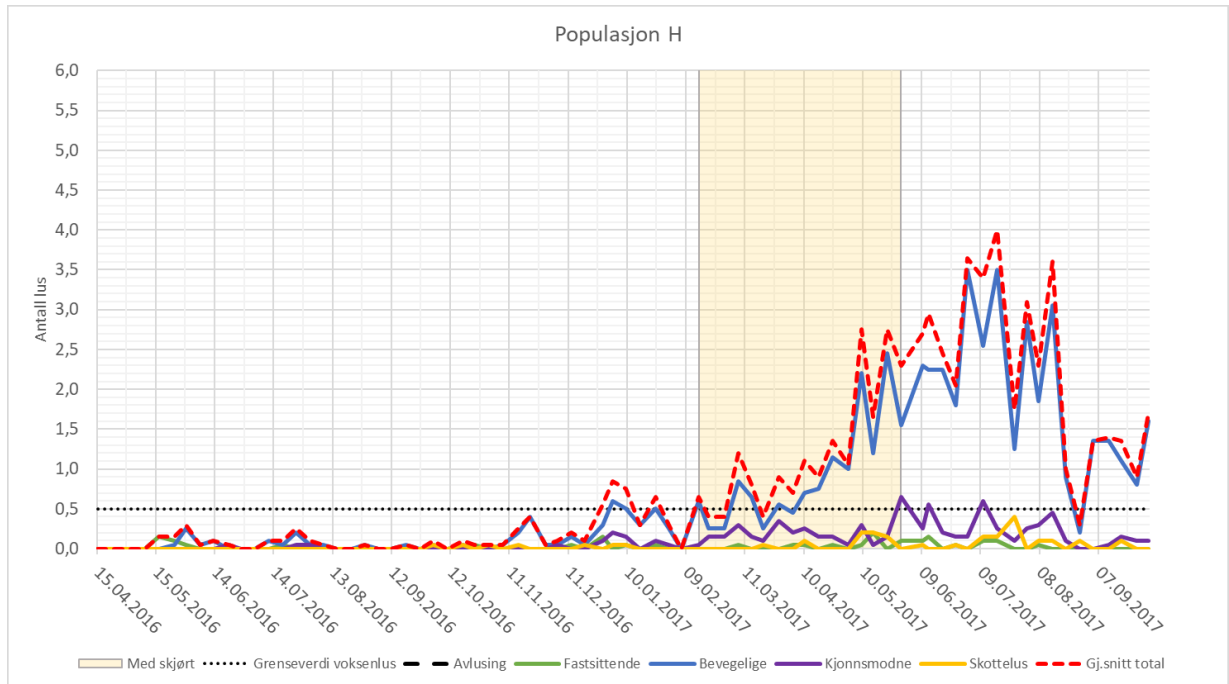
Figur 33 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon B

Det ble funnet flere lus i tiden før avlusing 7.juni 2017 i Populasjon D (Figur 34), i forhold til de foregående populasjonene som hadde et tydeligere hopp rundt 10.mai 2017. Populasjon D hadde ikke luseskjørt etter avlusing 23.juli, og en det er registrert en tydelig økning av lakselus før slakt i november. Populasjon E og F har flere likhetstrekk med populasjon D. Se vedlegg 3 for populasjon E og F.



Figur 34 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon D

Populasjon H skiller seg ut fra de andre populasjonene, siden denne ikke hadde behov for avlusing. Lusepåslaget i populasjon H var tilsvarende populasjon A og B før lueskjørtet ble satt på 15.februar 2017 og til det ble tatt av 4.juni. Etter dette forholdt luseantallet seg på et lavere nivå til populasjonen ble slaktet (Figur 35). Det kan observeres fra figuren at kjønnsmodne lus stort sett holder seg under grensen på 0,5.



Figur 35 – Gjennomsnittlig antall lus for populasjon H

Det totale antallet lus og individer kontrollert for alle populasjoner finnes i vedlegg 3.

6.4 Resultater verdikalkulator følsomhetsanalyse

I dette delkapittelet presenteres resultater fra følsomhetsanalyse av verdikalkulatoren. Resultatene deles inn i en rekke tester, hvorav en test viser tre utfall, hvor en variabel er endret og resten er holdt konstant. Antall merder ble holdt fast i alle tester.

6.4.1 Test 1 – Endring i settpunkt og verdien av biomasse

Tabell 16 - Input og output verdikalkulator: Verdi = 15 NOK/kg ; Settpunkt 6-8 mg/l

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	329 356	658 712
Antall Solvox Dropln	1	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet vekstgevinst	1 844	27 653
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet fortjeneste		<u>- 631 059</u>
Verdi av 1 kg biomasse	15			
Oksygenpris pr. kg	2,0			

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	515 309	1 030 618
Antall Solvox Dropln	1	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet vekstgevinst	34 907	523 601
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	7,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet fortjeneste		<u>- 507 018</u>
Verdi av 1 kg biomasse	15			
Oksygenpris pr. kg	2,0			

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	1 525 658
Antall Solvox Dropln	1	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet vekstgevinst	112 364	1 685 461
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet fortjeneste		<u>159 804</u>
Verdi av 1 kg biomasse	15			
Oksygenpris pr. kg	2,0			

Med et settpunkt lik 6 mg/l ble det forventede forbruket av oksygen 330 tonn, og den forventede vekstgevinsten i underkant av 2 tonn. Med en verdi av biomasse på 15 NOK/kg resulterte dette i en forventet totalkostnad på 630 000 NOK (Tabell 16). Ved å øke settpunktet for oksygenering til 7 mg/l ble det forventede forbruket av oksygen omtrentlig 500 tonn oksygen, med en forventet vekstgevinst lik 35 tonn. Den forventede totalkostnaden ble dermed i overkant av 500 000 NOK. Ved å øke settpunktet ytterligere til 8 mg/l økte oksygenforbruket til 760 tonn, med en vekstgevinst lik 112 tonn, som resulterte i en forventet fortjeneste lik 160 000 NOK.

Tabell 17 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 20 NOK/kg ; Settpunkt 6-8 mg/l

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	329 356	658 712
Antall Solvox Dropln	1			
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	1 844	36 870
Verdi av 1 kg biomasse	20			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>- 621 842</u>

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	515 309	1 030 618
Antall Solvox Dropln	1			
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	7,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	34 907	698 134
Verdi av 1 kg biomasse	20			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>- 332 484</u>

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	1 525 658
Antall Solvox Dropln	1			
Dekningsgrad per Solvox Dropln	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	112 364	2 247 282
Verdi av 1 kg biomasse	20			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>721 624</u>

Ettersom settpunktet har det samme intervallet og det andre variablene holdes fast vil forbruket og vekstgevinsten for de tre resultatene (Tabell 17). Med en verdi av biomasse på 20 NOK/kg resulterer et settpunkt for oksygenering på 6 mg/l en forventet totalkostnad på omtrent 620 000 NOK. Ved å øke settpunktet til 7 mg/l halveres den forventede totalkostnaden til 330 000 NOK, og ved ytterligere økning av settpunkt til 8 mg/l ga dette en forventet fortjeneste lik 720 000 NOK.

Tabell 18 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Settpunkt 6-8 mg/l

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	329 356	658 712
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	1 844	46 088
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste		<u>- 612 624</u>
INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	515 309	1 030 618
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	7,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	34 907	872 668
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste		<u>- 157 951</u>
INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	1 525 658
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	112 364	2 809 102
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste		<u>1 283 445</u>

Ved enda en økning på 5 NOK pr. kilogram biomasse og ellers de samme forholdene som de to foregående rundene, gir dette fortsatt en forventet totalkostnad i overkant av 600 000 NOK ved settpunkt lik 6 mg/l. Ved settpunkt lik 7 mg/l ble den forventede totalkostnaden 160 000 NOK. Ved settpunkt lik 8 mg/l ble den forventede fortjenesten rett i underkant av 1,3 millioner NOK (Tabell 18).

6.4.2 Test 2 – Dobbel Solvox DropIn

I test 2 ble effekten av å sette inn en ekstra Solvox DropIn. Verdier av biomasse settes til 25 NOK/kg, mens settpunktet varierer fra 6 til 8 mg/l.

Tabell 19 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; dobbel Solvox DropIn; Settpunkt 6-8 mg/l

INPUT		OUTPUT	
		kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	658 856
Antall Solvox DropIn	2		
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,0		
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	3 688
Verdi av 1 kg biomasse	25		
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste	
		<u>- 1 225 520</u>	
INPUT		OUTPUT	
		kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	1 036 750
Antall Solvox DropIn	2		
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	7,0		
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	70 219
Verdi av 1 kg biomasse	25		
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste	
		<u>- 318 018</u>	
INPUT		OUTPUT	
		kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	1 557 642
Antall Solvox DropIn	2		
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0		
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	229 465
Verdi av 1 kg biomasse	25		
Oksygenpris pr. kg	2,0	Forventet fortjeneste	
		<u>2 621 347</u>	

Med oksygenering med settpunkt 6 mg/l resulterte dette i et forventet oksygenforbruk på 660 tonn, og medfølgende 3,7 tonn vekstgevinst. Dette ga en forventet totalkostnad på 1,2 millioner NOK. Med settpunkt på 7 mg/l ga dette et forventet forbruk på 1 000 tonn oksygen og en vekstgevinst på 70 tonn. Dette resulterte i en forventet totalkostnad på 320 000 NOK. Med settpunkt på 8 mg/l ga en fortjeneste på 2,6 millioner NOK, som følge av et oksygenforbruk på 1 600 tonn oksygen og 230 tonn vekstgevinst (Tabell 19).

6.4.3 Test 3 – Endring av oksygenpris

Test 3 ser på hvordan prisen på oksygen påvirker sluttresultatet. Settpunktet settes til 8 mg/l, mens havnivået stilles tilbake til nivå 1.

Tabell 20 – Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Singel DropIn; settpunkt = 8mg/l; Oksygen = 2-4 NOK/kg

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	1 525 658
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	112 364	2 809 102
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>1 283 445</u>
INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	2 288 486
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	112 364	2 809 102
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	3,0			
		Forventet fortjeneste		<u>520 616</u>
INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	762 829	3 051 315
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	8,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	112 364	2 809 102
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	4,0			
		Forventet fortjeneste		<u>- 242 213</u>

Ettersom det er store mengder oksygen som er i omløp vil oksygenpris har en betydelig innvirkning på sluttresultatet. Ut fra kalkulatoren vil oksygenering opp til 8 mg/l gi et positivt sluttresultat både for 2 og 3 NOK/kg. Mellom 3 og 4 NOK/kg vil kostnaden til slutt overstige gevinsten som hentes ut.

6.4.4 Test 4 – Etterligning av Gulestø

Tabell 21 – Input og output verdikalkulator for etterligning av Gulestø

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	4	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	205 418	410 837
Antall Solvox DropIn	1			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	0	0
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	6,5			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,0	Forventet vekstgevinst	6 812	136 241
Verdi av 1 kg biomasse	20			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>- 274 596</u>

I etterligningen av Gulestø beregner verdikalkulatoren et forventet forbruk av oksygen lik 205 tonn, med en kostnad på 410 000 NOK (Tabell 21). Vekstgevinsten forventes å bli 6,8 tonn biomasse, og den totale forventede kostnaden er 275 000 NOK.

6.4.5 Test 5 - Scenario

Test 5 er satt opp for å imitere en plausibel setting sett i forhold virkeligheten. Resultatene fra test 5 settes sammen med mulige kostnader og besparelser knyttet til luseskjørt for å se på samspillet mellom luseskjørt og oksygenering i et økonomisk perspektiv.

Tabell 22 - Input og output verdikalkulator: Verdi = 25 NOK/kg; Dobbel DropIn; Settpunkt = 7 +0,5 mg/l; Oksygen = 2 NOK/kg

INPUT		OUTPUT		
			kg	NOK
Antall merder	8	Forventet forbruk for oksygenering til settpunkt	1 050 324	2 100 648
Antall Solvox DropIn	2			
Dekningsgrad per Solvox DropIn	30 %	Forventet ekstra forbruk for ønsket økning	236 946	473 892
Settpunkt for oksygenering [mg/l]	7,0			
Ønsket økning over settpunkt[mg/l]	0,5	Forventet vekstgevinst	144 836	3 620 908
Verdi av 1 kg biomasse	25			
Oksygenpris pr. kg	2,0			
		Forventet fortjeneste		<u>1 046 368</u>

Gitt en reduksjon i antall avlusinger til fra 3 til 2 på anlegget, vil dette tilsvare en reduksjon fra totalt 24 til 16 avlusinger. Ved en kostnad på 340 000 NOK per avlusing vil dette utgjøre en besparelse på 2,7 mill. NOK. Legges den forventede fortjenesten fra oksygenering på dette gir det en total gevinst på omtrent 3,7 millioner NOK som følge av besparelser og økt vekst.

7 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres først resultatene fra Gulestø opp mot teori og forsknings spørsmål. Etterfulgt diskuteres det som ligger bakenfor resultatene, blant annet metode og data.

7.1 Oksygenering og Oxyskjold

Alle merder hadde luseskjørt fra april til juni og oksygenmetning flukserte mellom 80% og 110%. Merdene uten oksygenering måtte ta av skjørtene i juni, blant annet grunnet lave oksygenverdier. Dette underbygger at luseskjørt kan forhindre vannutskiftningen i det skjermede volumet (Frank et al., 2013; Stien et al., 2012). Merder med Solvox DropIn hadde luseskjørt på under hele målingsperioden med unntak av de ukene det ble tatt av grunnet driftsmessige hensyn. Den statistiske analysen viste ingen signifikant forskjell hverken i periode en ($p_1 = 0,1328$) eller periode to ($p_2 = 0,4074$). Det vil med andre ord si at oksygeneringen opprettholdt oksygenmetningen i merder med skjørt tilsvarende metningen i sjøen. Analysen ble gjennomført i en tidsperiode som anses å være den mest krevende i forhold til oksygennivå i sjø. De varme høsttemperaturene i sjøen gjør at løseligheten til oksygen i vann synker, mens fiskens oksygenforbruk øker grunnet høyere metabolisme (Beveridge, 1996; Bjerknes et al., 2007). På bakgrunn av dette kan denne testen nærmest regnes som en stresstest. Det er derfor nærliggende å tro at oksygenering vil kunne opprettholde oksygenmetningen til havet gjennom hele produksjonssyklusen.

Det kan se ut til at oksygenmetningen i merd 6 ligger stabilt høyere i tidsperioden 12.august til 4.november, sammenlignet med de andre merdene med Oxyskjold (Figur 13). Selv om de statistiske testene ikke kunne skille ut merd 6, gir disse observasjonene grunnlag for å tro at oksygenering kan løfte metningen i det skjermede volumet over det som er i sjøen. Det kan diskuteres hva det vil kreve av oksygeneringen å løfte metningen opp til 100%, og muligens over, ettersom det vil være vanskeligere å diffusere oksygenet til vannet ved så høye metninger (Lekang, 2013).

Analysen viser stor variasjon i merdene. Merd 7 er en av merdene uten Solvox DropIn og har følgelig ikke luseskjørt etter 04.juni 2017. Oksygenmetningen i denne merden var høye i store deler av året, men faller betydelig i perioden mellom september og oktober (Figur 25). Merd 1 og merd 3 hadde heller ikke luseskjørt denne perioden, men har ikke samme fall i oksygenmetning. Det kan tolkes fra den store random-effekten at det finnes andre sammenhenger som påvirker oksygenmetningen i og mellom merdene som modellen ikke tar hensyn til (Figur 27 & Figur 29).

Retningen og hastigheten til vannstrømmer er en av hovedårsakene til utskiftningen av oksygen i skjørt. Vannet som strømmer under skjørtet, samt det vannet som bøyes av og under skjørtekanten, skaper sirkulasjon inne i skjørtet. Tidevann, utslipp av ferskvann fra elver og vindforhold påvirker strømningsforholdet i norske fjorder (Havforskningsinstituttet, 2014). Sammen med andre lokale forhold vil dette følgelig ha direkte påvirkning på utskiftningen innenfor luseskjørt. I tillegg vil avbøyingen rundt et luseskjørt føre til at hastigheten til vannstrømmer bak merden reduseres, noe som kan gi mindre utskiftning til bakenforliggende merder (Frank & Lien, 2015). Derfor vil plasseringen av merdene i forhold til hverandre kunne ha en effekt på resultatene.

Som følge av ulik temperatur og salinitet mellom vann i overflaten og havdypet kan det oppstå et horisontalt sprangsjikt kalt «pycnocline», som forhindrer at vannmassene over og under sjiktet blander seg vertikalt (Gnanadesikan, 1999). Dersom Pycnocline blir liggende så nærme havoverflaten at den skaper skille i nota i nærheten av skjørtekanten, kan dette potensielt føre til at hoveddelen av vannet som treffer luseskjørtet bøyes av rundt merden. Stimbevegelsen til biomassen inne i det skjermede volumet vil kunne bidra til å skape utskiftning. Vann over og under stimen trekkes mot senter, og presses ut horisontalt mot notveggen (Lien & Høy, 2011). Samtidig viser forsøk fra Frank og Lien (2015) hvordan oksygenivået i skjørtevolumet steg når skjørtet ble hevet, også ved lave strømminger. Dette kan bety at skjørtet var årsaken til reduserte oksygenivåer.

Siden det ikke finnes målinger med skjørt, er det vanskelig å si noe om hvor stor den hemmende effekten på oksygenivået faktisk var i dette tilfellet. Stien et al. (2018) viser hvordan luseskjørt kan ha en hemmende effekt på oksygenmetning i skjørtevolumet med en reduksjon fra 80% til 51% på tre dager. Samtidig kan oksygenivået variere kraftig over kort tid (Solstorm et al., 2018). På dette grunnlaget kan det påstås at oksygenmetningen i skjørtevolum for en lokasjon ikke nødvendigvis kan brukes som sammenligning på andre lokasjoner.

Sterkere vannstrømmer har vist å løfte opp luseskjørtet (Lien & Volent, 2012). Dersom dette skjer ved bruk av oksygenering er det risiko for at større mengder oksygen kan gå til spille dersom skjørtet løfter seg over dysene. Som en forholdsregel kan det være hensiktsmessig å ha Solvox DropIn noe høyere enn skjørtekanten, slik skjørtet kan løftes noe uten at det forstyrrer oksygeneringen.

Det ble satt inn ekstra Solvox DropIn i merd 2, merd 4 og merd 5 grunnet behov før økt kapasitet. Et fortrinn med flere Solvox DropIn er fordelingen av oksygenet i merd. Dersom én Solvox DropIn brukes på maksimal intensitet vil det tilføres store mengder oksygen gass på et lite volum. Når store mengder gass driver mot overflaten kan dette sette vannmassen i bevegelse. Dette vil i så fall øke oppdriftshastigheten til gassen som kommer i etterkant.

Prinsippet blir som en mammutpumpe, som kun ved hjelp av luftbobler drar med seg vann opp igjennom et rør (Grundfos, u.å.). Utfallet er en potensielt lavere virkningsgrad av oksygenering ettersom tiden disponibel for diffusjon blir mindre, og oksyngengass kan gå til spille til luften. Ved å fordele samme mengde oksygen på flere Solvox DropIn kan det gjøre at hver enkelt enhet vil jobbe med en lavere intensitet og på den måten få en potensielt større volumdekning og utnyttelsesgrad. Ettersom vannutskiftningen i skjørt tilsynelatende avtar med avstanden til skjortekanten (Frank & Lien, 2015), er det nærliggende å tro utskiftningen i den øvre delen av volumet vil avta med dypere luseskjørt. Den foreløpige uønskede mammuteffekten kan potensielt bidra til et bedre merdmiljø ved ekstra dype luseskjørt. Ved å fremprovosere denne tilleggsoppdriften kan det skapes høyere utskiftning i større deler av det skjermede volumet. Dette er mulig fordi oksygenet vil ha bedre tid til å diffusere før det når vannoverflaten grunnet dypere plassering av Solvox. Produktet Midt-Norsk Ring utnytter denne effekten ved hjelp av luftbobler (NorseAqua, u.å.).

7.2 Luseskjørt

Populasjonene er flyttet på og skjortene ble hevet og senket en gang underveis i forsøket. Dette har gjort at dataene ikke er egnet for en statistisk analyse. Påslaget av lus er ulikt i hver populasjon, og formeringen av lusepopulasjonen foregår ulikt. Når flytting av populasjoner gjennomføres mellom merder med og uten luseskjørt med ulike utgangspunkt både av laksebiomasse og lusepåslag, vil det være vanskelig å skape et godt sammenlikningsgrunnlag.

Alle merder har tilsvarende lusepåslag fra forsøkets start, og luseutviklingen er ganske lik frem til første avlusing (Figur 30 & Figur 31). Det finnes ingen referansepopulasjon av laks i denne perioden, så det er ikke mulig å trekke kausale slutninger om luseskjørtets effekt.

Populasjon A (Figur 32) og populasjon B (Figur 33) har hatt relativt like forløp av lusetellinger fram til avlusing 23.juli. Det kan observeres av figuren at lusen allikevel konvergerer to forskjellige veier etter denne avlusingen, til tross for at begge har luseskjørt. Ved sammenligning av populasjon A (Figur 32) og populasjon D (Figur 34) har disse en begge økende trend i lusepåslag etter siste avlusing, da selv om populasjon A er med luseskjørt og populasjon D er uten.

Populasjon H hadde aldri behov for avlusing og ble dermed aldri flyttet, og skiller seg fra de andre populasjonene. Det er bemerkelsesverdig at populasjon H sto i merd 8, som ikke var installert med Solvox DropIn. Dette tilsier at den har stått mesteparten av tiden uten luseskjørt. Dette indikerer store lokale variasjoner også i lusepåslag. Opphavet til variasjonen i oksygenmetning og lusepåslag kan være det samme, da begge avhenger av blant annet vanngjennomstrømmingen. Overflatevann kan presses under den nedre kanten av skjørtet og

kommer på denne måten inn i skjørtet (Lien et al., 2015). På denne måten kan lakselus fraktes inn i skjørtevolumet.

Ved observasjon av målingene fra Gulestø er det ikke funnet noen klare trender til ulikt lusepåslag mellom merd med og uten luseskjørt. Dette viser også forsøk gjort av Frank og Lien (2015), som sier at det ikke ble funnet noen signifikant forskjell i lusepåslag mellom merder med og uten luseskjørt når luseskjørt, når luseskjørtene var påmontert underveis i populasjonssyklusen. Like funn er observert hos Grøntvedt og Kristoffersen (2015), hvor det ble konkludert at skjørtet reduserer lusepåslaget hvis det blir satt på før fisken er i merden. Dette er ganske naturlig, da skjørtet forhindrer lusepåslag og ikke behandler det. Hvis lusen først har kommet seg til laksen, får ikke skjørtet gjort noe mer med det, annet enn å eventuelt bremse spredningen til andre områder. Det vil derfor være naturlig å kombinere permanentskjørt med andre tiltak, eksempelvis renseskjørt (Grøntvedt & Kristoffersen, 2015).

Selv om tallene for hver enkelt merd ikke viser en klar reduksjon av lus kan det virke som den totale effekten er merkbar. I 2017 gjennomførte Gulestø 1,5 avlusinger på hele anlegget, altså avlusning på totalt 12 merder. Sammenlignet med Gulestø sin egen avlusingshistorikk har den ligget mellom 20 og 30 merder, noe som tilsvarer 3 til 4 avlusinger på hele anlegget for én produksjonssyklus. Det er ikke uvanlig å avluse 3-4 ganger per anlegg i Norge (Larsen, 2018. pers.med). Grøntvedt og Kristoffersen (2015) viser at den relative effekten ofte er sterkere på lokasjonsnivå (54%) enn merdnivå (18%), og støtter på denne måten funnene gjort i forsøket. Samtidig viser variasjonen i deres forsøk hvordan lusepåslaget mellom lokaliteter er stort (0-80%).

Det kan være flere faktorer på lokalitetsnivå som har betydning for variasjonen i lusepåslaget. Vannstrømning i merden ved bruk av luseskjørt er en faktor. I tillegg vil omgivelsene kunne påvirke påslaget. Vind- og bunnforhold kan skape nedstrømning og vertikale strømmer som fører til at lus blir transportert nedover (Samsing et al., 2016). Videre kan nærliggende elver skape et øvre vannlag bestående av brakkvann. Lakselus prøver aktivt å unngå vann med lavere salinitet og vil med dette muligens gå dypere i sjøen (Bricknell et al., 2006). Årstiden har også innvirkning på luseskjørtets effektivitet. På vinterstid foretrekker laksen å være dypere i merden der vannet er varmere (Oppedal et al., 2011b). Samtidig viser forsøk hvordan lakseluslarver viser tendens til å gå dypere mot varmere temperaturer, og på denne måten komme under skjørtekanten (Á Norði et al., 2015). En rapport fra Martin Næs (2014) viser i tillegg hvordan det var signifikant påslag av lakselus som følge av skjørtedybden. Dybden på skjørtet vil derfor være noe oppdretteren må ta hensyn til (Samsing et al., 2016). En oppdretter må også ta hensyn til alle de øvrige faktorene når det blir sett på om det skal brukes skjørt og hvilke årstider det skal brukes på.

Dersom lakselusa får begrenset tilgang på verter vil videreformeringen av lakselus bremse opp. Dersom flere oppdrettsanlegg i samme distrikt bruker luseskjørt er det nærliggende å tro at det totale smittepresset av lakselus vil synke. Ved et redusert smittepress kan det tenkes at rensefisk klarer å håndtere hele lusepåslaget, og på sikt muligens redusere behovet for rensefisk i oppdrettsbransjen. Allikevel må det understrekes at det grunnet de store lokale variasjonene observert både på Gulestø og på andre lokasjoner, vil det være knyttet usikkerhet til hva en konkret oppdrettslokasjon kan forvente av redusert lusepåslag (Grøntvedt & Kristoffersen, 2015).

7.3 Økonomiske betraktninger

Før diskusjonen fortsetter er det hensiktsmessig å snakke om to måter å se på vekstgevinsten av oksygenering. Luseskjørt kan gi færre avlusinger, og kan på denne måten være en investering (Iversen, 2017). All ekstra vekst knyttet til oksygenering er da tellende som en økonomisk gevinst, uansett om settpunktet er over eller under sjøen. Videre kan argumenteres for at det ikke skapes gevinst før settpunktet for oksygenering overstiger oksygenivået i sjøen. Ved et slikt tilfelle regnes det som et økonomisk tap i form av tapt vekst ved bruk av luseskjørt (Crampton et al., 2003), og oksygeneringen må først kompensere for dette tapet før det regnes gevinst. Det er dette sistnevnte perspektivet oppgaven tar utgangspunkt i og følgelig slik verdikalkulatoren er programmert. Dette er for å gi et mer realistisk bilde. Dersom all oksygenering hadde blitt betraktet som gevinst kunne dette gitt et mer optimistisk bilde enn det som kanskje er tilfellet. I en større sammenheng kan det argumenteres for at begge perspektiver gir samme resultat, men at kostnader og gevinster fordeles ulikt.

I test 4 ble forholdene ved Gulestø forsøkt etterlignet med kalkulatoren. Ved et settpunkt på 6,5 mg/l og fire merder gir kalkulatoren ut 206 tonn oksygen på to sesonger, hvorav 25 tonn ble brukt første sesong og 181 tonn ble brukt andre sesong. Gulestø brukte i underkant av 200 tonn oksygen i 2017-sesongen, men hadde til gjengjeld en merd med høyere settpunkt. Dette er et resultat som er oppsiktsvekkende nærme målingene fra Gulestø.

Når metningen kryper under en viss verdi, eksempelvis under 60% ved 16°C, er det anbefalt å stoppe fôring som vil medføre en omtrentlig tilvekst lik null (Remen et al., 2012). Gitt at oksygenering kan opprettholde oksygenivået, skaper dette muligheter for ekstra fullverdige fôringsdøgn. Antatt en tilvekst på 3 tonn pr.dag pr.merd vil et ekstra fôringsdøgn på et helt anlegg gi en betydelig økning i gevinst. Gulestø registrerte fem ekstra fôringsdøgn i 2017 på de fire merdene med Oxyskjold. Dette ga en potensiell total økning i biomasse lik 60 tonn. Med en antatt fortjeneste på 20 NOK pr. kilogram biomasse gir dette en fortjeneste på 1,2 millioner NOK (Larsen, 2018, pers. med.). Kalkulatoren gir ikke samme fortjeneste i etterligningen av Gulestø sammenlignet med estimatet ovenfor. Dette viser at kalkulatoren er pessimistisk med

tanke på gevinsten ved lav oksygenmetning. Dette kommer av at den ikke tar hensyn til fôringsdøgn som ville frafalt, men som kan gjennomføres ved hjelp av oksygenering. Årsaken er at kalkulatoren ser på månedlige gjennomsnitt, og derfor ikke kan skille ut enkelte dager.

Tidligere generasjoner har Gulestø hatt mellom 20 og 30 avlusinger, som er et ganske vanlig antall for oppdrettsanlegg i Norge. I 2017 hadde Gulestø totalt 12 avlusinger, og det kan være sannsynlig å anta at Oxyskjold har påvirket dette. Estimert kostnad for en avlusing er 340 000 NOK, som tilsier at Gulestø har hatt en potensiell besparelse på 4 millioner NOK (Larsen, 2018, pers. med.). Dette er ikke inkludert ekstra fôringsdager som måtte tilkomme som følge av færre sultedøgn før avlusing (Iversen, 2017).

Ettersom Iversen (2017) beregner et skjørts levetid til mellom 1 og 3 år, og fiskens produksjonssyklus varer omtrentlig i halvannet år er det sannsynlig at luseskjørtet må byttes ut for hver laksegenerasjon (Havforskningsinstituttet, 2009a). Sett opp mot scenarioet i test 5 vil det måtte investeres i åtte luseskjørt for hver generasjon. Dersom dette resulterer i åtte færre avlusinger med en kostnad på 340 000 NOK per avlusing (Larsen 2018, pers.med.), og en investeringskostnad for luseskjørt på 200 000 NOK per merd (Iversen, 2017), vil dette gi en gevinst på 140 000 NOK per merd for hver generasjon. Luseskjørt har tidligere blitt brukt periodisk ved høyt smittepress. Det er observert slitasje på luseskjørtene som følge av drift og vedlikehold (Frank et al., 2013; Mathisen, 2015). Det kan argumenteres med at slitasjen vil øke ettersom bruken av luseskjørt øker sammen med bruk av oksygenering. Av den grunn er det nærliggende å tro at prisen på skjørt kan øke som følge av forsterkninger, eller at det oppfordres til å benytte seg av to skjørt samtidig.

Der er ikke hensyntatt de vekstgevinster som måtte forekomme. Ettersom oksygenering er nytt foreligger det lite informasjon om hva levetiden forventes å være, men Iversen (2017) antar dette til omtrentlig 10 år med en investeringskostnad på 250 000 NOK.

Verdikalkulatoren er følsom for endring i oksygenpris. Dette kommer av at det forbrukes store mengder oksygen, så et lite utslag i prisen vil gi en betydelig endring i oksygenkostnad. Verdien for biomasse er i modellen rundt ti ganger så høy som prisen på oksygen, så en kan argumentere for at kalkulatoren er følsom for endring i vekstgevinsten. Det er derfor nærliggende å tro at dypere luseskjørt og dypere plassering av Solvox DropIn som dekker en større andel av biomassen vil gi et betydelig utslag på gevinsten.

7.4 Kritiske betraktninger

7.4.1 Modellkritikk kalkulator

Det er viktig å presisere at verdikalkulatoren berører flere variabler som er ukjente i dag, og er derfor beheftet med usikkerhet. Dette er en av de første versjonene av en slik kalkulator som fremstilles. I dette kapitlet diskuteres forutsetninger for de ulike variablene i verdikalkulatoren, hovedsakelig i den rekkefølgen de oppstår i regnearket.

Laksen vokser raskere i begynnelsen av produksjonssyklusen enn mot slutten (Austreng et al., 1987), noe kalkulatoren ikke tar hensyn til i vekstfaktoren. Dette gir pessimistisk vekst. På en annen side sier kalkulatoren at hele biomassen i en merd har denne vekstfaktoren hver måned. Dette er en svakhet ved kalkulatoren, ettersom den andelen av biomassen som oppholder seg i det skjermede volumet potensielt har en lavere vekstfaktor grunnet faren for lavere oksygenmetning innenfor skjørtet (Frank et al., 2013; Remen et al., 2012; Stien et al., 2012). Dette blir dermed noe optimistisk, som bidrar til å utligne den forhenværende pessimismen noe. Det er derfor ikke utarbeidet noen korrigerings for dette.

Den forventede vekstfaktoren, både i sjø og for oksygenering, er beregnet ut fra daglig tilvekst, som igjen er beregnet av oksygenmetningen i vann (Crampton et al., 2003). Likningen brukt for å beregne daglig tilvekst fra oksygenmetning er estimert med regresjonsanalyse, med den usikkerheten som medfølger dette (Crampton et al., 2003). Denne lineære sammenhengen mellom oksygenmetning og vekst er anerkjent, men likevel en gjenstand for diskusjon (Lekang 2018, pers. med.). Dette er likevel vurdert til å være egnet for verdikalkulatoren i denne oppgaven.

Den forventede oksygenmetningen i sjø baserer seg på tall både fra Gulestø og erfaringstall fra Linde Group. Grunnen er at tallene som i første omgang ble presentert fra Linde Group kunne virke noe høye. Ved å sette inn for tall fra Gulestø ble dette justert noe ned. Det kan diskuteres om denne kombinasjonen er noe tvilsom, men den overordnede hensikten er å starte utviklingen av et verktøy. Så lenge verdiene ligger innenfor det som er naturlig kan dette være akseptabelt for denne gang. Ved videre bruk av kalkulatoren vil det være mer interessant å legge inn historiske verdier for konkrete lokasjoner, for så å kunne beregne mer nøyaktige utfall. Av den grunn er det mindre interessant akkurat hvor verdiene som er brukt akkurat her kommer fra, gitt at de gir en faglig mening.

Som presisert i kapitlet for verdikalkulatoren er det teoretiske O₂-behovet estimert ut fra temperaturen, og grovt korrigert for endringen i størrelser på individer. Selv om tallene etter korrigering stemmer bedre overens med tabellverdier (vedlegg 2), påløper denne usikkerheten i tillegg til den øvrige usikkerhet i kalkulatoren.

En annen usikkerhet ved kalkulatoren er utregningen som ligger til grunn for forventet forbruk av oksygen til oksygenering. Etersom det finnes lite informasjon om vannstrømning og dermed utskiftningen av oksygen i merder med luseskjørt, må behovet predikeres på en mer primitiv måte. Til tross for denne forenklingen beregner kalkulatoren oksygenering i perioder som fra litteraturen er kjent for å være krevende med tanke på tilgjengelig oksygen, og mengde oksygen som er forventet å brukes passer som tidligere forklart med forbruket fra Gulestø. Det ville vært fordelaktig for fremtidig forskning at det fantes empiriske studier på vannutskifting på merder med Oxyskjold. Hvis fremtidige utregninger er basert på disse, kan det gi bedre resultat.

Andelen av biomasse som forventes å befinne seg i det skjermede volumet i verdikalkulatoren er de opprinnelige verdiene tilsendt fra AGA basert på deres erfaringstall. Store deler av biomassen er bevist å oppholde seg i den øvre delen av merden, både med og uten luseskjørt. Den jevne økningen fra begynnelse til slutt er kritikkverdig, da det ikke er funnet tendenser til en slik utvikling (Johansson et al., 2006; Oppedal et al., 2011a). For denne oppgaven har det ikke vært prioritert å anslå bedre estimater. Kalkulatoren tar heller ikke hensyn til dybde på luseskjørt. Ved dypere luseskjørt vil det skjermede volumet dekke en større andel av biomassen. Dette er en funksjon som senere burde implementeres for å gjøre kalkulatoren så tilpasningsdyktig som mulig.

Videre er det er brukt grunnleggende geometri for å estimere et volum som dekkes av én Solvox DropIn. Grunnlaget er basert på observasjoner, fotografier og video av enheter i drift, siden det ikke finnes annen tilgjengelig data. Disse observasjonene gir grunnlag for et lite nøyaktig estimat. Solvox DropIn sprayer oksygenet ut i fire retninger fra senter. De kraftige strømmene vekk fra enheten kan potensielt kan skape liten dekning i senter. Oksygenet vil fordeles av det komplekse strømningsbildet i merden, så det er nærliggende å tro at spredningen er bedre enn det som kan observeres. Dette er grunnlaget for at radiusen til kjeglen ble satt lik som merden i estimatet.

Ved dobbel Solvox DropIn vil det fra et geometrisk perspektiv være dobbel dekning i deler av det skjermede volumet. Når kalkulatoren da dobler verdien av dekningen kan dette bli noe misvisende. Logisk nok vil kapasiteten øke med flere Solvox DropIn, ettersom mer oksygen kan pumpes inn og mer gevinst kan potensielt hentes ut. Det kalkulatoren ikke tar i betraktning er diffusjonen av oksygen i vann. Dette er noe fremtidig forskning kan bidra til å belyse.

Verdien av 1 kilogram lik 20 NOK pr kilogram biomasse er basert på informasjon som kommer fra interessenter av prosjektet. Det er ikke gjort rede for hva som ligger bakenfor disse tallene, annet enn at det er fortjeneste for den økte tilveksten. Det er utfordrende å tilegne seg informasjon for å skape sammenligningsgrunnlag ettersom dette er informasjon som ikke er gitt offentlig med hensyn til av konkurransesituasjoner. For følsomhetsanalysen er det sett på et intervall mellom 15 NOK/kg og 25 NOK/kg med trinn på 5 NOK/kg for å se på en pessimistisk verdi og en optimistisk verdi, i tillegg til den sannsynlige verdien som er oppgitt.

Settpunkt for oksygenering er satt til å være konsentrasjon av oksygen i stedet for oksygenmetning. Dette på grunnlaget av at ønsket mengde av oksygen, som i utgangspunktet oppgis i konsentrasjon, kan fremstilles som flere oksygenmetninger. Ulempen med å ha konsentrasjonen som settpunkt oppstår når det blir kaldt i sjøen, og metningen følgelig kan bli lav til tross for tilstrekkelig oksygenkonsentrasjon. På dette grunnlaget kan det i driftssammenheng være hensiktsmessig med en nedre grense for oksygenmetning i tillegg til settpunkt. I følsomhetsanalysen benyttes et intervall mellom 6 mg/l og 8 mg/l. Under 5 mg/l vil laksens appetitt avta, så det er hensiktsmessig å ha en nedre verdi over dette. Den øvre grensen er satt til 8 mg/l ettersom konsentrasjon i sjø varierer rundt 8 mg/l til 9 mg/l (Wedemeyer, 1996).

Ettersom forskningen utreder flere av de ukjente variablene må dette korrigeres for. Verdiene som er satt inn kan justeres etter lokale variasjoner, slik at kalkulatoren gir et mer korrekt bilde for hvert enkelt anlegg.

7.4.2 **Kritikk av innhenting av data**

Datainnsamlingen fra Gulestø er omfattende, og det kan potensielt hentes ut mye interessant informasjon fra slike datamengder. En svakhet ved datainnsamlingen i dette forsøket er flytting av laksepopulasjoner i forbindelse med avlusing. Dette endrer en del av grunnlaget for sammenligning, som gjør at det ikke kan trekkes sikre konklusjoner.

Målingene er noe beheftet av tekniske feil. Dette gjelder stort sett sensorer på ti meters dybde og har i grunn ikke påvirket denne oppgaven nevneverdig. Det er interessant å kartlegge oksygenmetningen i tre dybder, men for å kartlegge effekten av Oxyskjold trengs sammenligningsgrunnlag. Det kan derfor diskuteres om det er mer hensiktsmessig å bruke disse sensorene til å måle fem meters dybde i merder uten Oxyskjold, for å skape mer data til sammenligning.

Enkelte av målingene kan være beheftet med menneskelige feil. Lusetellinger er gjort manuelt, og det er ingen garanti for at alle lusene blir funnet og talt (Dalland, 2007). Tilvekst beregnes

ofte fra fôring, som ofte styres manuelt basert på observasjoner av adferdsmønsteret til fisk. Feiltolkning eller unøyaktighet kan forringe disse målingene.

7.4.3 Diskusjon av metode

Kodingen som behandler rådataene er ganske grunnleggende. Manuell programmering legger mer arbeid og ansvar over på den menneskelige faktoren. På den andre siden vil avansert koding sette forståelsen av programmeringen på prøve, og kan potensielt gi feil svar uten at det oppklares. For å spare tid og fokusere på anvendbarhet og overføringsverdi i data er det blitt prioritert å få behandlingen av data gjort på en måte som er lett å forstå, fremfor å bruke tid på å behandle data på en avansert og optimalisert måte. Dette er også noe av grunnen til at flere av figurene er formet i Excel i stedet for i R Studio.

Rådata fra merdene hadde tidsintervaller på mellom 10 og 15 minutter, men ikke alle målingene er tatt på samme tidspunkt. Dette gir opphav til en usikkerhet basert på ulikt målingstidspunkt. Oppgaven tar for seg oksygenering på et mer overordnet nivå, så det var av høyere interesse å se på trendlinjer enn variasjonene i løpet av en time. Ved å aggregere dataene ble usikkerheten som måtte være knyttet til tidsforskjellen redusert. Til gjengjeld tilføres det ny usikkerhet ved å aggregere data. Data som ligger til grunn for figurene i oppgaven er aggregert til dagsintervall, for å gjøre det mulig å gjøre gode visuelle betraktninger. I behandlingen av rådataene ble det fjernet ekstrepunkter. Alle ekstrepunkter er ikke nødvendigvis avvik, som da resulterer i fjerning av legitim informasjon.

7.4.4 Kildekritikk

Norge er ledende på oppdrett av laks og oppgaven tar hovedsakelig for seg atlantisk laks i norske forhold (SSB, 2017). Av den grunn er det mange norske forskere som går igjen i referansene, samt at en del av forskningen er på norsk. Dette kan skape lite variasjon og kanskje et ensidig perspektiv. Nyere kilder hadde vært å foretrekke.

Den kvalitative informasjonen kommer fra interessenter av prosjektet, som brukes i driftssammenheng. På bakgrunn av konkurranseinformasjon er det utfordrende å tilegne seg annen data for sammenligning.

7.5 Velferdsperspektiver og bærekraft

Oppgaven har hittil fokusert på de tekniske og økonomiske aspektene ved Oxyskjold. I tillegg til dette kommer velferdsperspektivet. Lakselus, lusebehandlinger, transport og store variasjoner i merdmiljø påvirker velferden til laksen negativt (Noble et al., 2017). Det er foreløpig gjort lite forskning på hvordan laksen påvirkes av oksygeneringen. Det er mulig at gassbobler av oksygen også kan stresse laksen. Ved bruk av produktet Midt-Norsk Ringen er det observert at laksen til tider oppsøker luftboblene (NorseAqua, u.å.). På dette grunnlaget er det nærliggende å tro at laksen ikke opplever ubehag av oksygenering. Allikevel kunne kvalitativ informasjon rundt fiskens oppførsel og reaksjoner med Solvox DropIn vært hensiktsmessig å ha med for et bredere perspektiv rundt fiskevelferden.

Etterspørselen og forbruket av laks er i dag høyt, og har vært økende de siste årene (Fiskeridirektoratet, 2017a). En bærekraftig profil vil være positivt for næringens bilde utad, og kan potensielt føre til økt salg. Oxyskjold vil kunne være med å bidra til en mer bærekraftig oppdrettsnæring i Norge. I FNs bærekraftsmål omhandler mål nummer 14 bærekraftig utvikling av sjø: «Bevare og bruke hav og marine ressurser på en måte som fremmer bærekraftig utvikling». Dette gjelder ikke bare i et fiskevelferdsperspektiv, men også i et miljøperspektiv ved å redusere risikoen for at laksen utvikler antibiotikaresistens i tillegg til rømning og død (Holan et al., 2017). Dette kan igjen bidra positivt til næringens omdømme i et bærekraftighetsperspektiv.

I en verden hvor det legges større og større fokus på bærekraft vil nødvendigvis bærekraftighet i oppdrettsnæringen kunne være et konkurransefortrinn. Det kan argumenteres for at funnet i denne oppgaven viser hvordan Oxyskjold i storskala fungerer, og dermed kan være en sterk bidragsyter for luseskjørt som en forebyggende behandlingsform mot lakselus. Dette vil igjen føre til en mer bærekraftig måte å drive oppdrett på.

8 Videre arbeid og videre forskning

For det pågående prosjektet på Gulestø oppfordres det fra oppgaven å beholde samme laksepopulasjoner i samme merd gjennom hele forsøket, for å minst mulig forstyrre grunnlaget for analyser. Det oppfordres også til å gjøre målinger av oksygenmetning, oksygenkonsentrasjon og temperatur i sjø, i merder med kun luseskjørt og i merder med Oxyskjold ved lik dybde. På denne måten kartlegges de naturlige forholdene, hva slags påvirkning luseskjørtet har på oksygenivåene og effekten av oksygeneringen.

Oppgaven oppfordrer Gulestø til å oksygenere med et høyere settpunkt enn forrige produksjonssyklus. Dette for å bevise om oksygeneringen virkelig kan løfte oksygenivået i det skjermede volumet over sjønivå. I tillegg oppfordres det til å bruke konsentrasjonen av oksygen som settpunkt for oksygenering med en nedre grense for oksygenmetning som sikkerhet.

Forskning på vannutskifting i merder med luseskjørt, med og uten oksygenering, er essensielt for å øke kunnskapen om behovet for tilført oksygen og fordelingen av det. Kunnskap som kan knyttes til verktøy, slik som verdikalkulatoren i denne oppgaven, for å bedre utrede effekten av oksygenering både i forkant og etterkant av produksjonen. I sammenheng med dette er det relevant å se på diffusjonen av oksygen. Hvor oppløst er oksygenet når det kommer fra Solvox DropIn, og hvor lang tid trenger det eventuelt for å oppløses oksygenet helt? Olje- og gassektoren har forsket en del på utblåsning av gass og olje fra havdyp, som potensielt kan bidra på dette feltet.

Det kan være interessant å se på dypere luseskjørt, både i forbindelse med lusepåslag og oksygenering. Dersom dette gjøres er det et par momenter som burde nevnes. Ved ny skjørtedybde vil dataene fra Gulestø i 2017 være mindre egnet for direkte sammenligningsgrunnlag. Større skjermet volum øker vannmassen som forsynes, biomassen som oppholder seg i volumet, og gir opphav til andre strømningsforhold.

Vannstrømmer og diffusjon av oksygen er komplekse hendelser. Verdikalkulatoren slik den er i dag kan ikke håndtere disse hendelsene. Det anbefales at forbrukssiden gjøres om til en simulator, og at inntektssiden benytter resultater fra simulering i økonomiske beregninger. I vår tidsalder utvikles det kunstig intelligens som kan være en god bidragsyter for disse.

9 Konklusjon

9.1 Konklusjon på forskningsspørsmålene

Vil oksygenering i merd kunne motvirke permanentskjørtets hemmede effekt på oksygenmetningen i merden?

Det vises ikke signifikante forskjeller i oksygenmetning mellom merder med og uten Oxyskjold i analyseperiodene ($p_1 = 0,1328$ & $p_2 = 0,4074$). Oksygenering i merd med luseskjørt klarer derfor å opprettholde sjøens naturlige oksygenmetning i analyseperioden. Det finnes ikke referansedata for oksygenmetning i merd med kun luseskjørt, og det kan derfor ikke fastslås hvor stor skjørtets hemmende effekt har vært. Store variasjoner i målingene mellom merder kan være grunnen til resultatet i oppgaven. Det kan ikke konkluderes noe angående merd 6 som hadde et høyere settpunkt. Likevel tyder visuell inspeksjon på at en ytterligere oksygenering kan løfte konsentrasjonen i det skjermede volumet over sjønivå. Dersom det hadde vært mindre variasjon i datagrunnlaget kunne gitt en signifikant forskjell.

Gir merd med permanentskjørt færre lusepåslag sammenlignet med merder uten luseskjørt?

Det kan ikke sies med sikkerhet om luseskjørt har hatt en signifikant effekt på lusepåslaget, da dataene ikke er egnet for statistisk analyse. Likevel viser forsøket at luseskjørt kan stå på hele veien frem mot slakting av laksen ved bruk av oksygenering.

Kan merd med Oxyskjold kunne tilføre økonomisk gevinst som følge av økt tilvekst for laks?

Ifølge verdikalkulatoren virker det som om Oxyskjold kan tilføre økonomisk gevinst som følge av økt tilvekst for laks ved gitte forutsetninger. Målinger fra Gulestø viser hvordan merder med Oxyskjold har hatt flere fôringsdøgn, noe som vil gi økonomisk gevinst.

9.2 Konklusjon på problemstilling

Kan tilførsel av oksygen i merd med luseskjørt opprettholde oksygenmetningen på et ønsket nivå, samtidig som det er økonomisk fordelaktig for oppdretter?

Oxyskjold kan opprettholde oksygenmetningen på et nivå tilsvarende havnivået. Det kan ikke sies med sikkerhet hva det økonomiske utfallet vil være, men oppgaven indikerer at det vil kunne være gunstig for oppdretter.

10 Referanser

- (SLK), S. I. (2000). Behandling mot lakselus i oppdrettsanlegg. 47.
- Á Norði, G., Simonsen, K., Danielsen, E., Eliassen, K., Mols-Mortensen, A., Christiansen, D., Steingrund, P., Galbraith, M. & Patursson, Ø. (2015). Abundance and distribution of planktonic *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* in a fish farming region in the Faroe Islands. *Aquaculture Environment Interactions*, 7 (1): 15-27. doi: 10.3354/aei00134.
- Abolfia, J., Asche, F., Wilen, J. & Guttormsen, A. (2014). Putting a price on lice: Quantifying the biological and economic impacts of sea lice on farmed salmonids. *Unpublished manuscript*.
- AGA, Plany & Harvest, M. (2017). Oxyskjold™ - Stopper lakselus og ivaretar miljø og fiskevelferd.: 2.
- Aubert, V. & Alstad, B. (1985). *Det skjulte samfunn*. Ny utg. utg. The hidden society. Oslo: Universitetsforlaget.
- Austreng, E., Storebakken, T. & Åsgård, T. (1987). Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*, 60 (2): 157-160.
- Aveyard, H. & Sharp, P. (2013). *A Beginner's Guide to Evidence-based Practice in Health and Social Care Professions*. Maidenhead: McGraw-Hill Education.
- Aveyard, H. (2014). *Doing a Literature Review in Health and Social Care : A Practical Guide*, b. Third edition. Maidenhead: McGraw-Hill Education.
- Barton, B. A. (1997). Stress in finfish: past, present and future - a historical perspective. I: Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (red.) b. 62 *Fish stress and health in aquaculture*, s. 1-33. Cambridge: Cambridge university press.
- Befring, E. (1994). *Forskingsmetode og statistikk*. 2. utg. utg. Samlagets bøker for høgare utdanning. Oslo: Samlaget.
- Befring, E. & Timmons, S. (2004). *Research methods, ethics and statistics*. Forskingsmetode, etikk og statistikk, b. no. 2. Oslo: Unipub forl., Oslo Academic Press.
- Beveridge, M. C. M. (1996). *Cage aquaculture*. 2nd ed. utg. Oxford: Fishing News Books.
- Bjerknes, V., Liltved, H., Rosseland, B. O., Rosten, T., Skjelkvåle, B. L., Stefansson, S. & Åtland, Å. (2007). *Vannkvalitet og smoltproduksjon*. Rykin: Juul forl.
- Boehm, B. W. (1988). A Spiral Model of Software Development and Enhancement. *TRW Defense Systems Group*.
- Brambell, F. W. R. (1967). *Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems*. London.
- Bricknell, I. R., Dalesman Sarah, J., Å-d, B. O., Shea, Campbell, C. P. & A., J. M. L. (2006). Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. *Diseases of Aquatic Organisms*, 71 (3): 201-212.
- Brown, C. (2015). *Fish intelligence, sentience and ethics*: Department of Biological Sciences, Macquarie University, Sydney 2109, Australia.
- Burridge, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J. & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306 (1): 7-23. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.020.
- Chin, R. & Lee, B. Y. (2008). Chapter 15 - Analysis of Data. I: *Principles and Practice of Clinical Trial Medicine*, s. 325-359. New York: Academic Press.
- Crampton, V., Hølland, M., Bergheim, A., Gausen, M. & Næss, A. (2003). Oxygen effects on caged salmon. *Fish farming international*, june: 26-27.

- Dahlum, S. (2017). *Kvantitativ analyse*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvantitativ_analyse.
- Dahlum, S. (2018). *Validitet*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/validitet>.
- Dahlum, S. & Wæhle, E. (2018). *Case Studie*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/case-studie>.
- Dalland, O. (2007). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. 4. utg. Metode og oppgaveskriving. Oslo: Gyldendal akademisk.
- Fiskeridirektoratet. (2017a). Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring 2016. 29. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Noekkel-tall-for-norsk-havbruksnaering>.
- Fiskeridirektoratet. (2017b). *Salg 1994-2016. Laks, regnbueørret og ørret - Matfiskproduksjon*. Fiskeridirektoratet (red.). www.fiskedir.no.
- Fiskeridirektoratet. (2017c). *Salg 1998-2016. Totalt, hele næringen*. Fiskeridirektoratet (red.). www.fiskeridir.no.
- Fiskeridirektoratet. (2017d). *Utsett av rensefisk 1998-2016. sta-laks-mat-10-rensefisk* (red.).
- Folkehelseinstituttet. (2018). *2017: Stor nedgang i bruken av legemidler mot lakselus*: Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/hn/legemiddelbruk/fisk/2017-stor-nedgang-i-bruken-av-legemidler-mot-lakselus/#antibiotikalaget-fortsatt-lavt> (lest 14.03.2018).
- Forskrift om lakselusbekjempelse. (2017). *Forskrift om lakselusbekjempelse 6 mars 2017 nr. 275*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140> (lest 30.04.2018).
- Frank, K., Gansel, L. C. & Lien, A. M. (2013). *Permaskjørt A3–fullskala feltforsøk Dokumentasjon av skjørtets påvirkning på vannstrøm*.
- Frank, K. & Lien, A. M. (2015). *Permaskjørt og merdmiljø - Permaskjørt A4*: SINTEF Fiskeri og Havbruk.
- Gnanadesikan, A. (1999). A Simple Predictive Model for the Structure of the Oceanic Pycnocline. *Science*, 283 (5410): 2077-2079. doi: 10.1126/science.283.5410.2077.
- Gro Harlaug Refseth, K. S., Ole Andres Nøst, Starrlight Augustine, Lionel Camus, Luca Tassara, Ann-Lisbeth Agnalt, Ole B.Samuelsen. (2016). *Miljørisiko ved bruk av hydrogenperoksid. Økotoksilologisk vurdering av grenseverdi for effekt*.
- Grundfos. (u.å.). *Airlift pump*. Tilgjengelig fra: <https://www.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/airlift-pump.html> (lest 09.05.2018).
- Grøntvedt, R. N. & Kristoffersen, A. B. (2015). Permaskjørt kan redusere påslag av lakselus - analyse av felldata. Delrapport Permaskjørt-prosjektet A5. *Veterinærinstituttets rapportserie 2-2015*.
- Hauge, A. (2016). *Partialtrykk*: Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/partialtrykk>.
- Havforskningsinstituttet. (2010). *Hvorfor dør leppefisker i merdene?* Havforskningsrapport nr. 2010. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Havforskningsinstituttet. (2016). *Bruk av rensefisk - muligheter og begrensninger*. Havforskningsrapporten 2016. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Havforskningsinstituttet. (2009a). *Biologi hos laks i oppdrett*: Havforskningsinstituttet. Tilgjengelig fra: https://www.imr.no/temasider/fisk/laks/laks_i_oppdrett/nb-no.
- Havforskningsinstituttet. (2009b). *Lakselus*. Tilgjengelig fra: <http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/nb-no>.

- Havforskningsinstituttet. (2009c). *Lakselus - Generell biologi*: Havforskningsinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/90682/nb-no> (lest 12.03).
- Havforskningsinstituttet. (2010). *Hvorfor dør leppefisker i merdene?* Havforskningsrapport 2010. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Havforskningsinstituttet. (2012). *Slaktestress gir redusert kvalitet og verlfærd hos laks*. Havforskningsrapport 2012. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Havforskningsinstituttet. (2014). *Fjorder – vannutskifting og strøm*. Tilgjengelig fra: https://www.imr.no/temasider/kyst_og_fjord/fjorder_vannutskifting_og_strom/nb-no (lest 09.05.2018).
- Havforskningsinstituttet. (2016). *Bruk av rensefisk - muligheter og begrensninger*. Havforskningsrapport 2016. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Havforskningsinstituttet. (2017). *Raudåte*: Havforskningsinstituttet. Tilgjengelig fra: www.imr.no/temasider/plankton/dyreplankton/raudate/nb-no (lest 14.03.2018).
- Hevrøy, E. M., Boxaspen, K., Oppedal, F., Taranger, G. L. & Holm, J. C. (2003). The effect of artificial light treatment and depth on the infestation of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) culture. *Aquaculture*, 220 (1): 1-14. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00189-8).
- Hofstad, K. (2014). *Mm Hg*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/mmHg>.
- Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S. W., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., Hermansen, Ø., Gjerde, B., Hatlen, B., Mortensen, A., et al. (2017). *Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI) - Faglig sluttrapport*.
- Iversen, A. H., Øystein; Nystøyl, Ragnar; Hess, Eirik Junge. (2017). Kostnadsutvikling i lakseoppdrett - med fokus på fôr- og lusekostnader. *Nofima rapportserie* (24/2017).
- Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, A., Oppedal, F., Stiansen, J.-E., Kelly, M. & Juell, J.-E. (2006). Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquaculture*, 254 (1): 594-605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.029>.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Juell, J.-E. & Oppedal, F. (2009). Swimming depth and thermal history of individual Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages under different ambient temperature conditions. *Aquaculture*, 290 (3): 296-303. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.02.022.
- Klontz, G. (1993). Environmental requirements and environmental diseases of salmonids. *Fish Medicine, WB Saunders, Philadelphia*.
- Kuhnt, S. & Steinberg, D. M. (2010). Design and analysis of computer experiments.
- Landbruksdepartementet, D. K. (2002). *Stortingsmelding nr.12 (2002-2003) Om dyrehold og dyrevelfærd*. matdepartementet, L.-o.
- Landbruksdirektoratet. (2017). *Eksportutvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/statistikk/eksport> (lest 16.03.2018).
- Lekang, O.-I. & Fjæra, S. O. (1997). Vedlegg 3.3. I: *Teknologi for akvakultur*, s. 401. Oslo: Landbruksforlaget.
- Lekang, O.-I. (2013). *Aquaculture engineering*. 2 utg.: Wiley-Blackwell.
- Lien, A. M. & Høy, E. (2011). *Skjørt for skjerming mot lus i laksemerd*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS: SINTEF.
- Lien, A. M. & Volent, Z. (2012). *Deformasjon av not og Permaskjørt og krefter på fortøyning*: SINTEF Fiskeri og havbruk.

- Lien, A. M., Stien, L. H., Grøntvedt, R. & Frank, K. (2015). *Permanent skjørt for redusering av luspåslag på laks*: SINTEF Fiskeri og havbruk.
- Martin Næs, R. N. G., Anja B. Kristoffersen, Bjarne Johansen. (2014). *Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*)*.
- Mathisen, R. (2015). *Erfaringer fra fullskala bruk av luseskjørt basert på planktonduk (SalGard®) i Øksfjord (Lødingen/Vågan) 2013-2015*. Stokmarknes, Norge: Nordlaks Oppdrett AS.
- Mattilsynet. (2016). *Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse*. Tilgjengelig fra: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/fiske_og_skjellsykdomme/lakselus/fakta_om_lakselus_og_lakselusbekjempelse.23766.
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J. & Gismervik, K. (2017). *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd*: Nofima; Havforskningsinstituttet; Veterinærinstituttet; NORU universitet; University of Stirling.
- NorseAqua. (u.å.). *Midt-Norsk Ringen*. Tilgjengelig fra: <https://norseaqua.no/produkter/midt-norsk-ringen/> (lest 04.05.2018).
- Norsk institutt for naturforskning. (2017). *Lakselus*: Norsk institutt for naturforskning. Tilgjengelig fra: <https://www.nina.no/Våre-fagområder/Havbruk-og-villaks/Lakselus> (lest 13.03.2018).
- Olafsen, T., Almås, K. A., Norges tekniske, v. & Det Kongelige norske videnskabers, s. (2012). *Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*. Trondheim: DKNVS NTVA.
- Oppedal, F., Juell, J. E., Tarranger, G. L. & Hansen, T. (2001). Artificial light and season affects vertical distribution and swimming behaviour of post-smolt Atlantic salmon in sea cages. *Journal of Fish Biology*, 58 (6): 1570-1584. doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02313.x.
- Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011a). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. I: *Aquaculture* 311, s. 1-18.
- Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Juell, J.-E. & Johansson, D. (2011b). Fluctuating sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.02.037.
- Pankhurst, N. W. & Van Der Kraak, G. (1997). Effects of stress on reproduction and growth of fish. I: Iwama, G., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (red.) b. 62 *Fish stress and health in aquaculture*, s. 56-67. Cambridge: Cambridge University Press.
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Tilgjengelig fra: <https://www.R-project.org/>.
- Remen, M., Oppedal, F., Torgersen, T., Imsland, A. K. & Olsen, R. E. (2012). Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: Initial responses and acclimation. *Aquaculture*, 326-329: 148-155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.036>.
- Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B. O. & Braathen, B. (2004). Vannkvalitet relatert til dyrevelferd. *Mattilsynet*.
- Rødseth, G. I. (2016). *Behandling mot lakselus kan ha kostet oppdrettsnæringen 7-8 milliarder kroner i 2015*. LinkedIn: Stingray Marine Solutions AS. Tilgjengelig fra:

- <https://www.linkedin.com/pulse/behandling-mot-lakselus-kan-ha-kostet-7-8-milliarder-kroner-r%C3%B8dseth/?published=u>.
- Samsing, F., Johnsen, I., Stien, L. H., Oppedal, F., Albretsen, J., Asplin, L. & Dempster, T. (2016). Predicting the effectiveness of depth-based technologies to prevent salmon lice infection using a dispersal model. *Preventive Veterinary Medicine*, 129: 48-57. doi: 10.1016/j.prevetmed.2016.05.010.
- Sarkar, D. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer, New York. Tilgjengelig fra: <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>.
- SAS software. (2017). *SAS Institute*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Schreck, C. B., Olla, B. L. & Davis, M. W. (1997). Behavioral responses to stress. I: Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (red.) b. 62 *Fish stress and health in aquaculture*, s. 145-170. Cambridge: Cambridge university press.
- Sintef. (2017). SKJERMTEK.
- SNL. (2009). Førfaktor. *Store Norske Leksikon*.
- SNL. (2017). *Standard Atmosfære*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/standard_atmosf%C3%A6re.
- Solstorm, D., Oldham, T., Solstorm, F., Klebert, P., Stien, L. H., Vågseth, T. & Oppedal, F. (2018). Dissolved oxygen variability in a commercial sea-cage exposes farmed Atlantic salmon to growth limiting conditions. *Aquaculture*, 486: 122-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.008>.
- SSB. (2017). *Dette er Norge 2017*.
- Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M. & Folkedal, O. (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering*, 51: 21-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.06.002>.
- Stien, L. H., Lind, M. B., Oppedal, F., Wright, D. W. & Seternes, T. (2018). Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture*, 490: 281-287. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.045>.
- Store Norske Leksikon. (2018). *Fikseoppdrett*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskeoppdrett> (lest 16.03.2018).
- Sumpter, J. P. (1997). The endocrinology of stress. I: Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (red.) b. 62 *Fish stress and health in aquaculture*, s. 95-118. Cambridge: Cambridge university press.
- Svartdal, F. (2018). *Reliabilitet*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/reliabilitet>.
- Terje Svåsand, E. S. G., Ørjan Karlsen, Bjørn Olav Kvamme, & Kevin Glover, V. H., Tore S. Kristiansen. (2017). *Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017*. Fisken og havet, særnr, 2-2017: Havforskningsinstituttet.
- Tjora, A. H. (2017). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 3 utg. utg. Oslo: Gyldendal akademisk.
- Veterinærinstituttet. (2015). *Termisk avlusing av laksefisk - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt*. Veterinærinstituttets rapportserie 13-2015. Oslo: Veterinærinstituttet.
- Veterinærinstituttet. (2017). *Mekanisk avlusing med FLS-avlusersystem - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus*. Veterinærinstituttets rapportserie 6-2017. Oslo: Veterinærinstituttet.
- Waldrop, T., Summerfelt, S., Mazik, P. & Good, C. (2018). The effects of swimming exercise and dissolved oxygen on growth performance, fin condition and precocious

- maturation of early-rearing Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Research*, 49 (2): 801-808. doi: 10.1111/are.13511.
- Wedemeyer, G. A. (1996). *Physiology of fish in intensive culture systems*. New York: Chapman & Hall.
- Wedemeyer, G. A. (1997). Effects of rearing conditions on the health and psysiological quality of fish in intensive culture. I: Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (red.) b. 62 *Fish stress and health in aquaculture*, s. 35-71. Cambridge: Cambridge university press.
- Wickham, H. (2009). *gplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York,. Tilgjengelig fra: <http://ggplot2.org>.
- Wickham, H. (2017). *tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'*. R package. Tilgjengelig fra: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>.
- Wickham, H., Francois, R., Henry, L. & Müller, K. (2017). *Grammar of Data Manipulation*. Tilgjengelig fra: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- YSI Enviromental. (2005). Environmental Dissolved Oxygen Values Above 100% Air Saturation. *YSI Enviromental*: 2.

Vedleggsliste:

Vedlegg 1 – Utsettsdato og avlusingsinformasjon

Vedlegg 2 – Kalkulator

Vedlegg 3 – Resultater

Vedlegg 4 – Script

Vedlegg 5 – SAS output

Vedlegg 1

Utsettsdato og utsettsvekt

Merd	Dato	Vekt [kg]
1	14.04.2016	33 213
2	09.05.2016	26 510
3	30.05.2016	36 294
4	25.06.2016	26 184
5	26.06.2016	28 702
6	26.06.2016	19 783
7	10.05.2016	25 222
8	15.04.2016	35 088

Avlusinger og flytteoversikt

Dato	Årsak	Fra merd	Til merd
07.06.17	Avlusing	4	6
07.06.17	Avlusing	5	2
07.06.17	Avlusing	6	5
08.06.17	Avlusing	2	4
23.07.17	Avlusing	1	9
23.07.17	Avlusing	2	1
23.07.17	Avlusing	3	2
23.07.17	Avlusing	6	3
23.07.17	Avlusing	9	6
24.07.17	Avlusing	4	5
24.07.17	Avlusing	5	9
25.07.17	Avlusing	7	4
30.09.17	Avlusing	9	7

Vedlegg 2

Temperaturer

Dato	Temperatur Gulestø [C]	Temperatur Kalkulator
2017-01	6,2	6
2017-02	5,6	6
2017-03	5,8	6
2017-04	6,3	8
2017-05	9,2	10
2017-06	12,3	12
2017-07	13,9	14
2017-08	15,2	16
2017-09	14,7	15
2017-10	12,9	13
2017-11	9,2	11
2017-12	5,0	8

Forventet oksygenbehov

Tabell 1. *Oksygenbehov i mg O₂ pr. kg levendevekt pr. minutt ved varierende temperaturer og fiskestørrelse.*

Vekt gram	Temperatur °C								
	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0,20	3,09	4,22	5,58	7,23	9,18	10,59	12,15	13,83	–
1	2,27	3,08	4,08	5,28	6,72	7,74	8,90	10,13	11,43
5	1,66	2,26	2,99	3,87	4,91	5,67	6,51	7,40	8,36
10	1,44	1,97	2,61	3,38	4,29	4,95	5,69	6,48	7,31
50	1,06	1,44	1,91	2,48	3,14	3,63	4,16	4,74	5,35
100	0,93	1,26	1,67	2,16	2,75	3,17	3,65	4,14	4,68
500	0,90	1,23	1,63	2,11	2,68	3,09	3,55	4,04	4,56
1000	0,80	1,08	1,42	1,84	2,34	2,70	3,10	3,54	4,00
2500	0,66	0,90	1,19	1,55	1,96	2,26	2,60	2,96	3,34
5000	0,58	0,78	1,04	1,36	1,72	1,98	2,28	2,58	2,92

Kilde: (Lekang og Fjæra, 1997)

Løselighet oksygen

Temperatur i partall er fra kilde, mens oddetall er beregnet ved hjelp av lineær interpolering.

Temp	Konsentrasjon
0	11,5
1	11,2
2	10,9
3	10,6
4	10,3
5	10,05
6	9,8
7	9,6
8	9,4
9	9,2
10	9,0
11	8,8
12	8,6
13	8,4
14	8,2
15	8,05
16	7,9
17	7,75
18	7,6
19	7,45
20	7,3

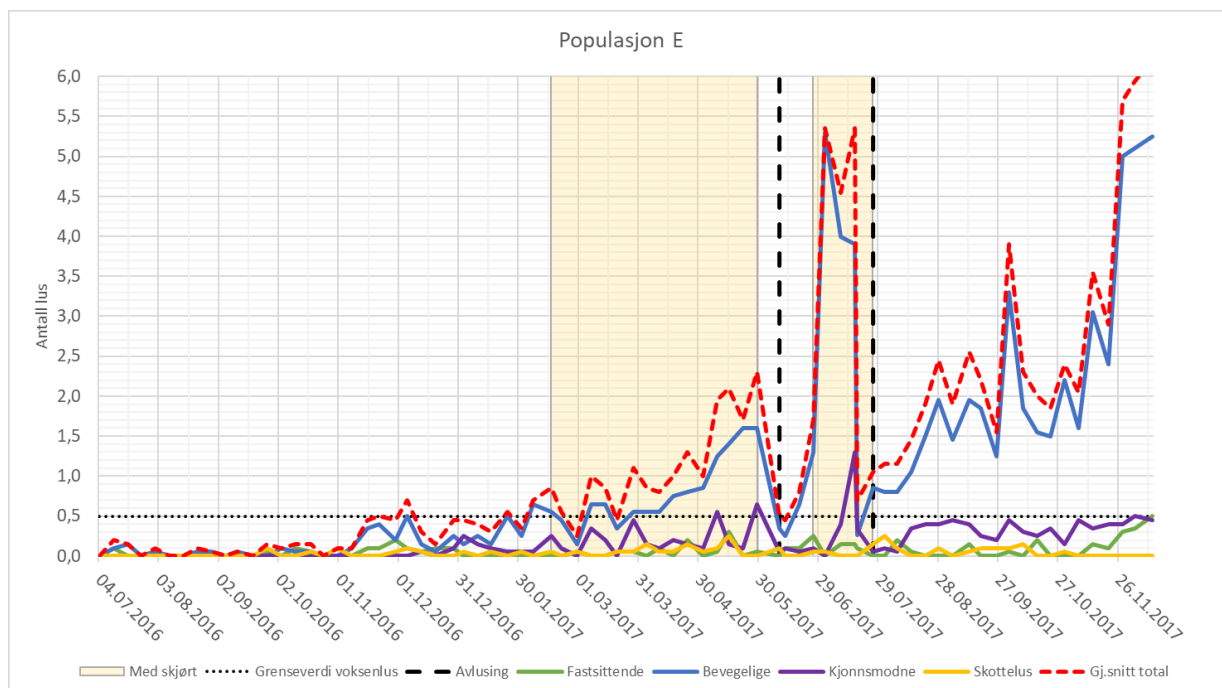
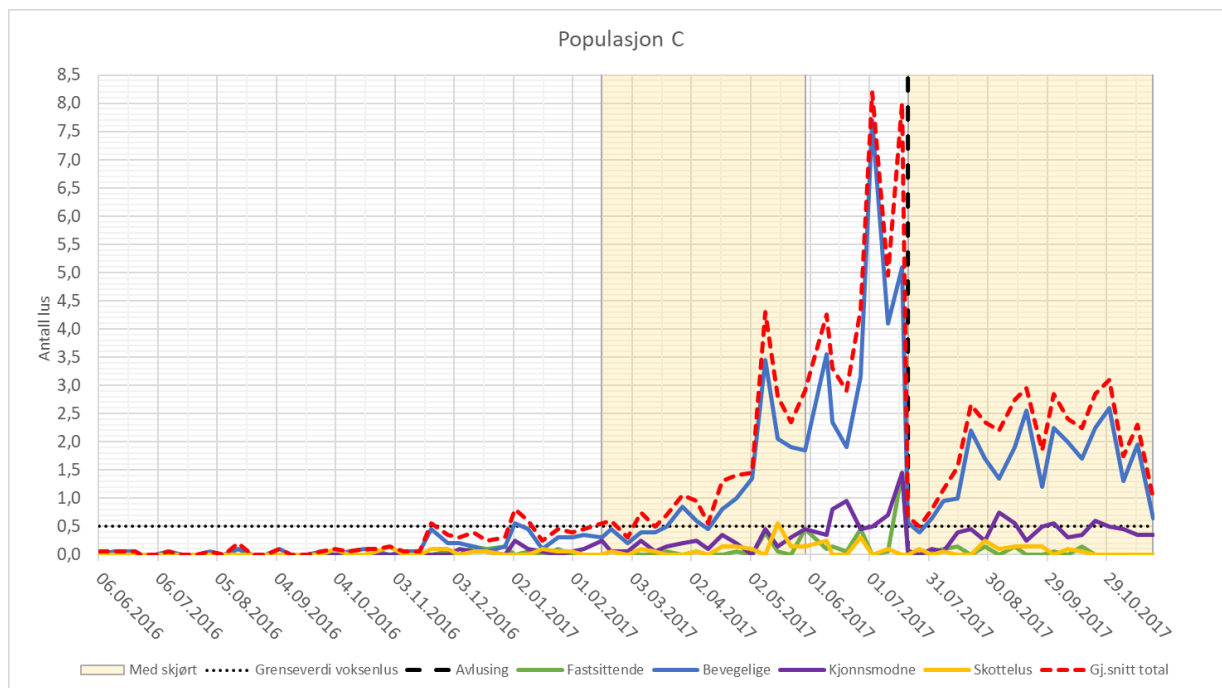
Tilvirket: (Crampton et al., 2003)

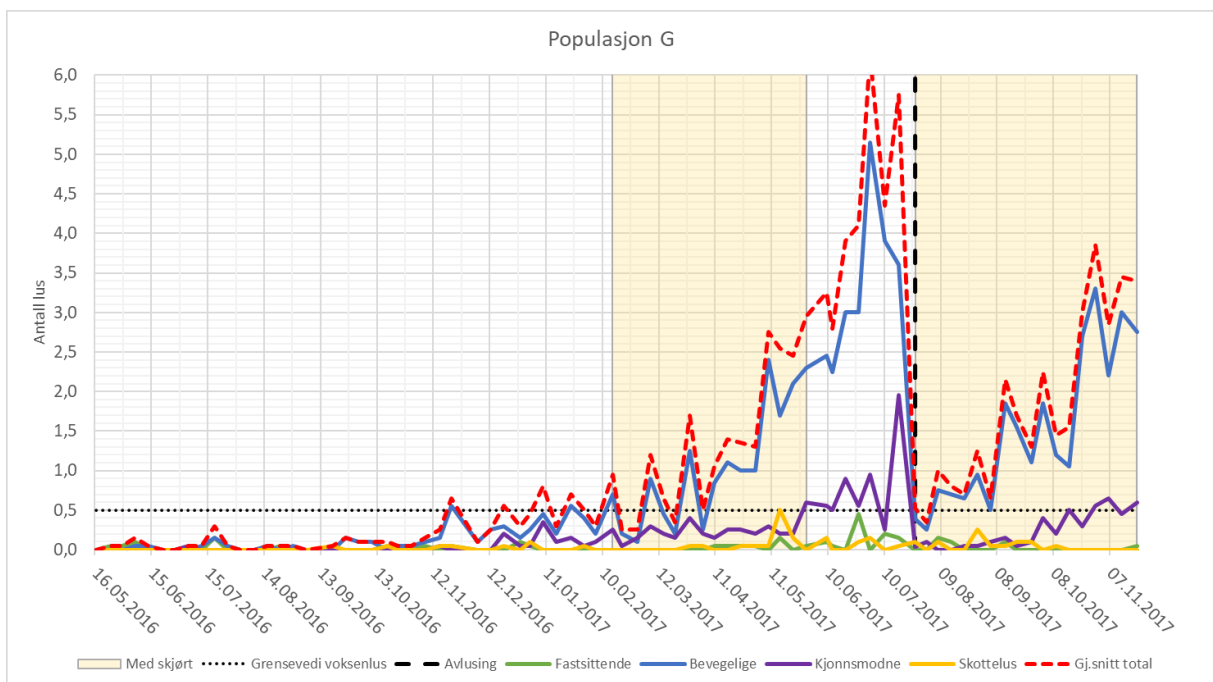
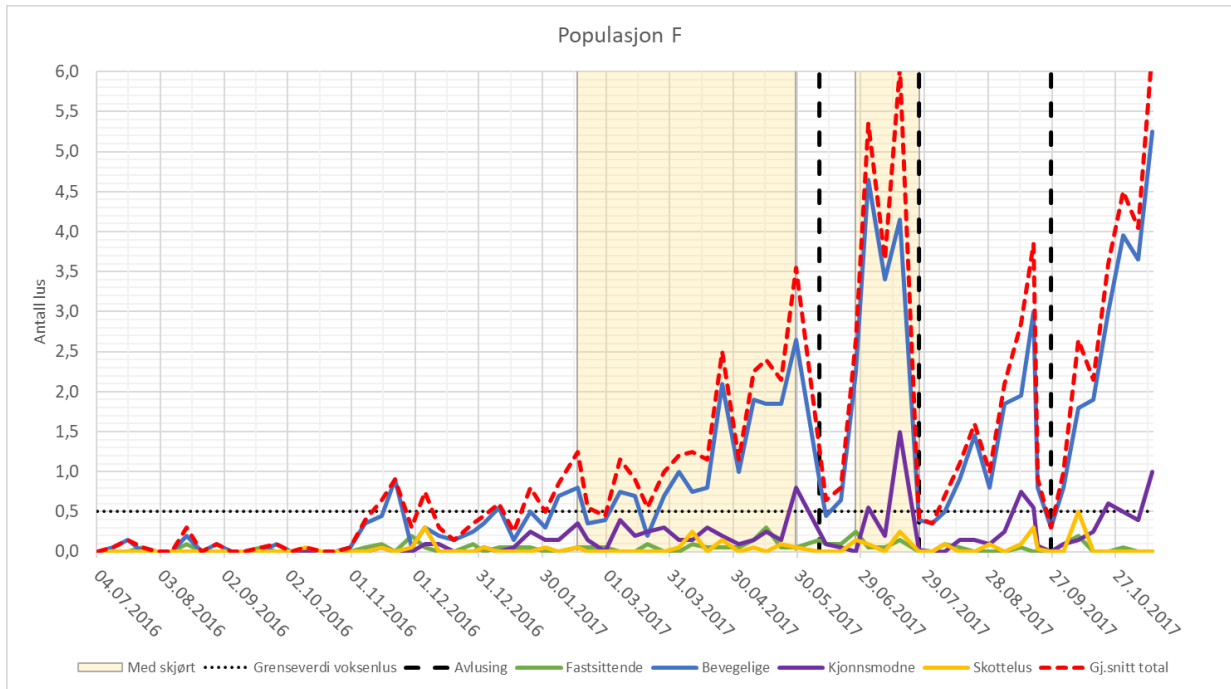
Oksygenmetning

Oksygenmetning i sjø		
	Revidert oksygenmetning	Opprinnelig oksygenmetning
Jan	84	91
Feb	92	92
Mar	93	93
Apr	94	94
Mai	95	95
Jun	88	92
Jul	83	88
Aug	84	87
Sep	78	85
Okt	70	88
Nov	80	88
Des	88	90
Jan	84	91
Feb	92	92
Mar	93	93
Apr	94	94
Mai	95	95
Jun	88	92
Jul	83	88
Aug	84	87
Sep	78	85
Okt	70	88
Nov	80	88
Des	88	90

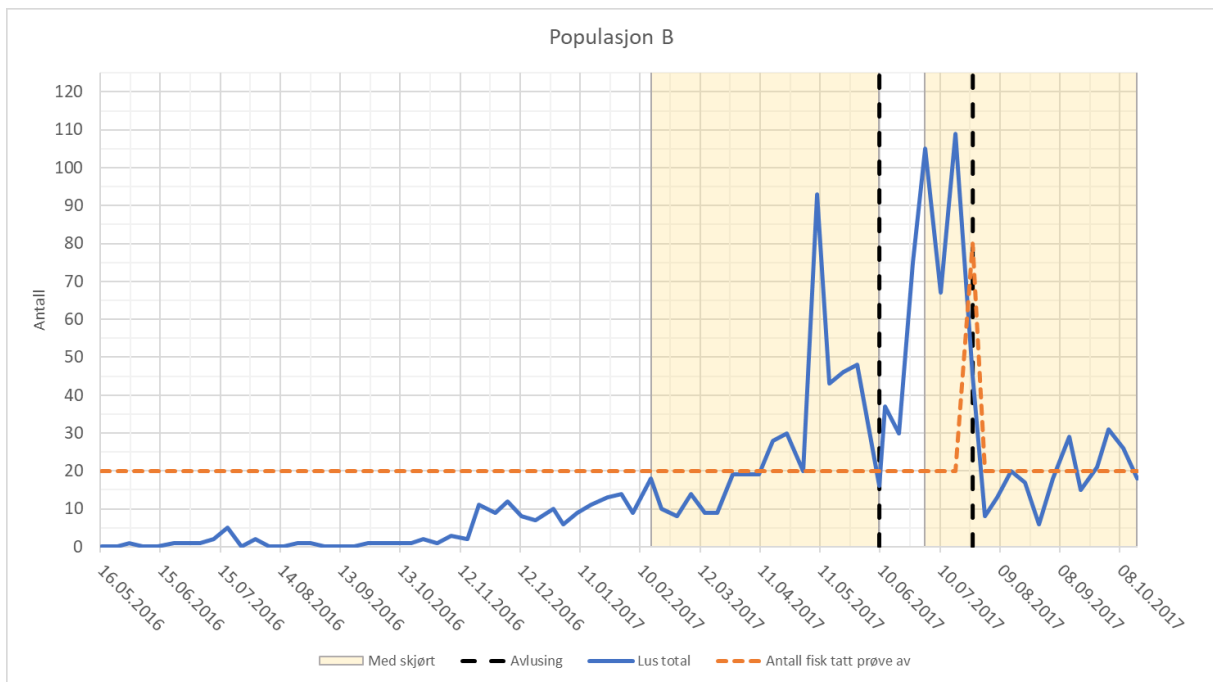
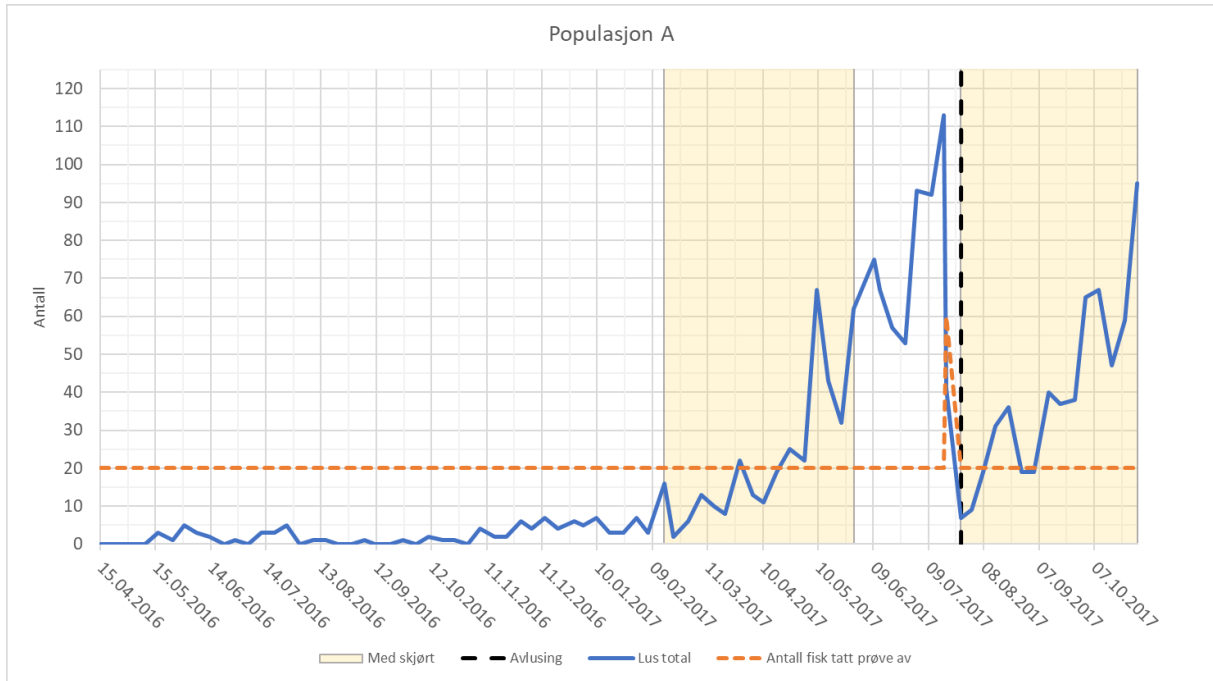
Vedlegg 3

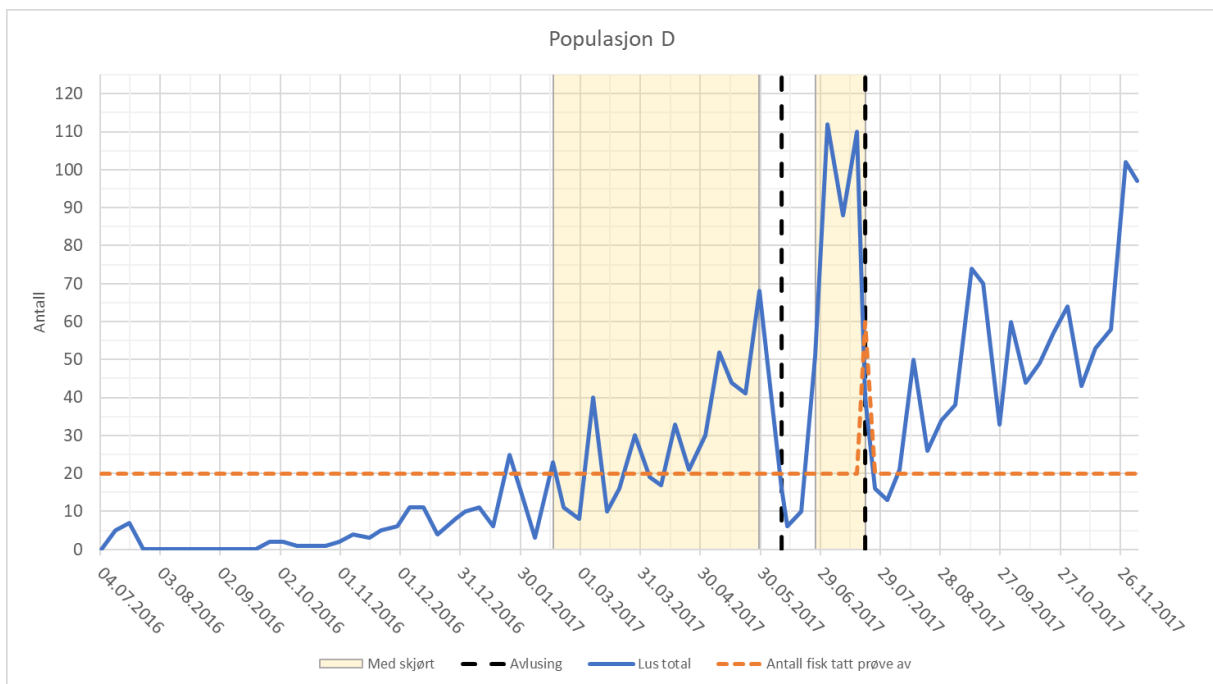
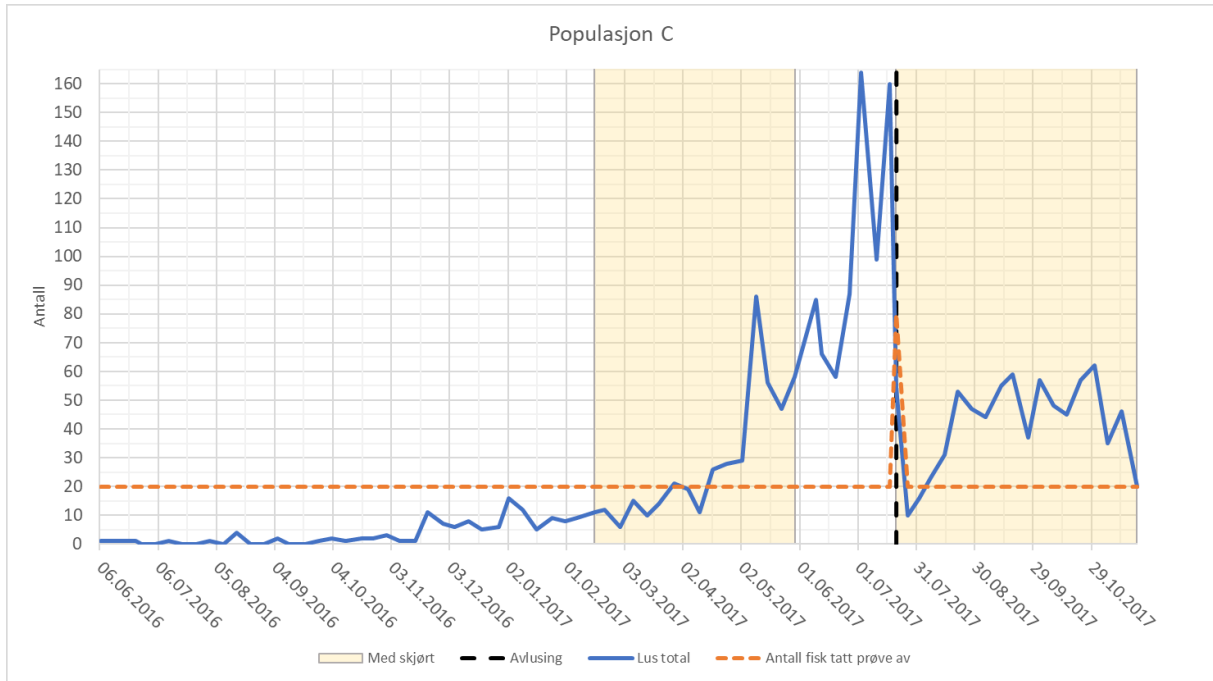
Gjennomsnittlig antall lus

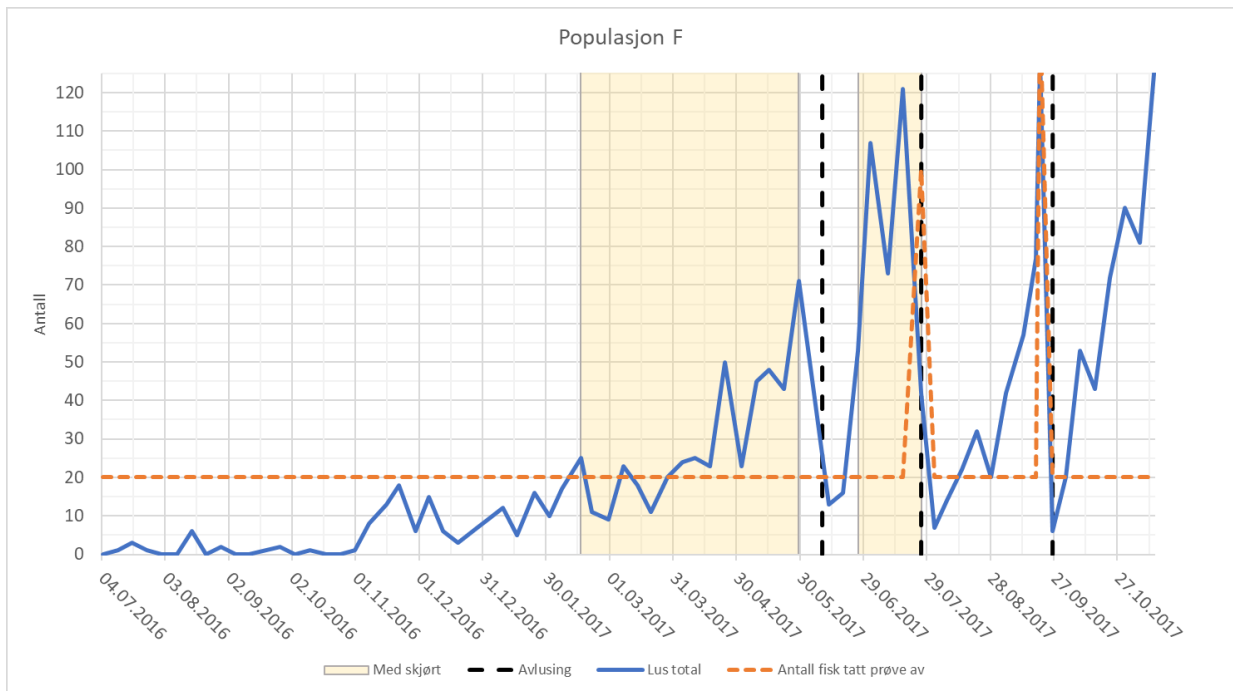
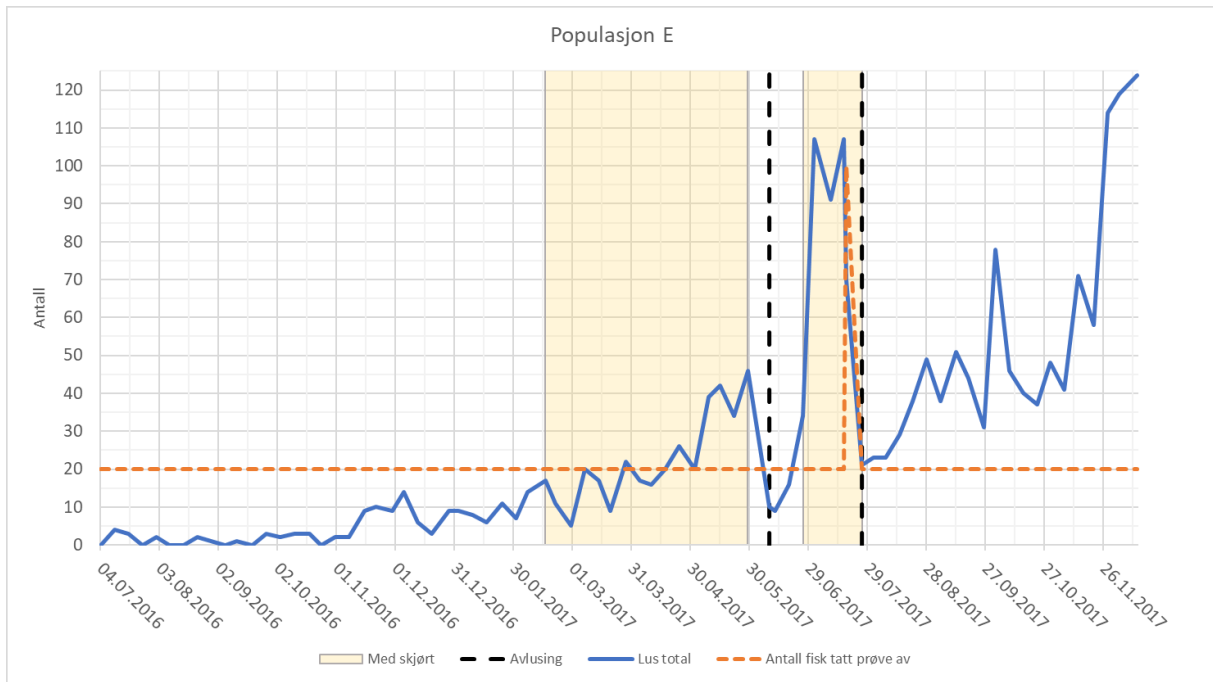


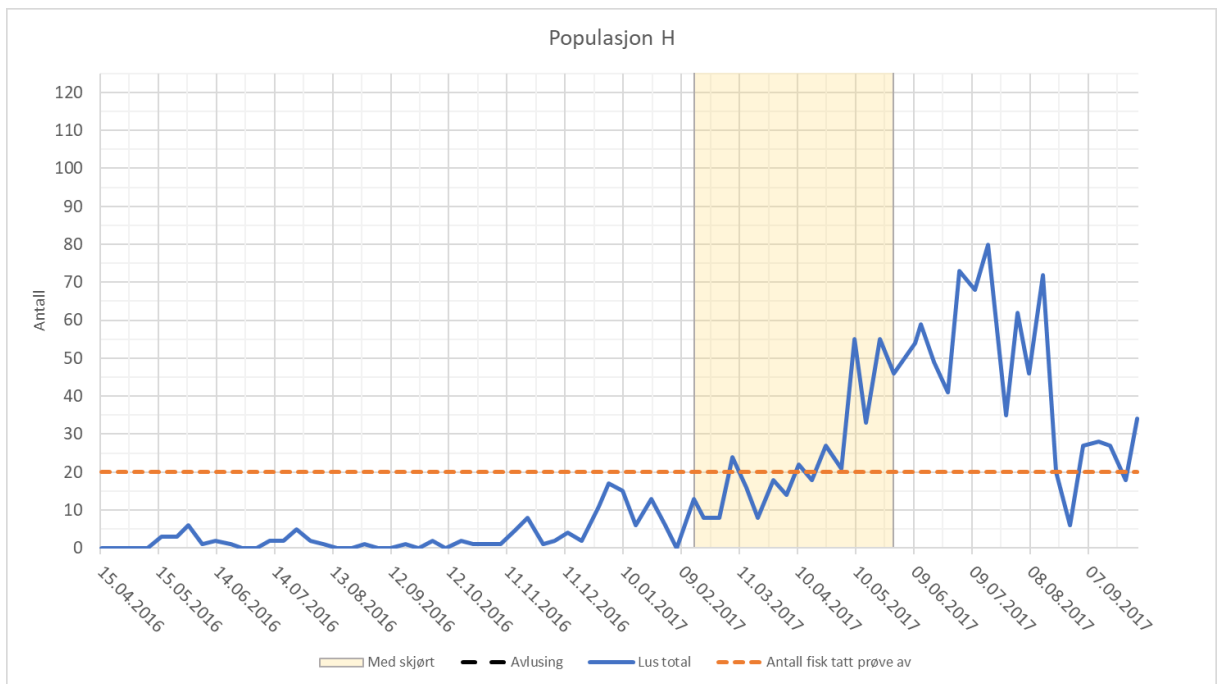
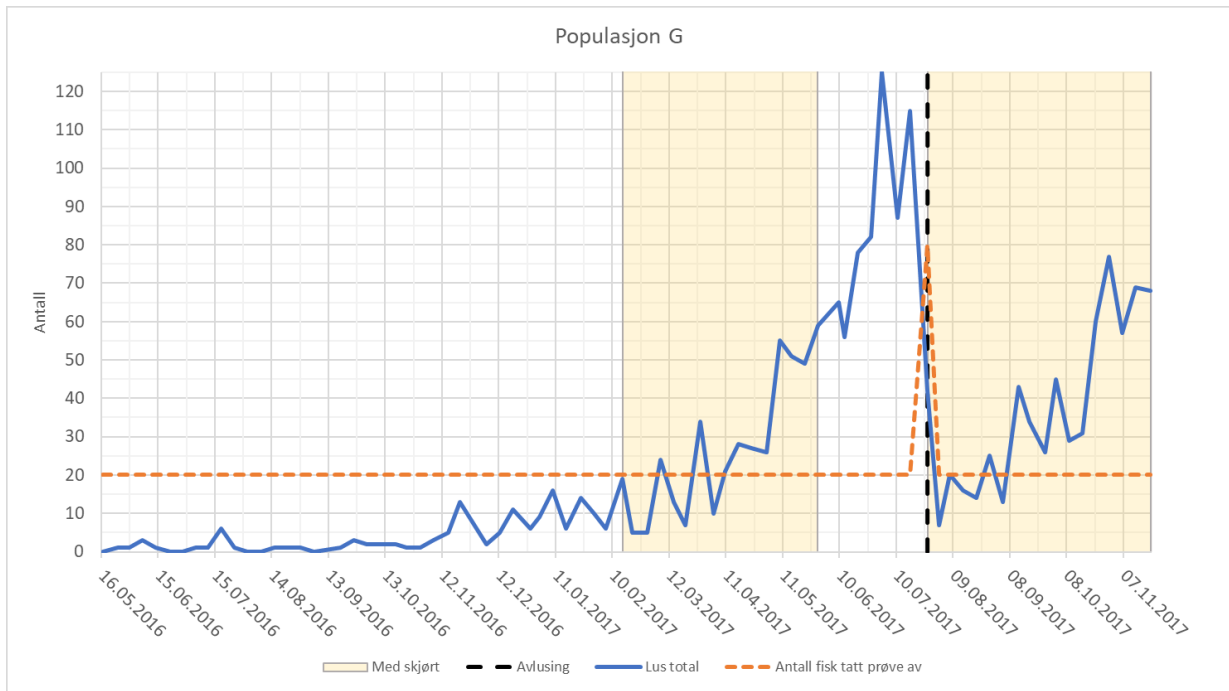


Totalt antall lus og antall individer kontrollert









Dødelighet

	Pop.A	Pop.B	Pop.C	Pop.D	Pop.E	Pop.F	Pop.G	Pop.H
Total	57 614	78 342	62 017	149 341	155 093	66 474	60 457	22 498
Gj.snitt	217	292	241	545	562	260	226	92
Median	33	42	42	61	73	75	51	40
07.06.17					31 401			
08.06.17				9 964				
09.06.17		8 275				314		
10.06.17		17 347			12 990			
24.07.17	30 230		15 978	1 819	3 633			
25.07.17								
26.07.17		7 596				1 301	6 500	
03.10.17						214		

Tabellen viser dødelighet i kilogram biomasse for populasjonene. De utvalgte datoene er dager hvor det er gjennomført avlusing og enkelt dager etter avlusing.

Vedlegg 4

Rådata filtrert

```
#Gjøre alle NA til 0
#Merde2_filtrert <- Merde_2_radata

#is.na(Merde2_filtrert)

#Biomasse0 [is.na(Biomasse0)]=0
#is.na(Biomasse0)

#summary(Biomasse0)

#Setter sammen Merde1 Q1-Q4 til et datasett
Merde_1_radata<-rbind(Merde_1_radata_Q1,
Merde_1_radata_Q2, Merde_1_radata_Q3,
Merde_1_radata_Q4)

boxplot(Merde2_filtrert$`O2 Sat sens, 1[%]`,
Merde2_filtrert$`O2 Sat sens, 2[%]`,
Merde2_filtrert$`O2 Sat sens, 3[%]`)

plot(Merde2_filtrert$Time,
Merde2_filtrert$`O2 Sat sens, 2[%]`)

#Definerer nye variable ut fra rådata.
x1<-Merde_1_radata
x2<-Merde_2_radata
x3<-Merde_3_radata
x4<-Merde_4_radata
x5<-Merde_5_radata
x6<-Merde_6_radata
x7<-Merde_7_radata

#Filtrerer ut alle oksygenverdier som er under
15%. Gjør det for alle merder.

#Merde 1
names(x1) <- c("UTC", "W. Europe Standard
Time", "Oxygen[%]", "Oxygen[mg/l]",
```

```
"Hypoxia grade", "Temperature[C]",
"Oxygen_1[%]", "Oxygen_1[mg/l]", "Hypoxia
grade_1", "Temperature_1[C]")
```

```
x1$`Oxygen[%]`[x1$`Oxygen[%]`<40] <- NA
#fjerner oksygenmetning under 40%
```

```
x1$`Oxygen_1[%]`[x1$`Oxygen_1[%]`<40] <-
NA #fjerner oksygenmetning under 40%
```

```
x1$`Oxygen[%]`[x1$`Oxygen[%]` >140] <- NA
```

```
x1$`Oxygen_1[%]`[x1$`Oxygen_1[%]` >140] <-
NA
```

```
x1$`Temperature[C]`[x1$`Temperature[C]`
>20 ] <- NA #fjerner temp over 20grader
```

```
x1$`Temperature_1[C]`[x1$`Temperature_1[C]
]>20 ] <- NA #fjerner temp over 20grader
```

```
x1$`Temperature[C]`[x1$`Temperature[C]`
<=2 ] <- NA #fjerner temp minde eller lik 0
grader
```

```
x1$`Temperature_1[C]`[x1$`Temperature_1[C]
]` <=2 ] <- NA #fjerner temp minde eller lik 0
grader
```

```
summary(x1)
```

#Merde 2

```
names(x2) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]",
"O2_Sat_sens_2[%]", "pH_sensor[pH]",
"O2_Sat_sens_3[%]", "O2_Valve_1[%]",
"O2_Valve_2[%]", "Temp_O2_sens[C]",
"Temp_O2_sens_1[C]", "Temp_pS_sens",
"Temp_O2_sens_2[C]", "FlowCh1[kg/h]",
"FlowCh2[kg/h]")
```

```
x2$`O2_Sat_sens_1[%]`[x2$`O2_Sat_sens_1[%]
]` <40] <- NA #alt under 40
```

```
x2$`O2_Sat_sens_2[%]`[x2$`O2_Sat_sens_2[%]
]` <40] <- NA
```

```
x2$`O2_Sat_sens_3[%]`[x2$`O2_Sat_sens_3[%]
]` <40] <- NA
```

```
x2$`O2_Sat_sens_1[%]`[x2$`O2_Sat_sens_1[%]
]` >140] <- NA #alt under 40
```

```
x2$`O2_Sat_sens_2[%]`[x2$`O2_Sat_sens_2[%]
]` >140] <- NA
```

```
x2$`O2_Sat_sens_3[%]`[x2$`O2_Sat_sens_3[%]` >140] <- NA
```

```
x2$`pH_sensor[pH]`[x2$`pH_sensor[pH]` <7] <- NA
```

```
x2$`pH_sensor[pH]`[x2$`pH_sensor[pH]` >9] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens[C]`[x2$`Temp_O2_sens[C]` >20] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens_1[C]`[x2$`Temp_O2_sens_1[C]` >20] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens[C]`[x2$`Temp_O2_sens[C]` <2] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens_1[C]`[x2$`Temp_O2_sens_1[C]` <2] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens_2[C]`[x2$`Temp_O2_sens_2[C]` <2] <- NA
```

```
x2$`Temp_O2_sens_2[C]`[x2$`Temp_O2_sens_2[C]` >20] <- NA
```

```
x2$Temp_pS_sens[x2$Temp_pS_sens <2] <- NA
```

```
x2$Temp_pS_sens[x2$Temp_pS_sens >20] <- NA
```

```
summary(x2)
```

```
#Merde 3
```

```
names(x3) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]", "Salinite_sensor[%]", "pH_sensor[pH]", "Temp_O2_sensor[C]", "Temp_Salinite[C]", "Temp_pH_sens")
```

```
x3$`O2_Sat_sens_1[%]`[x3$`O2_Sat_sens_1[%]` <40] <- NA
```

```
x3$`O2_Sat_sens_1[%]`[x3$`O2_Sat_sens_1[%]` >140] <- NA
```

```
x3$`pH_sensor[pH]`[x3$`pH_sensor[pH]` <7] <- NA #alt under 7pH
```

```
x3$`Temp_O2_sensor[C]`[x3$`Temp_O2_sensor[C]` >20] <- NA
```

```
x3$`Temp_O2_sensor[C]`[x3$`Temp_O2_sensor[C]` <=2] <- NA #fjerner 2grader og nedover
```

```
x3$Temp_pH_sens[x3$Temp_pH_sens >20] <- NA
```

```
x3$Temp_pH_sens[x3$Temp_pH_sens <=2] <- NA #fjerner 2grader og nedover
```

```
summary(x3)
```

```
#Merde 4
```

```
names(x4) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]", "O2_Sat_sens_2[%]", "pH_sensor[pH]", "O2_Sat_sens_3[%]", "O2_Valve_1[%]", "O2_Valve_2[%]", "Temp_O2_sens[C]", "Temp_O2_sens_1[C]", "Temp_pS_sens", "Temp_O2_sens_2[C]", "FlowCh1[kg/h]", "FlowCh2[kg/h]")
```

```
x4$`O2_Sat_sens_1[%]`[x4$`O2_Sat_sens_1[%]` <40] <- NA #alt under 40
```

```
x4$`O2_Sat_sens_2[%]`[x4$`O2_Sat_sens_2[%]` <40] <- NA
```

```
x4$`O2_Sat_sens_3[%]`[x4$`O2_Sat_sens_3[%]` <40] <- NA
```

```
x4$`O2_Sat_sens_1[%]`[x4$`O2_Sat_sens_1[%]` >140] <- NA #alt under 40
```

```
x4$`O2_Sat_sens_2[%]`[x4$`O2_Sat_sens_2[%]` >140] <- NA
```

```
x4$`O2_Sat_sens_3[%]`[x4$`O2_Sat_sens_3[%]` >140] <- NA
```

```
x4$`pH_sensor[pH]`[x4$`pH_sensor[pH]` <7] <- NA
```

```
x4$`pH_sensor[pH]`[x4$`pH_sensor[pH]` >9] <- NA
```

```
x4$`Temp_O2_sens[C]`[x4$`Temp_O2_sens[C]` >20] <- NA
```

```
x4$`Temp_O2_sens_1[C]`[x4$`Temp_O2_sens_1[C]` >20] <- NA
```

```
x4$`Temp_O2_sens[C]`[x4$`Temp_O2_sens[C]` <2] <- NA
```

```
x4$`Temp_O2_sens_1[C]`[x4$`Temp_O2_sens_1[C]` <2] <- NA
```



```
x4$`Temp_O2_sens_2[C]`[x4$`Temp_O2_sens_2[C]`<2] <- NA
```

```
x4$`Temp_O2_sens_2[C]`[x4$`Temp_O2_sens_2[C]`>20] <- NA
```

```
x4$Temp_pS_sens[x4$Temp_pS_sens <2] <- NA
```

```
x4$Temp_pS_sens[x4$Temp_pS_sens >20] <- NA
```

```
summary(x4)
```

```
#Merde 5
```

```
names(x5) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]",  
"O2_Sat_sens_2[%]", "pH_sensor[pH]",  
"O2_Sat_sens_3[%]", "O2_Valve_1[%]",  
"O2_Valve_2[%]", "Temp_O2_sens[C]",  
"Temp_O2_sens_1[C]", "Temp_pS_sens",  
"Temp_O2_sens_2[C]", "FlowCh1[kg/h]",  
"FlowCh2[kg/h]")
```

```
x5$`O2_Sat_sens_1[%]`[x5$`O2_Sat_sens_1[%]`<40] <- NA #alt under 40
```

```
x5$`O2_Sat_sens_2[%]`[x5$`O2_Sat_sens_2[%]`<40] <- NA
```

```
x5$`O2_Sat_sens_3[%]`[x5$`O2_Sat_sens_3[%]`<40] <- NA
```

```
x5$`O2_Sat_sens_1[%]`[x5$`O2_Sat_sens_1[%]`>140] <- NA #alt under 40
```

```
x5$`O2_Sat_sens_2[%]`[x5$`O2_Sat_sens_2[%]`>140] <- NA
```

```
x5$`O2_Sat_sens_3[%]`[x5$`O2_Sat_sens_3[%]`>140] <- NA
```

```
x5$pH_sensor[pH]`[x5$pH_sensor[pH]`<7] <- NA
```

```
x5$pH_sensor[pH]`[x5$pH_sensor[pH]`>9] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens[C]`[x5$`Temp_O2_sens[C]`>20] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens_1[C]`[x5$`Temp_O2_sens_1[C]`>20] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens[C]`[x5$`Temp_O2_sens[C]`<2] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens_1[C]`[x5$`Temp_O2_sens_1[C]`<2] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens_2[C]`[x5$`Temp_O2_sens_2[C]`<2] <- NA
```

```
x5$`Temp_O2_sens_2[C]`[x5$`Temp_O2_sens_2[C]`>20] <- NA
```

```
x5$Temp_pS_sens[x5$Temp_pS_sens <2] <- NA
```

```
x5$Temp_pS_sens[x5$Temp_pS_sens >20] <- NA
```

```
summary(x5)
```

```
#Merde 6
```

```
names(x6) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]",  
"O2_Sat_sens_2[%]", "pH_sensor[pH]",  
"O2_Sat_sens_3[%]", "O2_Valve_1[%]",  
"O2_Valve_2[%]", "Temp_O2_sens[C]",  
"Temp_O2_sens_1[C]", "Temp_pS_sens",  
"Temp_O2_sens_2[C]", "FlowCh1[kg/h]",  
"FlowCh2[kg/h]")
```

```
x6$`O2_Sat_sens_1[%]`[x6$`O2_Sat_sens_1[%]`<40] <- NA #alt under 40
```

```
x6$`O2_Sat_sens_2[%]`[x6$`O2_Sat_sens_2[%]`<40] <- NA
```

```
x6$`O2_Sat_sens_3[%]`[x6$`O2_Sat_sens_3[%]`<40] <- NA
```

```
x6$`O2_Sat_sens_1[%]`[x6$`O2_Sat_sens_1[%]`>140] <- NA #alt under 40
```

```
x6$`O2_Sat_sens_2[%]`[x6$`O2_Sat_sens_2[%]`>140] <- NA
```

```
x6$`O2_Sat_sens_3[%]`[x6$`O2_Sat_sens_3[%]`>140] <- NA
```

```
x6$pH_sensor[pH]`[x6$pH_sensor[pH]`<7] <- NA
```

```
x6$pH_sensor[pH]`[x6$pH_sensor[pH]`>9] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens[C]`[x6$`Temp_O2_sens[C]`  
`>20] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens_1[C]`[x6$`Temp_O2_sens_1[C]`  
`>20] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens[C]`[x6$`Temp_O2_sens[C]`  
`<2] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens_1[C]`[x6$`Temp_O2_sens_1[C]`  
`<2] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens_2[C]`[x6$`Temp_O2_sens_2[C]`  
`<2] <- NA
```

```
x6$`Temp_O2_sens_2[C]`[x6$`Temp_O2_sens_2[C]`  
`>20] <- NA
```

```
x6$Temp_pS_sens[x6$Temp_pS_sens <2] <-  
NA
```

```
x6$Temp_pS_sens[x6$Temp_pS_sens >20] <-  
NA
```

```
summary(x6)
```

```
#Merde 7.
```

```
names(x7) <- c("Time", "O2_Sat_sens_1[%]",  
"Salinite_sensor[%]", "pH_sensor[pH]",  
"Temp_O2_sensor[C]", "Temp_Salinite[C]",  
"Temp_pH_sens")
```

```
x7$`O2_Sat_sens_1[%]`[x7$`O2_Sat_sens_1[%]`  
`<40] <- NA
```

```
x7$`O2_Sat_sens_1[%]`[x7$`O2_Sat_sens_1[%]`  
`>140] <- NA
```

```
x7$`pH_sensor[pH]`[x7$`pH_sensor[pH]`<7] <-  
NA #alt under 7pH
```

```
x7$`Temp_O2_sensor[C]`[x7$`Temp_O2_sens  
or[C]`>20] <- NA
```

```
x7$`Temp_O2_sensor[C]`[x7$`Temp_O2_sens  
or[C]`<=2] <-NA #fjerner 0grader og nedover
```

```
x7$Temp_pH_sens[x7$Temp_pH_sens >20] <-  
NA
```

```
x7$Temp_pH_sens[x7$Temp_pH_sens <=2] <-  
NA #fjerner 2grader og nedover
```

```
summary(x7)
```

```
write.csv2(x1, file = "Merde_1().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x2, file = "Merde_2().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x3, file = "Merde_3().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x4, file = "Merde_4().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x5, file = "Merde_5().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x6, file = "Merde_6().csv", na = "" )
```

```
write.csv2(x7, file = "Merde_7().csv", na = "" )
```

```
write(summary(x1), file="xi.txt")
```

```
write.csv2(summary(x1),  
file="sammendrag_x1.csv")
```

```
write.csv2(summary(x2),  
file="sammendrag_x2.csv")
```

```
write.csv2(summary(x3),  
file="sammendrag_x3.csv")
```

```
write.csv2(summary(x4),  
file="sammendrag_x4.csv")
```

```
write.csv2(summary(x5),  
file="sammendrag_x5.csv")
```

```
write.csv2(summary(x6),  
file="sammendrag_x6.csv")
```

```
write.csv2(summary(x7),  
file="sammendrag_x7.csv")
```

```
plot(Daglig_tilvekst)
```

```
boxplot(Merde_2_radata$`O2 Sat sens,  
1[%]`,Merde_3_radata$`O2 Sat sen,  
1r[%]`,Merde_4_radata$`O2 Sat sens, 1[%]`,  
Merde_5_radata$`O2 Sat sens, 1[%]`,  
Merde_6_radata$`O2 Sat sens,  
1[%]`,Merde_7_radata$`O2 Sat sen, 1r[%]`)
```

Aggregering daglig

```
library(tidyverse)
```

```
library(dplyr)
```

```
oxy_merde_1 <- x1 %>%
```

```
  mutate(Date = format(`UTC`, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`Oxygen[%]`, `Temperature  
_1[C]`), function(x) mean(x, na.rm = T))%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_1$Skjort[25:112] = 100000
```

```
oxy_merde_2 <- x2 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `Flow  
Ch2[kg/h]`), function(x) mean(x, na.rm = T))  
%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_2$Skjort[1:59] = 100000
```

```
oxy_merde_2$Skjort[80:250] = 100000
```

```
oxy_merde_3 <- x3 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `Temp  
_pH_sens`), function(x) mean(x, na.rm = T))  
%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_3$Skjort[1:59] = 100000
```

```
oxy_merde_4 <- x4 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `Flow  
Ch2[kg/h]`), function(x) mean(x, na.rm = T))  
%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_4$Skjort[1:59] = 100000
```

```
oxy_merde_4$Skjort[85:244] = 100000
```

```
oxy_merde_5 <- x5 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `Flow  
Ch2[kg/h]`), function(x) mean(x, na.rm = T))  
%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_5$Skjort[1:59] = 100000
```

```
oxy_merde_5$Skjort[85:250] = 100000
```

```
oxy_merde_6 <- x6 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))  
%>%
```

```
  group_by(Date) %>%
```

```
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `Flow  
Ch2[kg/h]`), function(x) mean(x, na.rm = T))  
%>%
```

```
  mutate(Skjort = NA)
```

```
oxy_merde_6$Skjort[1:59] = 100000
```

```
oxy_merde_6$Skjort[83:250] = 100000
```

```
oxy_merde_7 <- x7 %>%
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d"))
  %>%
  group_by(Date) %>%

  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`:Temp_
    _pH_sens), function(x) mean(x, na.rm = T))
  %>%
  mutate(Skjort = NA)
oxy_merde_7$Skjort[1:59] = 100000
```

```
write.csv2(oxy_merde_1, file =
  "agg_dag_m1.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_2, file =
  "agg_dag_m2.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_3, file =
  "agg_dag_m3.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_4, file =
  "agg_dag_m4.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_5, file =
  "agg_dag_m5.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_6, file =
  "agg_dag_m6.csv", na="")
write.csv2(oxy_merde_7, file =
  "agg_dag_m7.csv", na="")
```

```
summary(oxy_merde_1)
summary(oxy_merde_2)
summary(oxy_merde_3)
summary(oxy_merde_4)
summary(oxy_merde_5)
summary(oxy_merde_6)
summary(oxy_merde_7)
```

```
Nettoproduksjon <- Nettoproduksjon %>%
  mutate(Date = format(X__1, "%Y-%m-%d"))
  #inner_join(oxy_merde_2)
```

```
Daglig_tilvekst <- Daglig_tilvekst %>%
  mutate(Date = format(`Row Labels`, "%Y-
    %m-%d"))
```

```
Foring <- Foring %>%
  mutate(Date = format(`Row Labels`, "%Y-
    %m-%d"))
```

kg_dode_fisk

```
kg_dode <- kg_dode_dag_radata #FiskD ble flyttet fra merd4 (til merd6)
                                07.06.2017

#Ny DataFrame hvor fisken f?lges
kg_dode_fisk = data.frame(matrix(NA, #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                nrow=347, ncol = 9)) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

names(kg_dode_fisk) <- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
c("Dato", "FiskA", "FiskB", "FiskC", "FiskD", "Fiske", #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
  "FiskF", "FiskG", "FiskH") #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$Dato <- kg_dode$Dato #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#kg_dode_fisk$Dato <- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
as.Date(kg_dode_fisk$Dato) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskA ble flyttet fra merd1 (til merd6) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
23.07.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskA[1:233]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0001`[1:233] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskA[234:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0006`[234:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskB ble flyttet fra merd2 (til merd4) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
08.06.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskB[1:205]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0002`[1:205] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskB[206:234]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0004`[206:234] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskB ble flyttet fra merd4 (til merd5) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
24.07.2017(23.07.2017) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskB[235:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0005`[235:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskC ble flyttet fra merd3 (til merd2) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
23.07.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskC[1:233]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0003`[1:233] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskC[234:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0002`[234:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskD[1:204]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0004`[1:204] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskD[205:233]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0006`[205:233] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskD[234:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0003`[234:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskE ble flyttet fra merd5 (til merd2) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
07.06.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskE[1:204]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0005`[1:204] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskE[205:233]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0002`[205:233] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskE ble flyttet fra merd2 (til merd1) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
23.07.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskE[234:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0001`[234:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskF ble flyttet fra merd6 (til merd5) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
07.06.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskF[1:204]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0006`[1:204] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskF[205:234]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0005`[205:234] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskF ble flyttet fra merd5 (til merd9) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
24.07.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskF[235:277]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0009`[235:277] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

#FiskF ble flyttet fra merd9 (til merd7) #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
30.09.2017 #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017

kg_dode_fisk$FiskF[278:347]=kg_dode$`BSR- #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
0007`[278:347] #FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)
                                23.07.2017
```

```
#FiskG ble flyttet fra merd7 (til merd4)
25.07.2017

kg_dode_fisk$FiskG[1:234]=kg_dode$`BSR-
0007`[1:234]

kg_dode_fisk$FiskG[235:347]=kg_dode$`BSR-
0004`[235:347]

#FiskH var i merd8 under hele perioden

kg_dode_fisk$FiskH[1:347]=kg_dode$`BSR-
0008`[1:347]

write.csv2(kg_dode_fisk, file =
'kg_dode_pop.csv', na="")

write.csv2(kg_dode, file =
'kg_dode_merd.csv', na="")
```

Lus_per_merd

```
Lus_per_merd1 <- subset(Lusetellinger, Enhet
== "BSR - 0001")
```

```
plot(Lus_per_merd1$Dato,
Lus_per_merd1$`Lus total`/20)
```

```
lines(Lus_per_merd1$Dato,
Lus_per_merd1$Fastsittende)
```

```
lines(Lus_per_merd1$Dato,
Lus_per_merd1$Bevegelige)
```

```
lines(Lus_per_merd1$Dato,
Lus_per_merd1$Kjonnsmodne)
```

```
lines(Lus_per_merd1$Dato,
Lus_per_merd1$Skottelus)
```

```
Lus_per_merd2 <- subset(Lusetellinger, Enhet
== "BSR - 0002")
```

```
plot(Lus_per_merd2$Dato,
Lus_per_merd2$`Lus total`/20)
```

```
lines(Lus_per_merd2$Dato,
Lus_per_merd2$Fastsittende)
```

```
lines(Lus_per_merd2$Dato,
Lus_per_merd2$Bevegelige)
```

```
lines(Lus_per_merd2$Dato,
Lus_per_merd2$Kjonnsmodne)
```

```
lines(Lus_per_merd2$Dato,
Lus_per_merd2$Skottelus)
```

```
Lus_per_merd3 <- subset(Lusetellinger, Enhet
== "BSR - 0003")
```

```
Lus_per_merd4 <- subset(Lusetellinger, Enhet
== "BSR - 0004")
```

```
Lus_per_merd5 <- subset(Lusetellinger, Enhet
== "BSR - 0005")
```

```
Lus_per_merd6 <- subset(Lusetellinger, Enhet == "BSR - 0006")
```

```
Lus_per_merd7 <- subset(Lusetellinger, Enhet == "BSR - 0007")
```

```
Lus_per_merd8 <- subset(Lusetellinger, Enhet == "BSR - 0008")
```

```
Lus_per_merd9 <- subset(Lusetellinger, Enhet == "BSR - 0009")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd1, file = "Lus_per_merd1.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd2, file = "Lus_per_merd2.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd3, file = "Lus_per_merd3.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd4, file = "Lus_per_merd4.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd5, file = "Lus_per_merd5.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd6, file = "Lus_per_merd6.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd7, file = "Lus_per_merd7.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd8, file = "Lus_per_merd8.csv")
```

```
write.csv2(Lus_per_merd9, file = "Lus_per_merd9.csv")
```

Lus_per_pop

```
#Ny DataFrame hvor fisken følges
```

```
Lus_per_FiskA = data.frame(matrix(NA, nrow=90, ncol = 14))
```

```
names(Lus_per_FiskA) <-  
c("Dato", "Dag", "Veke", "Måned", "År", "Region",  
"Område", "Enhet", "Fastsittende",  
"Bevegelige", "Kjønnsmodne", "Skottelus",  
"Lus totalt", "Antall fisk tatt prøve av")
```

```
#FiskA ble flyttet fra merd1 (til merd6)  
23.07.2017
```

```
Lus_per_FiskA <-  
rbind((Lus_per_merd1[1:68,]),  
Lus_per_merd6[57:71,])
```

```
#FiskB ble flyttet fra merd2 (til merd4)  
08.06.2017
```

```
Lus_per_FiskB <-  
rbind((Lus_per_merd2[1:55,]),  
(Lus_per_merd4[49:55,]))
```

```
#FiskB ble flyttet fra merd4 (til merd5)  
24.07.2017(23.07.2017)
```

```
Lus_per_FiskB <- rbind(Lus_per_FiskB,  
Lus_per_merd5[56:68,])
```

```
#FiskC ble flyttet fra merd3 (til merd2)  
23.07.2017
```

```
Lus_per_FiskC <-  
rbind((Lus_per_merd3[1:60,]),  
(Lus_per_merd2[64:81,]))
```

```
#FiskD ble flyttet fra merd4 (til merd6)  
07.06.2017
```

```
Lus_per_FiskD <-  
rbind((Lus_per_merd4[1:48,]),  
(Lus_per_merd6[49:56,]),  
Lus_per_merd3[61:80,])
```

```
#FiskD ble flyttet fra merd6 (til merd3)  
23.07.2017
```

```

Lus_per_FiskD <- rbind(Lus_per_FiskD,
Lus_per_merd3[61:80,])

#FiskE ble flyttet fra merd5 til merd2
07.06.2017 og fra merd2 til merd1 23.07.2017

Lus_per_FiskE <- rbind(Lus_per_merd5[1:48,],
Lus_per_merd2[56:63,],
Lus_per_merd1[69:89,])

#FiskF ble flyttet fra merd6 til merd5
07.06.2017, fra merd5 til merd9 24.07.2017 og
fra merd9 til merd7 30.09.2017

Lus_per_FiskF <- rbind(Lus_per_merd6[1:48,],
Lus_per_merd5[49:55,],
Lus_per_merd9[1:11,],
Lus_per_merd7[61:67,])

#FiskG ble flyttet fra merd7 (til merd4)
25.07.2017

Lus_per_FiskG <- rbind(Lus_per_merd7[1:60,],
Lus_per_merd4[56:73,])

#FiskH var i merd8 under hele perioden

Lus_per_FiskH <- Lus_per_merd8

write.csv2(Lus_per_FiskA, file =
"Lus_per_FiskA.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskB, file =
"Lus_per_FiskB.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskC, file =
"Lus_per_FiskC.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskD, file =
"Lus_per_FiskD.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskE, file =
"Lus_per_FiskE.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskF, file =
"Lus_per_FiskF.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskG, file =
"Lus_per_FiskG.csv", na="")

write.csv2(Lus_per_FiskH, file =
"Lus_per_FiskH.csv", na="")

```

Aggregering time

```

library(tidyverse)

library(dplyr)

library(lattice)

library(car)

x1_per_time <- x1 %>%

  mutate(Date = format(`UTC`, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%

  group_by(Date) %>%

summarize_at(vars(`Oxygen[%]`, `Oxygen_1[%]
`), function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x1_per_time$Skjort[568:2615] = 100000

x2_per_time <- x2 %>%

  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%

  group_by(Date) %>%

summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `O2_S
at_sens_2[%]`, `O2_Sat_sens_3[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x2_per_time$Skjort[1:1376] = 100000

#x2_per_time$Skjort[1881:5975] = 100000

x3_per_time <- x3 %>%

  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%

  group_by(Date) %>%

  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x3_per_time$Skjort[1:1375] = 100000

```



```

x4_per_time <- x4 %>%
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%
  group_by(Date) %>%

summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `O2_S
at_sens_2[%]`, `O2_Sat_sens_3[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x4_per_time$Skjort[1:1376] = 100000
#x4_per_time$Skjort[2001:5782] = 100000

x5_per_time <- x5 %>%
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%
  group_by(Date) %>%

summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `O2_S
at_sens_2[%]`, `O2_Sat_sens_3[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x5_per_time$Skjort[1:1377] = 100000
#x5_per_time$Skjort[2002:5976] = 100000

x6_per_time <- x6 %>%
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%
  group_by(Date) %>%

summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`, `O2_S
at_sens_2[%]`, `O2_Sat_sens_3[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)

#x6_per_time$Skjort[1:1382] = 100000
#x6_per_time$Skjort[1959:5981] = 100000

```

```

x7_per_time <- x7 %>%
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m-%d-
%H:00")) %>%
  group_by(Date) %>%
  summarize_at(vars(`O2_Sat_sens_1[%]`),
function(x) mean(x, na.rm = T))

#mutate(Skjort = NA)
#x7_per_time$Skjort[1:1380] = 100000

#write.csv2(x1_per_time, file =
"x1_per_time.csv", na = "")

#names(x1_per_time) <- c("Dato",
"m1_sens1", "m1_sens2", "Skjørt_1")

#names(x2_per_time) <-
c("Dato", "m2_sens1", "m2_sens2",
"m2_sens3", "Skjørt_2")

#names(x3_per_time) <-
c("Dato", "m3_sens1", "Skjørt_3")

#names(x4_per_time) <-
c("Dato", "m4_sens1", "m4_sens2",
"m4_sens3", "Skjørt_4")

#names(x5_per_time) <-
c("Dato", "m5_sens1", "m5_sens2",
"m5_sens3", "Skjørt_5")

#names(x6_per_time) <-
c("Dato", "m6_sens1", "m6_sens2",
"m6_sens3", "Skjørt_6")

#names(x7_per_time) <-
c("Dato", "m7_sens1", "Skjørt_7")

names(x1_per_time) <- c("Dato", "m1_sens1",
"m1_sens2")

names(x2_per_time) <- c("Dato", "m2_sens1",
"m2_sens2", "m2_sens3")

names(x3_per_time) <- c("Dato", "m3_sens1")

names(x4_per_time) <- c("Dato", "m4_sens1",
"m4_sens2", "m4_sens3")

```

```
names(x5_per_time) <- c("Dato", "m5_sens1",  
"m5_sens2", "m5_sens3")
```

```
names(x6_per_time) <- c("Dato", "m6_sens1",  
"m6_sens2", "m6_sens3")
```

```
names(x7_per_time) <- c("Dato", "m7_sens1")
```

```
tot_per_time <- x1_per_time %>%
```

```
  full_join(x2_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
tot_per_time <- tot_per_time %>%
```

```
  full_join(x3_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
tot_per_time <- tot_per_time %>%
```

```
  full_join(x4_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
tot_per_time <- tot_per_time %>%
```

```
  full_join(x5_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
tot_per_time <- tot_per_time %>%
```

```
  full_join(x6_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
tot_per_time <- tot_per_time %>%
```

```
  full_join(x7_per_time) %>%
```

```
  group_by(Dato)
```

```
write.csv2(tot_per_time, file =  
"tot_o2_per_time.csv", na="")
```

boxplot

```
dta <- ttest_O2_2.halvdel
```

```
dta_stk <- dta %>%
```

```
  gather(cage_sensor, value, -Dato) %>%
```

```
  separate(cage_sensor, c("cage", "sensor"))  
  %>%
```

```
  na.omit() %>%
```

```
  separate(Dato, c("Date", "Time"), sep = 11)  
  %>%
```

```
  mutate(Date = as.Date(Date, format = "%Y-  
%m-%d-"))
```

```
ggplot(dta_stk, aes(x = cage, y = value)) +
```

```
  geom_boxplot() +
```

```
  theme(text=element_text(size=17),  
axis.text.x = element_text(angle = 30, hjust =  
1, size = 15), axis.text.y = element_text(size =  
15)) +
```

```
  facet_grid(sensor ~ .)+
```

```
  ylim(40,120)+
```

```
  labs(x="Merd")+
```

```
  labs(y="Oksygenmetning [%]")+
```

```
  labs(title="Oksygennivå i merder for  
perioden 22 sept- 19 okt")+
```

```
  scale_x_discrete(limits=c("m2", "m4", "m5",  
"m6", "m1", "m3", "m7"))
```

Aggregere mnd

```
library(tidyverse)
```

```
library(dplyr)
```

```
agg_merde1 <- x1 %>%
```

```
  mutate(Date = format(UTC, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`Oxygen[%]`, `Oxygen[mg/l]`, `Temperature[C]`)~Date,
agg_merde1, mean)), file = "aggr1.csv", na="")
```

```
agg_merde2 <- x2 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, `Temp_O2_sens[C]`)~Date, agg_merde2,
mean)), file = "aggr2.csv", na="")
```

```
agg_merde3 <- x3 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, Temp_pH_sens)~Date, agg_merde3,
mean)), file = "aggr3.csv", na="")
```

```
agg_merde4 <- x4 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, `Temp_O2_sens[C]`)~Date, agg_merde4,
mean)), file = "aggr4.csv", na="")
```

```
agg_merde5 <- x5 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, `Temp_O2_sens[C]`)~Date, agg_merde5,
mean)), file = "aggr5.csv", na="")
```

```
agg_merde6 <- x6 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, `Temp_O2_sens[C]`)~Date, agg_merde6,
mean)), file = "aggr6.csv", na="")
```

```
agg_merde7 <- x7 %>%
```

```
  mutate(Date = format(Time, "%Y-%m")) %>%
```

```
  group_by(Date)
```

```
write.csv2((aggregate(cbind(`O2_Sat_sens_1[
%]`, `Temp_O2_sensor[C]`)~Date,
agg_merde7, mean)), file = "aggr7.csv", na="")
```


Vedlegg 5

Periode 1

The SAS System

The MEANS Procedure

Analysis Variable : ox						
behand	N Obs	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
1	5568	5328	82.3246097	12.7082923	40.5300000	117.4175000
2	4176	3744	82.9186542	12.4784940	44.7750000	111.4300000

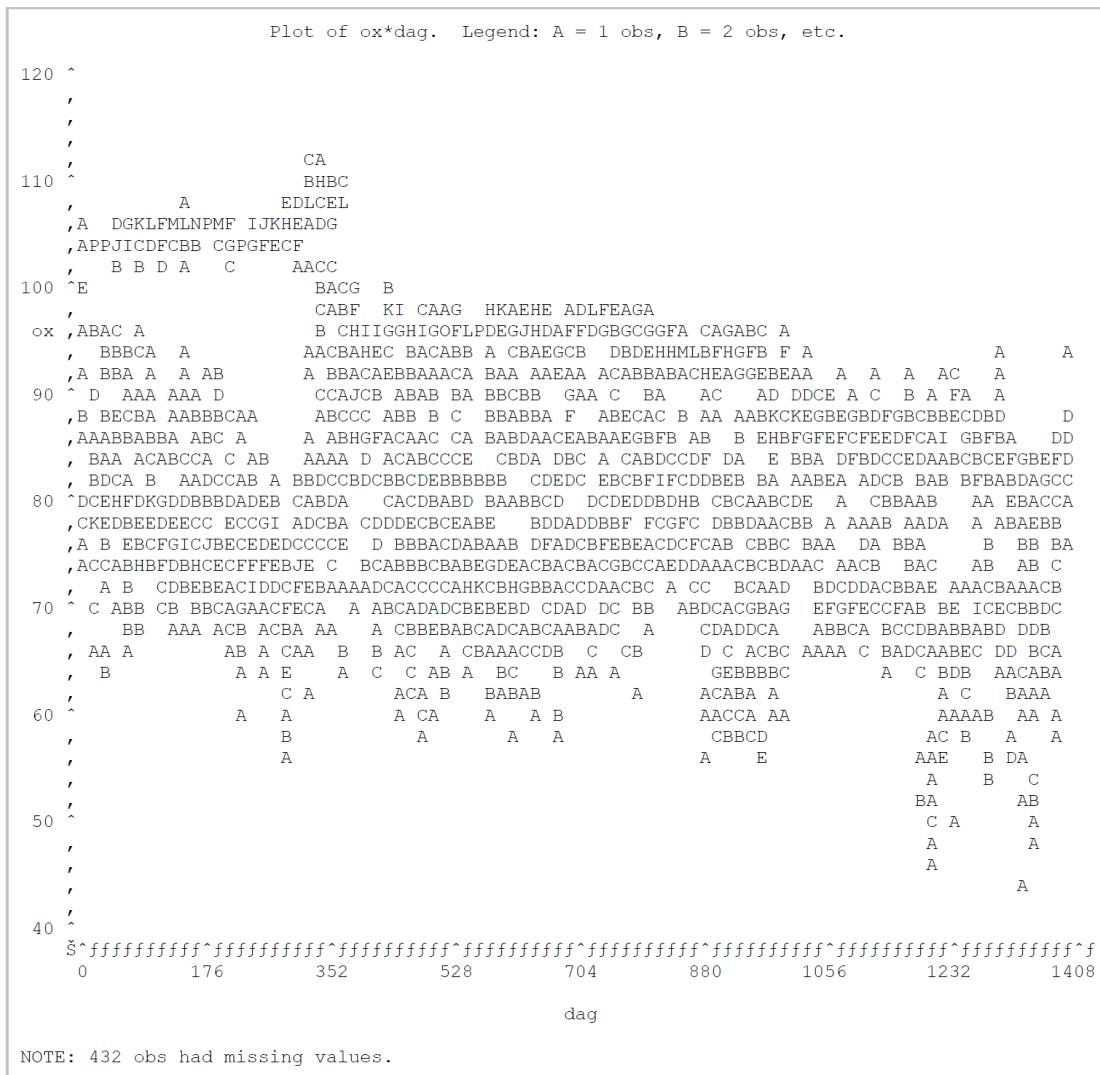
The SAS System

behand=1



The SAS System

behand=2



The SAS System

The Mixed Procedure

Model Information	
Data Set	WORK.TOT
Dependent Variable	ox
Covariance Structure	Variance Components
Estimation Method	REML
Residual Variance Method	Profile
Fixed Effects SE Method	Model-Based
Degrees of Freedom Method	Containment

Class Level Information		
Class	Levels	Values
behand	2	1 2
merd	7	1 2 3 4 5 6 7

Dimensions	
Covariance Parameters	2
Columns in X	17
Columns in Z	7
Subjects	1
Max Obs per Subject	9072

Number of Observations	
Number of Observations Read	9744
Number of Observations Used	9072
Number of Observations Not Used	672

Iteration History			
Iteration	Evaluations	-2 Res Log Like	Criterion
0	1	62993.29149365	
1	3	61189.50549418	0.00000004
2	1	61189.50454846	0.00000000

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates	
Cov Parm	Estimate
merd(behand)	127.66
Residual	48.1406

Fit Statistics	
-2 Res Log Likelihood	61189.5
AIC (Smaller is Better)	61193.5
AICC (Smaller is Better)	61193.5

Fit Statistics	
BIC (Smaller is Better)	61193.4

Solution for Fixed Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept			88.8436	6.5323	5	13.60	<.0001
behand	1		15.4983	8.6409	5	1.79	0.1328
behand	2		0	.	.	.	.
dag(behand*merd)	1	2	-0.05431	0.002003	9051	-27.11	<.0001
dag(behand*merd)	1	4	-0.05888	0.001851	9051	-31.81	<.0001
dag(behand*merd)	1	5	-0.07510	0.001851	9051	-40.57	<.0001
dag(behand*merd)	1	6	-0.00990	0.001851	9051	-5.35	<.0001
dag(behand*merd)	2	1	-0.03115	0.003081	9051	-10.11	<.0001
dag(behand*merd)	2	3	0.02424	0.001851	9051	13.09	<.0001
dag(behand*merd)	2	7	-0.01628	0.001851	9051	-8.80	<.0001
dag2(behand*merd)	1	2	0.000024	1.525E-6	9051	15.43	<.0001
dag2(behand*merd)	1	4	0.000027	1.287E-6	9051	21.27	<.0001
dag2(behand*merd)	1	5	0.000035	1.287E-6	9051	27.41	<.0001
dag2(behand*merd)	1	6	-0.00001	1.287E-6	9051	-8.86	<.0001
dag2(behand*merd)	2	1	0.000018	2.988E-6	9051	6.16	<.0001
dag2(behand*merd)	2	3	-0.00002	1.287E-6	9051	-18.10	<.0001
dag2(behand*merd)	2	7	-1.71E-6	1.287E-6	9051	-1.33	0.1830

Solution for Random Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Std Err Pred	DF	t Value	Pr > |t|
merd(behand)	1	2	-0.3886	5.6706	9051	-0.07	0.9454
merd(behand)	1	4	-1.6428	5.6700	9051	-0.29	0.7720
merd(behand)	1	5	7.1882	5.6700	9051	1.27	0.2049
merd(behand)	1	6	-5.1569	5.6700	9051	-0.91	0.3631
merd(behand)	2	1	-3.6316	6.5434	9051	-0.55	0.5789
merd(behand)	2	3	-14.5580	6.5402	9051	-2.23	0.0260
merd(behand)	2	7	18.1896	6.5402	9051	2.78	0.0054

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
behand	1	5	3.22	0.1328
dag(behand*merd)	7	9051	538.39	<.0001
dag2(behand*merd)	7	9051	269.56	<.0001

Least Squares Means						
Effect	behand	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
behand	1	82.6212	5.6501	5	14.62	<.0001
behand	2	82.4348	6.5251	5	12.63	<.0001

Periode 2

The SAS System

The MEANS Procedure

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
ox1	613	70.8856357	7.8725135	50.5608336	89.2758319
ox2	647	79.3502924	4.7066155	66.9025000	94.0750000
ox3	647	77.6908423	6.9361675	59.9050000	100.6775000
ox4	647	76.0166757	5.6793315	65.2650000	97.7400000
ox5	647	74.3495247	5.4233895	64.6300000	89.8625000
ox6	647	86.6640636	9.8192995	46.3275000	100.7175000
ox7	633	65.3754831	13.1476227	40.8566667	169.0000000

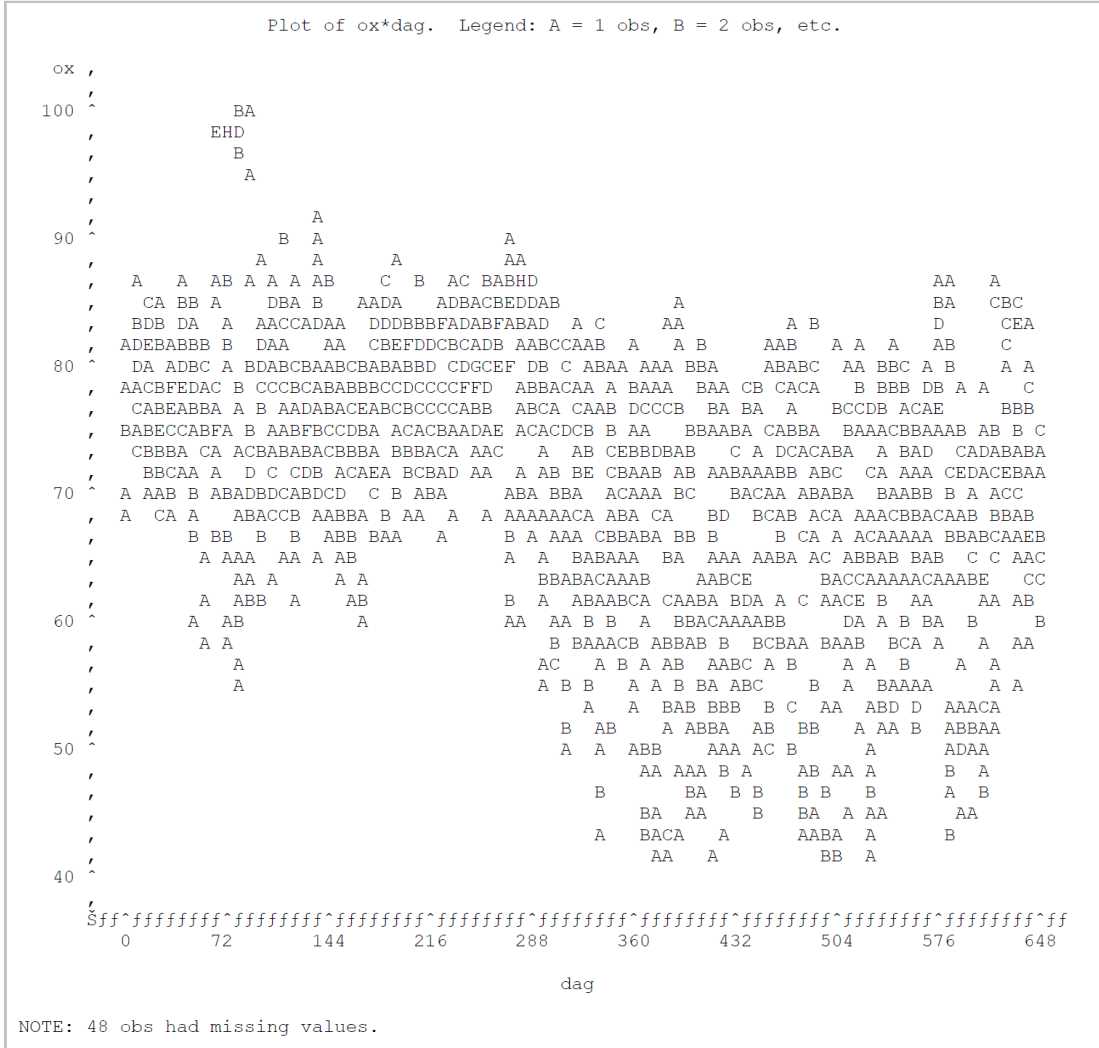
The SAS System

The MEANS Procedure

Analysis Variable : ox						
behand	N Obs	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
1	2588	2588	79.0951391	8.2069463	46.3275000	100.7175000
2	1940	1892	71.3174157	10.7236671	40.8566667	100.6775000

The SAS System

behand=2



The SAS System

The Mixed Procedure

Model Information	
Data Set	WORK.TOT
Dependent Variable	ox
Covariance Structure	Variance Components
Estimation Method	REML
Residual Variance Method	Profile
Fixed Effects SE Method	Model-Based
Degrees of Freedom Method	Containment

Class Level Information		
Class	Levels	Values
behand	2	1 2
merd	7	1 2 3 4 5 6 7

Dimensions	
Covariance Parameters	2
Columns in X	17
Columns in Z	7
Subjects	1
Max Obs per Subject	4480

Number of Observations	
Number of Observations Read	4528
Number of Observations Used	4480
Number of Observations Not Used	48

Iteration History			
Iteration	Evaluations	-2 Res Log Like	Criterion
0	1	30278.89786228	
1	2	30104.40967781	0.00000000

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates	
Cov Parm	Estimate
merd(behand)	26.1828
Residual	45.9129

Fit Statistics	
-2 Res Log Likelihood	30104.4
AIC (Smaller is Better)	30108.4
AICC (Smaller is Better)	30108.4
BIC (Smaller is Better)	30108.3

Solution for Fixed Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
Intercept			81.3330	2.9941	5	27.16	<.0001
behand	1		-3.5793	3.9586	5	-0.90	0.4074
behand	2		0	.	.	.	.
dag(behand*merd)	1	2	-0.01926	0.005662	4459	-3.40	0.0007
dag(behand*merd)	1	4	-0.01490	0.005662	4459	-2.63	0.0085
dag(behand*merd)	1	5	0.01628	0.005662	4459	2.88	0.0041
dag(behand*merd)	1	6	0.08704	0.005662	4459	15.37	<.0001
dag(behand*merd)	2	1	-0.01592	0.006182	4459	-2.58	0.0100
dag(behand*merd)	2	3	0.002144	0.005666	4459	0.38	0.7051
dag(behand*merd)	2	7	-0.1186	0.005699	4459	-20.80	<.0001
dag2(behand*merd)	1	2	0.000012	8.463E-6	4459	1.37	0.1717
dag2(behand*merd)	1	4	1.04E-6	8.463E-6	4459	0.12	0.9022
dag2(behand*merd)	1	5	-0.00003	8.463E-6	4459	-3.42	0.0006
dag2(behand*merd)	1	6	-0.00011	8.463E-6	4459	-12.45	<.0001
dag2(behand*merd)	2	1	-7.34E-6	8.995E-6	4459	-0.82	0.4146
dag2(behand*merd)	2	3	-0.00003	8.468E-6	4459	-2.99	0.0028
dag2(behand*merd)	2	7	0.000125	8.526E-6	4459	14.62	<.0001

Solution for Random Effects							
Effect	behand	merd	Estimate	Std Err Pred	DF	t Value	Pr > |t|
merd(behand)	1	2	6.2107	2.6487	4459	2.34	0.0191
merd(behand)	1	4	2.9468	2.6487	4459	1.11	0.2660
merd(behand)	1	5	-4.6130	2.6487	4459	-1.74	0.0816
merd(behand)	1	6	-4.5444	2.6487	4459	-1.72	0.0863
merd(behand)	2	1	-3.9468	3.0385	4459	-1.30	0.1940
merd(behand)	2	3	-0.7746	3.0278	4459	-0.26	0.7981
merd(behand)	2	7	4.7214	3.0279	4459	1.56	0.1190

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
behand	1	5	0.82	0.4074
dag(behand*merd)	7	4459	100.35	<.0001
dag2(behand*merd)	7	4459	56.02	<.0001

Least Squares Means						
Effect	behand	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > |t|
behand	1	79.0996	2.5619	5	30.88	<.0001
behand	2	71.2675	2.9584	5	24.09	<.0001



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway