

Belysning for produksjon av rognkjeks

Marie Lervik

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, IEL

Medveileder: Kjell J. Nilssen, IBI

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk



MASTEROPPGAVE

Kandidatens navn :	Marie Lervik
Emne :	TET4905 Energibruk og energiplanlegging, masteroppgave
Oppgavens tittel (no.) :	Belysning for produksjon av rognkjeks
Oppgavens tittel (eng.):	Lighting for production of lumpfish
Oppgavens tekst :	<p>Lakselus er i dag et stort problem for norsk oppdrett. Kjemisk behandling, medisiner og spyling er eksempler på kostbare tiltak som ikke fører fram til en effektiv løsning på problemet. Praktiske forsøk har vist at løsningen vil være bruk av fisken rognkjeks, som kan spise lus fra laksens kropp – såkalt biologisk avlusing.</p> <p>Det etableres nå mange anlegg for oppdrett av rognkjeksyngel. Problemet er imidlertid at styringen av yngelens liv i disse anleggene så langt ikke er god nok, slik at millioner av yngel dør under produksjonen.</p> <p>Fisken holdes i oppdrettstanker hvor en har god kontroll på vannmiljø og tilførsel av fôr. Imidlertid mangler det kunnskap om betydning av belysning for fiskens vekst og helse.</p> <p>Fra biologiske (fysiologiske) studier vet en nå at alle dyrearter med naturlig oppvekst i nordområdene får sine liv «justert» til naturens årstid via daglengde (lys-) endringer. Det er en prosess som omfatter kompleks lys-«bearbeidelse» av hjernen, slik at kroppen i tide blir innstilt riktig for den aktuelle sesong. Denne kunnskap mangler fullstendig i dagens rognkjeks-produksjon.</p> <p>Det er nødvendig å forstå hvordan lysrytme, lysnivå og spektral sammensetning styrer rognkjeksens vekst og utvikling. Slik informasjon vil være grunnleggende for anleggenes valg av utstyr og oppsett for belysningskontroll i produksjonen.</p>
	<p>Kandidaten skal</p> <ul style="list-style-type: none">- måle spektral transmisjon gjennom rognkjeksens hodeskalle- vurdere hvordan lysets intensitet og spektrale sammensetning påvirker rognkjeksyngels adferd- foreslå belysning for produksjon av rognkjeks
Oppgavens gitt	: 15.01.18
Besvarelsen leveres innen	: 11.06.18
Besvarelsen levert	: 07.06.18
Utført ved (institusjon, bedrift)	:
Kandidatens veileder	: Eilif H. Hansen, NTNU

Trondheim, 15.01.18

Faglærer

Forsidebildet er tegnet av Elise Jacobsen.

Forord

Denne masteroppgaven er utført av Marie Lervik, som studerer energibruk og energiplanlegging ved institutt for elkraftteknikk på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven avslutter masterstudiet, har emnekode TET4905 og utgjør 30 studiepoeng.

Masteroppgaven er en videreføring av et fordypningsprosjekt fra høsten 2017, med samme tema. Oppgaven omhandler belysning for produksjon av rognkjeks, for å se hvordan blant annet spektral sammensetning og lysintensitet påvirker fiskens adferd. Vurderinger er gjort på bakgrunn av lystekniske målinger og biologiske observasjoner.

Problemstillingen er utformet i samarbeid med institutt for biologi ved NTNU, da de ønsker mer kunnskap om hvordan lys påvirker rognkjeks. Dette fordi rognkjeksproduksjonen i Norge stadig øker, samtidig som det fortsatt er mangler i kunnskap rundt rognkjeks.

Det rettes en takk til prosjektets veileder fra NTNU, Førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen, for veiledning og rådgivning. Ønsker også å takke Professor Kjell J. Nilssen for god hjelp og veiledning under prosjektet. I tillegg rettes en takk til Lerøy Midt avd. Stokksund for tilgang til kar og fisk for gjennomføring av forsøk og for god hjelp, spesielt til Julianne Valla Jacobsen. Til slutt gjenstår en takk til servicelaben og verkstedet ved Institutt for elkraftteknikk som alltid stiller opp, og ellers alle andre som har bidratt med innspill.

Trondheim, 7. juni 2018

Marie Lervik

Sammendrag

Lys har stor betydning for både mennesker og dyr, og er viktig med tanke på syn, generell velferd og den biologiske klokka. Det er dermed et potensial når det gjelder belysning og optimalisert produksjon innen akvakultur, som kan få stor framtidig betydning. Norsk fiskeoppdrett omsatte i 2016 for over 64 milliarder NOK, der laks sto for 60 milliarder NOK [1]. Innen norsk industri og på regjeringshold er det et mål at virksomheten skal øke i framtiden, men det er utfordringer knyttet til næringens videre ekspansjon. Lakselus er i dag en stor utfordring, som det siste året har kostet næringen mer enn 3 milliarder NOK. [2]

Det er gjennomført flere tiltak for å finne en løsning på lakselus-problemet, som for eksempel spyling, medisiner og kjemisk behandling [3]. De siste årene er det sett på muligheten for biologisk avlusning ved hjelp av lusespisende renseskjell, blant annet rognkjeks. Flere oppdrettsselskaper har etablert anlegg for oppdrett av rognkjeksyngel, der det er kontroll på tilførsel av fôr og vannmiljø. Et problem er at det er kunnskapshull knyttet til rognkjeks og rognkjeksproduksjon, og millioner av yngel dør under prosessen [4, 5].

Gjennom forsøk er det etablert kunnskap om virkningene lyset har på blant annet laks og hvordan den bearbeider lys. Denne kunnskapen mangler i dagens rognkjeks-produksjon, og det var derfor nødvendig å utvikle kunnskap om hvordan blant annet lysintensitet og lysfarge påvirker rognkjeksens liv i vekstanlegg. I denne sammenheng var det ønskelig å vurdere belysningen på anlegg for rognkjeks, lysets spektrale transmisjon gjennom rognkjeksens hodeskalle (da det har effekt på biologiske rytmer) og lysets påvirkning på rognkjeksyngels adferd.

Resultater ga indikasjoner på at rødt lys transmitterer dårlig gjennom rognkjeksens skalle, i tillegg er det vist at rognkjeks ikke ser i rødt lys. Dette gjør rødt lys mindre aktuelt som produksjonslys, men det kan brukes som arbeidslys eller lys i hodelykter. Observasjoner viste at rognkjeks hadde et høyt aktivitetsnivå i grønt lys, og at fisken virket stresset i dette miljøet. Rognkjeks hadde også en tendens til å trekke bort fra det grønne lyset. Grønt lys er dermed mindre aktuelt som produksjonslys. Rognkjeks hadde et rolig og naturlig aktivitetsmønster i blått og hvitt lys, men i fargeforsøkene hadde fisken en tendens til å trekke mot det blå lyset. Resultatene tyder på at blått lys har høy transmisjon gjennom rognkjeksens skalle, i tillegg til at rognkjeksens øyne har høy følsomhet for blått lys. Blått lys kan derfor være aktuelt som produksjonslys. Ut fra resultatene kunne det ikke dokumenteres at lysintensitet har stor betydning for rognkjeks. Det anbefales derfor å uniformere belysningen og planlegge lysintensitet på rognkjeks-anlegg ut fra menneskers behov.

Abstract

Light is important for humans and animals, both considering sight, general welfare and the biological clock. It is therefore lighting potential in aquaculture for optimized production, which can be of great importance in the future. Norwegian fish farming traded for over 64 billion NOK in 2016, where salmon accounted for 60 billion NOK [1]. Nonetheless, there is a goal within the Norwegian industry and government about further increasing the industry, in the future. There is however challenges related to the industry's further expansion, such as salmon lice. Today salmon lice is a major challenge within fish farming, which has cost the industry more than 3 billion NOK in the past year. [2]

Several measures have been done to find a solution to the salmon lice problem, such as flushing, medication and chemical treatment [3]. In recent years, the possibility of biological delousing has been investigated using lice-eating fish, as lumpfish. Several breeding companies have established farms for the production of lumpfish fry, where the feeding and aquatic environment are controlled. However, millions of fries die during the process, there are gaps in knowledge related to lumpfish and lumpfish production [4, 5].

Through experiments, knowledge about the effects light has on salmon and how it processes light has been established. This knowledge is lacking in today's lumpfish production, and it was therefore necessary to focus on how, among other things, light intensity and light color affect the lumpfish's life in growth plants. In this context, it was desirable to evaluate the lighting of lumpfish at the farm, the spectral transmission of light through the lumpfish's skull and the influence light intensity has on the lumpfish's behavior.

Results gave indications that red light has low transmission through the lumpfish's skull. In addition, it is shown that lumpfish do not see in red light. Thus, red light is not recommended as production light, but it can be used as work lights or headlights. Observations showed that the lumpfish had a high activity level in green light, and that the fish appeared stressed in this environment. Green light is therefore less recommended as production light. Furthermore, the results indicated that blue light has a high transmission through the lumpfish's skull. In addition, the lumpfish had a calm activity pattern in this light. Blue light is therefore recommended as production light. Based on the results, light intensity did not seem to be of great importance to the lumpfish. It is therefore recommended to uniform the lighting at the farm and plan its light intensity based on human needs.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Figurliste	IX
Tabell-liste	XI
Ordliste	XII
1 Innledning	1
2 Lys og stråling	2
2.1 Radiometri	2
2.2 Fotometri.....	3
2.3 Naturlig belysning	4
2.4 Lys i vann	4
2.4.1 Lysbryting	5
2.5 Lyskilder	5
2.5.1 Konvensjonelle lyskilder.....	5
2.5.2 LED	6
3 Rognkjeks	7
3.1 Fiskens oppfattelse av lys og biologiske rytmer	7
4 Rognkjeks-produksjon ved Lerøy Stokksund	11
4.1 Dødelighet	11
4.2 Kartyper	12
4.3 Belysning på Lerøy Stokksund	14
5 Måleutstyr og lyskilder	17
5.1 Black comet spektroradiometer, PS-200, med målecelle	17
5.2 UPRtek MK350S	17
5.3 Valg av lyskilde.....	18
5.3.1 LED-armatur	18
6 Metode	20
6.1 Lys gjennom skalle på fisk	20
6.2 Test av ulike spekter og intensiteter i lys på NTNU.....	23
6.3 Farge- og intensitetsforsøk på Stokksund	25
6.4 Usikkerhet	28
7 Resultater	29
7.1 Lys gjennom fersk rognkjeksskalle i luft	29
7.2 Lys gjennom tørr rognkjeksskalle i luft.....	31
7.3 Lys gjennom rognkjeksskalle i vann	33
7.4 Farge- og intensitetsforsøk på Stokksund	33
7.4.1 Små fisk	33
7.4.2 Større fisk	35
8 Diskusjon	36
8.1 Lys gjennom hodeskalle.....	36
8.2 Fargeforsøk på Stokksund	38

8.3	Intensitetsforsøk på Stokksund.....	40
8.4	Valg av armatur	41
9	Konklusjon.....	42
10	Videre arbeid.....	43
	Referanseliste	44
	Vedlegg	A
	A. Lys gjennom skalle i luft	A
	B. Lys gjennom skalle i vann	F

Figurliste

Figur 1: Spektrum for elektromagnetisk stråling målt i nanometer [10].....	2
Figur 2: Øyets spektrale følsomhetskurve [15]	3
Figur 3: Lysbryting i vann [21]	5
Figur 4: Lysdiode, LED, sender ut lys når den stimuleres elektrisk	6
Figur 5: Rognkjeks på dyreavdelingen på NTNU	7
Figur 6: Tverrsnitt av rognkjeksens skalle	8
Figur 7: Spektral følsomhet for rognkjeksens øyne [33].....	9
Figur 8: Rognkjeksens klekkes og startfôres på Senja, før den transporteres til Stokksund. [38]	11
Figur 9: Hall med avdeling 1 og deler av avdeling 2 på Stokksund	13
Figur 10: Del to av avdeling 2, inne i huset på Stokksund.....	13
Figur 11: Avdeling 3 på Stokksund.....	13
Figur 13: Plassering av målecelle på smultringkar og vanlige kar [40]	15
Figur 14: Black Comet Spektroradiometer [41].....	17
Figur 15: Måleinstrument UPRtek MK350S [42].....	17
Figur 16: LED-armatur med effekt på 10 W og 50 W [44]	18
Figur 17: Spektral sammensetning i blått lys til venstre og spektral sammensetning i grønt lys til høyre.	19
Figur 18: Spektral sammensetning i rødt lys til venstre og spektral sammensetning til hvitt lys til høyre.	19
Figur 19: Fotometerbenk på lyslaboratoriet på NTNU	20
Figur 20: Rognkjeksskalle på fotometerbenk på NTNU.....	21
Figur 21: Forsøksoppsett for skalleforsøk under vann.....	22
Figur 22: Pilotforsøk på spektral sammensetning i belysning på NTNU	24
Figur 23: Fargeforsøk på Lerøy midt avdeling Stokksund	26
Figur 24: Spektral transmisjon for fersk skalle 1 til 15 i luft	29
Figur 25: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 13 i luft.....	31
Figur 26: Spektral transmisjon for skalle 16 med og uten pigment i vann	33
Figur 27: Spektral transmisjon for tørr og fersk skalle 1	A
Figur 28: Spektral transmisjon for tørr og fersk skalle 2	A
Figur 29: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 3	B
Figur 30: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 4	B
Figur 31: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 5	B
Figur 32: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 6	C
Figur 33: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 7	C
Figur 34: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 8	C
Figur 35: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 9	D
Figur 36: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 10	D
Figur 37: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 11	D
Figur 38: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 12	E
Figur 39: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 14	E
Figur 40: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 15	E
Figur 41: Spektral transmisjon for skalle 17 med og uten pigment	F
Figur 42: Spektral transmisjon for skalle 18 med og uten pigment	F
Figur 43: Spektral transmisjon for skalle 19 med og uten pigment	G

Figur 44: Spektral transmisjon for skalle 20 med og uten pigment	G
Figur 45: Spektral transmisjon for skalle 21 med og uten pigment	G
Figur 46: Spektral transmisjon for skalle 22 med og uten pigment	H
Figur 47: Spektral transmisjon for skalle 23 med og uten pigment	H

Tabell-liste

Tabell 1: Ordliste over uttrykk benyttet i masteroppgaven	XII
Tabell 2: Bølgelengder og deres farger [10]	3
Tabell 3: Størrelse på smultringkar på Stokksund [38]	12
Tabell 4: Størrelse på vanlige kar på Stokksund [38]	12
Tabell 5: Måling av belysningsstyrke med plan målecelle over vann i hvert kar [40]	15
Tabell 6: Rognkjeks brukt i skalleforsøk	21
Tabell 7: Egenskaper til rognkjeks brukt i skalleforsøk under vann	23
Tabell 8: Lysintensiteter i pilotforsøk NTNU	24
Tabell 9: Fotonirradians og belysningsstyrke gjennom ferske rognkjeksskaller i luft	30
Tabell 10: Andel av lys som transmitterte gjennom ferske skaller i luft	30
Tabell 11: Fotonirradians og belysningsstyrke gjennom tørr skalle i luft.....	32
Tabell 12: Andel lys gjennom tørr rognkjeksskalle i luft.....	32
Tabell 13: Fargeforsøk små fisk	33
Tabell 14: Intensitetsforsøk små fisk	34
Tabell 15: Fargeforsøk større fisk	35
Tabell 16: Intensitetsforsøk større fisk	35
Tabell 17: Rognkjeksens fargevalg i fargeforsøk på Lerøy Stokksund med små og større fisk	38

Ordliste

Tabell 1: Ordliste over uttrykk benyttet i masteroppgaven

Ord	Forklaring
E Endokrin	Omhandler hormonproduksjon
Ex vivo	Det er her snakk om død fisk
F Fargegjengivelse	Angir en lyskildes evne til å gjengi farge på et objekt
Fargetemperatur	Den temperaturen det absolutt svarte legemet trenger for å gi samme farge som lyskilden
I In vivo	Det er her snakk om levende fisk
P Parakrin	Formidling av hormoner og beslektede substanser fra celler/vev til naboceller/vev.
Pelagisk	Planter og dyr som lever i tilknytning til de frie vannmassene i hav og innsjøer
S Stryking	Det tas rogn og melke fra stamfisk

1 Innledning

Lys har stor betydning for både mennesker og dyr, og er viktig med tanke på syn og generell velferd. Hos mennesker er det vist at dårlig innelysning kan føre til tretthet, konsentrasjonsproblemer, hodepine og nedsatt arbeidskapasitet, og det er derfor krav til blant annet arbeidsbelysning på arbeidsplasser for å unngå dette [6]. Også når det gjelder den biologiske klokka har lys en viktig rolle, som å styre menneskers og dyrs døgn- og årsrytmer [7]. Ved riktig bruk av lys kan derfor produksjon med dyr optimaliseres. I produksjon med blant annet høns, storfe og geit er det vist at lys og lysstyring kan gi en bedre produksjonskontroll og økt avkastning [8].

Viktigheten av lys og lysstyring og dens effekt på laksens biologiske rytmer er dokumentert. Det er dermed et potensial når det gjelder belysning og optimalisert produksjon innen akvakultur, som kan få stor framtidig betydning. Norsk fiskeoppdrett omsatte i 2016 for over 64 milliarder NOK, der laks sto for 60 milliarder NOK [1]. Innen norsk industri og på regjeringshold er det et mål at virksomheten skal øke i framtiden, men det er utfordringer knyttet til næringens videre ekspansjon. Lakselus er i dag en stor utfordring, som det siste året har kostet næringen mer enn 3 milliarder NOK [2].

Det er gjennomført flere tiltak for å finne en løsning på lakselus-problemet, som for eksempel spyling, medisiner og kjemisk behandling [3]. En ulempe med disse løsningene er at laksen utsettes for håndtering. De siste årene er det derfor sett på muligheten for biologisk avlusning ved hjelp av lusespisende rensfisk. Flere arter brukes som rensfisk, blant annet rognkjeks og berggyllt. I Norge satser stadig flere på oppdrett av rognkjeks, på grunn av dens toleranse for lave temperaturer [9].

Flere oppdrettsselskap har etablert anlegg for oppdrett av rognkjeksyngel, der det er kontroll på tilførsel av fôr og kontroll av vannmiljø. Problemet er at rognkjeks, som alle nye arter i oppdrett, vil ha egne utfordringer som må løses. Det er kunnskapshull knyttet til rognkjeks og rognkjeksproduksjon, og millioner av yngel dør under prosessen [4, 5].

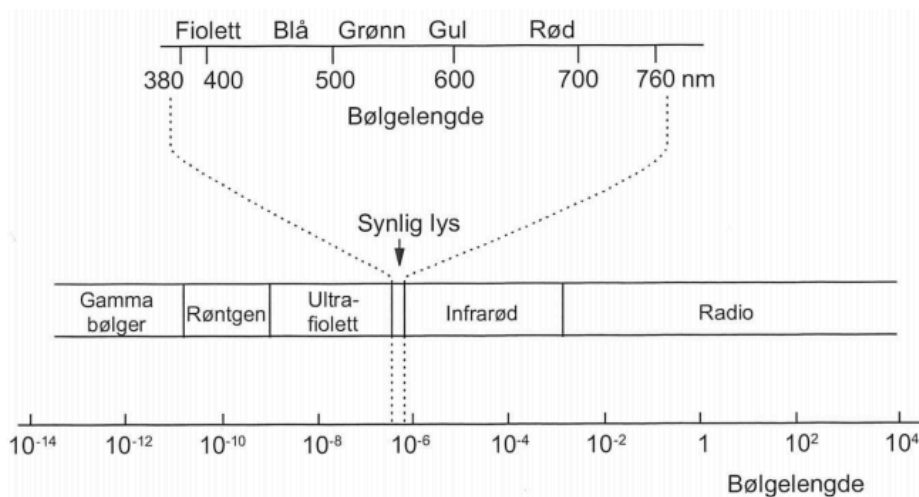
Fysiologiske studier har vist at alle dyrearter med naturlig oppvekst i den nordlige delen av verden justerer sine liv til naturens årstid via lysendringer. Gjennom forsøk er det etablert kunnskap om virkningene lyset har på blant annet laks og hvordan den bearbeider lys. Denne kunnskapen mangler i dagens rognkjeks-produksjon, og det er derfor nødvendig å utvikle kunnskap om hvordan blant annet lysintensitet og lysfarge påvirker rognkjeksens liv i vekstanlegg.

I denne sammenheng er det ønskelig å vurdere belysningen på anlegg for rognkjeks, lysets spektrale transmisjon gjennom rognkjeksens hodeskalle (da det har effekt på biologiske rytmer) og lysets påvirkning på rognkjeksyngels adferd.

2 Lys og stråling

Deler av dette kapitlet er hentet fra prosjektoppgaven "Belysning for produksjon av rognkjeks".

Innen lysteknikk betraktes lys som elektromagnetiske bølger, bestående av fotoner. Spekteret for elektromagnetisk stråling er vist i Figur 1. Det finnes flere metoder for måling av lys. To av dem er radiometri, måling av strålingsenergi, og fotometri, måling av synlig lys.



Figur 1: Spektrum for elektromagnetisk stråling målt i nanometer [10]

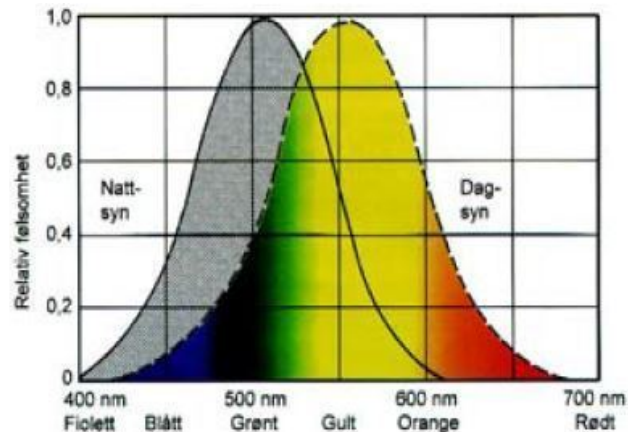
2.1 Radiometri

Radiometri er måling av elektromagnetisk strålingsenergi. Dette målesystemet er basert på fysiske energimål, og har enheter knyttet til watt. Noen av de mest vanlige størrelsene er strålingsfluks, strålingsstyrke, radians og irradians. Strålingsfluks er den effekten som sendes ut fra en strålingskilde, og måles i watt [W]. Strålingsstyrke er strålingsfluks per romvinkelenhet, og måles i watt per steradian [W/sr]. Radians er strålingsfluks i en gitt retning per romvinkelenhet per kvadratmeter, målt i watt per steradian og kvadratmeter [$W/sr * m^2$]. Irradians, eller innstrålingstetthet, angir strålingsfluksen som treffer et areal, og måles i watt per kvadratmeter [W/m^2]. [11, 12]

I biologi er det interessant å se på foton-irradians, som er energien til strålingen på en flate. Det brukes når enheter ikke tilpasses et spesielt absorpsjonsspektrum, og måles i antall mol fotoner som treffer en flate per kvadratmeter og tidsenhet [$\mu mol/m^2_s$] [13].

2.2 Fotometri

Fotometri er også måling av elektromagnetisk stråling, men er tilpasset menneskeøyets følsomhet for synlig lys. Dette gjelder bølgelengder mellom ca. 400 nm til ca. 750 nm. Menneskeøyets følsomhetskurve er vist i Figur 2 og fargen de ulike bølgelengdene har er vist i Tabell 2. Øyets største følsomhet er ved bølgelengden 555 nm, og følsomheten avtar over og under denne verdien [14].



Figur 2: Øyets spektrale følsomhetskurve [15]

Tabell 2: Bølgelengder og deres farger [10]

Bølgelengde	Farge
380-420	Fiolett
420-490	Blått
490-575	Grønt
575-585	Gult
585-650	Oransje
650-750	Rødt

Noen av de mest sentrale størrelsene innen fotometri er lysfluks, lysstyrke, belysningsstyrke og luminans. Lysfluks er den lysmengden som per tidsenhet stråler ut fra en lyskilde mot et objekt, og måles i lumen [lm]. Lumen angir mengden synlig lys en lyskilde sender ut. Lysstyrke er den lysfluksen som stråler i en gitt retning dividert på romvinkelen, og måles i candela [cd]. Belysningsstyrke, illuminans, svarer til begrepet irradians i radiometrien og angir hvor mye lysfluks som treffer et gitt areal. Benevnelsen er lux, som tilsvarer lumen per kvadratmeter [lm/m^2]. Luminans, som svarer til radians i radiometrien, angir lysheten av en flate og måles i candela per kvadratmeter [cd/m^2]. [10, 15]

En lyskildes effektivitet måles ofte i lysutbytte, som er forholdet mellom lyskildens avgitte lysfluks og elektrisk effekt lyskilden opptar. Lysutbytte angis i lumen per watt [lm/W], og er dermed også tilpasset menneskeøyets spektrale følsomhet.

Sammenhengen mellom det radiometriske og fotometriske målesystemene er gitt ved formelen

$$\Phi_{\lambda} = 683 \cdot \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \quad (1)$$

der Φ_{λ} er lysfluksen, $\Phi_{e\lambda}$ er strålingsfluksen og $V(\lambda)$ er øyets spektrale følsomhet. Dersom lyset inneholder ståling med forskjellige bølgelengder gjelder

$$\Phi = 683 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

2.3 Naturlig belysning

Det naturlige belysningsmiljøet er i hovedsak bestemt av sola, månen, stjernehimmelen og atmosfæren, der sola er den viktigste lyskilden [16]. Sollys kan enten være direkte eller indirekte. En del av sollyset treffer jorden direkte, mens en del av lyset spres og reflekteres av luftmolekyler og partikler i atmosfæren [17]. Dette kalles himmelstråling. Dagslys er en blanding av direkte sollys og himmelstråling, men dersom det er overskyet er det ikke noe direkte sollys.

Sollys inneholder lys i alle bølgelengder, fra kortbølget gammastråling, til synlig lys og langbølget radiostråling [18]. Andre bølgelengder enn det synlige lyset har liten betydning med tanke på belysning, men kan være viktig biologisk sett [19]. Sammenlignet med for eksempel glødelamper inneholder dagslys mer kortbølgede stråler, altså blått lys.

2.4 Lys i vann

Når elektromagnetisk stråling treffer en flate kan strålingen enten reflekteres, transmitteres eller absorberes. Refleksjon er når strålingen blir sendt tilbake fra flaten, transmisjon når strålingen fortsetter gjennom mediet det treffer, og absorpsjon er når strålingens energi overføres til et annet materiale og lagres som andre energiformer. Dette skjer når lysstråler treffer en vannoverflate. Noe av lyset vil trenge ned i vannet, noe absorberes og noe reflekteres bort fra vannet. [20]

Hvor mye av lyset som treffer en vannoverflate som reflekteres avhenger av lysets innfallsvinkel, vannets brytningsindeks og av polarisasjonsretningen for lyset. Reflektansen er gitt ved Fresnels refleksjonsformler

$$\rho = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (4)$$

der θ_1 er innfallsvinkel og θ_2 er brytningsvinkelen Den virkelige reflektansen vil være en middelvei av verdiene fra de to formlene. [21]

Hvor mye av lyset som transmitteres og absorberes i vann avhenger av lysets spektrale sammensetning, i tillegg til temperatur, saltinnhold, organiske stoffer og dybde. Klart vann er mest transparent for lys med bølglengde 418 nm, fiolett-blått lys. For lavere og høyere bølglengder øker absorpsjonen. [22]

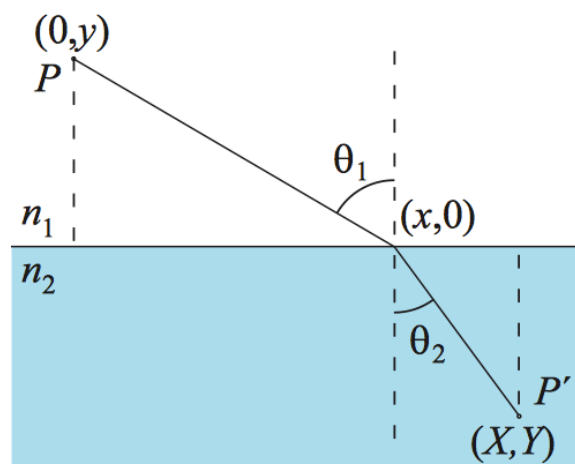
2.4.1 Lysbryting

Bryting er en egenskap all bølgebevegelse har i overgangen fra et medium til et annet. Dette innebærer at for eksempel lys endrer retning ved overgangen fra luft til vann [23].

Lovene for lysbrytning ble utledet av nederlenderen W. Snell, og kan utledes som en egenskap ved alle bølgebevegelser. Retningsforandringen lysstråler har når det går fra et medium til et annet er bestemt av den relative brytningsindeksen til de to mediene. Snells brytningslov er gitt ved formelen

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (5)$$

der n er brytningsindeksen til mediet, θ_1 er innfallsvinkel og θ_2 er utfallsvinkel, Figur 3. For ferskvann er $n \approx 1,333$ og for sjøvann er $n \approx 1,341$ [24].



Figur 3: Lysbryting i vann [21]

2.5 Lyskilder

2.5.1 Konvensjonelle lyskilder

Konvensjonelle elektriske lyskilder deles i hovedtypene glødende og luminiserende lyskilder. Glødelamper og halogenglødelamper er eksempler på glødende lyskilder, mens metallhalogenlamper og lysrør er eksempler på luminiserende lyskilder. Halogenglødelamper har en fargetemperatur på 2900-3000 K, og har mye rødt lys i seg. De er robuste og kan enkelt lysreguleres. En ulempe med halogenglødelamper er at de har relativt lavt lysutbytte, sammenlignet med andre lyskilder. Når det gjelder effektivitet er halogenglødelamper lite effektive, da store deler av energien omgjøres til varme. [10, 25]

Metallhalogenlamper er kvikksølvlamper tilsatt natriumjodid eller annet metalljodid, for å gi bedre fargegjengivelse og høyere lysutbytte. Fargetemperaturen ligger på 3000-4200 K og fargegjengivelsesegenskaper er gode, spesielt på kalde farger som blått. Metallhalogenlamper avgir også UV-stråling. I tillegg har metallhalogenlamper meget liten varmeutstråling, den er effektiv og har lang levetid. [10, 25]

Lysrør er en lavtrykk-kvikksølvlampe. Innsiden av røret er belagt med et lysstoff som omdanner ultrafiolett stråling til lys. Ved å benytte forskjellige lysstoff kan spektral fordeling for lysrøret varieres. Lysrør kan ha fargetemperaturer fra 2700-7000 K, avhengig av lysstoffblanding. En ulempe med lysrør er at de er mindre effektive ved lave temperaturer. [10, 25]

2.5.2 LED

Et alternativ til konvensjonelle elektriske lyskilder er lysdioder, Figur 4. En lysdiode, forkortet LED, er en halvlederdiode som sender ut lys når den stimuleres elektrisk. Lysets bølgelengde og farge bestemmes av materialene brukt i fremstilling av dioden [10]. LED kan produsere lys med forskjellige farger, men vil ikke ha et fullt fargespekter. Det er to metoder å framstille hvitt lys på ved hjelp av LED. Enten ved å bruke en blå diode der det legges til gul fosfor, fosforkonvertering, eller ved å blande lys fra en rød, grønn og blå diode, RGB. Den mest brukte metoden er bruk av blå diode og fosfor, på grunn av høy virkningsgrad og fleksibel produksjonsmetode. Avhengig av fosforlaget gir lysdioden en bestemt spektralfordeling. [26]



Figur 4: Lysdiode, LED, sender ut lys når den stimuleres elektrisk

Fordeler med LED, sammenlignet med andre lyskilder, er at de som regel har lengre levetid, da de ikke har noen bevegelige deler eller glødetråd, og er mer effektive. LED avgir verken UV-stråling eller IR-ståling. I tillegg driftes LED best ved lave temperaturer. [25]

3 Rognkjeks

Deler av dette kapittelet er hentet fra prosjektoppgaven "Belysning for produksjon av rognkjeks".

Rognkjeks, Figur 5, er en fiskeart som lever langs kysten i Norge. Hunnfisken kalles rognkjeks, mens hannfisken kalles rognkall. Rognkjeksen kan bli opp til 60 cm og rognkallen opp til 30 cm, og fiskens kropp er dekket av rekker med beinknuter. På grunn av sin relativt dårlige svømmeevne har den en sugeskive under buken, slik at den kan feste seg til for eksempel tang og steiner. På denne måten kan den spise maten som kommer dens veg. Det første leveåret lever rognkjeks i tarebeltet og suger seg fast til tang med sugeskålen. Etter dette går de ut i havet, hvor de lever pelagisk på 50-150 meter dyp. Rognkjeks lever fra Biscaya til Island og i det nordlige Barentshavet. Om vinteren lever rognkjeks på dypt vann, mens på sommeren kommer den inn til grunnere vann for å gyte. Det er rognkallen som holder vakt over eggene fram til de klekkes, mens rognkjeksen går ut til dypere vann igjen etter gyting. Flere hunner legger som regel egg i reirene til hannen. [27, 28]



Figur 5: Rognkjeks på dyreavdelingen på NTNU

3.1 Fiskens oppfattelse av lys og biologiske rytmer

Fisk har to lysoppfattende organer; øynene og pinealkjertelen. De to organene har forskjellige oppgaver. Øyet ser mat og fiender, mens pinealkjertelen oppfatter endringer i lys, og styrer dermed den biologiske klokka. [24] Pinealkjertelen er hos fisk en lysfølsom og hormonproduserende kjertel som ligger helt opp mot skalletaket, mellom fiskens for- og midthjerne. Hos blant annet laksefisk er skallen her tynnere og gjennomsiktig og området kalles pinealvinduet, Figur 6. På denne måten kan pinealkjertelen motta og registrere stråling. Tykkelsen og gjennomsiktigheten av pinealvinduet varierer fra fiskeart til fiskeart, men dette er ikke beskrevet for rognkjeks. I en studie gjort med havabbor og laks ble det vist at den relative transmisjonen av lys gjennom kraniet var høyere i havabbor enn i laks. Andelen som transmitteres vil også være avhengig av lysets spektrale sammensetning. [29] I henhold til T. Nordtug og O.K. Berg er punktet med maksimal gjennomsiktighet i skallen hos laks i pinealvinduet. Transmisjonen er derimot kun 3 % av innfallslýset, på grunn av pigmentering av huden som dekker skallen [30].

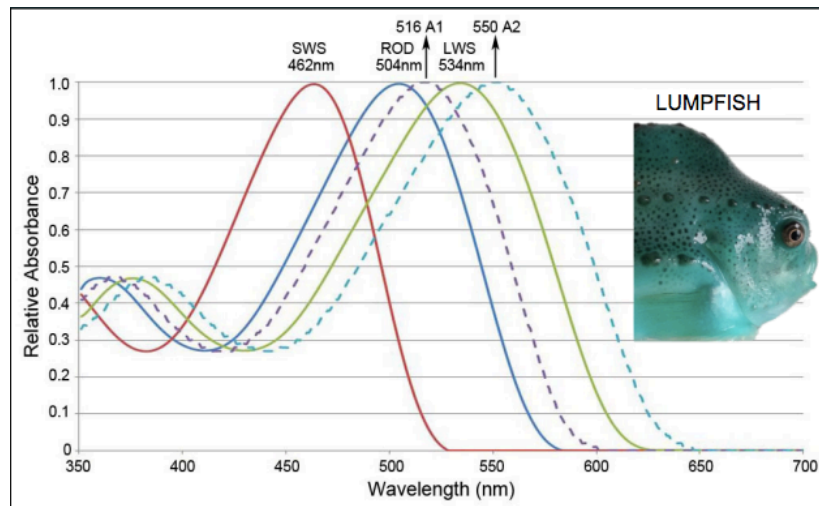


Figur 6: Tverrsnitt av rognkjeksens skalle

Pinealkjertelen produserer melatonin, et hormon som stimuleres av mørke og hemmes av daglys. Produksjonen av melatonin er dermed høyere om natten enn om dagen og om vinteren enn om sommeren [31]. Lysintensitet påvirker sterkt melatoninproduksjonen fra pinealkjertelen og fisken er sensitiv til endringer i lysintensitet. Det er variasjoner i lysfølsomheten hos ulike beinfiskarter, der blant annet pinealkjertelen hos havabbor *ex vivo* er minst ti ganger mer sensitiv til lys enn hos laks [29]. Pinealkjertelen og dens melatoninproduksjon bidrar til regulering av daglige og sesongmessige tilpasninger hos fisken, som for eksempel kjønnsmodning og smoltifisering hos laks. Appetitt, adferd og biokjemi er andre faktorer som reguleres av den biologiske klokka og melatoninproduksjonen [32].

En del fiskearter, blant annet laks, ser fôr og fiender som en kontrast mot bakgrunnen [24]. Det må være lys som kan gi tilstrekkelig kontrast mellom synsobjekt og bakgrunn tilstede.

Fisk og mennesker har ulik oppfattelse av lys, og øynene har dermed ikke den samme følsomhetskurven. I et forsøk om kunstig lys og rensefisk gjennomført av havforskningsinstituttet i 2017 ble pigmentene i rognkjeksens øyne målt. Det ble gjort forsøk for å finne følsomhetskurven til rognkjeksens øyne ved hjelp av et mikrospekterfotometer. Mikrospekterfotometeret målte følsomheten til fotoreseptorene i øynene til fisken, tappene og stavene [33]. Tappene og stavene ligger i netthinnen, retina, i øyet og det er disse som omgjør lysenergi til elektriske nerveimpulser, som tilslutt gjøres om til synsinntrykk [34]. Resultatet er vist i Figur 7.



Figur 7: Spektral følsomhet for rognkjeksens øyne [33]

Den røde kurven (SWS) er kortbølge-sensitive tapper med følsomhet i den blå delen av spekteret, og har høyest følsomhet for bølgelengder rundt 462 nm. Fra figuren ser det ut til at denne kurven stiger under 350 nm, og det er dermed mulig at rognkjeks har følsomhet for bølgelengder enda lenger ned i UV-området. Den grønne kurven (LWS) er langbølge-sensitive tapper med følsomhet i den grønne delen av spekteret, og har størst følsomhet for bølgelengder på 534 nm. Den blå kurven er stavenes følsomhet med en topp mellom den grønne og den blå delen av spekteret, med høyest følsomhet for bølgelengder på 504 nm. Det er ikke utarbeidet en total følsomhetskurve for rognkjeksen. I henhold til disse målingene ble det ikke funnet pigmenter som absorberer rødt lys, og det ble observert at rognkjeksen så dårlig i dette lyset. [35]

Havforskningsinstituttet gjennomførte også et forsøk for å undersøke rensfiskens adferdsresponser til lys av ulik farge. For rognkjeks ble følgende adferd observert ved de ulike fargene [35]:

- Rødt: Kolliderte med vegger
- Grønt: Svømte mye
- Fiolet: Svømte skrått langs bunnen med hodet ned
- Blått: Svømte rolig rundt

Gjennom ulike forsøk og undersøkelser er det vist at både lysets spektrale sammensetning og intensitet kan påvirke ulike fiskearter, og at sensitiviteten avhenger av art. Blant annet er pinealkjertelen til fiskearter som bor i dypet mindre følsomme for rødt lys på grunn av fravær av disse bølgelengdene i dypet. [36]

For laks er det vist at blått (450 nm) og grønt (550 nm) lys hemmer melatoninproduksjonen mer enn rødt lys (650 nm) [36]. Dette vil si at laks har en høyere følsomhet for grønt og blått lys enn for rødt. Når det gjelder vekst og smoltifisering ser det ikke ut til at spektral fordeling har noen betydning, men høyere lysnivå kan muligens stresse fisken. Dette kan føre til redusert vekst og dårligere smoltifisering. [24]

Når det gjøres forsøk på én type beinfisk er det viktig at resultatene ikke generaliseres for all beinfisk. Det er gjort forsøk som viser at forskjellige beinfiskarter har ulike egenskaper, også når det kommer til deres oppfattelse av lys. Dette kan avhenge av evolusjon og det miljøet og omgivelsene de lever i, da de kan ha tatt til seg ulike livsstrategier. Laksefisk har vist å ha et desentralisert system der pinealkjertelen reagerer direkte på lys uavhengig av øynene. I havabbor og torsk er både øynene og pinealkjertelen nødvendig for å opprettholde full melatoninproduksjon om natta. Dette viser at mekanismer involvert i beinfiskens oppfattelse av lys kan endre seg, muligens som en refleksjon av miljøet arten har utviklet seg i. Slike faseskiftforskjeller mellom pineal- og retinalproduksjon kan skyldes forskjellige funksjonelle roller med melatonin. Pinealkjertelen gir en pålitelig endokrin indikator for dag-nattsyklusen, mens melatonin fra øynene kan være involvert i parakrinbeskyttelse og tilpasning av netthinnen. I noen tilfeller kan også pinealkjertelen ha mistet sin lysfølsomhet, slik at fisken kun er avhengig av retinale lysoppfattelser alene. [37]

4 Rognkjeks-produksjon ved Lerøy Stokksund

Deler av dette kapitlet er hentet fra prosjektoppgaven "Belysning for produksjon av rognkjeks".

Ved Lerøy Midt avdeling Stokksund produseres det rognkjeks, og anlegget har konsesjon på en million rognkjeks per år. Stokksund baserer produksjonen på villfanget stamfisk, som strykes og eggene befruktes av AkvaplanNiva i Tromsø. Videre blir eggene klekket og startfôret på Lerøy Aurora på Senja, Figur 8. Yngel på 0,2-0,5 g fraktes i tanker på lastebiler fra Senja til Stokksund. Rognkjeksene vaksineres når de er blitt større enn 8 g, og leveres til sjølokaliteter når de er rundt 30 g. [38]



Figur 8: Rognkjeksene klekkes og startfôres på Senja, før den transporteres til Stokksund. [38]

4.1 Dødelighet

Det har vært perioder med høy dødelighet på anlegget i Stokksund, og årsaken har ikke alltid vært klar. Den største dødeligheten er blant yngel de første dagene etter at de er kommet til anlegget, men det er også noe dødelighet etter vaksinerings og sortering. Halebiting kan være et problem i yngelproduksjon av rognkjeks, og en årsak til død. Fisken biter i halene til hverandre, slik at de mister deler av den, og dermed får redusert svømmeevne. Det har i tillegg vært problemer med viruset LFV, lumpfish flavivirus. Noe av fisken har fått det påvist, men det er ikke alltid viruset har gitt sykdomsutbrudd. Viruset kan ikke alltid påvises, og det kan derfor ha vært flere tilfeller av LFV enn det som er registrert. [38]

4.2 Kartyper

Det er flere typer kar på anlegget i Stokksund, både vanlige kar i forskjellige størrelser og smultringkar. Smultringkarene har form som en smultring, slik at det er en sylinder med vegg i midten av karet. Rognkjeks fester seg til vegger med sugeskiven de har på undersiden. Med denne utformingen av karene vil det være en større overflate rognkjeks kan feste seg på. Størrelsen på de forskjellige karene er vist i Tabell 3 og Tabell 4.

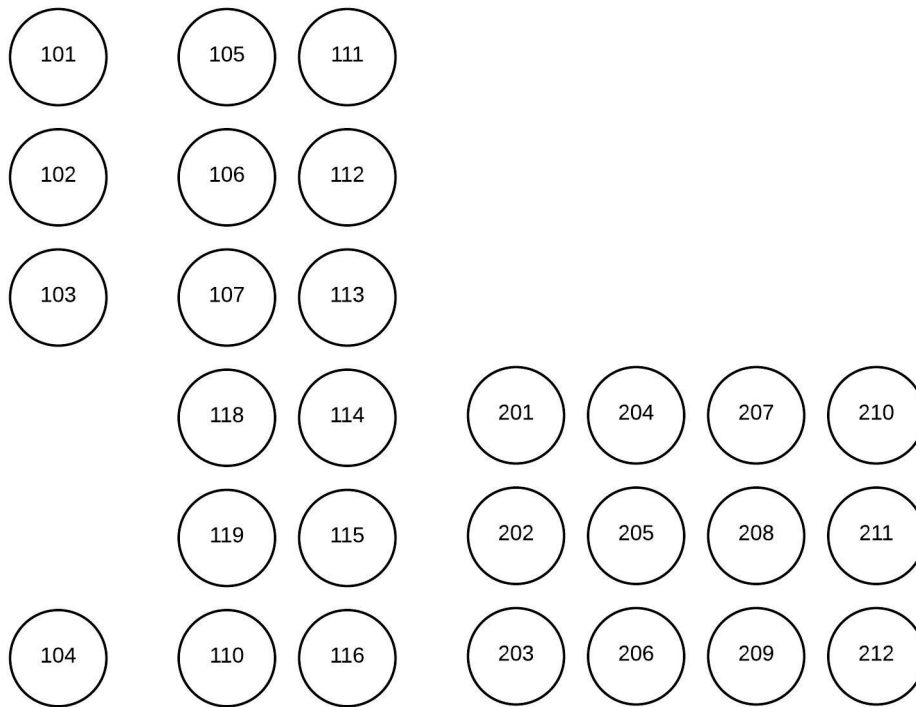
Tabell 3: Størrelse på smultringkar på Stokksund [38]

	Smultring	<i>Ytre</i>	<i>Midten</i>
Diameter (m)	1,22	2,46	1,24
Radius (m)		1,23	0,62
Høyde vannstand (m)	1,15	1,15	1,15
Volum (m³)	4,1	5,5	1,4
Omkrets (m)		7,7	3,9
Overflate bunn (m²)	3,5	4,8	1,2
Overflate vegg (m²)	13,4	8,9	4,5
Overflate totalt (m²)	16,9	13,6	5,7

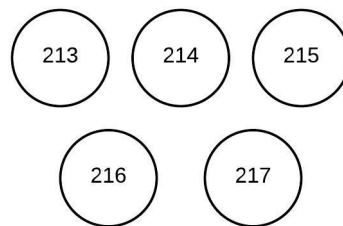
Tabell 4: Størrelse på vanlige kar på Stokksund [38]

	4-metring	6-metring	7-metring
Diameter (m)	4	6	7
Radius (m)	2	3	3,5
Høyde vannstand (m)	1,3	1,75	1,75
Volum (m³)	16,3	49,5	67,3
Omkrets (m)	12,6	18,8	22,0
Overflate bunn (m²)	12,6	28,3	38,5
Overflate vegg (m²)	16,3	33,0	38,5
Overflate totalt (m²)	28,9	61,3	77,0

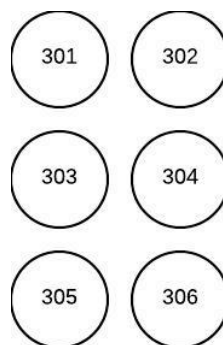
Stokksund består av tre avdelinger med forskjellige typer kar. Avdeling 1 (Figur 9) har 16 smultringkar. Avdeling 2 er delt i to, der det er 12 4-metring i samme hall som avdeling 1 (Figur 9) og to smultringkar, og tre 4-metring i en egen avdeling i et annet bygg (Figur 10). Avdeling 3 har seks teltkar, to 6-metring og fire 7-metring (Figur 11). I tillegg har anlegget seks forsøkskar med diameter på 0,6 m og fire forsøkskar med diameter på 1,0 m. Disse karene står i egne rom og hvert kar har hver sin armatur. [38]



Figur 9: Hall med avdeling 1 og deler av avdeling 2 på Stokksund



Figur 10: Del to av avdeling 2, inne i huset på Stokksund



Figur 11: Avdeling 3 på Stokksund

I avdeling 1 blir yngel tatt imot, og dette er grunnen til at det er smultringkar her. Yngel har et større behov for overflate å feste seg til enn større fisk. Rognkjeksen er i denne avdelingen til den er ca. 2,5 g. Deretter blir den flyttet til avdeling 2, fram til vaksinerings (Figur 12). Fisken er så i avdeling 3 fra vaksinerings til levering. [38]



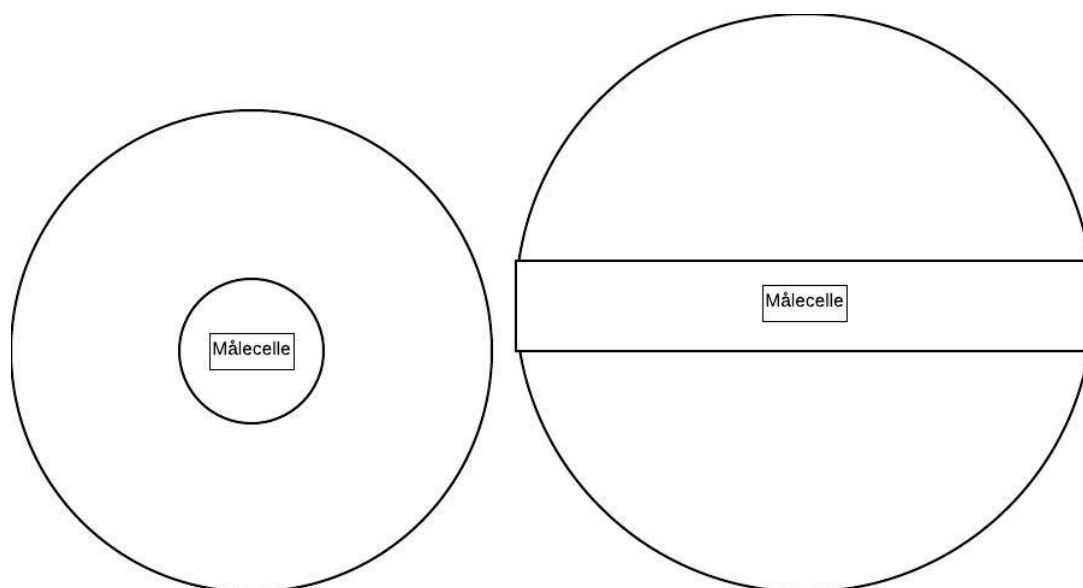
Figur 12: Hvit 4-metringskar i avdeling 2

4.3 Belysning på Lerøy Stokksund

I dag brukes halogenlødeler og noen lysrør som lyskilder på Lerøy Stokksund. Lyset styres likt gjennom hele året, ved at det tennes automatisk klokken 08:30 og slukkes klokken 23:30. Rognkjeksene føres kun når produksjonslyset er tent. På dagtid er i tillegg arbeidslys tent dersom ansatte jobber i hallen, og under røktning brukes det hodelykter. Dette for å bedre arbeidsforholdene for menneskene som jobber på anlegget. Det eneste unntaket er ved sulting, som er før vaksinerings og levering. Da er den aktuelle avdelingen mørklagt. Tidligere var lyset på anlegget tent hele døgnet og det var da mye halebiting blant fisken. Høsten 2015 ble det dag/natt-variasjon i belysningen, og etter dette ble det mindre halebiting. [38]

Per i dag er det lite kunnskap rundt hvilket lysmiljø rognkjeksene trives i. Når det gjelder mennesker finnes det krav til belysningsstyrke for ulike belysningsanlegg. Lysanlegget på et oppdrettsanlegg bør dimensjoneres for minst 300 lux 0,8 m over bakken, slik at arbeidsoppgaver kan gjennomføres [39]. Dette gjelder kun når arbeidsbelysning er tent.

Det er tidligere gjort lysmålinger på Lerøy sitt anlegg i Stokksund for å kartlegge lysmiljøet. Målingene ble gjort i alle tre avdelingene på anlegget, og belysningsstyrke ble målt i kort avstand over vannoverflaten i alle kar. I hallen ble det gjort målinger med kun produksjonslys tent og målinger med både produksjonslys og arbeidslys tent. På smultringkarene ble målecellen plassert på sylindere midt i karet, mens på de vanlige karene ble målecellen plassert på gangbroen over karene, Figur 13. Plassering av målecellen kan ha variert noe fra kar til kar og mellom de to ulike målingene på hvert kar. I avdeling 3 var gangbroen høyere over vannoverflaten enn karene i de andre avdelingene, noe som kan ha påvirket resultatene. Resultatene fra lysmålingene over vann er vist i Tabell 5. [40]



Figur 13: Plassering av målecelle på smultringkar og vanlige kar [40]

Tabell 5: Måling av belysningsstyrke med plan målecelle over vann i hvert kar [40]

Karnummer	Med arbeidslys [lux]	Uten arbeidslys [lux]
Avdeling 1		
101	52	20
102	64	14
103	53	19
104	-	-
105	82	19
106	95	16
107	106	16
108	108	16
109	101	18
110	96	20
111	73	16
112	51	17
113	89	21
114	80	22
115	78	24
116	122	21

Avdeling 2		
201	175	58
202	202	46
203	173	66
204	152	66
205	174	58
206	242	148
207	123	105
208	86	60
209	97	82
210	68	66
211	47	46
212	90	86
Avdeling 2, inne		
213	-	210
214	-	72
215	-	177
216	-	54
217	-	80
Avdeling 3		
302	-	334
304	-	488
306	-	1039

Det er stor variasjon i belysningen både i og mellom de ulike avdelingene på Lerøy Stokksund. I hallen dekker ikke arbeidslyset alle karene og rognkjeksene opplever dermed ulik belysning avhengig av hvilke kar de blir plassert i. I tillegg er belysningsstyrken i hallen og i huset generelt lavere enn kravet for arbeidslys. [40]

5 Måleutstyr og lyskilder

I denne oppgaven er det valgt å måle belyningsstyrke og foton-irradians. Dette for å kunne ta hensyn til både mennesker og fisk når det gjøres vurdering av lysmiljø.

5.1 Black comet spektroradiometer, PS-200, med målecelle

Dette er et spektroradiometer, Figur 14, med måleområde på bølgelengder mellom 300-850 nm, som både kan måle lysets fargespekter og intensitet. Målecellen tåler vann, og dette instrumentet ble derfor brukt til å gjøre målinger under vann, samt måle lys gjennom rognkjeksskaller.



Figur 14: Black Comet Spektroradiometer [41]

5.2 UPRtek MK350S

Måleinstrumentet UPRtek MK350S, Figur 15, ble i denne oppgaven benyttet til å måle lyset gjennom skallen på rognkjeks. Det er et spektrometer med innebygget $V(\lambda)$ -kurve som gjør at den kan måle belyningsstyrke, i tillegg har det innebygget beregning av fotonirradians. Instrumentet måler kun bølgelengder mellom 380-780 nm.



Figur 15: Måleinstrument UPRtek MK350S [42]

5.3 Valg av lyskilde

Havforskningsinstituttets resultater for rognkjeks lysspektersensitivitet, Figur 7, tyder på at rognkjeksens øyne har følsomhet utenfor det synlige lyset, spesielt UV-stråling. Det er enda usikkert hvilken virkning denne strålingen har på rognkjeks, men det er kunnskap rundt UV-stråling og mennesker. UV-stråling har en rekke skadelige effekter på levende celler, og hos mennesker er særlig hud og øyne utsatt [43]. Det bør derfor undersøkes hvilken virkning UV-stråling har på rognkjeks, før dette vurderes som aktuelt i belysning på rognkjeks-anlegg. På bakgrunn av dette ble det valgt å bruke LED som lyskilde i forsøkene med levende fisk. I tillegg kan LED-lysets spektrale sammensetning og lysets intensitet enkelt endres, som vil være en fordel i disse forsøkene.

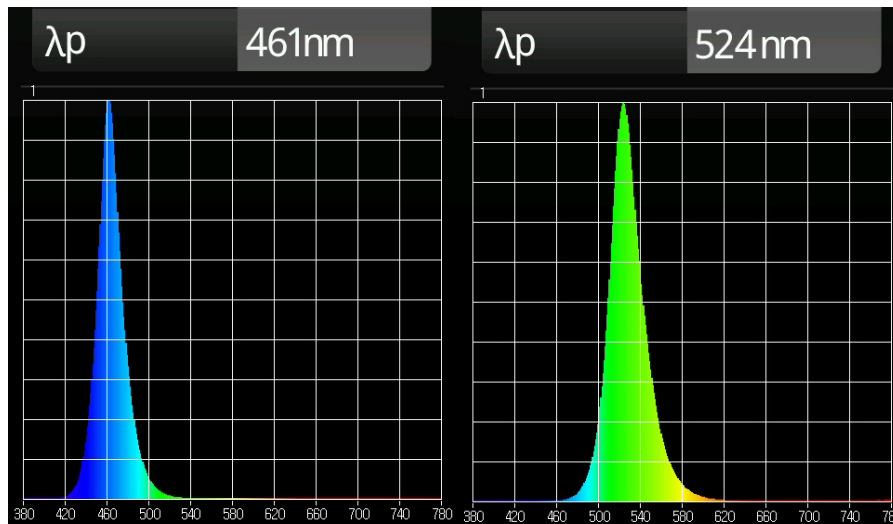
5.3.1 LED-armatur

I pilotforsøkene gjennomført på NTNU ble det benyttet LED-armaturer med effekt på 10 W, mens det i farge- og intensitetsforsøkene ble brukt LED-armaturer, Figur 16, med effekt på 50 W. Begge typene hadde IP-klasse 65. Armaturene hadde tilhørende fjernkontroll der lysets spektrale sammensetning og intensitet enkelt kunne justeres. For framstilling av hvitt lys ble RGB-metoden benyttet i begge armaturtypene.

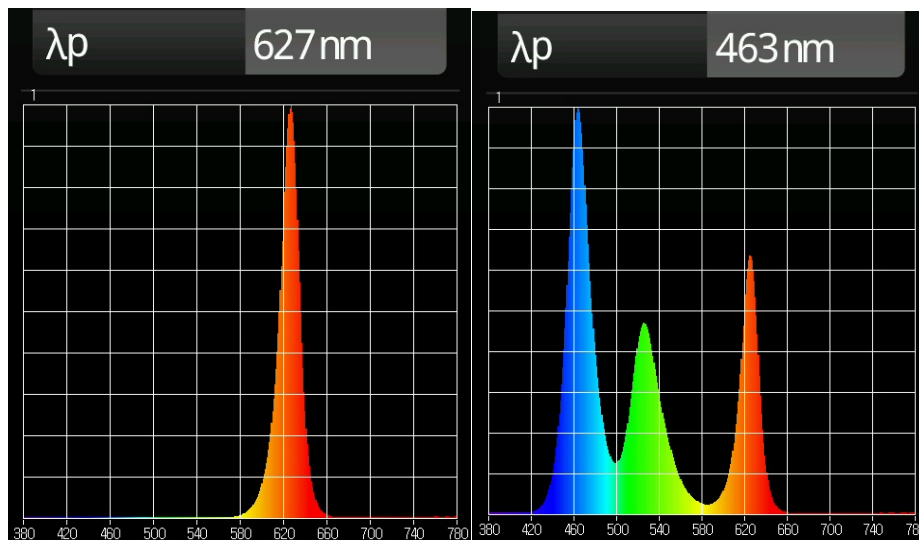


Figur 16: LED-armatur med effekt på 10 W og 50 W [44]

Figur 17 og Figur 18 viser den spektrale sammensetningen til fargene blått, grønt, rødt og hvitt for LED-armaturene.



Figur 17: Spektral sammensetning i blått lys til venstre og spektral sammensetning i grønt lys til høyre.



Figur 18: Spektral sammensetning i rødt lys til venstre og spektral sammensetning til hvitt lys til høyre.

6 Metode

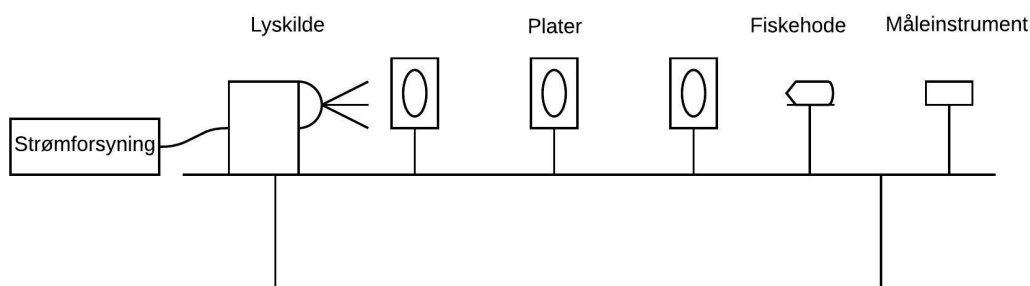
Det ble gjennomført forsøk som omhandlet lysets spektrale transmisjon gjennom rognkjeksens hodeskalle og lysets påvirkning på rognkjeksyngels adferd. Forsøkene beskrives i dette kapittelet.

6.1 Lys gjennom skalle på fisk

Det ble gjennomført forsøk på belysning gjennom rognkjeksens hodeskalle. Målet med forsøket var å studere de optiske egenskapene til rognkjeksens skalle med tanke på transmisjon av lys. Det var interessant å finne ut hvor mye og hvilket lys som transmitterer gjennom skallen på rognkjeksens under ulike forhold. Dette for å vite hvilke bølgelengder som kan påvirke fiskens pinealkjertel. Forsøket ble valgt å gjennomføres i både vann og luft, for å se om det var forskjeller i transmisjonen i disse to omgivelsene.

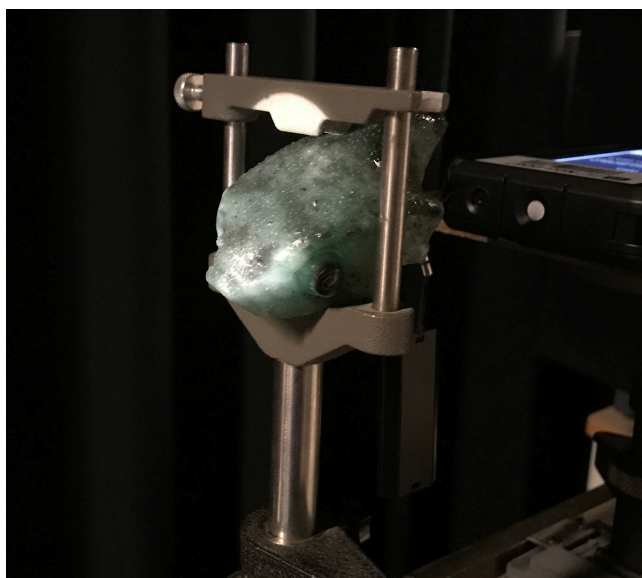
I forsøkene i luft ble det brukt fisk av omtrent lik størrelse, både hunn- og hannkjønn, og likt antall av hvert kjønn. Fisken var i samme livsstadium, for å få mest mulig riktig sammenligning av resultater. Forsøket i luft ble gjort på både ferskt og tørt preparat. Grunnen til dette var at pigmenteringen i huden på fisken er levende celler. Det var derfor interessant å se hva som skjedde med lysets transmisjon gjennom skallen da den var tørr og cellene døde.

Forsøket i luft ble gjennomført på lyslaboratoriet ved NTNU, ved hjelp av en fotometerbenk, Figur 19. En halogenglødelampe med stabil likestrømsforsyning ble plassert på den ene enden av benken, mens fiskeskallen og måleinstrumentet ble plassert på den andre enden. Det var viktig å bruke en stabil likestrømsforsyning, for å få jevne og like spekter, uten forstyrrelser, på alle målingene. Det ble valgt å bruke halogenglødelampe for å få et fullt fargespekter. For å sentrere lysstrålen mot måleinstrumentet ble det tatt i bruk plater med hull på fotometerbenken. Dette for å unngå at annet lys påvirket målecellen.



Figur 19: Fotometerbenk på lyslaboratoriet på NTNU

Først ble hodet skjært av fisken, innmaten tatt ut og skallen plassert på fotometerbenken, Figur 20. Deretter ble lyskilden plassert mot skallen og måleinstrumentet plassert bak skallen. Det ble valgt å plassere målecellen slik at den målte det lyset som gikk gjennom pinealvinduet, på bakgrunn av T. Nordtugs og O.K. Bergs funn om transmisjon gjennom laksens skalle [30]. Forsøket ble gjort med flere forskjellige fiskeskaller, for å få mest mulig korrekte resultater. Fotonirradiansen og belysningsstyrken gjennom skallene ble også målt. Lyset som transmitterte gjennom skallen ble sammenlignet med lyset direkte fra lyskilden. De ulike fiskene brukt i forsøket og deres egenskaper er vist i Tabell 6. Etter målingene ble utført ble fiskehodene lagt til tørk.



Figur 20: Rognkjeksskalle på fotometerbenk på NTNU

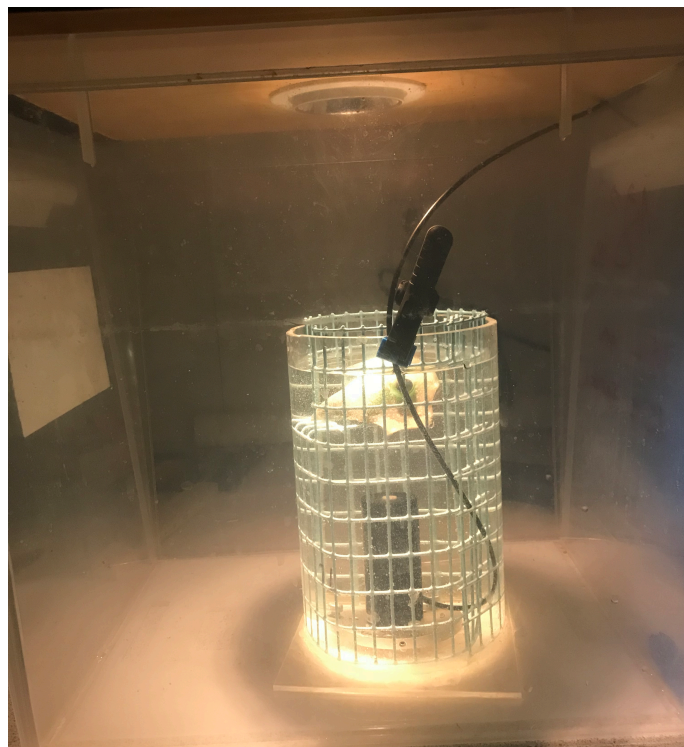
Tabell 6: Rognkjeks brukt i skalleforsøk

Dato	Navn	Kjønn	Vekt [g]	Lengde [cm]	Høyde [cm]
26.02.18	Skalle 1	Hann	320	21,0	9,0
07.03.18	Skalle 2	Hann	665	25,3	11,5
08.03.18	Skalle 3	Hunn	742	27,0	10,5
13.03.18	Skalle 4	Hann	455	27,5	11,5
13.03.18	Skalle 5	Hunn	780	30,0	10,5
15.03.18	Skalle 6	Hann	455	24,6	8,4
15.03.18	Skalle 7	Hann	573	24,7	9,5
15.03.18	Skalle 8	Hann	503	25,4	8,7
15.03.18	Skalle 9	Hunn	676	25,4	11,4
15.03.18	Skalle 10	Hunn	690	25,8	11,3
15.03.18	Skalle 11	Hann	584	24,8	9,8
15.03.18	Skalle 12	Hann	625	23,6	10,8
15.03.18	Skalle 13	Hunn	597	24,6	10,3
15.03.18	Skalle 14	Hann	525	24,5	9,8
15.03.18	Skalle 15	Hunn	632	25,6	12,1

Ideelt sett skulle transmisjonen gjennom skallene blitt målt med black comet spektroradiometer, som måler bølgelengder både over og under det synlige spekteret. Det var problemer med det aktuelle instrumentet da målingene skulle gjennomføres. Da skallene må gjennomlyses mens de er ferske kunne ikke instrumentet black comet benyttes, og målingene ble kun gjort med URPtek MK350S. Dette måler kun bølgelengder mellom 380-780 nm.

Etter fiskehodene hadde ligget til tørk i rundt en måned, ble det gjennomført identiske forsøk med de samme skallene. Her ble det gjort målinger med både black comet og URPtek MK350S.

Det ble gjennomført målinger gjennom rognkjeksskaller under vann, for å få situasjonen mest mulig lik den faktiske situasjonen på anlegget. Vannet som ble benyttet var fysiologisk saltvann med saltholdighet på 12 promille. Forsøket ble gjennomført i et kar på NTNU. Det ble benyttet en halogen-lyskilde med en vinkel på 8 grader, for å få en smal lysstråle ned i vannet. Lyskilden var koblet til en likestrømsforsyning og ble plassert slik at lyset gikk vinkelrett ned i vannet. Dette for å unngå refleksjon og brytning i vannflaten ved måling av lysets spekter. Målecellen ble plassert på bunnen av karet og rognkjeksskallen ble holdt på plass rett over målecellen og omtrent to cm under vannoverflaten ved hjelp av et stativ, Figur 21. De ulike fiskene som ble brukt i forsøket og deres egenskaper er vist i Tabell 7. I dette forsøket ble måleinstrumentet black comet spektroradiometer benyttet, da det tåler vann.



Figur 21: Forsøksoppsett for skalleforsøk under vann

Tabell 7: Egenskaper til rognkjeks brukt i skalleforsøk under vann

Dato	Navn	Vekt [g]	Lengde [cm]	Høyde [cm]	Skalletykkelse [mm]	Farge
10.05.18	Skalle 16	395	24,5	8,1	5,1	Blå/grå
10.05.18	Skalle 17	394	23,5	8,5	3,7	Orange
11.05.18	Skalle 18	373	24,0	8,5	5,5	Orange
11.05.18	Skalle 19	301	21,0	8,4	6,1	Blå/grå
11.05.18	Skalle 20	496	24,5	9,5	6,3	Orange
11.05.18	Skalle 21	543	25,0	10,4	8,8	Blå/grå
12.05.18	Skalle 22	422	23,0	9,4	8,5	Blå/grå
12.05.18	Skalle 23	396	24,5	9,0	7,8	Grå

For å finne hvilke bølgelengder som transmitterte best gjennom rognkjeksens skalle ble formel 6 benyttet:

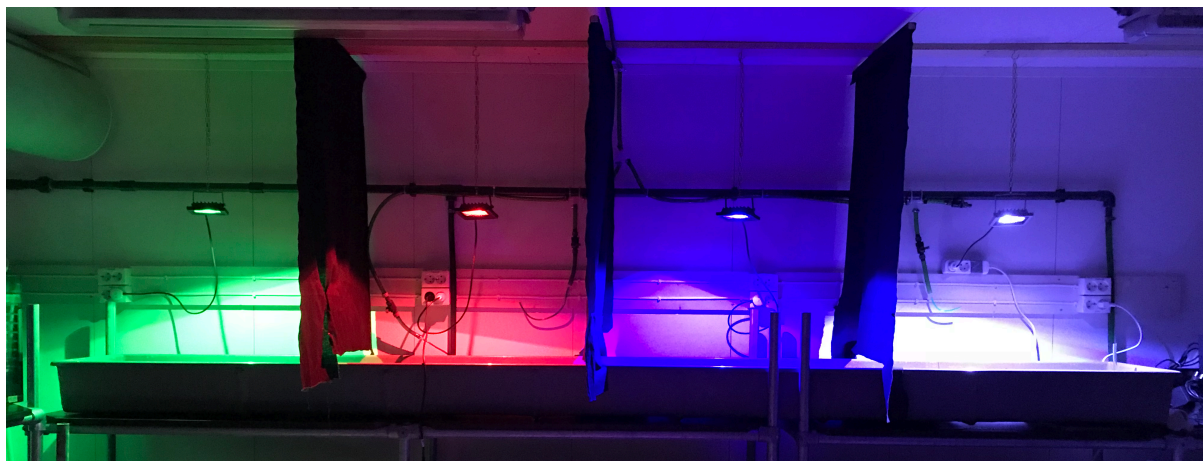
$$\tau(\lambda) = \frac{\phi_{inn}(\lambda)}{\phi_{ut}(\lambda)} \quad (6)$$

Der $\tau(\lambda)$ er transmisjonen gjennom skallen, $\phi_{inn}(\lambda)$ er lyset som går inn mot skallen, altså lyset fra lyskilden, og $\phi_{ut}(\lambda)$ er lyset som kommer ut fra skallen, det som transmitteres.

6.2 Test av ulike spekter og intensiteter i lys på NTNU

For å finne et best mulig oppsett og metode for forsøk på lysets spektrale sammensetning og intensitet ble det først gjennomført et pilotforsøk på laboratoriet på NTNU. Dette omfattet å ha rognkjeks i ei klekkerenne fylt med vann. Renna ble delt i fire seksjoner med hver sin LED-armatur. Det ble hengt opp sorte gardiner mellom seksjonene slik at lyset ikke skulle gå over i hverandre, blande seg og danne nye seksjoner i karet.

I forsøket på spektral sammensetning hadde lyset i de ulike delene av renna ulik spektral sammensetning, men lik intensitet. Flere ulike farger ble først testet med fisken, før noen interessante farger ble valgt å gjennomføre forsøk med. Disse fargene var grønt, rødt, blått og hvitt, Figur 22. Hensikten med dette forsøket var å se om det var tendenser i hvilket lys fisken oppholdte seg i. Var det for eksempel noen farger som skremte bort eller tiltrakk fisken? Eller klumpet de seg sammen uavhengig av farge? Det ble gjennomført forsøk der det ble benyttet to og fire ulike farger. I forsøk med kun to farger ble to seksjoner belyst med samme farge. Underveis i testingen ble plassering av fargene byttet, for å se om fisken fulgte etter eller styrte unna de samme fargene som tidligere, eller om det ikke hadde noen betydning. Alle forsøkene hadde varighet på én time, og det ble gjort observasjoner hvert femtende minutt i hvert forsøk.



Figur 22: Pilotforsøk på spektral sammensetning i belysning på NTNU

Observasjoner viste at et problem er at fisken setter seg i hjørner og skygger, så dette må i videre forsøk unngås. Det så også ut til at fire ulike farger ble for mange, da rognkjeks brukte lang tid på å velge hvilken farge de ville sitte i og svømte mye mellom de ulike seksjonene. Forsøkene bør derfor kun gjennomføres med to farger av gangen. Under forsøket ble det også observert at færre fisk flyttet på seg da antall farger ble redusert fra fire til to. Hvert område for hver farge ble da større, så det kan være en idé å redusere størrelsen på hver seksjon ved bruk av kun to farger.

I fargeforsøkene var det tydelig at fisken trakk mot det røde lyset. Her satt de seg til ro og virket lite stresset. Selv om det er gjort målinger som viser at rognkjeks ikke har fotoreseptorer i det røde bølgelengdeområdet, ble det gjort observasjoner der rognkjeks som satt i rødt lys fulgte bevegelser over vann med blikket. Dette kan være på grunn av påvirkning av lyset i de andre seksjonene i renna. I tillegg hadde det røde spekteret fra armaturene brukt i forsøket bølgelengder innenfor rognkjeksens følsomhetskurve, Figur 7, som dermed gjør at fisken ser noe i dette lyset. Færre fisk oppholdte seg i det blå, grønne og hvite lyset, og de som var i disse fargene virket mer stresset. Det vil derfor være interessant å sette disse fargene opp mot hverandre i videre forsøk.

Slik som pilotforsøket om ulike spekter, ble det gjennomført et pilotforsøk på lysintensitet. Det samme forsøksoppsettet ble benyttet, men klekkerenna ble delt i fire seksjoner med ulik lysintensitet med lys av samme spekter, Tabell 8. I dette forsøket ble det benyttet hvitt lys. Her ble rognkjeksens adferd observert, om den trakk mot eller bort fra enkelte lysintensiteter. Underveis i testingen ble plassering av intensitetene byttet, for å se om fisken fulgte etter eller styrte unna de samme intensitetene som tidligere.

Tabell 8: Lysintensiteter i pilotforsøk NTNU

	Intensitet 1	Intensitet 2	Intensitet 3	Intensitet 4
Belysningsstyrke [lux]	355	298	189	92
Fotonirradians [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	9,56	8,55	5,30	2,55

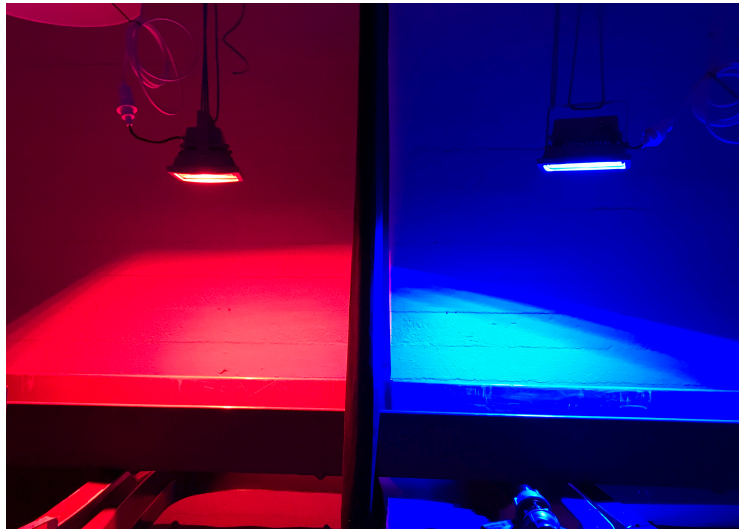
Observasjoner viste at fisken fordelte seg jevnt i de tre laveste intensitetene, mens færre satt i den høyeste intensiteten. I videre forsøksoppsett kan det være aktuelt å ha større forskjell mellom de ulike intensitetene som settes opp mot hverandre. Likt som i fargeforsøket ble det i intensitetsforsøket observert at det ble for mye å teste fire intensiteter samtidig, i tillegg til at rognkjeksene satte seg i skygger og hjørner. I videre forsøk bør det kun gjøres forsøk på to intensiteter og skygger og hjørner bør unngås.

6.3 Farge- og intensitetsforsøk på Stokksund

Det ble gjort to typer lysforsøk på anlegget i Stokksund, for å se hvordan lys påvirker rognkjeksens adferd. Forsøkene omhandlet lysets farge og intensitet, og ble gjennomført på dagtid. Bakgrunnen for forsøksoppsettet og metode var funnene gjort i og erfaringene fra pilotforsøket på NTNU. Da miljø potensielt kan påvirke fiskens oppfattelse av lys ble det valgt å holde vannets saltholdighet og temperatur konstant. Saltholdigheten ble holdt til 35 promille, som er saltholdigheten i sjøvann. Temperaturen ble holdt til temperaturen i sjøvannet på forsøkets tidspunkt, som var rundt seks grader celsius. De eneste variablene som ble endret under forsøkene var lysets farge og intensitet. Det ble benyttet LED-armaturer med tilhørende fjernkontroller for å endre disse variablene.

Farge- og intensitetsforsøkene ble gjennomført i ei klekkerenne fylt med vann. I klekkerenna ble det lagt en sylinder av gjennomsiktig plast, som rognkjeksene ble plassert i. Dette for å unngå at rognkjeksene hadde tilgang til hjørner, som den har en tendens til å sette seg i. For å tette endene i sylindere ble det benyttet not festet med strips, slik at vannet fortsatt kunne strømme inn og ut. Renna og karene ble delt i to seksjoner som ble belyst med ulike farge eller intensitet. For å skille mellom seksjonene ble det hengt opp sorte gardiner, slik at lyset fra de ulike seksjonene ikke ble blandet. Det ble klipt hull i gardina som sylindere ble tredd gjennom, for å sikre ulike seksjoner. Avhengig av størrelse på fisken, ble det benyttet to ulike størrelser av sylindere. Midt på sylindere, mellom de to seksjonene, ble det sagt et hull som innslippspunkt for fisken. Dette for at fisken selv kunne bestemme hvilket miljø den skulle svømme til, uten å bli påvirket av hvilken farge de ble sluppet ned i.

Forsøkene ble først gjennomført på små fisk. Tre utvalgte forsøk med interessante resultater ble også gjennomført på større fisk. Dette for å se om rognkjeks endrer adferd når den blir større. Da det er lite kunnskap rundt rognkjeks, ble det gjort et akademisk valg av størrelse på fisk, ut fra størrelsene tilgjengelig på anlegget. For å få størst variasjon i fiskestørrelsene ble det gjort forsøk på fisk som akkurat har ankommet anlegget, ca. 1 g, og på fisk som var klar for vaksinerings, rundt 10 g. Fisk av samme størrelse ble hentet fra samme plass i samme kar, for å sikre at fisken det ble gjort forsøk på var av lik størrelse og hadde de samme forutsetningene. All fisk som ble brukt i forsøkene ble veid og målt etter forsøket var ferdig. Den minste fisken ble hentet fra kar 112 og var fisk som kom til anlegget februar 2018, mens den større fisken ble hentet fra kar 205 og var fisk som kom til anlegget november 2017. Snittvekten på den minste fisken var 1,07 g og snittlengden var 3,2 cm, mens snittvekten på den større fisken var 10,22 g og snittlengden var 6,4 cm. Det ble totalt sett gjort forsøk på 1020 små fisk og 360 større fisk.



Figur 23: Fargeforsøk på Lerøy midt avdeling Stokksund

I både farge- og intensitetsforsøkene ble det testet to miljøer av gangen, to farger eller intensiteter, Figur 23. Det ble påsett at intensiteten på de to fargene som ble satt opp mot hverandre var lik. Fisken ble holdt i forsøket til de fleste hadde sluttet å bevege seg og satt seg i ro. Etter observasjoner av både små og større fisk ble det bestemt at hver runde skulle vare i 20 minutter. Etter 20 minutter ble det registrert hvor mange fisk som satt i hvert miljø, og hvor mange som fortsatt var i bevegelse. Forsøksfisken ble byttet ut med ny fisk av samme størrelse, og samme forsøk ble gjennomført på nytt. Deretter ble de satt tilbake i produksjonskaret de ble hentet fra. I løpet av forsøkene ble det gjort observasjoner av hvilke farger eller intensiteter fiskene synes var gunstig eller ikke gunstig. Altså om det var enkelte farger eller intensiteter fisken foretrakk eller holdte seg unna. Hvert forsøk ble gjennomført seks ganger, for å få pålitelige resultater. Det ble valgt å bruke 20 til 30 fisk per runde. Dette for at rognkjeksene skulle ha god plass, slik at de kunne sette seg der de selv foretrakk. Hadde det blitt brukt flere fisk kunne det blitt trangt i sylindere og fisken ville ikke hatt mulighet til å selv velge plass å sette seg.

I fargeforsøkene ble det gjort forsøk med fargene rød ($\lambda_p = 627$ nm), grønn ($\lambda_p = 524$ nm), blå ($\lambda_p = 461$ nm) og rgb-hvit ($\lambda_p = 463$ nm). Fargene ble valgt på bakgrunn av funnene i pilotforsøket i tillegg til tidligere litteratur. I pilotforsøket ble det observert at rognkjeksene trakk mot rødt lys, mens få fisk oppholdte seg i grønt, blått og hvitt lys. Det var derfor interessant å sette disse fargene opp mot hverandre, for å observere fiskens adferd når de kun hadde to fargevalg. I tidligere litteratur er det vist at laks har en høyere følsomhet for grønt og blått lys enn rødt, og det var på bakgrunn av dette interessant å gjøre videre forsøk med disse fargene for å se om dette også gjelder rognkjeks.

På små fisk ble følgende farger testet mot hverandre:

- Rød og hvit
- Blå og hvit
- Grønn og hvit
- Rød og blå
- Grønn og blå
- Rød og grønn

I intensitetsforsøkene ble det gjort forsøk med hvitt lys med intensitet lik produksjonslyset på anlegget, omtrent 40 lux, høyere intensitet enn produksjonslyset, omtrent 230 lux, og totalt mørke, 0 lux. Ved observasjon av hvor mange fisk som oppholdte seg i totalt mørke ble taklyset tent før observasjonen ble gjort. På små fisk ble følgende intensiteter testet mot hverandre:

- Produksjon og lysere
- Produksjon og mørke

Etter en vurdering av resultatene fra forsøkene med små fisk ble det besluttet å gjøre følgende forsøk på større fisk:

- Rødt og hvitt lys
- Rødt og grønt lys
- Produksjonsintensitet og høyere intensitet

Grunnen til at det ble valgt å gjøre forsøk på rødt og hvitt lys på større fisk var at det sammenlignet med pilotforsøket var mye mindre forskjell i hvor stor andel av rognkjeksene som valgte å sette seg til ro i de to fargene. Det ble valgt å gjøre forsøk på rødt og grønt lys da det var en stor andel av de små fiskene som valgte grønt lys over rødt, noe som var uventet på bakgrunn av tidligere litteratur. Når det gjaldt intensitetsforsøkene var resultatene relativt like og det ble bestemt å teste forsøket der begge lyskildene ble benyttet. For alle tre forsøkene var det interessant å se om resultatene ble lik for større fisk.

Underveis i forsøkene ble det påsett at oksygenivået i vannet var over 7 mg/L. Dette fordi det er den laveste akseptable midlere oksygenverdi i merder for laks, og det ble derfor valgt å gå ut fra denne verdien også for rognkjeks [45]. For å holde oksygenverdien innenfor godkjente grenser ble derfor vannet byttet ut mellom alle forsøkene, etter at seks runder av et forsøk var gjennomført. Denne utskiftningen gjorde også at temperaturen ble holdt konstant.

6.4 Usikkerhet

Ved målinger av lys gjennom skalle kan det være noen forskjeller fra måling til måling. Dette fordi målinger er gjort på ulike dager, og utstyr og fiskehodene kan ha blitt satt opp litt ulikt fra dag til dag. Det ligger derfor en usikkerhet i disse resultatene.

Ved farge- og intensitetsforsøkene ble fisken fraktet i bøtter fra produksjonskaret til plastrøret. Denne håndteringen kan gjøre fisken stresset, og det ligger derfor en liten usikkerhet i resultatene fra forsøkene.

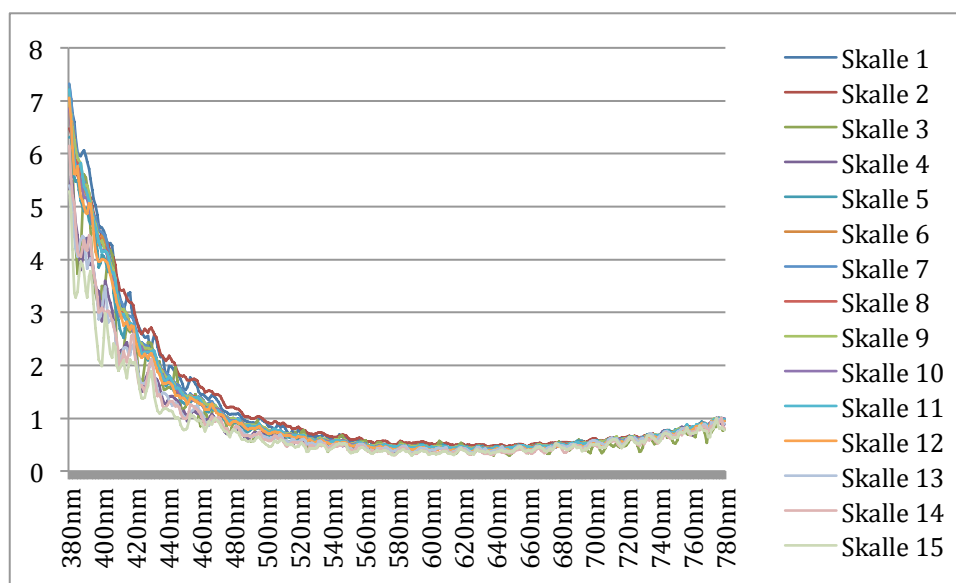
Selv om all fisk ble hentet på dagtid mens produksjonslys var tent, ble fisken hentet ved forskjellige tidspunkt på dagen. Noen ble hentet tidlig på dagen, mens andre ble hentet på kvelden. Dette kan ha betydning med tanke på adferd og fôr. Da rognkjeksens ikke får fôr om natten kan det være at fisk hentet tidlig på dagen ikke har spist siden kvelden før, mens fisk hentet på kveld har spist jevnt gjennom hele dagen. Dette kan påvirke rognkjeksens adferd, som at den for eksempel trekker mot lys framfor mørke dersom den er sulten, fordi den forbinder lys med mat.

Når det gjelder måleceller kan det være noen usikkerheter. Dette gjelder spesielt målecellen til måleinstrumentet black comet spektroradiometer. Overgangen mellom fiberkabelen fra måleinstrumentet og målecellen ble silikonert for å unngå at det skulle komme fukt inn i målecellen. Det skal derfor ikke være noen usikkerheter med selve målecellen, men det kan være noe usikkerhet i overgangen mellom målecellen og vann. Dermed kan det også være usikkerheter i resultatene fra målinger under vann.

7 Resultater

7.1 Lys gjennom fersk rognkjeksskalle i luft

Det ble gjort målinger av den spektrale sammensetningen til lyskilden og det lyset som transmitterte gjennom skallen i fersk tilstand. Resultatene fra disse målingene ble presentert i en graf med relative verdier fra 0-1. For å finne ut hvilke bølgelengder som transmitterte best gjennom skallene ble formel 6 benyttet. Resultatene for alle 15 skallene er vist i Figur 24.



Figur 24: Spektral transmisjon for fersk skalle 1 til 15 i luft

Fotonirradiansen og belysningsstyrken gjennom de ferske rognkjeksskallene ble også målt. Resultatene er vist i Tabell 9 og Tabell 10.

Tabell 9: Fotonirradians og belyningsstyrke gjennom ferske rognkjeksskaller i luft

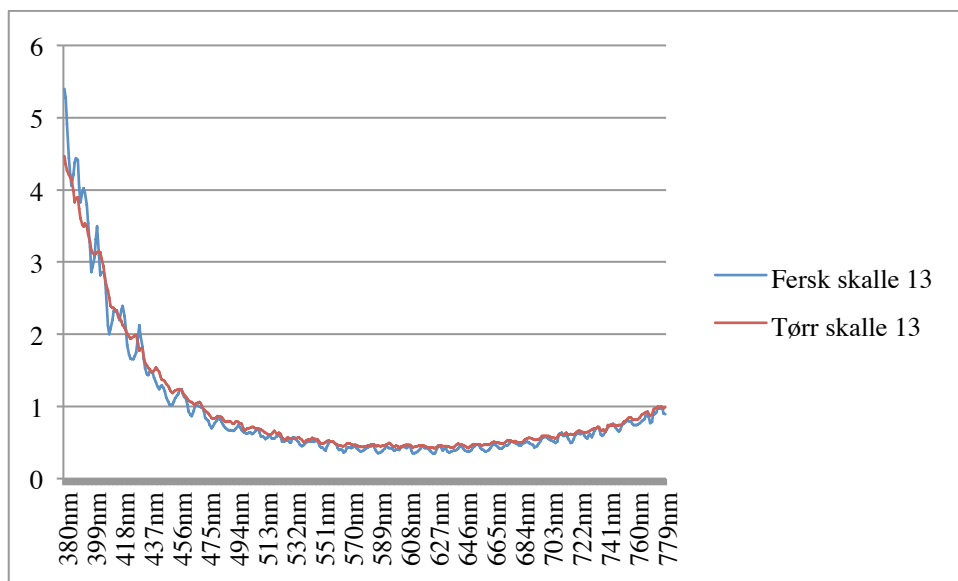
Skallenummer	Fotonirradians uten skalle [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	Fotonirradians med skalle [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	Belysningsstyrke uten skalle [lux]	Belysningsstyrke med skalle [lux]
1	1,33	0,05	67,84	2,42
2	1,35	0,08	68,57	3,78
3	1,31	0,02	66,80	0,84
4	1,79	0,04	92,24	1,71
5	1,79	0,06	92,24	2,70
6	1,82	0,12	94,23	5,58
7	1,82	0,11	94,23	5,21
8	1,82	0,11	94,23	4,88
9	1,82	0,10	94,23	4,48
10	1,82	0,09	94,23	4,07
11	1,82	0,08	94,23	3,45
12	1,82	0,06	94,23	2,76
13	1,82	0,03	94,23	1,53
14	1,82	0,03	94,23	1,28
15	1,82	0,02	94,23	1,13

Tabell 10: Andel av lys som transmitterte gjennom ferske skaller i luft

Skallenummer	Andel fotonirradians	Andel belysningsstyrke
1	4 %	4 %
2	6 %	6 %
3	1 %	1 %
4	2 %	2 %
5	3 %	3 %
6	7 %	6 %
7	6 %	6 %
8	6 %	5 %
9	5 %	5 %
10	5 %	4 %
11	4 %	4 %
12	3 %	3 %
13	2 %	2 %
14	2 %	1 %
15	1 %	1 %

7.2 Lys gjennom tørr rognkjeksskalle i luft

Etter fiskehodene hadde tørket en måned ble det gjort nye målinger for å se hvor mye og hvilket lys som transmitterte gjennom den tørre skallen. Resultatene fra disse målingene ble presentert i en graf med relative verdier fra 0-1. Denne grafen ble delt på lyset som kom inn mot skallen, for å se hvilke bølgelengder som transmitterer mest gjennom skallen i tørr tilstand. Resultatet fra tørr og fersk skalle ble satt i samme graf for sammenligning. Resultatene for skalle 13 er vist i Figur 25, der blå graf illustrerer lys gjennom fersk skalle og rød graf illustrerer lys gjennom tørr skalle. Resultatene for de andre skallene var relativt lik resultatet for skalle 13, men noen få unntak. De resterende resultatene er vist i vedlegg A.



Figur 25: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 13 i luft

Fotonirradiansen og belysningsstyrken gjennom de tørre rognkjeksskallene ble også målt. Resultatene er vist i Tabell 11 og Tabell 12.

Tabell 11: Fotonirradians og belysningsstyrke gjennom tørr skalle i luft

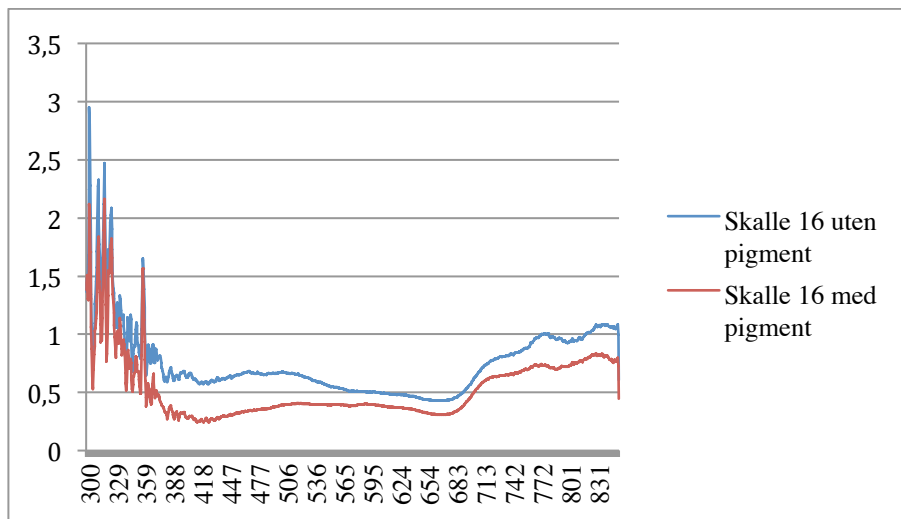
Skallenummer	Fotonirradians uten tørr skalle [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	Fotonirradians med tørr skalle [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	Belysningsstyrke uten tørr skalle [lux]	Belysningsstyrke med tørr skalle [lux]
1	1,77	0,01	91,31	0,46
2	1,77	0,01	91,31	0,66
3	1,77	0,03	91,31	1,26
4	1,77	0,04	91,31	2,15
5	1,77	0,05	91,31	2,40
6	2,40	0,02	125,06	0,92
7	2,40	0,03	125,06	1,26
8	2,40	0,04	125,06	2,02
9	2,40	0,05	125,06	2,27
10	2,40	0,07	125,06	2,96
11	2,40	0,06	125,06	2,90
12	2,40	0,08	125,06	3,76
13	2,40	0,08	125,06	3,76
14	2,40	0,09	125,06	4,02
15	2,40	0,10	125,06	4,52

Tabell 12: Andel lys gjennom tørr rognkjeksskalle i luft

Skallenummer	Fotonirradians	Belysningsstyrke
1	0 %	1 %
2	1 %	1 %
3	2 %	1 %
4	3 %	2 %
5	3 %	3 %
6	1 %	1 %
7	1 %	1 %
8	2 %	2 %
9	2 %	2 %
10	3 %	2 %
11	3 %	2 %
12	3 %	3 %
13	3 %	3 %
14	4 %	3 %
15	4 %	4 %

7.3 Lys gjennom rognkjeksskalle i vann

Det ble gjort målinger av den spektrale sammensetningen til lyskilden under vann og det lyset som transmitterte gjennom rognkjeksskaller i fersk tilstand, både med og uten pigment, under vann. Målingene gjennom skallene ble delt på målingene uten skalle for å se hvilke bølgelengder som transmitterte mest gjennom skallen. Resultatene for skalle 16 er vist i Figur 26. Resultatene for de andre skallene var relativt lik resultatet for skalle 13, men noen få unntak. De resterende resultatene er vist i vedlegg B.



Figur 26: Spektral transmisjon for skalle 16 med og uten pigment i vann

7.4 Farge- og intensitetsforsøk på Stokksund

7.4.1 Små fisk

Da hvert forsøk ble avsluttet ble antall fisk som befant seg i hvert miljø registrert. I tillegg ble det gjort observasjoner på hvilket miljø flest fisk var i bevegelse i. Dette for å kunne si mer om rognkjeksens adferd i de ulike miljøene. Resultatene fra fargeforsøkene er vist i Tabell 13 og fra intensitetsforsøkene er vist i Tabell 14.

Tabell 13: Fargeforsøk små fisk

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Rødt	26	21	10	22	16	9	58
Hvitt	4	9	20	8	14	21	42

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Blått	5	17	16	16	12	16	68
Hvitt	15	3	4	4	8	4	32

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Grønt	16	12	6	6	7	10	47
Hvitt	4	8	14	14	13	10	53

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Rødt	5	16	12	11	14	14	60
Blått	15	4	8	9	6	6	40

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Blått	9	15	11	13	12	14	62
Grønt	11	5	9	7	8	6	38

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Rødt	7	6	9	5	6	9	35
Grønt	13	14	11	15	14	11	65

Tabell 14: Intensitetsforsøk små fisk

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Lysere	15	5	11	7	7	12	48
Produksjon	5	15	9	13	13	8	52

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Produksjon	5	13	15	16	5	2	47
Mørke	15	7	5	4	15	18	53

Rognkjeksen ble vurdert til å være rolig ut i alle forsøkene der de oppholdte seg i rødt lys. De sugde seg fast i plastrøret med sugekoppen sin, og det var generelt lite bevegelse. I forsøket med blått og rødt lys var det kun bevegelse i fisken som oppholdte seg i det blå. Det samme ble vurdert fra observasjoner i grønt lys i forsøk med rødt og grønt lys, men her var det enda mer bevegelse i fisken som oppholdte seg i grønt lys. I forsøket med grønt og blått lys var det ganske lik bevegelse i begge miljøene. Rognkjeksen virket rolig da de oppholdte seg i hvitt lys, men det var noe bevegelse. I intensitetsforsøkene var rognkjeksen rolig i mørke og mer urolig i produksjonsbelysning og lys med høyere intensitet.

7.4.2 Større fisk

Som for små fisk ble antall større fisk i hvert miljø da hvert forsøk ble avsluttet registrert, i tillegg til i hvilket miljø fisken var i mest bevegelse. Resultatene for fargeforsøkene er vist i Tabell 15 og for intensitetsforsøkene i Tabell 16.

Tabell 15: Fargeforsøk større fisk

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Rødt	5	9	13	14	9	14	53
Hvitt	15	11	7	6	11	6	47

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Rødt	10	11	8	18	14	7	57
Grønt	10	9	12	2	6	13	43

Tabell 16: Intensitetsforsøk større fisk

	Runde 1	Runde 2	Runde 3	Runde 4	Runde 5	Runde 6	Andel i miljø [%]
Lysere	13	2	10	12	14	8	49
Produksjon	7	18	10	8	6	12	51

I fargeforsøkene for større fisk ble det ut fra observasjoner vurdert at fisken var mye roligere i rødt lys enn i både grønt og hvitt lys. Fisken var også roligere i produksjonsbelysning enn i lyset med høyere intensitet.

8 Diskusjon

Lys er en viktig faktor i menneskers og dyrs liv, både med tanke på syn og biologiske rytmer, og må derfor tas hensyn til. Målingene av belysning på Lerøy Midt avdeling Stokksund, Tabell 5, viser at det er variasjon i belysningen i de ulike avdelingene når produksjonslyset er tent, og karene får ulikt bidrag fra dette lyset. I tillegg dekker ikke arbeidslyset hele hallen, og belysningsstyrken er generelt lavere enn kravet for arbeidslys. Det er derfor aktuelt å gjøre tiltak for å bedre og uniformere lysmiljøet på anlegget, slik at det tilfredsstillende krav til arbeidsbelysning for mennesker. Dette vil bedre arbeidsforholdene for de som arbeider på anlegget.

8.1 Lys gjennom hodeskalle

For rognkjeks omfatter lys to ting: syn for å se fôr og biologiske rytmer. Det er tidligere vist at lysets intensitet og farge har betydning for ulike fiskearter, i henhold til Vera med samarbeidspartnere [36]. Den fysiologiske betydningen av lyset handler om det lyset som transmitterer gjennom rognkjeksens hodeskalle og dermed kan påvirke dens pinealkjertel og biologiske rytmer.

Resultatene fra gjennomlysningene i luft viser at det meste av lyset blokkeres av hodeskallen på rognkjeksens, og at intensiteten blir kraftig redusert. Det var noen ulikheter i transmisjonen for de ulike ferske skallene, men i snitt ble belysningsstyrken redusert til kun 4 % og fotonirradiansen til 3 % av innfallslys. Resultatene er relativt lik resultatene til T. Nordtug og O.K. Berg for laks, som hadde en transmisjon på 3 % av innfallslys [30]. De tørre skallene hadde en transmisjon på 2 % av innfallslysets belysningsstyrke og fotonirradians. Rognkjeksskallene slipper gjennom mer lys når den er fersk enn når den er tørr. Dette kan ha noe med den kjemiske sammensetningen i rognkjeksens skalle og hud, og vil derfor ikke diskuteres videre.

Transmisjonsgrafene for alle de 15 skallene i luft, Figur 24, viser at korte bølgelengder, blått lys, transmitteres bedre gjennom skallene enn lange bølgelengder, rødt lys. Tidligere litteratur har vist at grønt og blått lys hemmer melatoninproduksjon mer enn rødt for laks. Dette kan ha noe med at andel rødt lys reduseres kraftig i forhold til andel blått lys gjennom skallen. I kapittel 2.4 er det beskrevet at rødt lys dempes kraftig i vann. I tillegg har Migaud med samarbeidspartnere beskrevet at beinfiskarter kan ha utviklet sine egenskaper ut fra det miljøet de lever i [37]. Det kan dermed diskuteres om dette er noe av grunnen til at rødt lys kraftig dempes gjennom skallen på fisken, da det er lite rødt lys i vannet. Rødt lys er i mindre grad med på å påvirke rognkjeksens pinealkjertel.

Grafene for den spektrale transmittansen gjennom tørr og fersk skalle er for de fleste skallene relativt like. Dette vil si at cellene i rognkjeksens hud har den samme spektrale transmisjonen i fersk og tørr tilstand, og slipper gjennom de samme bølgelengdene. I de tilfellene der grafene har små ulikheter, kan unøyaktigheter ved målingene være årsaken.

Også under vann reduseres lysintensiteten kraftig gjennom rognkjeksens hodeskalle. Resultatene fra målinger under vann viste at lysets intensitet gjennom skallen øker når huden fjernes sammenlignet med skalle med hud, men at det samme spekteret fortsatt transmitterer gjennom skallen. Det er altså liten forskjell i hvilke bølgelengder som transmitterer gjennom skallen med og uten hud, men en forskjell i intensitet. Dette er naturlig da pigment i huden i stor grad blokkerer lyset, mens skallen er gjennomsiktig og slipper mer lys gjennom.

De fleste skallene under vann, både med og uten pigment, hadde høyest transmisjon for bølgelengder mellom 300-320 nm, i tillegg til 360 nm. Dette vil si at det er mest UV-bølger som transmitterer gjennom skallen under vann, og disse bølgelengdene kan i stor grad være med på å påvirke pinealkjertelen. Klart vann har høyest transmisjon for bølgelengder ved 418 nm, og transmittansen for bølgelengder over og under dette reduseres. Det er dermed relativt lite UV-stråling i vannet, og dette kan være en grunn til at skallen transmitterer det meste av det som er igjen av UV-stråler i vannet. Hadde lyskilden inneholdt mer UV-stråling, kunne resultatet for skallenes spektrale transmisjon under vann vært noe annerledes. Måleutstyret brukt i forsøkene under vann har et måleområde på bølgelengder mellom 300-850 nm. Det er derfor usikkert hvordan transmisjonen for bølgelengder utenfor dette måleområdet er.

Analyse av resultatene for transmittert lys gjennom skalle med hud i vann viste at bølgelengder mellom 400-450 nm, fiolett/blått, og 660-680 nm, rødt, reduseres mest. Disse bølgelengdene ble redusert med rundt 70 % sammenlignet med lyset som transmitterte i vannet. Bølgelengder mellom 450-660 nm, blått, grønn, gul og oransje lys, ble redusert med rundt 60 %. Bølgelengder over 680 og under 400 nm, IR- og UV-stråling, ble redusert mindre enn de overnevnte bølgelengdene. Resultat for transmittert gjennom skalle uten hud lys i vann viste at bølgelengder mellom 660-680 nm, rødt lys, ble redusert mest, med 57 %. Bølgelengder mellom 450-500 nm, blått lys, ble redusert med rundt 35 %. Bølgelengder høyere enn 690 og lavere enn 450 nm ble reduseres mindre enn overnevnte.

Ved sammenligning av målingene gjennom skaller med og uten pigment er det noen forskjeller i hvilke bølgelengder som transmitteres. Skaller uten pigment har en høyere transmisjon av fiolett/blått lys sammenlignet med skallene med pigment. Dette vil si at rognkjeksens hud blokkerer korte bølgelengder. For alle skallene ble rødt lys mest redusert og IR- og UV-stråling minst redusert av alle bølgelengder registrert i dette forsøket. Hvilke bølgelengder som transmitterer mest og minst gjennom skallen kan ha noe med kjemisk sammensetning i rognkjeksens skalle og hud, og vil derfor ikke diskuteres videre.

Forsøksfiskene hadde ulik farge på pigmenteringen, og det var derfor interessant å se om ulik pigmentering hadde ulik transmisjon av bølgelengder. Målingene viste at det var ingen store forskjeller i hvilke bølgelengder som transmitterte gjennom skallen avhengig av farge på pigmentering. Både de blå/grå og de oransje skallene hadde høyest transmisjon for korte bølgelengder mellom 300-320 nm og rundt 360 nm.

Resultatene for transmisjon gjennom rognkjeksskallene i luft, fersk og tørr, og i vann, med og uten hud, er relativt like. En likhet er at i både luft og vann reduseres det røde lyset mye gjennom rognkjeksskallene. Rødt lys kan derfor i liten grad påvirke pinealkjertelen og dens melatoninproduksjon. I tillegg har skallene høyest transmisjon for korte bølgelengder i UV-området, uavhengig om skallen er i luft eller i vann. Dette selv om vann absorberer noen bølgelengder, noe luft ikke gjør, og lyset som går inn mot skallene er ulikt. UV-stråling kan derfor i stor grad være med på å påvirke rognkjeksens pinealkjertel, i tillegg til bølgelengder mellom 450-660 nm. Resultatene tyder på stor variasjon i hvilke av de korte bølgelengdene som transmitteres under vann. Grunnen til dette er usikker.

8.2 Fargeforsøk på Stokksund

Det ble gjort flere ulike fargekombinasjoner i forsøkene, og seks runder av hver kombinasjon, og det ble dermed gjort mange observasjoner underveis. Det ble observert hvor ofte rognkjeksene valgte en farge over en annen, men også hvor ofte en farge ble valgt i løpet av alle forsøkene. Tabell 17 viser en oversikt over rognkjeksens fargevalg i fargeforsøket på Lerøy Stokksund.

Tabell 17: Rognkjeksens fargevalg i fargeforsøk på Lerøy Stokksund med små og større fisk

Forsøksfarger	Valg av farge små fisk	Valg av farge større fisk
Rødt og hvitt	Rødt (4/6 runder)	Likt antall ganger
Hvitt og grønt	Likt antall ganger	-
Rødt og blått	Rødt (5/6 runder)	-
Blått og grønt	Blått (5/6 forsøk)	-
Rødt og grønt	Grønt (6/6 runder)	Likt antall ganger
Hvitt og blått	Blått (5/6 runder)	-

I forsøkene med rødt og hvitt lys hadde de små og større rognkjeksene ulike tendenser i valg av farge. Grunnen til dette kan være at den større fisken ble hentet på morgenen og dermed trakk mot det hvite lyset, fordi den var sulten og forbinder hvitt lys med fôring. De små fiskene ble hentet midt på dagen, og hadde mest sannsynlig spist før de ble hentet. Totalt sett valgte rognkjeksene rødt flere ganger enn hvitt. I forsøket med grønt og hvitt lys så det ikke ut til at rognkjeksene hadde noen klar fargepreferanse.

Resultatene tydet på at de små rognkjeksene foretrakk rødt lys over blått lys, og blått lys over grønt lys. Ut fra disse observasjonene var det forventet at rognkjeksene skulle velge rødt lys over grønt lys, men flertallet av de små fiskene valgte grønt lys i alle seks forsøkene. Da dette var et uventet resultat, ble forsøket med rødt og grønt lys også gjennomført på større fisk. For de større rognkjeksene var det ingen klar tendens om de foretrakk rødt eller grønt lys, men totalt sett i alle forsøkene ble grønt lys valgt flere ganger enn rødt. Grunnen til dette er usikker, men det kan også her handle om lys og fôr. Rognkjeksens øyne har ikke pigmenter som absorberer rødt lys, i henhold til havforskningsinstituttet [35], og trakk derfor bort fra dette lyset, og mot det grønne lyset den har pigmenter for.

Blått lys ble i stor grad foretrukket over hvitt lys, og en av grunnene til dette kan ha noe med at dagslys har en del blått lys, korte bølgelengder, i seg. Rognkjeksene kan muligens av naturlige instinkter derfor trekke mot det blå lyset, og bort fra det hvite lyset, men dette er usikkert.

I fire av de fem forsøkene der rødt lys ble brukt valgte flertallet av fisken det røde lyset. Det eneste forsøket rødt ikke ble foretrukket av flertallet var da rødt og grønt lys ble testet på små fisk. Det er tydelig at rognkjeksene trekker mot det røde lyset. Selv om det røde LED-lyset inneholder bølgelengder innenfor rognkjeksens synlige spekter, opplevdes dette lyset mest sannsynlig som mørkt. Det kan derfor være at fisken trekker til det røde lyset for å gjemme seg, for å ikke bli sett. I kun ett av de fire forsøkene der hvitt lys ble brukt valgte flertallet av rognkjeksene det hvite lyset. Dette var forsøket der hvitt og grønt lys ble testet mot hverandre. Grønt lys ble også foretrukket i kun et av forsøkene. Det er en tendens til at rognkjeksene trekker bort fra det hvite og det grønne lyset. Blått lys ble derimot foretrukket i to av tre forsøk av små fisk. I tillegg ble det i forsøkene med spektral transmisjon av rognkjeksskaller vist at korte bølgelengder har høy transmisjon gjennom rognkjeksens skalle. Blått lys kan derfor vurderes som mer egnet enn grønt og hvitt lys på anlegg som driver med produksjon av rognkjeks, med tanke på rognkjeksens preferanser og transmisjon gjennom skallen.

Observasjonene viste at lysets farge gir ulik adferd hos rognkjeksene. I alle forsøkene der fisken oppholdte seg i rødt lys var det tydelig at rognkjeksene var rolige. Dette er i tråd med havforskningsinstituttets observasjoner av rognkjeksens adferd i rødt lys [35]. Om rognkjeksene var rolige fordi den var lite stresset eller fordi den oppfatter rødt lys som mørke er usikkert. Rødt lys dempes kraftig i vann og det er vist at rognkjeks ikke har pigmenter i øynene til å oppfatte rødt lys. I tillegg blokkeres rødt lys i stor grad av rognkjeksens skalle. Dette tyder på at rognkjeksens oppfattelse av de røde bølgelengdene er lav, og at dette kan være grunnen til at rognkjeksene var rolige i det røde lyset. Rødt lys kan på bakgrunn av dette være aktuelt som belysning dersom arbeidere trenger lys, men ikke vil påvirke rognkjeksene. Dette kan være ved nødsarbeid på natt, for eksempel ved produksjonsstopp.

Det ble også observert at rognkjeksene var urolige og virket stresset i grønt lys, som er i tråd med havforskningsinstituttets observasjoner av rognkjeksens adferd i grønt lys [35]. Grunnen til denne adferden er usikker. Det ble også observert noe bevegelse i blått og hvitt lys, men et aktivitetsmønster mer likt det rognkjeksene har i naturlige omgivelser. Dette er også i tråd med havforskningsinstituttets observasjoner [35]. En av grunnene til denne aktiviteten kan være fôr, da rognkjeksene får fôr når lyset er tent. Fisken kan dermed ha vært mer urolig fordi den trodde den skulle få mat. I hvitt lys var rognkjeksene noe roligere enn i blått lys. På anlegget brukes hvitt lys som belysning, det er dette rognkjeksene er vant med. Dette kan være grunnen til at de var litt roligere i det hvite lyset. Dersom rognkjeksens aktivitet i de ulike fargene sammenlignes, ble det observert flere fisk i bevegelse i grønt lys enn i blått og hvitt, og nesten ingen aktivitet i det røde lyset.

Resultatene fra forsøkene viser tendenser i hva rognkjeksene foretrekker av farge på belysning, men dette er nødvendigvis ikke i tråd med det som er optimalt for produksjonen. Det er ønskelig at fisken skal ha god helse og at den skal vokse raskt. Det er derfor viktig at fisken tar til seg fôr og at den ikke er stresset, i tillegg til at belysningen kan påvirke rognkjeksens pinealkjertel og biologiske rytmer. Dersom rognkjeksene ser fôr som en kontrast til en lysere bakgrunn må belysningen inneholde farger rognkjeksene ser for at den skal ta til seg fôr. Stress hos rognkjeksene kan føre til halebiting, som gjør kvaliteten på fisken som leveres til sjølokaliteter dårligere.

Selv om rognkjeksene i de fleste forsøkene foretrakk rødt lys, vil rødt lys være mindre aktuelt som produksjonsbelysning på rognkjeksanlegg. Dette fordi fisken ikke ser dette lyset, i tillegg til at rødt lys transmitterer dårlig gjennom rognkjeksens skalle, og dermed i liten grad kan påvirke fiskens pinealkjertel. Grønt lys vil også være mindre aktuelt, da fisken virket stresset i dette lyset, samtidig som fisken hadde en tendens til å trekke bort fra dette lyset. I blått og hvitt lys ble det observert naturlig aktivitet, i tillegg til at disse fargene inneholder bølgelengder som transmitterer gjennom rognkjeksens skalle og som fisken ser. Begge disse fargene kan på bakgrunn av dette være aktuell i belysning på rognkjeksanlegg. Dersom rognkjeksens preferanser også tas i betraktning vil blått lys være best egnet.

8.3 Intensitetsforsøk på Stokksund

I alle intensitetsforsøkene, både med små og større fisk, lå andelen fisk i de ulike intensitetene på rundt 50 %. Det var en liten tendens i alle forsøkene at rognkjeksene valgte den laveste intensiteten, men fisken hadde ingen tydelige preferanser. Det ble derimot observert at rognkjeksene var roligere i produksjonslys enn i lys med høyere intensitet. Rognkjeksene svømte mer rundt og hadde høyere aktivitetsnivå i lys med høyere intensitet enn produksjonslys.

Resultatene kan tyde på at intensitet ikke har stor betydning for rognkjeksene, da det ikke er tydelige tendenser til at den velger en intensitet over en annen. Derimot kan det virke som lysintensitet kan påvirke rognkjeksens stressnivå. Dette kan ha noe å gjøre med belysningsstyrken på dagens anlegg og rognkjeksens forhold til de ulike intensitetene. Den er vant til at det er totalt mørke om natten, og fisken holder seg da rolig. Når det er produksjonsbelysning vet fisken at det skal komme fôr, og dette kan gjøre at den er litt urolig i denne intensiteten. Ved bruk av høyere intensitet er det vanlig at fisken skal håndteres, enten ved sortering eller vaksinerings. Dette fordi arbeidslyset da tennes og dette kan dermed stresser fisken. Dersom dagens produksjonsbelysningen hadde hatt høyere intensitet, kan det være fisken ville vært mindre stresset i denne intensiteten i forsøket.

8.4 Valg av armatur

Resultatene fra spektral transmisjon gjennom rognkjeksens hodeskalle viste at bølgelengder utenfor det synlige lyset transmitterte gjennom skallen. Dette vil si at disse bølgelengdene potensielt kan være med på å påvirke rognkjeksens pinealkjertel. Disse bølgelengdene kan ha påvirkning på fiskens utvikling og biologiske klokke. Da LED emitterer verken UV- eller IR-stråling, er det mulig at det ikke er godt nok egnet for belysning av rognkjeks, og at det bør benyttes lyskilder som har disse bølgelengdene. Det kan alternativt benyttes både LED og annen lyskilde. LED kan da brukes som arbeidsbelysning, mens den andre lyskilden kan brukes som produksjonslys. Dette vil redusere dagens energiforbruk, i tillegg til at anlegget får belysning med UV- og IR-lys. Den andre lyskilden kan eksempelvis være metallhalogen, da den er effektiv og har et bredt fargespekter. Da UV-stråler er spesielt skadelig for menneskers hud og øyne, kan det også være aktuelt å benytte undervannslys med UV-stråler, og eventuelt ha LED-lys i taket. På denne måten blir mennesker som jobber på anlegget i mindre grad utsatt for denne strålingen.

9 Konklusjon

Målinger av belsningen på Lerøy Midt avdeling Stokksund har vist behovet for en uniformering av belsningen på anlegget. Det er viktig at belsningen tilfredsstillter både menneskene som arbeider der og rognkjeksens som lever der. Dette betyr at mennesker og rognkjeksens må ha tilstrekkelig lysintensitet for å kunne se, at belsningen må kunne påvirke rognkjeksens pinealkjertel, i tillegg til at rognkjeksens ikke skal bli stresset av belsningen. Ut fra dette er det kommet fram til følgende:

- Rødt lys trenger dårlig gjennom rognkjeksens hodeskalle, i tillegg til at rognkjeksens ser lite i rødt lys. Dette gjør rødt lys mindre aktuelt som produksjonslys, men det kan brukes som alternativt arbeidslys eller lys i hodelykter. Dette slik at de som arbeider på anlegget kan få bedre arbeidslys, uten at det påvirker rognkjeksens.
- Observasjoner viste at rognkjeksens hadde et høyt aktivitetsnivå i grønt lys, og at fisken virket stresset i dette miljøet. Rognkjeksens trakk også bort fra det grønne lyset i forsøkene. Dette gjør grønt lys mindre aktuelt som produksjonslys.
- Rognkjeksens hadde et rolig og naturlig aktivitetsmønster i blått og hvitt lys, men i fargeforsøkene hadde fisken en tendens til å trekke mot det blå lyset. Resultatene tyder på at blått lys har høy transmisjon gjennom rognkjeksens skalle, i tillegg til at rognkjeksens øyne har høy følsomhet for blått lys. Blått lys kan derfor være aktuelt som produksjonslys.
- Resultatene ga indikasjoner på at lysintensitet ikke har stor betydning for rognkjeksens. Det anbefales derfor å uniformere belsningen og å planlegge lysintensitet på rognkjeksens-anlegg ut fra menneskers behov.

10 Videre arbeid

På bakgrunn av de funnene gjort i dette masteroppgaven vil det være interessant å se hvordan lysrytmer påvirker fisken og dens melatoninproduksjon. Dette spesielt på bakgrunn av at det for blant annet laks er vist at belysning og lysrytmers påvirkning på pinealkjertelens melatoninproduksjon har mye å si for fiskens smoltifisering og kjønnsmodning.

Havforskningsinstituttet viste at rognkjeks har følsomhet utenfor det synlige spekteret, Figur 7, og det er i den sammenheng interessant å gjennomføre forsøkene med andre aktuelle lyskilder. Dette for å se hvordan fisken reagerer på lys med en annen spektral sammensetning, i tillegg til UV- og IR-stråling. I tillegg kan disse bølgelengdene være viktig for rognkjeksen biologisk sett, noe som gjør det enda mer interessant å gjennomføre forsøk med andre lyskilder.

Det kan også gjøres forsøk med flere variabler, som for eksempel temperatur, da det kan være pinealkjertelens produksjon av melatonin også avhenger av temperatur. I tillegg kan det være interessant å se om fisken har ulik adferd avhengig om forsøkene gjøres på dag eller natt, og dermed gjennomføre de samme forsøkene som gjort i denne oppgaven på natt. På denne tiden av døgnet får ikke fisken mat og kan dermed ha en annen tilnærming til lyset enn det den har om dagen. Dette spesielt dersom rognkjeks trekker mot lys på dagtid for å se maten, dersom rognkjeks ser mat som en kontrast mot en lys bakgrunn. I tillegg kan forsøkene gjøres på voksen fisk, for å se om lyssensitiviteten til rognkjeksen endres i takt med vekst og livsstadium.

Alle forsøkene i denne oppgaven ble gjennomført med horisontale kar, slik at fisken kun kunne svømme fram og tilbake. Det kan også være aktuelt å gjøre forsøk med vertikale kar, slik at fisken kan velge å svømme opp eller ned i karet. Da kan det gjøres forsøk for å se hvor dypt rognkjeksen velger svømme for å eventuelt komme seg bort fra en lysintensitet eller farge.

Referanseliste

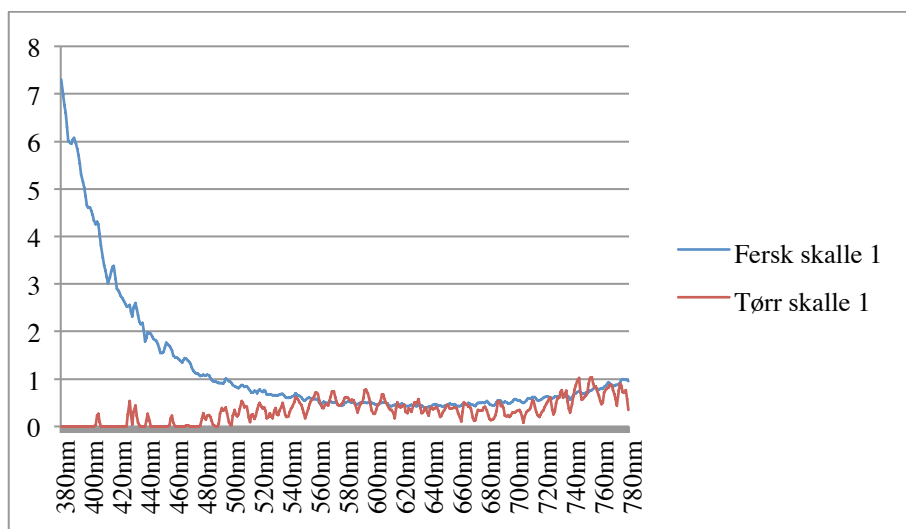
1. SSB. *Akvakultur*. 2016 [12.12.17]; Hentet fra: <https://www.ssb.no/fiskeoppdrett>.
2. Johansen, A.-M. *Dyr lus og dyrere fôr*. [30.04.18]; Hentet fra: <https://nofima.no/nyhet/2017/12/dyr-lus-og-dyrere-for/>.
3. *Tiltak*. Sjømat Norge [17.04.18]; Hentet fra: <http://lusedata.no/tiltak/>.
4. Press, M.M. *Rognkjeks sliter med helsa*. [17.04.18]; Hentet fra: <https://forskning.no/2017/04/laksens-lusespiser-sliter/produisert-og-finansiert-av-veterinaerinstittet>.
5. Bornø, G., et al., *Akutt dødelighet hos Rognkjeks i 2015*. 2015.
6. Rikshospitalet, *Info om belysning og dagslys*. 2006.
7. Valmot, O.R. *Slik virker lys på kropp og sinn*. 2012 [24.05.18]; Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/slik-virker-lys-pa-kropp-og-sinn/244530>.
8. Smistad, M. *Mer lys gir mer melk*. [24.05.18]; Hentet fra: <https://medlem.tine.no/fagprat/geit/mer-lys-gir-mer-melk>.
9. Aadland, C. *Hvordan virker egentlig rensefisk mot lakselus?* [17.04.18]; Hentet fra: <https://sysla.no/fisk/hvordan-virker-egentlig-rensefisk-mot-lakselus/>.
10. Bjørset, H.-H. and E.H. Hansen, *Lysteknikk*. 2006.
11. Dick, Ø.B. *Radiometri*. 2009 [06.12.17]; Hentet fra: <https://snl.no/radiometri>.
12. Vistnes, A.I. *Lysmåling, dispersjon av lys, farger*. 2013 [06.12.17]; Hentet fra: <http://folk.uio.no/arntvi/kpt10da.pdf>.
13. Oslo, U.i. *Lysmåling*. 2011 [06.12.17]; Hentet fra: <http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/l/lysmaaling.html>.
14. Rosvold, K.A. *Fotometri*. 2016 [06.12.17]; Hentet fra: <https://snl.no/fotometri>.
15. Rosvold, K.A. *Lysfluks*. 2016 [06.12.17]; Hentet fra: <https://snl.no/lysfluks>.
16. Rosvold, K.A. *Belysning*. 2017 [11.04.18]; Hentet fra: <https://snl.no/belysning>.
17. UiO. *Solstråling*. [11.04.18]; Hentet fra: <http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/solstraaling.html>.
18. Engvold, O. *Sola*. [11.04.18]; Hentet fra: <https://snl.no/Sola>.
19. Grøn, Ø. *Dagslys*. [11.04.18]; Hentet fra: <https://snl.no/dagslys>.
20. Bakke, I. *Naturfag for alle*. 2012 [06.12.17]; Hentet fra: <http://naturfag.info/naFrameset.htm>.
21. Vistned, A.I. *Refleksjon, transmisjon og polarisasjon*. 2016 [06.12.17]; Hentet fra: http://folk.uio.no/arntvi/kapittel_10.pdf.
22. Pope, R.M. and E.S. Fry, *Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements*. 1997.
23. Skaar, J. *Brytning - optikk*. 2015 [06.12.17]; Hentet fra: https://snl.no/brytning_-_optikk.
24. Hansen, E.H., *Bruk av kunstig lys og lysmanipulering for styrt produksjon av laksefisk*. 1990.
25. *Lyskilders egenskaper*. [17.12.17]; Hentet fra: http://www.akb-lighting.no/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=433.
26. *Grunnleggende om LED*. [11.04.18]; Hentet fra: <http://glamox.com/no/grunnleggende-om-led>.
27. Vøllestad, A. *Rognkjeks*. 2017 [06.12.17]; Hentet fra: <https://snl.no/rognkjeks>.
28. *Rognkjeks/rognkall*. 2016 [06.12.17]; Hentet fra: http://www.imr.no/temasider/fisk/rognkjeks_-kall/nb-no.

29. Migaud, H., et al., *A comparative ex vivo and in vivo study of day and night perception in teleosts species using melatonin rhythm*. 2006.
30. Nordtug, T. and O.K. Berg, *Optical properties of the pineal window of Atlantic salmon*. 1990.
31. Berg, J.P., *Melatonin*, in *Store medisinske leksikon*. 2018.
32. Kulczykowska, E., W. Popek, and B.G. Kapoor, *Biological clock in fish*. 2010.
33. Skiftesvik, A.B., et al., *Spectral Sensitivity of Cleanerfish*. 2016.
34. Åbro, A., *Øyet*, in *Store norske leksikon*.
35. Skiftesvik, A.B., et al., *Kunstig lys og rensefisk*. 2017.
36. Vera, L.M., et al., *Differential light intensity and spectral sensitivities of Atlantic salmon, European sea bass and Atlantic cod pineal glands ex vivo*. 2010.
37. Migaud, H., et al., *Evidence for differential photiv regulation of pineal melatonin synthesis in teleosts*. 2007.
38. Jacobsen, J.V., *Personlig kontakt*. 2017.
39. Hansen, E.H., A. Augdal, and H.-H. Bjørset, *Rekommendasjoner for belysning i settefiskanlegg*. 1991.
40. Lervik, M., *Belysning for produksjon av rognkjeks, fordypningsprosjekt*. 2017.
41. *Spectroradiometer*. 11.04.18]; Hentet fra: <https://www.apogeeinstruments.com/ps-200-uv-to-visible-range-lab-spectroradiometer/>.
42. *URPtek MK350S*. Hentet fra: <http://www.mk350.com/mk350s.htm>.
43. Hauge, A., *Ultrafiolett stråling*, i *Store medisinske leksikon*. 2017.
44. *LED 50 W*. 12.04.18]; Hentet fra: <https://www.elfadistrelec.no/no/led-lyskaster-30-rgb-tac-5755/p/30094409?q=rgb+lyskaster&page=2&origPos=2&origPageSize=50&simi=98.29>.
45. Aure, J., J. Vigen, and F. Oppedal, *Kyst og havbruk. Hva bestemmer vannutskiftning og oksygenforhold i oppdrettsmerder?* 2009.

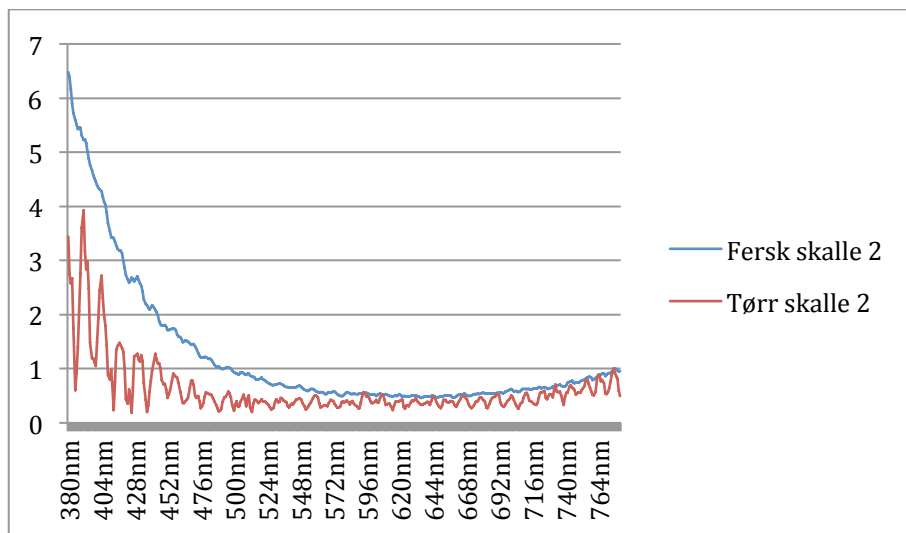
Vedlegg

A. Lys gjennom skalle i luft

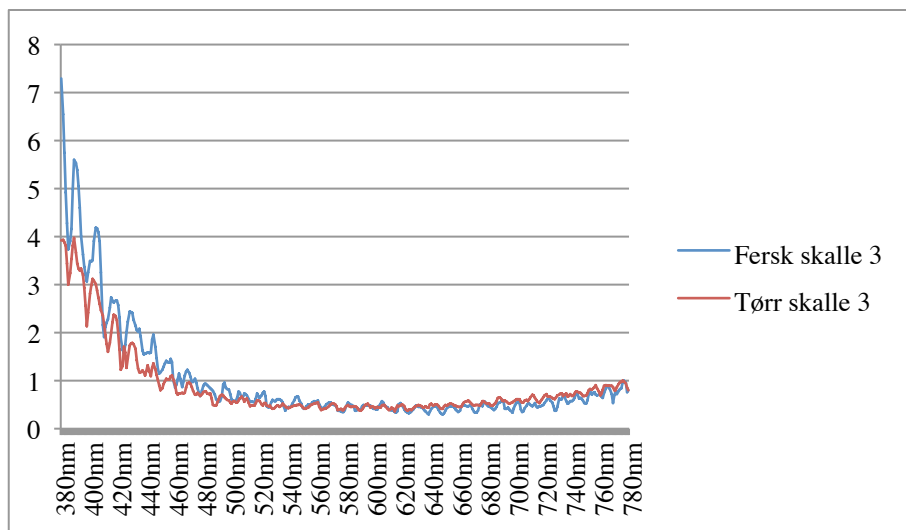
I dette vedlegget er alle resultater knyttet til spektral transmisjon gjennom rognkjeksskalle i luft presentert. Dette innebærer sammenligning av transmisjon gjennom tørt og ferskt preparat. Blå graf illustrerer lys gjennom fersk skalle og rød graf illustrerer lys gjennom tørt skalle.



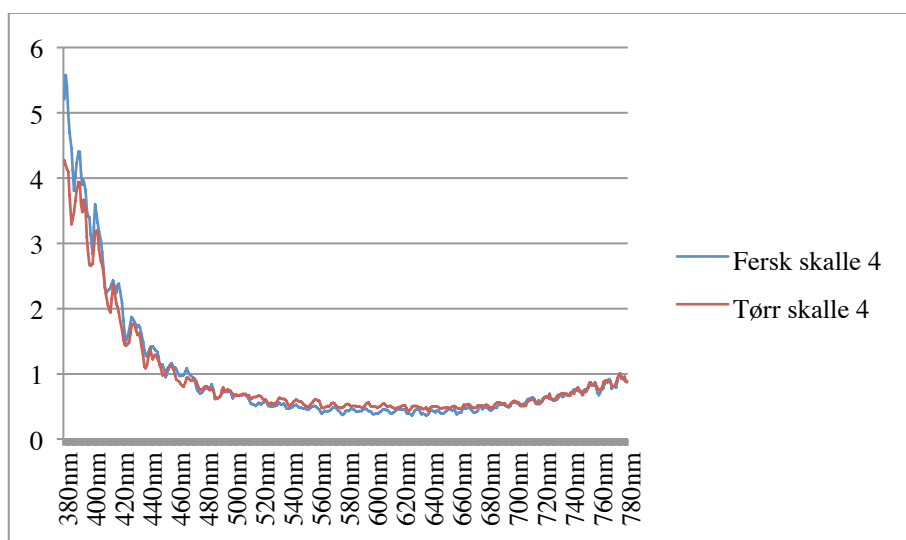
Figur 27: Spektral transmisjon for tørt og fersk skalle 1



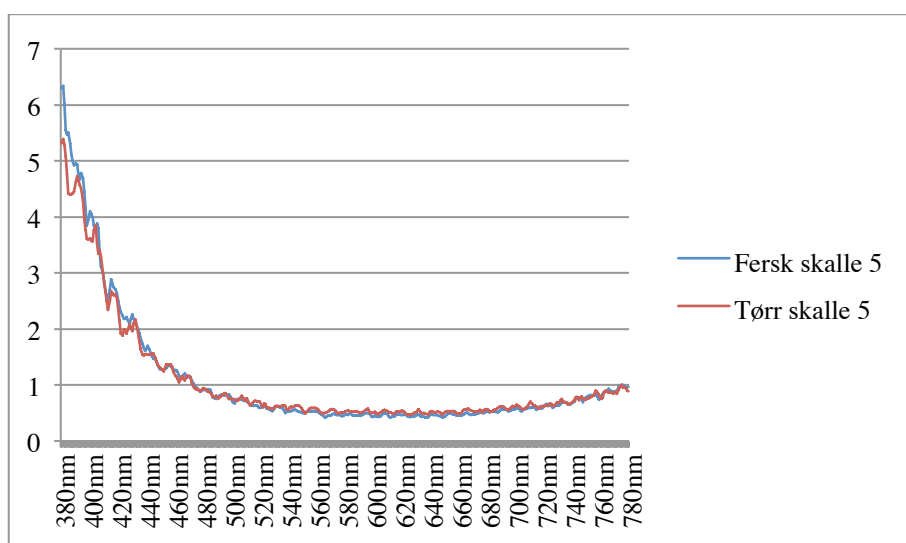
Figur 28: Spektral transmisjon for tørt og fersk skalle 2



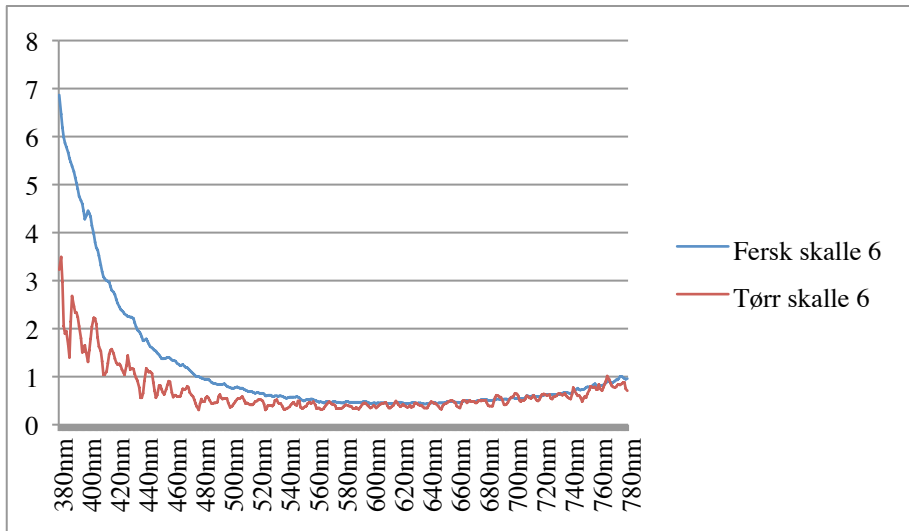
Figur 29: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 3



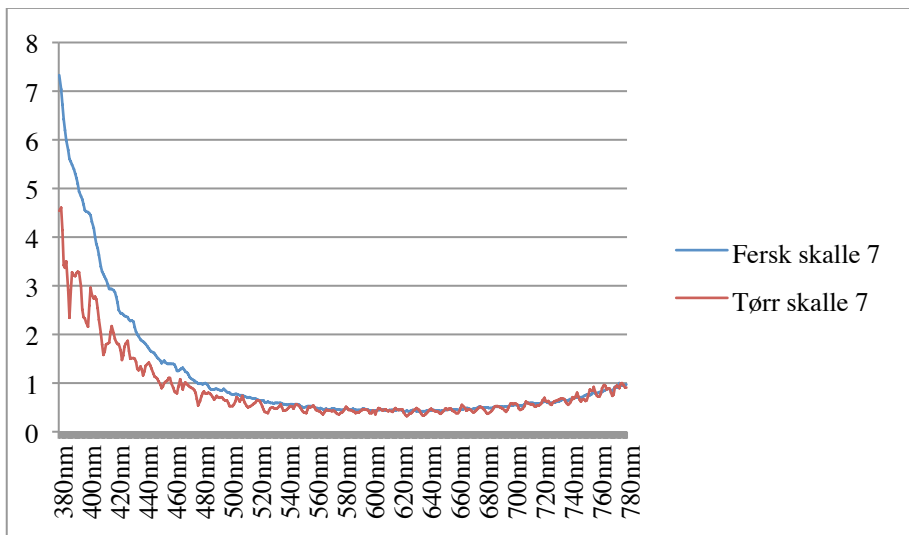
Figur 30: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 4



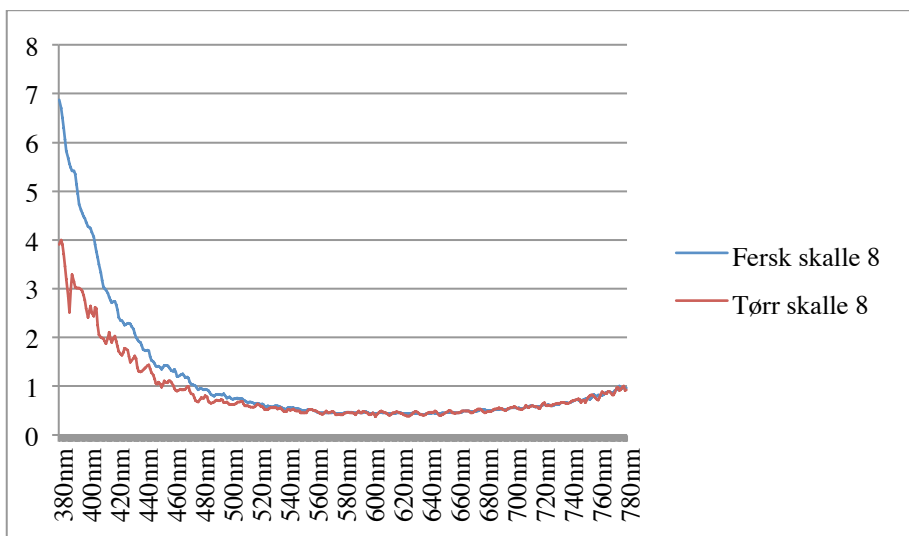
Figur 31: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 5



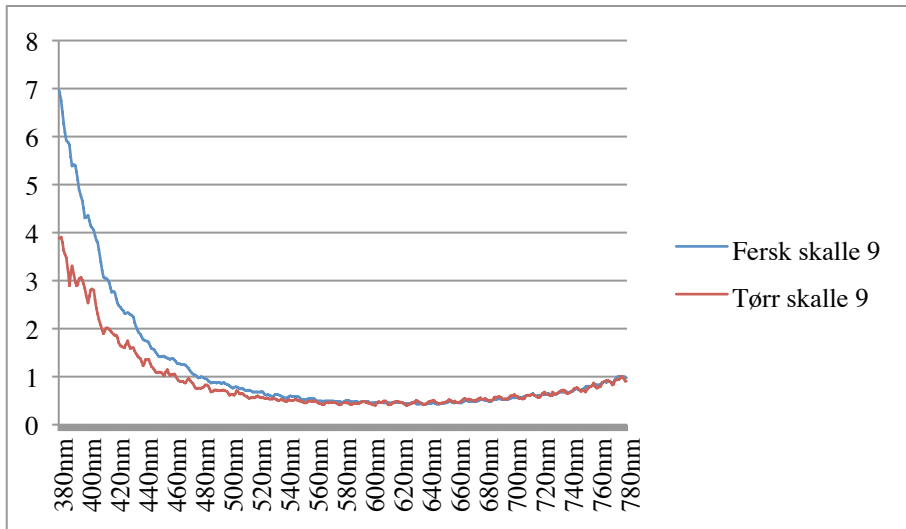
Figur 32: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 6



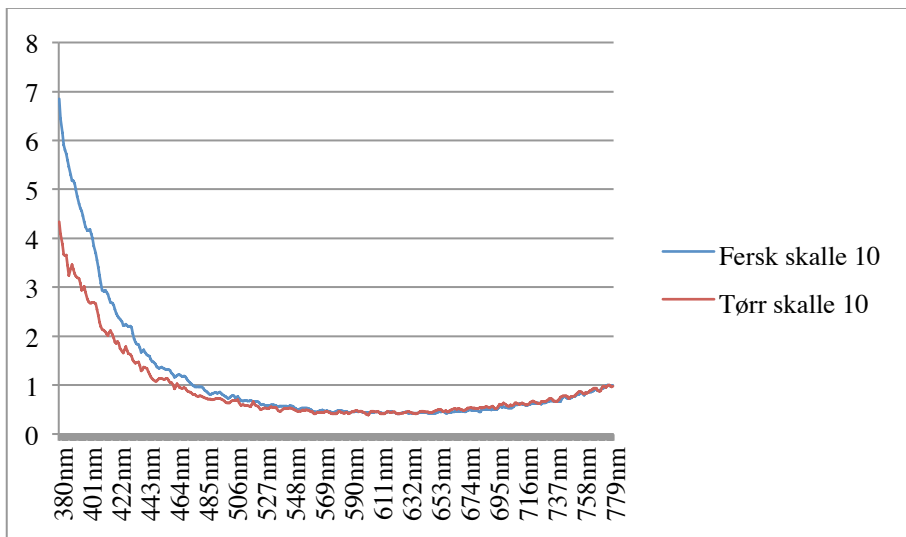
Figur 33: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 7



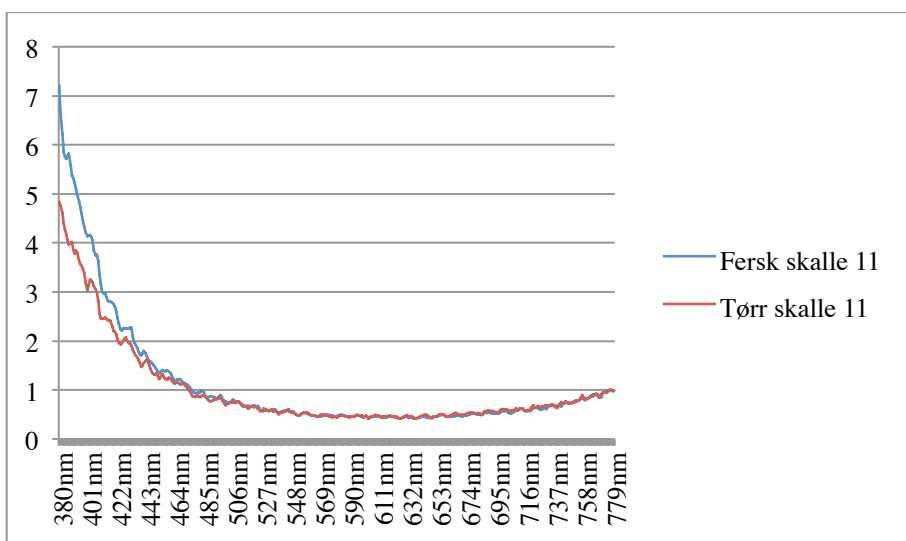
Figur 34: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 8



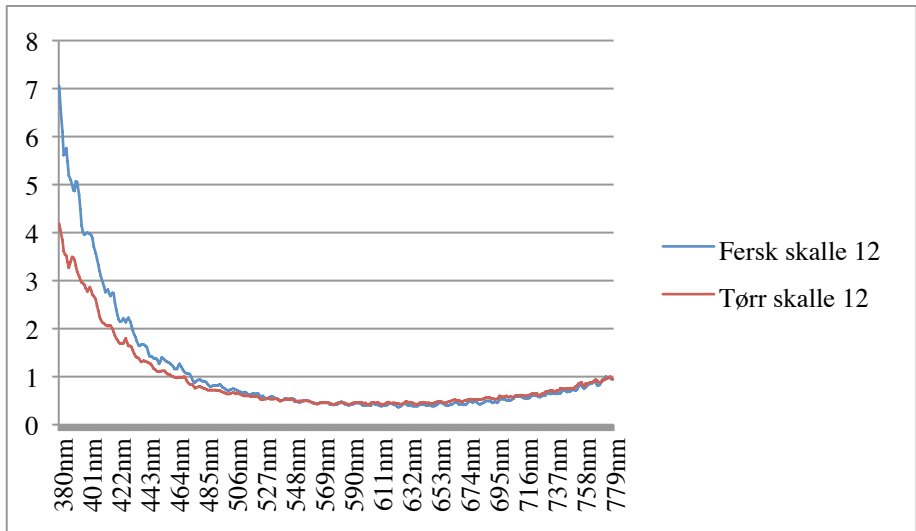
Figur 35: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 9



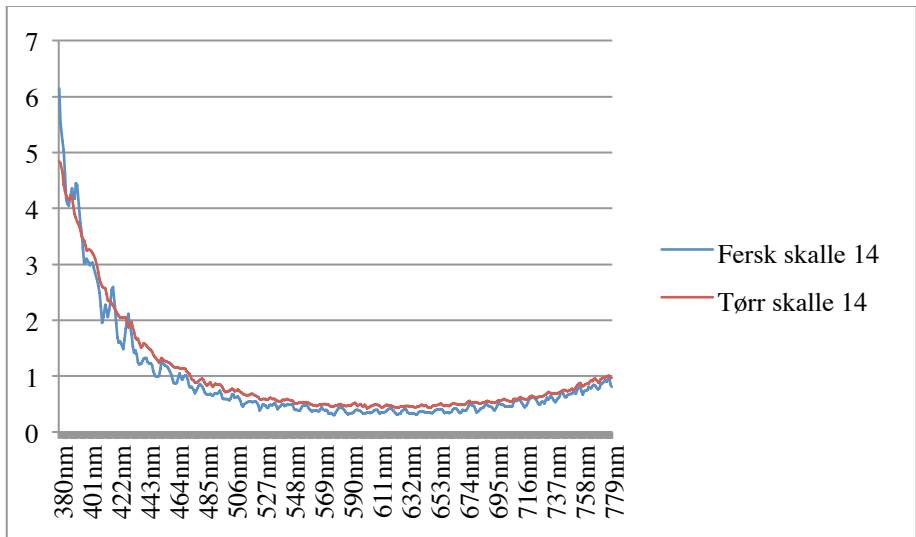
Figur 36: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 10



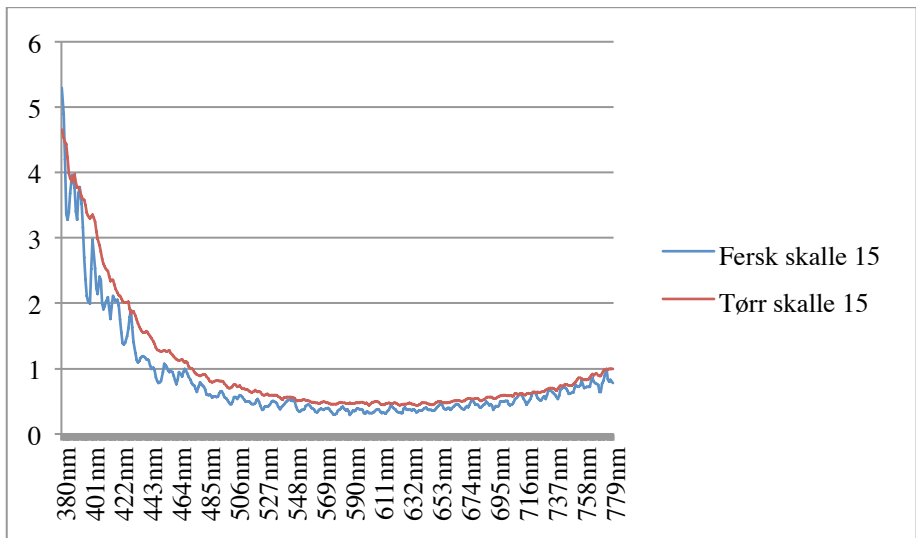
Figur 37: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 11



Figur 38: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 12



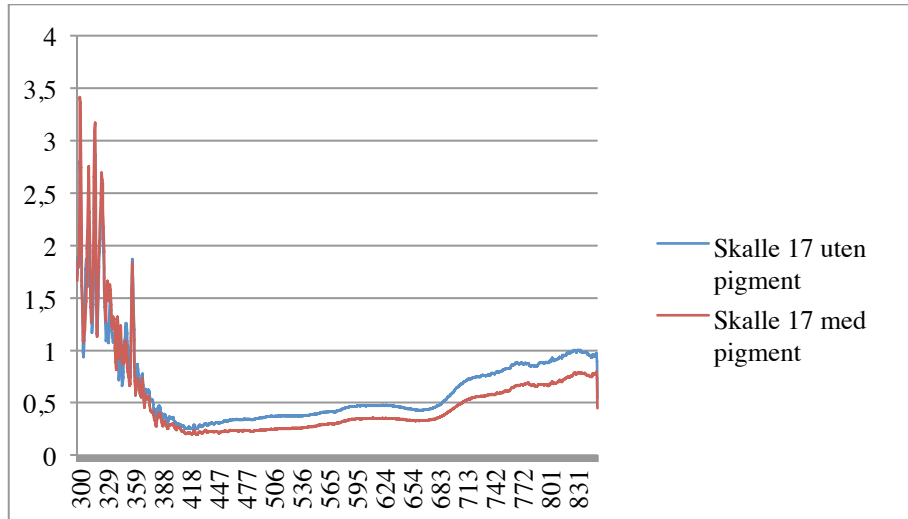
Figur 39: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 14



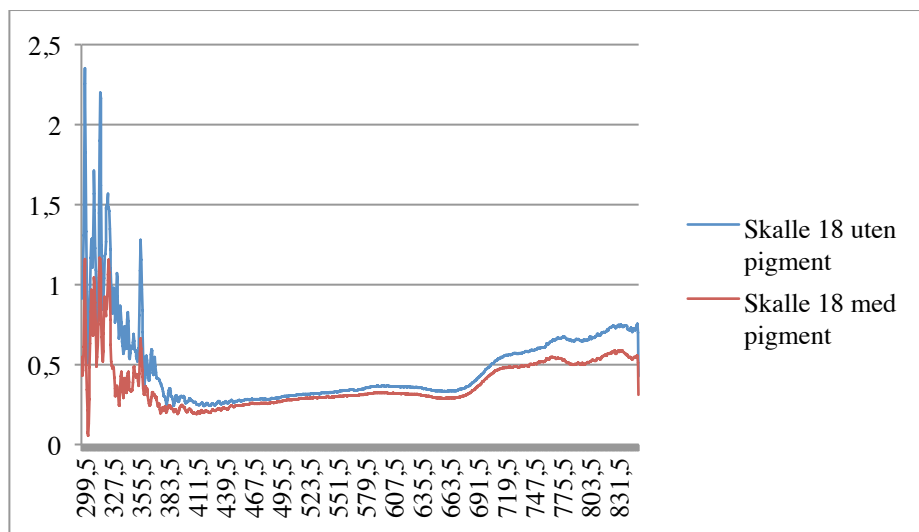
Figur 40: Spektral transmisjon for fersk og tørr skalle 15

B. Lys gjennom skalle i vann

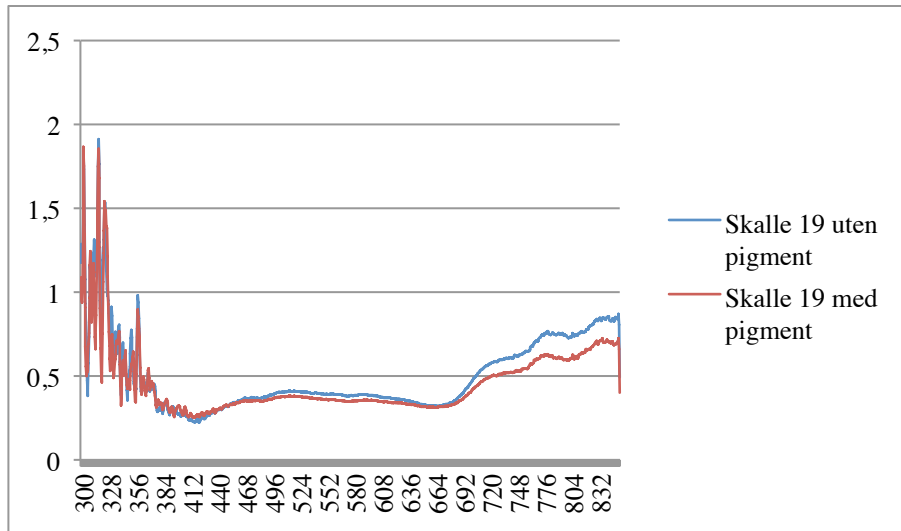
I dette vedlegget er alle resultater knyttet til spektral transmisjon av rognkjeksskalle under vann presentert. Blå graf illustrerer transmittert lys gjennom skalle uten pigment og rød graf illustrerer transmittert lys gjennom skalle med pigment.



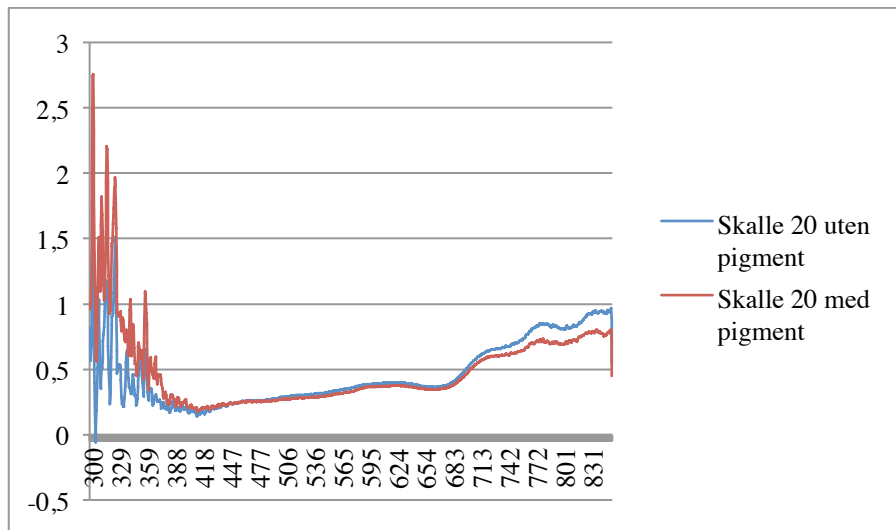
Figur 41: Spektral transmisjon for skalle 17 med og uten pigment



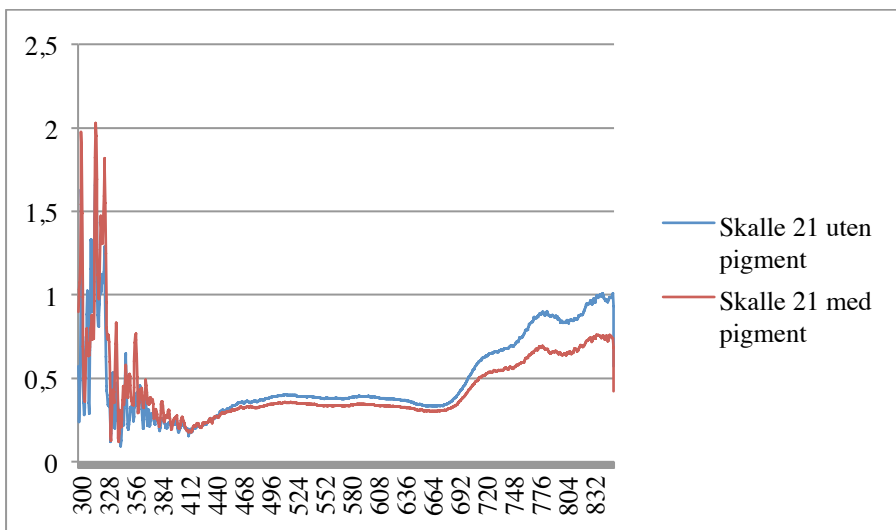
Figur 42: Spektral transmisjon for skalle 18 med og uten pigment



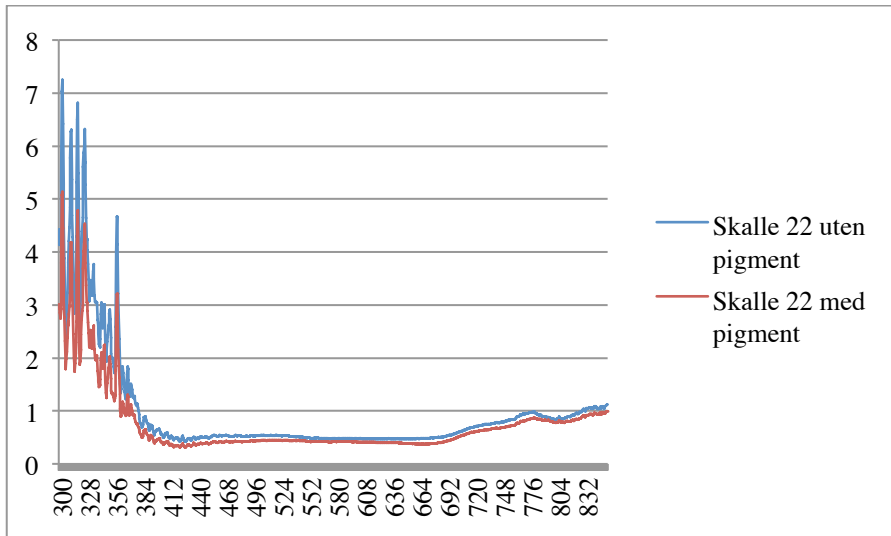
Figur 43: Spektral transmisjon for skalle 19 med og uten pigment



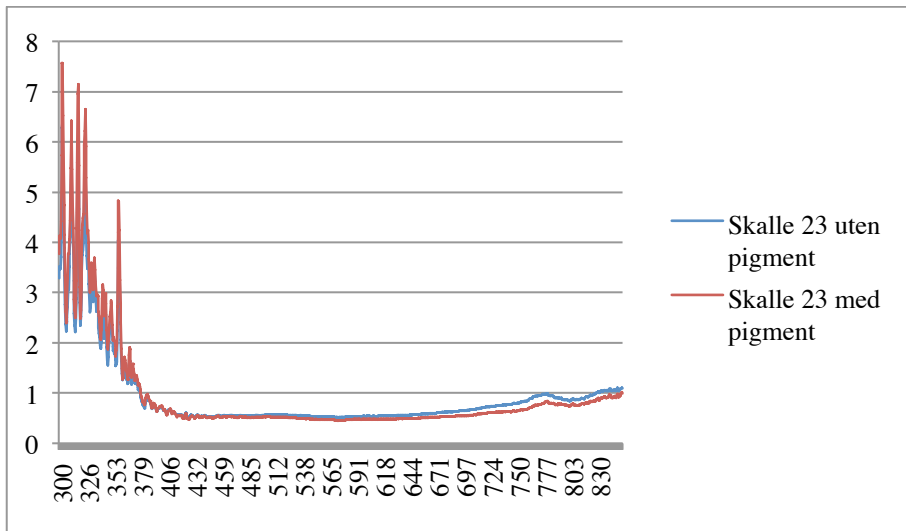
Figur 44: Spektral transmisjon for skalle 20 med og uten pigment



Figur 45: Spektral transmisjon for skalle 21 med og uten pigment



Figur 46: Spektral transmisjon for skalle 22 med og uten pigment



Figur 47: Spektral transmisjon for skalle 23 med og uten pigment