

Rapport

Telemetri og maskinsyn for overvåking av trender i tilstander hos laks før, under og etter avlusning

Prosjektrapport for prosjektet "Teknologi for nye datatyper og informasjon som beskriver situasjon og tilstand hos laksefisk i kommersielle merder (LAKSIT)" FHF Pnr. 901184.

Forfatter(e)

Martin Føre

Kevin Frank, Eirik Svendsen, Christian Schellewald, Leif Magne Sunde, SINTEF Ocean, Jo Arve Alfredsen, Annette Stahl, NTNU Institutt for Teknisk Kybernetikk



Rapport

Telemetri og maskinsyn for overvåking av trender i tilstander hos laks før, under og etter avlusning

RAPPORTNR OC2017 A-104	VERSJON 1.27	DATO 2017-03-07
----------------------------------	------------------------	---------------------------

EMNEORD:

Trenging og Avlusning
Instrumentering
Maskinsyn
Telemetri
Fiskeatferd
Laks

FORFATTER(E) Martin Føre Kevin Frank, Eirik Svendsen, Christian Schellewald, Leif Magne Sunde, SINTEF Ocean Jo Arve Alfredsen, Annette Stahl, NTNU Institutt for Teknisk Kybernetikk
--

OPPDRAGSGIVER(E) FHF, Fiskeri og Havbruksnærings Forskningsfond

OPPDRAGSGIVERS REF. 901184	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 119 + vedlegg
--------------------------------------	--

GRADERING Unrestricted	GRADERING DENNE SIDE Unrestricted	ISBN 978-82-7174-287-4
----------------------------------	---	----------------------------------

UTARBEIDET AV
Martin Føre

KONTROLLERT AV
Hans Vanhauwaert Bjelland

GODKJENT AV
Arne Fredheim

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
V1	2017-05-04	Beskrivelse av prosjektet og dets resultater, samt diskusjon rundt resultater, mulig fremtidig industriell anvendelse av disse, og mulige videre forskningstema basert på leveransene fra dette prosjektet.

SAMMENDRAG

Forskningen i dette FHF-finansierte prosjektet er utført av SINTEF Ocean i samarbeid med NTNU, og har hatt som hovedmål å utvikle og feltteste nye teknologiske løsninger for overvåking av laks i kommersielle oppdrettsmerder. Prosjektarbeidet har fokusert spesielt på å observere avlusningsoperasjoner ettersom disse er kjent som en viktig men også potensielt kritiske operasjoner i lakseoppdrett. To teknologiske løsninger har blitt utviklet i prosjektet; ett system basert på akustisk telemetri og ett system basert på maskinsyn. Telemetrisystemet fungerte ved at individfisk ble utstyrt med elektroniske merker som registrerte data som kunne brukes til å beskrive individets svømmeaktivitet (haleslag, endringer i orientering) og dybdebevegelser. Disse data ble så overført via akustiske signaler (lydbølger) til mottakerenheter plassert på faste steder i anlegget. Mottakerne registrerte data fortløpende i en intern database, som kan gjøres tilgjengelig for brukeren. Datagrunnlaget for maskinsynsystemet ble samlet inn med et stereovideokamera som ble senket ned i merden og rettet horisontalt mot fiskegruppen. Videomaterialet ble så brukt som input i algoritmer som estimerte bevegelser og var i stand til å identifisere sår/skader på fisken automatisk.

Begge systemene viste seg å være i stand til å produsere data som beskriver laksens tilstand i kommersielle merder. Data fra telemetrisystemet beskrev trender i fiskens aktivitetsmønstre og dybdebevegelser, mens maskinsynsystemet var i stand til å detektere sår og skader, samt regne ut bevegelseshastigheter i bildene.

Telemetrisystemet viste seg også å kunne samle inn data kontinuerlig i alle delene av forsøket, fra perioden før avlusning, under trenging og avlusning, og i perioden etter avlusning, og kunne derfor gi indikasjoner på hvordan verdier og trender i de målte parametre påvirkes av avlusningsoperasjoner. Et av hovedfunnene for denne delen av prosjektet var at alle merkede individfisk viste økt svømmeaktivitet under opplining, trenging og avlusning sammenliknet med ellers, noe som kan være en stressrespons. Alle individfisk viste også en tendens til å svømme nærmere overflaten i disse fasene, men dette var en forventet effekt av at en i disse prosessene aktivt begrenser merddypet. De fleste individfisk viste også en tendens til å anta dypere svømmeposisjoner like etter avlusning enn de hadde før avlusningsprosessen startet, hvilket er en respons som harmonerer med kvalitative observasjoner fra personell i næringen rundt avlusningsoperasjoner. Videre viste trender i disse data at individfisk i perioden før første avlusning ofte utviste en karakteristisk trend i aktivitet og dybde data som antydte at fisken var mer aktivt og svømte dypere på dagtid enn om natten. Disse trendene var mindre tydelige for flere individfisk i tiden like etter avlusningene, men i de fleste tilfellene var mønsteret tilbake igjen etter 5-6 dagers tid.

Maskinsynsystemet måtte tas ut av merden under opplining, trenging og avlusning og var derfor ikke i stand til å produsere tilsvarende detaljerte data rundt effekten av avlusningen. Dette systemet viste seg imidlertid godt i stand til å detektere sår/skader på fisken og å estimere bevegelseshastigheter. Ved å sammenholde aktivitetsindikatoren fra telemetrisystemet mot estimerte hastigheter fra maskinsynsystemet kunne en se en samvariasjon mellom de to variablene, noe som kan antyde at de observerte komponenter av samme atferdsuttrykk hos fisken (haleslag og svømmehastighet). Dette indikerer at de to metodene til sammen kan produsere et enda mer robust estimat på fiskens bevegelser og aktivitetsmønstre enn metodene hver for seg.

Selv om de teknologiske løsningene utviklet i dette prosjektet primært var rettet mot studier av avlusningsoperasjoner, er de ventet å være høyst relevante for bruk i andre områder. Siden en avlusningsoperasjon ofte inkluderer at fisken trenges sammen til vesentlig høyere konsentrasjoner enn normalt, og består av en rekke operasjoner som manipulerer merdkonstruksjonen og merdmiljøet, er forholdene for overvåking av fisk under slike operasjoner mer utfordrende enn under normal drift. Dette betyr at metoder som er i stand til å samle inn data under avlusningsoperasjoner trolig vil fungere godt under regulære driftsforhold. Eksempelvis kan en se for seg at maskinsynløsninger slik som de utviklet i prosjektet kan være nyttige verktøy for kontinuerlig overvåking av fisken under produksjon, mens akustisk telemetri kan benyttes til operasjonsovervåking.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	6
2	Problemstilling og formål	8
3	Prosjektgjennomføring	9
3.1	Prosjektstruktur	9
3.2	Valg av basisteknologi	10
3.3	Nye teknologiske løsninger	11
3.3.1	Akustiske merker	11
3.3.2	Stereovideosystem	14
3.4	Datainnnsamling fra perioder med avlusningsoperasjoner	15
3.4.1	Måleoppsett ved lokaliteten	15
3.4.2	Avlusninger	17
3.5	Databehandling	18
3.5.1	Akustisk telemetri	18
3.5.2	Maskinsyn	18
3.6	Workshop i merketeknologi	19
4	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	19
4.1	Resultater fra akustisk telemetri	19
4.1.1	Overlevelse og fisketilstand	19
4.1.2	Mottaksforhold under forsøkene	20
4.1.3	Grupperespons før under og etter avlusninger	20
4.1.4	Individresponser før under og etter avlusninger	28
4.2	Resultater fra maskinsyn	37
4.2.1	Svømmehastighet	37
4.2.2	Sårdeteksjon	42
4.3	Diskusjon	43
4.3.1	Akustisk telemetri	43
4.3.2	Maskinsyn	46
4.3.3	Sammenlikning mellom maskinsyn og akustikkdata	47
4.4	Konklusjon	50
4.5	Videre anvendelser og nytteverdi av prosjektresultatene	50
4.5.1	Ny kunnskap	50
4.5.2	Innovasjon basert på teknologiske løsninger	51
4.5.3	Algoritmer for automatisert overvåkning av fiskens tilstand	51
4.5.4	Næringsmessig nytteverdi	55

4.5.5	Forslag til videre teknologisk forskning	56
5	Leveranser.....	57
6	Referanser.....	58
Vedlegg.....		61
A 1:	før første avlusning	61
A 2:	under første avlusning	70
A 3:	mellom første og andre avlusning	79
A 4:	under andre avlusning	87
A 5:	mellom andre og tredje avlusning	96
A 6:	under tredje avlusning	104
A 7:	etter siste avlusning	112

1 Innledning

SINTEF Ocean og NTNU Institutt for Teknisk Kybernetikk har sett et betydelig fremtidig potensial i å benytte teknologiske løsninger til å produsere nye data, informasjon og dermed kunnskap om tilstanden til fisk i merd på en mer objektiv måte. Basert på denne tankegangen, og gjennom en utviklingsprosess sammen med FHF ble prosjektet LAKSIT (FHF Pnr. 901184) etablert i 2016. LAKSIT skal fokusere på å frembringe ny teknologi som muliggjør overvåkning av laksens situasjon og tilstand i kommersielle merder. Dette vil resultere i data som kan legges til grunn for løpende vurdering av fiskens velferd og helse under oppdrett. Prosjektet vil spesifikt fokusere på overvåkning av fiskens tilstand før, under og etter en avlusningsoperasjon, men det er forventet at metodene utviklet i prosjektet vil ha nytteverdi innen overvåkning av fiskens tilstand ved andre aspekter innen oppdrett. Prosjektets problemstilling er således i samsvar med FHF's handlingsplan for 2016 ettersom "Dokumentasjon av fiskevelferd" eksplisitt nevnes som et prioritert tema i denne.

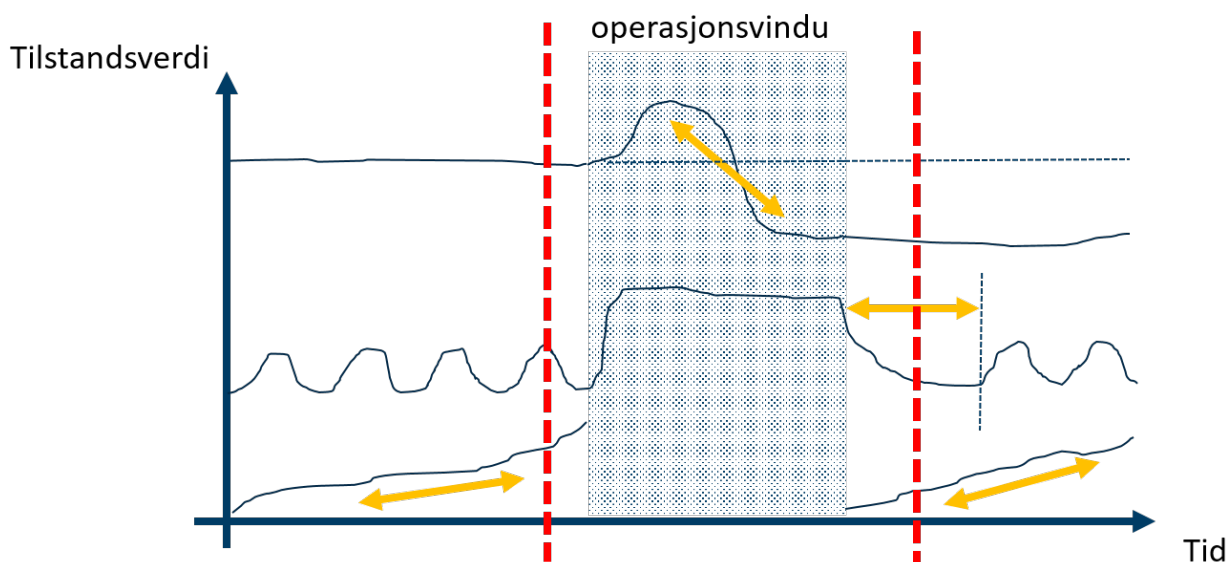
Det er et stadig økende fokus på velferdsstatus hos oppdrettsfisk i Norge, og velferd har blitt utpekt som et viktig tema av aktører innen både industri, myndigheter og forskning (Fiskehelsesrapporten 2015, Veterinærinstituttet). Et viktig element i denne diskusjonen er å finne ut hvordan en direkte eller indirekte kan observere eller estimere fiskens velferd. FHF-prosjektet FishWell (FHF Prosjektnummer 901157) har som mål å identifisere operative velferdsindikatorer (OWI) for laks og ørret i oppdrett som anses som relevante for den daglige driften av et anlegg, og som kan representere verktøy som lar røkteren vurdere fiskens velferd. Felles for flere av disse indikatorene er at de krever informasjon om fiskens tilstand. Denne typen informasjon har tradisjonelt sett blitt frembragt gjennom manuell inspeksjon av fisken, men dette fører til et innslag av subjektivitet ved innsamlingen av informasjonen, noe som igjen kan føre til at datagrunnlaget for OWIene blir usikkert.

Problematikk knyttet til lakselus er en av de største utfordringene i dagens laksenæring. Utbrudd av lus i et lakseanlegg kan ha direkte negative effekter på fiskens tilstand og helse (Finstad et al., 2000), og kan overføres til omgivelsene, noe som kan føre til store velferdsmessige problemer for vill laksefisk i nærheten av anlegget (Bjørn et al., 2001). I tillegg påfører lakselus betydelige kostnader for oppdretter gjennom behovet for jevnlig lusetelling på anlegg, implementering/gjennomføring av forebyggende tiltak eller avlusningstiltak, og tap i form av dødelighet/reduksjon av kvalitet som følge av slike tiltak eller lusa i seg selv (Iversen et al., 2015). Forebyggende tiltak har som regel mål å hindre at fisk og lus kommer i kontakt med hverandre, og omfatter løsninger som permanent montering av duk i de øverste vannlagene (Lien et al., 2014), "snorkelmerd" (Oppedal et al., 2017) og lukkede/semi-lukkede produksjonsheter. Avlusningstiltak er direkte rettet mot å fjerne lusa fra laksen, og inkluderer blant annet biologiske metoder (primært rensefisk), medikamentelle metoder (medikamentelt fôr og badebehandling) og ikke-medikamentelle metoder (f.eks. bruk av spyling/børsting, varmtvann og ferskvann). Selv om de fleste oppdrettere i dag bruker rensefisk, har det vist seg vanskelig å kontrollere lusetallene på kommersielle lokaliteter uten å gjennomføre andre tiltak med aktiv behandling i tillegg. Tradisjonelt sett har det vært vanligst med aktiv behandling i form av medikamentelle bad der fisken midlertidig trenges sammen i et lukket volum og så utsettes for kjemikalier som har til hensikt å avlive lusene. Ettersom lusetallene har økt de siste årene, har imidlertid også frekvensen for lusebehandling på norske lokaliteter økt, og i 2015 ble det utført 2106 lusebehandlinger i Norge (www.kyst.no, 8.1.2016), noe som tilsvarer mer enn to behandlinger per aktive lokalitet. Denne økte behandlingsfrekvensen har bidratt til utvikling av resistens mot kjemikalier og medikamenter hos lusa. Næringen har derfor blitt nødt til å se på alternative måter å fjerne lusa på, noe som har ført til en vesentlig økning innen bruk av ikke-medikamentelle metoder (Veterinærinstituttet, 2017).

Under aktive avlusningsoperasjoner blir fisken trent sammen i et vesentlig mindre volum og ved høyere fisketetthet enn det som er normalt i en oppdrettssituasjon. Under medikamentell badebehandling/ferskvannsbehandling gjøres dette for å begrense mengden kjemikalier/ferskvann, samt eksponeringstiden en trenger for å behandle fisken, mens det for ikke-medikamentelle metoder gjøres for å kunne pumpe fisken fra merden, gjennom et avlusningssystem på en flåte/båt ved anlegget og tilbake i merden eller en ny merd etter behandling. Trenging utføres typisk ved å line opp notveggen på merden

stegvis over tid slik at en gradvis reduserer volumet. Dette kan påvirke fiskens velferd og helse på ulike måter, blant annet gjennom at en relativt rask begrensning i merdvolum kan føre til økt stressrespons hos fisken (Bleie og Skrudland, 2014). Videre kan økt tetthet av fisk i merden kunne føre til forringede produksjonsforhold, spesielt i form av hypoksi dersom vannutskiftingen under trenging ikke er stor nok (Remen et al., 2012). Dette problemet blir potensielt forsterket av at slike operasjoner som regel utføres når strøm og bølgeforholdene på lokaliteten er lave for å unngå store krefter i konstruksjonen. En tredje faktor som kan påvirke fiskens tilstand under trenging er at en reduksjon i merdvolum og økt fisketetthet øker sjansen for at fisken kolliderer eller blir presset opp mot hverandre og/eller merdkomponenter, noe som kan føre til mekaniske skader som sårdannelse og klem-/støtskader. Slike faktorer medfører ofte redusert velferd og helse for fisken, og kan i ytterste konsekvens også medføre økt dødelighet.

Det finnes per i dag lite vitenskapelig dokumentert kunnskap om fiskens atferdsmessige og fysiologiske respons under avlusningsoperasjoner. Dette skyldes blant annet at avlusningsoperasjoner er vanskelige å forutse i tid og at det dermed er vanskelig å planlegge studier rettet mot observasjon av fisken under slike operasjoner. Det som finnes av kunnskap om hvordan laks responderer på avlusning er derfor stort sett basert på kvalitative observasjoner fra oppdrettere under slike operasjoner. **Svømmeaktivitet (akselerasjon, hastighet, retning)** og **vertikal posisjonering/bevegelse** er noen av de atferdstrekkene som ofte nevnes i den sammenheng, og som er kjent for å endre seg når fisken utsettes for trengingoperasjoner (pers. komm. Zsolt Volent, SINTEF Ocean). Videre er det også kjent at trenging og ikke-medikamentelle metoder kan påvirke fiskens **hudtilstand og sårdannelse**. For å best fange opp hvordan trenging og avlusning påvirker fisken, bør en lete etter forskjeller i fiskens respons **før, under og etter** avlusningsoperasjonen gjennom å **studere trender** i forskjellige tilstander/egenskaper hos fisken i tillegg til selve verdien av disse (Figur 1). Ved å se på tilstandstrender kan en eksempelvis identifisere langtidseffekter etter avlusningsoperasjoner som enten avtar over tid (nederste fiktive datasett i Figur 1) eller er permanente (øverste fiktive datasett i Figur 1). I tillegg kan trender være nyttige for å beskrive endringer i tilstander som kan ha stor variasjon mellom påfølgende dataverdier f.eks. i form av døgnsykliske variasjoner (midterste fiktive datasett i Figur 1).



Figur 1: Illustrasjon av hvordan trender i tilstandsverdier kan benyttes til å beskrive responser over tid. NB: Fiktive dataserier kun for illustrasjonsformål.

Prosjektet varte fra 15.04.2016 til 01.06.2017, prosjektleder har vært Martin Føre fra SINTEF Ocean, og prosjektgruppen har forøvrig bestått av Kevin Frank, Eirik Svendsen, Christian Schellewald, Leif Magne Sunde og Hans Bjelland fra SINTEF Ocean og Jo Arve Alfredsen og Annette Stahl fra NTNU Institutt for Teknisk Kybernetikk. FHF's representant i prosjektet har vært Kjell Maroni, og styringsgruppen har bestått

av Harald Sveier (Lerøy Seafood Group ASA), Vidar Lund (SalMar ASA), Pål Kristiansen (Nordlaks Oppdrett AS) og Ragnar Sæternes (Sinkaberg-Hansen AS).

På grunn av de klare faglige synergier mellom LAKSIT og FishWell-prosjektet har det vært tett kommunikasjon mellom disse prosjektene underveis i prosjektperioden. Dette har blitt gjort gjennom at Chris Noble (Nofima, prosjektleder for FishWell) og Kristine Gismervik (Veterinærinstituttet, prosjektmedarbeider i FishWell) har deltatt på møter i LAKSIT og mottatt alle månedlige statusmeldinger som har blitt tilsendt styringsgruppen underveis i prosjektperioden. Likeledes har prosjektleder for LAKSIT (Martin Føre) deltatt på møter som har blitt arrangert i regi FishWell. Dette har sikret en god toveis kommunikasjon mellom de to prosjektene.

2 Problemstilling og formål

I lys av det stadig økende fokuset på fiskevelferd innen oppdrett og dagens utfordringer rundt lakselus og lusebehandling, er dette prosjektets fokusområde solid fundert i næringens prioriteringer. Prosjektets direkte næringsmessige nytteverdi er knyttet mot de faglige målene i LAKSIT. Hovedmålet med prosjektet er å:

Utvikle og teste nye teknologiske løsninger for observasjon av tilstand for laks i merd, ved å produsere nye, objektive data som kan relateres til fiskens velferd og helse i oppdrettssituasjon.

Dette målet skal oppnås gjennom å realisere følgende delmål:

- **Utvikle og felt-teste to teknologiske løsninger for kontinuerlig overvåkning av laks i merd i periodene før (inntil 1 mnd.), under, og etter (inntil 1 mnd.) en avlusningsoperasjon**
- **Undersøke om data fra disse løsningene kan brukes til å identifisere forskjeller i fiskens tilstand før, under og etter avlusningsoperasjonen**
- **Undersøke om en gjennom dataanalyse kan identifisere hvor lang tid det tar før fisken har kommet tilbake til opprinnelig tilstand etter avlusningen (dersom dette skjer)**
- **Utarbeide konseptskisse/utkast for automatiserte algoritmer for online overvåkning og presentasjon av fiskens tilstand under avlusningsoperasjoner**

Prosjektet har dermed søkt å utvikle teknologi som skal identifisere hvordan avlusningsoperasjoner påvirker tilstanden til oppdrettslaks. Denne kunnskapen kan representere grunnlag for innovasjon og produktutvikling mot nye operative teknologiske løsninger for automatisk overvåkning av fiskens objektive tilstand i en oppdrettssituasjon. Slike løsninger vil kunne benyttes til å gi tidlig varsel om endringer i fiskepopulasjonen underveis i kritiske operasjoner som trenging/avlusning. Denne typen endringer kan indikere at fisken har en tilstand som vil gi fremtidige velferdsmessige og helsemessige utfordringer. Informasjon fra slike systemer kan derfor anvendes som et beslutningsgrunnlag for om en bør opprettholde eller modifisere operasjonen, eller om den bør endres/avbrytes, men vil også være nyttige hjelpemiddel til å overvåke fiskens tilstand under normale driftsforhold og andre operasjoner, eksempelvis notvask. I tillegg har de teknologiske metodene utviklet i prosjektet blitt testet i fullskala feltforsøk, noe som har resultert i ny kunnskap rundt fiskens respons under avlusning og trenging, noe som kan komme direkte til nytte for næringen når det gjelder planlegging og gjennomføring av fremtidige avlusningsoperasjoner.

To konkrete leveransene fra prosjektet er pilotversjoner av to tekniske systemer for objektiv overvåkning av tilstanden hos laks i oppdrettsmerder, med spesielt fokus mot avlusningsoperasjoner. Det kan være vanskelig å tallfeste relevante absoluttverdier for utvalgte tilstander hos fisken, spesielt dersom disse er underlagt en viss variasjon over tid (f.eks. døgnvariasjon). De tekniske systemene har derfor også blitt utviklet med mål om å **identifisere utviklingstrender** for de egenskaper de observerer heller enn å **tallfeste absoluttverdier** for disse. Eksempelvis er det mulig å se for seg at trenden i enkelte parametere som forekomst av sårskader og gjellefrekvens vil endre seg i takt med operasjonsforløpet, og dermed kan si noe om hvordan fiskens tilstand endrer seg over tid. Siden det er vanskelig å bestemme tidspunkt for avlusningsoperasjoner lang tid i forveien har utviklingen av systemene også blitt gjort for å kunne samle data automatisk uten menneskelig medvirkning over lange perioder. Dette var viktig for å sikre

tilstrekkelig lange kontinuerlige datasett til at en med god sannsynlighet klarer å fange en eller flere avlusningsoperasjoner, for at en skulle være i stand til å oppdage trender i de observerte tilstander, og for å kunne studere hvorvidt og eventuelt når, fisken klarer å komme tilbake til samme tilstand som den hadde i perioden før avlusningsoperasjonen.

I tillegg til de rent faglige resultatene fra prosjektet ble det også avholdt en workshop som hadde til hensikt å undersøke mulighetsrommet innen bruk av akustisk telemetri i havbruk.

3 Prosjektgjennomføring

3.1 Prosjektstruktur

Arbeidet i prosjektet ble oppdelt i 7 delaktiviteter (DA):

DA 1: Metodeutvikling maskinsyn

Denne delaktiviteten har forberedt den maskinsynbaserte løsningen til bruk i felt. Dette omfatter:

- Utarbeide kravspesifikasjon for kamerasystem som klarer å fange opp tilstrekkelig detaljerte og høyoppløselige bilder under vann
- Anskaffelse (innkjøp, leie eller lån) og oppsett av kamerasystem som oppfyller kravspesifikasjonen
- Lab-test av innkjøpt system for å vurdere kapasiteten til systemet for å detektere fiskens tilstand
- Tilpasse systemet for maksimal sannsynlighet til å detektere gjellebevegelser, svømmehastighet og tilstand på skinn
- Fasilitere innsamling av materiale fra eksisterende datastrøm fra kamera i merd

DA 2: Metodeutvikling akustisk telemetri

Denne delaktiviteten forberedte løsninger for akustisk telemetri i forkant av feltforsøkene. Dette omfatter:

- Spesifisering og tilpasning av algoritmer til sensormerker som gir informasjon om aktivitetsnivå og dybdedynamikk basert på akselerometer og dybdesensor
- Bestilling og innkjøp av 30 akustiske merker med akselerometer og dybdesensor og ovennevnte algoritme
- Lab-test for å sikre at merkene fungerer som ønsket før utsett i felt

DA 3: Feltforsøk på fullskala anlegg

Denne delaktiviteten omfatter utsett av systemer utviklet i DA 1 og DA 2 i felt, på lokaliteter med fisk under kommersielle forhold. Systemene ble satt opp på en slik måte at de er best mulig i stand til å samle data fra utsett, gjennom selve avlusningsoperasjonen, og i en periode i etterkant av avlusningsoperasjonen.

Dette omfatter:

- Valg av lokalitet basert på tilgjengelig infrastruktur (strøm, internett), fiskestørrelse, eksisterende sensorikk og tid siden sist avlusning
- Utsett av systemene på valgt lokalitet
- Datainnsamling og oppfølging gjennom en periode på inntil 2 mnd. ved hver lokalitet/avlusningsoperasjon
- Innsamling av utstyr fra felt og endelig datainnsamling

DA 4: Post-prosessering og databehandling

I denne delaktiviteten ble data innsamlet fra feltforsøkene behandlet og analysert. Spesielt har en da forsøkt å identifisere:

- Forskjeller i fiskens tilstand før, under og etter avlusning
- Om fisken klarer å kommer tilbake til samme tilstand som før avlusningen, og i så fall hvor lang tid dette vil ta
- Mulig innhold i algoritme for automatisert overvåking av fiskens tilstand rundt avlusningsoperasjoner

DA 5: Videre teknologiske muligheter

Denne delaktiviteten har undersøkt grunnlaget for å videreføre metodikken benyttet i dette prosjektet for å frembringe løsninger basert på mindre moden teknologi. Dette inkluderer:

- Litteraturstudie for identifisering av andre teknologiområder interessante for fremtidig bruk innen oppdrett
- Definisjon av innhold i nye FoU-prosjekter mot teknologi for observasjon av fiskens tilstand og situasjon

DA 6: Workshop merketeknologi

Delaktivitet 6 ble lagt til i prosjektet for å dekke aktivitetene som er relatert til workshopen på Bjørøya 13.12.2016.

DA 7: Administrasjon og formidling

Delaktivitet 7 håndterte generell prosjektadministrasjon og formidling av resultater, bl.a. i form av vitenskapelig og populærvitenskapelig publikasjon.

3.2 Valg av basisteknologi

De to systemene utviklet i prosjektet var basert på henholdsvis maskinsyn og akustisk telemetri. Selv om det finnes flere forskjellige teknologityper som trolig er i stand til å fremskaffe relevant informasjon om fiskens tilstand under avlusning, ble metodene utviklet i LAKSIT begrenset til å omfatte to teknologiområder hvor SINTEF/NTNU besitter betydelig kompetanse, og kan vise til tidligere prosjektresultater. Motivasjonen for dette var å øke sjansen for at prosjektet skulle munne ut i nyttige og relevante resultater i løpet av prosjektperioden.

Akustisk telemetri er per i dag utelukkende et forskningsverktøy, i hovedsak innen forvaltning av villfisk (f.eks. Thorstad et al., 2008; Plantalech Manel-La et al., 2009; Jensen et al., 2014), men også innen oppdrett (f.eks. Juell og Westerberg, 1993; Rillahan et al., 2009; Kolarevic et al., 2016), og går ut på at en utstyret et utvalg av individfisk i populasjonen med elektroniske sensormerker som overfører sine data som akustiske signaler i vannmassene til en mottakerenhet (se Føre et al. (2011) for mer informasjon om akustiske merker). Gjennom å være i kontinuerlig kontakt med mottakeren kan brukeren overvåke data fra det akustiske systemet i sann tid. Datatypen som sensormerkene sender avhenger av hvilken sensor de utstyres med, samt algoritmen de programmeres med. I LAKSIT ble denne teknologien benyttet til å studere atferdstrekk relatert til 1) fiskens **svømmeaktivitet** og 2) **vertikale posisjonerings- og bevegelsesmønstre** i merdvolumet. Merkene ble derfor utstyrt med sensorer for **akselerasjon** og **dybde** som er i stand til å produsere data som beskriver henholdsvis aktivitet og dybdedynamikk. Det er nødvendig med kirurgiske inngrep når fisk skal utstyres med akustiske merker, noe som begrenser hvor ofte og hvor mange fisk en kan utstyre med slike merker. Selv om dette gjør at eventuelle produktutviklingsløp basert på denne teknologien kan måtte ses på som noe langsiktige, har metodikken trolig et stort kommersielt potensial som verktøy for kvalifisering av nytt utstyr, ny teknologi og nye metoder for oppdrett.

Maskinsyn er et fagfelt der en benytter datamaskiner med automatiserte algoritmer til å analysere videomateriale med henblikk på å detektere bevegelser og/eller egenskaper ved videomaterialet. Denne metodikken blir benyttet i stadig større grad innen både industri og forskning, og det har de siste tiårene vært en rask utvikling innen algoritmer og tilgjengelig utstyr innen fagfeltet. Metoder basert på maskinsyn blir i dag benyttet i mange forskjellige industrisegmenter. Maskinsyn har også blitt tatt stadig mer i bruk i deler av sjømatnæringen, primært i prosessindustrien (Mathiassen et al., 2011), men også innen fiskeri (f.eks. White et al., 2006). Industrielle anvendelser av maskinsyn vil alltid være underlagt generiske utfordringer knyttet til f.eks. lysnivå, fokus og kontrast. Anvendelser under vann medfører ekstra utfordringer som eksempelvis vannets generelle dempning av lysnivået, turbiditet, og reduserte kontrastnivå grunnet vannets forskjeller i dempning av de forskjellige fargene. I tillegg vil et kamerasystem i en slik løsning være nødt til å takle operasjon under vann, noe som sammen med kravet om kontinuerlig overvåkning over lange tidsperioder øker kravet til utstyrets robusthet betraktelig. Målet med maskinsynmetodene utviklet i dette prosjektet var å forsøke å estimere endringer i **svømmehastighet** og

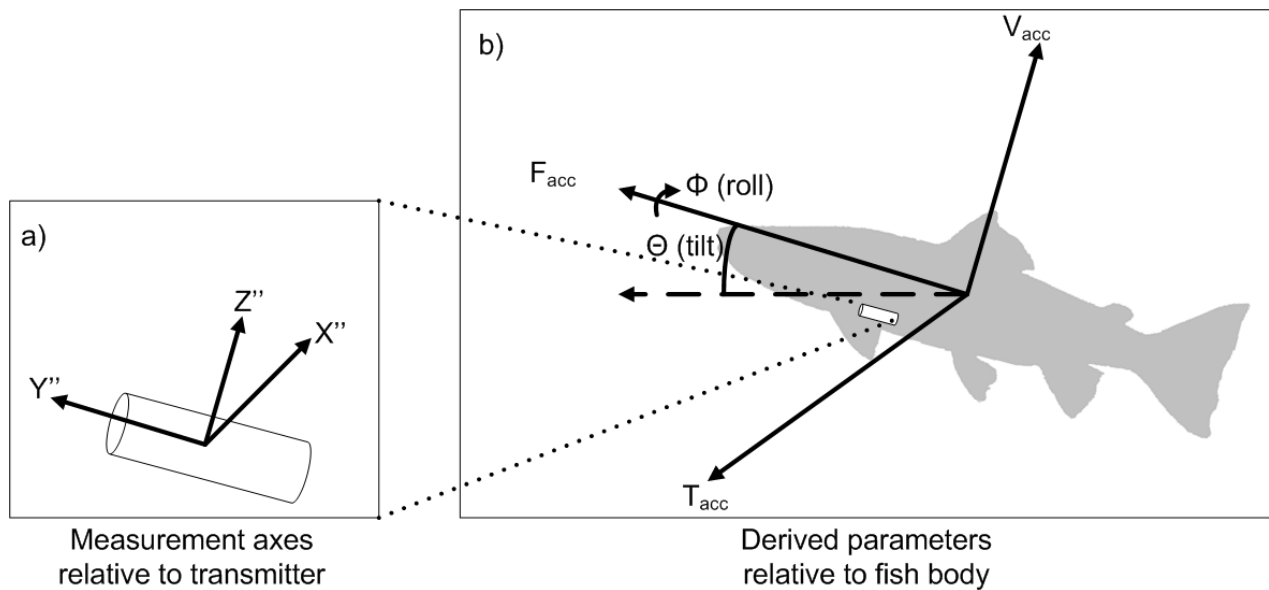
fiskens **ytre visuelle tilstand** (f.eks. hudskader og sårdannelse). Bildematerialet benyttet i prosjektet ble samlet inn ved å bruke høyoppløselige undervannskamera (se beskrivelse av systemet lenger ned i teksten), men de utviklede algoritmene kan også i fremtiden tilpasses eksisterende datastrømmer generert av føringskamera under vann. På grunn av dette kan metodene basert på maskinsyn regnes som mer modne med tanke på fremtidig produktutvikling for næringen enn akustisk telemetri.

3.3 Nye teknologiske løsninger

3.3.1 Akustiske merker

Siden det finnes eksempler på tidligere studier der akustiske merker med dybdesensorer (Føre et al., 2011) eller akselerometre (Føre et al., 2011; Kolarevic et al., 2016) har blitt brukt til å studere laks i oppdrett medførte ikke utviklingen av merketeknologien for LAKSIT betydelig arbeid på hardwarensiden. Det finnes imidlertid ingen tidligere eksempler på bruk av merker som benytter begge disse sensortypene i kombinasjon, hvilket medførte at det var behov for utvikling på algoritmesiden. Dette arbeidet ble gjort i tett samarbeid med Thelma Biotel AS som er en teknologileverandør av akustisk telemetri i Trondheim.

Merkene ble programmert til å sende data med en rate som resulterte i at det var 220 til 380 s mellom påfølgende utsendinger. Hver sending fra slike merker inneholder en ID-verdi (0-255) som identifiserer merket som sendte signalet, og et databyte (=8 bit) som koder den utsendte dataverdien til en verdi fra 0 til 255. Prosessorenheten i merkene er ikke i stand til å kjøre flere prosesser samtidig. For å skaffe tilstrekkelig datagrunnlag til å gi ut relevante data ble merkene derfor satt opp til å samle inn dybde data med en hyppighet på 1 Hz i de første 150 s av perioden mellom utsendinger, mens de påfølgende 30 s av perioden ble brukt til å samle inn akselerasjonsdata med 5 Hz. De resulterende datasettene ble så brukt til å utlede verdier som hadde til hensikt å beskrive hele målesegmentet der maksimum, minimum, middelvei og standardavvik av **svømmedyp** i måleperioden ble hentet fra dybde datasettet og en total RMS (Root Mean Square) verdi for akselerasjonen over alle tre aksene (X", Y" og Z" i Figur 2 a) ble hentet ut fra akselerasjonsdata. Uavhengig av fiskens egenbevegelse vil som regel gravitasjonen (9.81 m s^{-2}) være den mest betydelige akselerasjonskomponenten som påvirker fisken og dermed akselerometeret. Det er derfor viktig at akselerasjonssignalet blir kompensert for denne komponenten før dette behandles videre slik at en kan studere de komponentene av akselerasjonen som forårsakes av fiskens bevegelse. I disse merkene ble denne kompensasjonen utført ved å identifisere gravitasjonsretningen basert på den lavpassfiltrerte verdien av total akselerasjon, og subtrahere 9.81 m s^{-2} fra signalet langs denne retningen (på samme måte som i Føre et al., 2011). Når en fisk svømmer med konstant orientering (dvs. uten å endre sine rull- og tiltvinkler i Figur 2 b) kompenserer denne metoden helt for gravitasjonen, og RMS-akselerasjonsverdien vil kun representere lineær akselerasjon langs fiskens lengderetning, til siden og vertikalt i forhold til fiskekroppen (hhv. Aksene F_{acc} , T_{acc} og V_{acc} i Figur 2 b). Når en laks svømmer aktivt vil F_{acc} primært reflektere endringer i svømmehastigheten til fisken, T_{acc} vil hovedsakelig bli bestemt av fiskens halebevegelser (både frekvens og amplitude), mens den siste akse (V_{acc}) vil inneholde den komponenten av fiskens akselerasjon som er vertikal i forhold til fiskens kropp. Komponentene langs V_{acc} vil normalt sett være betydelig mindre enn de to andre komponentene og vil dermed som oftest ha mindre innflytelse på endelig RMS-verdi. Videre vil akselerasjonen langs V_{acc} , som reflekterer fiskens haleslag, være tilstede selv om fisken ikke endrer hastighet, noe som vil gjøre den større enn F_{acc} i de fleste tilfeller, og dermed den lineære komponenten som har mest betydning i utregningen av RMS-verdien.



Figur 2: Beskrivelse av forholdet mellom a) merkets akselerasjonsakser og b) fiskens orientering (rull- og tiltvinkel) og lineære akselerasjon (framover, transversalt og vertikalt). Figuren er hentet fra Førre et al., (2011).

Dersom fisken midlertidig endrer orientering (endringer i rull- og tiltvinkel, Figur 2 b) vil dette gi utslag i endringer i den utregnede akselerasjonsresultanten, ettersom gravitasjonen da vil virke langs en annen retning enn den estimerte gravitasjonen og dermed smitter over på akselerasjonssignalet. Atferdskomponenter som har betydelig innvirkning på RMS-akselerasjonen regnet ut av merkene inkluderer derfor både høyfrekvente faktorer som **haleslagsrate og –amplitude** som følge av fiskens svømmehastighet, og lavfrekvente faktorer som endring av fiskens **orientering**.

Dataverdiene generert av merkene må overføres akustisk til brukeren for at de skal komme til nytte. For å redusere antallet sendinger nødvendig for å overføre data, ble hver utsending fra et merke begrenset til tre bytes som ved hver utsending ble sendt "back to back", dvs. like etter hverandre. Første databyte (verdi 0-255) var tiltenkt å representere fiskens aktivitet og beskrev RMS-akselerasjonen regnet ut som beskrevet over med en oppløsning på 0.014 m s^{-2} (hvilket gav et måleområde på $0-3.465 \text{ m s}^{-2}$). Andre byte ble benyttet til å sende maks og min dyp ved at byten ble delt i to 4-bitsverdier (0-15) som representerte hver sin verdi (Figur 3 a), mens tredje byte ble tilsvarende delt opp i to 4-bitsverdier og beskrev snittdyp og standardavvik for dybde (Figur 3 b).



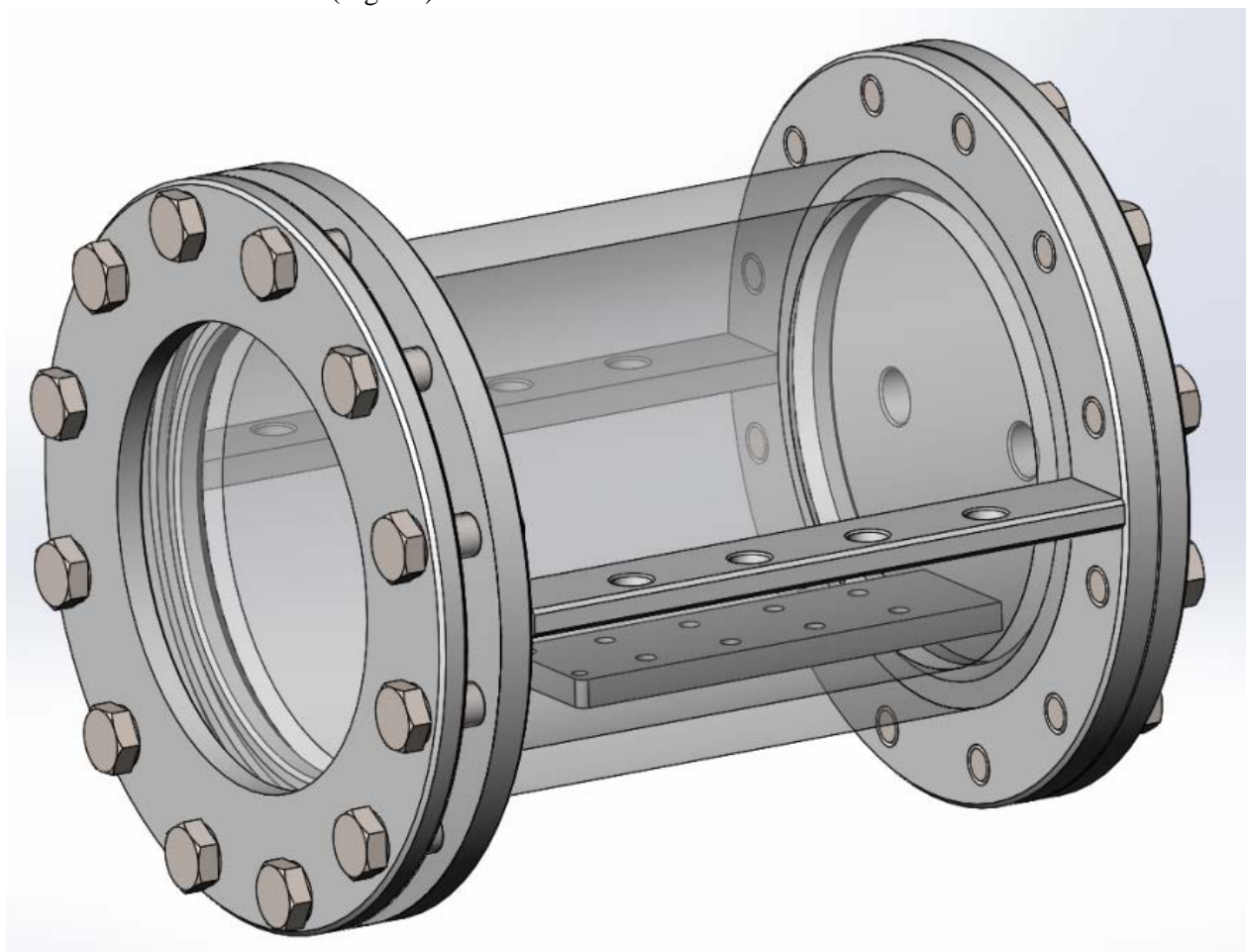
Figur 3: Oppbyggingen av databytes for sending av dybde data. a) byte som inneholder maks- og min-dybde, b) byte som inneholder snittdyp og standardavvik for dybde.

For maks, min og gjennomsnittlig dybdeverdi representerte verdiene 0-15 dybdesoner på 1 m mellom 0 og 15 m (dvs. 0 = 0-1 m, 1 = 1-2 m, ..., 15= dypere enn 15 m), mens standardavvikverdien var satt opp slik at 15 representerte variasjonen som ville blitt forårsaket dersom merket ble utsatt for et umiddelbart sprang i vertikalposisjon fra 0 til 15 m dyp.

Siden hovedmålet i prosjektet var å fange opp hvordan laksen responderer når den blir utsatt for trenging og avlusning, ble muligheten for å fange opp data generert mens slike operasjoner pågår vurdert som viktig. Når fisken trenges sammen kan imidlertid den høyere tettheten påvirke de akustiske mottaksforholdene negativt, noe som kan medføre at det blir vanskeligere å motta data under operasjonene. For å unngå dette ble merkene programmert til å lagre målte data for en periode på 12 t, og satt til å sende data først 12 t etter at de ble målt. Dette resulterte i at data samlet inn under trenging og avlusning først ble sendt akustisk omtrent 12 t etter selve operasjonen, hvilket normalt sett er en periode der en søker å påse at fisken ikke blir utsatt for trenging eller andre stressfaktorer.

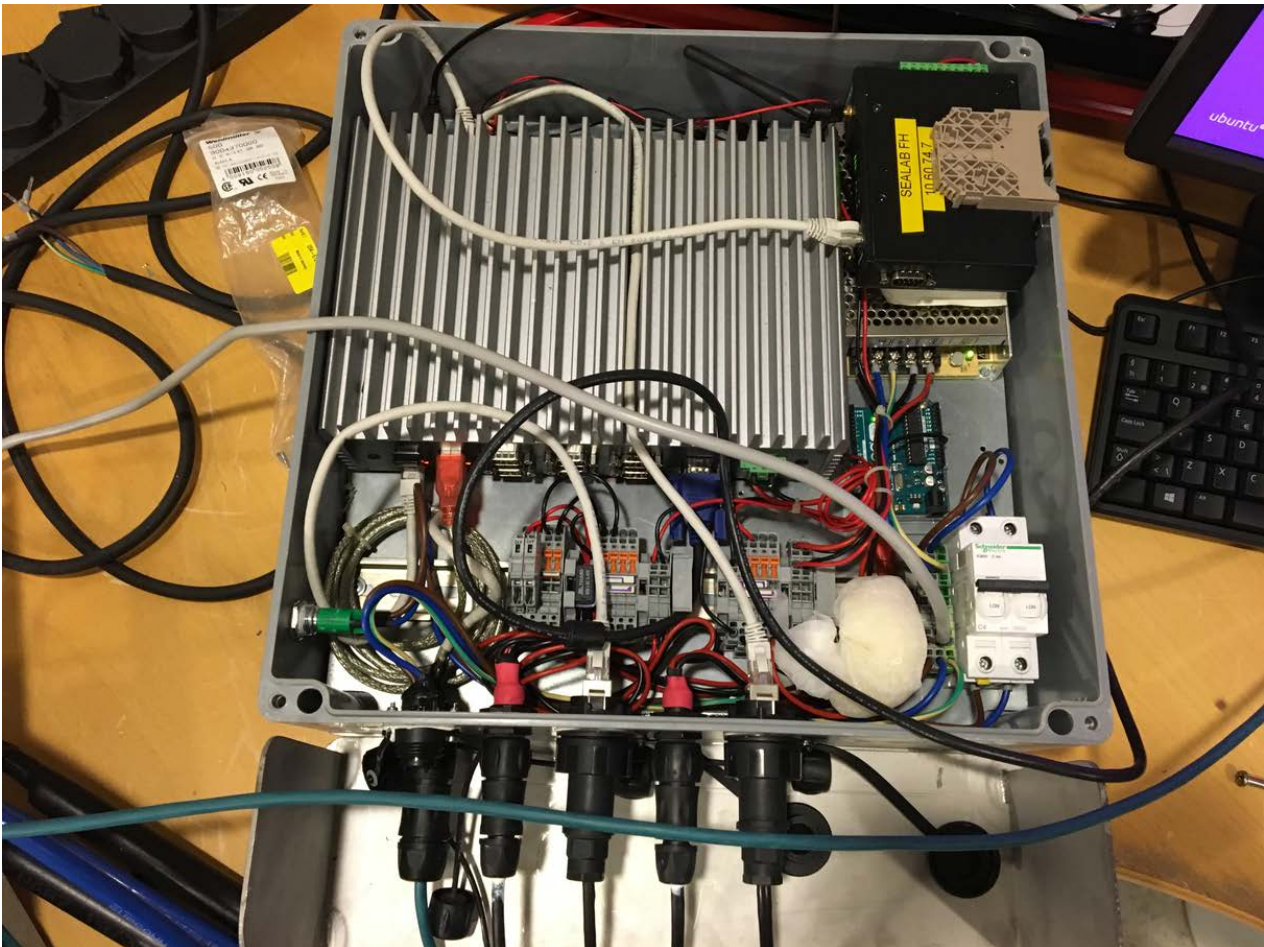
3.3.2 Stereovideosystem

Hovedkravene til stereovideosystemet var at det skulle være tilstrekkelig vanntett og robust til å tåle å være plassert i sjøen kontinuerlig over lengre tidsperioder (måneder), samt at det skulle kunne programmeres slik at det lagret korte (typisk 2 min.) videoklipp periodisk eller ved predefinerte tidspunkt til lokal disk. Systemet ble videre designet slik at kameraene kunne posisjoneres uavhengig av hverandre slik at en bedre kunne justere avstanden mellom dem avhengig av applikasjon. Kameraene som ble brukt var av typen Blackfly BFLY-PGE-13E4C fra Point Grey Research, og hadde en oppløsning på 1280x1024 pixler. Kamerahusene bestod av rustfritt stål og hadde et forseglet vindu av Plexiglass (Lexan) i ene enden som kameralinsen ble rettet mot (Figur 4).



Figur 4: Designtegning av kamerahusene benyttet i stereovideoriggen (Endelig produkt ble levert av Jankos Mek. Verksted AS).

Hvert av kameraene ble koblet til en gigabit Ethernetkabel for overføring av videobilder til lokal datamaskin for lagring og en kombinert signalkabel for kontrollsignaler (f.eks. start/stopp av opptak, sette bilderate) og strømkabel for krafttilførsel. Disse to kablene ble ført fra hvert kamerahus (totalt fire kabler) til et vanntett elektronikkenskap som var fastmontert på merdkanten og som var tilkoblet lokalitetens strømforsyning. Dette skapet inneholdt blant annet en industri-PC med 2 TB diskplass, en Arduino-enhet med mikrokontroller som håndterte kontrollsignalene til kameraene og et GSM-modem som muliggjorde fjernkommunikasjon med enheten og fjernoverføring av bildemateriale (Figur 5).



Figur 5: Elektronikkab med industri-PC, Arduino-enhet og GSM-modem.

Selv om GSM-modemet (som var koblet til industri-PCen gjennom Ethernet) kunne benyttes til å overføre bilder fra disken til en PC på land, var overføringshastigheten på dette modemet svært begrenset i forhold til størrelsen på videofilene (eksempelvis tok 1 min video i full oppløsning typisk mellom 150 MB og 1 GB avhengig av bildekvalitet og støynivået på bildene). De data en kunne overføre med denne metoden var derfor begrenset til kun et fåtall filer, og ofte med redusert oppløsning. Filstørrelsen var også en begrensende faktor for hvor ofte en kunne lagre filer til disk, og hvilken lengde disse videofilene kunne ha. Dette var også årsaken til at en valgte å lagre video som flere korte klipp tatt opp med jevne mellomrom eller basert på fjernstyring fremfor å ta opp videoklipp over lengre sammenhengende perioder.

Fremtidige forbedringer av kameramodulen vil inkludere muligheter for å koble opp eksterne lagringsenheter slik at en effektivt kan hente ut data fra systemet på lokaliteten uten at dette betyr at en må stoppe datainnsamlingen ettersom en da bare kan bytte disk når denne ikke har gjenværende lagringsplass.

3.4 Datainnsamling fra perioder med avlusningsoperasjoner

3.4.1 Måleoppsett ved lokaliteten

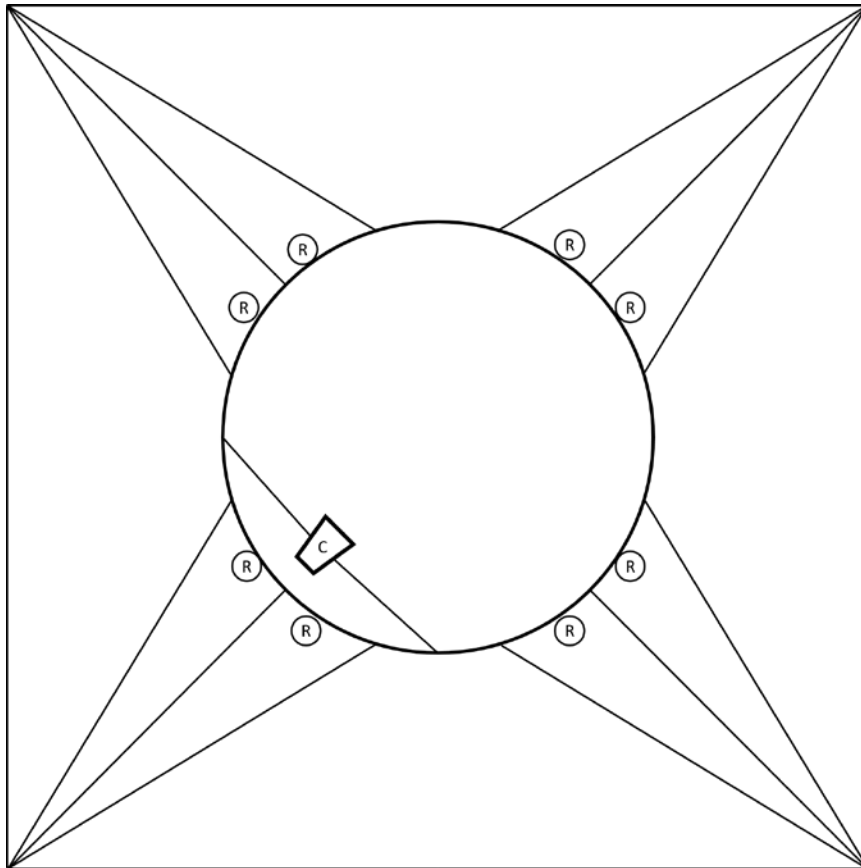
All håndtering av fisk under forsøket ble gjort i henhold til den norske dyrevelferdsloven, og tillatelse til merking av fisk ble omsøkt og innvilget hos Mattilsynet før forsøkene ble startet.

Den 3. oktober 2016 ble 21 fisk (snittvekt $3.0 \text{ kg} \pm 0.6 \text{ kg}$ standardavvik, snittlengde $61.9 \text{ cm} \pm 3.6 \text{ cm}$ standardavvik) hentet ut fra den utvalgte populasjonen, og utstyrt med akustiske merker. Fisken ble innhentet ved at en krandrevet håv (ca. 2 m diameter og 2 m dyp) ble senket til bunnen av nota, hvorpå en liten mengde fôrpellets ble sluppet ut på vannoverflaten rett over håven. Når det ble observert at

fôrpelletene hadde tiltrukket seg en mengde fisk, ble så håven raskt hevet mot overflaten, noe som resulterte i at flere av fiskene som var tiltrukket av fôret ble fanget i håven. Denne ble så holdt ved overflaten slik at en kunne hente ut individfisk relativt enkelt med konvensjonell håv. Kun individer som ble vurdert til å være i god nok tilstand til å kunne takle bedøving og påfølgende kirurgisk merking ble valgt ut til merking. Individer som ble valgt bort i denne prosessen ble returnert direkte til merdvolumet uten videre håndtering.

Merkingprosessen startet med at fisken ble bedøvet i henhold til standardmetodikk for bedøvelse av fisk (Pedersen og Andersen, 1985). Etter at fisken ble vurdert til å ha mistet likevekt (lå med buken opp) og ikke utviste betydelige bevegelser utenom respirasjon (i snitt 3 min 47 sek etter at bedøvingen ble startet), ble de lagt på rygg i en vugge ikledd fuktige håndklær. Et akustisk merke og et PIT-merke ble så plassert i fiskens bukhule gjennom et snitt i bukveggen, som så ble lukket med monofilament sutur. Fisken ble så målt (vekt og lengde) og lagt til oppvåkning i et kar med kontinuerlig vannutskiftning. Fisken ble nøye overvåket under oppvåkningen, og ble så snart den viste tegn til å være våken (gjenoppretting av likevekt og tydelige svømmebevegelser, i snitt 3 min 50 sek) overført direkte tilbake til merden med håv.

Akustisk interferens eller signalkollisjon er et fenomen som kan oppstå dersom to eller flere akustiske sendermerker sender sine signaler i overlappende tidsvindu. En slik situasjon kan medføre at en mottakerenhet ikke vil klare å skille disse signalene fra hverandre, noe som i verste tilfelle kan føre til at data fra alle senderne som er involvert i signalkollisjonen går tapt. En måte å redusere sannsynligheten for slike hendelser er å fordele de akustiske merkene mellom forskjellige bærefrekvenser slik at antallet merker som benytter hver enkelt bærefrekvens til kommunikasjon blir lavere, og dermed antallet potensielle interferenshendelser går ned. I LAKSIT ble merkene fordelt mellom 69 (12 merker) og 71 (9 merker) kHz for å oppnå denne effekten. Det ble videre benyttet totalt 8 mottakere av typen TBR700-RT (Thelma Biotel AS) hvorav halvparten ble satt opp til å lytte på 69 kHz og halvparten ble satt til å lytte på 71 kHz. For å hindre at mottakerne skulle komme i konflikt med daglig drift og operasjoner på merden, ble to mottakere plassert ved hver av de fire haneføttene på flytekragen (Figur 6). Mottakerparene på hver hanefotposisjon bestod av en mottaker på 69 kHz og en mottaker på 71 kHz slik at en sikret god dekning på begge sendefrekvenser. I tillegg til at fordelingen av merker mellom forskjellige frekvenser reduserte forekomsten av akustisk interferens, er TBR700-RT utstyrt med moderne signalbehandlingsmetoder som gjør dem i stand til å skille samtidig utsendte signaler basert på signalnivå, noe som ytterligere reduserer informasjonstapet som følge av slike effekter. Selv om TBR700-RT kan kobles opp med kabel (RS485) for online og kontinuerlig nedlasting av data direkte til bruker via internett og strømforsyning, ble mottakerne satt opp til "standalone-modus" der data kun lagres internt i mottakeren og driftsstrøm kun hentes fra mottakerens integrerte batteri. Hensikten med dette var å redusere infrastrukturen ved merdkanten slik at mottakerne enkelt kunne flyttes dersom fisken ble overført til andre merder. Hver mottaker har intern lagringskapasitet til å lagre 1500000 registreringer, og har batterilevetid på inntil 9 mnd., som begge skulle gi tilstrekkelig kapasitet til å vare gjennom hele prosjektperioden (5 mnd.).



Figur 6: Skjematisk beskrivelse av hvordan akustiske mottakere (R) og stereokamerarigg (C) var satt opp i forhold til merdens og rammefortøyningens geometri.

Stereokamerariggen ble satt ut 24.10.2016, ble montert ca. 6 m fra merdveggen (Figur 6) og var vendt innover slik at den kunne ta opp video av fisk som var mellom sin posisjon og merdens sentrum. Riggen ble satt opp til å ta opp ett 2 min. langt videokutt hver halvtime gjennom døgnet. Riggen var videre koblet med kabel opp mot et merdskap som besørget strømforsyning og kommunikasjonsmuligheter. Videoopptakene ble lagret lokalt med høy oppløsning på en disk plassert i merdskapet, men det var også mulig å overføre opptak med lav oppløsning til land via et GSM-modem. Denne funksjonen ble jevnlig benyttet i forsøksperioden, både for å sjekke om systemet var satt opp riktig, og for å laste ned videoklipp en kunne benytte til algoritmeutvikling underveis.

3.4.2 Avlusninger

Fisken ble utsatt for totalt tre avlusninger i løpet av forsøksperioden; 31.10, 07.11 og 06.12 alle i 2016. Ved hver av disse avlusningene ble fisken først trengt i to steg, ved at notveggen først ble hevet til 7 m dyp, og så ble hevet til 1 m dyp noe senere. Når fisken var trengt til maksimal tetthet ble fisken så pumpet opp fra merden, behandlet i avlusningssystemet, og deretter sluppet ut i en av nabomerdene til den opprinnelige merden. Ved alle tre operasjonene ble fisken avluset med varmt vann (Thermolicer). Tabell 1 oppsummerer alle tidspunkt knyttet til avlusningene.

Tabell 1: Tidspunkt for de forskjellige stadiene i de tre avlusningsoperasjonene som ble utført i løpet av prosjektperioden

Op. #	Start sulting	Opplining 7 m	Opplining 1 m	Start avlusning	Stopp avlusning	Start fôring
1	25.okt, 16:25	31.okt, 11:00	31.okt, 12:00	31.okt, 13:25	31.okt, 18:35	-
2	-	07.nov, 21:00	07.nov, 22:00	07.nov, 23:00	08.nov, 06:05	12.nov, 10:00
3	30.nov, 11:25	06.des, 19:00	06.des, 22:00	06.des, 23:35	07.des, 09:35	08.des, 09:45

Stereokamerariggen måtte være plassert i merdvolumet for å fremskaffe data, og måtte derfor flyttes ut av merden under trenging. Som følge av dette kunne det ikke produseres videomateriale under selve operasjonene, og en ble i analysene derfor begrenset til å studere opptak før og etter avlusning. Siden de akustiske mottakerne var hengt på utsiden av merden og nærme haneføttene måtte disse ikke tas ut under avlusning, og var dermed i stand til å registrere data både under trenging og under selve avlusningen. Ettersom fisken ble flyttet til en ny merd under hver avlusningsoperasjon, ble mottakerne flyttet over til denne merden i noen dager etter at operasjonene var gjennomført. Mottakerne har imidlertid en deteksjonsrekkevidde på mellom 100 og 1000 m avhengig av akustiske støyforhold og senderstyrke, så de var også i stand til å motta mesteparten av de signaler som ble sendt i tiden fra fisken ble flyttet til mottakerne ble flyttet etter.

3.5 Databehandling

3.5.1 Akustisk telemetri

Siden mottakersystemet bestod av fire mottakere på hver frekvens var det stor sannsynlighet for at utsendte signaler fra de akustiske merkene ville plukkes opp av flere mottakere, noe som resulterer i at det oppstår duplikate datapunkter i minnene til disse. Fordelen med dette er at en ofte da har redundans i datapunkter noe som gjør systemet mer robust med tanke på å unngå feil ved mottak/tolkning av mottatte data. For å hindre at dette resulterer i datasett med flere dupliserte registreringer basert på samme utsendte akustiske signal er imidlertid programvaren fra Thelma Biotel som brukes til å lese av mottakerenhetene utstyrt med metoder for å aggregere datasett fra flere mottakere slik at en kun beholder ett datapunkt i det totale datasettet for hver enkelt akustisk utsending. Denne programvaren kan benyttes til å filtrere datasettet slik at de datapunktene som ikke hører til noen av merkene brukt i studien eller som er vurdert av mottakeren som ugyldig (f.eks. grunnet feil i checksum) blir utelatt fra endelig datasett. For at dataverdiene assosiert med hvert datapunkt skal gi mening i analyser, var det neste steget etter at datasettene hadde blitt hentet ut fra Thelma Biotel sin programvare å omregne disse verdiene til de målte verdiene (akselerasjon, maks/min-dybde, snittdyp og standardavvik dybde). Dette resulterte i tidsserier for alle disse parametere for hver individfisk som var utstyrt med akustiske merker.

For at det skulle være mulig å analysere telemetridata opp mot avlusningsoperasjoner var det sentralt å få synkronisert datasettene og operasjonsloggen ved anlegget. Mottakerenhetene er satt opp med Coordinated Universal Time (UTC) som ble valgt som felles tidsstandard i analysene. Akustiske data måtte derfor bare korrigeres for den programmerte utsendelsesforsinkelsen på 12t (ved å subtrahere 12 t fra mottakstiden), mens alle driftsdata måtte harmoniseres opp mot UTC. Siden avlusningsoperasjonene under disse forsøkene hadde en varighet på noen timer var god synkronisering helt sentralt for at en skulle klare å studere hvordan enkeltdeler av operasjonen (f.eks. heving av notvegg fra 7 til 1 m) spesifikt påvirker fiskens respons.

Data ble analysert både på individnivå og gruppenivå, der fokus i individanalysene var å se etter spesifikke datamønstre under de forskjellige stegene i avlusningsprosessen, sammenlikne datamønstre før og etter avlusningsprosessen, samt å vurdere forskjeller mellom individfisk. Hovedmålet bak analysene på gruppenivå var å undersøke om en basert på gjennomsnittsverdier mellom alle merkede fisk kunne se generelle atferdstrekk som gikk igjen hos flere individer og således kunne antas å være del av mer generiske responser hos laks mot trenging og avlusning.

3.5.2 Maskinsyn

Forskjellige avanserte maskinsynmetoder ble testet primært for å undersøke muligheten for å hente ut informasjon fra videomaterialet produsert med stereovideosystemet, med et spesielt fokus på metoder for utregning av svømmehastighet og deteksjon av sår og andre hudskader. Forholdene for innsamling av videomateriale for maskinsynanalyser er ikke optimale under vann ettersom dette er et miljø som typisk er

preget av lavere lysnivå enn over overflaten og høy turbiditet. I tillegg kan kamera bevege seg når det utsettes for hydrodynamiske krefter (bølger og strøm) og eventuelle andre bevegelser påført gjennom innfestingen til anlegget. For å håndtere disse rammebetingelsene må algoritmene designes til å håndtere faktorer som lavt kontrastnivå, store variasjoner i lys, bildestøy, bevegelige objekter (fisk, anleggskomponenter) og en bevegelig bakgrunn.

Algoritmen som ble benyttet til å estimere svømmehastighet var basert på at en har to bildestrømmer rettet mot samme motiv og som er filmet fra posisjoner med fast avstand og orientering i forhold til hverandre. Gjennom å identifisere trekk i bildet som en kan detektere på begge kamerastrømmene, er det ved hjelp av den relative geometrien mellom systemene mulig å utlede et mål på dybden på disse punktene i rommet, noe som gir en 3D-representasjon. Denne representasjonen vil være gitt i faktiske avstander (f.eks. i millimeter) relativt til et punkt i kamerasystemet, f.eks. det optiske senter i venstre kamera. Dersom en klarer å identifisere trekk eller punkter på bildet, og følge disse over en sekvens av påfølgende bilder, vil en dermed kunne hente ut svømmehastigheten relativt til kameraposisjonen gitt i $m s^{-1}$. I tillegg vil det være viktig å kompensere for vannstrøm og bølger om en ønsker å finne hastigheten relativt til vannmassene istedenfor i forhold til kamera.

En av hovedutfordringene med å benytte stereovideo på denne måten er å identifisere punkter og trekk i begge bildestrømmene. Dette er selve grunnlaget for å utlede romlige beskrivelser og hastigheter, ettersom det er avviket mellom posisjonene til disse punktene eller trekkene i bildene sammen med kalibreringsdata som gir 3D-posisjonene. I disse eksperimentene ble først en eksisterende metode benyttet til å finne avviket mellom de to bildestrømmene (Hirschmuller, 2008). Dette området er i dag et stort forskningsområde med stor utvikling, men siden undervannsbruk medfører flere ekstra utfordringer er det imidlertid viktig at det legges ned arbeid i å utvikle slike metoder som er spesialtilpasset miljøet under vann. Det første steget i å omforme avvikene mellom bildestrømmene til 3D-posisjoner, og så til hastighetsdata, var å anvende state-of-the-art feature-deteksjons og –matching algoritmer (Bay et al., 2008) sammen med optical flow-metoder (Lukas og Kanade, 1981). Feature-deteksjonen ble benyttet til å finne trekk i bildene som var tilstrekkelig robuste til å kunne brukes til å utlede 3D-posisjoner. Optical flow ble så benyttet til å følge slike trekk mellom minimum to påfølgende bilder i bildestrømmene, noe som sammen med bilderaten til kameraene kunne benyttes til å regne ut hastigheten.

Metoden for deteksjon av sår og andre hudskader ble basert på en farge-segenteringsmetode, der en identifiserte områder som hadde fargekombinasjoner som avvek fra de en typisk ser for intakt laksehud og dermed indikerte unormal tilstand. Dette krever at en har oversikt over hvilke fargekombinasjoner en normalt sett vil ha for normal hud og sår/skader. Algoritmen som ble utviklet i dette forsøket ble designet til å søke etter områder med et typisk rødlig skjær. Siden lysnivå og turbiditet vil ha veldig stor effekt på hvor godt systemet klarer å skille farger vil imidlertid denne algoritmen trolig være ganske spesialisert i forhold til disse konkrete forsøkene. Generalisering av denne metoden vil derfor kreve videre forsøk under andre forhold og at en ser på mer avanserte metoder innen maskinlæring og bildebehandling.

3.6 Workshop i merketeknologi

Workshopen ble arrangert hos Bjørøya fiskeoppdrett 13.12.2016, og inkluderte deltakere fra FHF, Lerøy Seafood Group ASA, Høgskolen i Sørøst-Norge, Norsk Institutt for Naturforskning, Nord Universitet, NTNU og SINTEF. Resultatet fra workshopen er gitt i notatet "Oppsummering og referat fra Workshop om akustisk telemetri 13.12.2016".

4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

4.1 Resultater fra akustisk telemetri

4.1.1 Overlevelse og fisketilstand

Bortsett fra 3 individfisk som sluttet å sende data, og dermed antakeligvis døde tidlig i forsøksperioden, virket fisken å takle merkeprosessen godt. I tillegg begynte 5 merker å sende konstante verdier for dybde

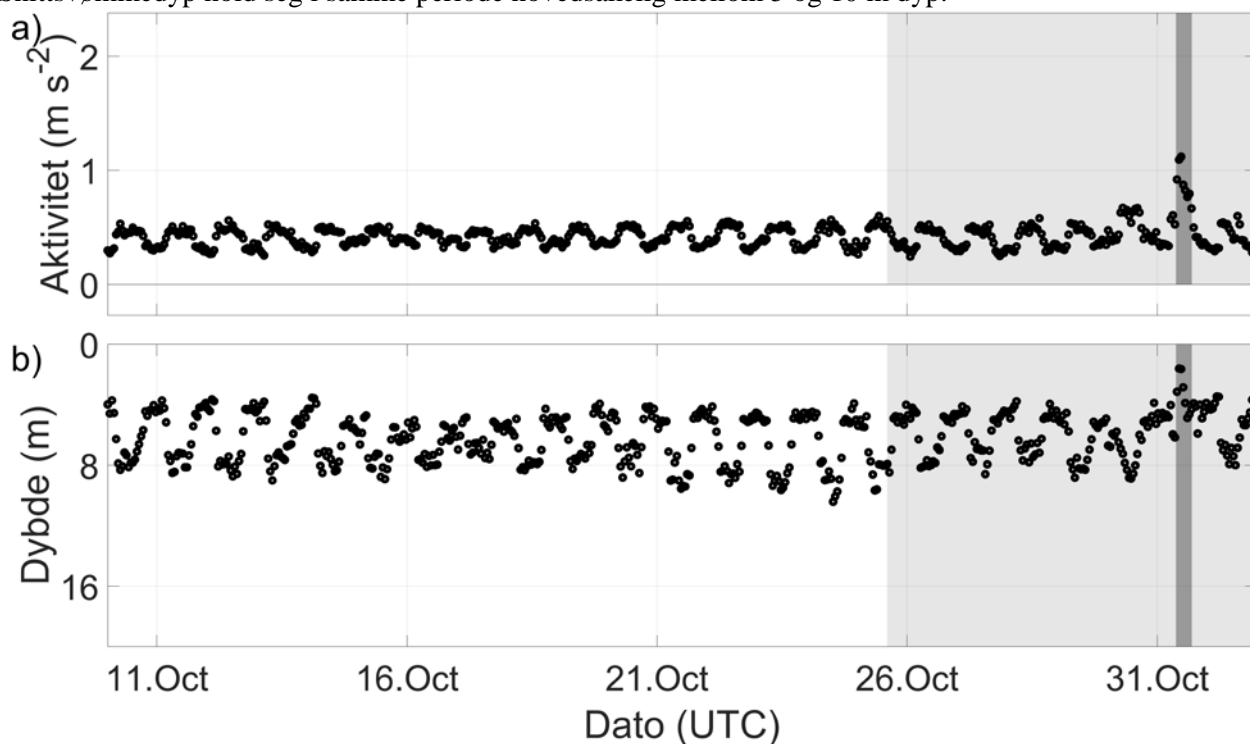
(>15 m) og aktivitet (0 m s^{-2}) underveis i forsøksperioden, noe som trolig enten skyldes at individene som bar merkene døde eller at merkene ble støtt ut gjennom fiskens bukvegg. Disse merkene ble tatt ut fra analysene etter det tidspunkt da de begynte å sende konstante verdier.

4.1.2 Mottaksforhold under forsøkene

Mottaksforholdene for akustiske data virket ikke å bli betydelig påvirket av verken økt tetthet under trenging eller som følge av økt avstand mellom mottaker og sendere i perioden fra fisken hadde blitt flyttet over til ny merd under avlusning til mottakerne hadde blitt flyttet etter noen dager senere. Dette skyldes trolig at det var god redundans på mottakere, og at disse var spredt symmetrisk langs utkanten av merden og ikke var plassert inne i merden. Siden merkene som ble benyttet i disse forsøkene var av LP-typen (Low power) og dermed sendte med moderat akustisk effekt, kan en dermed slutte at akustisk telemetri er en teknologi som rent teknisk egner seg til overvåkning av fiskens tilstand under kritiske operasjoner, ettersom den er i stand til å produsere data selv under stor tetthet rundt trenging.

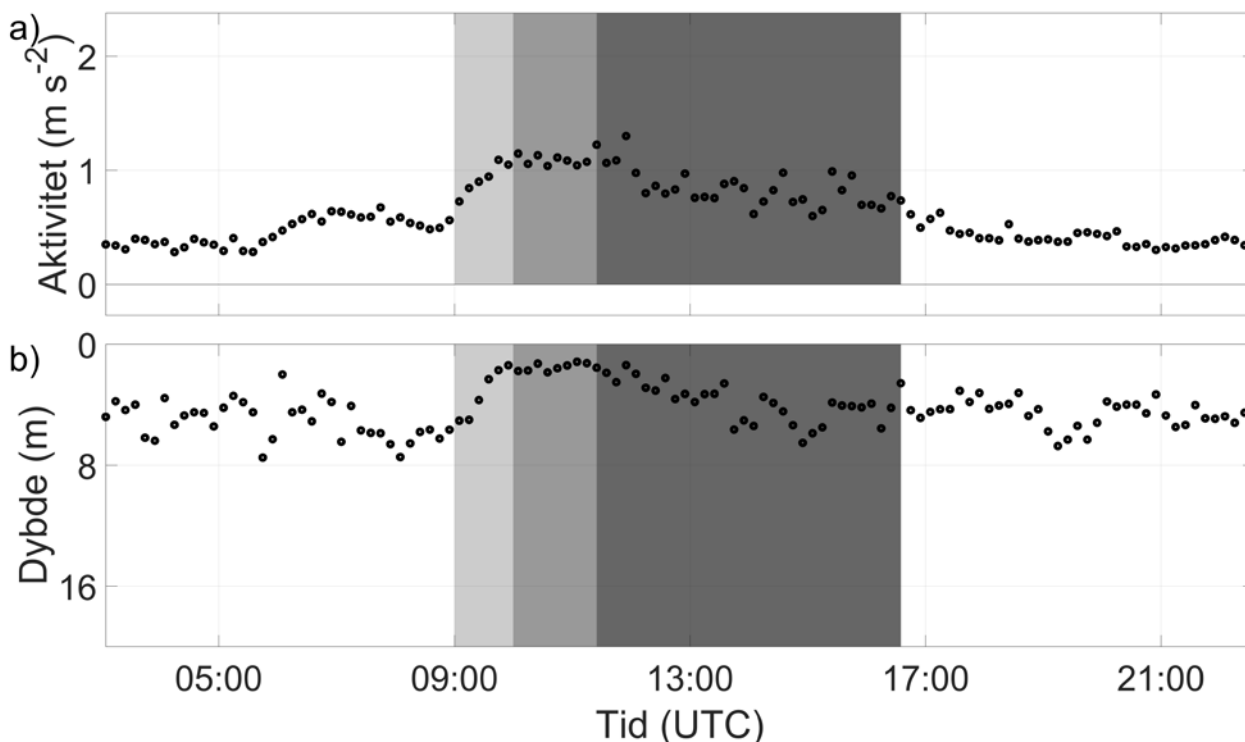
4.1.3 Grupperespons før under og etter avlusninger

Før første avlusning viste fiskegruppen i snitt en tydelig dag-natt-syklus i både aktivitet og dybde, der gruppen på dagtid typisk utviste høyere aktivitet og svømte på større dyp enn om natten (Figur 7). Snittaktivitetsnivået (= RMS-akselerasjonen) var i denne perioden utelukkende mellom 0.14 og 0.7 m s^{-2} . Snittsvømmedyp holdt seg i samme periode hovedsakelig mellom 5 og 10 m dyp.



Figur 7: Snittdata for fiskegruppen i perioden 10. oktober til 1. november. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sultryperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

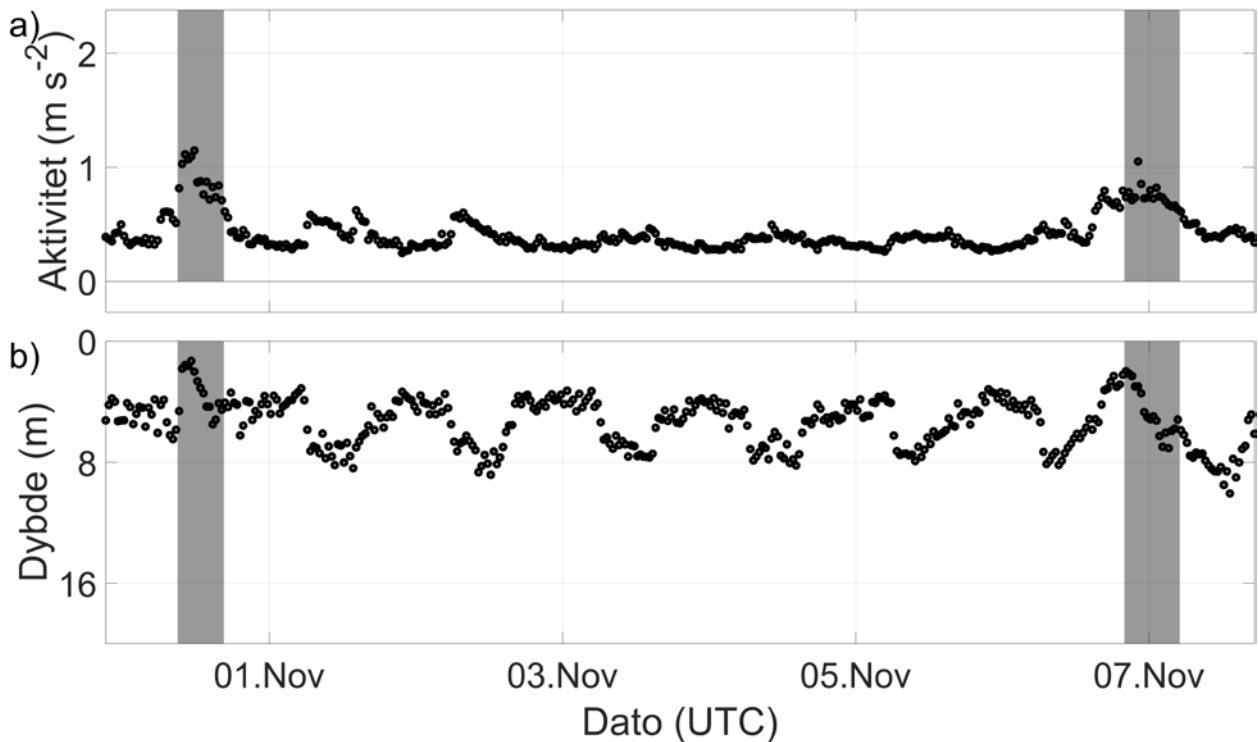
Snittaktiviteten til fiskegruppen gikk markant opp under første avlusning til verdier over 1 m s^{-2} , mens svømmedybden forflyttet seg nærmere overflaten. Dette ser en enda tydeligere dersom en fokuserer på denne avlusningsperioden i mer detalj (Figur 8).



Figur 8: Snittdata for fiskegruppen under avlusning 1. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overføring til ny merd.

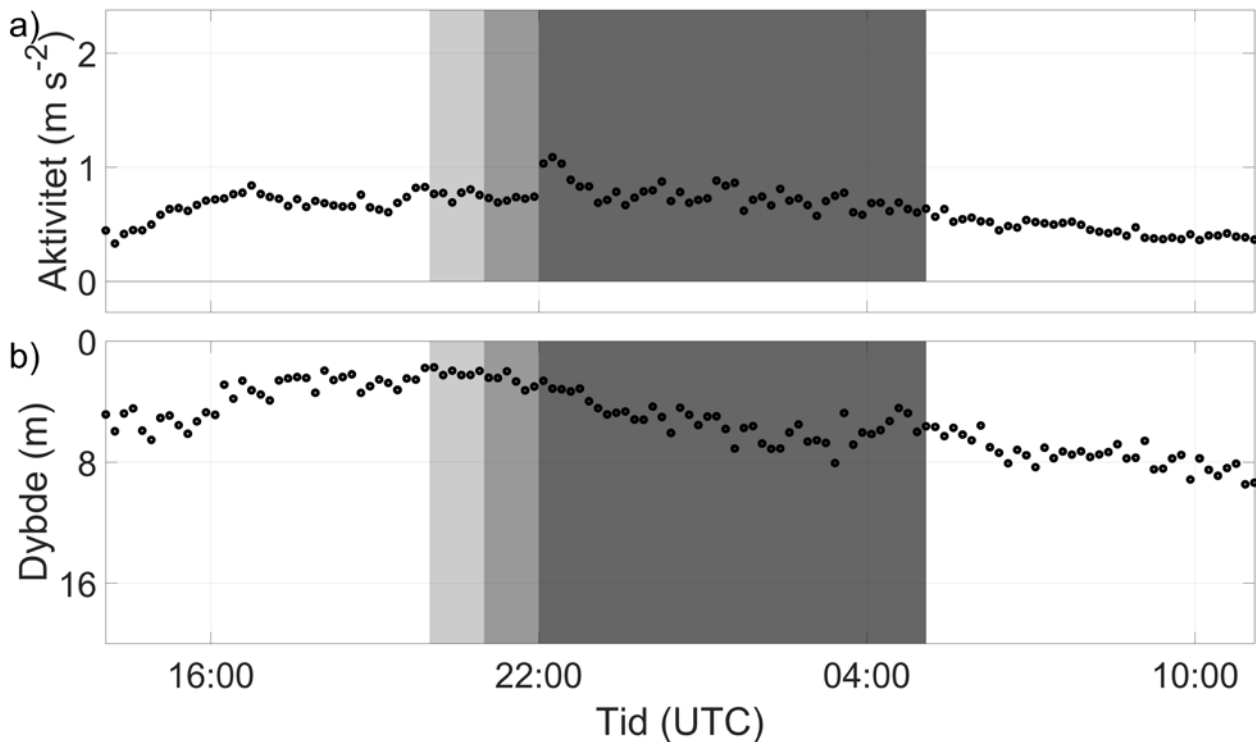
Gjennomsnittlig aktivitet hos fiskegruppen antok verdier som oversteg det intervallet som typisk var observert før første avlusning (0.14 og 0.7 m s^{-2}) allerede ved første opplining (notvegg på 7 m), mens forflytningen av svømmedyp mot overflaten skjedde gradvis ettersom fiskegruppen ble trengt nærmere overflaten (Figur 8). Årsaken til at registrerte svømmedyp går mot stadig høyere verdier (økt svømmedyp) under avlusningsperioden (den mørkeste gråfargen i Figur 8), ligger i at fisken ble flyttet til en ny merd som ikke var linet opp etter å ha blitt behandlet mot lus, og dermed fritt kunne velge svømmedyp så snart de var ferdigbehandlet. Siden de merkede individene ble avluset på forskjellige tidspunkt innenfor avlusningsperioden, er det derfor naturlig at snittdypet gikk gradvis ned under avlusningsperioden.

I perioden mellom første og andre avlusning var gjennomsnittlig aktivitet for fiskegruppen lavere enn både før og under første avlusning, men virket å utvise noe av den samme døgnvariasjonen som før avlusningen (dvs. lavere om natten enn dagen), dog med lavere amplitude (Figur 7, Figur 9). Trender i dybde data for samme periode virket ikke å være merkbart annerledes enn i perioden før avlusning, og utviste også variasjonsmønstre med dag-natt-syklus (Figur 9).



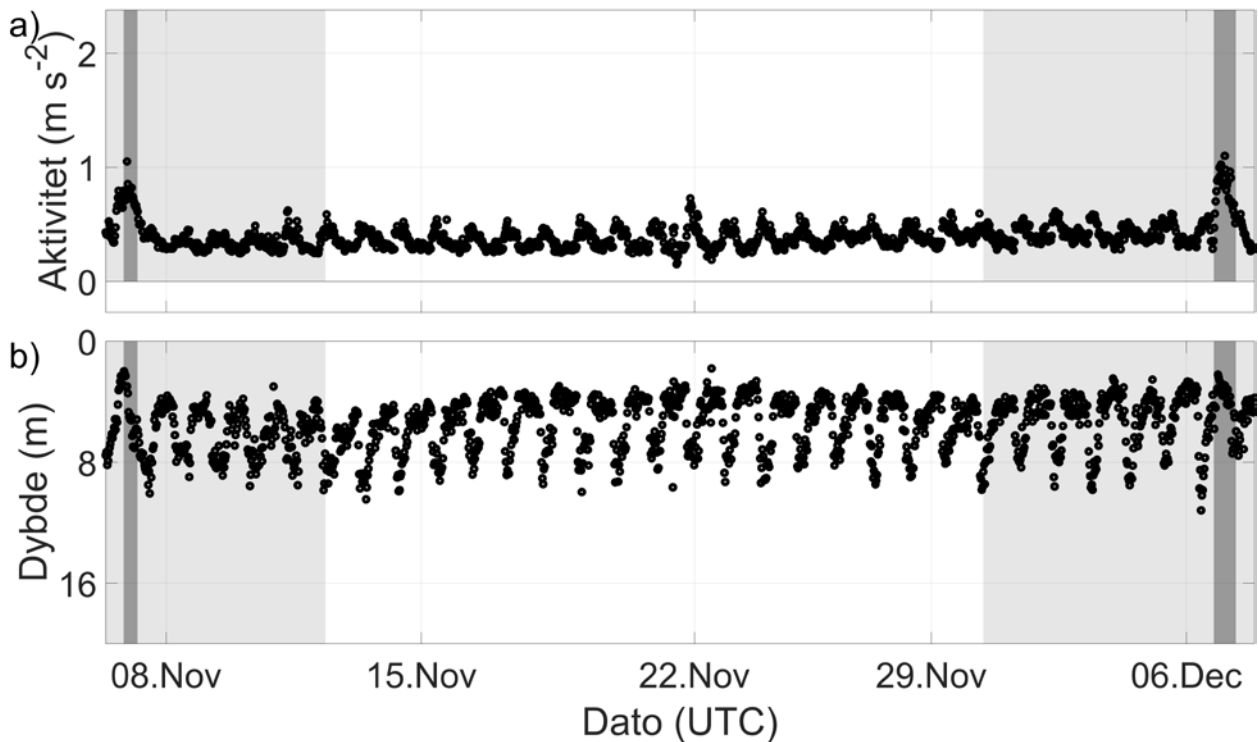
Figur 9: Snittdata for fiskegruppen i perioden 31. oktober til 8. november. Sorte sirkler representerer snitt på halvtimesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

Fiskegruppen utviste i snitt samme generelle mønster under den andre avlusningen som i første avlusning med at aktivitetsnivået gikk opp, og at de svømte noe nærmere overflaten (Figur 10). Responsen i form av både aktivitetsnivå og vertikaldynamikk var betydelig mindre markant enn ved første avlusning (Figur 8), men virket å starte en stund før selve trengingen og ha noe lengre varighet (Figur 10).



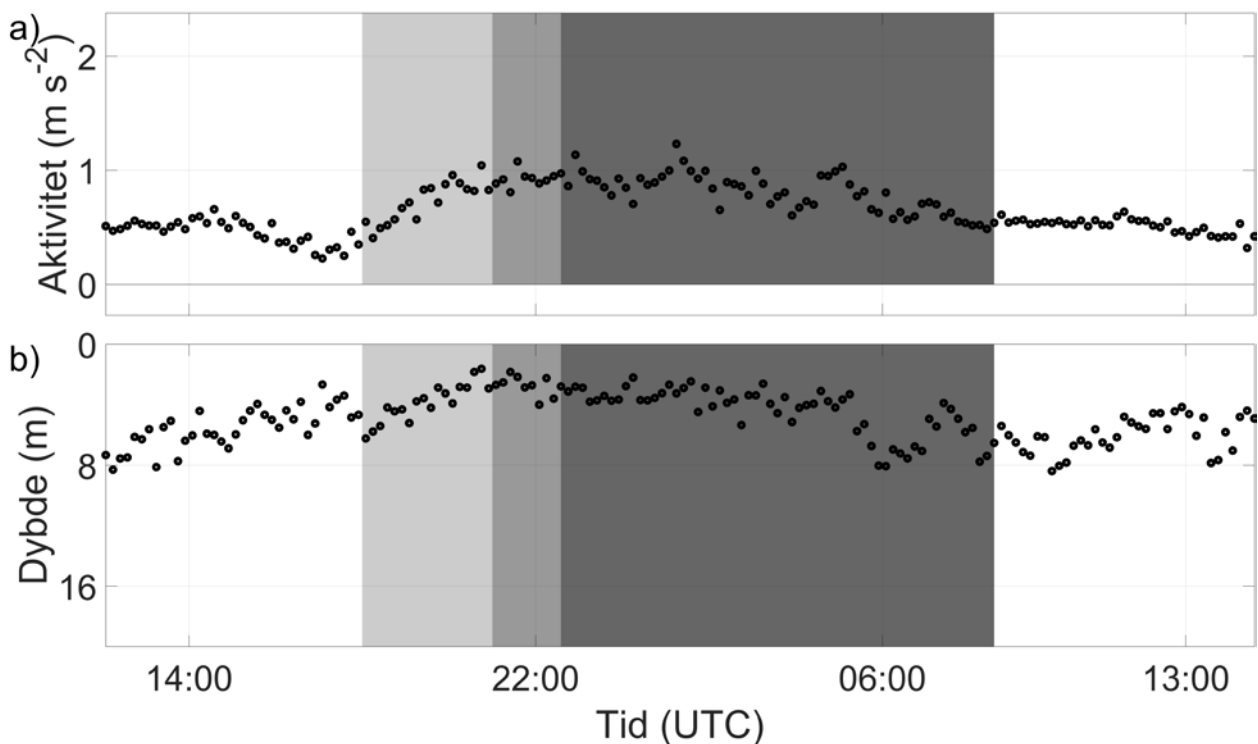
Figur 10: Snittdata for fiskegruppen under avlusning 2. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overføring til ny merd.

Mellom andre og tredje avlusning gjenopptok fiskegruppen samme sykliske mønstre i aktivitet og dybbedynamikk som før første avlusning, med høyere aktivitet/dypere svømming på dagtid enn om natten (Figur 11). I de første dagene etter avlusningen var imidlertid aktivitetsnivået markant lavere enn før avlusningene begynte, og variasjonene derfor mindre tydelige. Etter noen dager økte aktivitetsverdiene igjen, og stabiliserte seg på et nivå, og med en variasjon som liknet det som ble registrert mellom de første to avlusningene. Snittdybdeverdiene indikerte noe dypere svømming i dagene like etter avlusning 2 enn ellers, men fortsatt med syklisk dag-natt-variasjon. Etter noen dager begynte fiskegruppen å svømme litt nærmere overflaten i snitt, hvilket gjorde trendene i dybdedata mer like det en så i perioden før første avlusning og mellom de to første avlusningene (Figur 11).



Figur 11: Snittdata for fiskegruppen i perioden 7. november til 7. desember. Sorte sirkler representerer snitt på halvtimesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulterperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

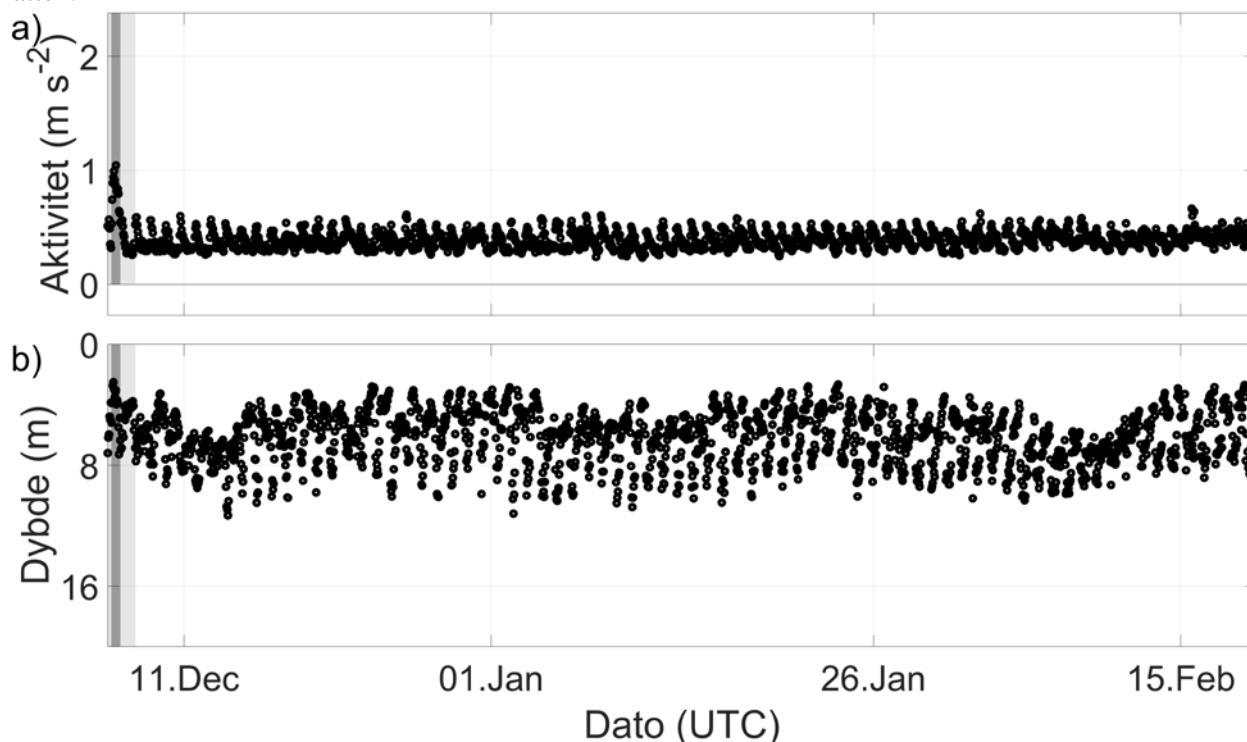
Trenden i aktivitetsnivå under tredje avlusning var likt det som oppstod på de to første avlusningene, med økt gjennomsnittlig aktivitetsnivå (Figur 12). Også her var fiskegruppen generelt noe nærmere overflaten enn i forkant av operasjonen, men med mindre utslag enn under de foregående operasjonene.



Figur 12: Snittdata for fiskegruppen under avlusning 3. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining

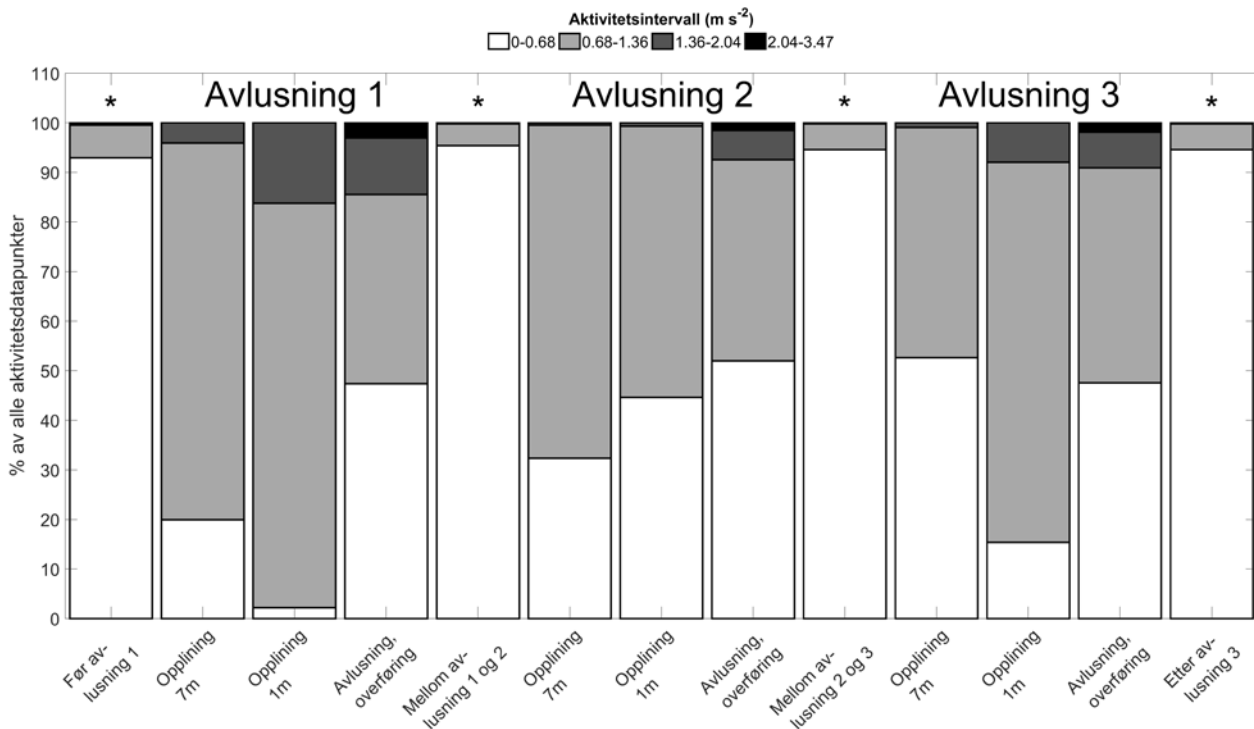
(notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overføring til ny merd.

Etter den tredje avlusningen gjenopptok fiskegruppen samme trender i gjennomsnittlig aktivitetsnivå som før første avlusning og i periodene mellom avlusningsoperasjonene med døgnvariasjoner som holdt seg mellom 0.14 og 0.7 $m s^{-2}$ i aktivitetsverdi (Figur 13). Det samme gjaldt gjennomsnittlig svømmedyp som varierte mellom 5 og 10 m, med dypere svømming på dagtid enn om natten.



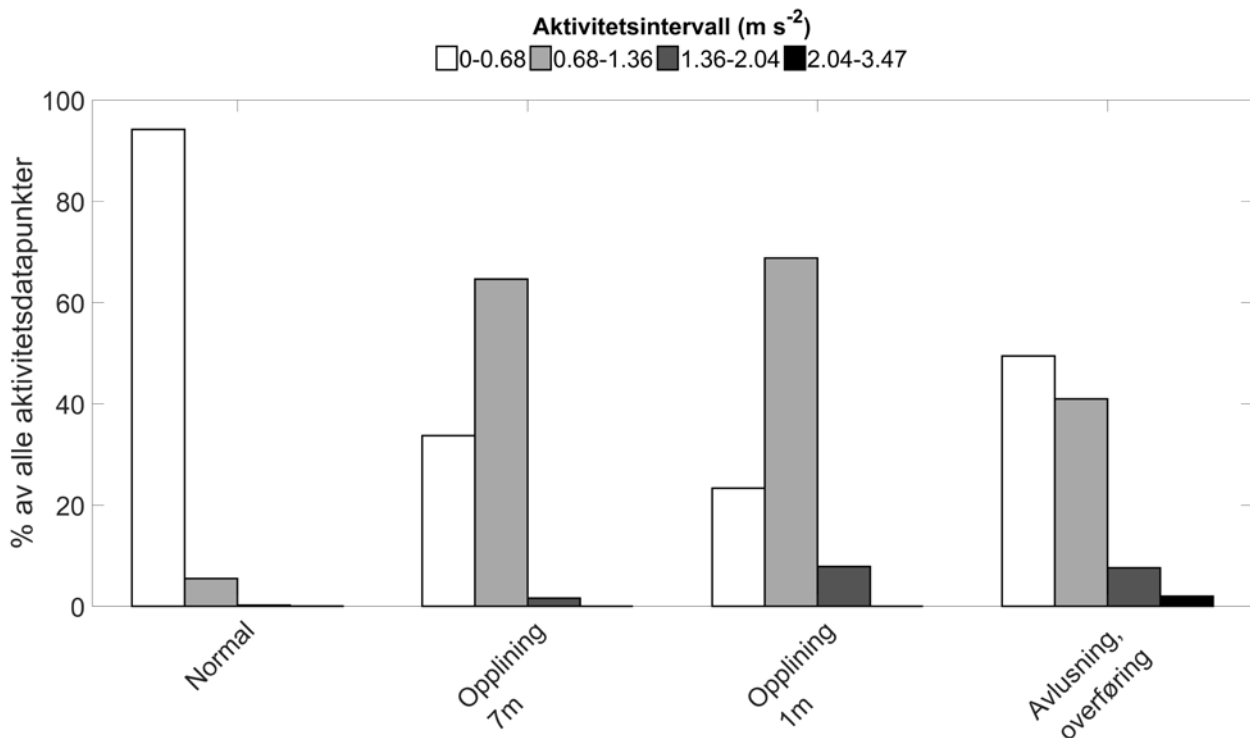
Figur 13: Snittdata for fiskegruppen i perioden 6. desember til 21. februar. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulterperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

Disse trendene er også synlige dersom en fordeler alle dataverdiene for alle fasene gjennom forsøksperioden i kategoriene lav (0.0-0.68 $m s^{-2}$), middels (0.68 og 1.36 $m s^{-2}$), høy (1.36 og 2.04 $m s^{-2}$) og veldig høy (2.04-3.47) aktivitet (Figur 14).



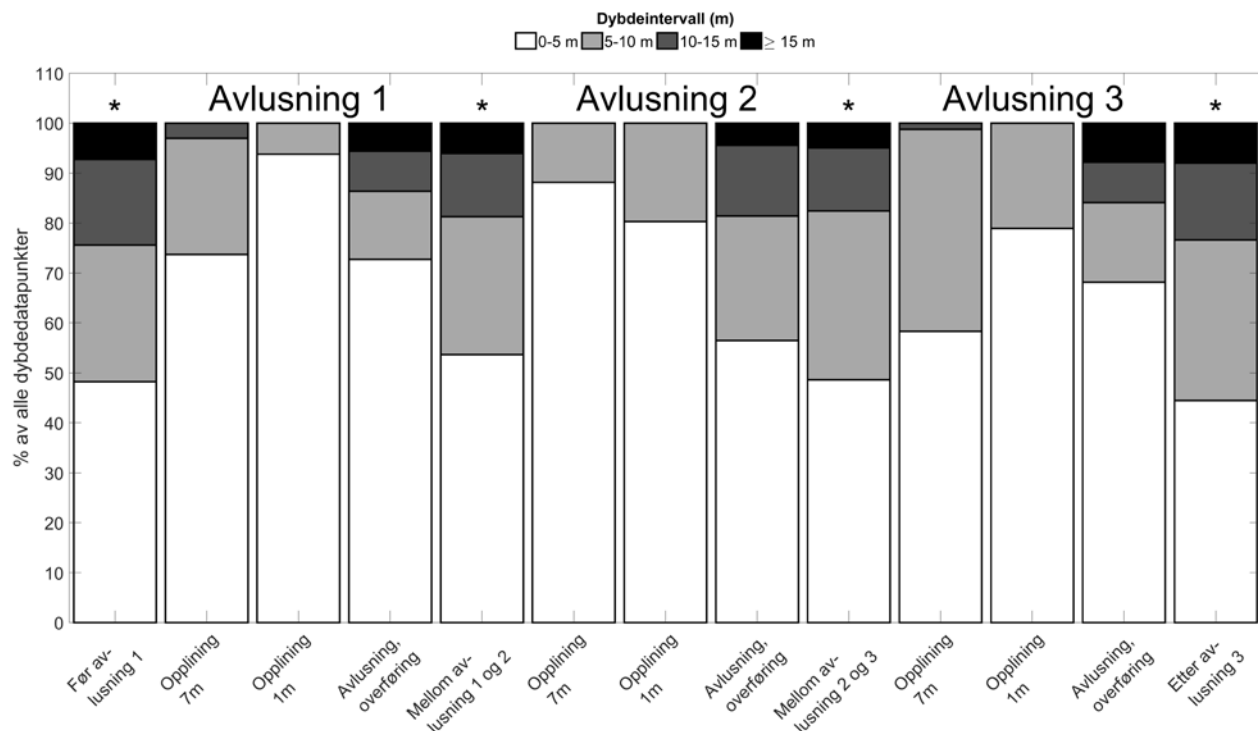
Figur 14: Fordeling av alle aktivitetsdatapunkter for fiskegruppen mellom lavt ($0.0-0.68 \text{ m s}^{-2}$), middels ($0.68-1.36 \text{ m s}^{-2}$), høyt ($1.36-2.04 \text{ m s}^{-2}$) og veldig høyt ($2.04-3.47 \text{ m s}^{-2}$) aktivitetsnivå. Data er fordelt mellom perioder der fisken ikke påvirkes av avlusningsoperasjoner (før første avlusning, mellom avlusningene, og perioden etter siste avlusning, markert med *) og de forskjellige fasene innen avlusning 1, 2 og 3 (opplining 7 m, opplining 1 m, avlusning og overføring).

Den generelle trenden en kan dra ut fra dette er at det er betydelige forskjeller mellom periodene utenom operasjoner (før første avlusning, mellom avlusningene og etter siste avlusning), periodene der notveggen ble hevet til 7 m, periodene der notveggen ble hevet til 1 m og periodene der fiskegruppen ble avlusert og overført til ny merd. Spesielt i periodene der fisken ble trent før avlusning var andelen datapunkter i middels til høy aktivitetskategori vesentlig høyere enn ellers. Den høyeste andelen datapunkter i veldig høy aktivitetskategori oppstod under periodene med avlusning og overføring til ny merd. Dette kan en også se om en aggregerer data for hver periodetype (Figur 15).



Figur 15: Fordeling av alle aktivitetsdatapunkter for fiskegruppen mellom lavt (0.0-0.68 m s⁻²), middels (0.68-1.36 m s⁻²), høyt (1.36-2.04 m s⁻²) og veldig høyt (2.04-3.47 m s⁻²) aktivitetsnivå. Data er aggregert for alle perioder utenom avlusningsoperasjoner ("Normal"), perioder der nota er opplint til 7 m og 1 m, og periodene der fisken utsettes for trenging/avlusning/overføring til ny merd.

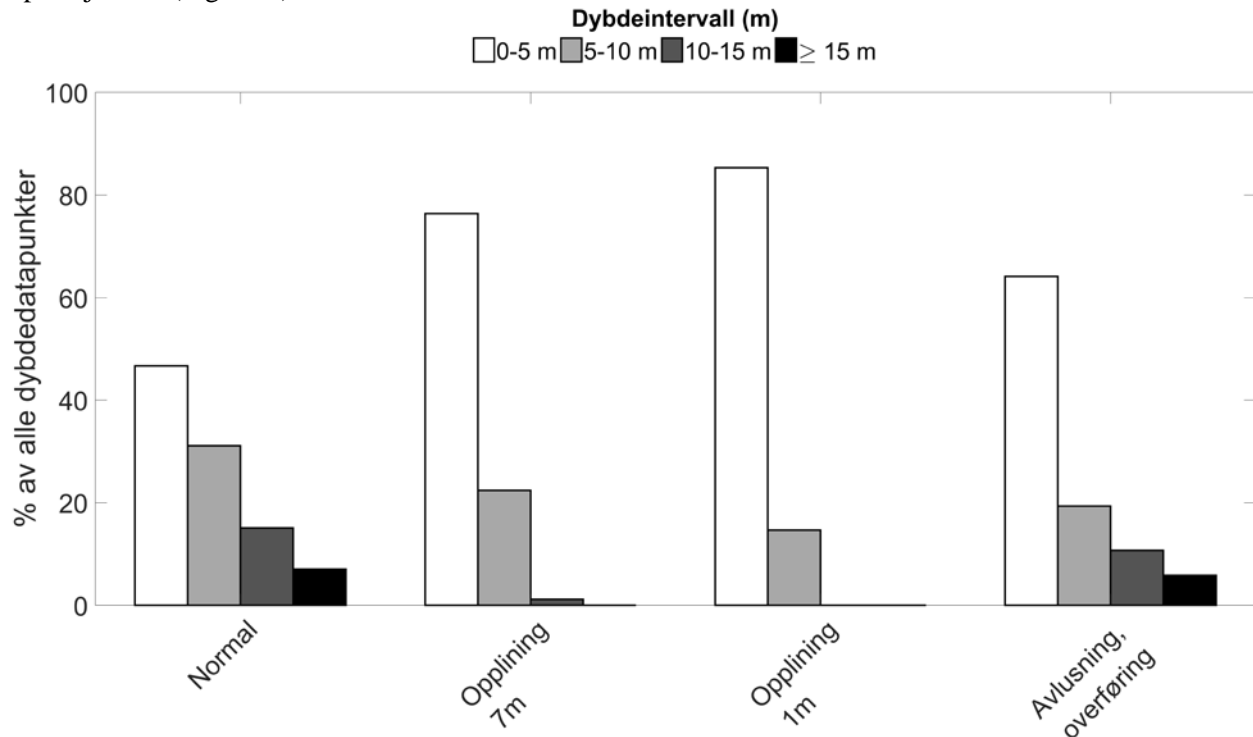
En tilsvarende fordeling av dybdemålinger mellom grunn (0-5 m), medium (5-10 m), dyp (10-15 m) og veldig dyp (≥ 15 m) sone gav ikke like tydelige resultater som for aktivitet, men antydnet at fiskegruppen i snitt svømte noe grunnere under trenging og avlusning i alle tre operasjonene enn ellers (Figur 16).



Figur 16: Fordeling av alle dybde datapunkter for fiskegruppen mellom grunn (0-5m), medium (5-10m), dyp (10-15) og veldig dyp (≥ 15 m) sone. Data er fordelt mellom perioder der fisken ikke påvirkes av avlusningsoperasjoner (før første avlusning, mellom avlusningene, og perioden etter siste

avlusning, markert med *) og de forskjellige fasene innen avlusning 1, 2 og 3 (opplining 7 m, opplining 1 m, avlusning og overføring).

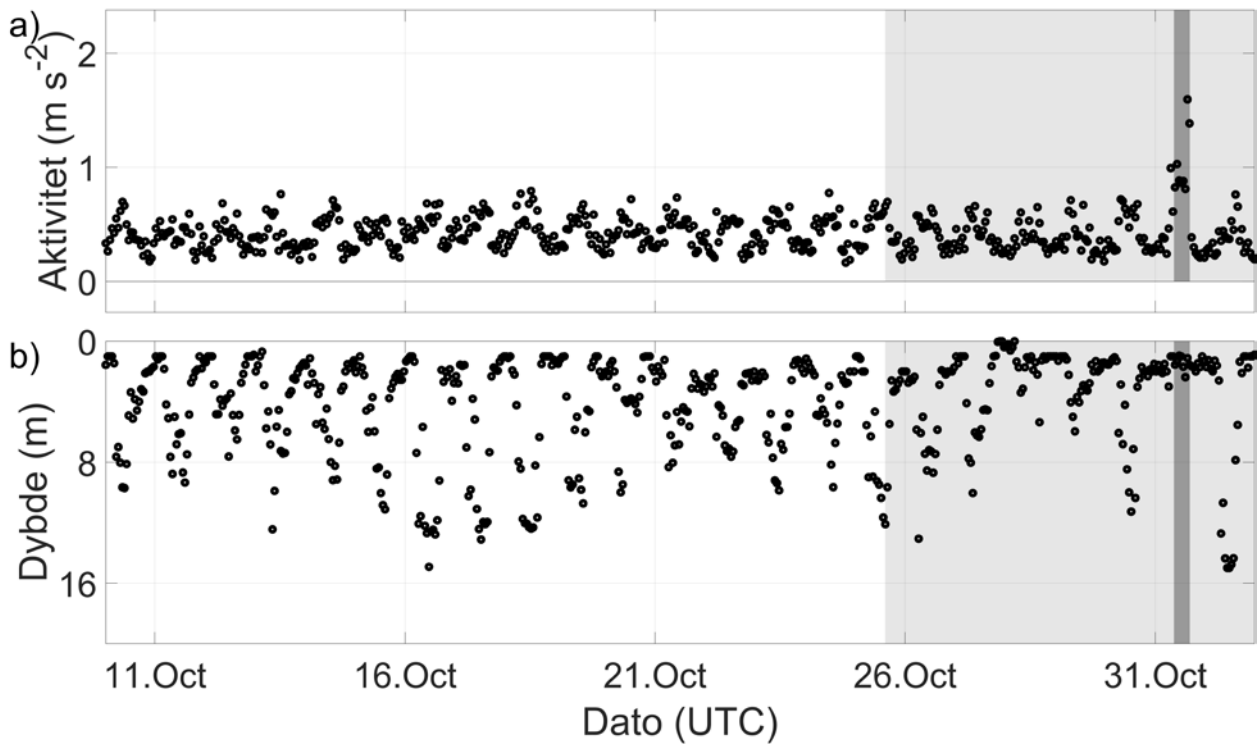
En finner samme trenden i dybde data dersom en aggregerer alle data fra de forskjellige fasene i alle operasjonene (Figur 17).



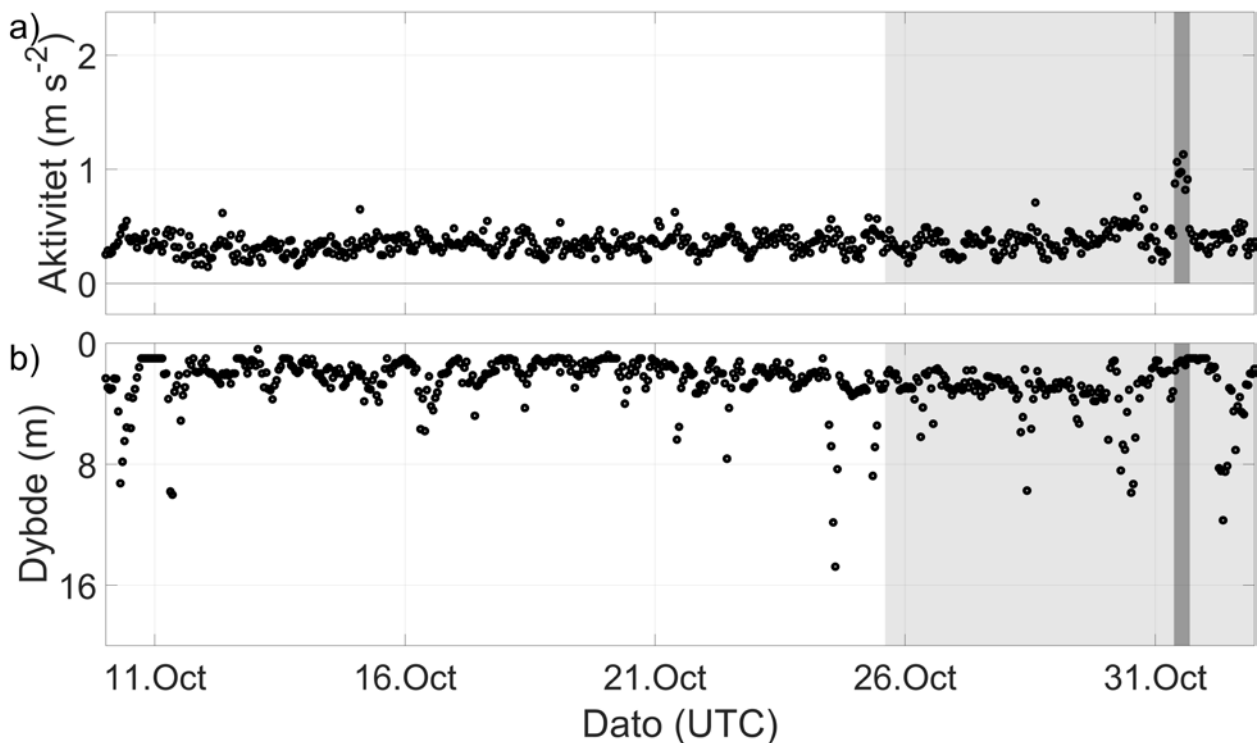
Figur 17: Fordeling av alle dybde datapunkter for fiskegruppen mellom grunn (0-5m), medium (5-10m), dyp (10-15) og veldig dyp (≥15m) sone. Data er aggregert for alle perioder utenom avlusningsoperasjoner ("Normal"), perioder der nota er opplint til 7 m og 1 m, og periodene der fisken utsettes for trenging/avlusning/overføring til ny merd.

4.1.4 Individresponser før under og etter avlusninger

Før første avlusning viste alle individfisker samme mønster i aktivitet som en så på snittverdiene for fiskegruppen med høye verdier på dagtid og lave verdier på nattetid (eks.: Figur 18 a), selv om denne dynamikken var mindre utpreget hos noen individer (eks.: Figur 19 a). I likhet med snittverdiene for hele fiskegruppen (Figur 7), holdt aktivitetsnivået seg stort sett under 0.6795 m s^{-2} for alle individfisk i denne perioden. Det var vesentlig større variasjon mellom individene i dybde trender, og mens noen individer fulgte mønsteret med dypere svømming på dagen enn om natten som en kunne se i snittdata for alle merkede fisk, utviste andre individer motsatt dynamikk med dypere svømming på natt enn om dagen. Likeledes var det variasjoner i hvilket dybdeintervall individfiskene benyttet. Mens noen individer kunne bevege seg gjennom hele vannsøylen (dybdeverdier 0-15) i løpet av en dag (eks.: Figur 18 b), virket det som om andre individfisk nesten utelukkende oppholdt seg i de grunneste (verdier 0-5) eller dypeste (verdier 8-15) delene av merden i denne perioden (eks.: Figur 19 b).

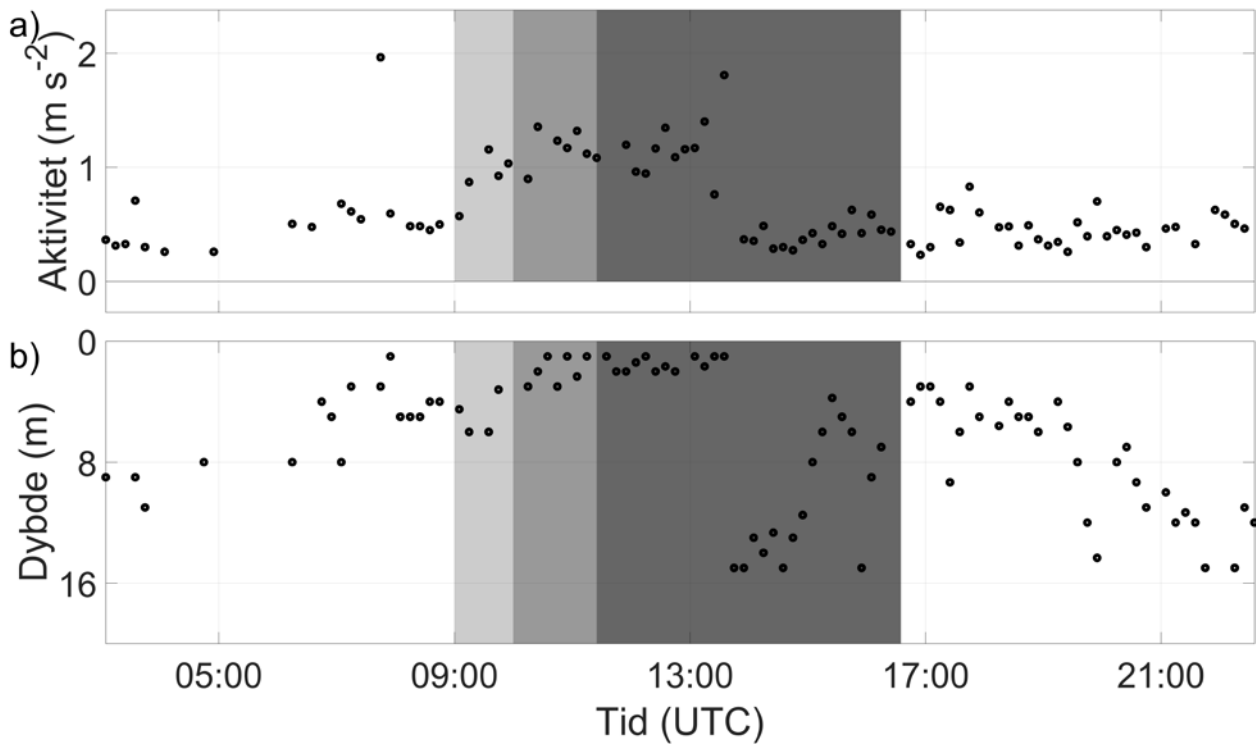


Figur 18: Data for individfisk 192 i perioden 10. oktober til 1. november. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulteperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

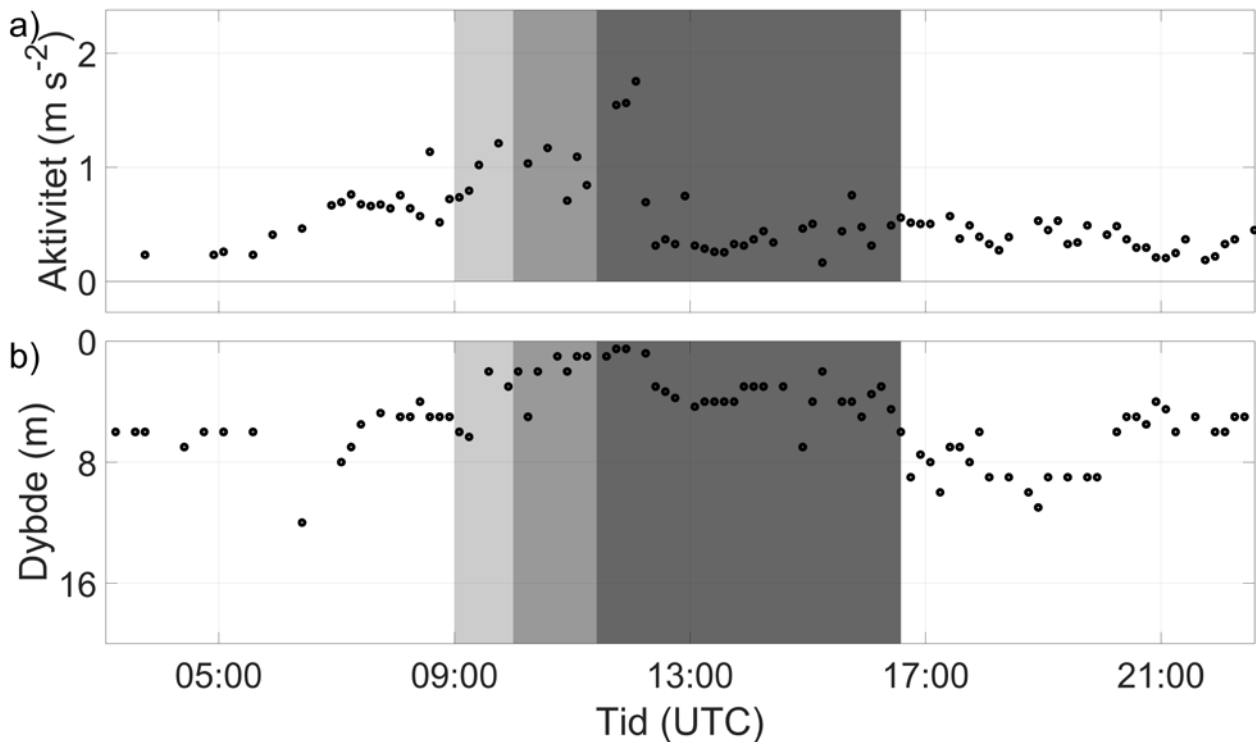


Figur 19: Data for individfisk 201 i perioden 10. oktober til 1. november. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulteperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

I likhet med samlede data for fiskegruppen rapporterte også alle individer hver for seg tydelig høyere aktivitetsnivå **under første** avlusning enn i perioden før operasjonen (eks.: Figur 20 og Figur 21 a).



Figur 20: Data for individfisk 183 under avlusning 1. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overførsel til ny merd.

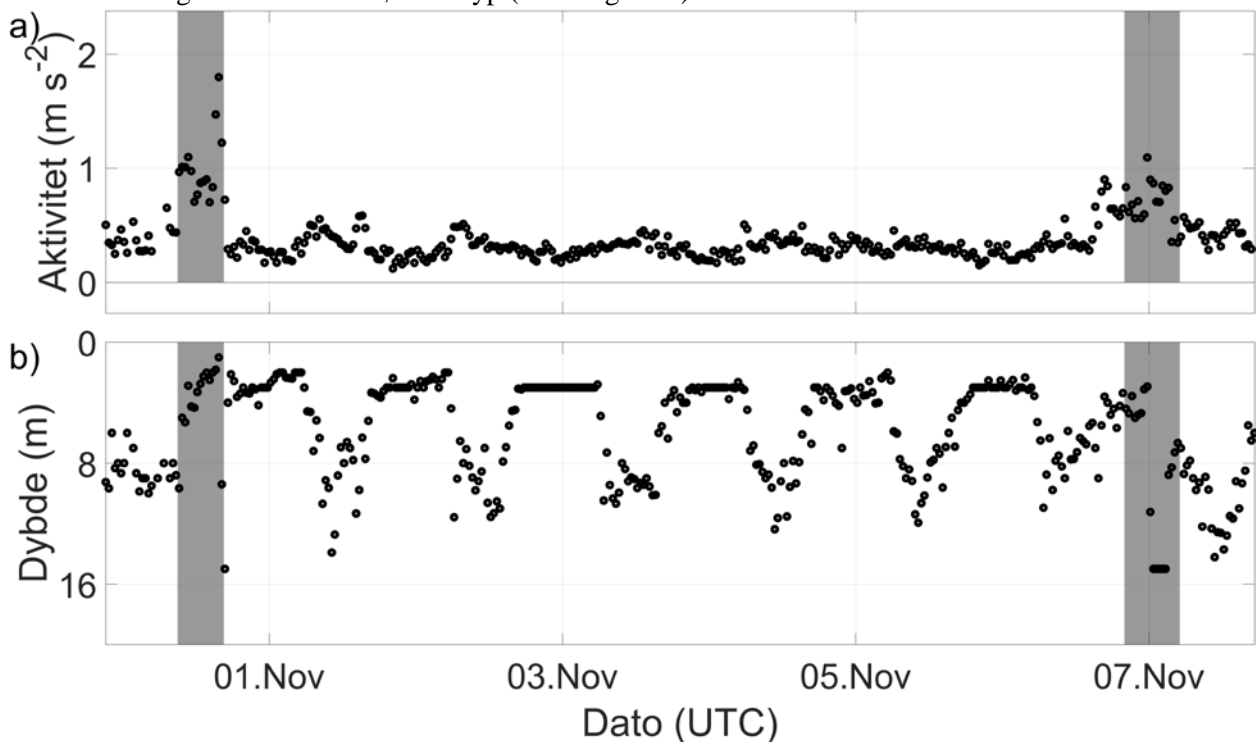


Figur 21: Data for individfisk 207 under avlusning 1. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overførsel til ny merd.

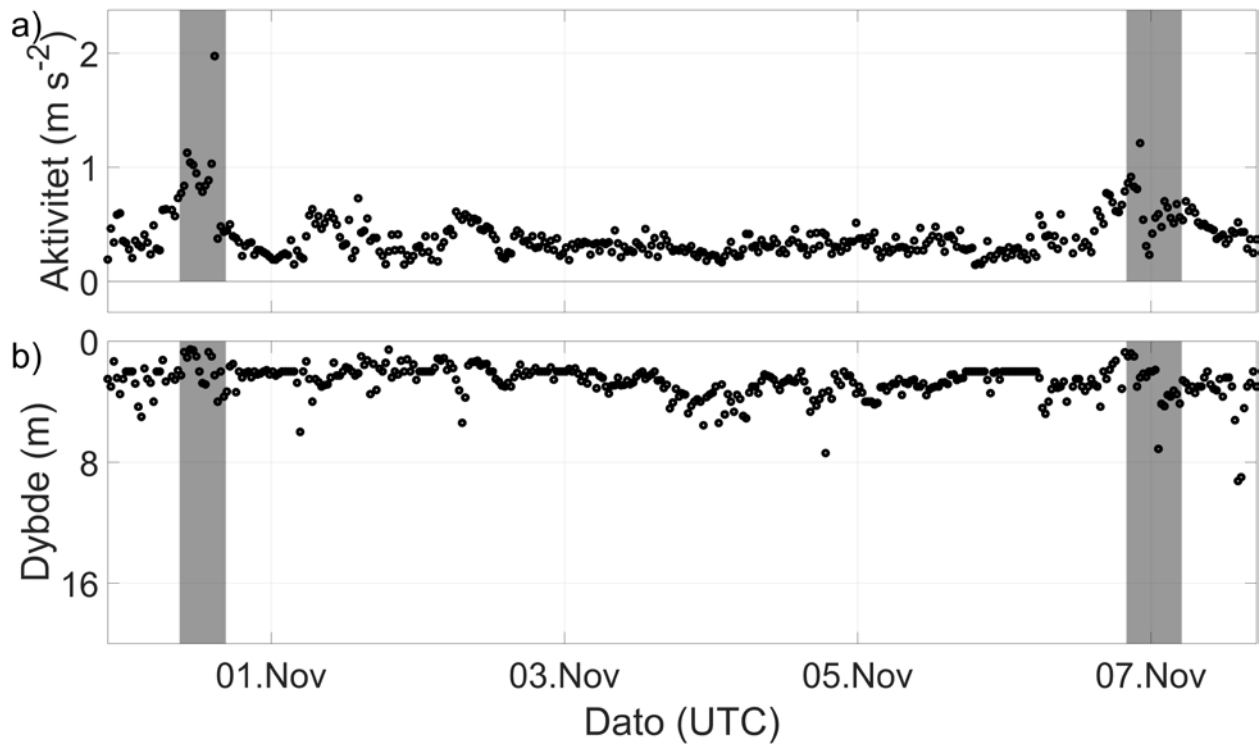
Individdata på svømmedyp for første avlusning viste samme trend som i gruppedata med at fisken generelt svømte nærmere overflaten underveis i oppliningen (eks.: Figur 20 og Figur 21 b).

En datatrend hos individfisk var at målt aktivitetsnivå gradvis økte gjennom opplingsprosessen og inn i perioden der all fisken ble trengt, avluset og overført. Denne økningen kulminerte så i en toppverdi (typisk på over 1.0 m s^{-2}), før aktivitetsnivået umiddelbart sank til en vesentlig lavere verdi igjen. Dette mønsteret kunne en se hos alle individer under den første avlusningen (eks.: Figur 20 og Figur 21 a). For flere individer (52% av merket populasjon) ble dette mønsteret også akkompagnert av en trend i svømmedyp der fisken brått gikk fra å svømme nær overflaten til å rapportere svømmedyp som var betydelig dypere enn dybden de svømte på før operasjonen startet samtidig som aktivitetsparameteren ble rapportert å nå sitt maksimum (eks.: Figur 20 b). Det fantes imidlertid andre individer som kun utviste dynamikken innen aktivitet uten betydelige endringer i svømmedyp (eks.: Figur 21 a).

Mens flere av individfiskene i perioden **mellom første og andre** avlusning gjenopptok samme atferdsmønstre som før første avlusning med døgnvariasjoner i både aktivitet og dybde (eks.: Figur 22), viste andre individer en tendens til mindre variasjon i begge parametere ofte i form av generelt lavt aktivitetsnivå og mer konstant svømmedyp (eks.: Figur 23).

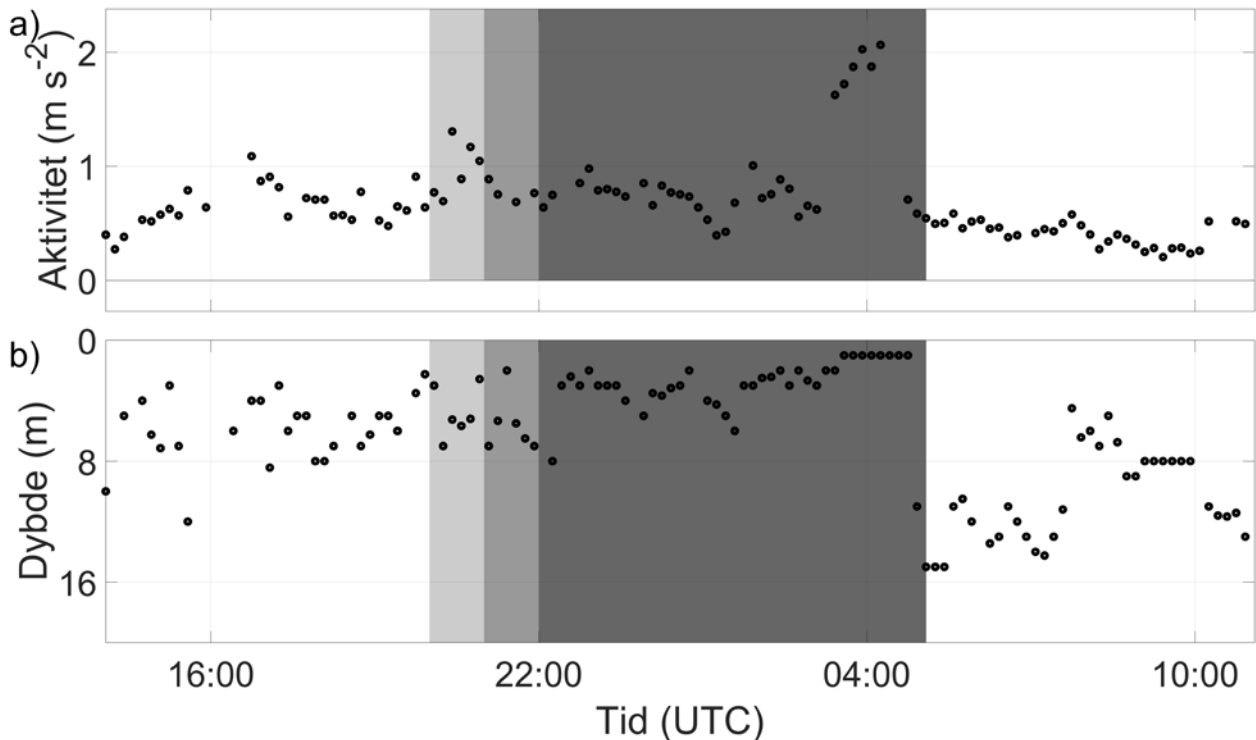


Figur 22: Data fra individfisk 222 i perioden 31. oktober til 8. november. Sorte sirkler representerer snitt på halvtimesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.



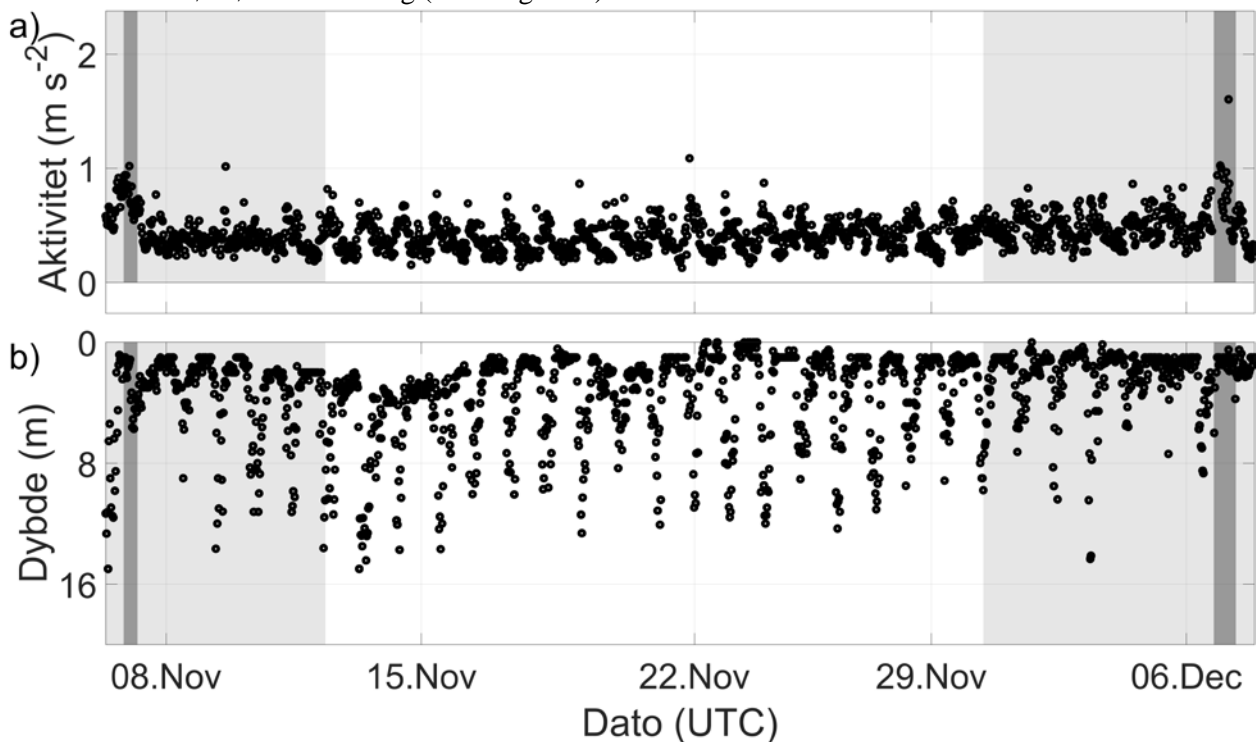
Figur 23: Data fra individfisk 186 i perioden 31. oktober til 8. november. Sorte sirkler representerer snitt på halvtimesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Mørk grå bakgrunn representerer trening/avlusningsoperasjoner.

I likhet med de aggregerte data for hele gruppen med merkede fisk var individresponsen **under andre** avlusning lik responsen under første avlusning, men med noe lavere utslag i både aktivitet og dybde. Alle individene hadde en tydelig topp i aktivitetsverdien under fasen med trenging, avlusning og overføring til ny merd, som i de fleste tilfeller (69% av merket fisk) inntraff samtidig med brå økninger i svømmedyp som (eks.: Figur 24).



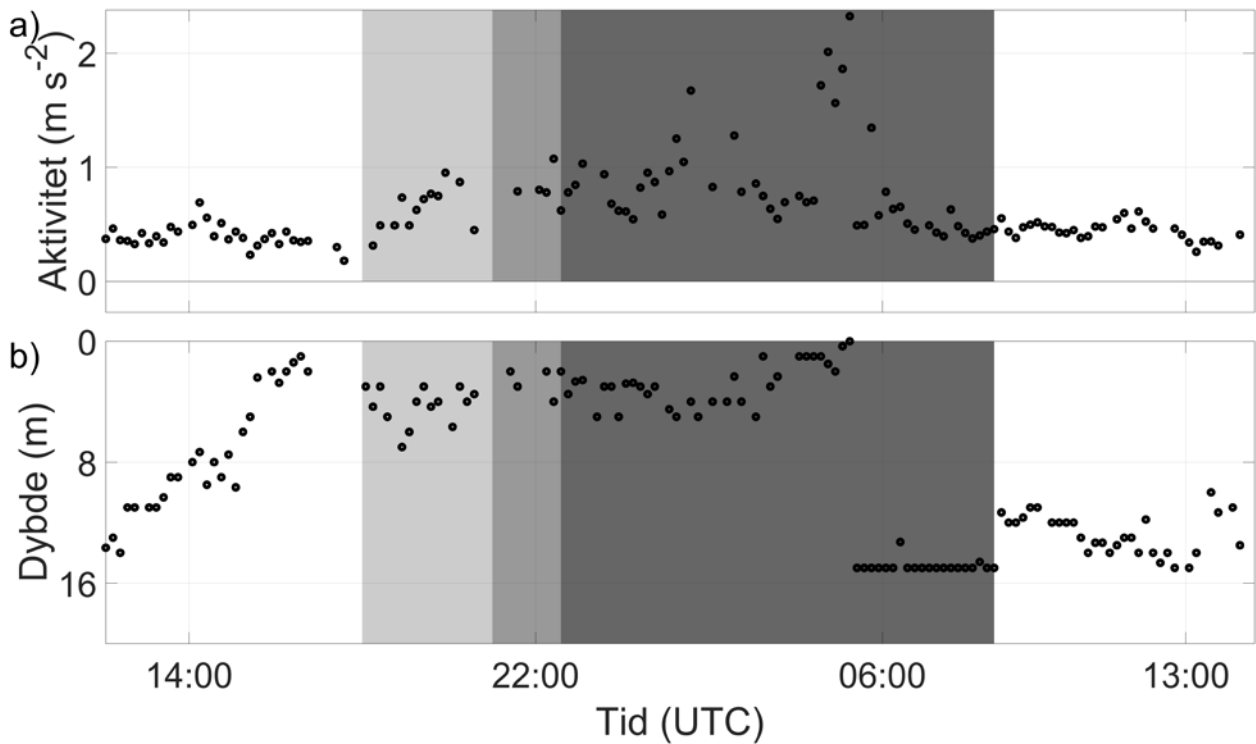
Figur 24: Data for individfisk 183 under avlusning 2. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overføring til ny merd.

Perioden **mellom andre og tredje avlusning** forløp seg ganske likt for individfiskene som for de samlede data, ved at mønstre med dag/natt variasjoner i aktivitet og dybde tok seg opp igjen, og etterhvert oppnådde et likt nivå som før første avlusning (eks.: Figur 25).



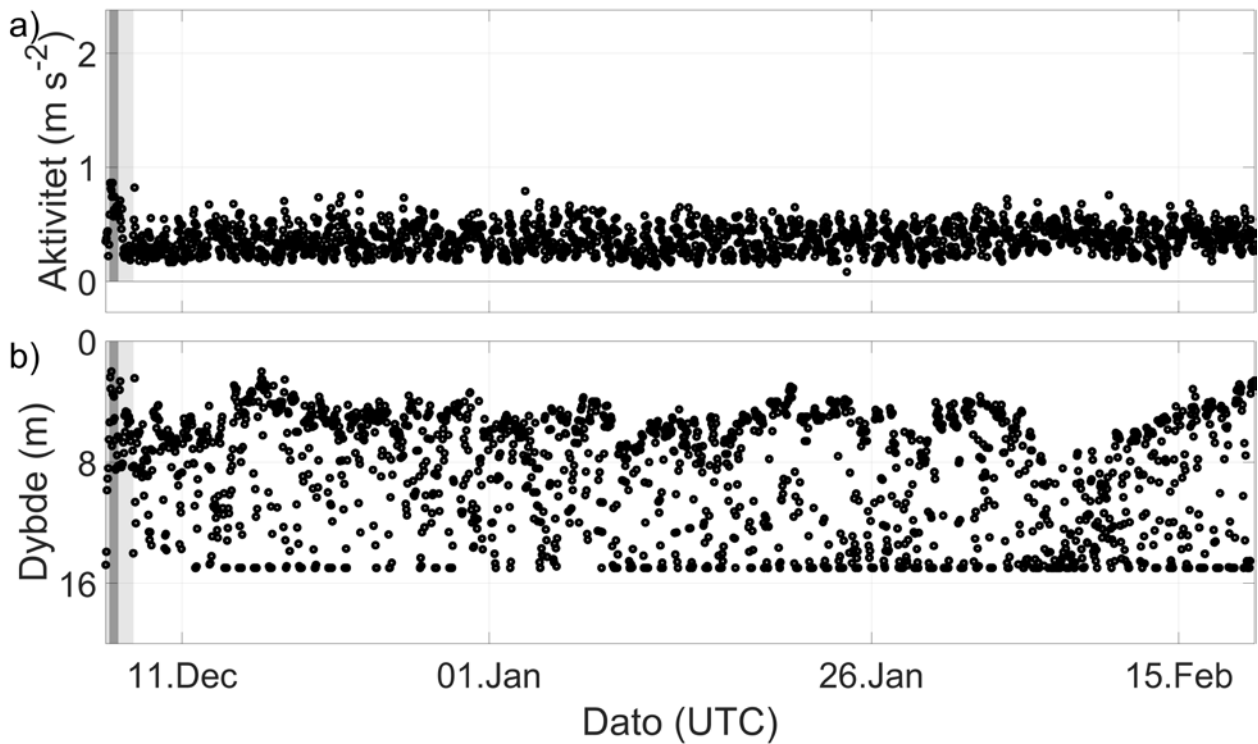
Figur 25: Data for individfisk 234 i perioden 7. november til 7. desember. Sorte sirkler representerer snitt på halvtimesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulteperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

Datatrendene på individnivå **under tredje avlusning** var i likhet med trendene i de aggregerte datasettene for hele fiskegruppen like de som oppstod under de to første avlusningene, med økt aktivitet og svømming nærmere overflaten. Flere individer (60%) utviste også mønsteret der aktiviteten økte mot en topp etterfulgt av et brått fall i aktivitetsnivå samtidig som fisken antok dypere posisjoner i merden (eks.: Figur 26).

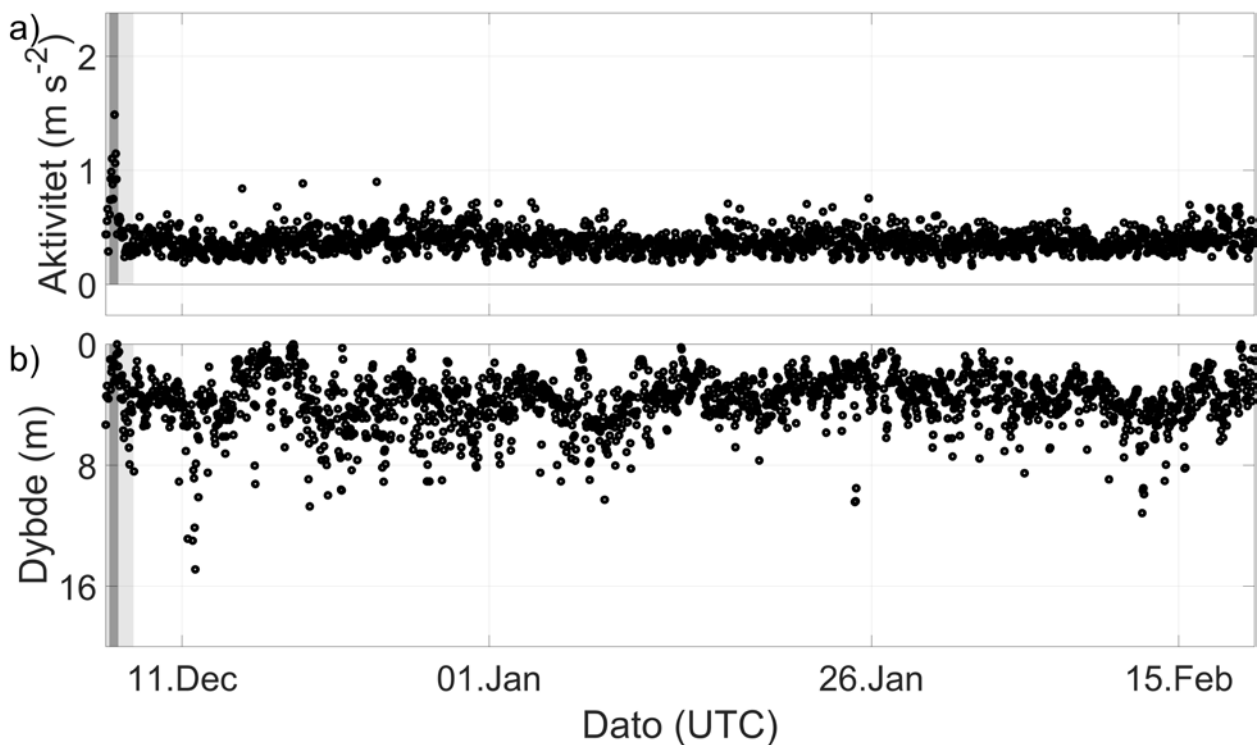


Figur 26: Data for individfisk 222 under avlusning 3. Sorte sirkler representerer snitt hvert 10. min. for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer første stadium av opplining (notvegg til 7 m), middels mørk grå andre stadium av opplining (notvegg til 1 m) mens mørkest grå representerer perioden der fisken utsettes for trenging, avlusning og overføring til ny merd.

Etter tredje avlusning gjenopptok individfiskene generelt de atferdsmønstrene de utviste i forkant av avlusningene. I noen tilfeller manifesterte dette seg som tydelige døgnvariasjoner i både aktivitet og svømmedyp, og av at fisken tidvis benyttet hele vanddypet i merden (eks.: Figur 27). Andre fisk hadde ikke like tydelige dag/natt-sykluser i atferd, og virket å foretrekke et smalere dybdeintervall (eks.: Figur 28).



Figur 27: Data for individfisk 198 i perioden 6. desember til 21. februar. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulteperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.



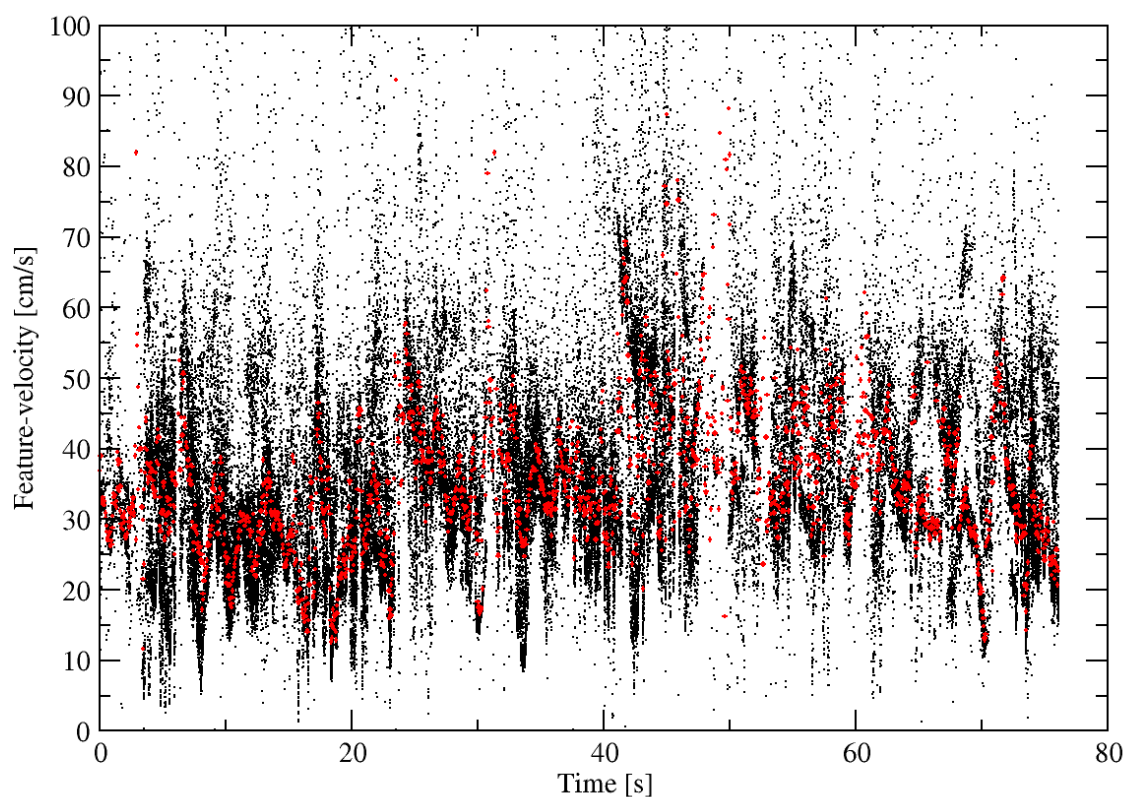
Figur 28: Data for individfisk 201 i perioden 6. desember til 21. februar. Sorte sirkler representerer snitt på timesbasis for a) aktivitet og b) dybde. Lys grå bakgrunn representerer sulteperiode, mens mørk grå bakgrunn representerer trenging/avlusningsoperasjoner.

4.2 Resultater fra maskinsyn

4.2.1 Svømmehastighet

Svømmehastigheter i 3D ble estimert basert på metodikken beskrevet i seksjon 3.5.2 lenger opp. 3D-posisjoner på trekk identifisert i begge bildene angitt i metriske mål (dvs. i cm relativt til kamerariggen) kunne sammen med bildefrekvens brukes til å utlede 3D-hastighet i cm s^{-1} for disse trekkene for det valgte tidspunkt. Bildefrekvensen vil typisk variere mellom opptak (18-28 bilder per sekund), primært avhengig av lysmengden (svakt lys gir lav bilderate). Denne utregningen resulterer i at en for hvert tidspunkt i videoen regner ut hastighetene til alle trekk som har blitt detektert i bildet, som så kan plottes opp mot tid (Figur 29).

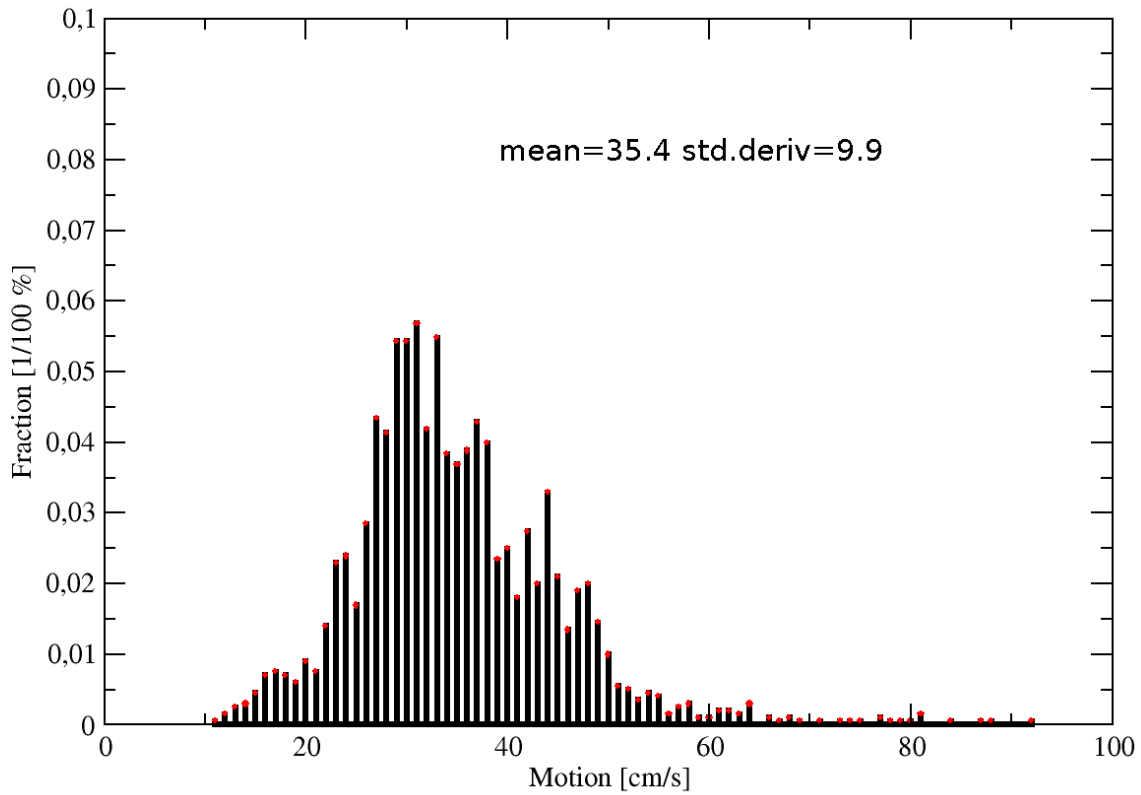
Feature Speed Scatterplot 20161029_120001 (26.8701 frames/s)



Figur 29: Plott av rådata fra maskinsynalgoritme for å regne ut bevegelsehastighet fra et videoklipp på noe over 1 min. Horizontal akse angir tid i s, mens vertikal akse viser hastigheten til detekterte trekk i bildet. Hvert sorte punkt markerer hastigheten til ett trekk, mens de røde punktene viser medianhastigheten til alle trekk for hvert tidspunkt.

På grunn av at disse data inkluderer flere trekk og dermed hastigheter per tidspunkt og har veldig høy tidsoppløsning (1/18-1/28 sek mellom hvert tidspunkt), vil det være mer gunstig å se på aggregerte data fra denne videoen, eksempelvis som en histogramfordeling av medianverdiene i hele dataserien (Figur 30).

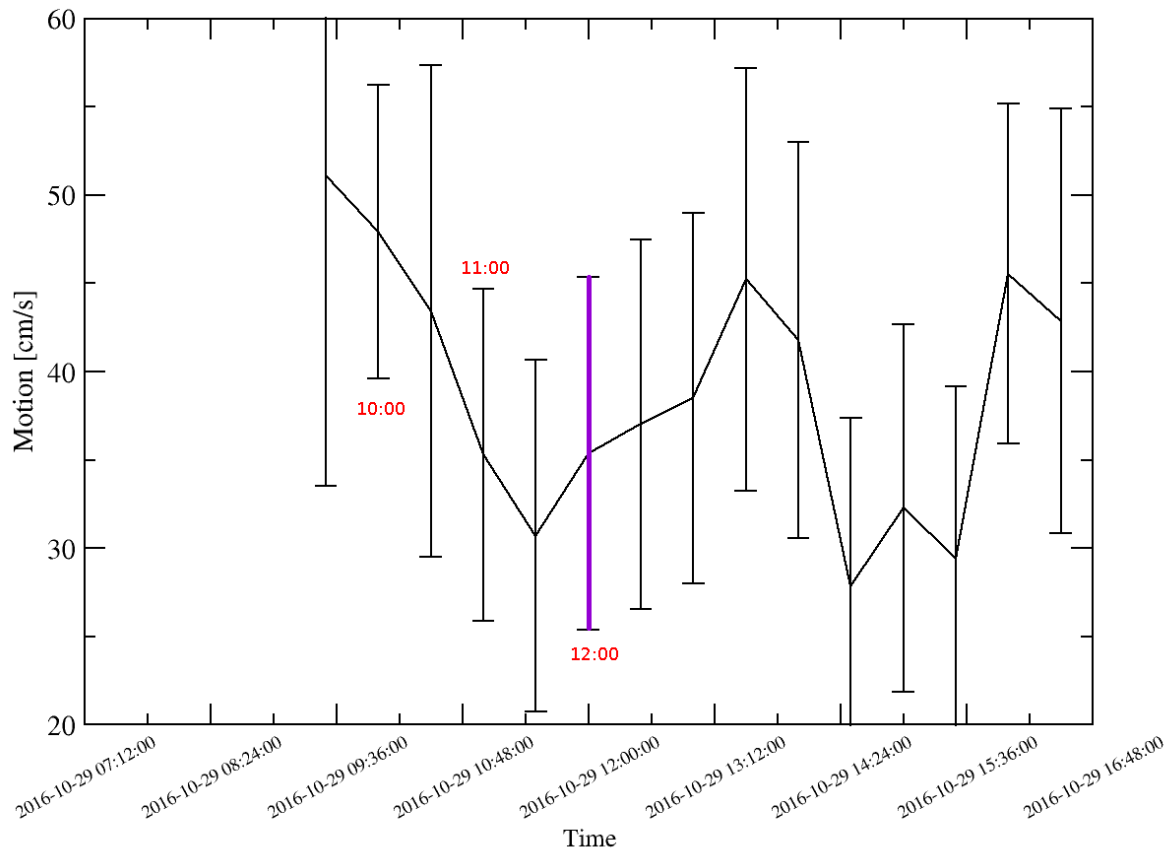
Median Feat.Speed Distribution: 20161029_120001 (26.8701 frames/s)



Figur 30: Histogramfordeling av medianverdiene fra tidsserien i Figur 29.

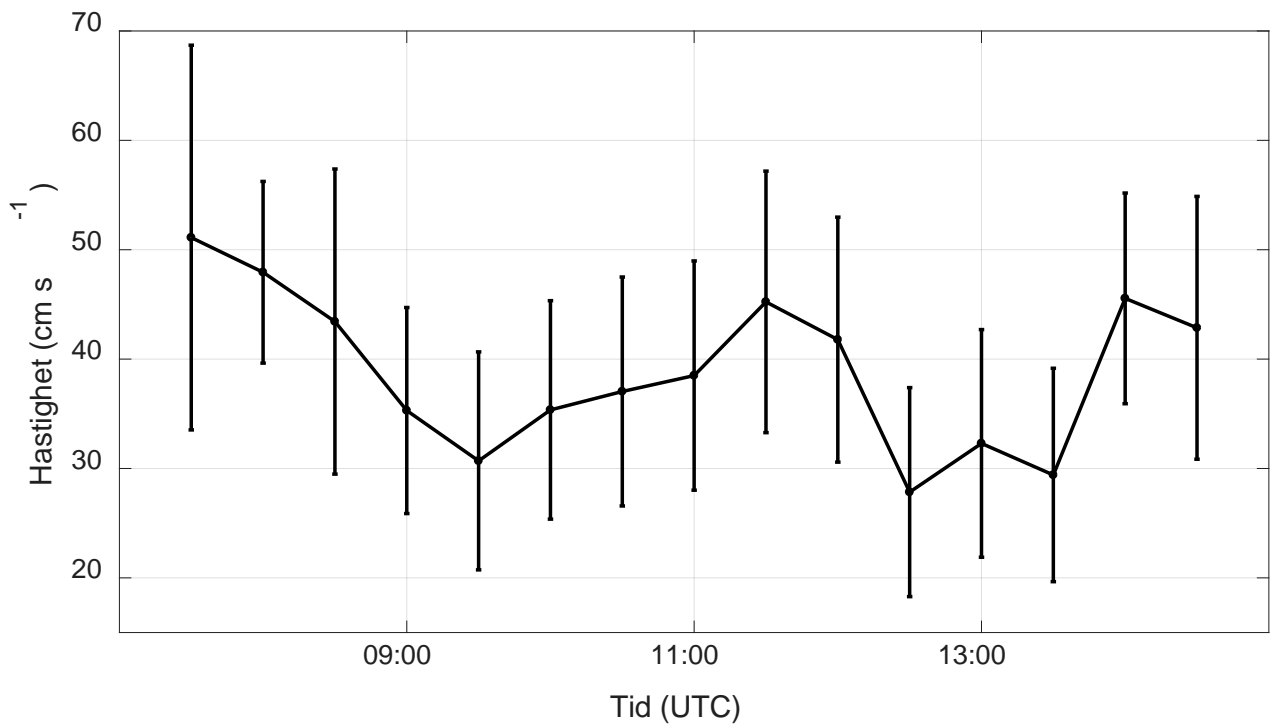
Fra dette histogrammet kan en så finne snittverdien (35.4 cm s^{-1}) og standardavviket (9.9 cm s^{-1}) og sette disse sammen med tilsvarende verdier for andre videoer samlet inn på samme dag. Dette komprimerer datasettet betraktelig samtidig som det gir et godt inntrykk av tidsvariasjonen i hastighet over dagen (Figur 31).

Oneday Activity

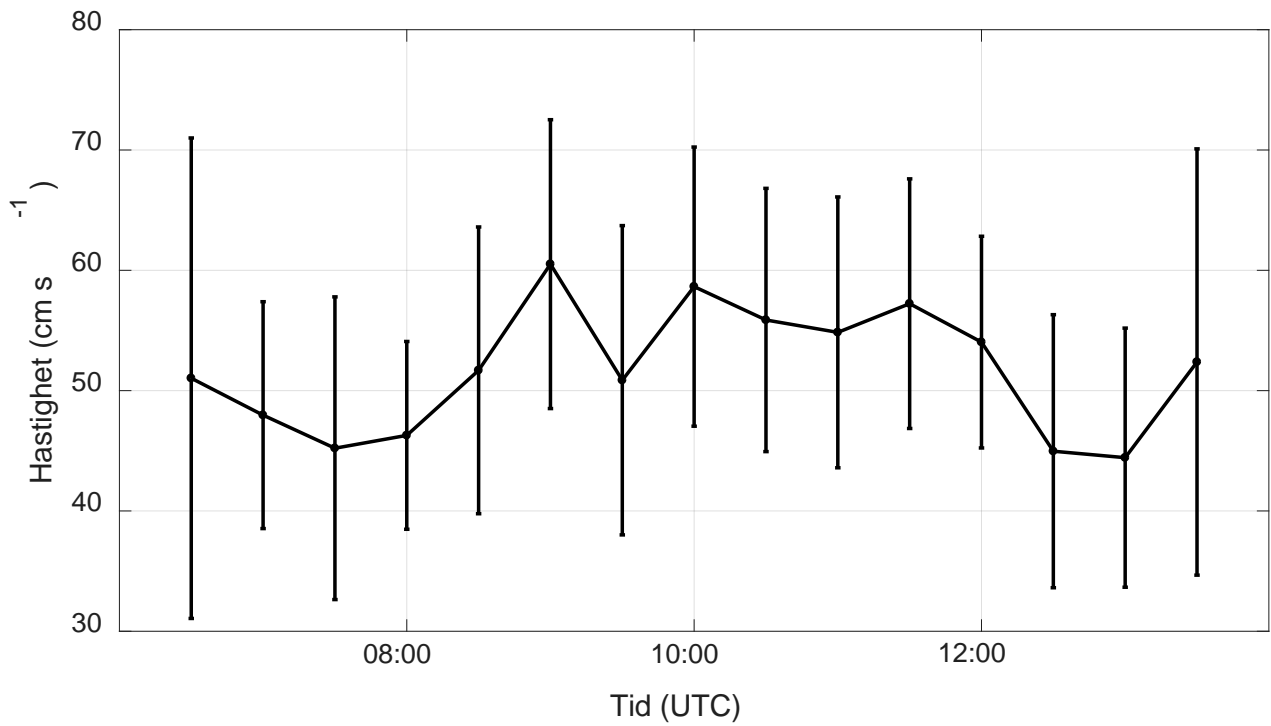


Figur 31: Snitt og standardavvik fra histogramfordeling hentet fra videoer samlet på en dag (29.10.2016). Hver vertikale linje markerer en video, og den lilla uthevede linjen markerer verdiene hentet ut fra datasettet i Figur 30 og Figur 31.

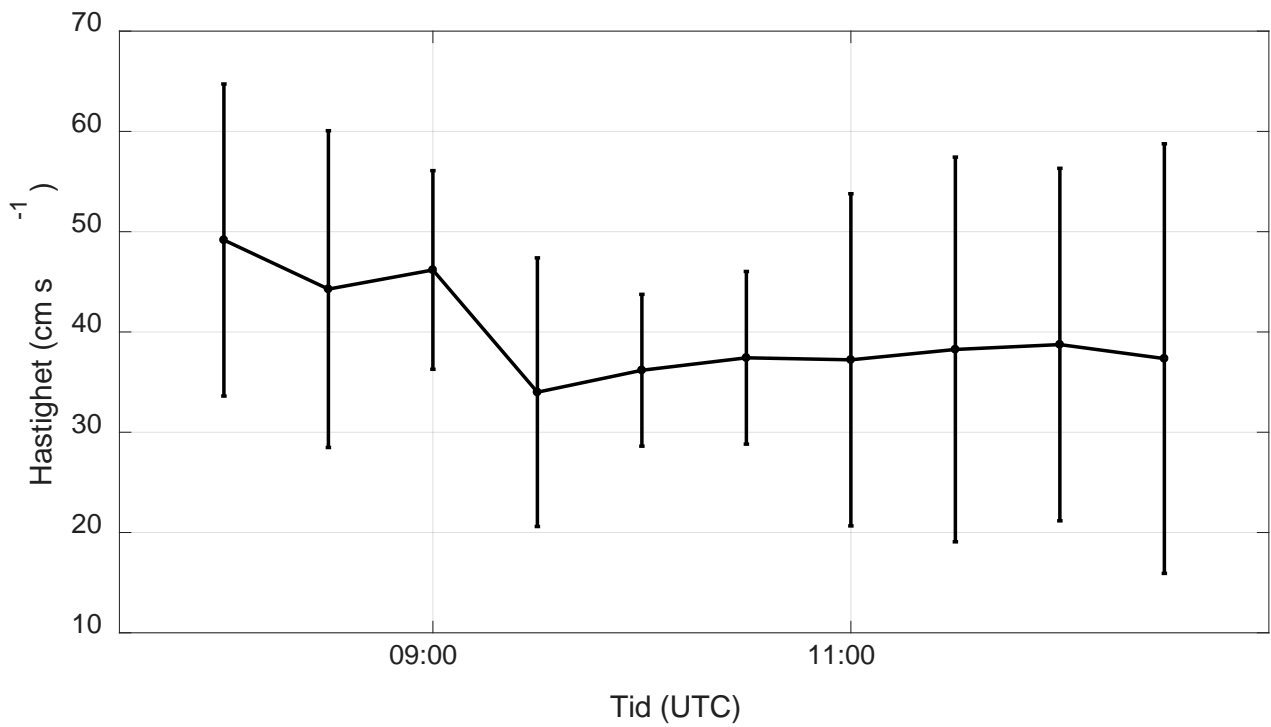
Figur 32 til Figur 36 viser et utvalg slike tidsserier for forskjellige dager i eksperimentperioden.



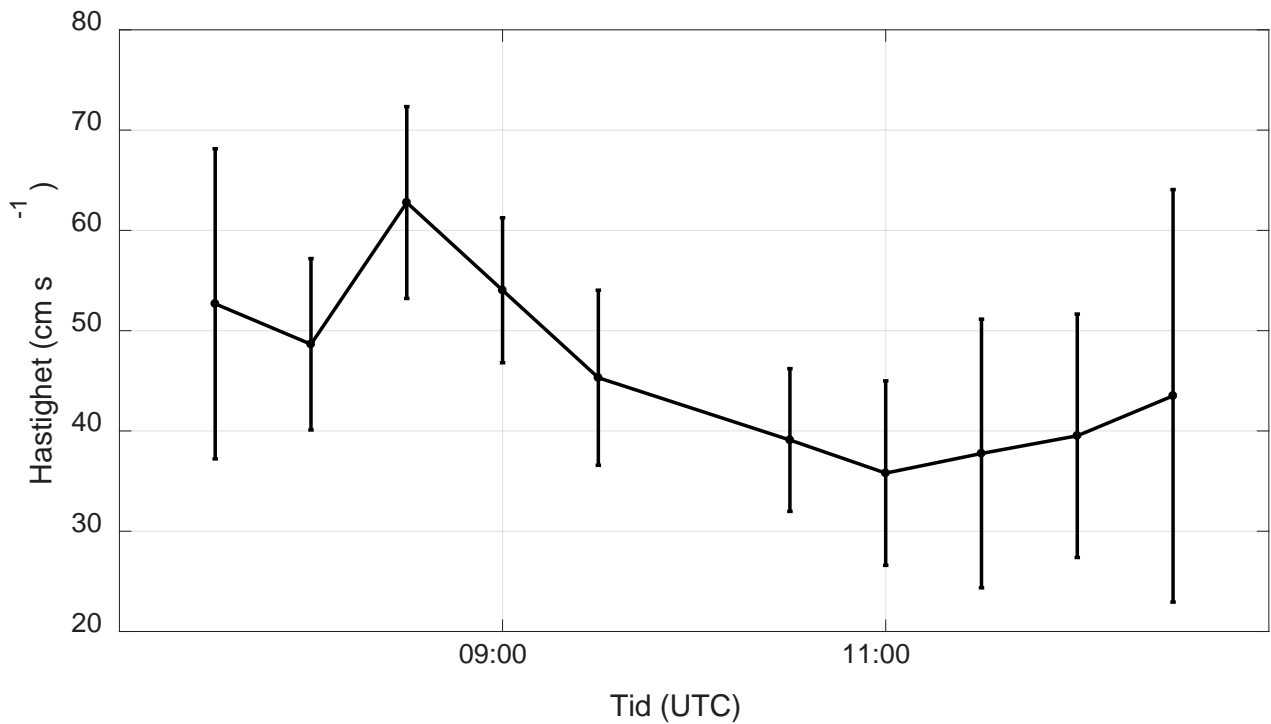
Figur 32: Hastigheter estimert med maskinsyn 29.10.2016.



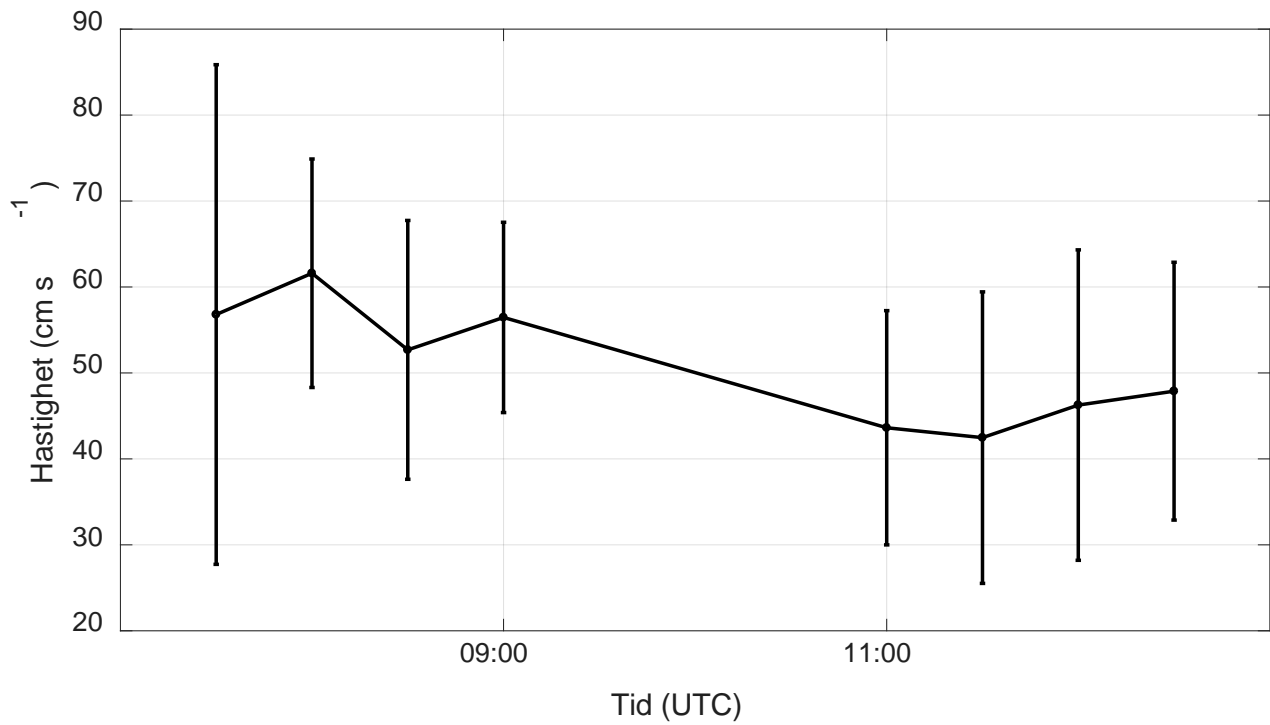
Figur 33: Hastigheter estimert med maskinsyn 30.10.2016.



Figur 34: Hastigheter estimert med maskinsyn 15.11.2016.



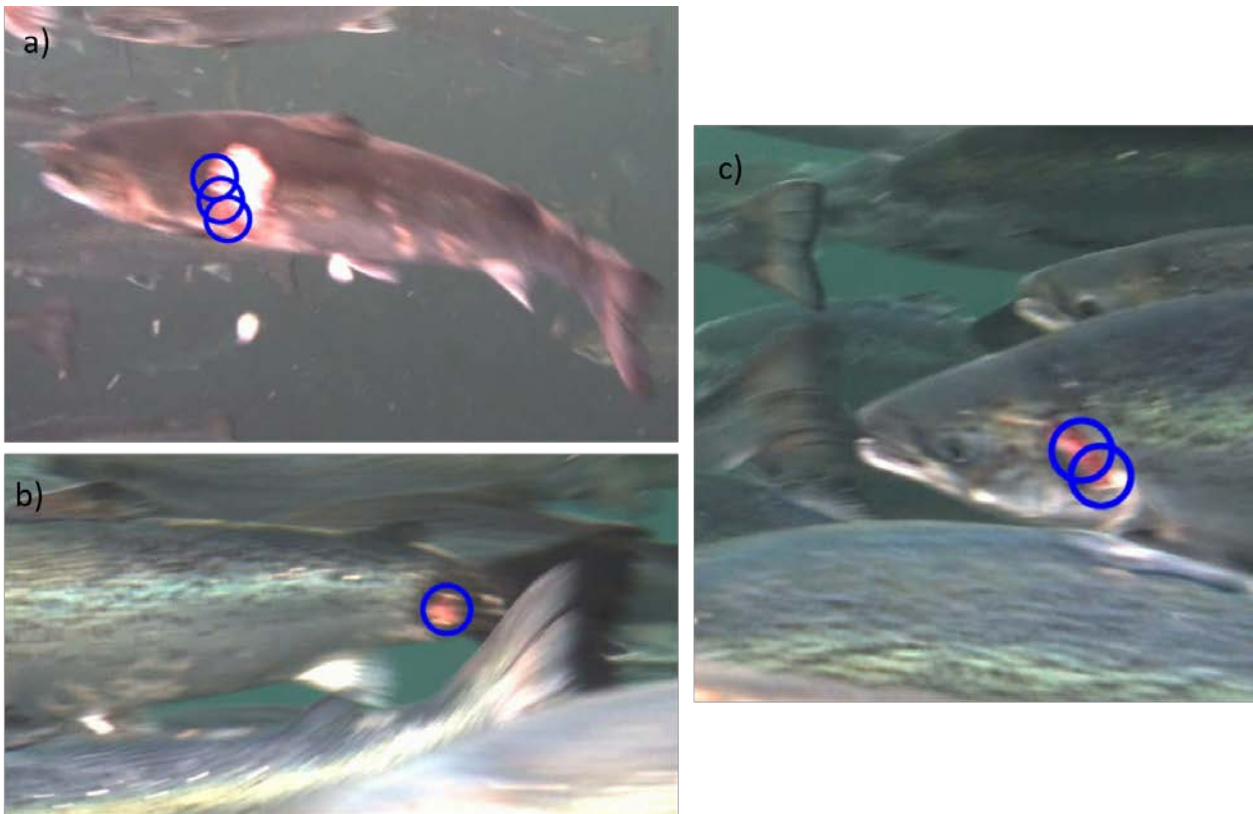
Figur 35: Hastigheter estimert med maskinsyn 16.11.2016.



Figur 36: Hastigheter estimert med maskinsyn 17.11.2016.

4.2.2 Sårdeteksjon

Metoden for deteksjon av sår og andre visuelle helseindikatorer klarte å identifisere flere tilfeller av avvikende ekstern tilstand hos fisk gjennom automatisk analyse av videomaterialet (Figur 37).



Figur 37: Eksempler på helseindikatorer som har blitt automatisk detektert gjennom fargesegmentering av videobildene: a) stort sår på siden av en fisk, b) sår nær fiskens spor, c) gjelleskade.

Siden denne metoden er svært avhengig av å kunne skille fargenivå i bildet klart fra hverandre, var det mest effektivt å detektere slike trekk i bilder samlet inn når lysnivået var gunstig (dvs. som regel midt på dagen).

4.3 Diskusjon

4.3.1 Akustisk telemetri

Det akustiske systemet samlet uavbrutt inn data for alle individfisk gjennom hele prosessen før, under, mellom og etter avlusningsoperasjonene, noe som viser at denne metoden er godt egnet for trådløs kontinuerlig overvåking av fisk under avlusningsoperasjoner. Evnen til å samle inn data fra merkene virket ikke å bli nevneverdig påvirket av de forskjellige elementene som inngikk i avlusningsprosessen (opplining, trenging, avlusning, nedslipp av not). Dette antyder at merkene ville fungert godt til datainnsamling også uten 12t-forsinkelsen av datautsending som ble lagt inn for å unngå sending av data samlet under trenging/avlusning mens fisketettheten var høyest. Videre ble også mottakerne plassert ut slik at de ikke skulle være i veien under operasjonene, noe som ville ført til at fiskeovervåkingen gikk på bekostning av evnen til å gjennomføre selve operasjonen. Disse praktiske aspektene gjør til sammen akustisk telemetri til en attraktiv basisteknologi for overvåking av fisk under kritiske operasjoner som avlusning. Selv om utsett av slike system kan være både tidkrevende, kostbart, og ofte krever spesialkompetanse (f.eks. til fiskekirurgi), finnes det få andre tekniske systemer som kan benyttes til å aktivt samle inn data underveis i denne typen operasjoner. Dersom systemet, slik som det ble gjort i dette prosjektet, blir satt ut i god tid forveien av slike operasjoner, vil en dermed kunne få kontinuerlige tidsserier fra før, under og etter avlusninger (eller andre kritiske operasjoner), noe som vil kunne gi et helt annet helhetsinntrykk av hvordan trender i tilstanden til individfisk eller fiskegrupper endrer seg. Dette vil gjøre en i stand til å detektere både akutte effekter forårsaket av selve prosedyren, og mer kroniske effekter som opptrer over lengre tid. Et eksempel på en akutt effekt en kunne se i data fra forsøkene var at alle individfisk viste tegn på økt aktivitet under alle tre avlusningsoperasjonene, mens tilfellene der det gikk

noen dager like etter avlusning før fisken begynte å vise samme atferdsrespons som før avlusningen er et eksempel på en mer varig effekt.

Endringene i aktivitetsparameteren som ble observert under forsøkene var trolig forårsaket av lineær akselerasjon som følge av romlig bevegelse (dvs. akselerasjoner langs aksene F_{acc} i Figur 2 b), endret haleslagsrate og/eller amplitude (dvs. akselerasjoner langs aksene T_{acc} i Figur 2 b), og transiente endringer i fiskens orientering (dvs. endringer i roll og pitch i Figur 2 b). En annen mulig årsak til slike økninger i akselerasjon kan imidlertid være endringer i orientering som blir påtvunget fisken under høy trenging. Metoden som ble brukt til å kompensere for effekten av gravitasjon i disse merkene vil fungere bra under normale driftsforhold ettersom fisken da som regel vil søke mot å oppnå likevekt når den beveger seg, noe som fører til at retningen på gravitasjonsvektoren stort sett vil holde seg konstant. Under trenging, kan imidlertid situasjoner der fisken blir presset sammen så tett at de ikke klarer å opprettholde likevekt oppstå. En følge av dette kan være at fisken da blir påtrykket endringer i orientering som ikke er viljestyrte. Slike endringer kan ha sterk innvirkning på akselerasjonssignalet ettersom de ofte vil påtrykkes fisken over et lengre tidsrom enn de transiente viljestyrte retningsendringer en typisk ser under aktiv svømming i normale forhold. Selv om merket etterhvert vil klare å estimere den faktiske gravitasjonsvektoren når fisken holdes lenge nok i en statisk orientering, og dermed vil kompensere riktig for denne, vil en slik situasjon føre til høye akselerasjonsverdier over en lengre periode, noe som påvirker data produsert av merkene.

Aktivitetsnivået til fisken økte merkbart under alle avlusningsoperasjonene, noe som en kunne se både gjennom gjennomsnittlige verdier for hele fiskegruppen og i dataseriene for alle individfisk. Siden denne økningen generelt inntraff allerede under opplining av nota til 7 m, en periode når fisken fortsatt har relativt mye volum å bevege seg i, var denne økningen sannsynligvis forårsaket av viljestyrte endringer i svømmeatferd hos fisken, hvilket kan være en stressrespons. Som i tidligere anvendelser av tilsvarende sensorer (Føre et al., 2011) ble disse endringene trolig hovedsakelig manifestert gjennom endringer av haleslagsrate og -amplitude og /eller transiente endringer i orientering i forbindelse med endringer i svømmeretning. Aktivitetsresponsen var både i snitt og på individnivå generelt svakere under avlusning 2 enn i de to andre operasjonene. En mulig forklaring på dette kan være at avlusning 1 og 2 kom ganske tett med kun en ukes mellomrom, noe som kan ha ført til at fisken enda ikke hadde kommet seg helt etter forrige avlusning da avlusning 2 startet. I tillegg ble ikke fisken føret mellom de to avlusningene, noe som kan ha bidratt til lavere allmenntilstand. Til sammenlikning kom avlusning 3 omtrent 1 mnd. etter avlusning 2. Fisken ble da føret mellom operasjonene noe som sammen med den lengre hvileperioden kan ha ført til at fisken var mer robust når avlusning 3 begynte.

Fiskens tendens mot å svømme nærmere overflaten under avlusningsoperasjonene var en forventet effekt av at det tilgjengelige dybdeintervallet for fisken ble begrenset av oppliningen av nota. Tross dette var endringen under opplining og avlusning mindre markant enn for aktivitet både på gruppe- og individnivå. Dette kan bety at atferdsendringene introdusert av opplining av not, avlusningsoperasjoner og trenging er mindre uttrykt gjennom dybdebevegelser enn i aktivitetsnivå, og at aktivitetsmålinger er bedre egnet til å fange opp denne typen transiente endringer i atferd.

De sykliske variasjonene i aktivitet og svømmedyp en så i periodene utenom avlusning og opplining var trolig en konsekvens av dagslysvariasjoner, i og med at individfisken stod dypere og utviste høyere aktivitet midt på dagen enn om natta. Dette mønsteret stemmer godt overens med tidligere studier som har funnet at laks foretrekker å svømme dypere på dagtid enn om natten (se review av dette i Oppedal et al., 2011), og at lysintensitet har en tydelig effekt på fiskens svømmehastighet (Juell og Westerberg, 1993) og dermed haleslagsrate og/eller -amplitude. Det har også blitt observert at svømmehastigheten hos laks kan øke med inntil 50% dersom fisken tilbys før (Andrew et al., 2002), noe som i prinsippet kunne forsterket dette mønsteret ettersom all føringsaktivitet ble utført på dagtid. Det virket imidlertid ikke som om sulteperiodene rundt avlusningene hadde noen betydelig effekt på dag/natt-mønsteret i aktivitet, og det er derfor mest sannsynlig at lysintensitet alene forårsaket størstedelen av denne dynamikken.

Det noe lavere aktivitetsnivået fisken utviste rett i etterkant av avlusningene sammenliknet med før operasjonen startet, kan være en indikasjon på at de overvåkede individfiskenes almenntilstand var redusert

etter at de hadde blitt utsatt for opplining, trenging og avlusning. Dette kan være en post-stressrespons, der fiskene må hente seg inn igjen etter det forhøyede aktivitetsnivået utvist under selve operasjonen. De mindre tydelige sykliske døgnvariasjonene i aktivitet sett i slike perioder underbygger denne tanken i og med at dette også antyder at fisken som gruppe og individer utviser et annet atferdsmønster enn det som ville vært normalt gitt forholdene i merden. Siden alle individene som utviste endret respons tilsynelatende gjenopptok mønstrene de hadde før avlusningen etter noen dager, var trolig endringene i fiskens tilstand som førte til disse atferdsendringene fullt reversible. Den statistiske fordelingen av aktivitetsmålinger mellom lav, middels, høy og veldig høy aktivitet viste også nærmest identiske fordelinger for perioden før, mellom og etter avlusningene, noe som antyder at aktiviteten til fisken i disse periodene var ganske lik, og dermed understøtter indikasjonen om at fisken klarte å komme tilbake til samme nivå igjen. Det var ikke en tilsvarende tydelig trend i dybdata, ettersom fisken tilsynelatende utviste ganske like variasjoner i svømmedyp like etter avlusning som de gjorde i forkant av operasjonen.

Tilfellene der individfisk fra opplining til avlusning hadde en gradvis økning i aktivitet som kulminerte i en toppverdi i denne, etterfulgt av brå endringer i svømmedyp kan representere et karakteristisk responsmønster som følge av avlusningsoperasjoner. Selv om dette mønsteret ikke var til stede hos alle individer under alle avlusningene, ble det med varierende amplitude uttrykt av mange fisk, spesielt under første avlusning. I de fleste tilfellene av dette mønsteret stupte fisken ned mot bunnen av merden (dybdeverdi på 15) noe som siden notveggen i perioden for avlusning og trenging var opplinet til 1 m indikerer at fisken på det tidspunktet var overført til ny merd (der nota ikke var opplinet). Dette kan også bety at toppverdiene i aktivitet som oppstod like før dypdykket kan ha vært et resultat av manipulasjon, stress og påtvunget orienteringsendring under trenging i orkastnot, pumping inn i avlusningssystemet og selve avlusningsprosessen. Anekdotisk informasjon fra næringen kan tyde på at en kan oppleve slike dypdykk hos laks når den utsettes for operasjoner, og da spesielt trenging. Det har blitt teoretisert at dette er en effekt som avhenger av fiskens genetiske opphav og dermed vil oppstå i noen populasjoner men ikke alle. Resultatene i denne studien viste imidlertid at litt over halvparten av de merkede fiskene utviste denne typen respons (52%, 69 % og 60% i hhv. avlusning 1, 2 og 3). Dette kan bety at sannsynligheten for å utvise slik respons kan variere mellom individene innad i en populasjon i tillegg til at det potensielt sett kan være variasjoner f.eks. mellom fiskegrupper av forskjellig genetisk opphav. Forekomsten av slike responser kan også være koblet opp mot hvor mye stress fisken opplevde i forbindelse med operasjonen, og kan dermed ses på som en potensiell indikator for i hvilken grad en fisk opplever en operasjon som stressende. For å konkludere på dette vil det imidlertid være nødvendig med videre forsøk der fisk fra andre populasjoner, med annen genetisk bakgrunn og/eller som er utsatt for andre miljøforhold utstyres med tilsvarende merker og utsettes for liknende håndtering og avlusningsprosedyrer.

Noen atferdstrekk virket å være felles for alle eller de fleste individene i populasjonen, og kan derfor være gode kandidater for fremtidig utvikling av spesifiserte merketyper som ser på spesifikke responser mot konkrete behandlinger som avlusning. Den mest tydelige indikatoren avdekket i disse forsøkene var fiskens aktivitetsnivå som steg fra et nivå der verdien nesten utelukkende lå i den laveste aktivitetskategori ($0.0-0.68 \text{ m s}^{-2}$), til å strekke seg godt opp i den nest høyeste kategorien ($1.36-2.04 \text{ m s}^{-2}$) så snart oppliningen begynte. I tillegg utviste de aller fleste individene tydelige dag/natt-sykluser i dataverdiene som tyder på endringer i henhold til lys, og som virket å dels være påvirket av avlusningsoperasjonene. Et annet interessant trekk her er forekomsten av det spesifikke mønsteret med gradvis økning i aktivitet med påfølgende brå endring i svømmedyp som nevnt over. Utover dette virket det å være ganske stor individuell variasjon i fiskens atferdsrespons, noe som harmonerer med tidligere funn for individdata hos laks (Johansson et al., 2009). Slike effekter skyldes trolig en kombinasjon av eksempelvis forskjellige preferanser i miljøfaktorer, forskjellig sosial status, og variasjoner i størrelse (Oppedal et al., 2011), og understreker behovet for å undersøke slik dynamikk i flere forskjellige populasjoner og under forskjellige forhold for at en skal klare å hente ut generisk informasjon om laks.

4.3.2 Maskinsyn

Basert på resultatene fra maskinsyn kan en konkludere med at slike metoder har stort potensial innen havbruk ettersom teknologien på sikt trolig vil muliggjøre automatiske analyser av atferd og helsetilstand hos fisk uten håndtering av fisken.

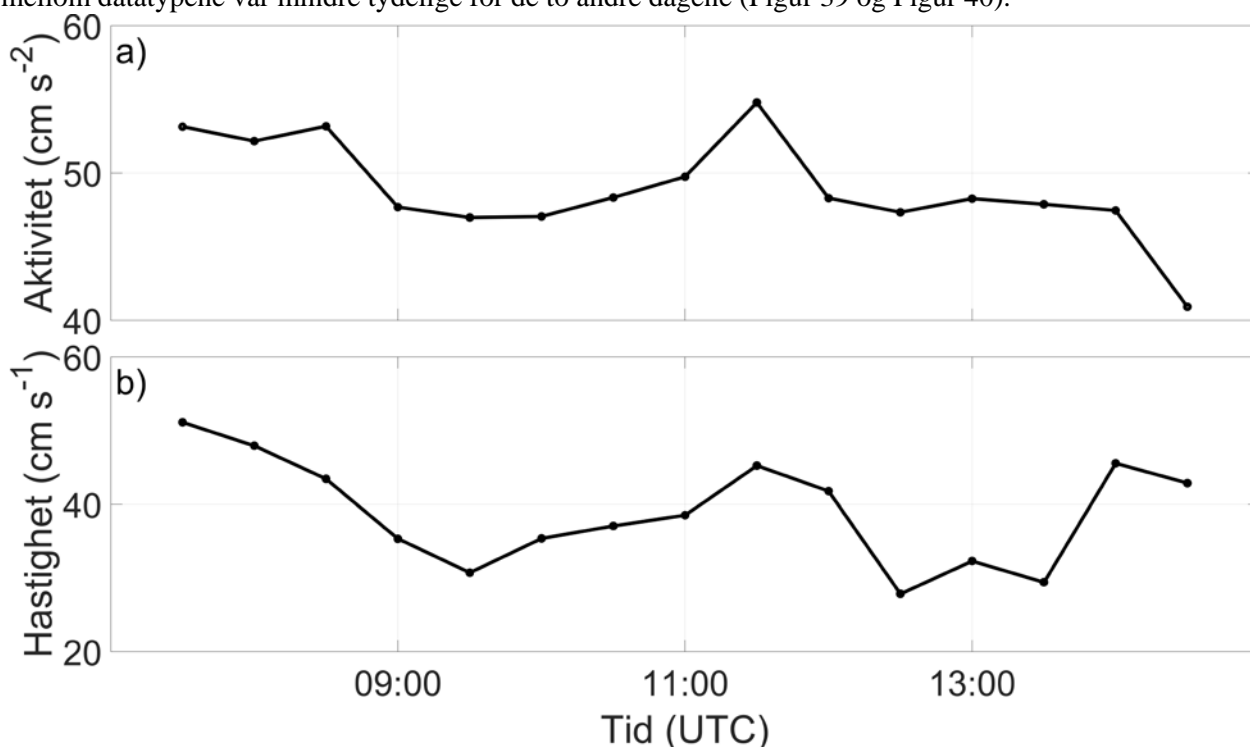
Metoden for å estimere svømmehastighet relativt til kamera viste seg effektiv og rimelig robust så lenge bildekvaliteten og lysnivået var godt, og gav konsistente dataverdier. En potensiell ulempe med slike systemer er at de rådata som brukes til analysene består av store mengder video med høy kvalitet som tar betydelig lagringsplass. Gjennom algoritmene utviklet og brukt i LAKSIT blir imidlertid slike data omformet gjennom flere operasjoner (se algoritmedelen og resultater fra maskinsyn) til enkle numeriske datasett som beskriver de data en faktisk er ute etter (i dette tilfelle svømmehastighet). Dette kan også ses på som en form for veldig høy datakomprimering, ettersom det en er interessert i vil være sluttproduktet av prosessen og ikke rådata i form av videoopptak. Denne metoden er derfor en god kandidat for fremtidige automatiserte løsninger for overvåkning av fiskens svømmeaktivitet i en oppdrettsituasjon. Kvaliteten på hastighetsestimaterne som er mulige å oppnå med dette systemet vil avhenge av lysnivået og andre forhold som turbiditet. Dette vil føre til at systemets presisjon og nøyaktighet vil avhenge av variasjoner i årstid, værforhold og øvrige elementer ved lokaliteten.

Metoden for deteksjon av visuelle sår og andre hudskader var i stand til å detektere flere forskjellige typer visuelle skader på fisken basert på fargesegmentering. Dette viser potensialet i å studere fisken med fargekamera, ettersom disse deteksjonene kun var basert på å søke etter fargekombinasjoner som avvek fra de som vanligvis inngår i hudfargen til en frisk laks. En utvidelse av denne metoden som i tillegg til fargeforskjeller også søker etter struktur/mønstre i bildet som skiller sår/skader fra frisk hud kan gjøre metoden mer robust med tanke på feildeteksjoner, og potensielt gjøre metoden noe mindre avhengig av lysnivået noe som kan øke det daglige operasjonsvinduet for deteksjon av sår.

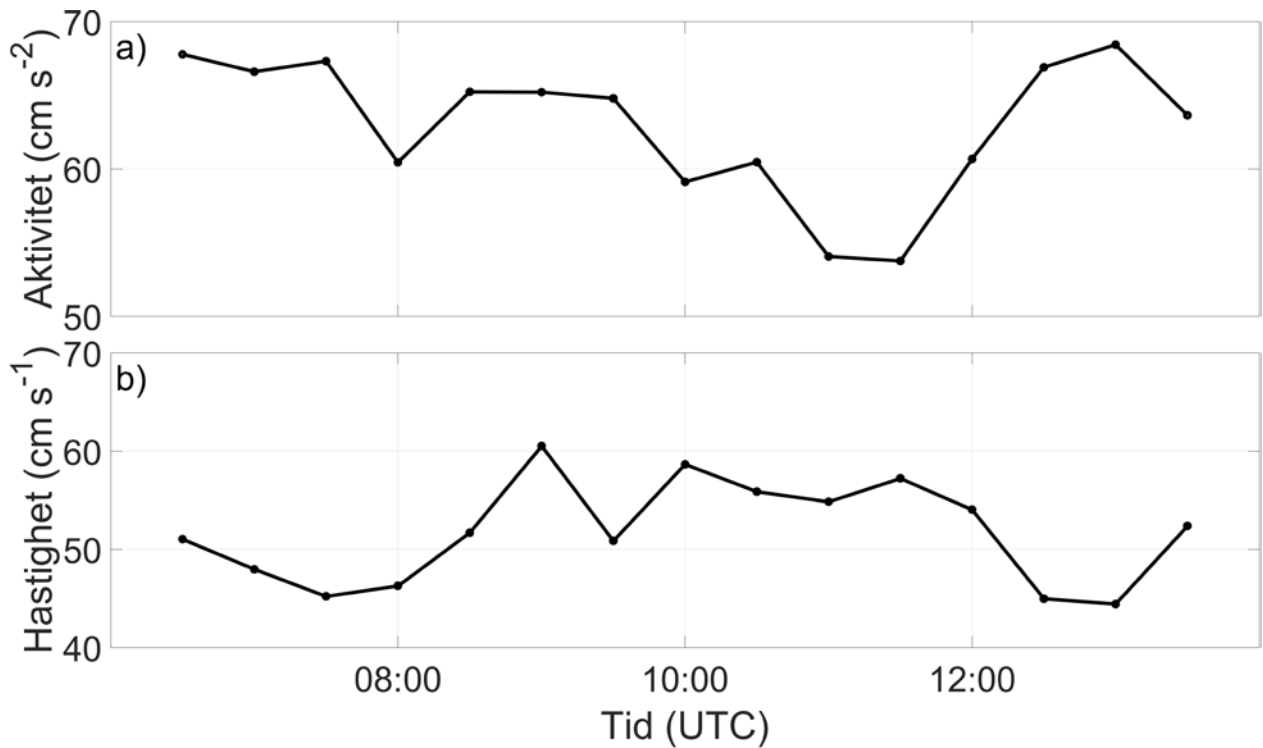
4.3.3 Sammenlikning mellom maskinsyn og akustikkdata

Siden de to teknologiske løsningene ble benyttet til å overvåke samme fiskepopulasjon var det av interesse å vurdere hvorvidt en kunne se likheter mellom datasettene frembragt med disse. Ettersom måleprinsippene til de to metodene var helt uavhengige av hverandre ville eventuelle likheter i datasettene være med på å støtte opp under sannsynligheten for at metodene gir data som er relevante for å beskrive fiskens tilstand og potensielt sett gir en representativt bilde av populasjonen. Den mest naturlige sammenlikningen i dette tilfelle vil være å se på svømmeaktivitetsindikatoren fra det akustiske systemet opp mot svømmehastigheten utregnet av maskinsynsystemet. Basert på tidligere resultater (Føre et al., 2011) kunne en anta at fiskens haleslagsaktivitet (rate og amplitude) trolig var den mest betydningsfulle faktoren bak aktivitetsindikatoren, noe som vil medføre økt aktivitetsverdi ved økt svømmehastighet. En eventuell likhet i datatrender mellom de to systemene ville dermed kunne observeres i samvariasjon mellom aktivitetsparameteren og svømmehastighet. Dersom det viser seg at en slik sammenheng opptrer konsekvent kan dette bety at de to metodene kan benyttes til å verifisere hverandre, slik at en bedre kan vurdere og dokumentere hvorvidt metodene produserer relevante data for å vurdere fiskens tilstand. For telemetrisystemet vil en slik sammenheng kunne belyse hvorvidt antallet og utvalget av individer utstyrt med merker er et representativt utvalg av populasjonen. Tilsvarende kan en slik sammenheng også indikere om kamerasystemet er i stand til å fange opp atferdsdynamikk som utvises på populasjonsnivå ved å overvåke en liten del av merdvolumet og dermed en relativt liten del av populasjonen. I tillegg kan en se for seg at en kan kombinere de to datatypene sammen til en total aktivitetsindikator. En slik indikator vil trolig være betydelig mer robust enn de to datatypene hver for seg.

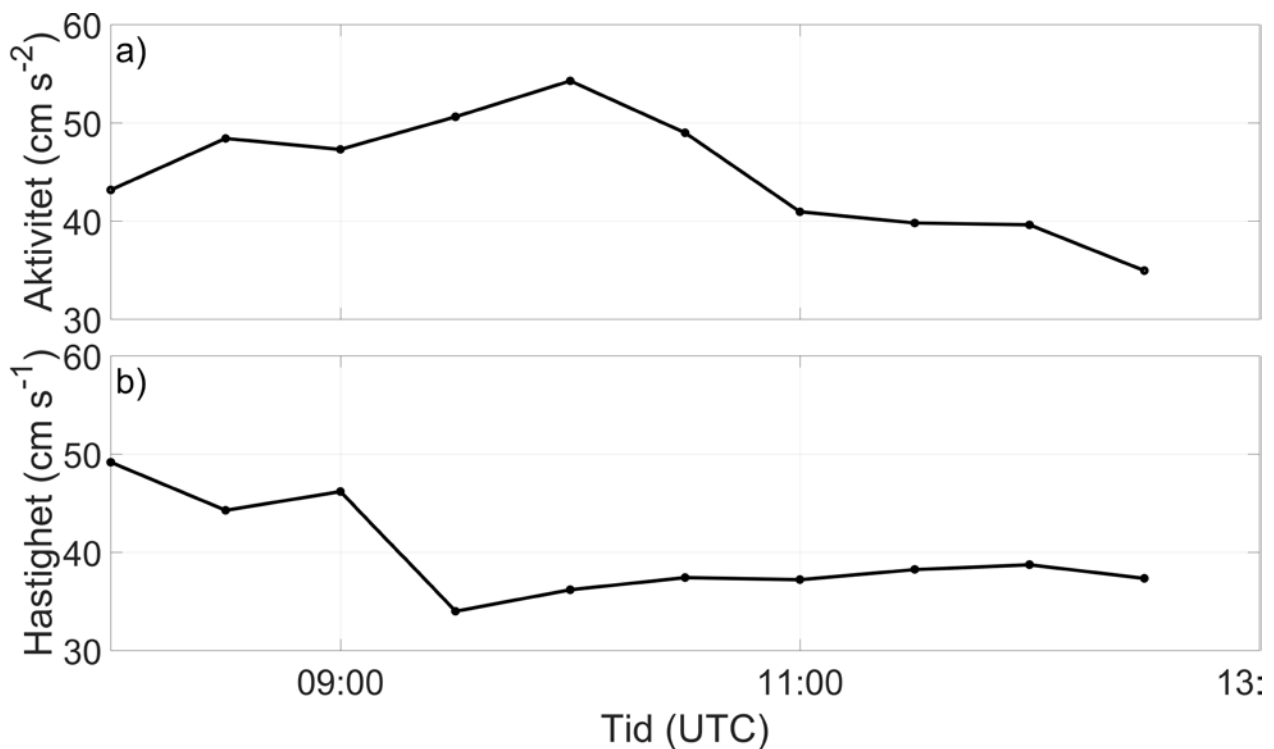
Disse datatypene ble sammenliknet for fem dager i prosjektperioden, hvorav tre av datasettene indikerte en sammenheng mellom telemetridata og maskinsyndata (Figur 38, Figur 41 og Figur 42). Samvariasjonen mellom datatypene var mindre tydelige for de to andre dagene (Figur 39 og Figur 40).



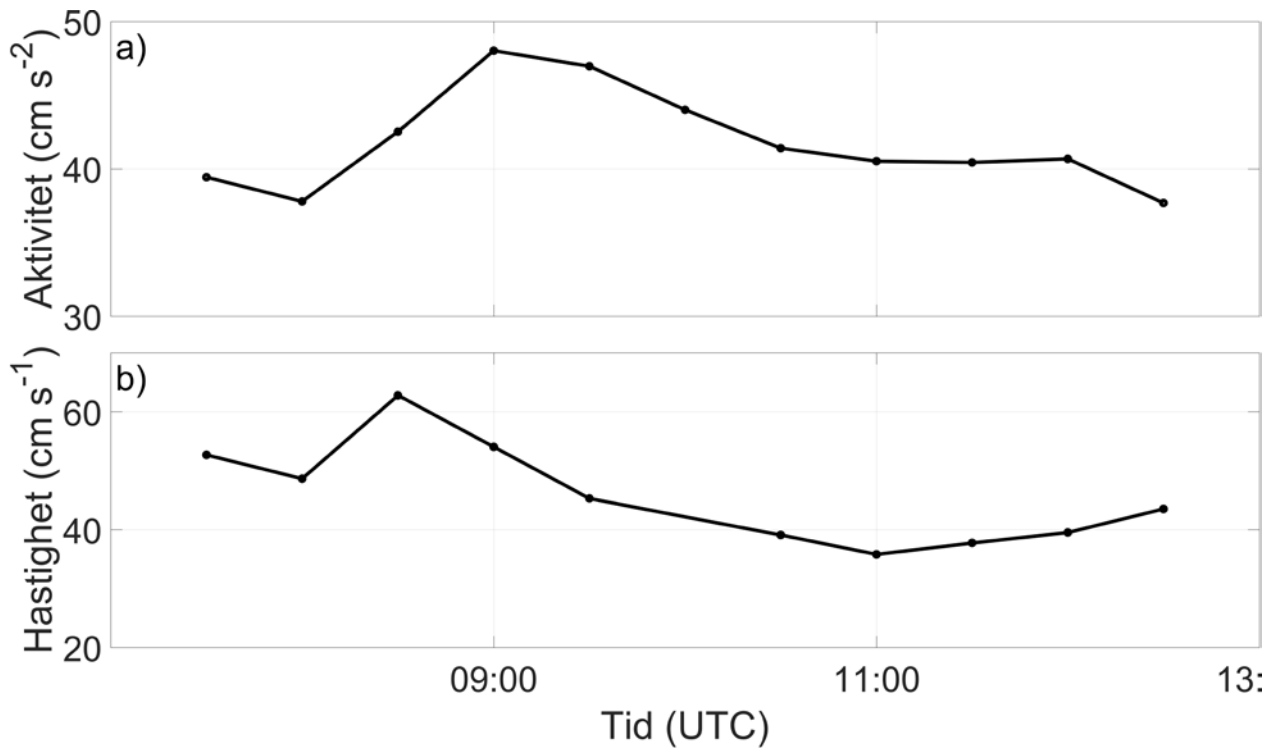
Figur 38: Sammenlikning mellom a) aktivitetsdata samlet inn med akustisk telemetri og b) svømmehastigheter estimert fra maskinsynmetoden på 29.10.2016.



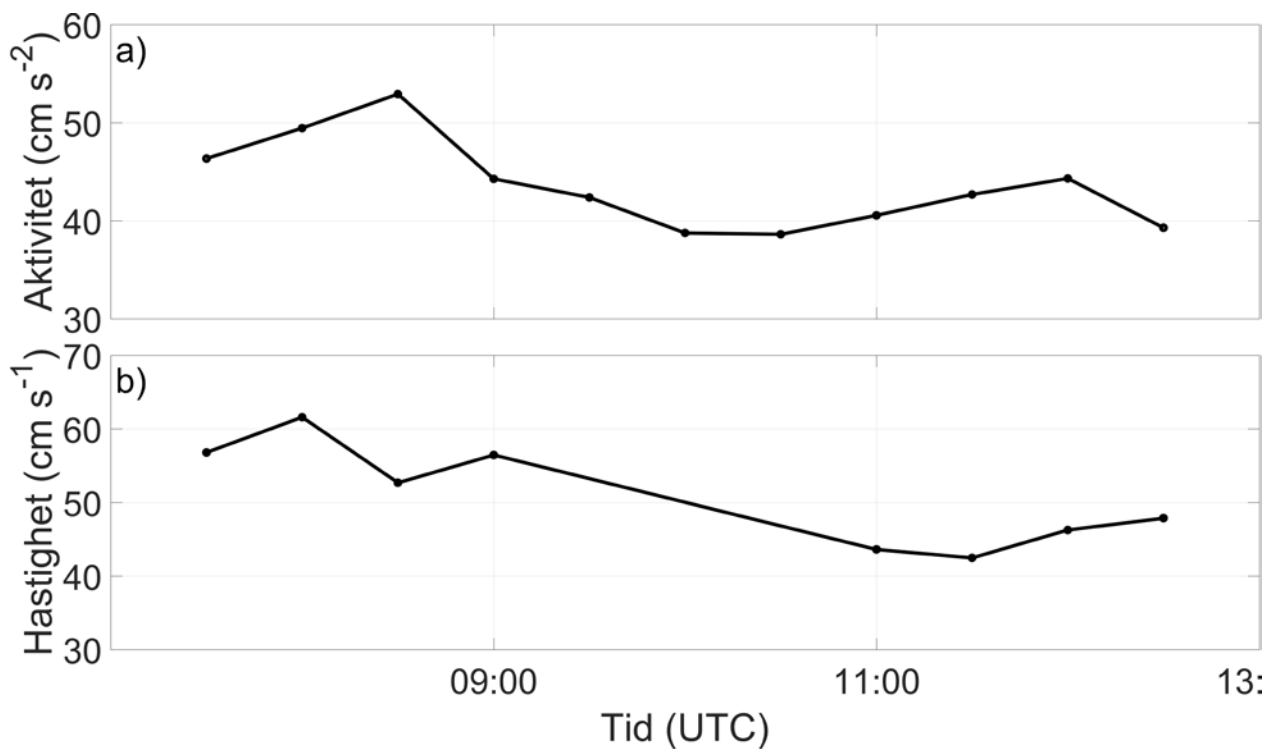
Figur 39: Sammenlikning mellom a) aktivitetsdata samlet inn med akustisk telemetri og b) svømmehastigheter estimert fra maskinsynmetoden på 30.10.2016.



Figur 40: Sammenlikning mellom a) aktivitetsdata samlet inn med akustisk telemetri og b) svømmehastigheter estimert fra maskinsynmetoden på 15.11.2016.



Figur 41: Sammenlikning mellom a) aktivitetsdata samlet inn med akustisk telemetri og b) svømmehastigheter estimert fra maskinsynmetoden på 16.11.2016.



Figur 42: Sammenlikning mellom a) aktivitetsdata samlet inn med akustisk telemetri og b) svømmehastigheter estimert fra maskinsynmetoden på 17.11.2016.

Det at de to datatypene i denne studien utviser liknende dynamikk over samme tidsforløp for tre av fem tilfeldig valgte dager tyder på at fiskegruppene som ble observert med de respektive metodene utviste samme trender i svømmeaktivitet. Selv om dette i prinsippet kan bety at fisken tilhørte samme undergruppe i merden er det mer sannsynlig at de merkede fiskene var fordelt mellom forskjellige grupper i merden, noe som også er understøttet av at individfiskene tross stor likhet i aktivitet viste betydelig variasjon i dybbedynamikk. Siden forskjellige fiskegrupper i samme merd kan utvise forskjellige atferdsmønstre, er det derfor ikke nødvendigvis slik at en skulle forvente å finne samme trender i svømmehastighetene basert på maskinsyn og i svømmeaktivitetsdata fra telemetri.

4.4 Konklusjon

Hovedkonklusjonen fra disse forsøkene var at begge systemene utviklet i prosjektet var i stand til å beskrive og tallfeste tilstander hos laks som er relevante for å bedømme hvordan fisken påvirkes av avlusning og trenging. Begge systemene viste seg også å fungere bra i utsett ved oppdrettsanlegg over lengre tid (3-4 mnd.), noe som er viktig for å kunne fungere som grunnlag for fremtidig produktutvikling. Likheter mellom aktivitet målt med akselerometer og svømmehastighet estimert fra kamerasystemet antyder også at disse metodene i disse forsøkene var i stand til å fange samme dynamikk i vedrørende fiskens svømmeaktivitet. Dette kan bety at en både kan benytte de to metodene til å verifisere hverandre, og at en på sikt kan utlede en mer robust indikator av atferd basert på begge datakildene.

I tillegg har forsøksresultatene identifisert en rekke interessante atferdsmessige trekk hos laks som kan benyttes som grunnlag for fremtidige systemer for automatisk varsling om kritiske biologiske tilstander og beslutningsstøtte i forbindelse med avlusning og andre kritiske operasjoner:

- Aktiviteten til fisken økte så snart opplining av not startet, noe som kan være en stressrespons og dermed antyder at selv moderat opplining av nota kan være en belastning for fisken.
- Selv om atferden ble betydelig endret under avlusning, var de fleste individfiskene i stand til å gjenoppta samme mønster igjen etter 4-5 dager. Dette kan antyde at en bør behandle fisken skånsomt i en periode etter avlusning for å unngå negative velferdseffekter.
- De fleste individene ble observert å utvise økt aktivitet etterfulgt av dypdykk ned i merden etter avlusning, noe som trolig bekrefter anekdotisk kunnskap om dette i næringen.
- Aktivitet målt med akselerometer som i dette prosjektet viste like trender hos alle individer inkludert i studien, noe som kan antyde at dette er en mer objektiv indikator for fiskens generelle tilstand enn svømmedyp som var mer variabel mellom individer.

4.5 Videre anvendelser og nytteverdi av prosjektresultatene

4.5.1 Ny kunnskap

Økningen i aktivitet som ble observert under de første stadiene av opplining som inngikk i avlusningsprosessen antyder at fisken blir påvirket atferdsmessig av selv ganske begrensede manipulasjoner av produksjonsmiljøet. En mulig årsak til at denne prosessen var såpass betydelig kan ligge i at oppliningen ble utført over et ganske kort tidsrom, noe som medførte ganske intensivt arbeid for oppdretterne, noe som igjen trolig utsatte fisken for støy, vibrasjoner og andre forstyrrelser. Det er mulig at en kunne begrense hvor mye en forstyrrer fisken gjennom å heller utføre denne prosessen over et lengre tidsrom, muligens gjennom bruk av automatiserte vinsjer som hever nota som en kontinuerlig prosess heller enn som en stegvis iterasjon som er dagens praksis. Det er imidlertid viktig å påpeke at det vil være nødvendig å undersøke hvorvidt fisk fra andre merder, genetisk opphav og/eller kull viser liknende responser før det går an å konkludere på generelt basis.

Av annen biologisk kunnskap en kan lese ut fra prosjektresultatene kan individmønstrene med økt aktivitet akkompagnert av forflytning til større dyp være av industriell interesse. Det at de fleste av de merkede individfiskene utviste dette mønsteret i en eller flere av avlusningene bekrefter at laks kan utvise denne typen respons mot avlusning og andre operasjoner som inkluderer trenging, en betraktning som inntil nå kun har vært basert på kvalitative observasjoner fra oppdrettere.

4.5.2 Innovasjon basert på teknologiske løsninger

De teknologiske løsningene utviklet i dette prosjektet kan være grunnlag for fremtidige innovasjoner. Direkte produktutvikling kunne eksempelvis fokusert mot å automatisere kamerariggen slik at denne blir i stand til å analysere videomaterialet på stedet og sender ut prosesserte tallverdier (f.eks. svømmehastighet, forekomst av sår, størrelsesfordeling) fremfor å sende over selve bildestrømmen. Dette vil redusere mengden data som må sendes betraktelig, noe som vil muliggjøre overleveringen av informasjon fra slike system til en bruker i sanntid. Denne formen for komprimering av bildemateriale krever at en er i stand til å isolere de egenskaper og trekk en er interessert i fra bildematerialet på en effektiv og relevant måte. Algoritmene for å dra ut svømmehastighet og identifisere sår som har blitt utviklet i dette prosjektet kan representere nyttige verktøy i en slik prosess for å tallfeste interessante egenskaper i bildematerialet.

Telemetrisystemet benyttet i disse forsøkene viste seg å være et effektivt verktøy for å fremskaffe individdata om fiskens respons mot avlusningsoperasjoner. Merketyper benyttet i disse forsøkene viste seg også å være i stand til å fange opp spesifikke atferdstrekk som trolig ble forårsaket av endringer i fiskens tilstand som følge av avlusningsoperasjonene. Selv om det å utstyre fisken med akustiske merker per i dag krever håndtering av fisken og at fisken utsettes for kirurgiske inngrep, vil verdien av å være i stand til å observere slike parametere underveis i produksjonssyklusen være høy dersom verdiene kan kobles opp mot driftsdata (f.eks. fôringsaktivitet) eller transiente operasjoner på anlegget (f.eks. avlusning, vasking). Denne teknologien vil da kunne benyttes til å overvåke viktige atferdsparametere i sanntid, og i stor grad uavhengig av vær og miljøforhold, noe som kan veie opp for de mer upraktiske sidene ved teknologien. I tillegg til den konkrete merketyper benyttet i disse forsøkene er det mulig å benytte alle andre merketyper som benytter samme kommunikasjonsprotokoll uten at en må endre på mottakersystemet. Dette åpner for bruk av nye sensormerker ettersom disse blir utviklet.

På litt lengre sikt kan en se for seg at nye teknologiske metoder, som de utviklet her, kan benyttes som komponenter i utviklingen av beslutningsstøttesystemer som samler inn data fra merden i sanntid og omformer disse til relevant informasjon som brukeren kan benytte som grunnlag for beslutninger vedørende drift og operasjoner på anlegget. Eksempelvis kan en se for seg at en kan benytte automatisert sårdeteksjon ved maskinsyn til å vurdere fiskens tilstand før en setter i gang en operasjon under antakelse av at f.eks. høy sårforekomst kan bety at fisken vil ha redusert robusthet med hensyn på å tåle den konkrete operasjonen en planlegger. Basert på denne kan en dermed gjøre *a priori* beslutninger basert på informasjon om fisken for om en skal utføre operasjonen som planlagt, velge en annen operasjon eller la fisken være i fred. Alternativt kan en benytte det akustiske telemetrisystemet utviklet i prosjektet til å overvåke fisken under avlusninger og andre kritiske operasjoner gjennom online overvåkning av aktivitetsindikatoren for en gruppe fisk. En kan da benytte data samlet inn i sanntid som beslutningsgrunnlag for å bestemme hvorvidt en skal fortsette operasjonen som før, modifisere operasjonsforløpet underveis, eller avbryte operasjonen fordi aktivitetsnivået indikerer mer stress enn det som anses som forsvarlig. I tillegg til operasjonsrelaterte beslutninger kan også slike systemer produsere informasjon som er relevante for den daglige driften ved anlegget. Eksempelvis kan en da se på svømmedyp og aktivitet fra telemetri sammen med svømmehastigheter fra maskinsyn opp mot fôringsaktivitet.

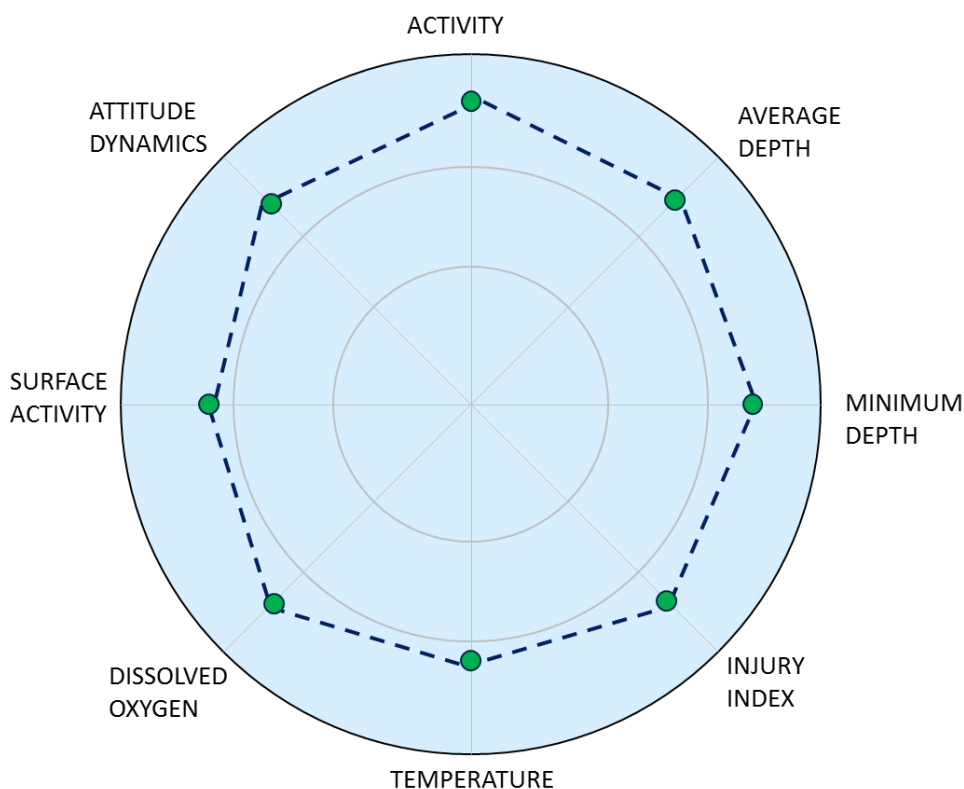
4.5.3 Algoritmer for automatisert overvåkning av fiskens tilstand

Som en del av prosjektarbeidet har ulike måter å omsette måledata til menneskevennlig informasjon blitt vurdert, og utkast til en mulig fremtidsrettet løsning har blitt utarbeidet.

Utfordringer knyttet til datasettene innhentet i prosjektet er at måleseriene er ustrukturerte i den forstand at samplingsfrekvensen ikke er konstant som følge av tapte datapakker, med ulik lengde på målseriene som konsekvens. Ytterligere utfordringer er knyttet til hvordan man skal omsette data til menneskevennlig informasjon havbruksoperatører kan anvende i beslutningsstøttesammenheng: Hvordan kan informasjon tilgjengeliggjøres på en god og forståelig måte, hvilke data gir det mening å kombinere og prosessere i hvilke sammenhenger, og sist, men ikke minst, hva betyr målingene for fisken. For sistnevnte mangler det

kunnskap om hvorvidt de målte verdiene representerer en utfordring for fisken eller ikke. Slike årsaks-virkning forhold ikke har hatt fokus i arbeidet.

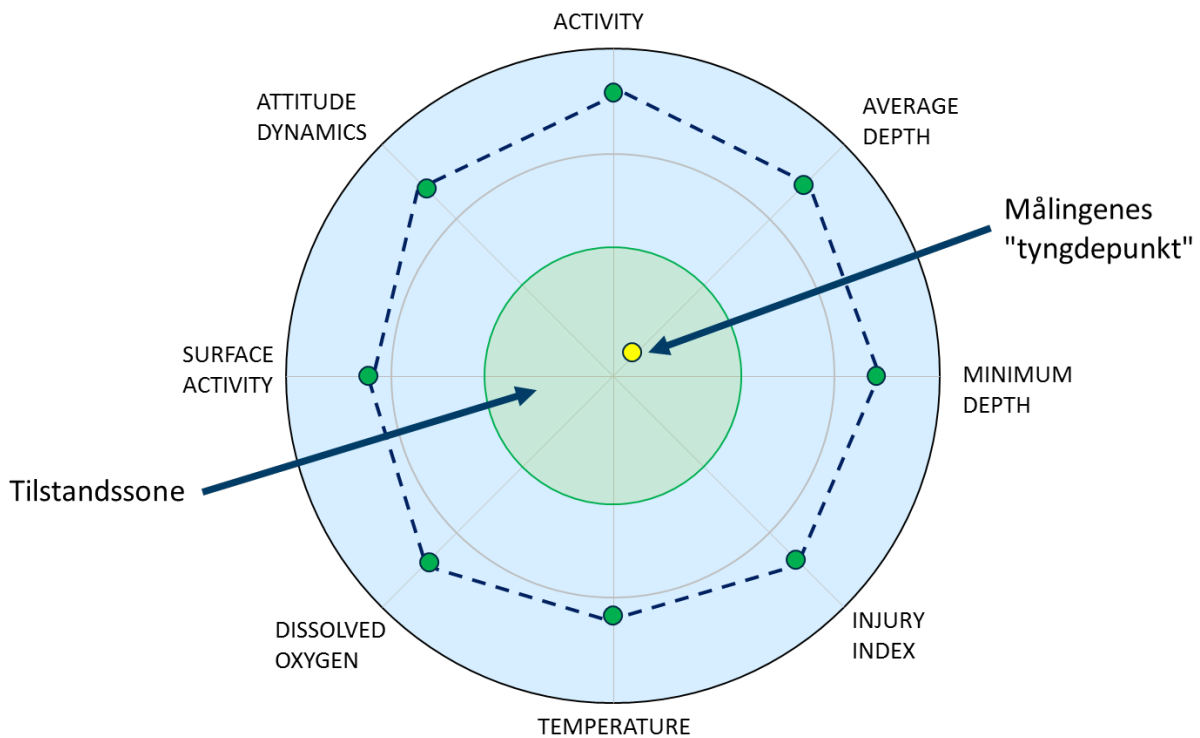
For å adressere disse utfordringene har to ressurser i all hovedsak blitt gjennomgått og benyttet: The Data Visualisation Catalogue (<http://www.datavizcatalogue.com/>), og veletablerte designprinsipp for data- og informasjonsvisualisering (Gordon-Becker et al. 2004) blitt benyttet. Litteraturgjennomgangen konkluderte med at såkalte radarplot (Figur 43) kan være en egnet løsning for å imøtekomme utfordringene.



Figur 43: Eksempel på radarplot

Radarplot er en sirkulær fremstilling med et antall radielle aksjer fra origo til sirkelperiferien. De respektive akseverdiene er angitt ved aksene rundt sirkelperiferien. Verdiene angis med et punkt som flytter seg langs de radielle aksene som funksjon av tid. Verdiene som representeres langs disse aksene kalles tilstandsindikatorer, og er prosesserte data som angir hvorvidt verdien er god (langt fra origo), eller dårlig (nærmere sentrum). Prosesseringen av rådata til tilstandsindikatorer kan for eksempel bestå av å beregne gjennomsnitt over tid for raskt varierende verdier, og normalisering så alle tilstandsindikatorer ligger innenfor samme tallområde. Det er også vanlig å knytte sammen punktene med en linje for å tegne en mangekantet figur med verdiene i nodene. Symmetrien til denne figuren gir et umiddelbart innblikk i om det er store verdiforskjeller. I Figur 43 er noen tilstandsindikatorer basert på målingene gjort i prosjektet lagt inn i et slikt plot: Aktivitet og dybde fra telemetrisystemet og skadeindeks basert på maskinsyn. Av illustrasjonshensyn er det også lagt inn forslag til visning av miljødata som typisk er tilgjengelig på et oppdrettsanlegg, samt verdier for overflateaktivitet og fiskens romlige orientering i vannet som en kan se for seg kan beregnes fra hhv. overflatekamera og en modifisert variant av merkene til telemetrisystemet anvendt i prosjektet.

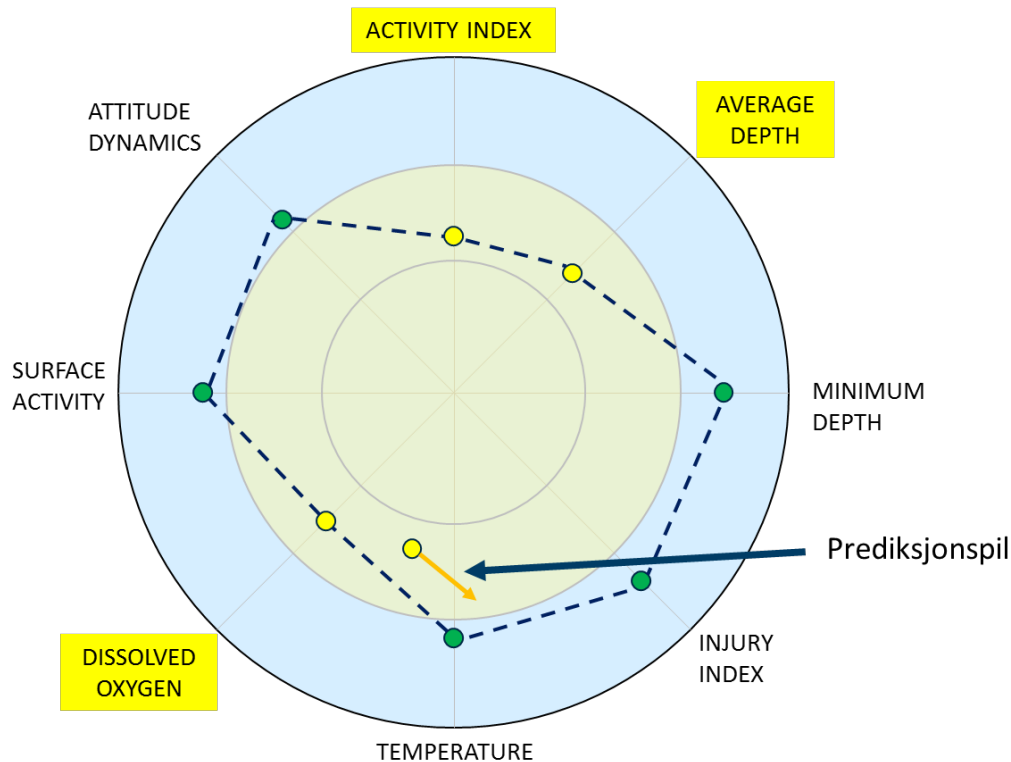
I beslutningsstøttesammenheng er det viktig å gi operatørene et raskt innblikk i totalsituasjonen. Det foreslås derfor et utvidet radarplot der "tyngdepunktet" til verdiene representeres som et punkt i tillegg til en tilstandssone som angir det akseptable området for hvor tyngdepunktet kan ligge (Figur 44). Tilstandssonen kan tilordnes farge avhengig av kritikalitet, for eksempel grønn for OK, gul for fare på ferde og rødt for uakseptabel tilstand.



Figur 44: Utvidet radarplot med tyngdepunkt og tilstandssone

Hvor tyngdepunktet plasseres kan for eksempel beregnes som et vektet gjennomsnitt av akseverdiene. Vektingen vil kunne avhenge av hvor kritiske verdiene anses å være som følge av den operasjonelle konteksten.

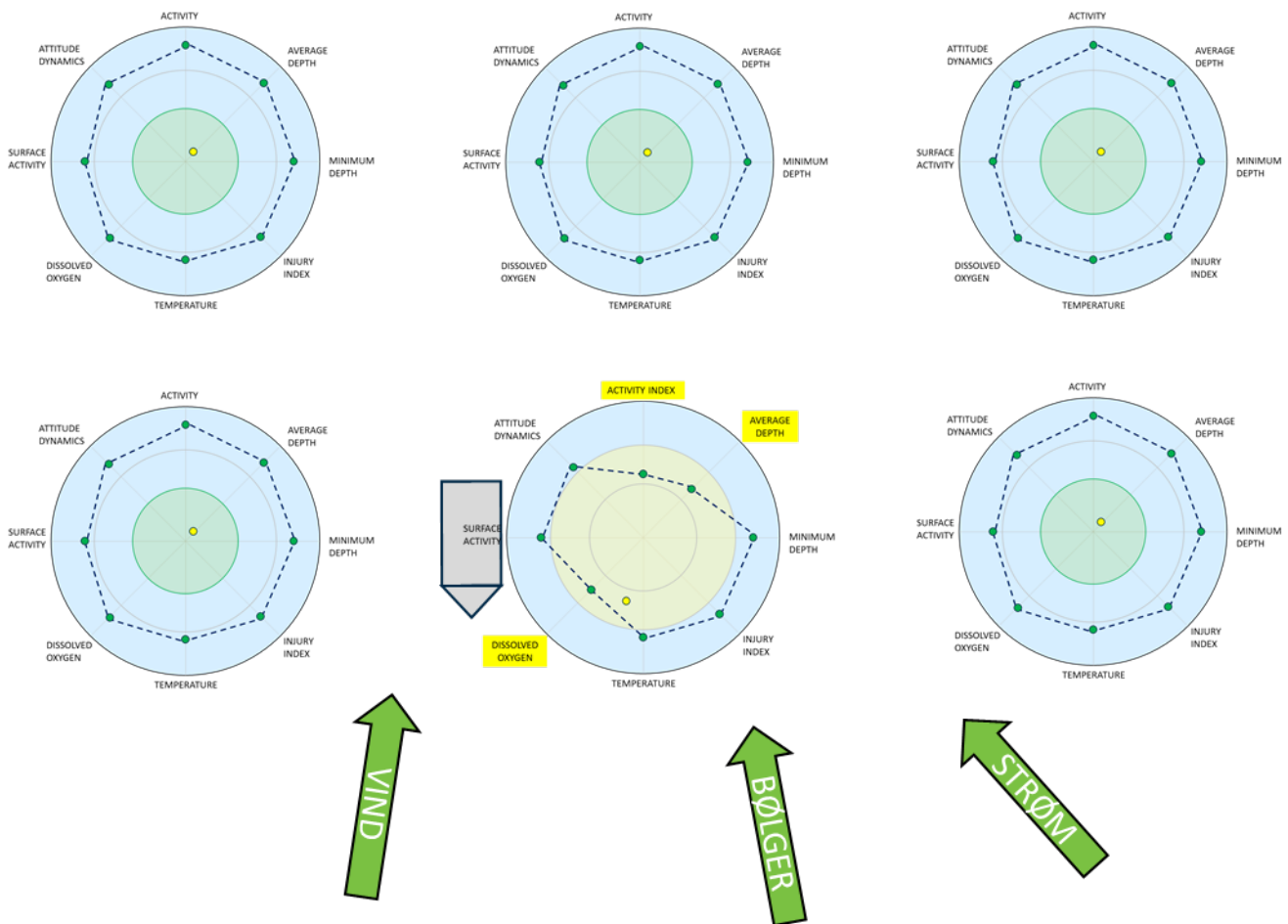
Operatørene vil også kunne ha nytte av en prediksjon i informasjonsfremstillingen. I operasjonsstøttesammenheng kan dette gjøres ved å legge inn en "prediksjonspil" for hvor man forventer at tyngdepunktet vil ligge innenfor en valgt prediksjonshorisont i tid (Figur 45).



Figur 45: Radarplot med prediksjonspil for forventet tyngdepunktforflytning over en gitt prediksjonshorisont.

Figur 45 viser også hvordan en avvikssituasjon under trenging kan fremstilles. Verdiene for aktivitet, gjennomsnittsdypde og oppløst oksygen forringes, mens tyngdepunktet forflytter seg ut fra den grønne tilstandssonen i Figur 44, og over i gul tilstandssone, noe som vil gi operatøren varsel om å være påpasselig. Prediksjonspilen indikerer at operasjonen vil holde seg innenfor gul tilstandssone innenfor valgt prediksjonshorisont. Dette vil støtte operatøren i sin beslutning om å foreta korreksjoner allerede på dette stadiet eller ikke.

Et enkelt radarplot av denne typen vil være egnet til å representere status i en merd. Et helt anlegg kan dermed representeres gjennom en samling av slike fremstillinger (Figur 46).



Figur 46: Mulig fremstilling av hele oppdrettsanlegg ved bruk av radarplot.

I Figur 46 representerer hvert radarplot en enkelt merd. Det underliggende datasystemet som beregner og presenterer plottene kan også ta inn tilleggsinformasjon som AIS- og miljødata for å presentere disse i samme visning. I Figur 46 er en treng- og avlusningsinformasjon tenkt fremstilt i midterste merd på nederste rad.

4.5.4 Næringsmessig nytteverdi

Prosjektresultatene inkluderer ny kunnskap om fiskens respons mot avlusningsoperasjoner, samt nye teknologiske løsninger i stand til å produsere slik kunnskap. Prosjektet har derfor bidratt til å øke vår forståelse av og evne til å overvåke avlusning i kommersielle anlegg, noe som kan være helt kritisk for at en på sikt skal være i stand til å kontrollere avlusning av laks på en slik måte at en sikrer at lusa blir fjernet fra laksen samtidig som en best mulig bevarer fiskens velferd. Selv om hovedmotivasjonen bak disse målsettingene er å sikre god dyrevelferd og redusere de negative miljøeffektene av lusepåslag, står også luseproblematikken for en stor andel av økningen en ser i rene produksjonskostnader for laks i dag. Dette inkluderer kostnader ved manuelle lusetellinger, redusert velferd og vekst som følge av lusepåslag, utstyrsinvesteringer og arbeid i forbindelse med avlusning, og økt dødelighet under avlusning. Gjennom å bidra mot bedre kontroll over lusepåslag og behandling er derfor prosjektets næringsmessige nytteverdi i harmoni med FHF sin visjon om en bærekraftig og lønnsom sjømatnæring på flere forskjellige nivå.

Ettersom dette er første gang en har kunnet observere atferdsresponsen til laks kontinuerlig før, under og etter avlusning er kunnskapen frembragt i prosjektet unik. Slik kunnskap kan komme næringen direkte til nytte gjennom at en kan søke å sammenholde måten operasjonene ble gjennomført med dataseriene samlet inn under disse for å identifisere de elementene av operasjonene som forårsaket de største endringene i fiskens tilstand. Dette kan indikere hvilke stadier som potensielt kan påføre fiskens mest stress. Det er imidlertid viktig å igjen poengtere at kunnskapen frembragt i disse forsøkene med sikkerhet kun kan sies

være representativ for laks med samme genetiske bakgrunn som fisken brukt i dette prosjektet og under liknende miljøforhold. For at denne kunnskapen skal kunne benyttes til å utforme generiske retningslinjer for gjennomføringen av slike operasjoner på laks må en gjennomføre tilsvarende forsøk på andre populasjoner og under andre forhold enn de en opplevde i dette prosjektet.

4.5.5 Forslag til videre teknologisk forskning

En retning for videre forskning basert på disse resultatene kan være å se på muligheten for å modifisere merkene til å produsere variabler som gir et mer fullstendig bilde av fiskens tilstand. Eksempelvis kan en se for seg at en i dataprotokollen bytter ut maks/min/stdev dyp (som viste seg å være mindre nyttig enn svømmedyp og aktivitet) med merkets estimat på gravitasjonsvektorens retning. I dagens konfigurasjon blir dette estimatet kun brukt til å fjerne effekten av gravitasjonen på RMS-akselerasjonen, men dersom den sendes vil den kunne benyttes til å beregne og beskrive fiskens orientering under post-prosessering. Dette kan være interessant for å si noe om hvor stor andel av RMS-verdien som er forårsaket av lineære akselerasjoner (dvs. endring i svømmehastighet og haleslagsrate/amplitude) og hvor mye som forårsakes av endringer i orientering. En alternativ utvikling av merkene kan være å utvide disse til å inkludere rotasjonssensorer i tillegg til akselerometer og dybdesensor. Dersom merkene da kalibreres for stasjonære avvik og kryssaksessensitivitet kan akselerasjons- og rotasjonsmålingene kompenseres for tyngdekraft på en bedre måte enn det som er mulig i dag, og nøyaktigheten til aktivitetsestimatet forbedres. En slik utvikling bør imidlertid veies opp mot behov for, og forventninger til nøyaktighet.

Telemetrisystemets evne til å samle inn data gjennom hele prosjektperioden og under alle typer operasjoner som inngikk i avlusningen indikerer at kommunikasjonsprotokollen benyttet for å overvåke fisken trådløst fungerte bra og er tilstrekkelig robust til å takle denne typen forhold. En annen mulig forskningsretning kan derfor være å se på muligheten for å utstyre denne plattformen med andre sensortyper. Siden kommunikasjonsdelen vil være den samme som i merkene benyttet i LAKSIT-forsøkene, vil dette gi muligheter for å produsere nye datatyper fra kommersielle merker uten at et betydelig utviklingsarbeid må utføres på hardwarensiden. Et aspekt ved dette er at akustiske merker i motsetning til de aller fleste andre metoder for observasjon av fisk er i fysisk kontakt med individfisk. Selv om dette kan ses på som en ulempe grunnet all håndtering og eventuell kirurgi som er påkrevd under merkingen, gir dette også helt andre muligheter enn andre metoder når det gjelder observasjon av fiskens fysiologi. Eksempelvis kan en utstyre merkene med eksisterende eller nye sensorer som søker å måle fysiologiske parametere (f.eks. hjerterate og muskelaktivitet) direkte, eller helt nye sensortyper som måler parametere som i dag utelukkende måles på fisk gjennom manuell prøvetakning (f.eks. glukose eller kortisol i blod), i tillegg til mer atferdsbaserte variable som respirasjon og fôrintak. Selv om sensorer rettet mot slike parametere tidligere har blitt testet under labforhold og i liten skala (f.eks. Cooke et al., 2004; Alfredsen et al., 2007), har disse i liten grad blitt testet under fullskala produksjonsforhold. En implementasjon av eksisterende eller helt nye sensorer innen samme teknologiske plattform som den benyttet for merkene i LAKSIT vil trolig resultere i mer robuste systemer som i større grad vil kunne benyttes til å samle informasjon i fullskala anlegg.

For at akustiske merker skal gi relevante og representative data er det viktig at ikke merket eller monteringen av dette påvirker fiskens tilstand på en slik måte at fiskens respons endrer seg. Dette vil være et tema en må tenke på ved utviklingen av nye merketyper, noe som vil være spesielt relevant når en søker å måle fysiologiske parametere. Målingen av slike parametere vil normalt kreve en viss nærhet til det relevante organet, samtidig som merket som i seg selv er en relativt stor enhet sammenliknet med de fleste av fiskens interne organer og dermed helst ikke bør plasseres helt inntil disse for å unngå uheldige effekter. En mulig løsning på denne problematikken kan være å utvikle konsepter for distribuert merketeknologi der sensorene og senderenheten ikke plasseres på samme sted. Data fra sensoren må da overføres til senderenheten før denne kan sende ut datatypen eller datatyper utledet fra denne som akustiske signaler. Dette har tidligere blitt gjort med kablet kobling, f.eks. elektroder festet til rødt muskelvev hos ørret (Cooke et al., 2004). Med dagens teknologinivå innen områder som miniatyrisering og nanoteknologi kan det imidlertid være mulig å se for seg en trådløs kobling fra sensor(er) plassert/distribuert i fiskens kropp til senderenheten som plasseres i bukhulen slik som merkene benyttet i LAKSIT. Siden avstandene internt i en laks er begrenset av fisken maksimale størrelse kan trolig radiosignaler benyttes til denne

"internkommunikasjonen" i laksen, noe som gjør at sensorenhetene vil kunne lages vesentlig mindre og dermed kan plasseres på eller nær sensitive organer som hjerte og gjeller uten at det nødvendigvis medfører noen endringer i fiskens tilstand. Selv om suksessfull utvikling av en plattform for slike trådløse distribuerte merker kan muliggjøre målingen av flere nye potensielt viktige datatyper, vil dette i første omgang kreve en forskningsinnsats for å undersøke den tekniske muligheten til å realisere slike systemer. En potensiell utfordring i så måte kan være å sikre at sensorenhetene har tilstrekkelig opplagret energi til å kommunisere effektivt via radiosignaler.

Uavhengig av om de inngår som del i et distribuert system som beskrevet over eller inneholder sensorene selv, er størrelsen på sendermerkene i dag en begrensning både for hvilke merkemeter en kan bruke og for hvilke fiskestørrelser en kan utstyre med merker. Nyvinninger innen områder som miniatyrisering og batteriteknologi vil kunne utnyttes for å bidra til at disse enhetene kan realiseres som mindre fysiske enheter. Mindre merker vil være enklere å montere med tradisjonelle metoder, ettersom inngrepet kan gjøres mindre invasivt og dermed påvirke fisken mindre over tid. Miniatyrisering kan også muliggjøre alternative merkemeter, som gastrisk merking (merkeplassering gjennom munnen), merker som kan klistres til fiskens ytre, og merking samtidig med vaksinerings.

På maskinsynsiden kan videre forskning inn mot bruk av mer avanserte algoritmer for bevegelsestimering bidra til å gjøre metoden for hastighetstimering mindre sensitiv ovenfor variasjoner i lysnivå, turbiditet og andre faktorer som kan forringe resultatet. Dette kan gi en metode som vil ha større operasjonsvindu og som er mer robust, og dermed kan benyttes til å skape gode estimater på hastighet over et større spenn av forskjellige forhold og tidsperioder. En potensiell fremtidig utvidelse av metoden for sårdeksjon kan være å se på mulighetene for automatisk klassifisering og deksjon av forskjellige sårtyper og størrelser. Dette kan videreføre datasett produsert med denne metoden til å bli et mer komplett grunnlag for beslutningsstøtte. Videre er datasettene generert med kamerariggen i LAKSIT høykvalitets stereovideo med farge, og har derfor et stort potensiale til videre utnyttelse i fremtiden. Ved å beholde videoopptakene i full bildekvalitet kan en utsette disse for forskjellige algoritmer for mer avansert prosessering som kan gi ytterligere datatyper utover de faktorene som har blitt studert i LAKSIT. Eksempelvis kan en ved å identifisere deler av fisken (øyne, munn, spor) eller hele fiskekroppen muliggjøre uthenting av informasjon om lengde/størrelse på fisk, antall fisk som passerer foran kamerariggen, pustefrekvens og haleslagsrate.

Eventuell bruk av datatypene en kan måle med metodene utviklet i LAKSIT opp mot automatisert beslutningsstøtte vil trolig også kreve at disse blir relatert til biologiske og veterinære mekanismer og responser som er kjent å være sentrale i fiskens helse og velferd. En slik prosess vil være en form for systemidentifikasjon, og vil kreve at en samler inn data med disse metodene samtidig som en samler inn relevante biologiske data. En mulig forskningsoppgave for å oppnå dette på kan være å utføre langtidstudier på flere forskjellige lokaliteter med disse systemene samtidig som en utfører utstrakte biologiske og veterinære studier på samme fisken.

5 Leveranser

Leveransene fra prosjektet inkluderte totalt 10 leveranser:

- L1 (15.05.2016) Oppstartsmøte med styringsgruppen (gjennomført 10.05.2016)
- L2 (20.12.2016) Arbeidsmøte og befarings på Bjørøya fiskeoppdrett (gjennomført 13.12.2016)
- L3 (31.12.2016): Demonstrator-versjoner av to tekniske systemer for observasjon av fiskens tilstand i merd basert på maskinsyn (f.eks. bevegelse, gjellefrekvens, hudtilstand) og akustisk telemetri (f.eks. vertikale bevegelser, aktivitetsnivå). Utsatt fra 01.09.2016
- L4 (01.02.2017): Datasett som beskriver fiskens tilstand før, under og etter en avlusningsoperasjon (gjennomført 01.02.2017)
- L5 (01.04.2017): Forslag til mulig spesifisering av algoritmer for automatisert overvåking av fiskens tilstand med de to systemene (gjennomført 01.04.2017)

- L6 (01.04.2017): Gjennomgang av utkast til sluttrapport med styringsgruppen (gjennomført 07.04.2017)
- L7 (01.04.2017): Populærvitenskapelig publikasjon av prosjektresultatene (publisert i Norsk Fiskeoppdrett 4/2017)
- L8 (01.05.2017): Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
- L9 (01.05.2017): Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
- L10 (01.06.2017): Fagfellevurdert vitenskapelig publikasjon av prosjektresultatene (innsendt manuskript)

6 Referanser

Alfredsen, J.A., Holand, B., Solvang-Garten, T. and Uglem, I., 2007. Feeding activity and opercular pressure transients in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): application to feeding management in fish farming. *Hydrobiologia*, 582(1), pp.199-207.

Andrew, J.E., Noble, C., Kadri, S., Jewell, H. and Huntingford, F.A., 2002. The effect of demand feeding on swimming speed and feeding responses in Atlantic salmon *Salmo salar* L., gilthead sea bream *Sparus aurata* L. and European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. in sea cages. *Aquaculture Research*, 33(7), pp.501-507.

Bjørn, P.A., Finstad, B. and Kristoffersen, R., 2001. Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic char in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. *Aquaculture Research*, 32(12), pp.947-962.

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Van Gool, L., 2008. Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*, 110(3), pp.346-359.

Bleie, H. and Skrudland, A., 2014. Tap av laksefisk i sjø. Rapport fra Mattilsynet.

Cooke, S.J., Thorstad, E.B. and Hinch, S.G., 2004. Activity and energetics of free-swimming fish: insights from electromyogram telemetry. *Fish and Fisheries*, 5(1), pp.21-52.

Finstad, B., Bjørn, P.A., Grimnes, A. and Hvidsten, N.A., 2000. Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research*, 31(11), pp.795-803.

Føre, M., Alfredsen, J.A. and Gronningsater, A., 2011. Development of two telemetry-based systems for monitoring the feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in aquaculture sea-cages. *Computers and electronics in agriculture*, 76(2), pp.240-251.

Gordon-Becker, S.E., Lee, J.D., Liu, Y. and Wickens, C.D., 2004. An introduction to Human Factors Engineering, ch.8.

Hirschmuller, H., 2008. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 30(2), pp.328-341.

Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A., Nystøyl, R., 2015. Kostnadsdrivere i lakseoppdrett. Nofima rapport 41/2015.

Jensen, J.L.A., Rikardsen, A.H., Thorstad, E.B., Suhr, A.H., Davidsen, J.G. and Primicerio, R., 2014. Water temperatures influence the marine area use of *Salvelinus alpinus* and *Salmo trutta*. *Journal of fish biology*, 84(6), pp.1640-1653.

Johansson, D., Ruohonen, K., Juell, J.E. and Oppedal, F., 2009. Swimming depth and thermal history of individual Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages under different ambient temperature conditions. *Aquaculture*, 290(3), pp.296-303.

Juell, J.E. and Westerberg, H., 1993. An ultrasonic telemetric system for automatic positioning of individual fish used to track Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquacultural Engineering*, 12(1), pp.1-18.

Kolarevic, J., Aas-Hansen, Ø., Espmark, Å., Baeverfjord, G., Terjesen, B.F. and Damsgård, B., 2016. The use of acoustic acceleration transmitter tags for monitoring of Atlantic salmon swimming activity in recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquacultural Engineering*, 72, pp.30-39.

Lien, A.M., Volent, Z., Jensen, Ø., Lader, P. and Sunde, L.M., 2014. Shielding skirt for prevention of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in cages—A scaled model experimental study on net and skirt deformation, total mooring load, and currents. *Aquacultural Engineering*, 58, pp.1-10.

Lucas, B.D. and Kanade, T., 1981. An iterative image registration technique with an application to stereo vision.

Mathiassen, J.R., Misimi, E., Bondø, M., Veliyulin, E. and Østvik, S.O., 2011. Trends in application of imaging technologies to inspection of fish and fish products. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), pp.257-275.

Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D.W., Bui, S. and Stien, L.H., 2017. Sea lice infestation levels decrease with deeper 'snorkel' barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science*.

Oppedal, F., Dempster, T. and Stien, L.H., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture*, 311(1), pp.1-18.

Pedersen, B.H. and Andersen, N.G., 1985. A surgical method for implanting transmitters with sensors into the body cavity of cod (*Gadus morhua* L.). *Dana* 5, 55-62.

Plantalech Manel-La, N., Thorstad, E.B., Davidsen, J.G., Økland, F., Sivertsgård, R., McKinley, R.S. and Finstad, B., 2009. Vertical movements of Atlantic salmon post-smolts relative to measures of salinity and water temperature during the first phase of the marine migration. *Fisheries Management and Ecology*, 16(2), pp.147-154.

Remen, M., Oppedal, F., Torgersen, T., Imsland, A.K. and Olsen, R.E., 2012. Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: initial responses and acclimation. *Aquaculture*, 326, pp.148-155.

Rillahan, C., Chambers, M., Howell, W.H. and Watson, W.H., 2009. A self-contained system for observing and quantifying the behavior of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in an offshore aquaculture cage. *Aquaculture*, 293(1), pp.49-56.

Thorstad, E.B., Økland, F., Aarestrup, K. and Heggberget, T.G., 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(4), pp.345-371.

Veterinærinstituttet, 2017. Fiskehelserapporten 2016. Veterinærinstituttet rapportserie nr. 4/2017.

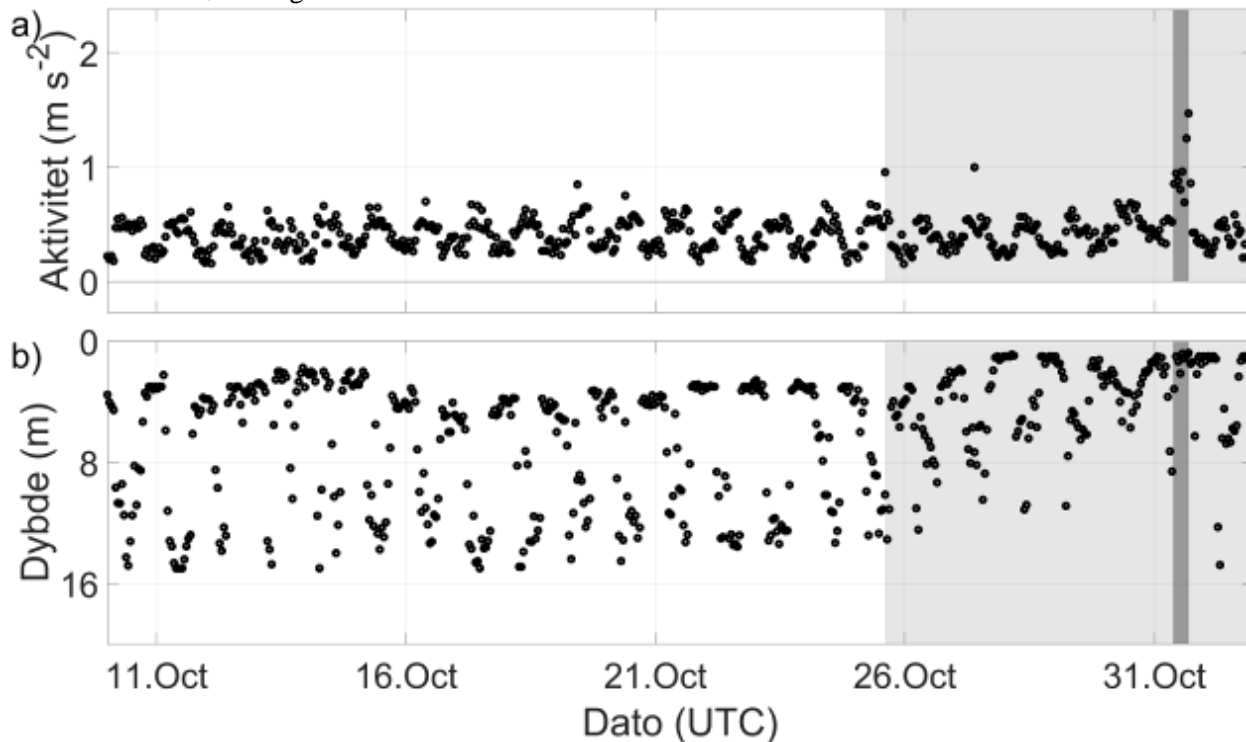
White, D.J., Svellingen, C. and Strachan, N.J.C., 2006. Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*, 80(2), pp.203-210.

Vedlegg

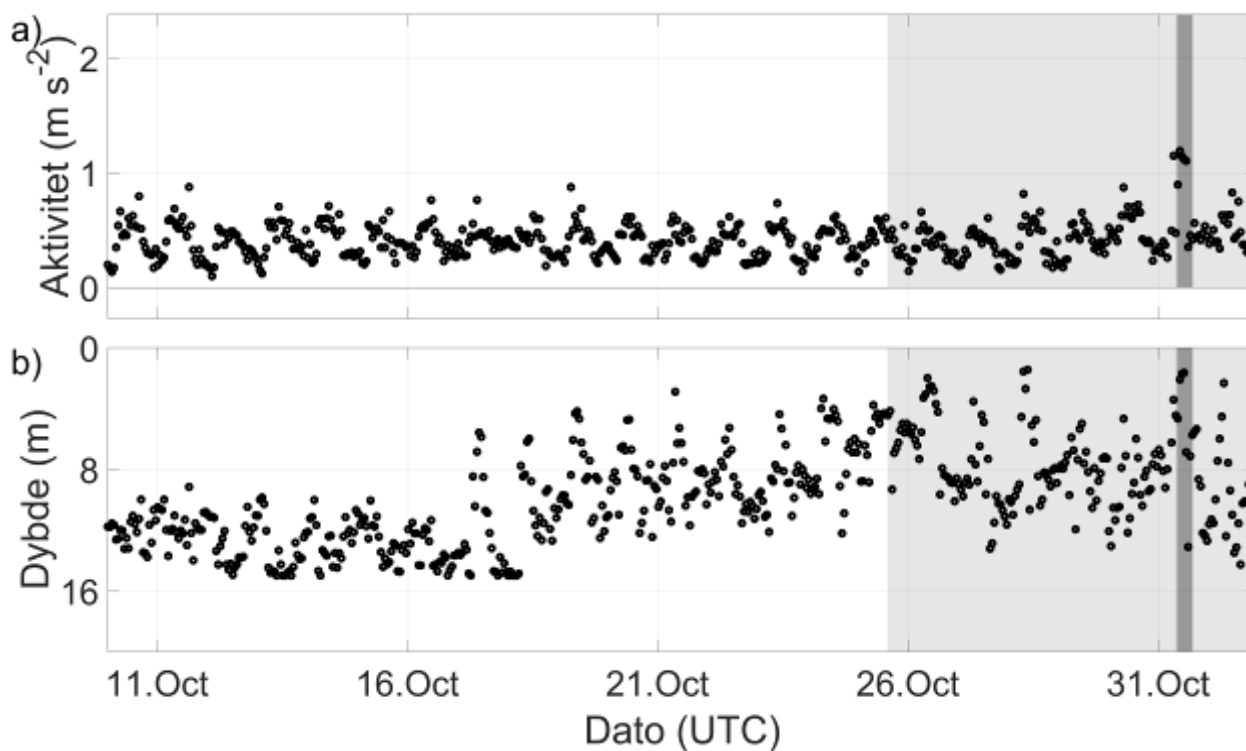
Vedlegg til denne rapporten inkluderer plott av individdata fra akustisk telemetri for all merket fisk i alle fasene av forsøksperioden.

A 1: før første avlusning

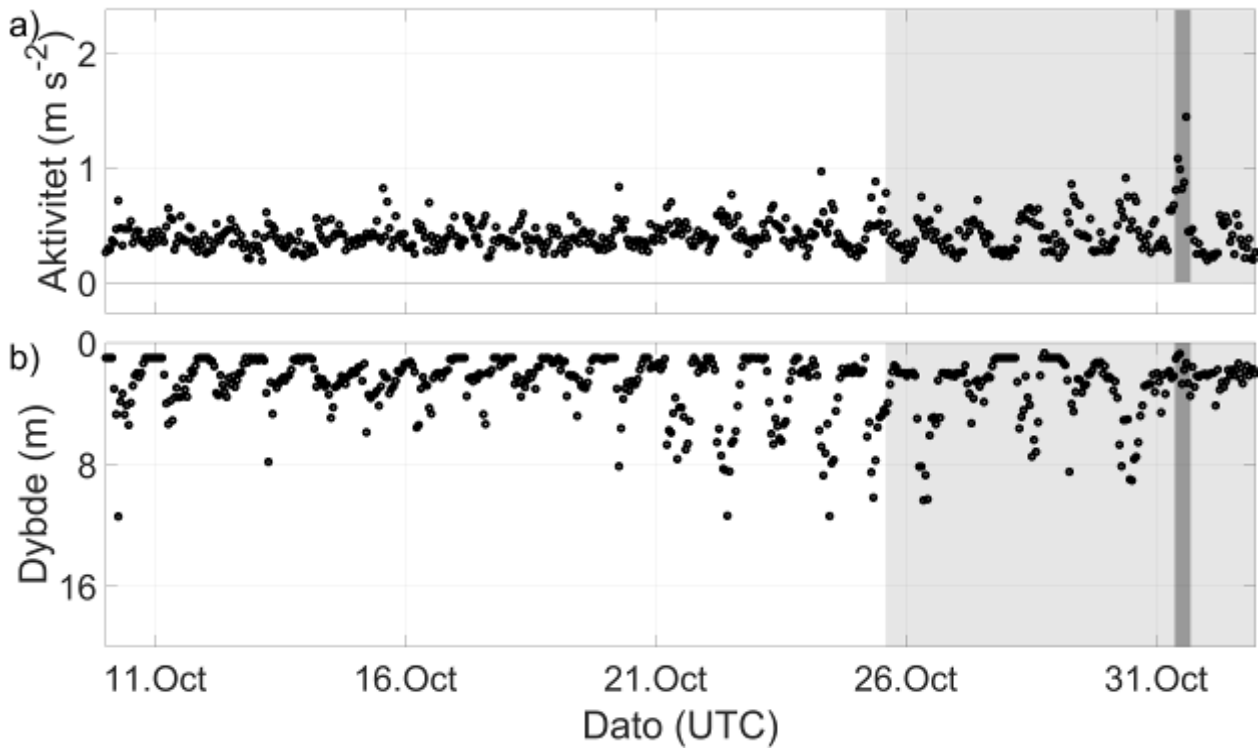
I figurene i denne seksjonen er sulteperioden markert med lys grå farge, mens selve avlusningsoperasjonen er markert med mørkere grå.



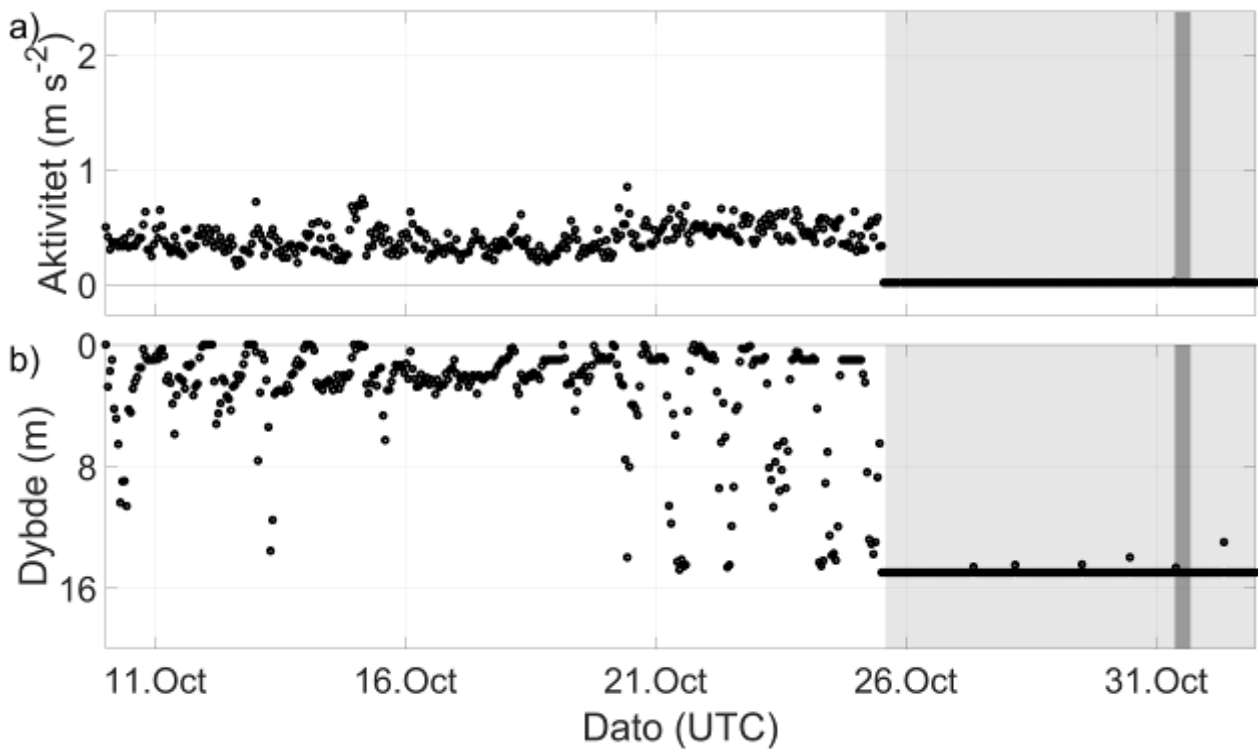
Figur 47: individfisk 180



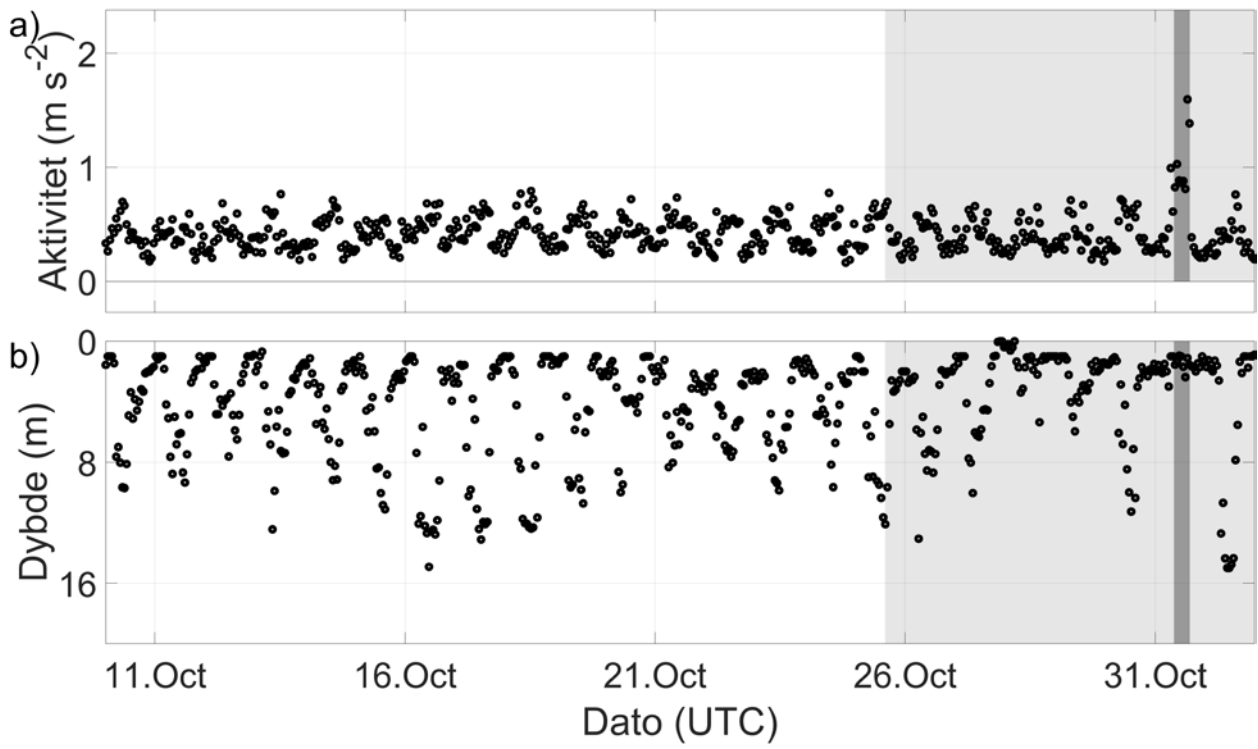
Figur 48: individfisk 183



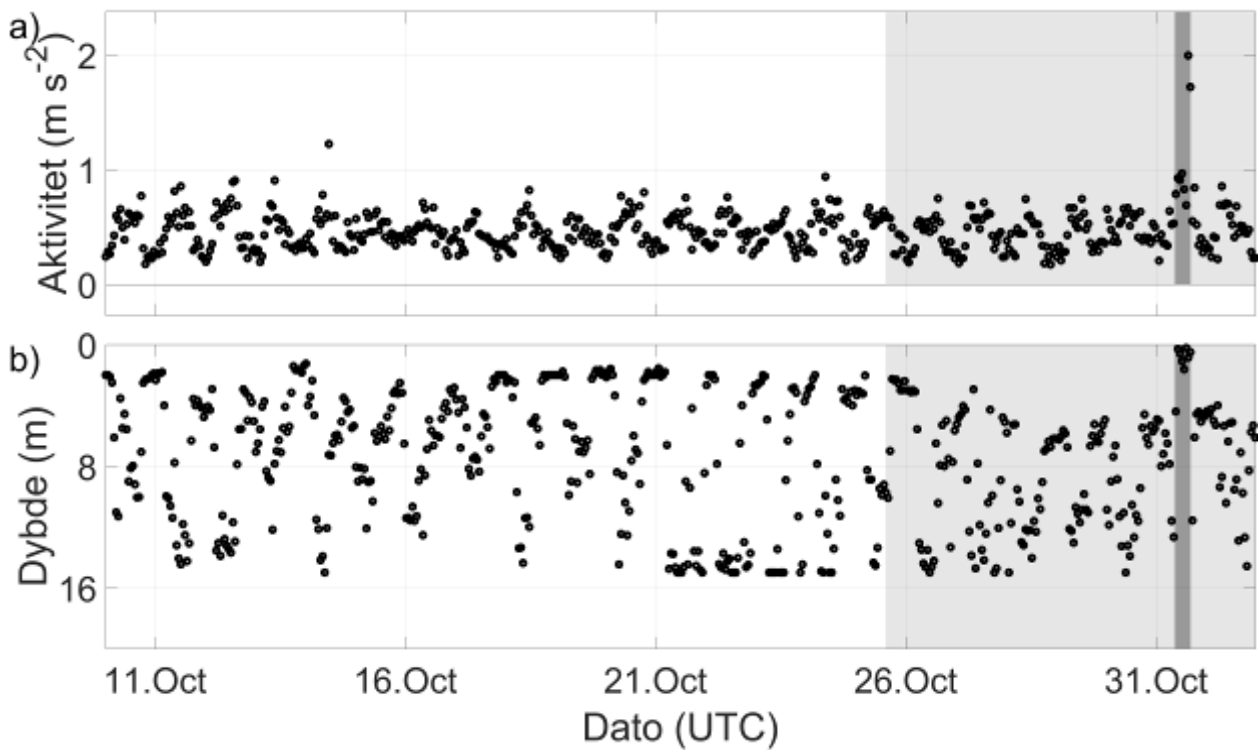
Figur 49: individfisk 186



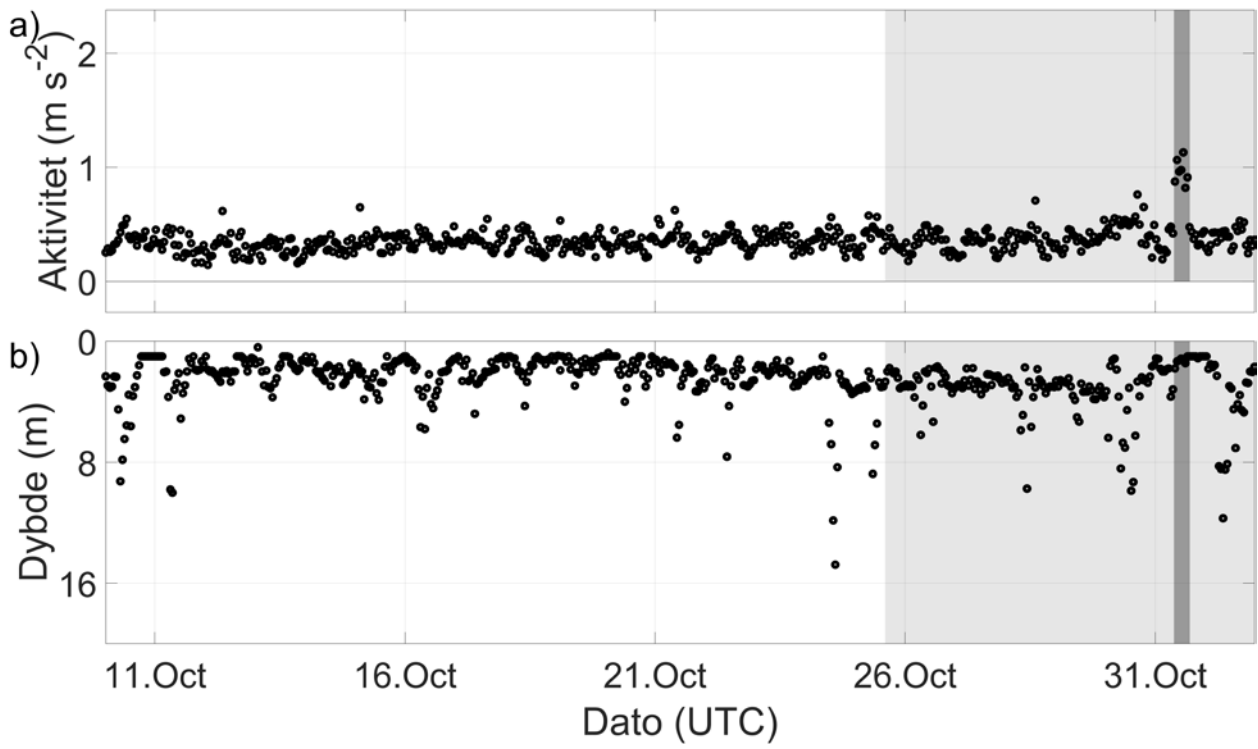
Figur 50: individfisk 189. Signalform (aktivitet = 0, dybde >15 m) antyder enten at fisken døde eller at merket ble utstøtt 25. oktober.



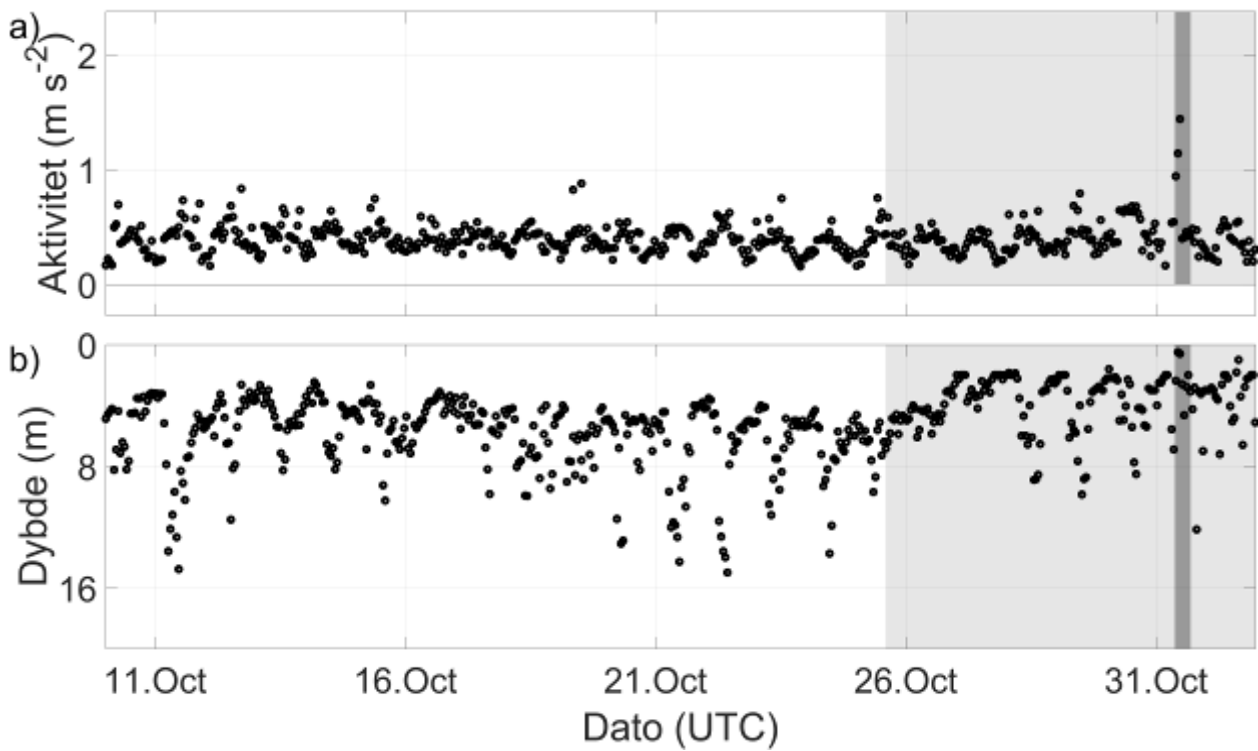
Figur 51: individfisk 192



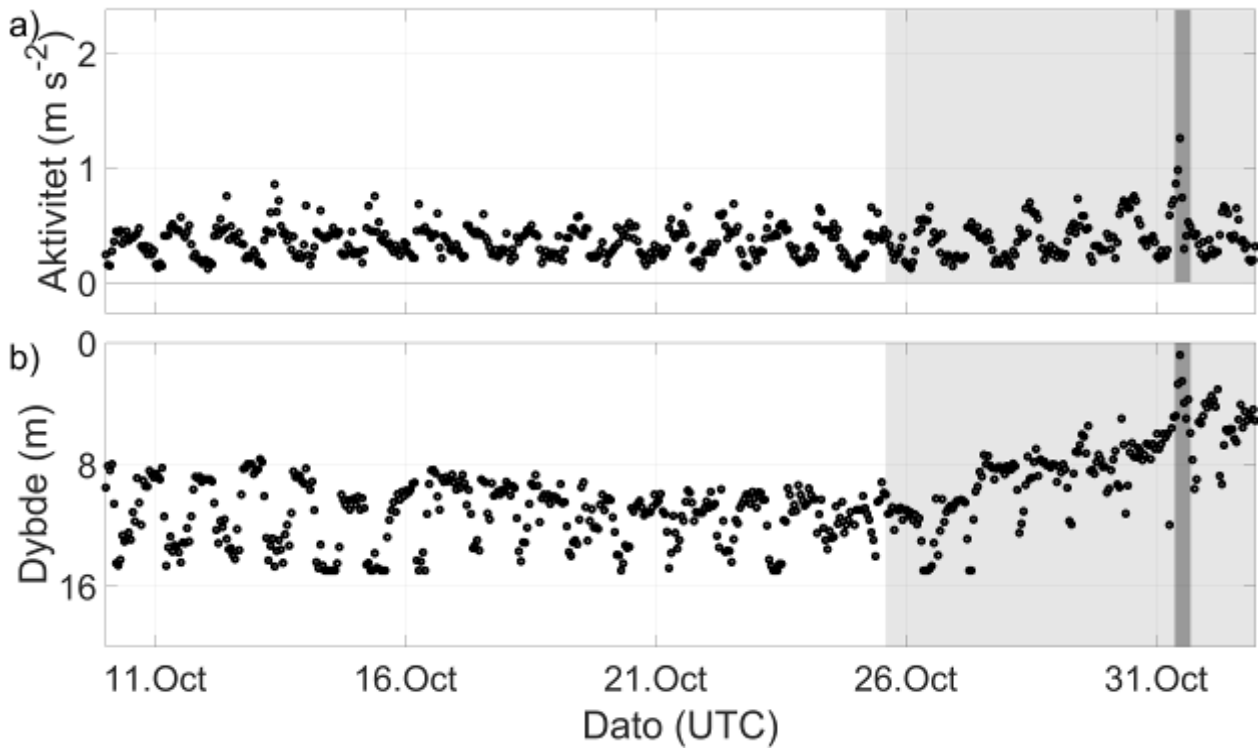
Figur 52: individfisk 198



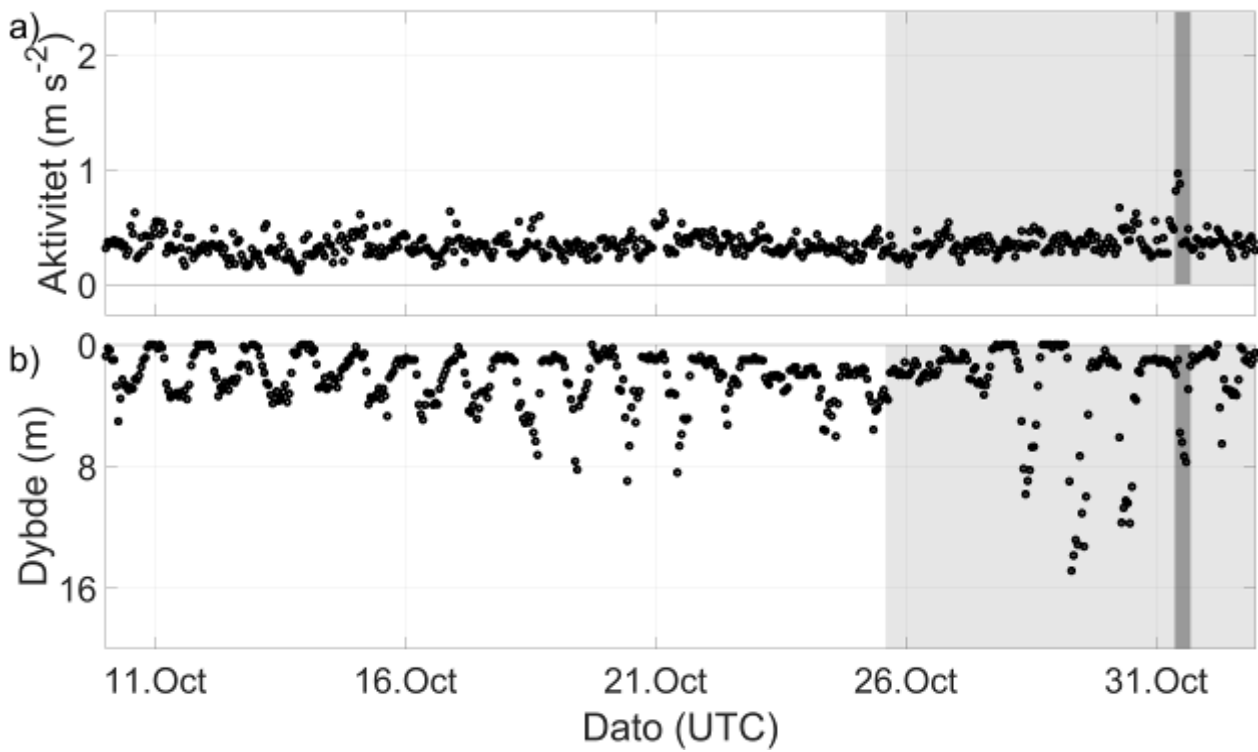
Figur 53: individfisk 201



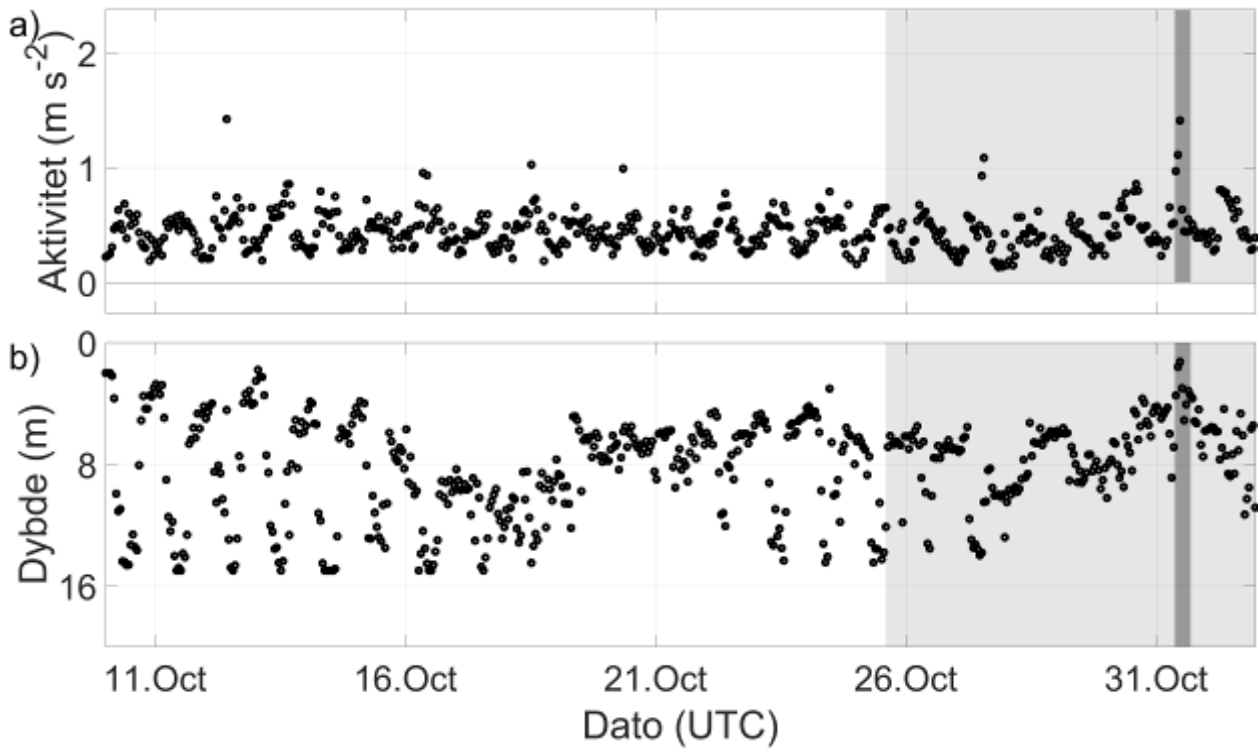
Figur 54: individfisk 204



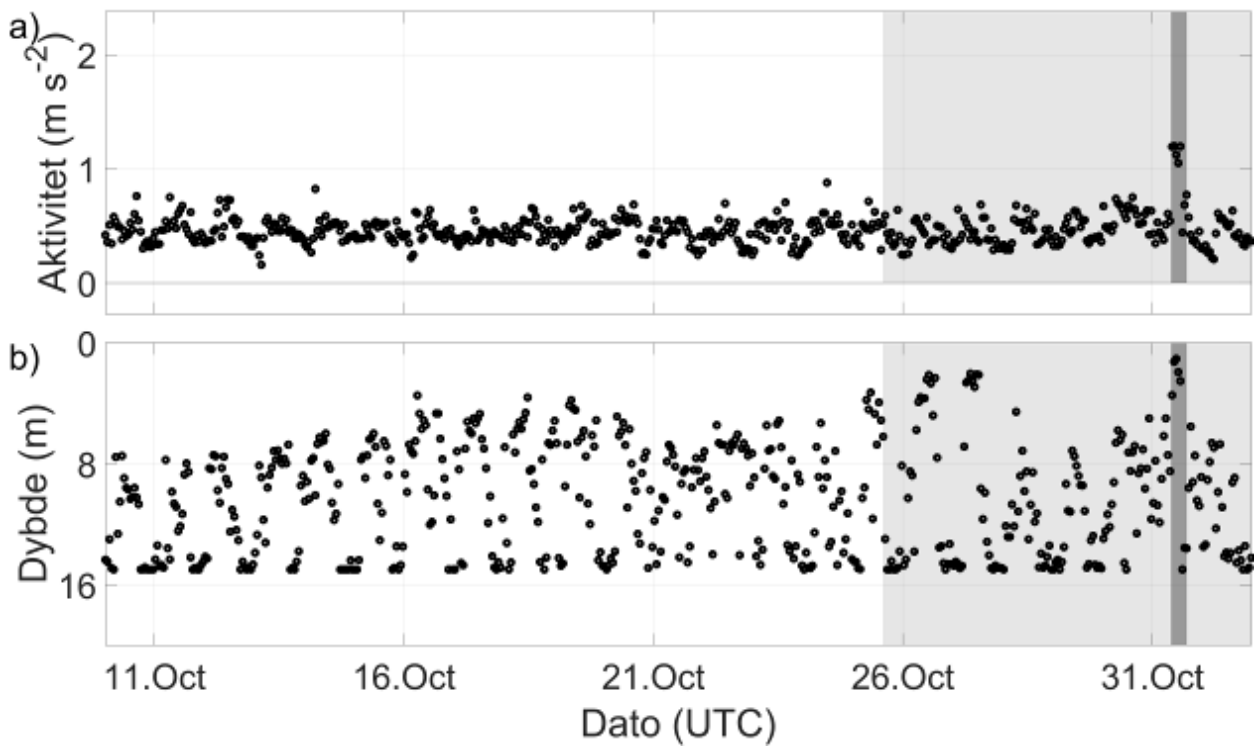
Figur 55: individfisk 207



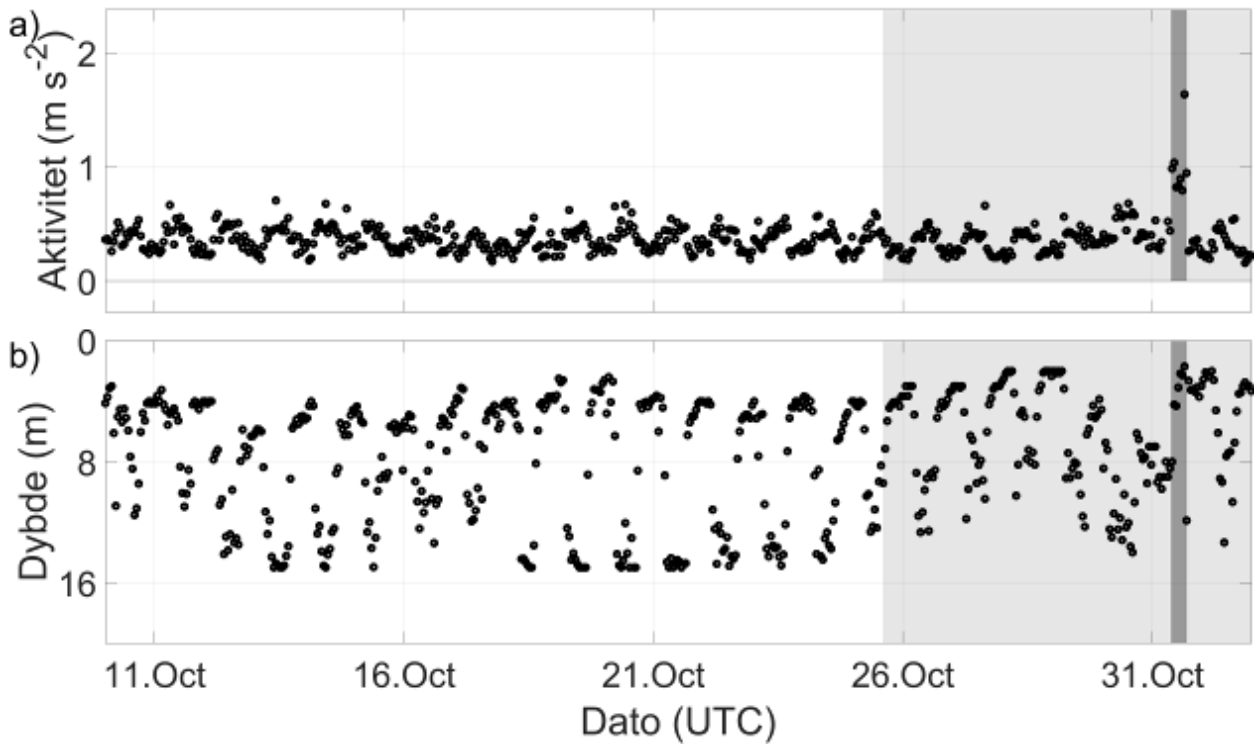
Figur 56: individfisk 210



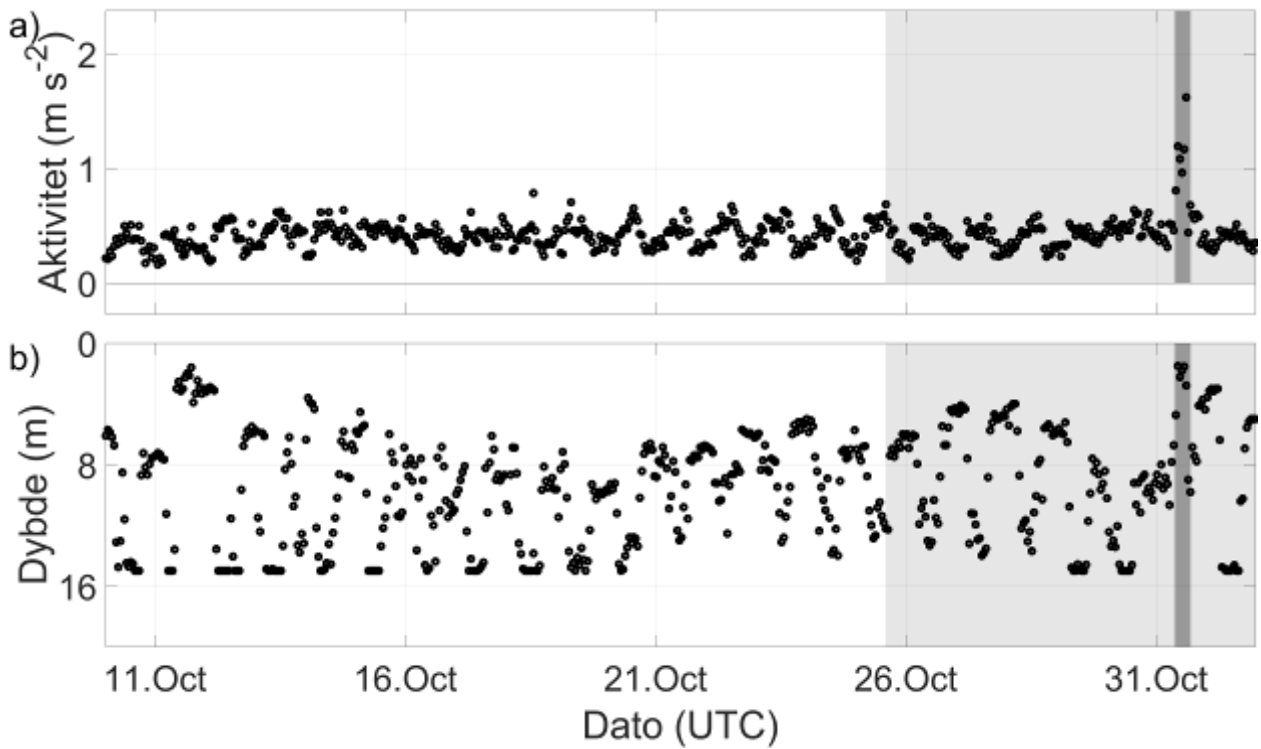
Figur 57: individfisk 213



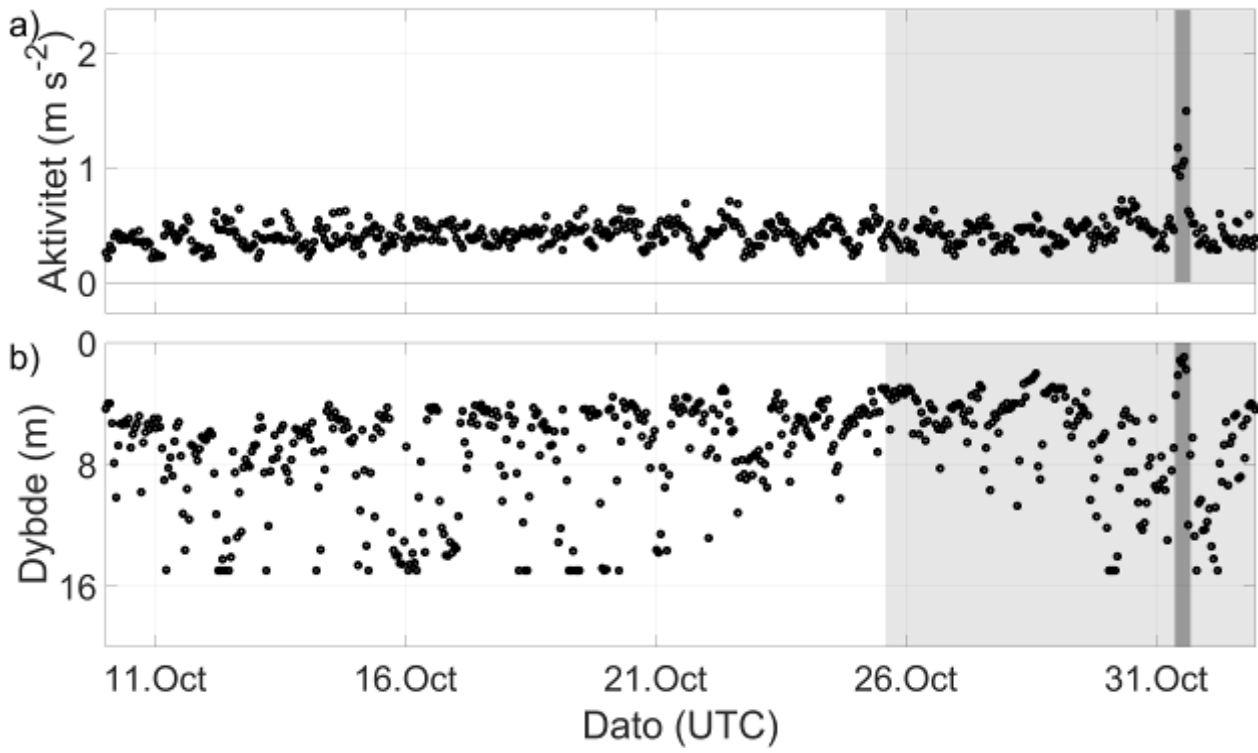
Figur 58: individfisk 216



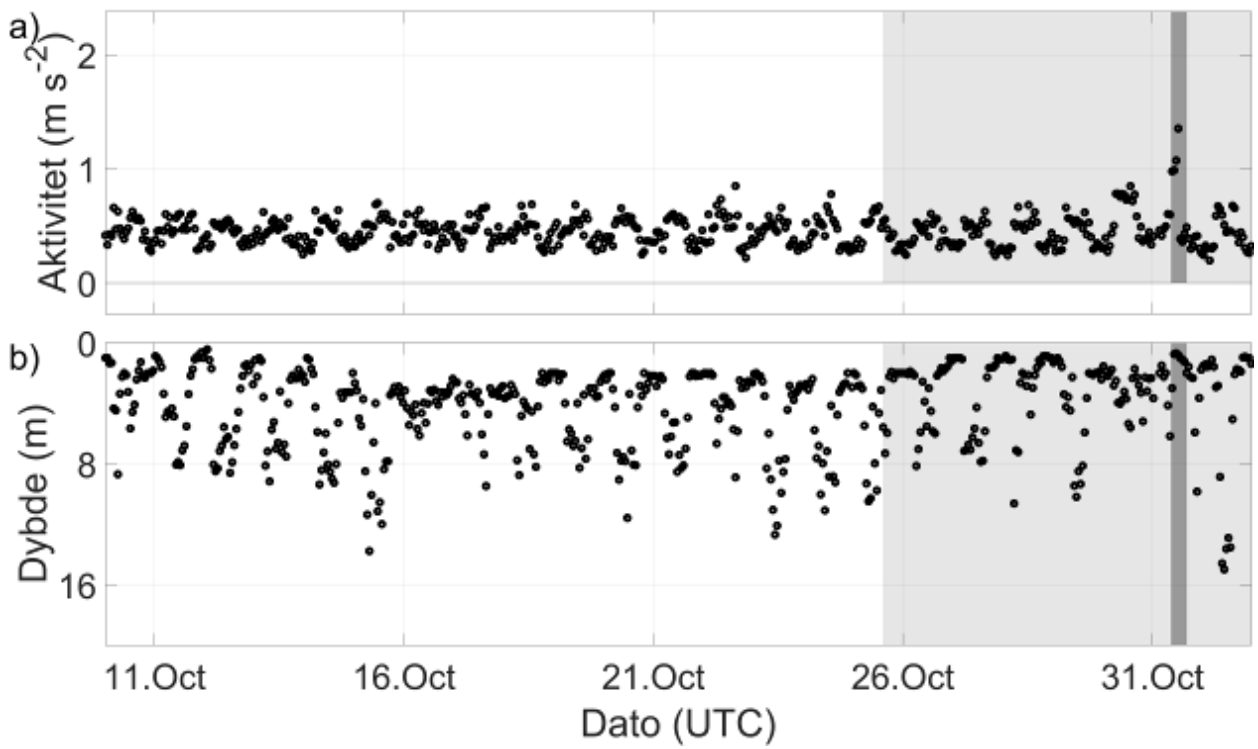
Figur 59: individfisk 222



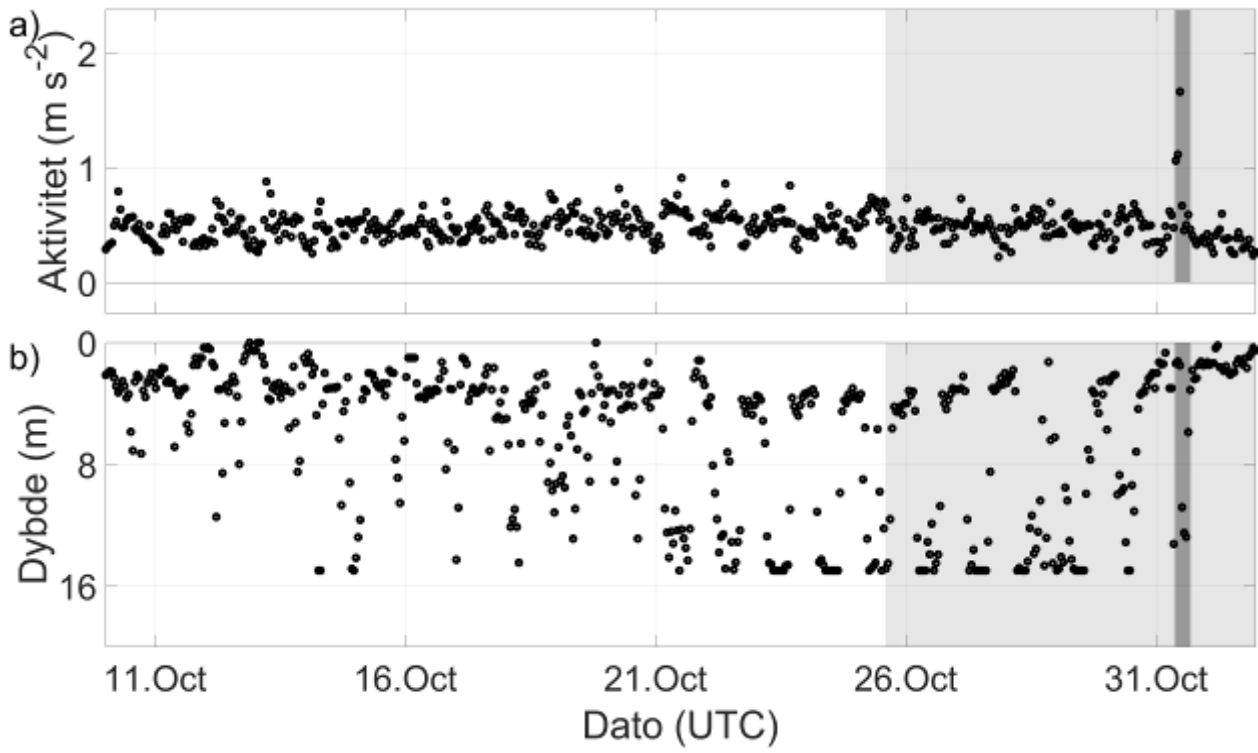
Figur 60: individfisk 225



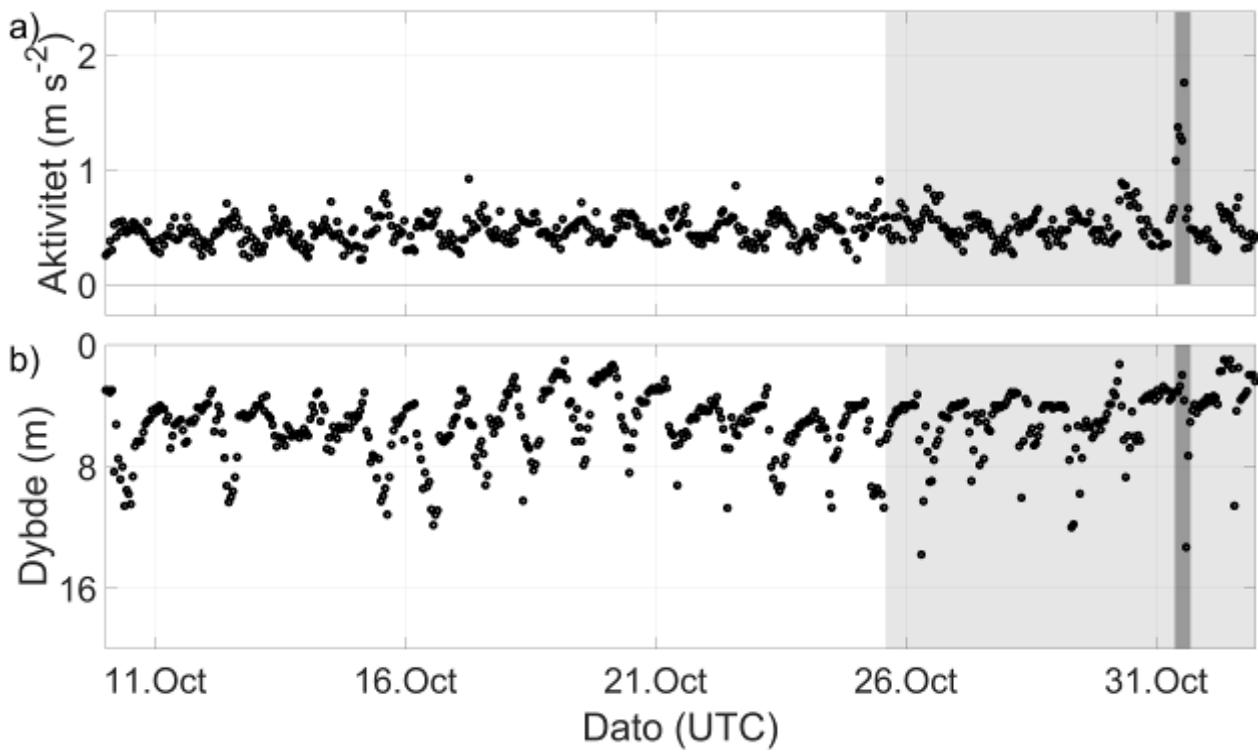
Figur 61: individfisk 228



Figur 62: individfisk 234



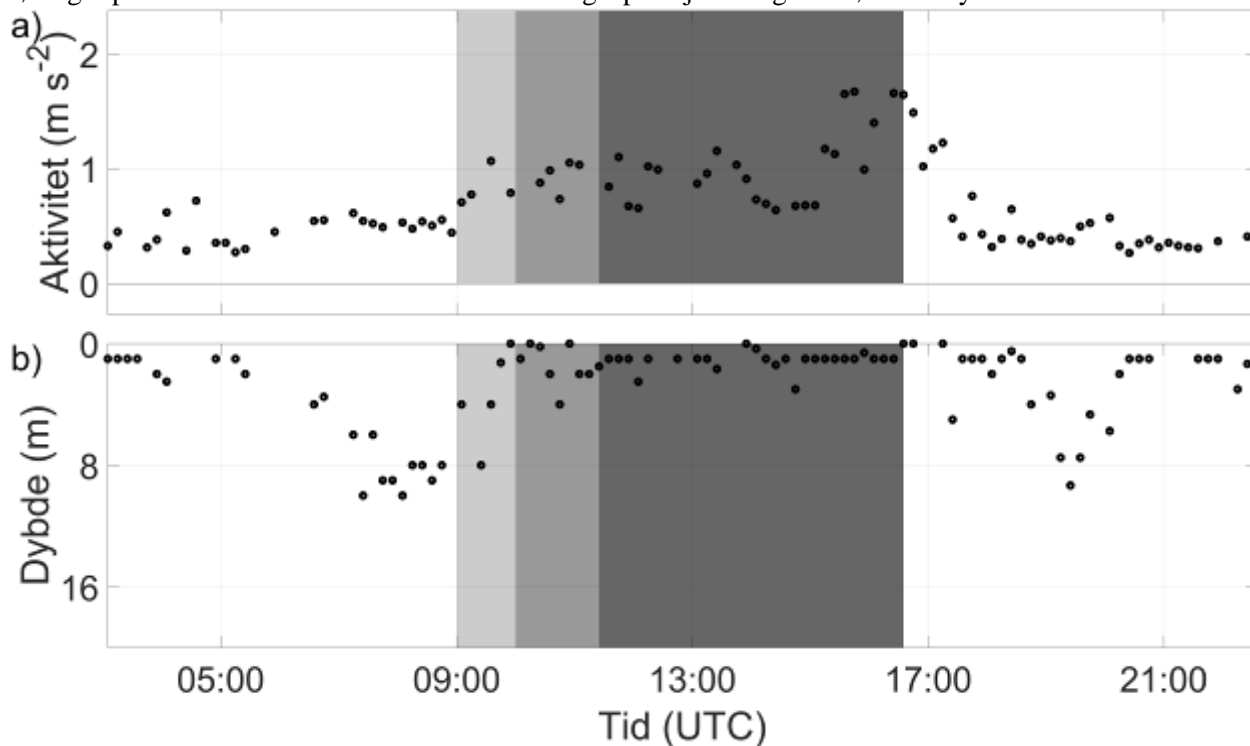
Figur 63: individfisk 240



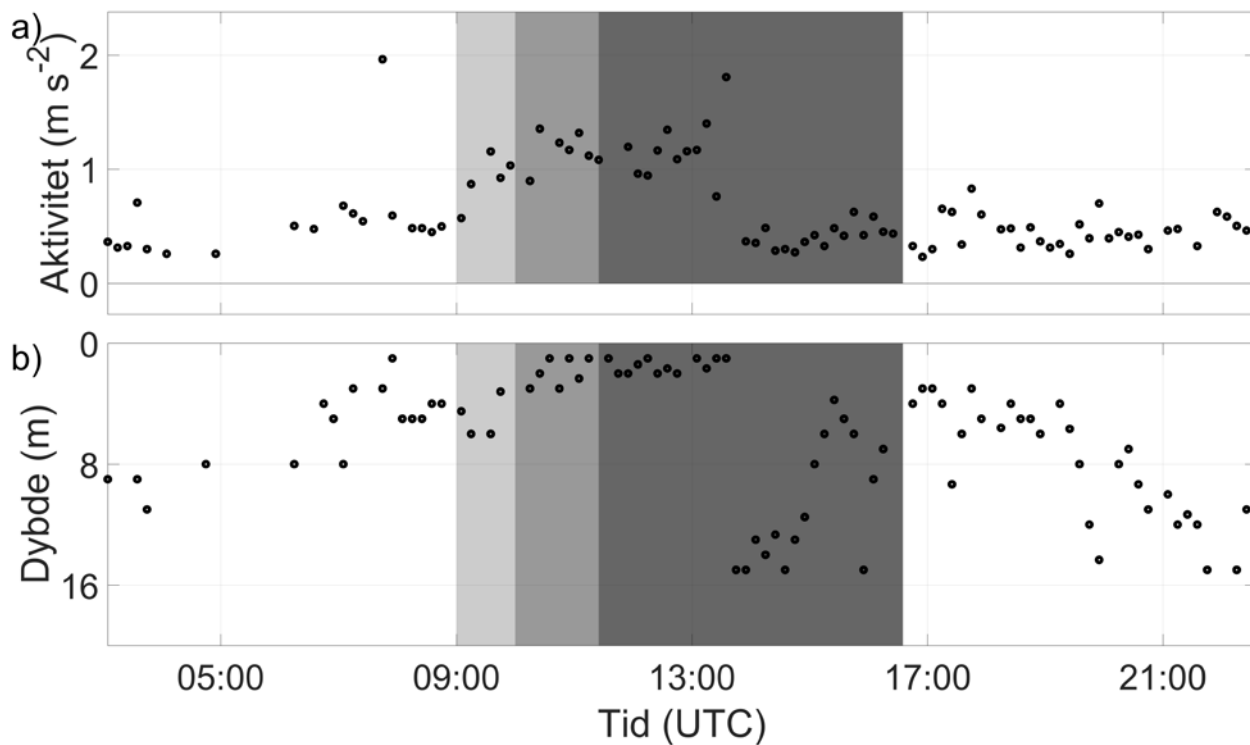
Figur 64: individfisk 243

A 2: under første avlusning

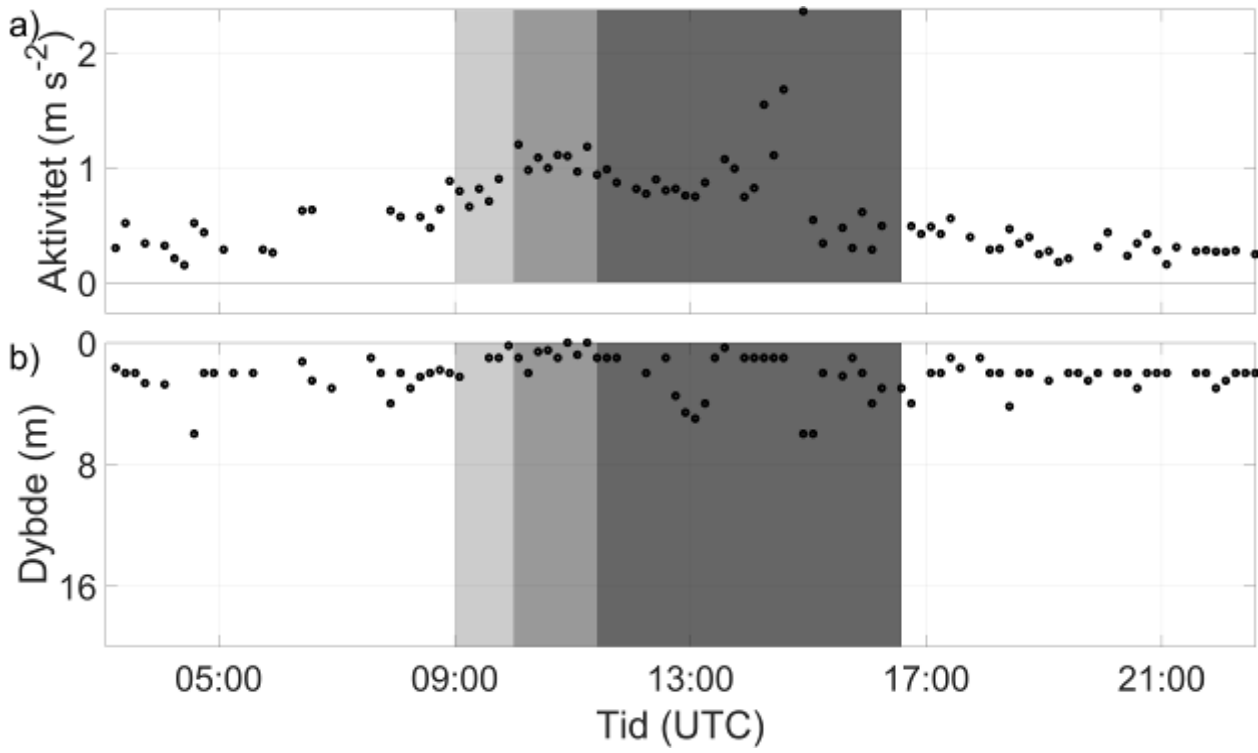
I figurene i denne seksjonen markerer lys grå opplyning til 7 m, middels mørk grå opplyning til 1 m, og mørk grå perioden der fisken utsettes for avlusningsoperasjonen og overføres til ny merd.



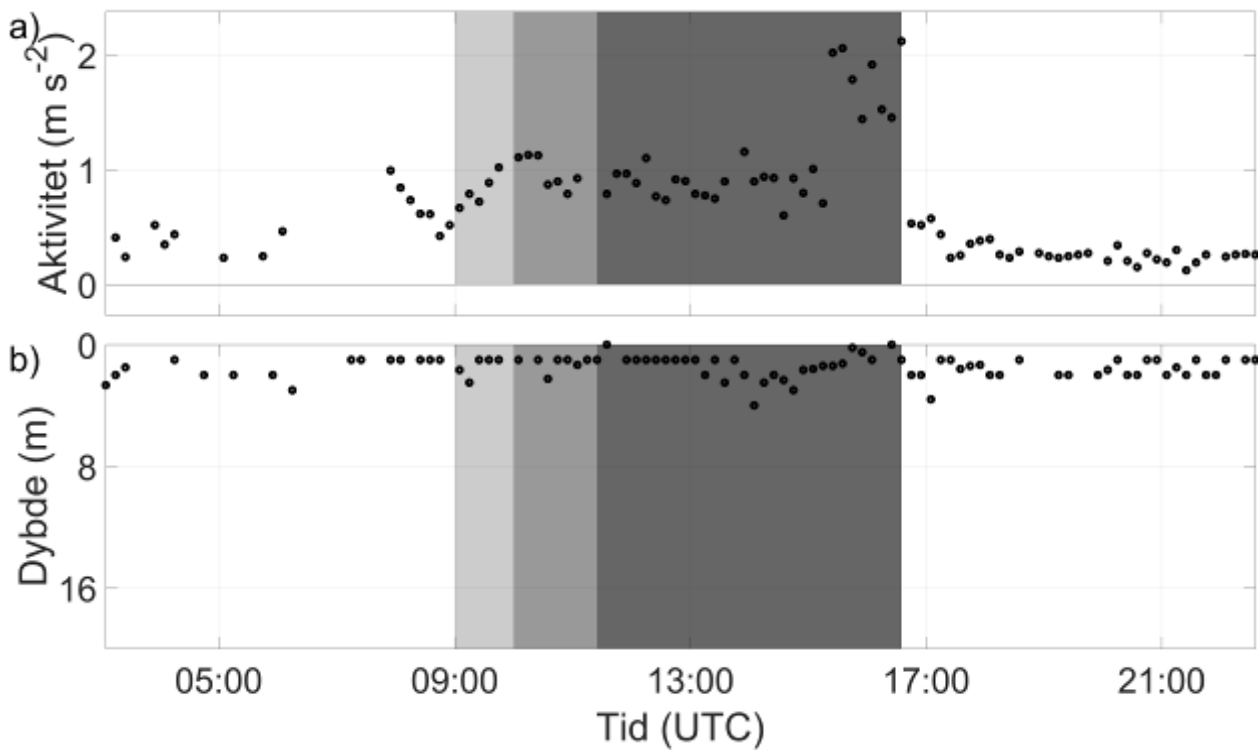
Figur 65: individfisk 180



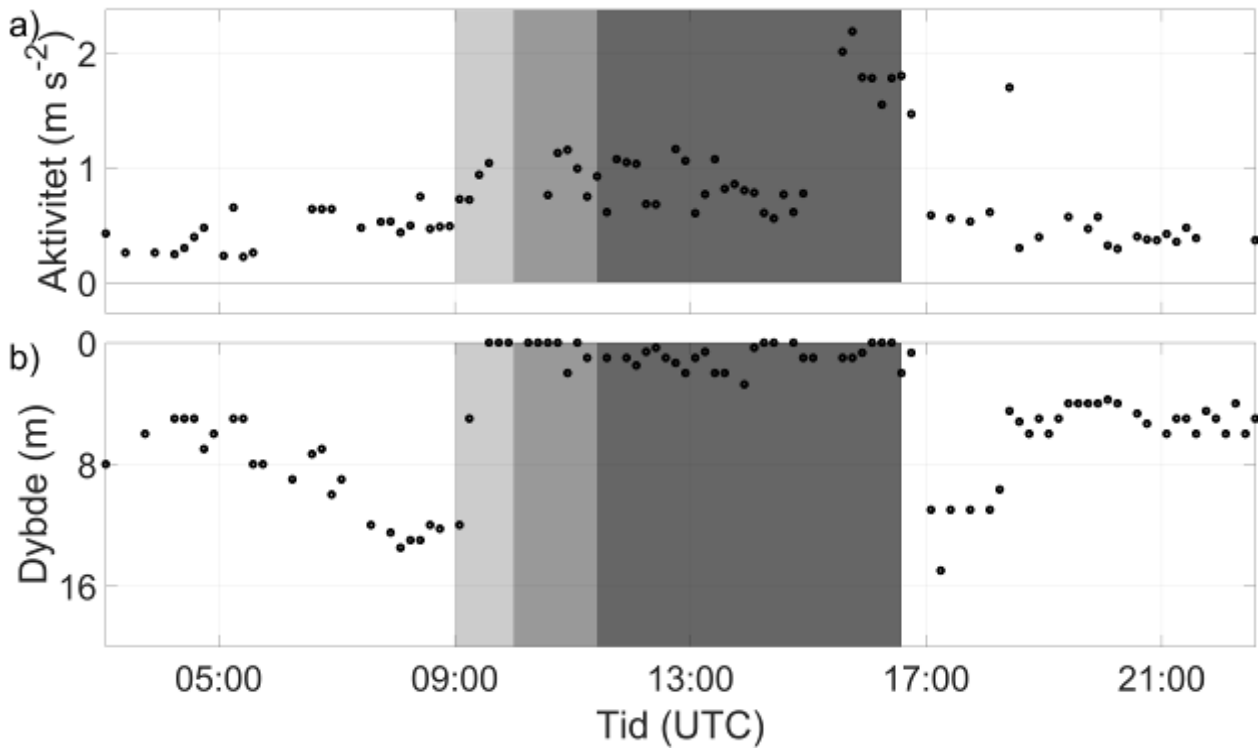
Figur 66: individfisk 183



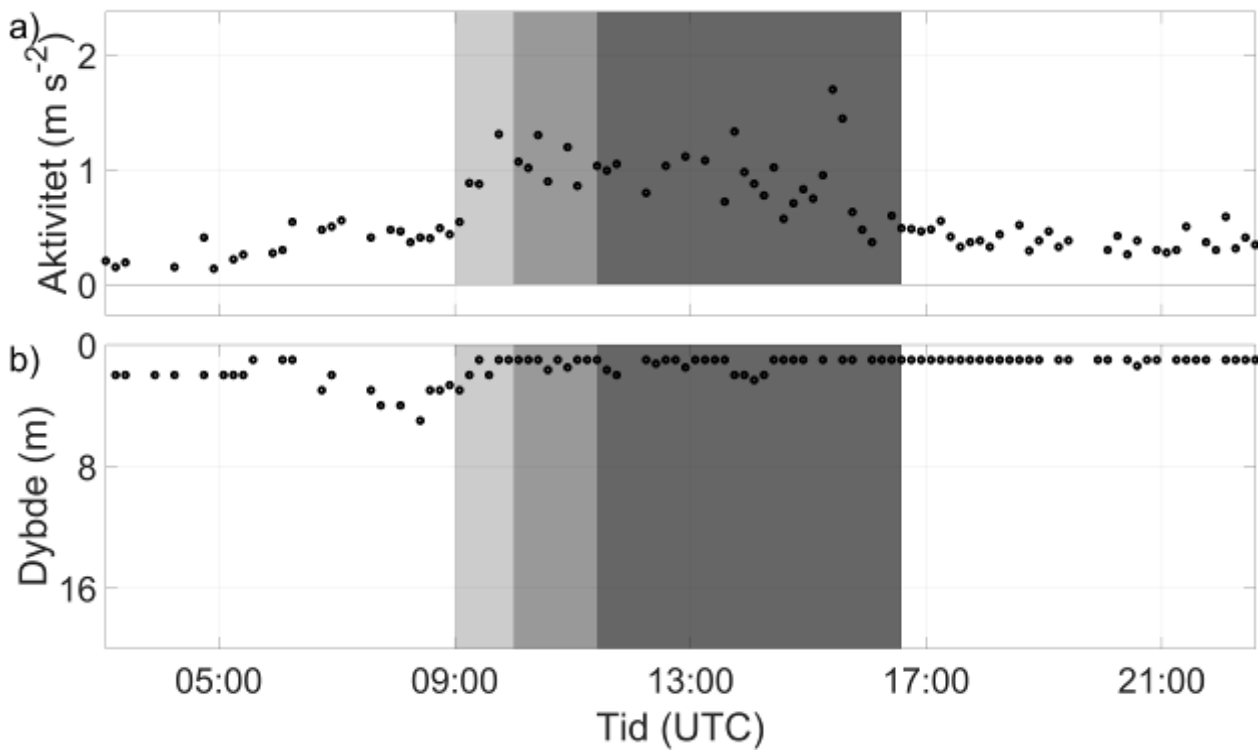
Figur 67: individfisk 186



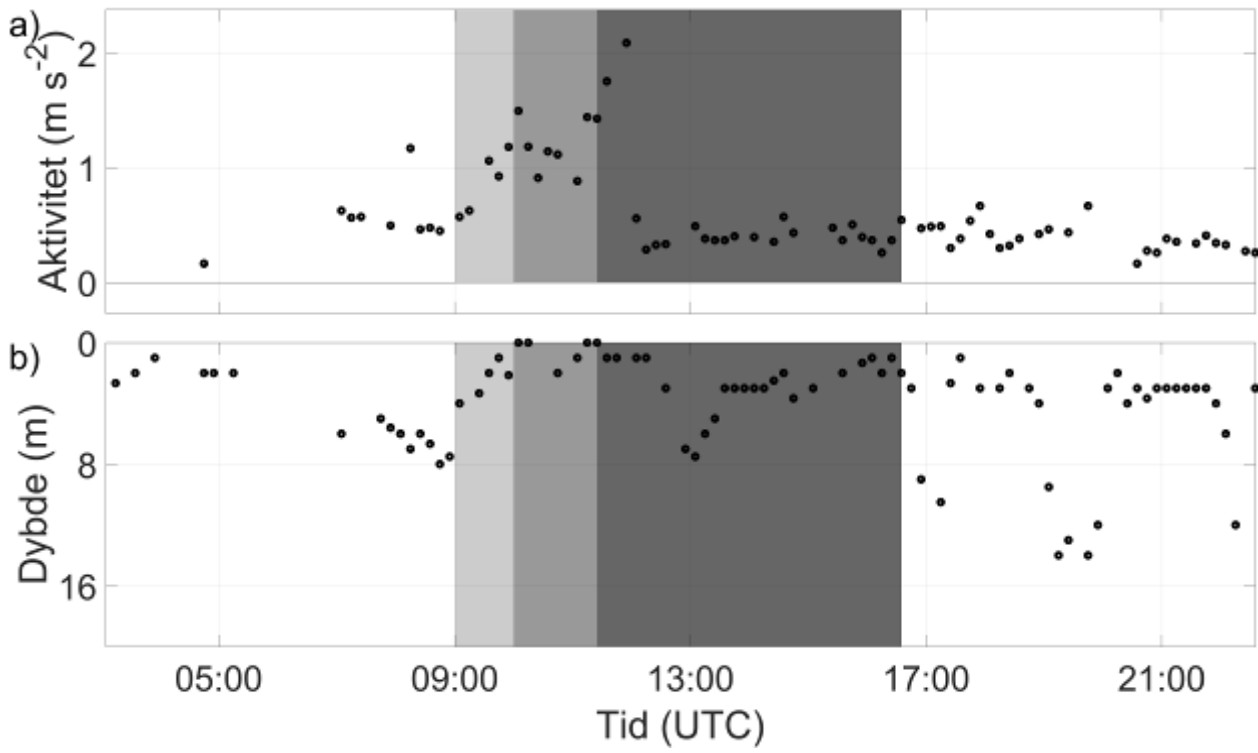
Figur 68: individfisk 192



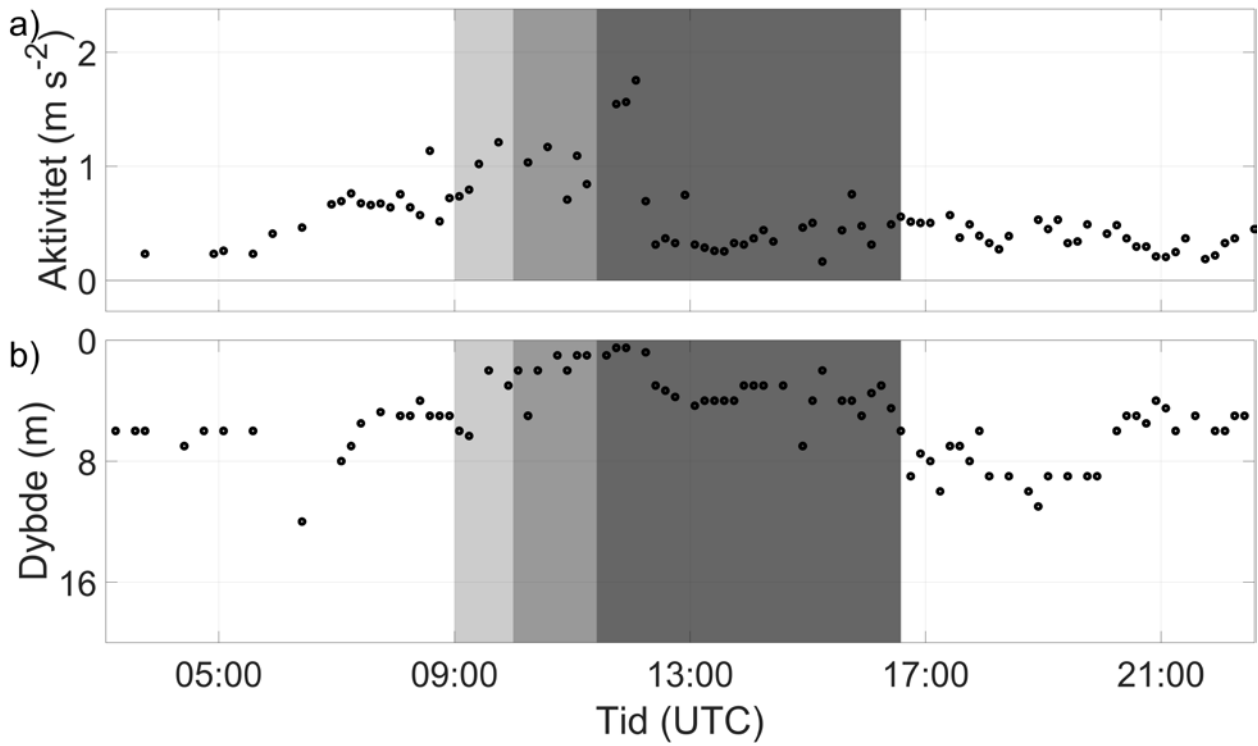
Figur 69: individfisk 198



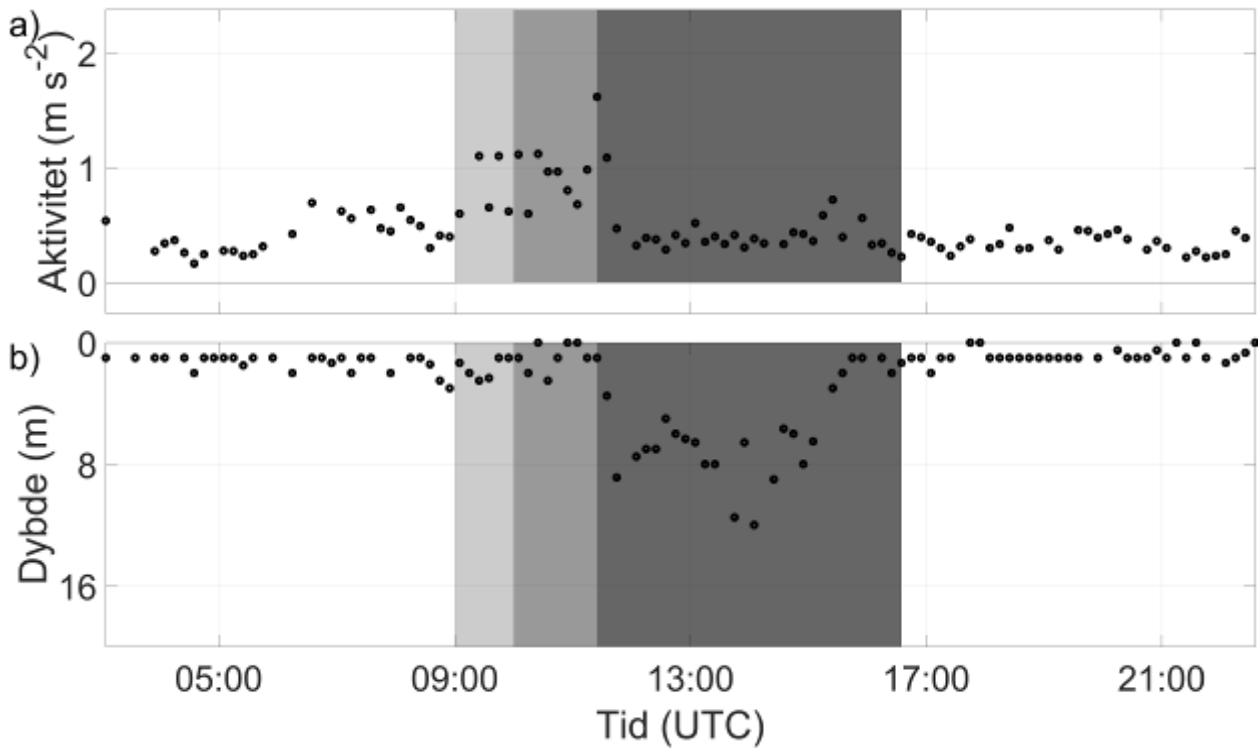
Figur 70: individfisk 201



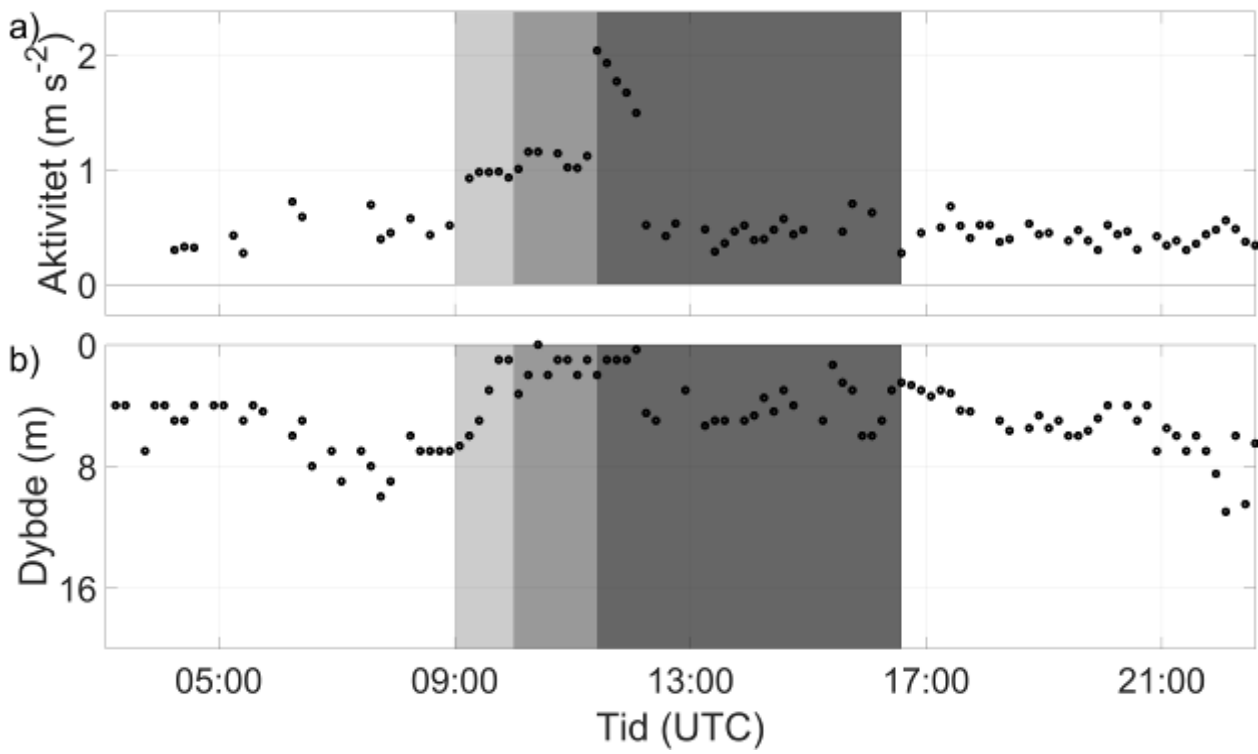
Figur 71: individfisk 204



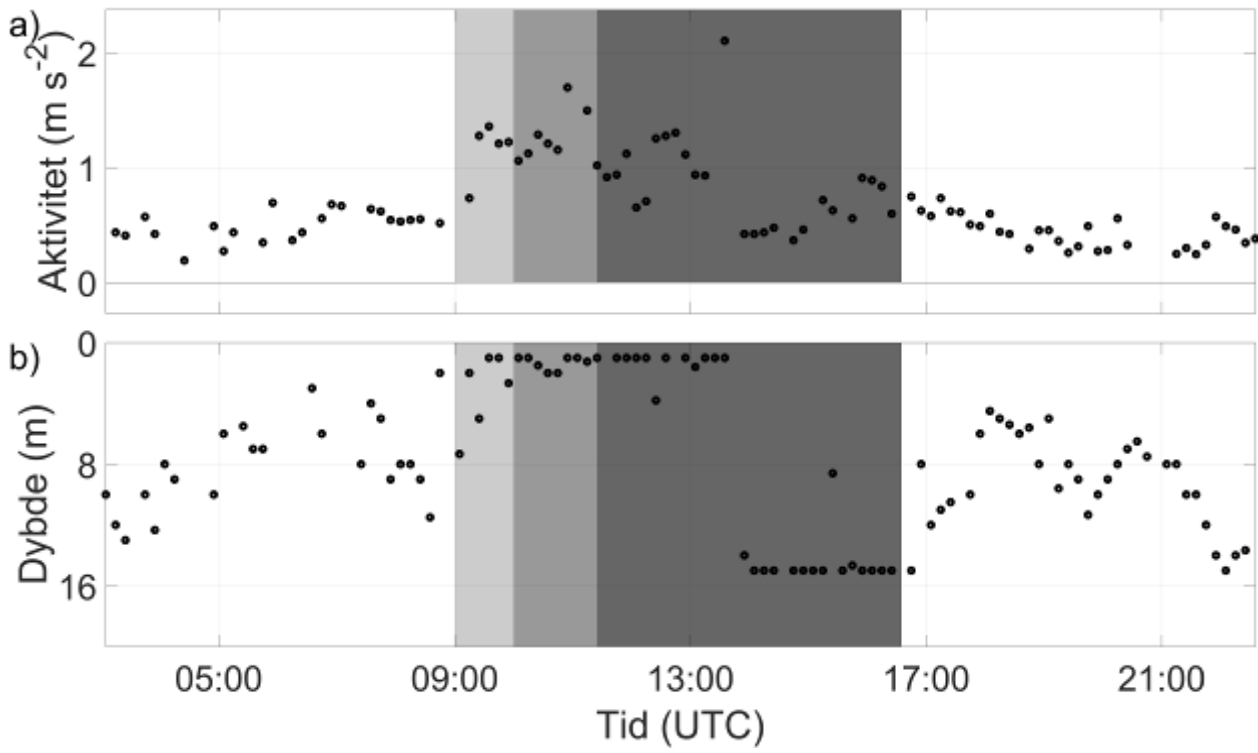
Figur 72: individfisk 207



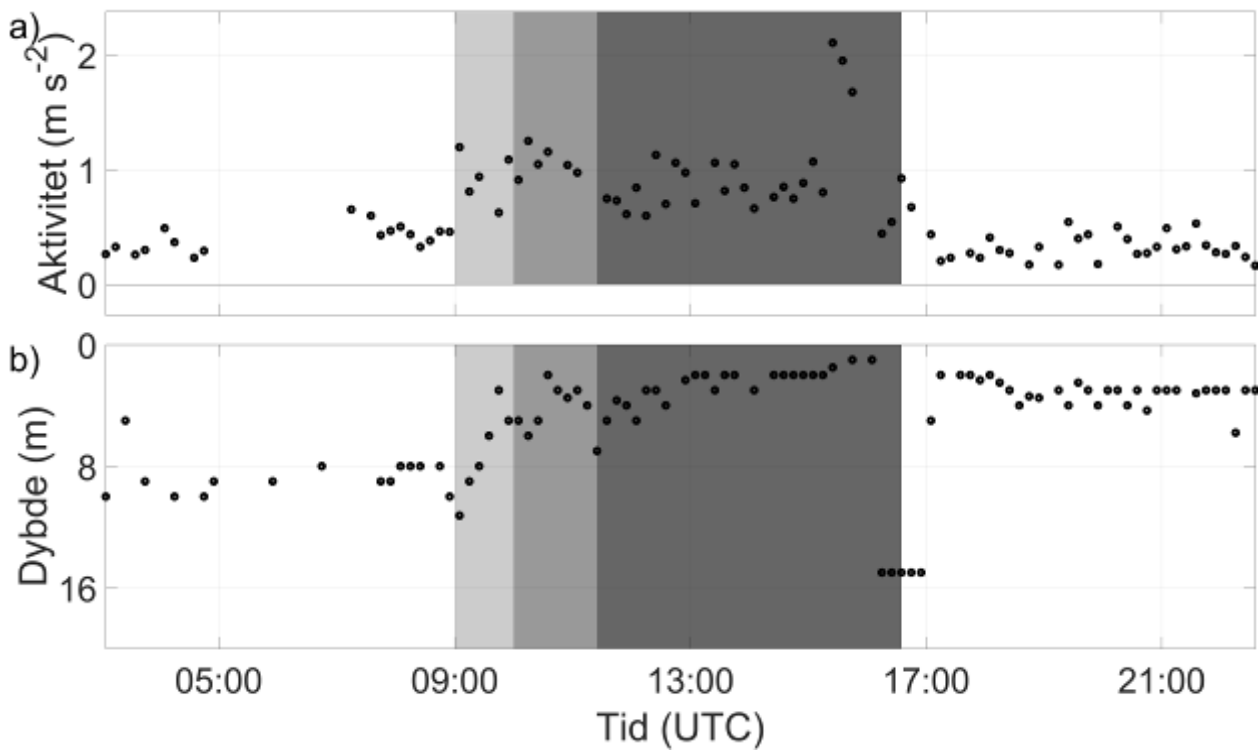
Figur 73: individfisk 210



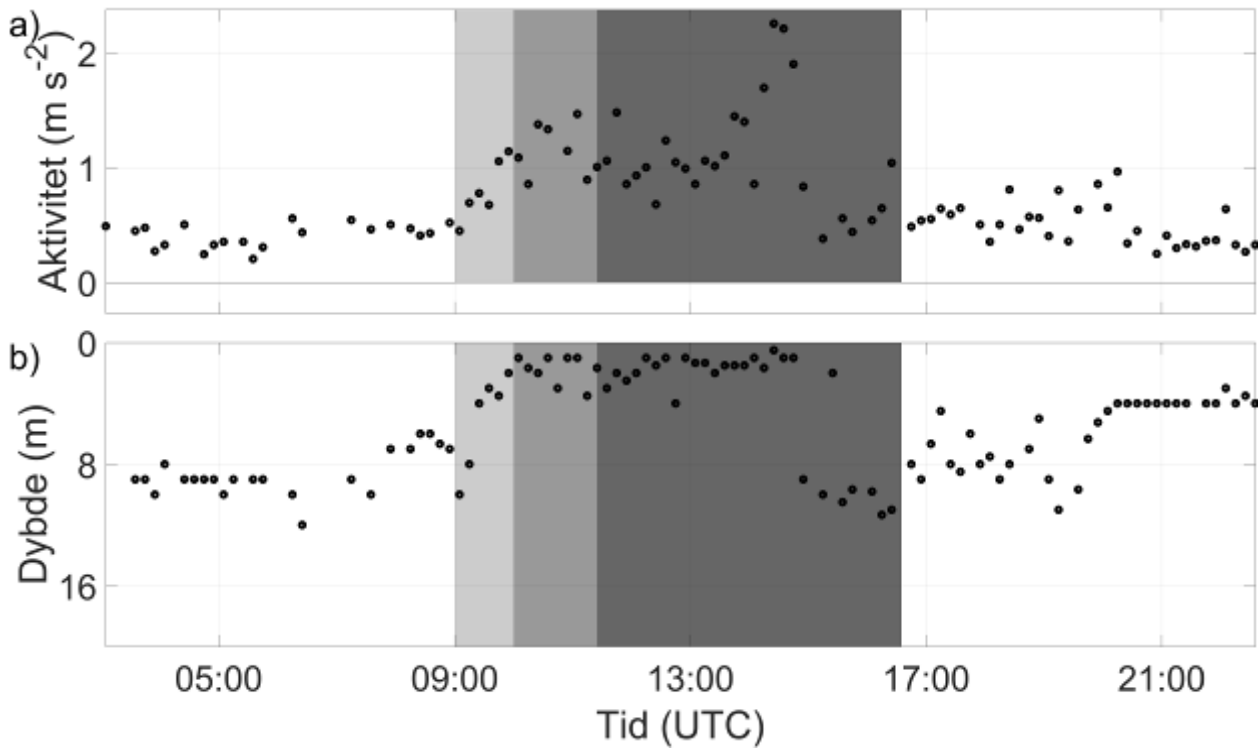
Figur 74: individfisk 213



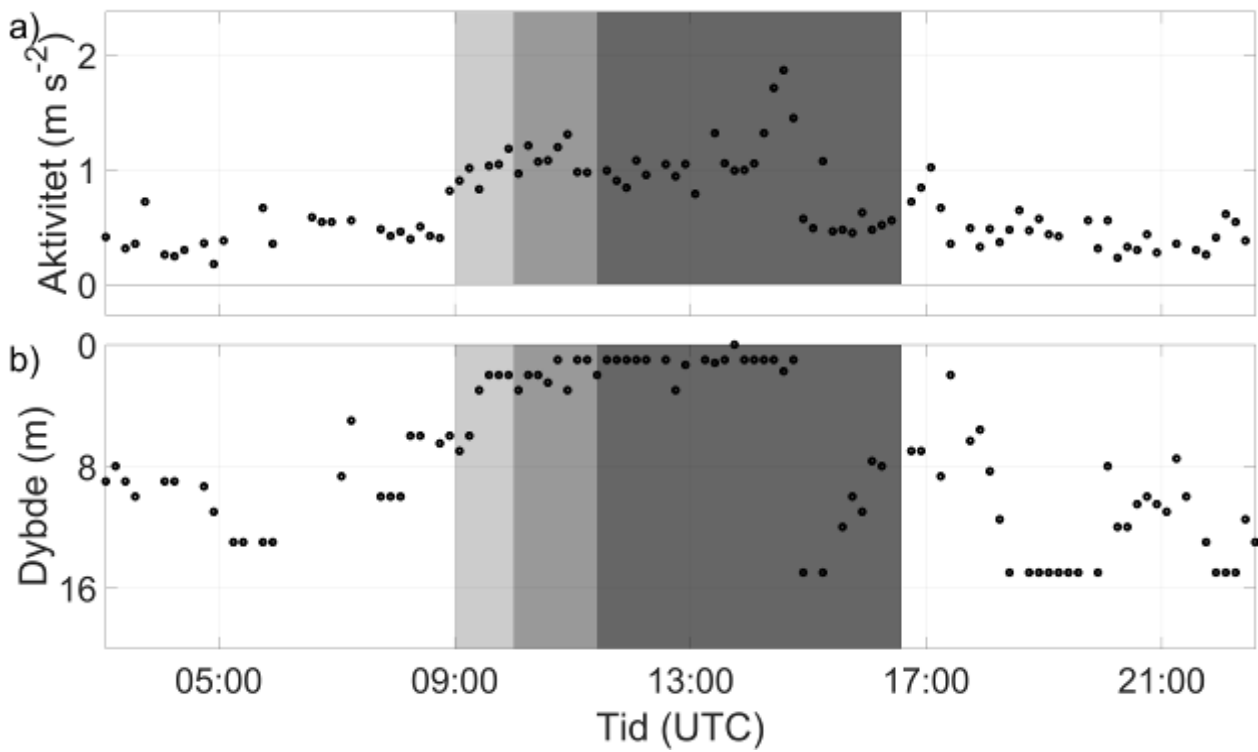
Figur 75: individfisk 216



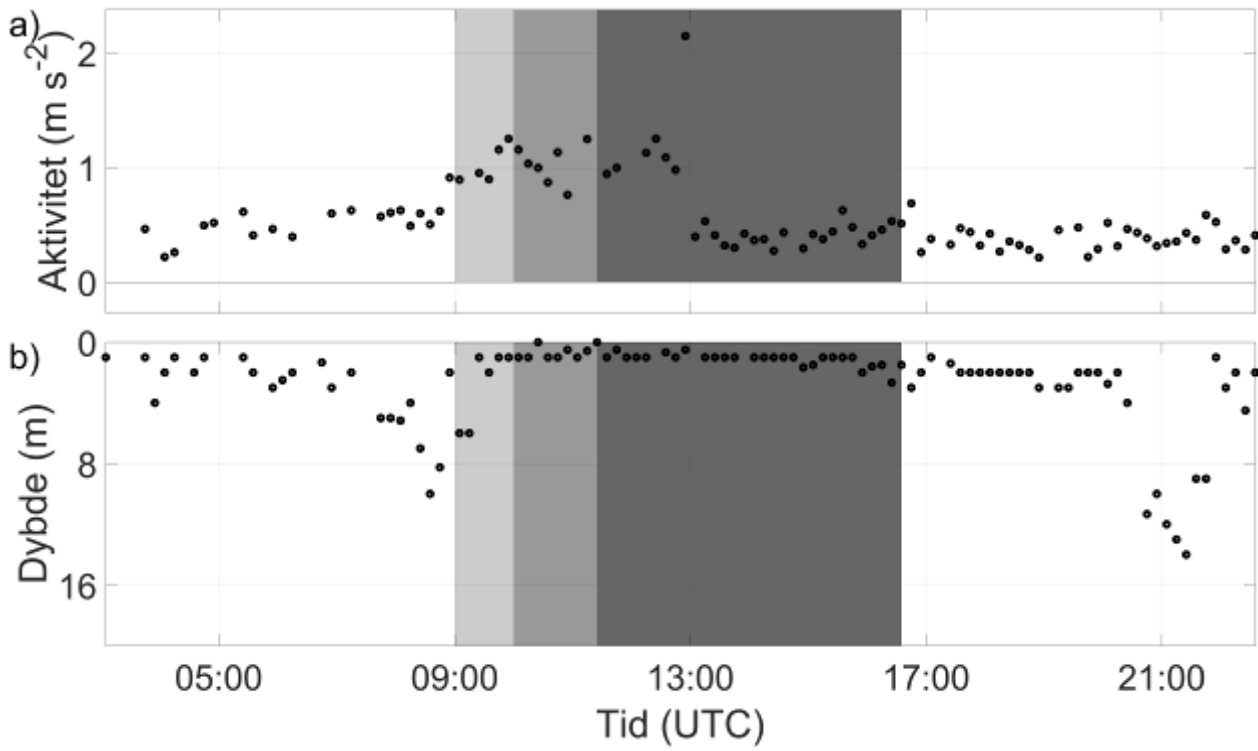
Figur 76: individfisk 222



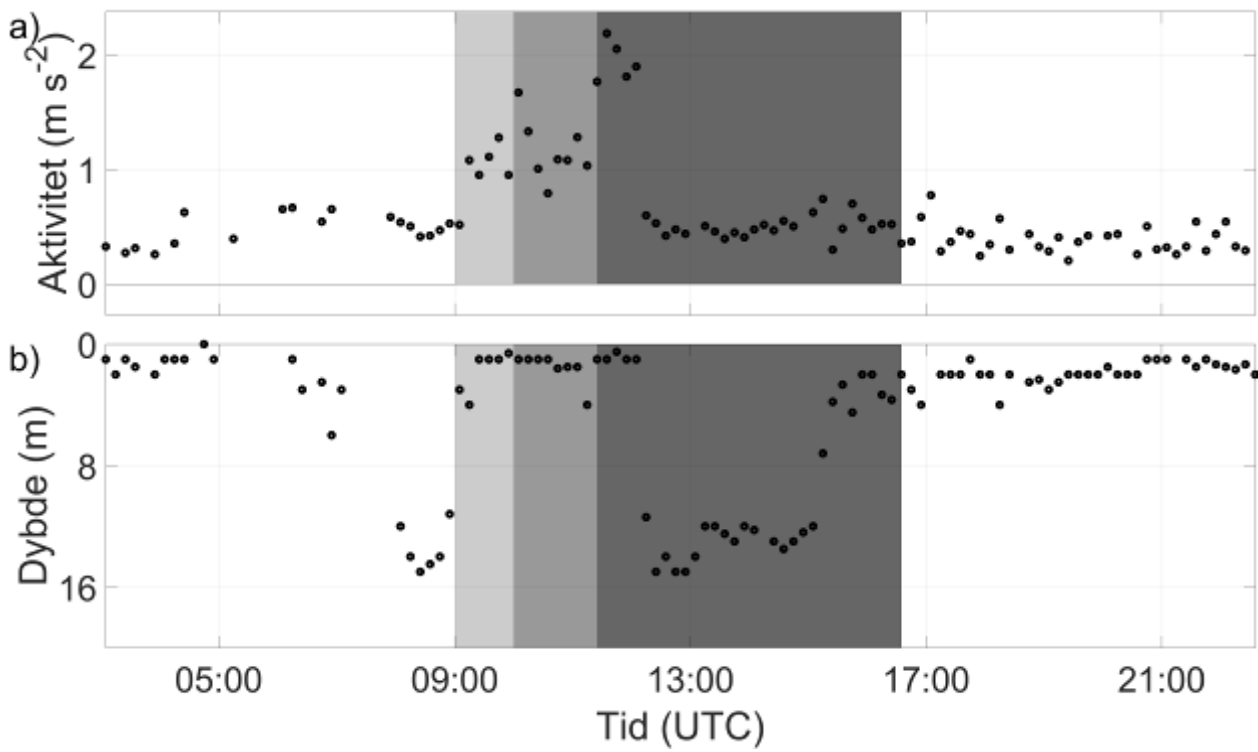
Figur 77: individfisk 225



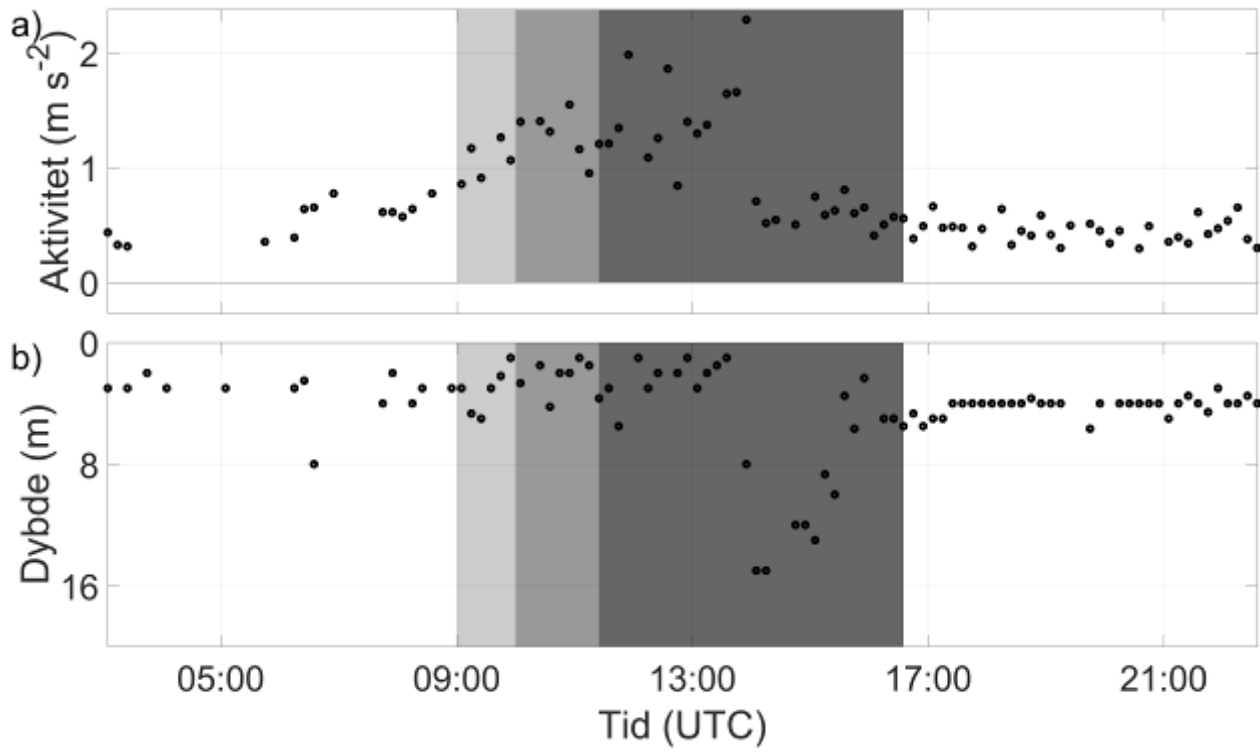
Figur 78: individfisk 228



Figur 79: individfisk 234



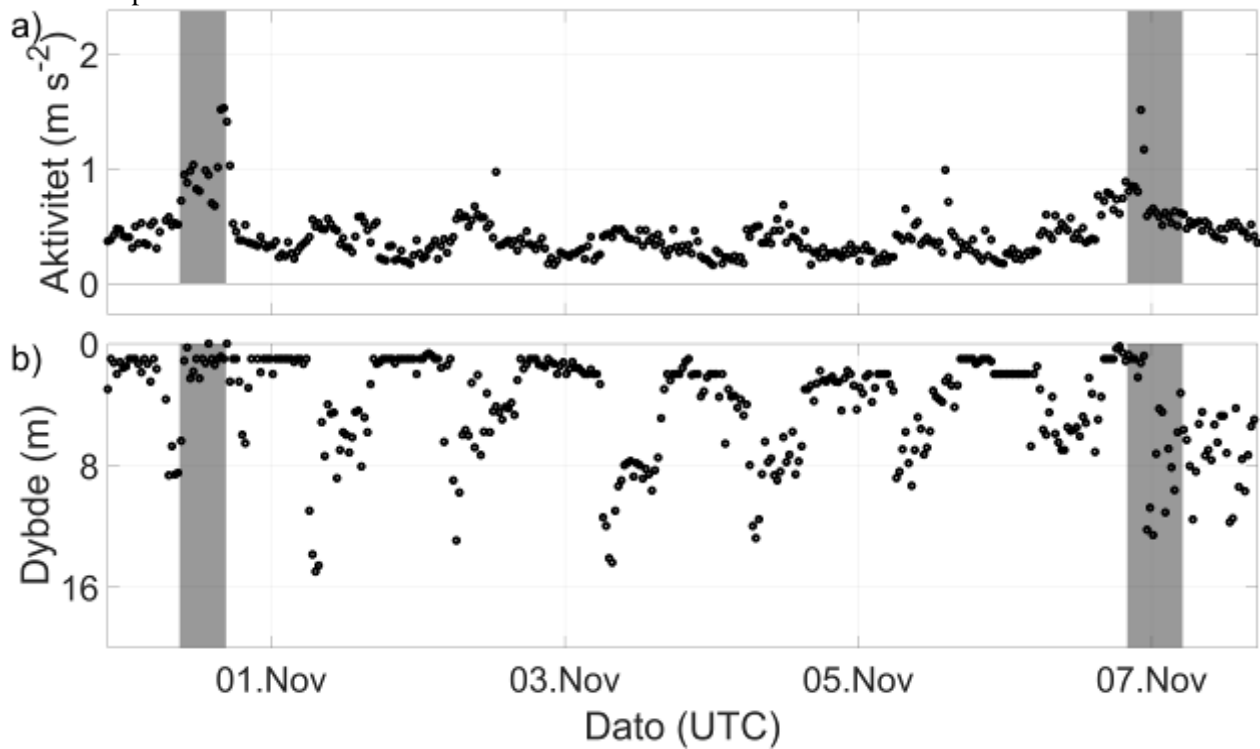
Figur 80: individfisk 240



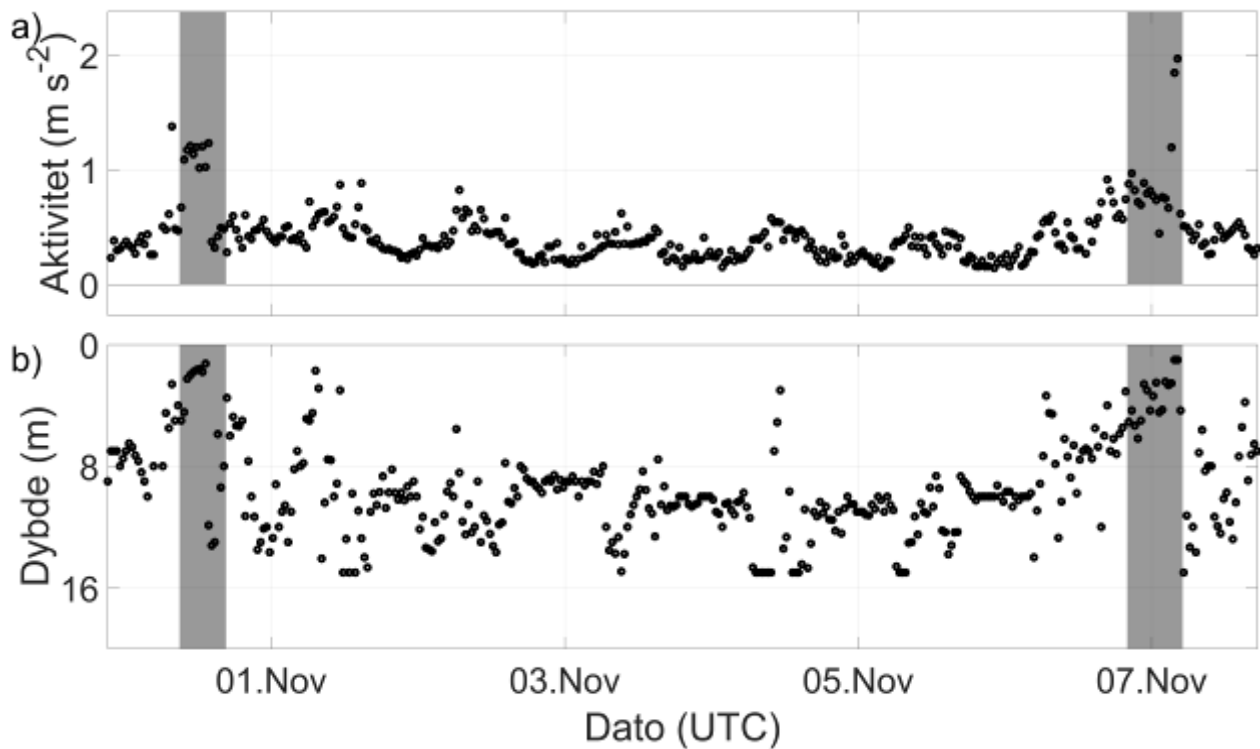
Figur 81: individfisk 243

A 3: mellom første og andre avlusning

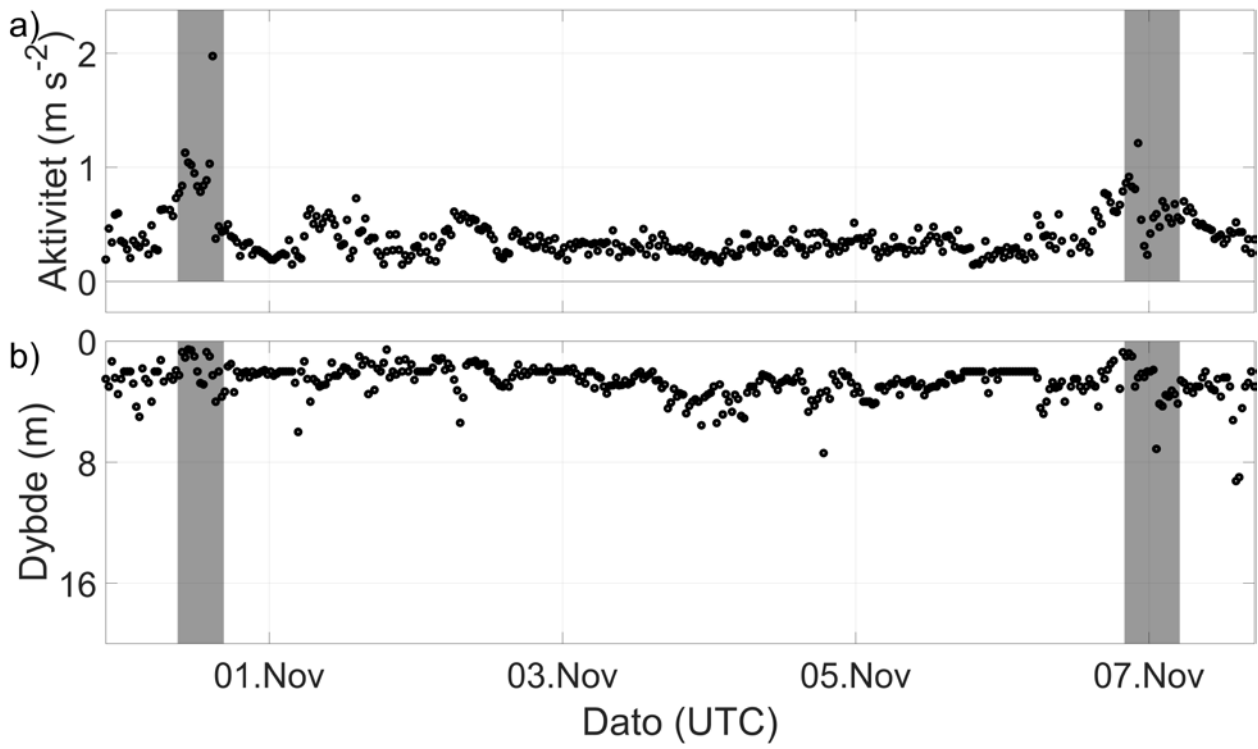
I figurene i denne seksjonen er avlusningsoperasjon 1 og 2 markert med gråfarge. Fisken var under sulting hele denne perioden.



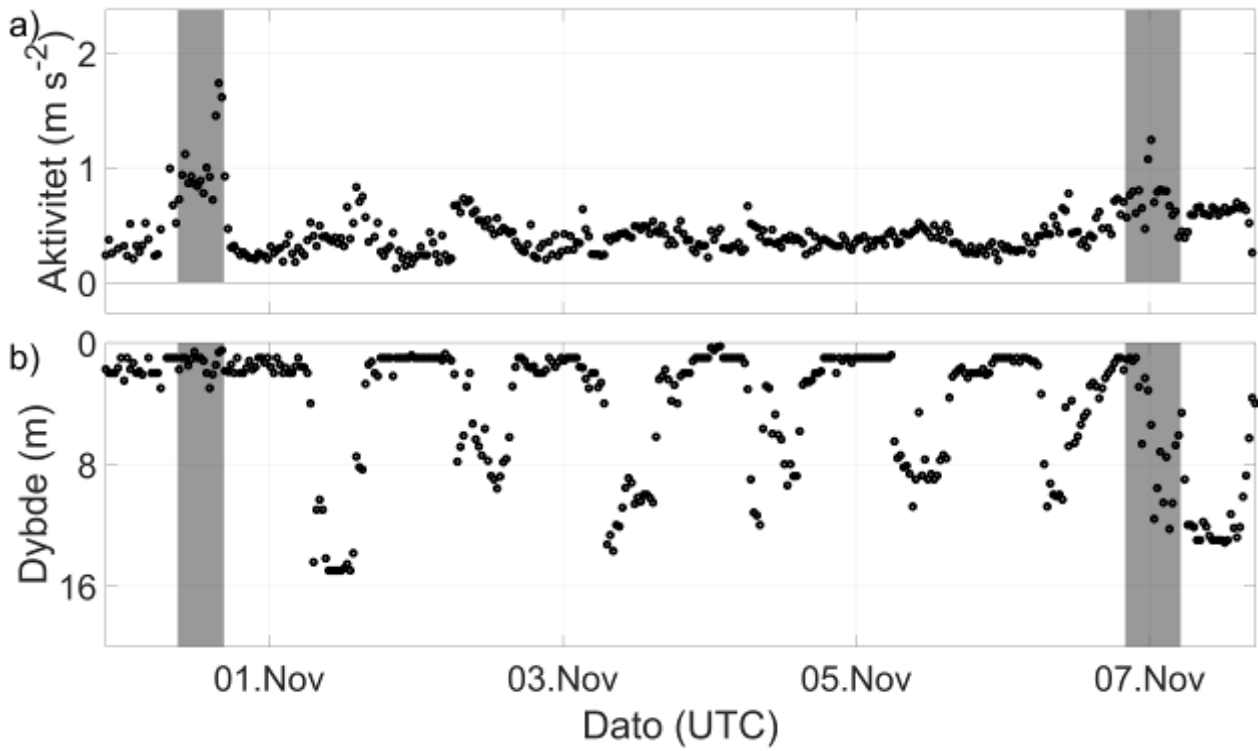
Figur 82: individfisk 183



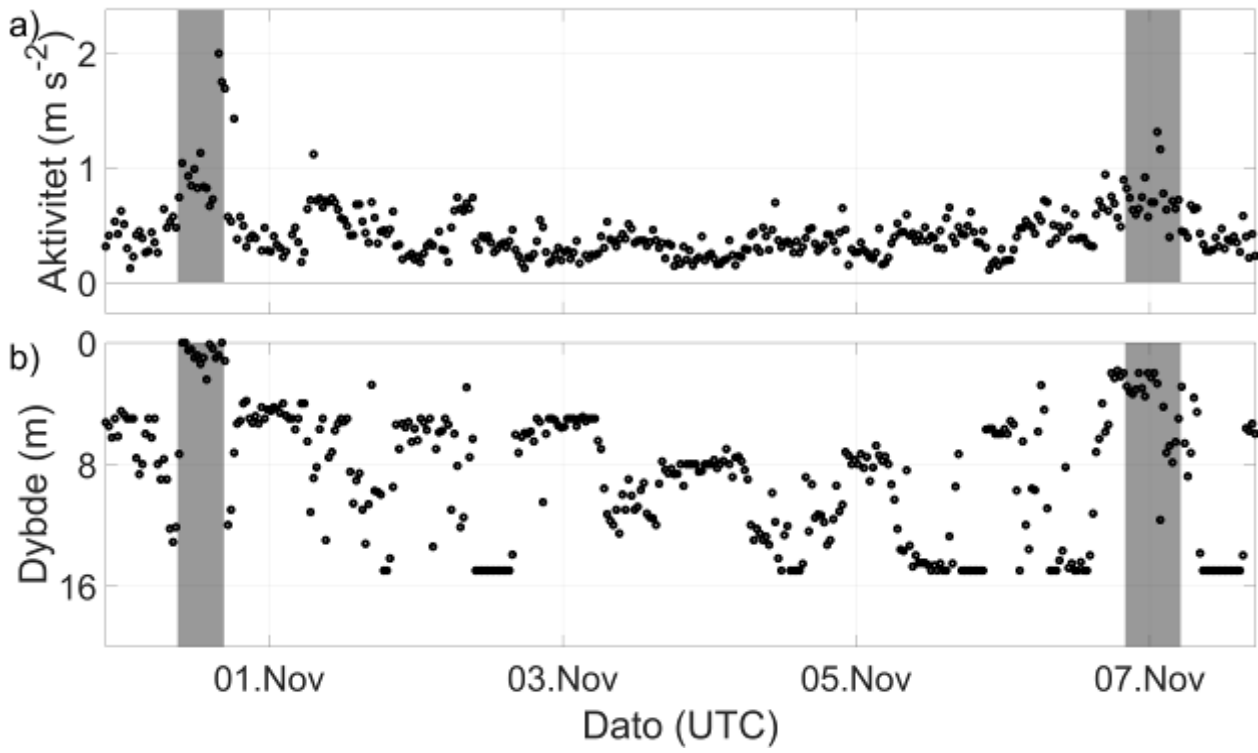
Figur 83: individfisk 183



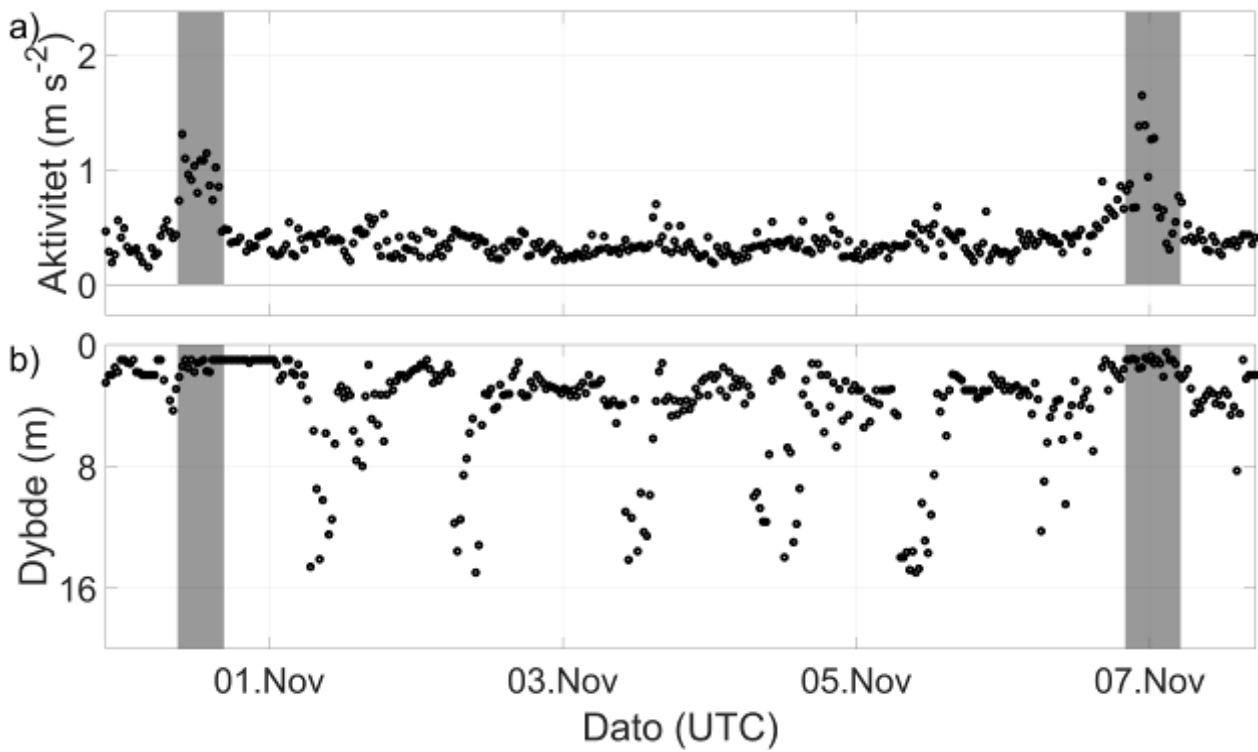
Figur 84: individfisk 186



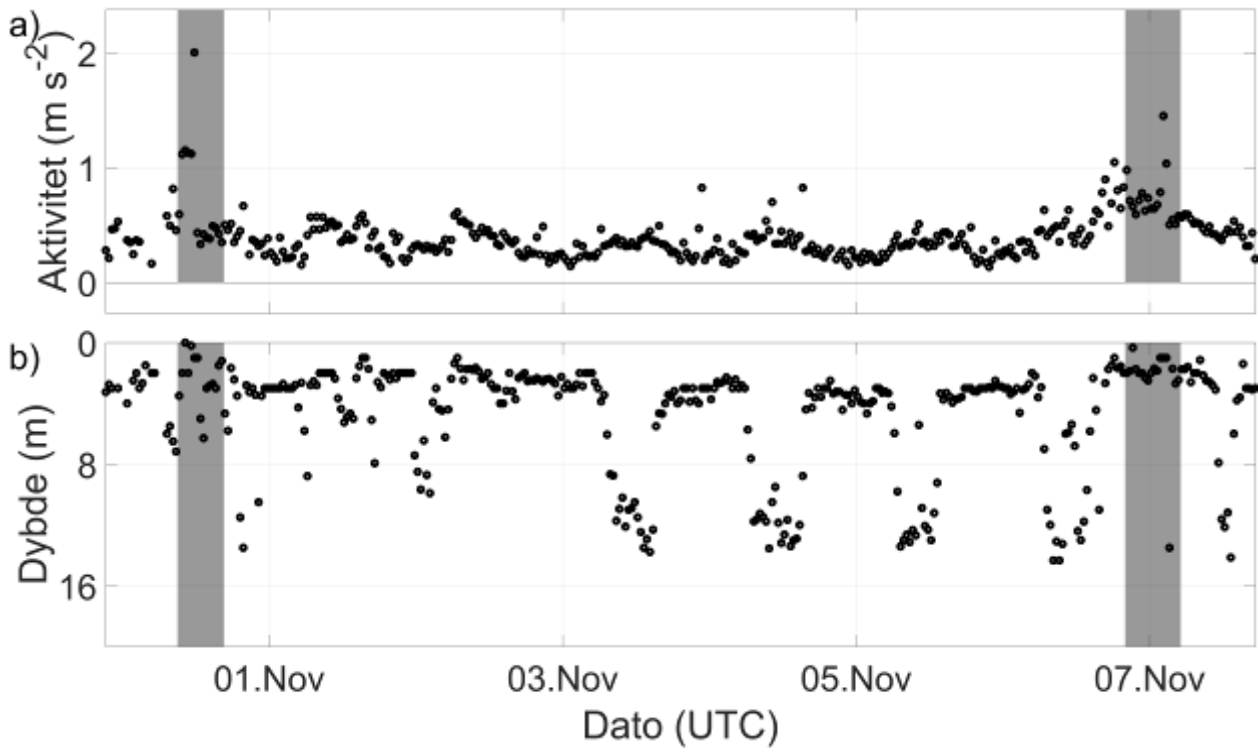
Figur 85: individfisk 192



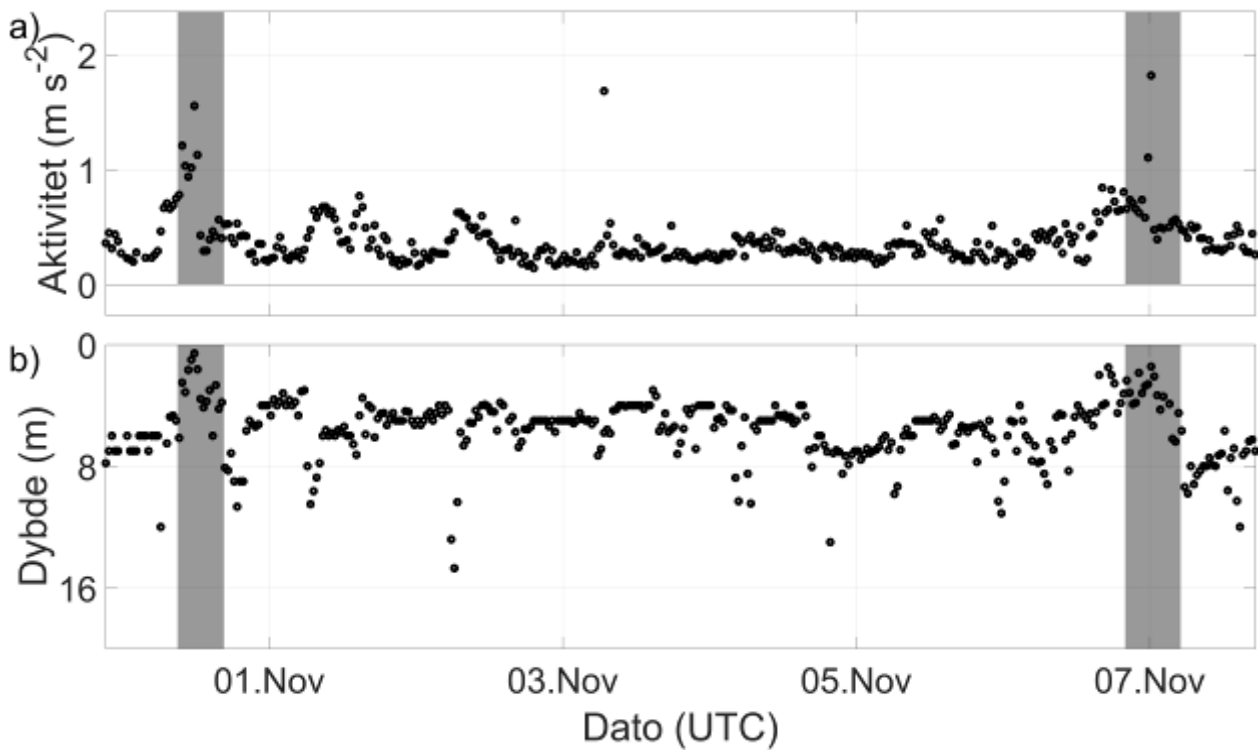
Figur 86: individfisk 198



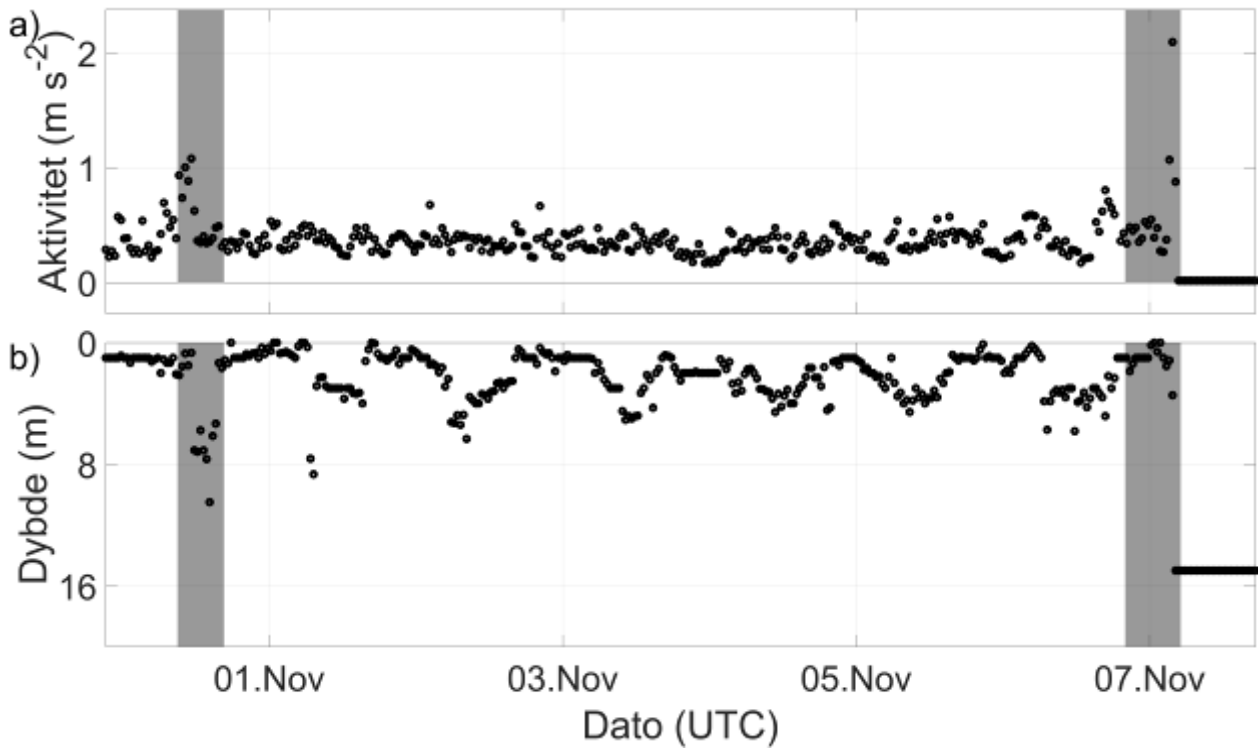
Figur 87: individfisk 201



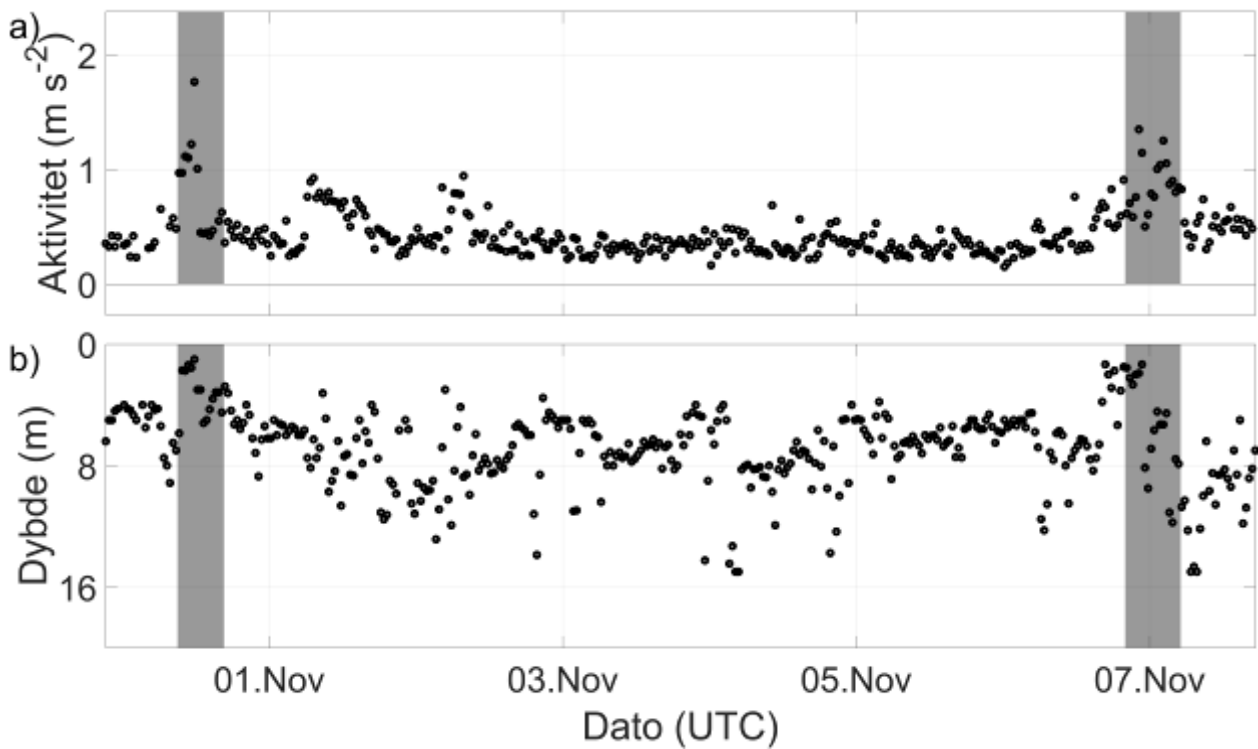
Figur 88: individfisk 204



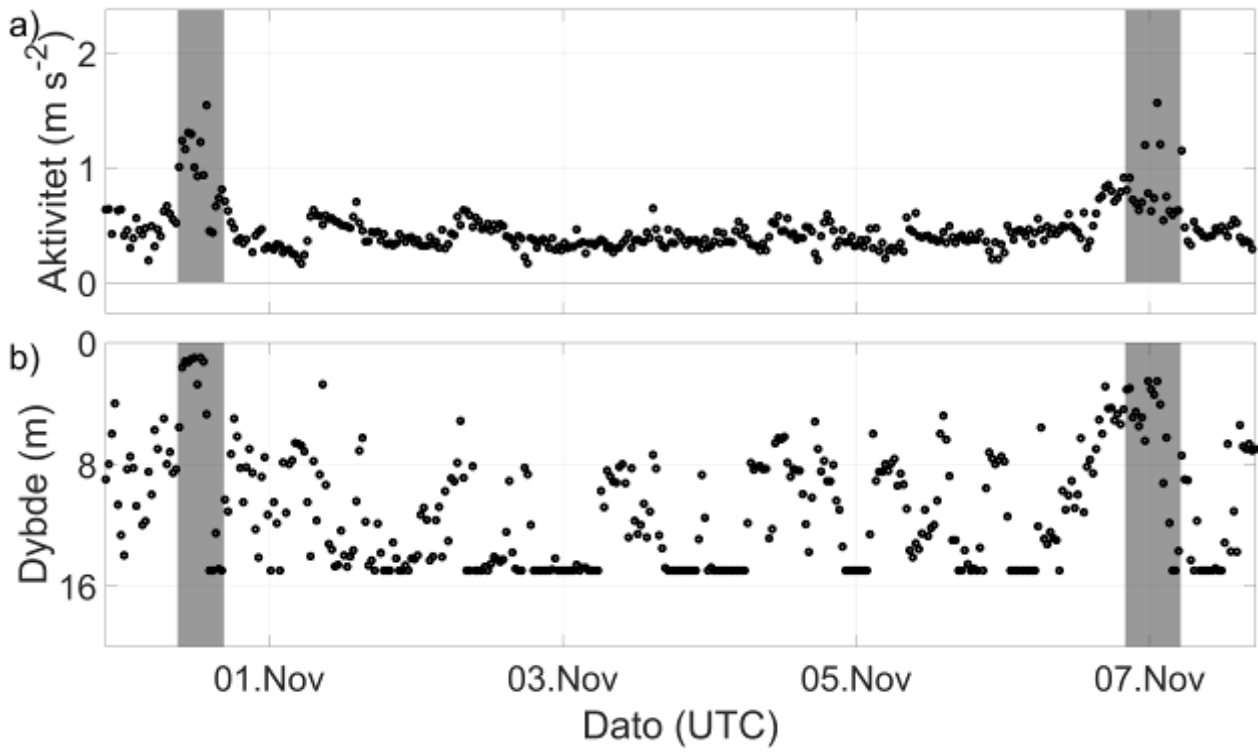
Figur 89: individfisk 207



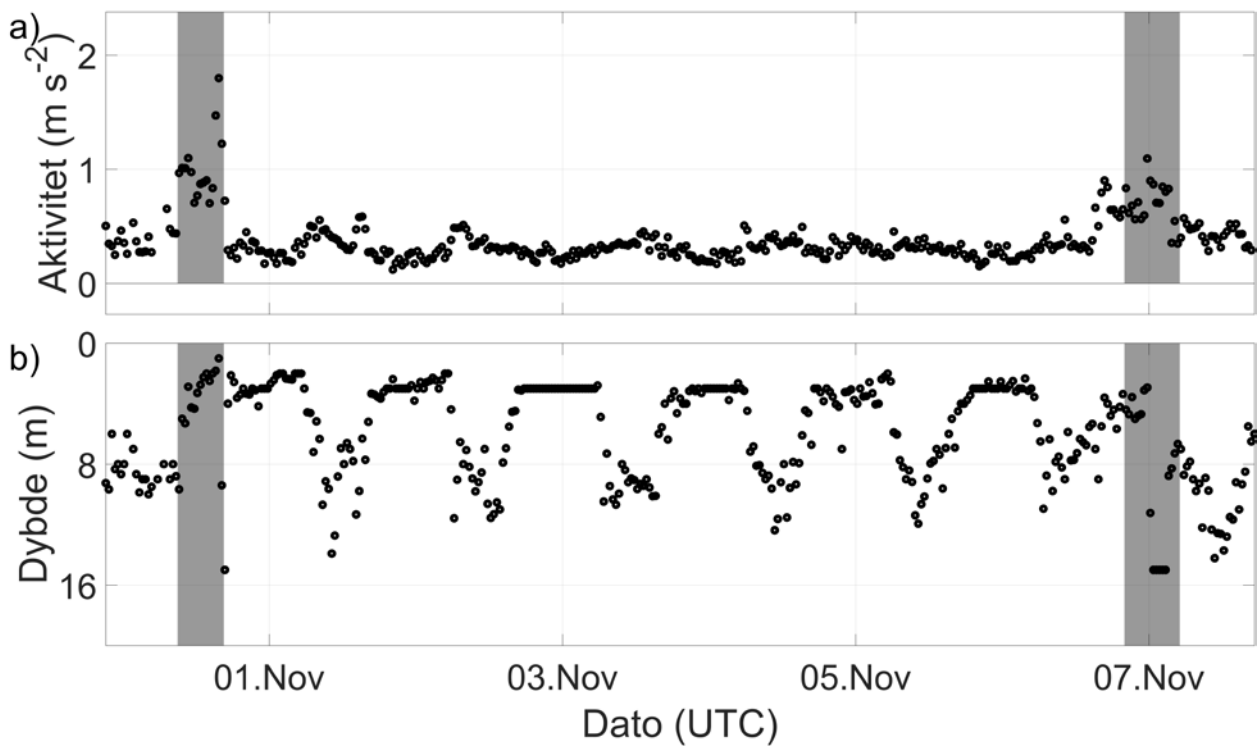
Figur 90: individfisk 210. Signalform (aktivitet = 0, dybde >15 m) antyder enten at fisken døde eller at merket ble utstøtt under avlusningsoperasjonen 7. november.



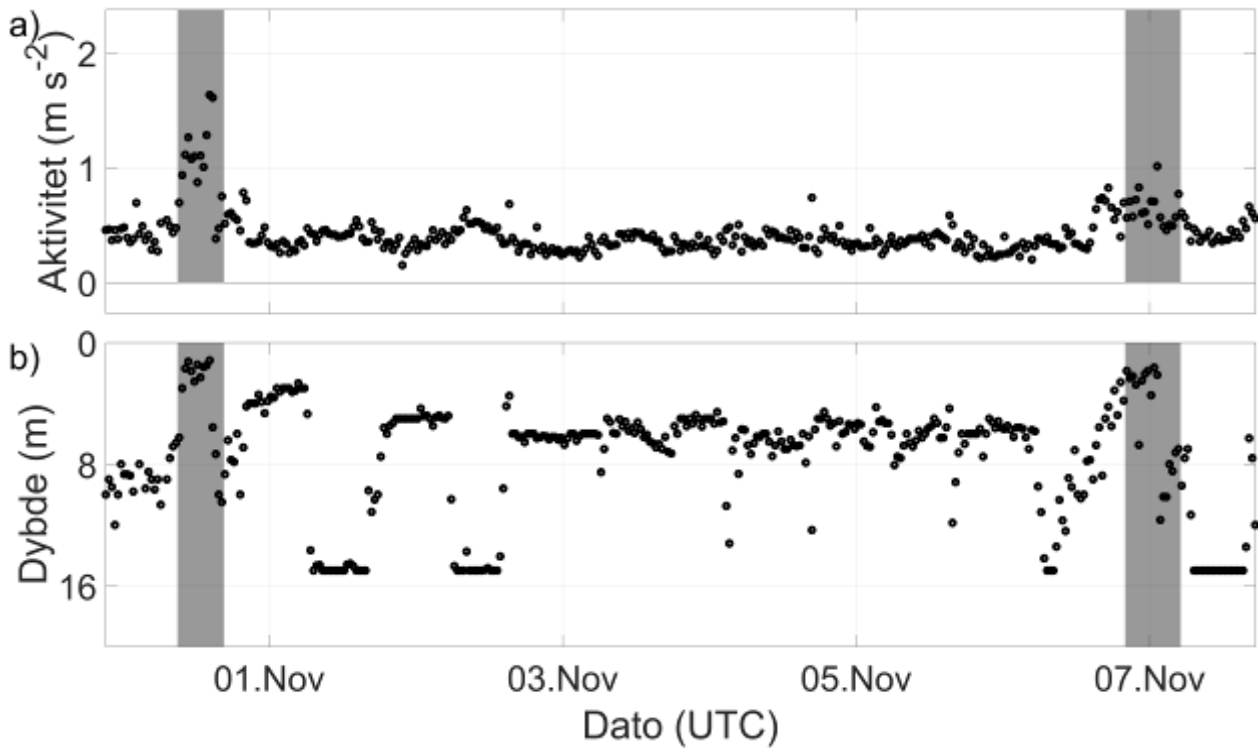
Figur 91: individfisk 213



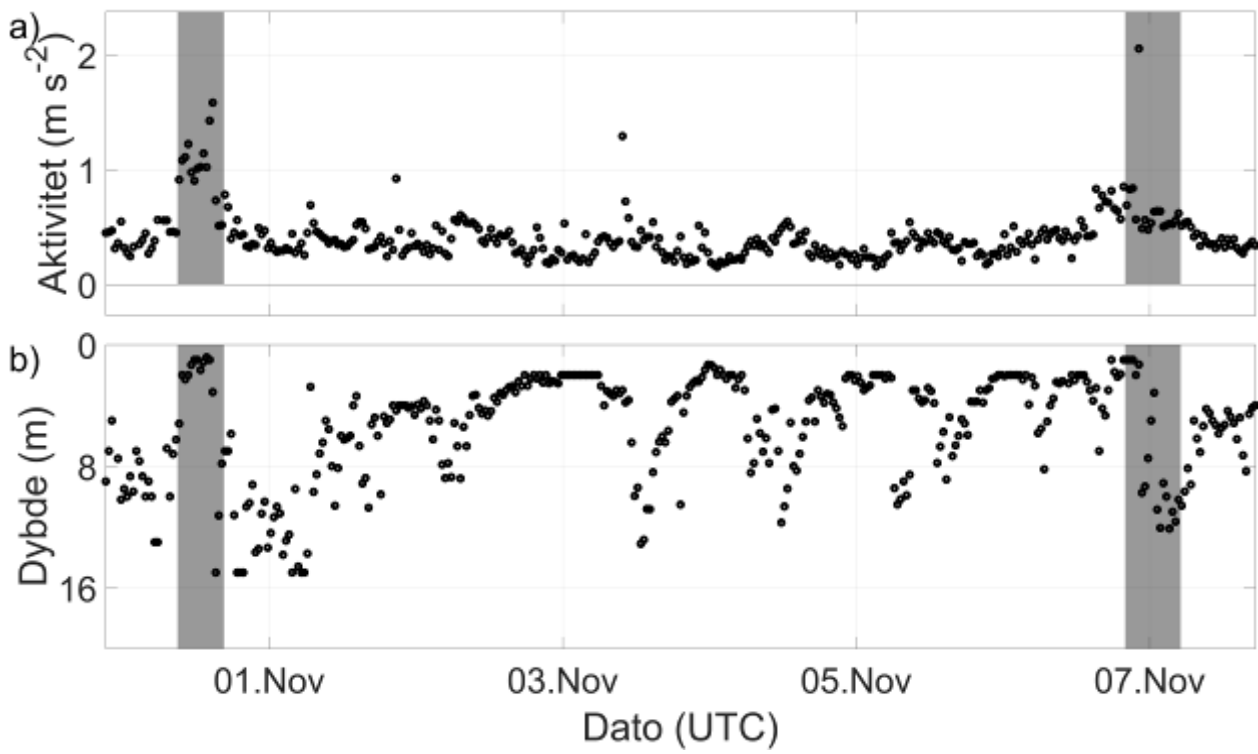
Figur 92: individfisk 216



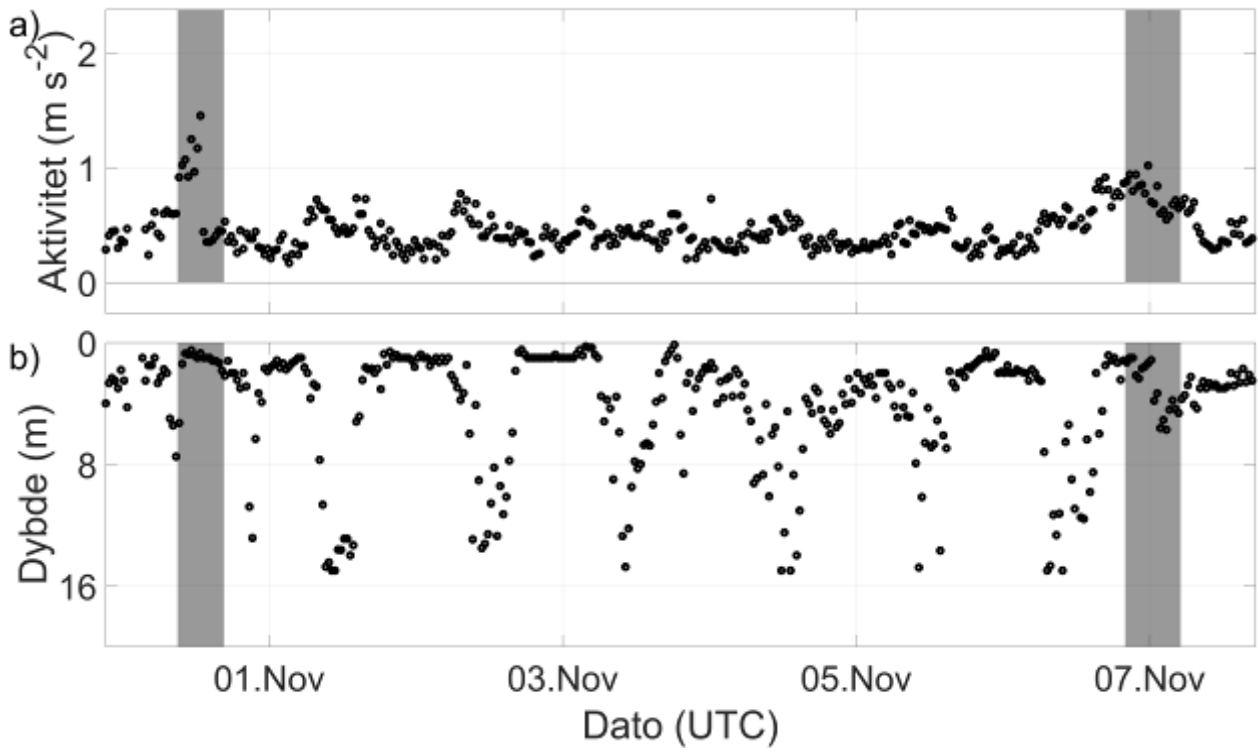
Figur 93: individfisk 222



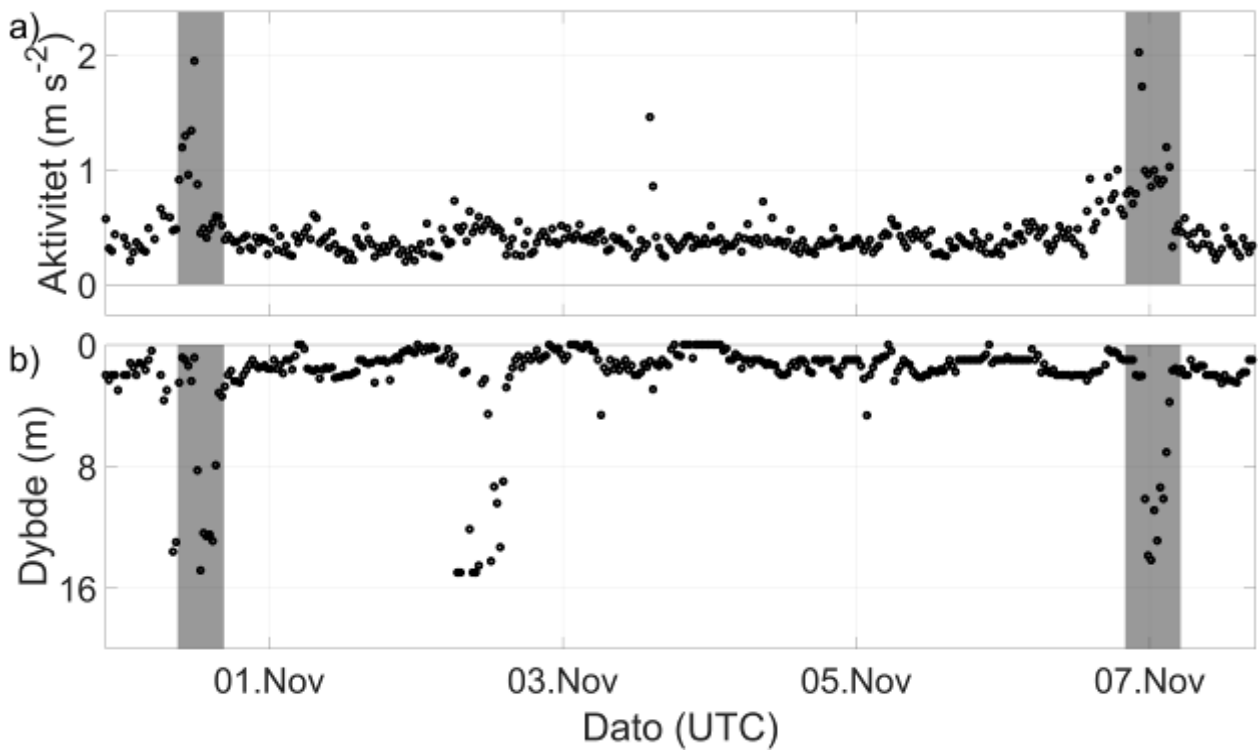
Figur 94: individfisk 225



Figur 95: individfisk 228



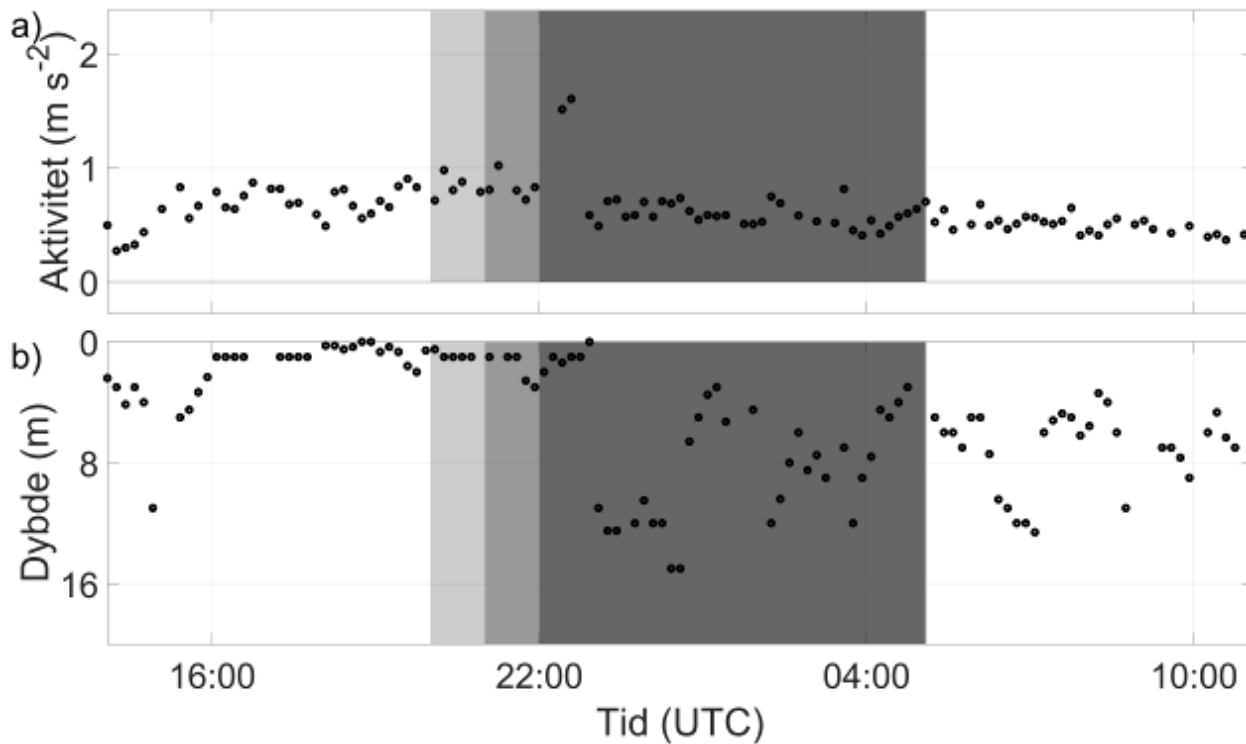
Figur 96: individfisk 234



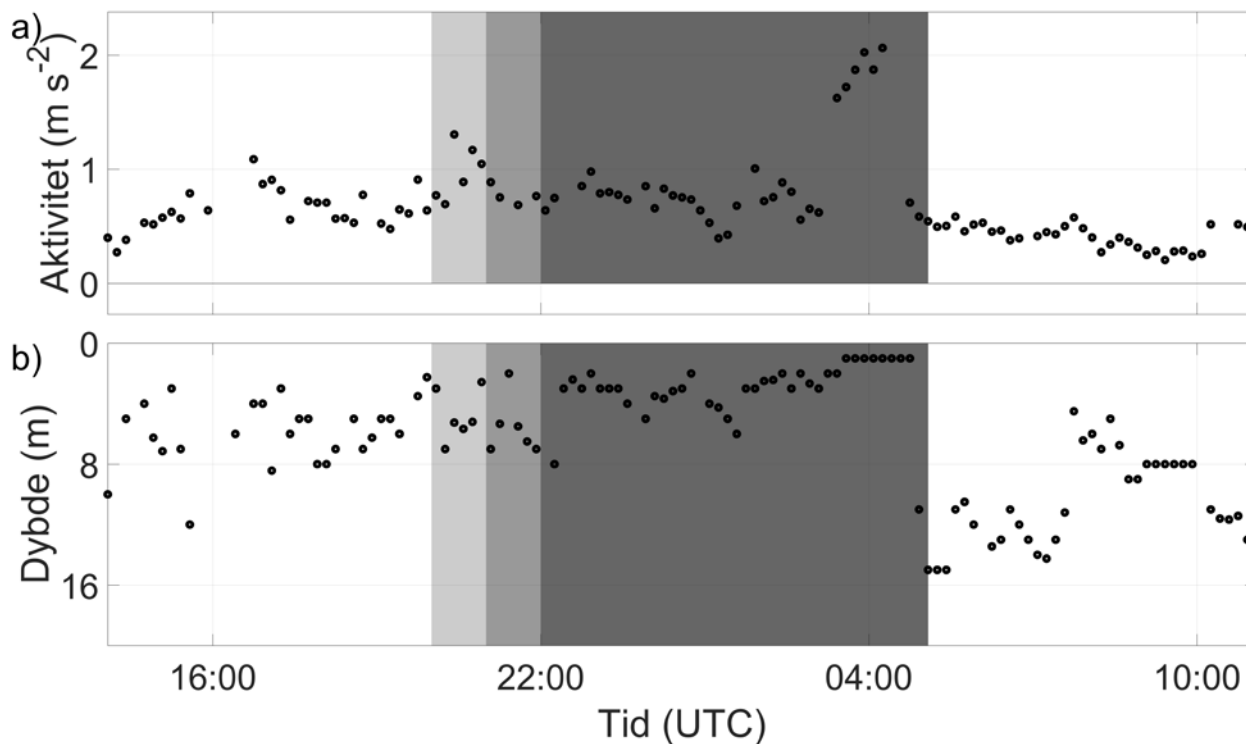
Figur 97: individfisk 240

A 4: under andre avlusning

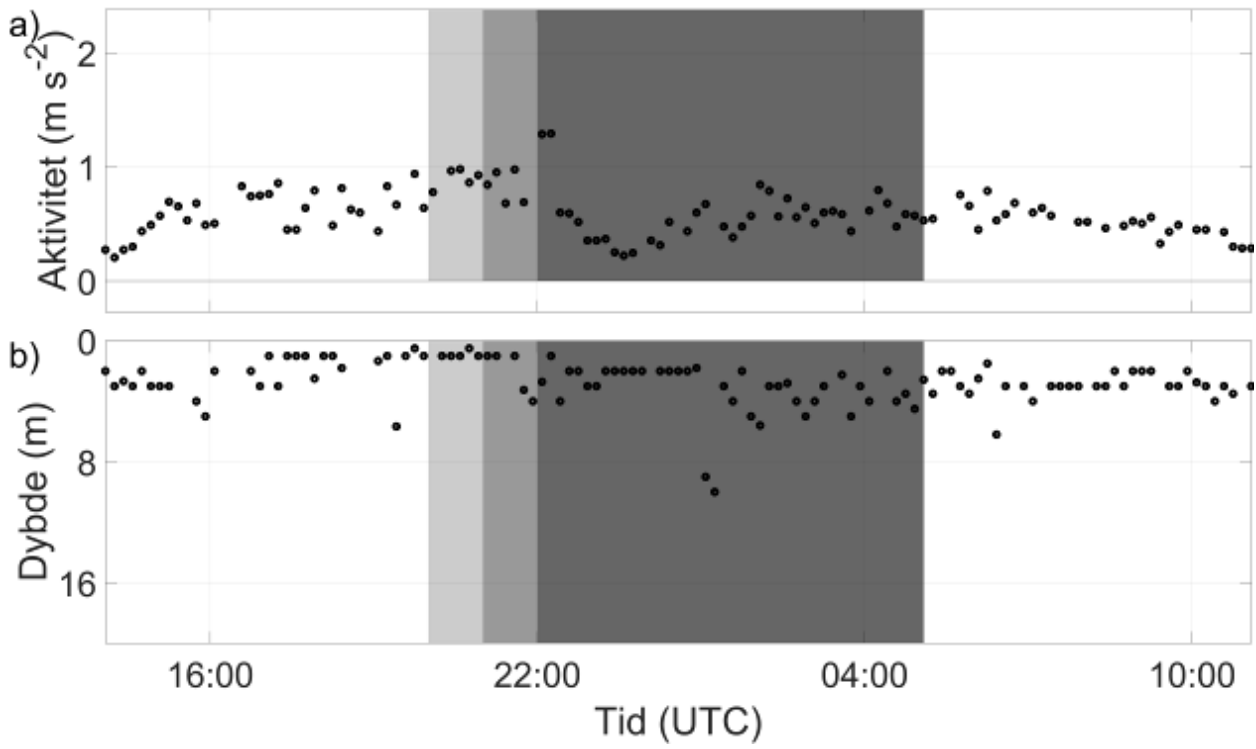
I figurene i denne seksjonen markerer lys grå opplysning til 7 m, middels mørk grå opplysning til 1 m, og mørk grå perioden der fisken utsettes for avlusningsoperasjonen og overføres til ny merd.



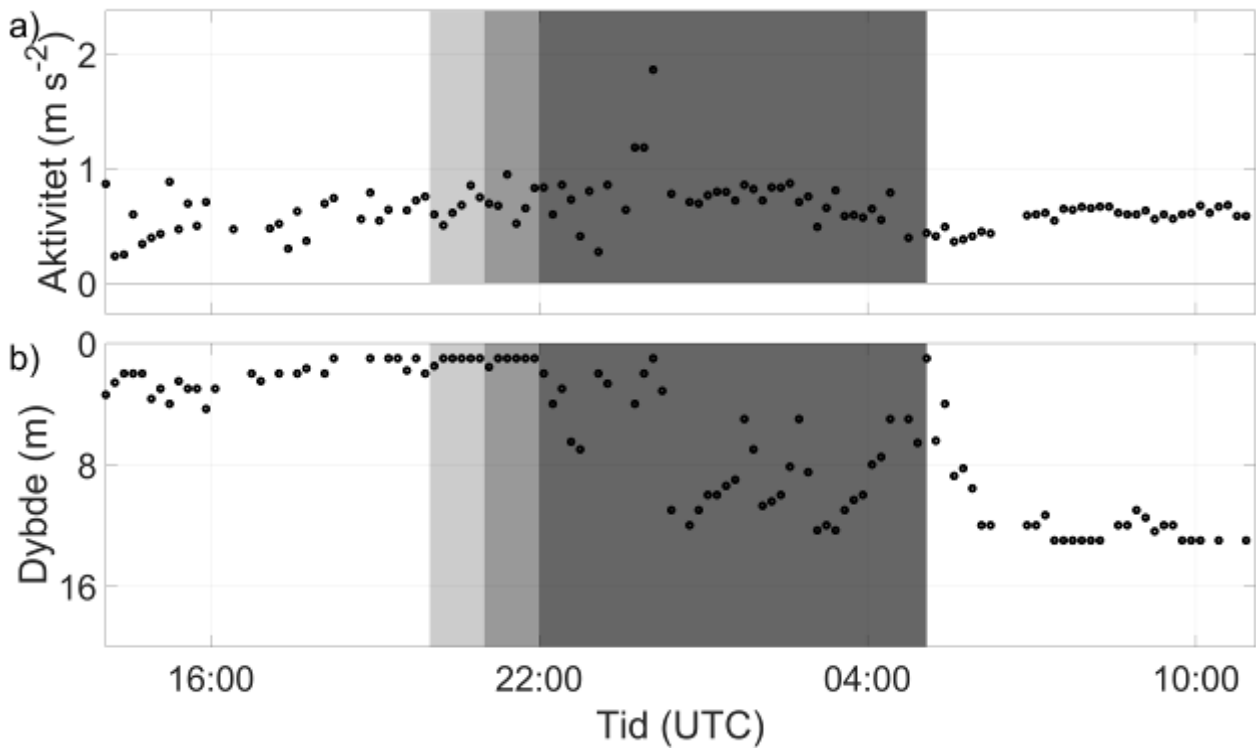
Figur 98: individfisk 180



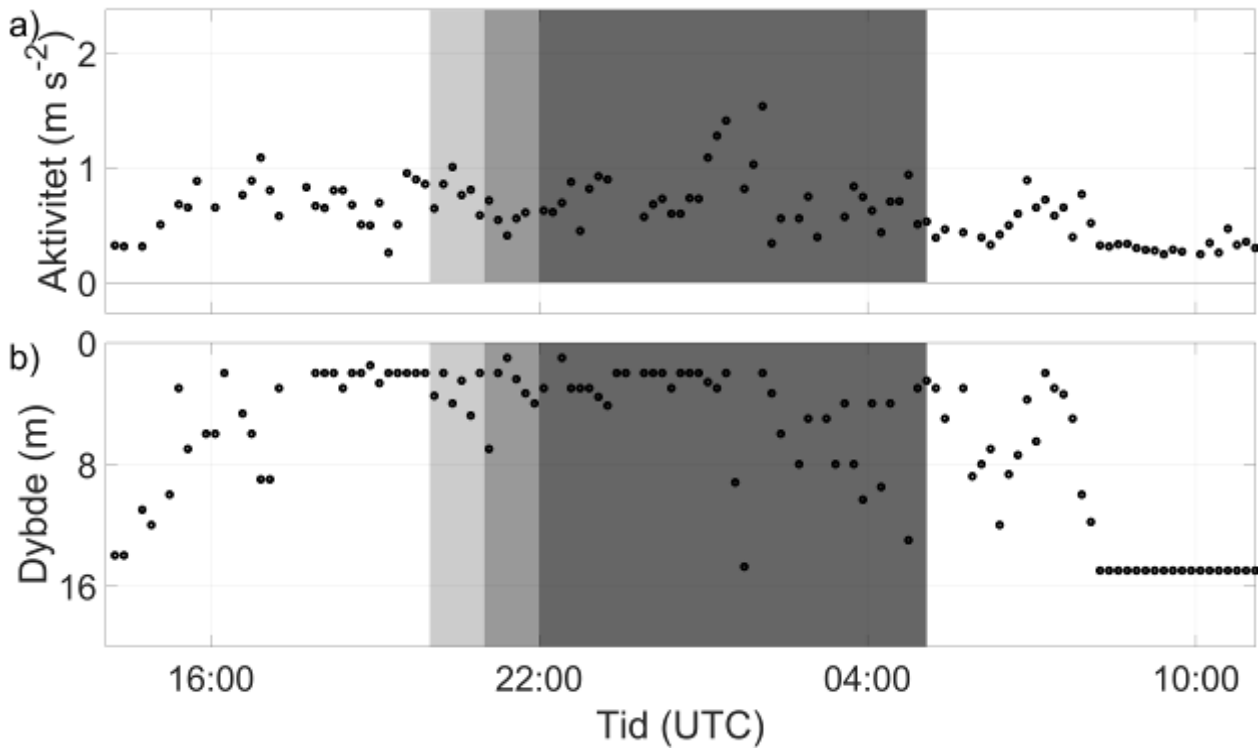
Figur 99: individfisk 183



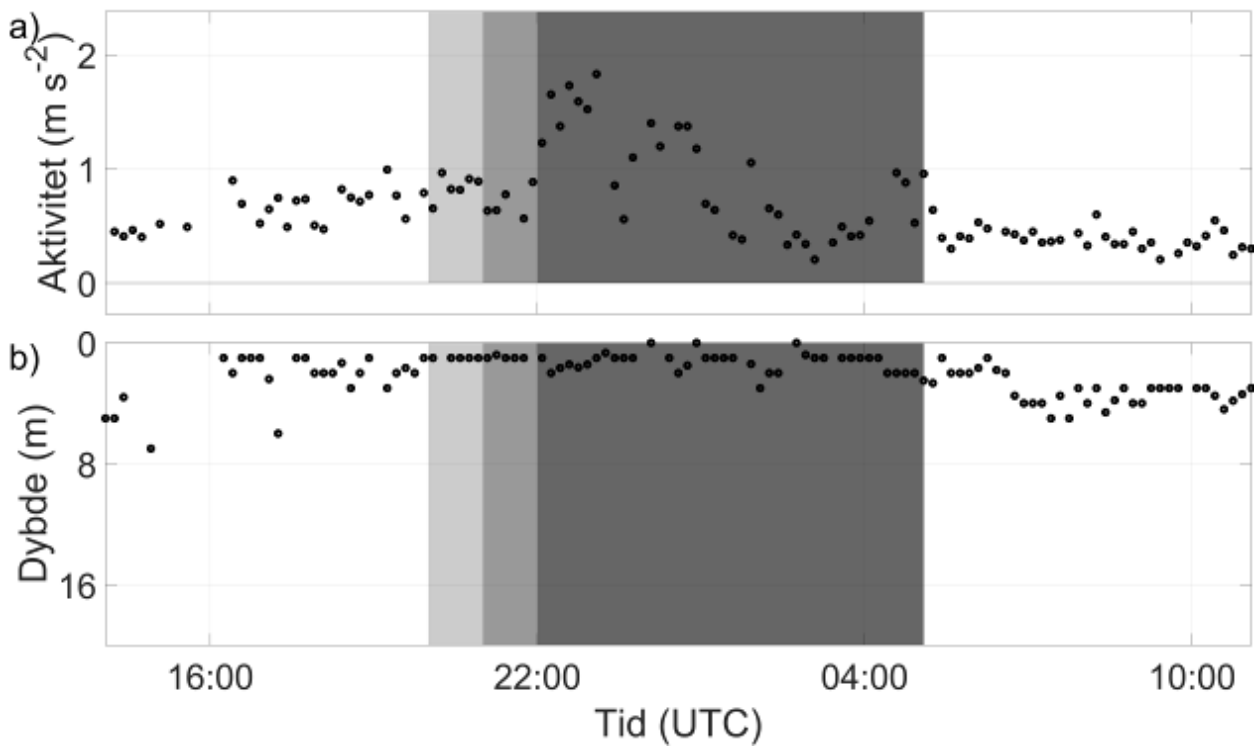
Figur 100: individfisk 186



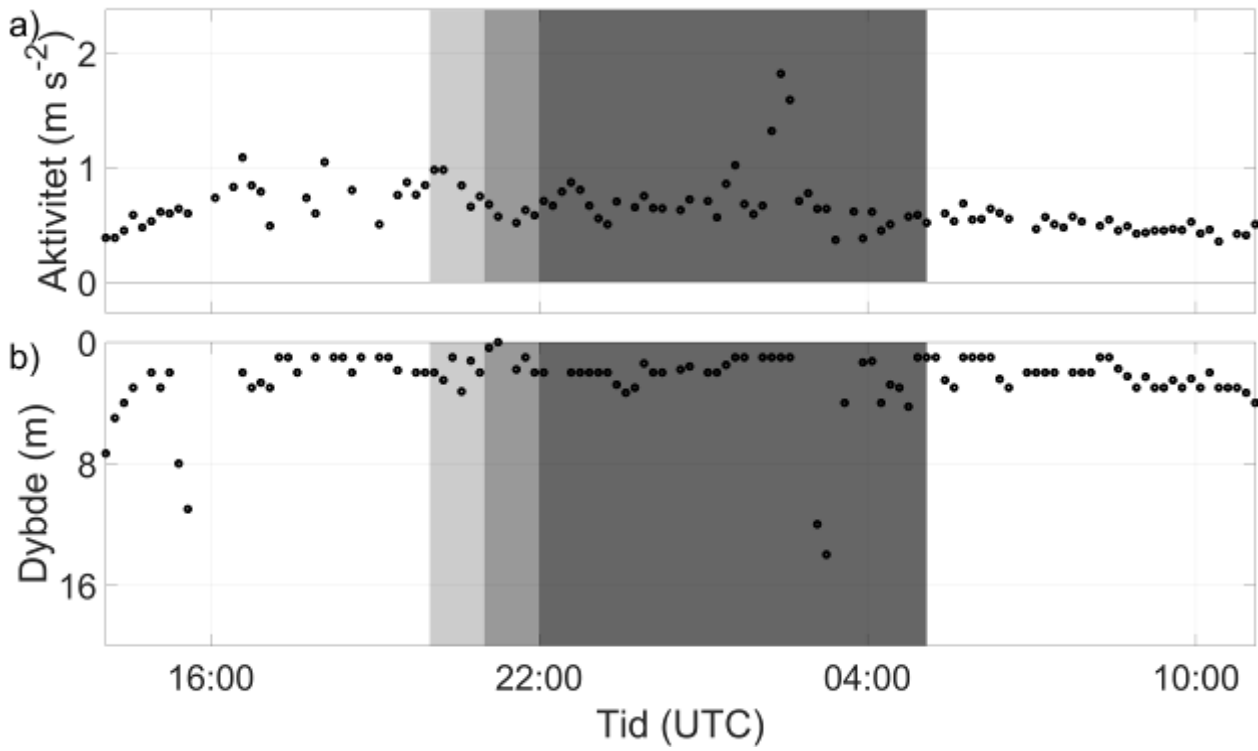
Figur 101: individfisk 192



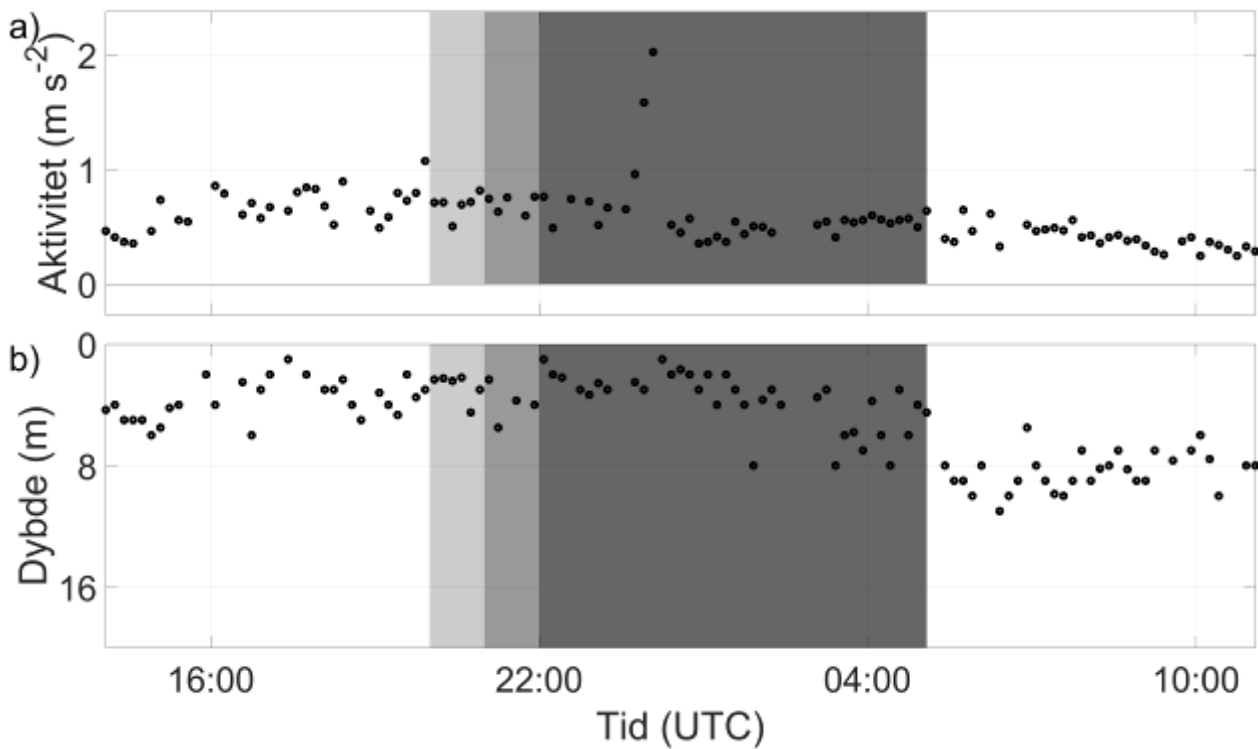
Figur 102: individfisk 198



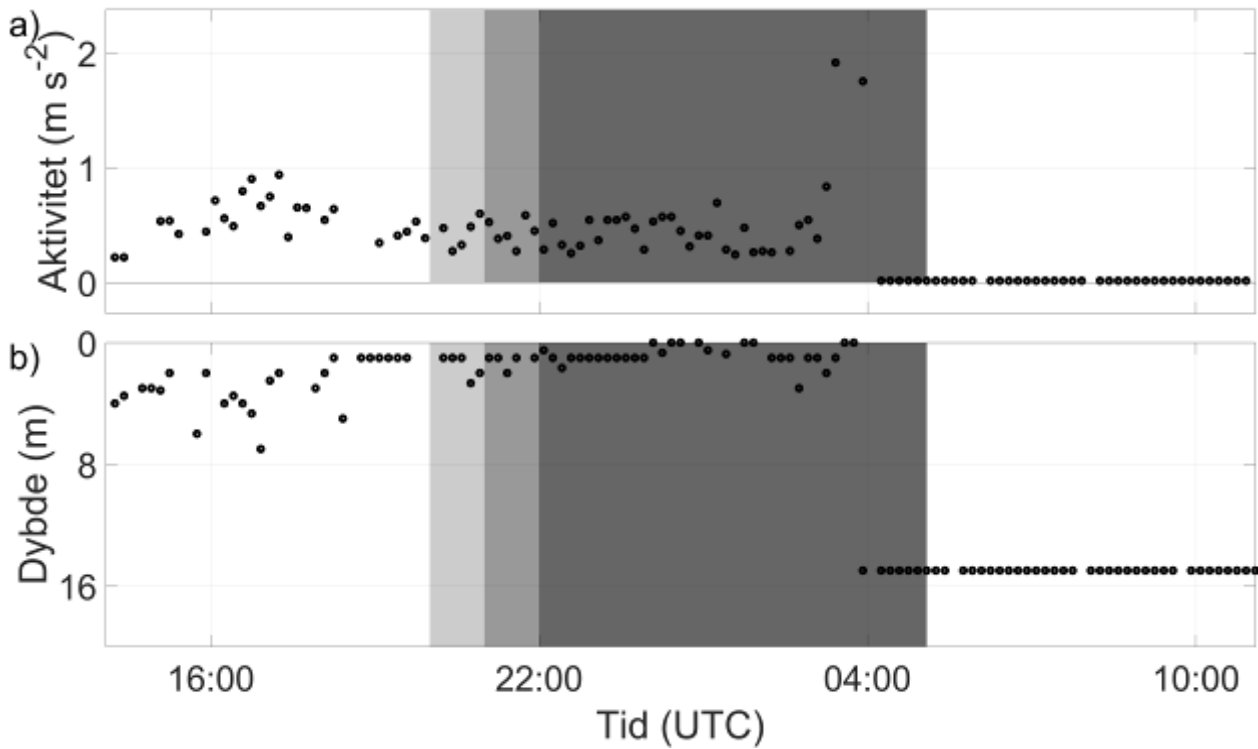
Figur 103: individfisk 201



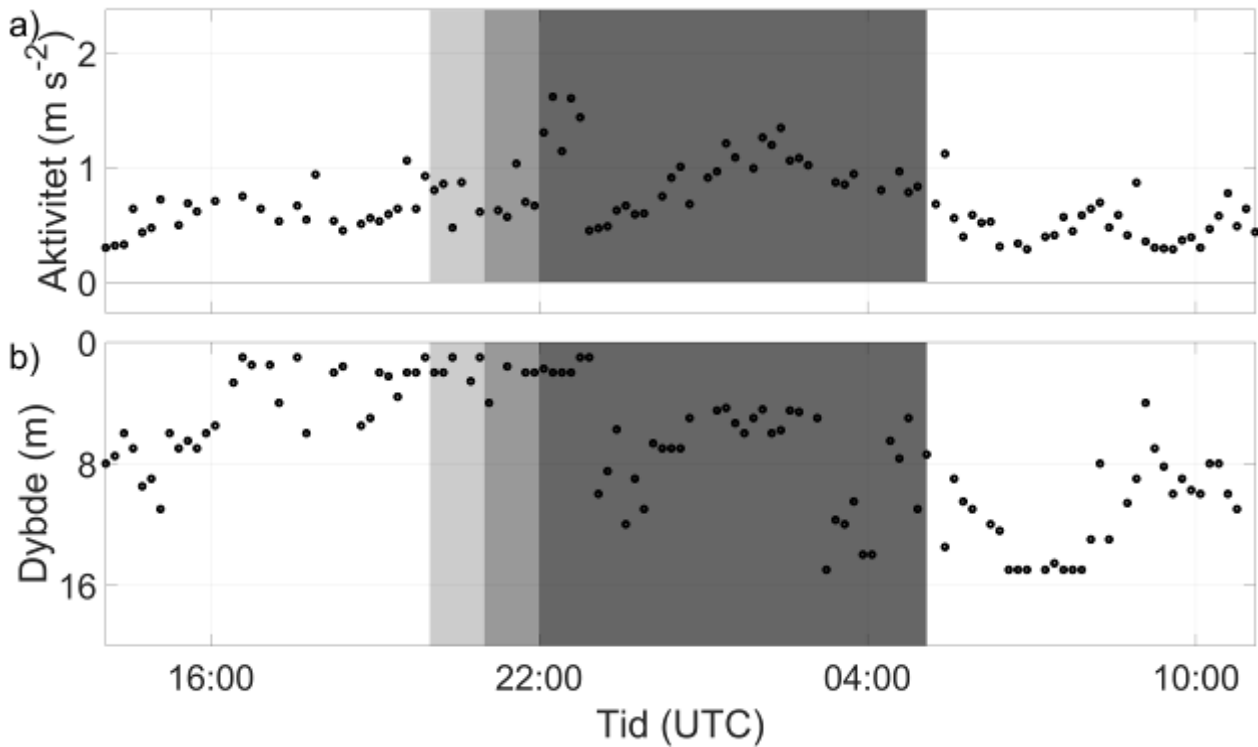
Figur 104: individfisk 204



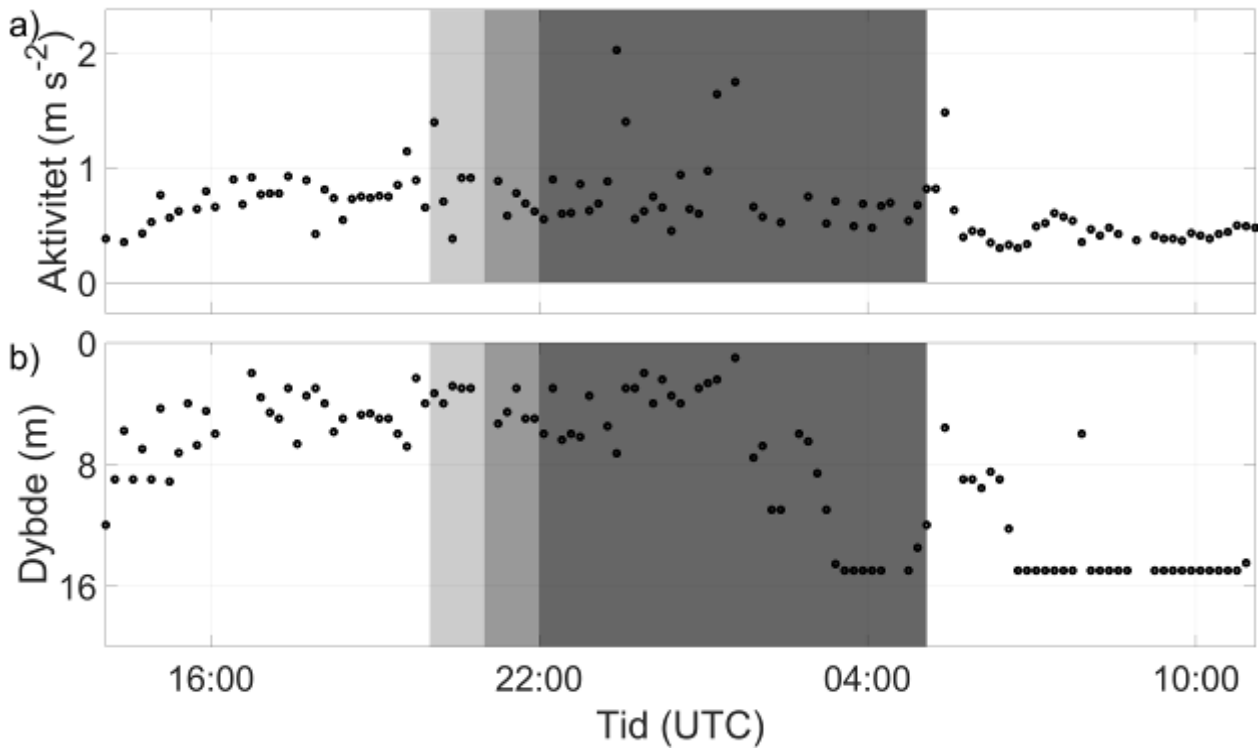
Figur 105: individfisk 207



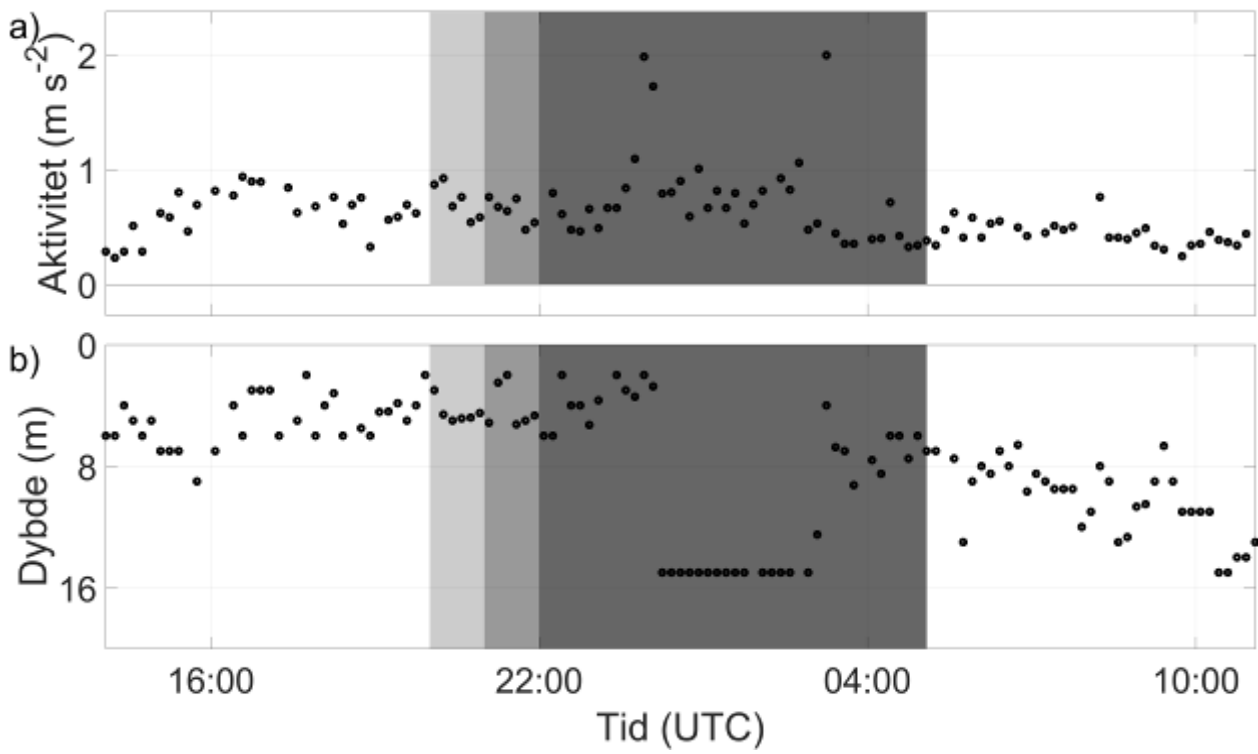
Figur 106: individfisk 210. Signalform (aktivitet = 0, dybde >15 m) antyder enten at fisken døde eller at merket ble utstøtt under avlusningsoperasjonen rundt 04:00.



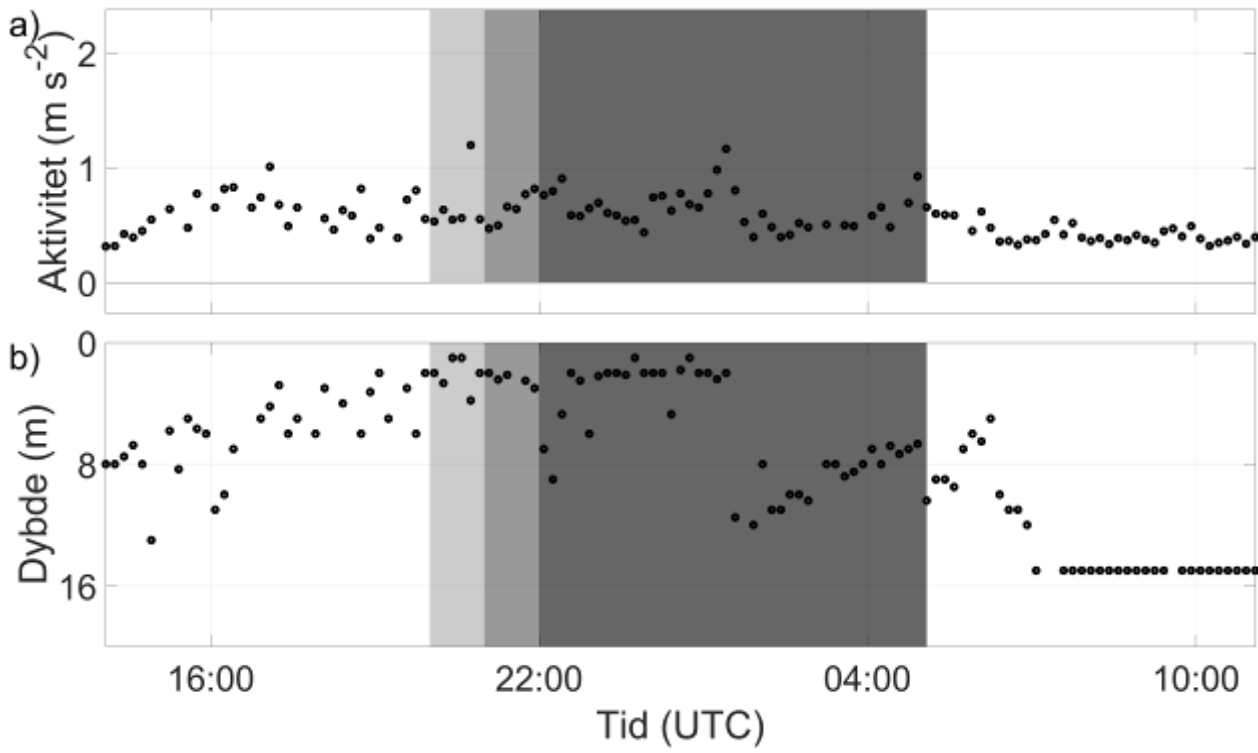
Figur 107: individfisk 213



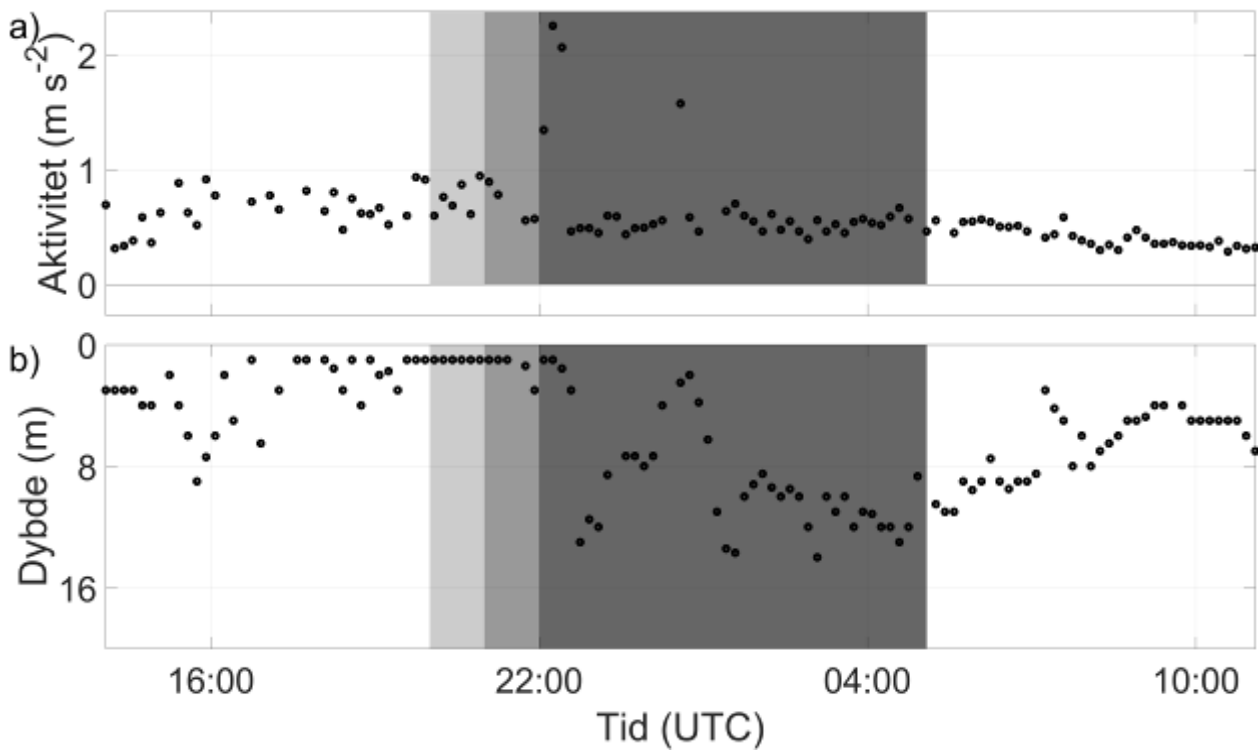
Figur 108: individfisk 216



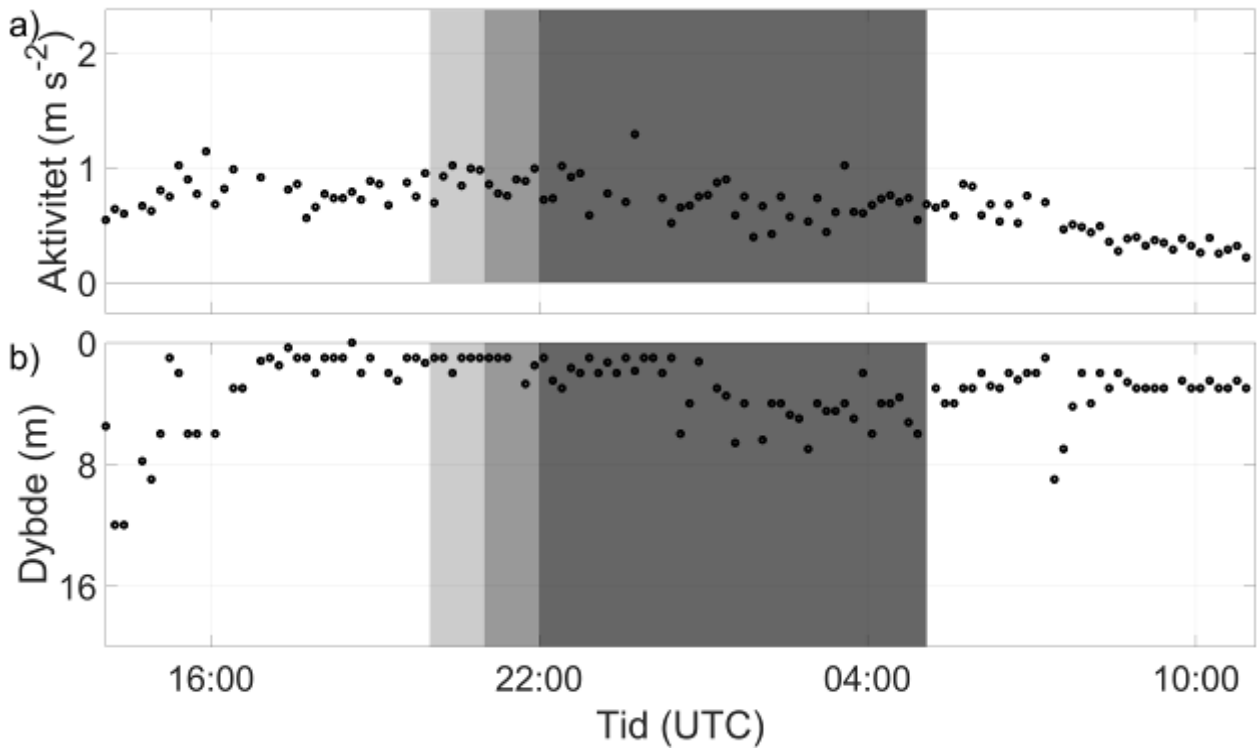
Figur 109: individfisk 222



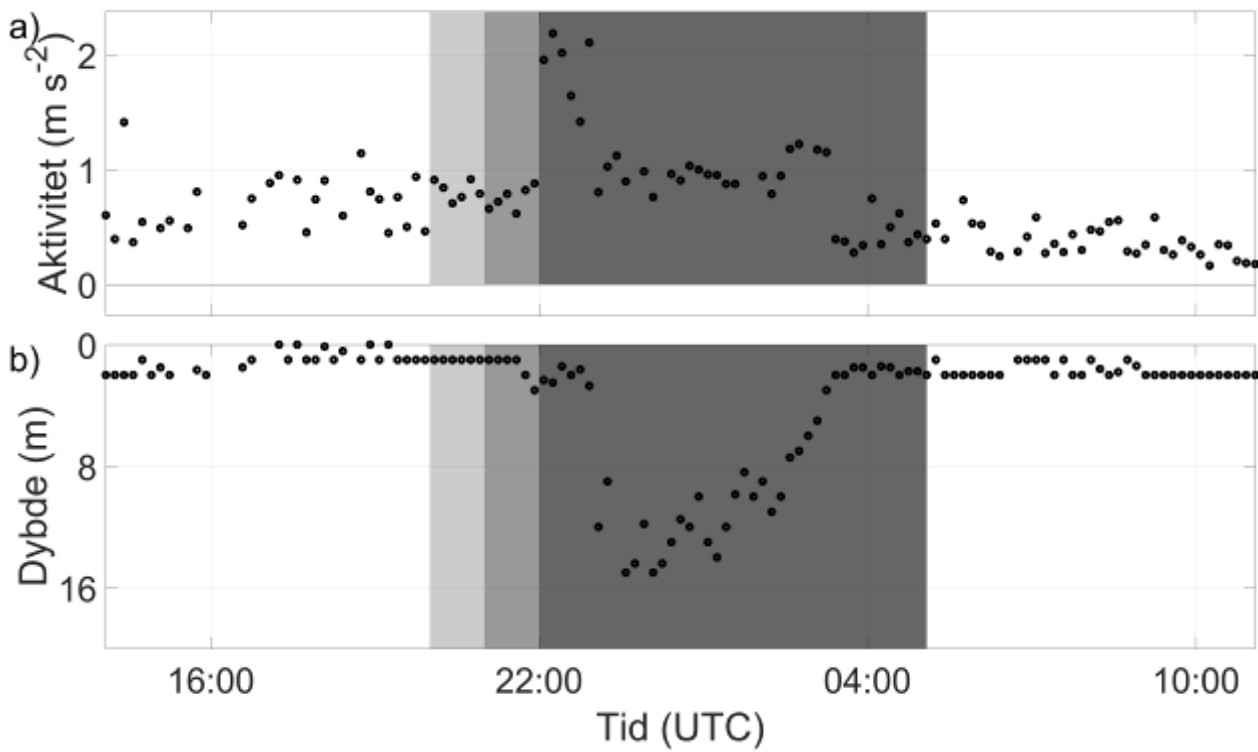
Figur 110: individfisk 225



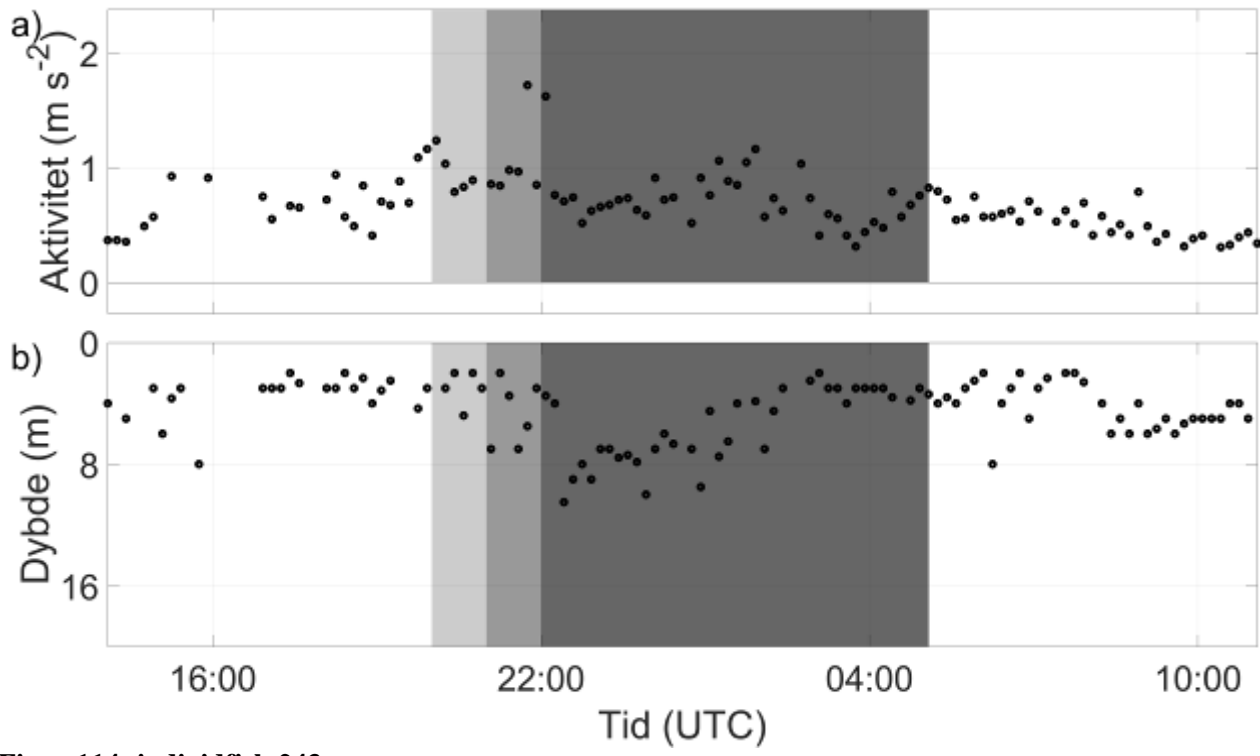
Figur 111: individfisk 228



Figur 112: individfisk 234



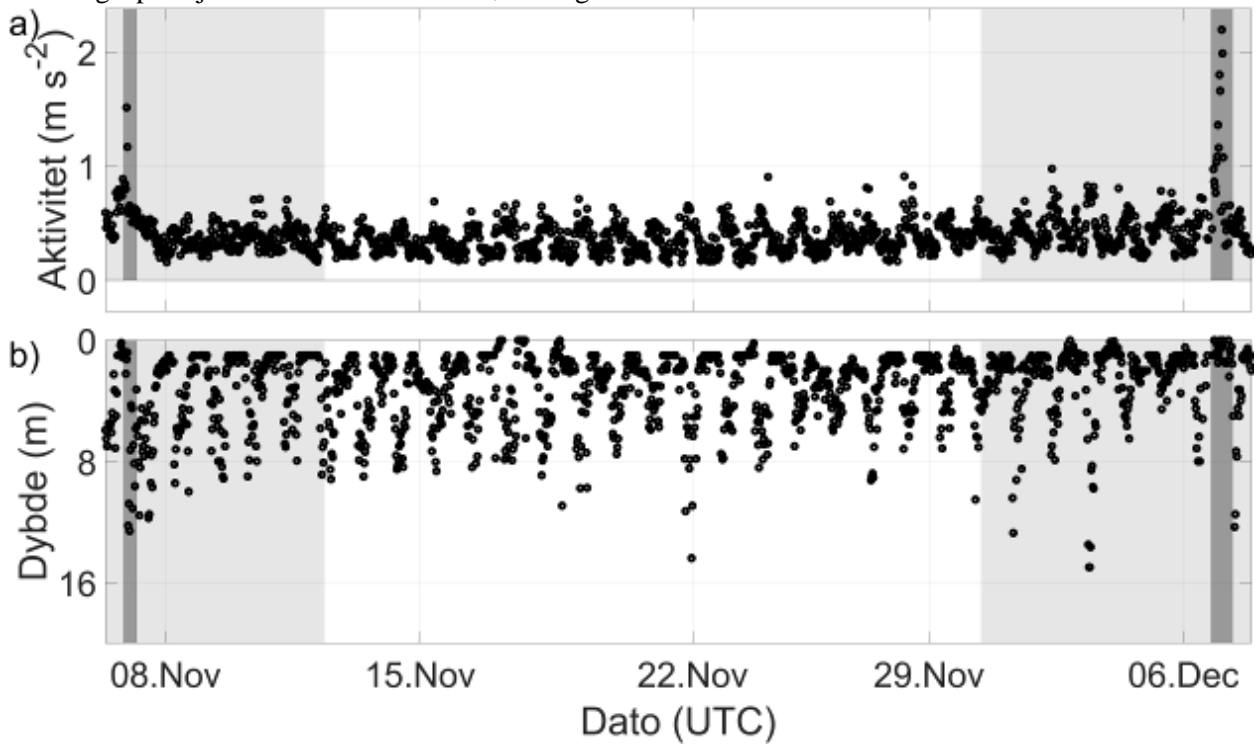
Figur 113: individfisk 240



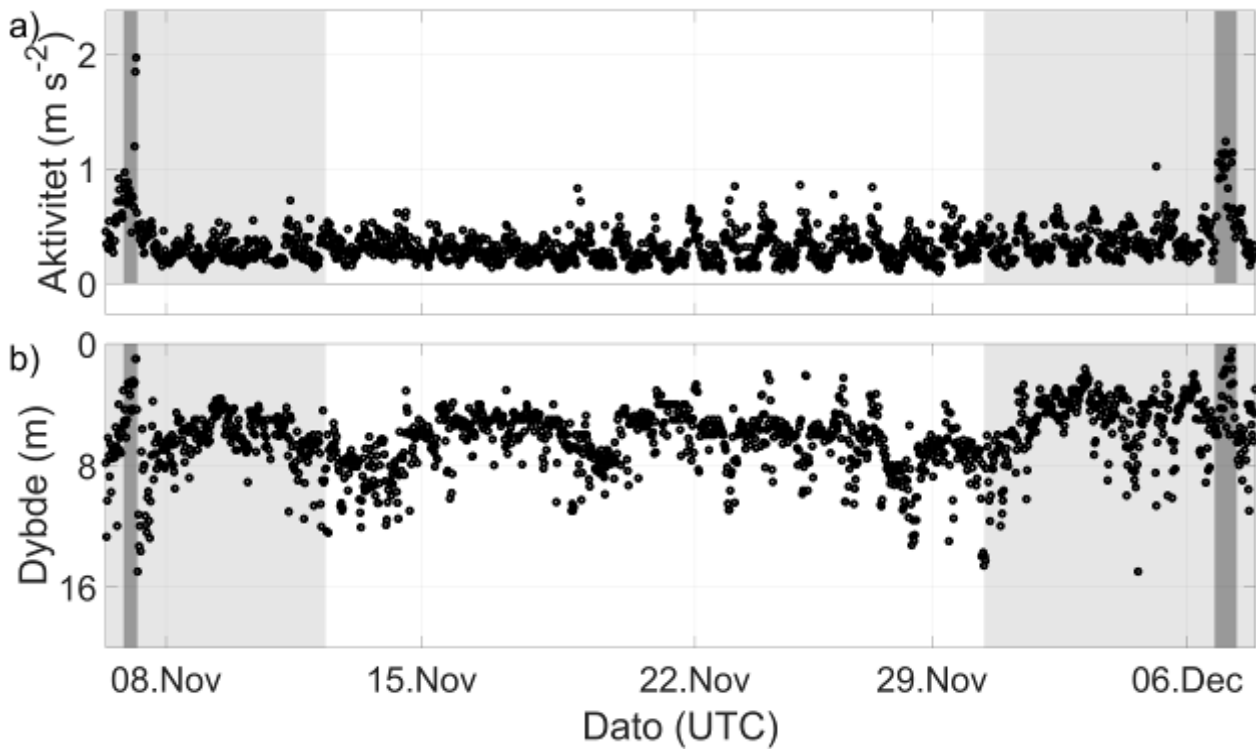
Figur 114: individfisk 243

A 5: mellom andre og tredje avlusning

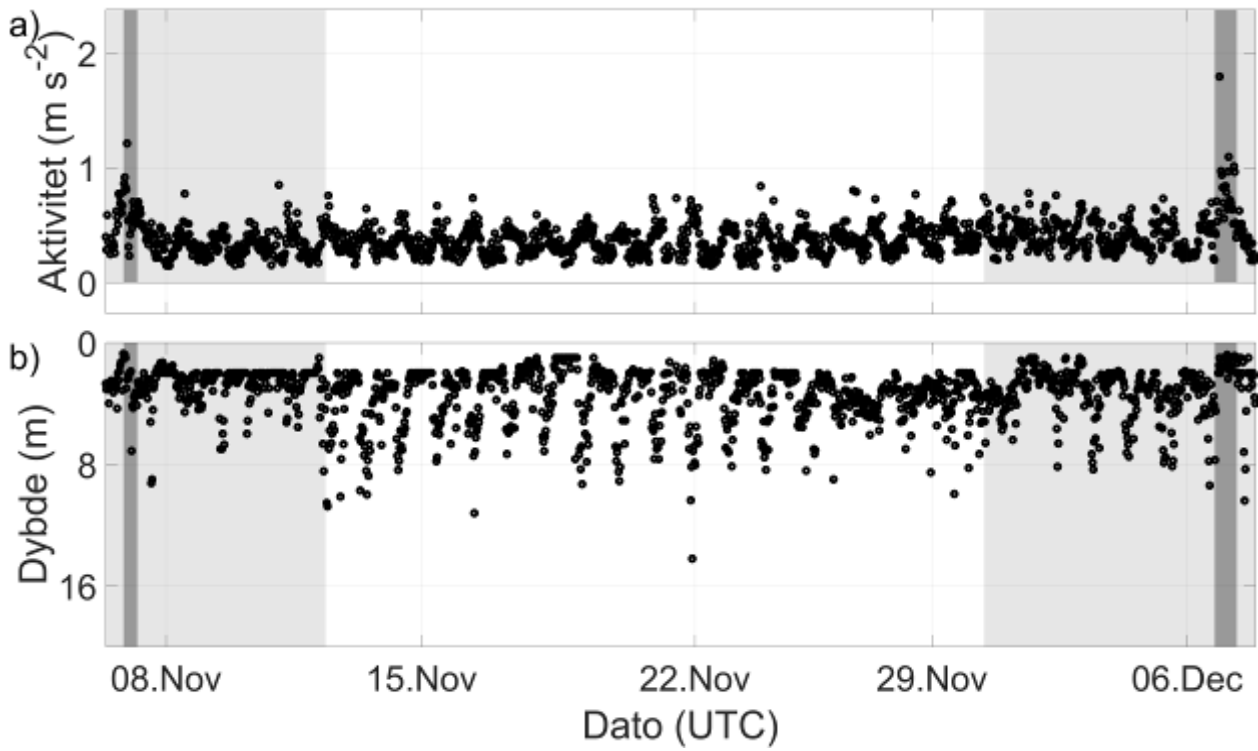
I figurene i denne seksjonen er sulteperioder markert med lys grå farge, mens selve avlusningsoperasjonene er markert med mørkere grå.



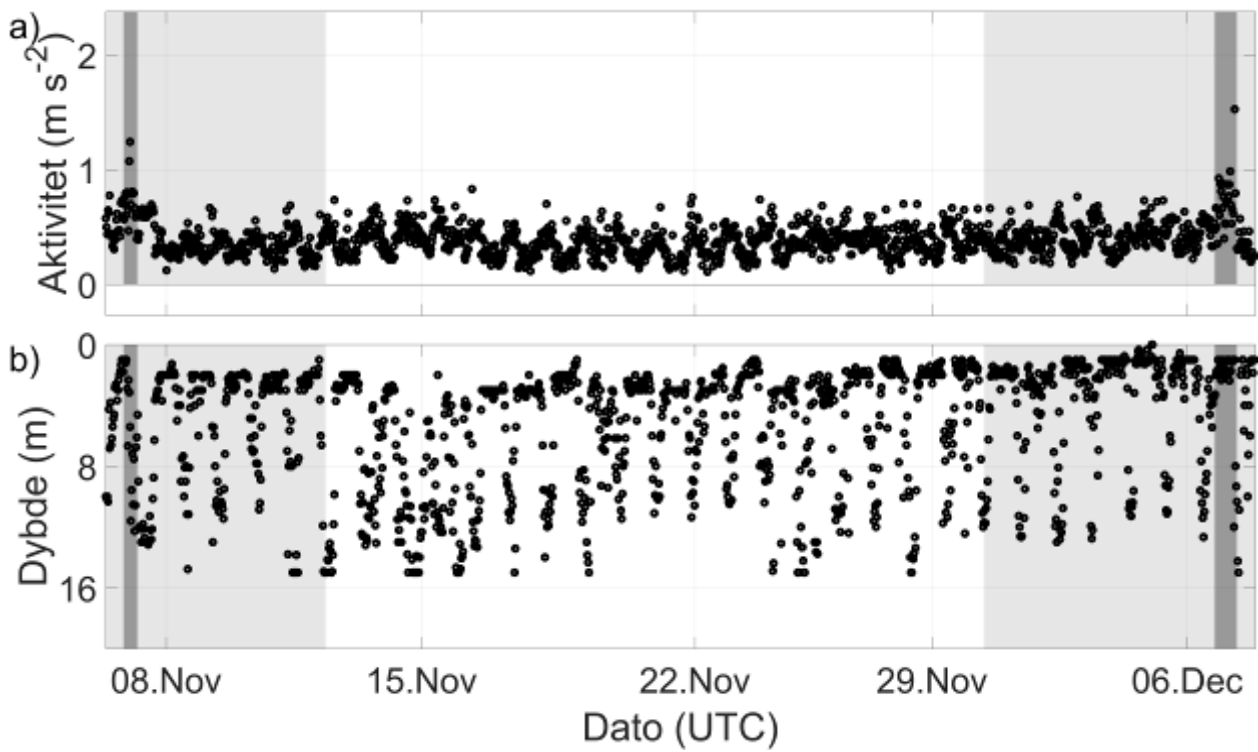
Figur 115: individfisk 180



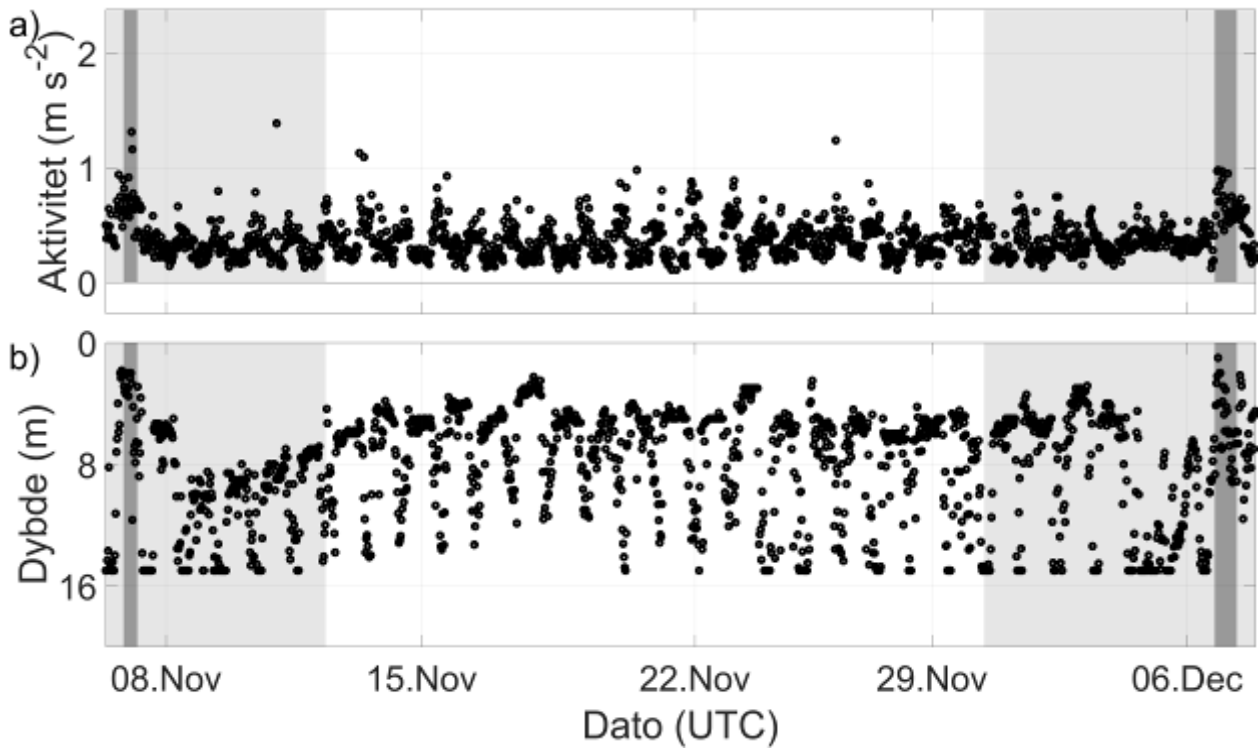
Figur 116: individfisk 183



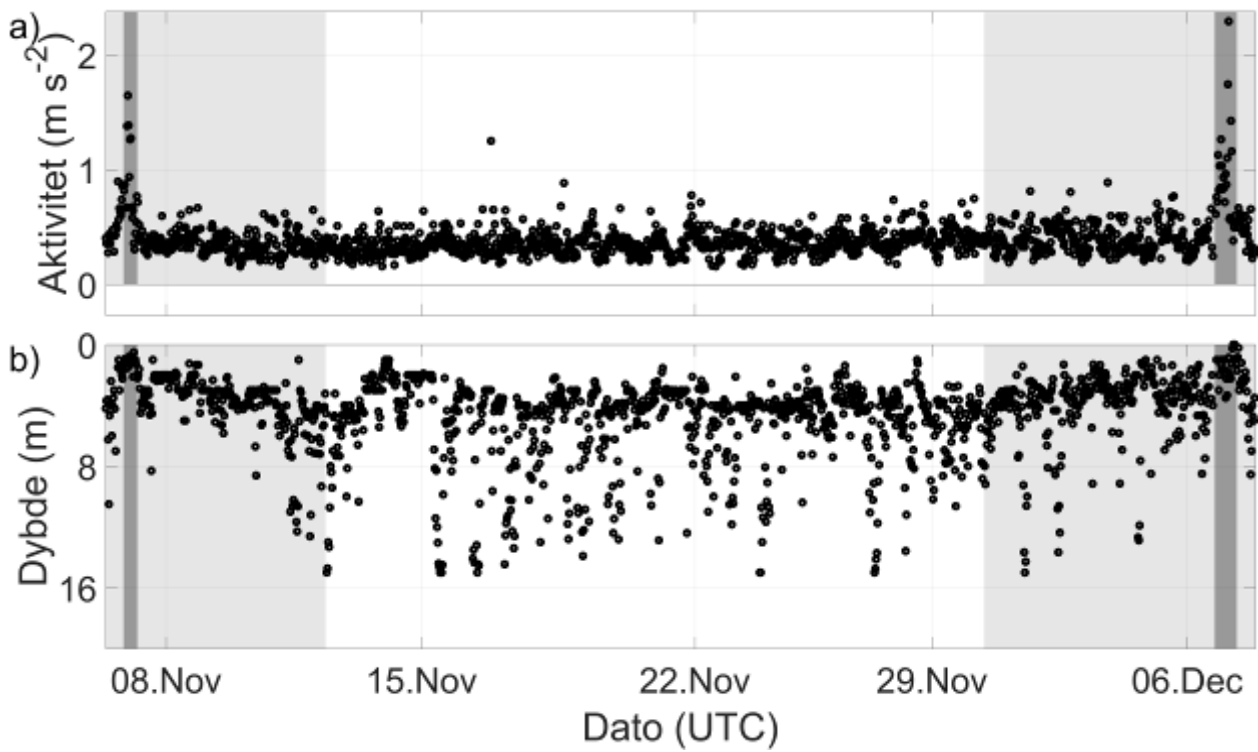
Figur 117: individfisk 186



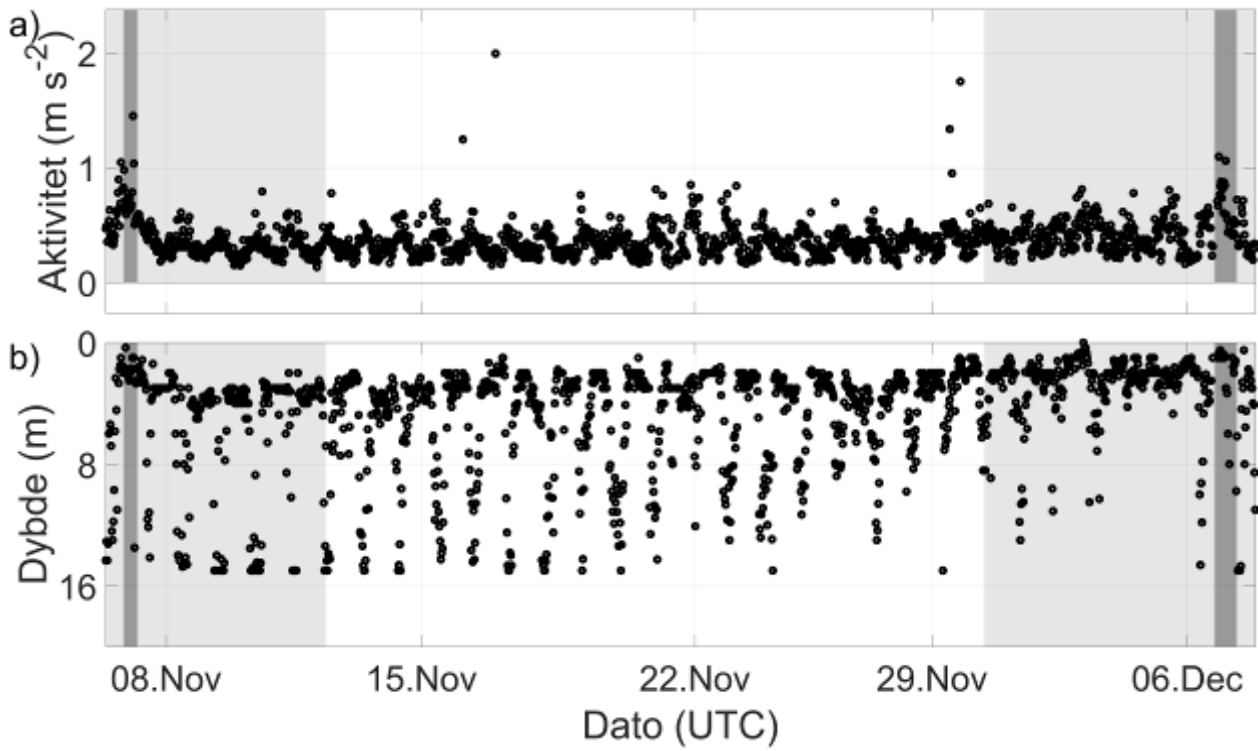
Figur 118: individfisk 192



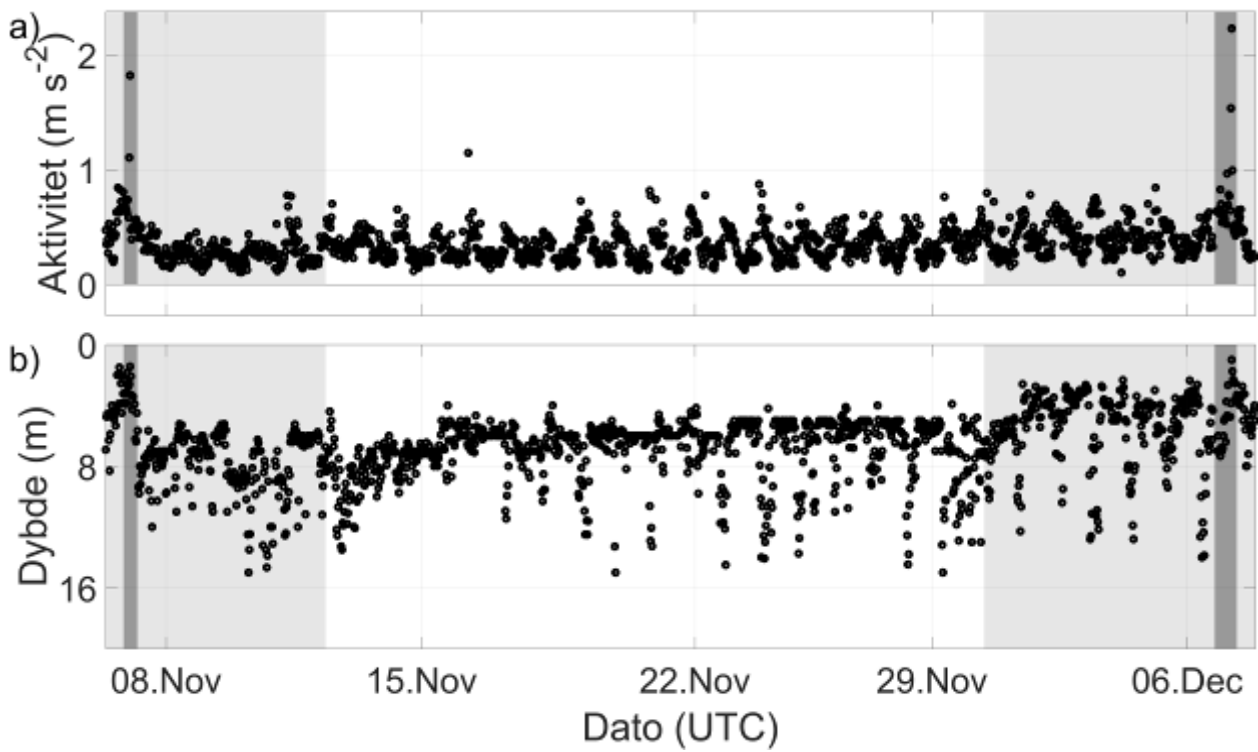
Figur 119: individfisk 198



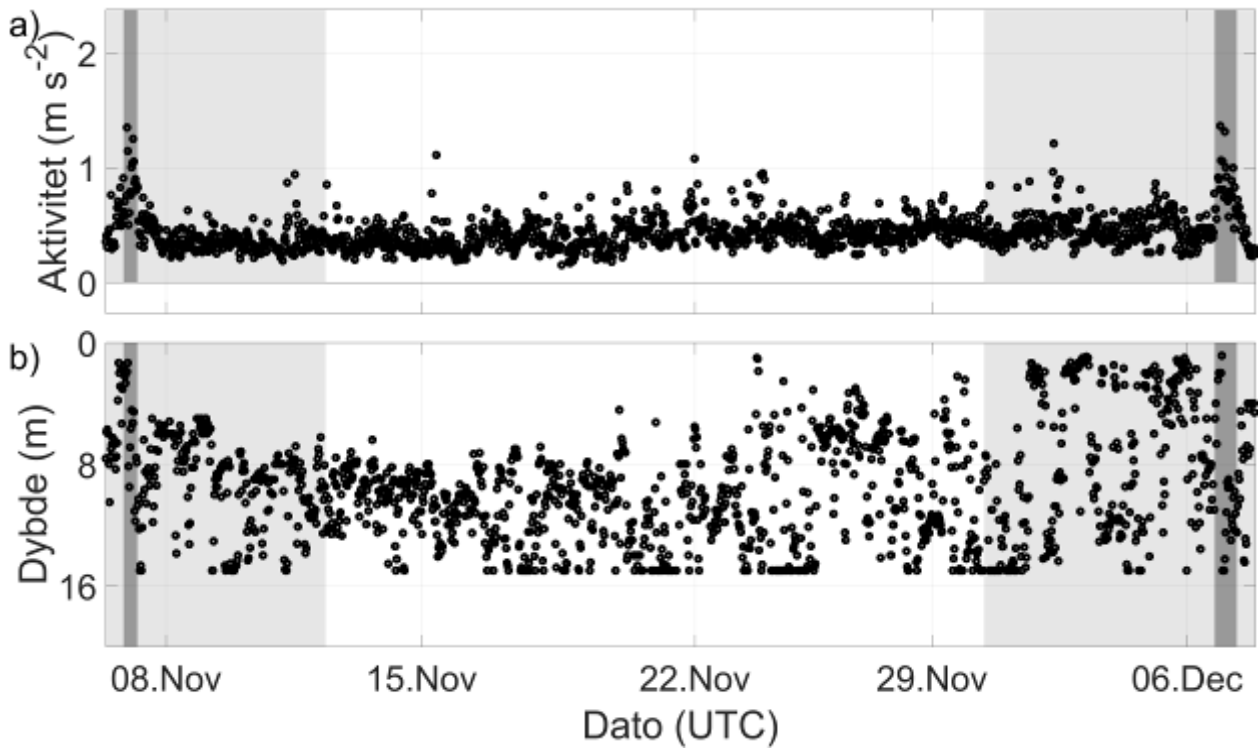
Figur 120: individfisk 201



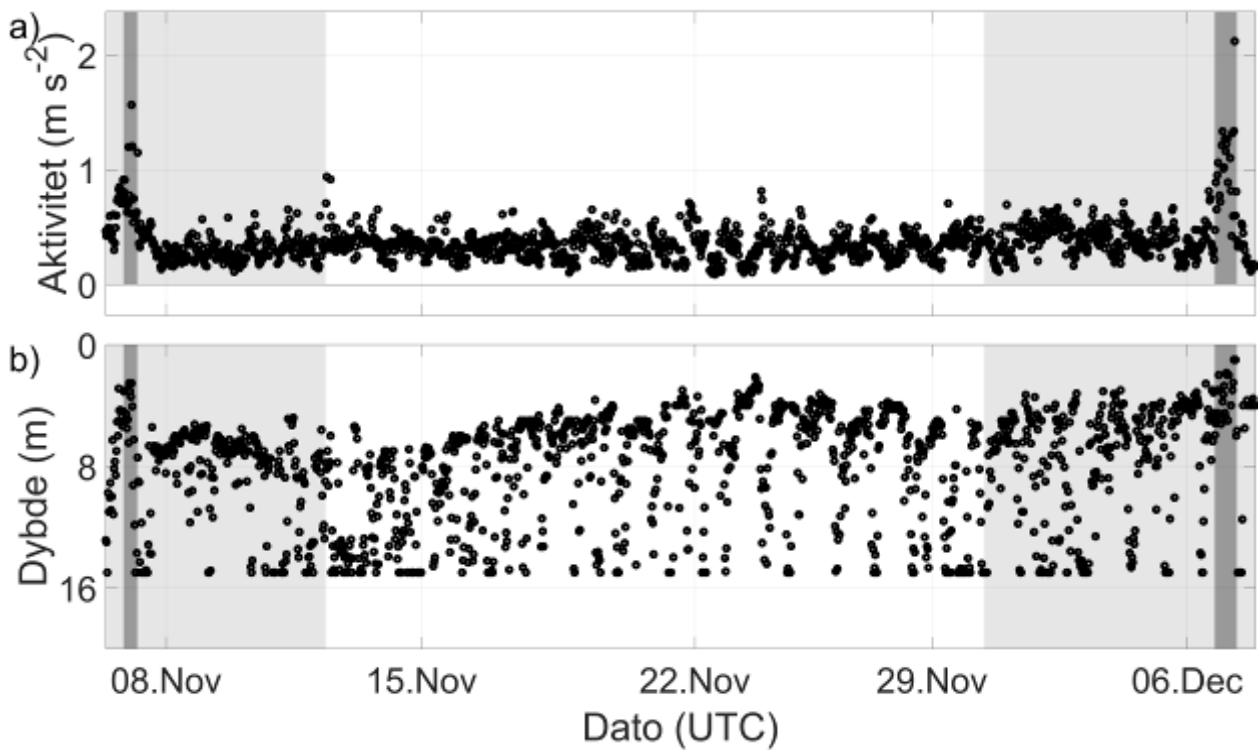
Figur 121: individfisk 204



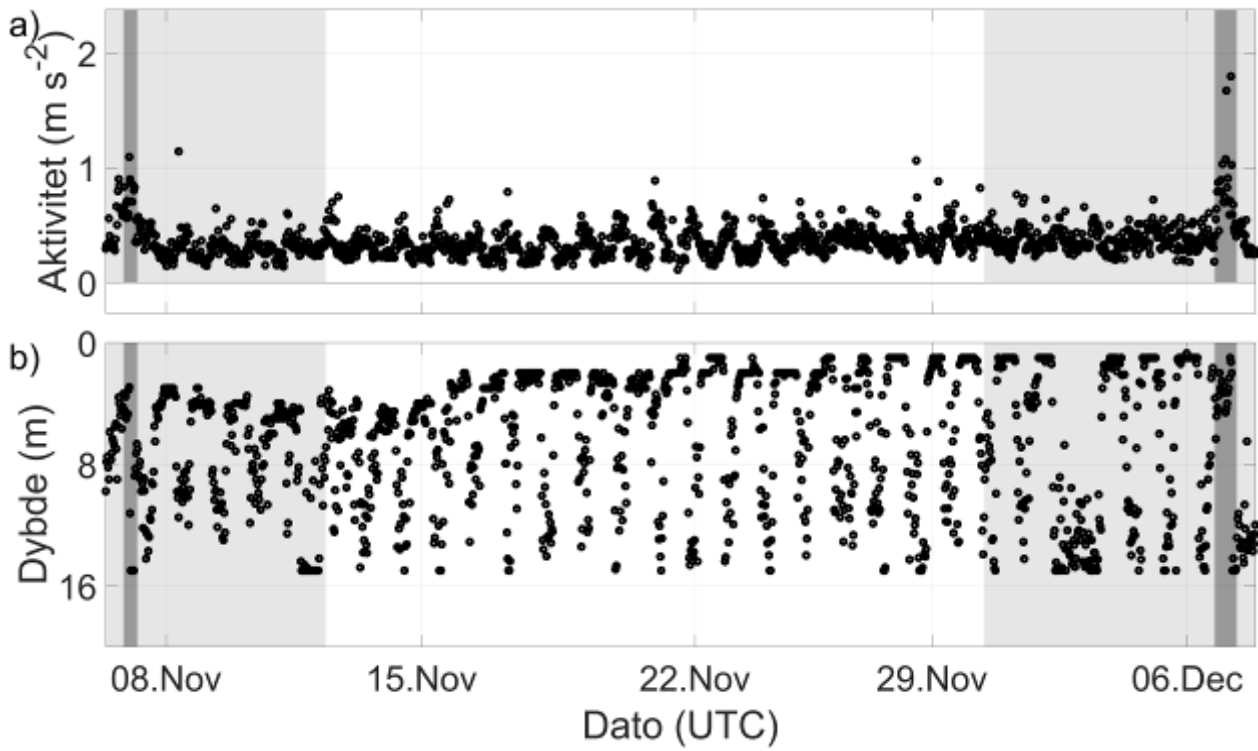
Figur 122: individfisk 207



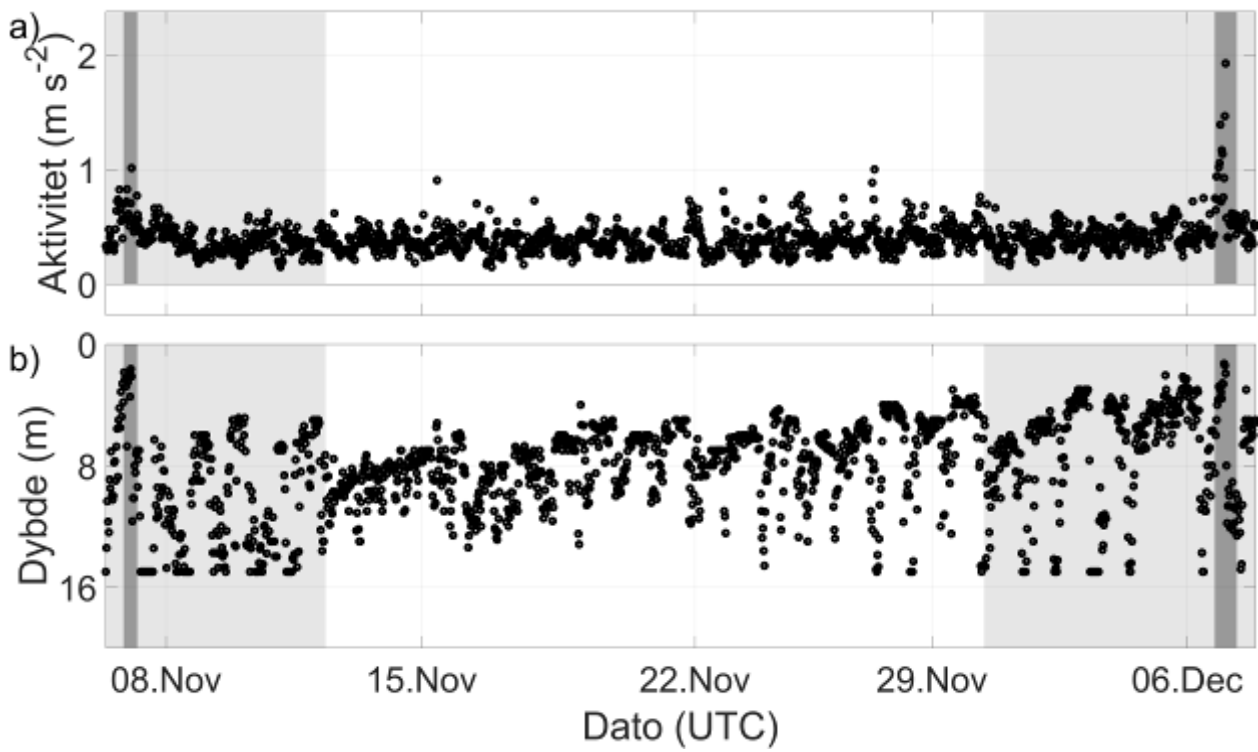
Figur 123: individfisk 213



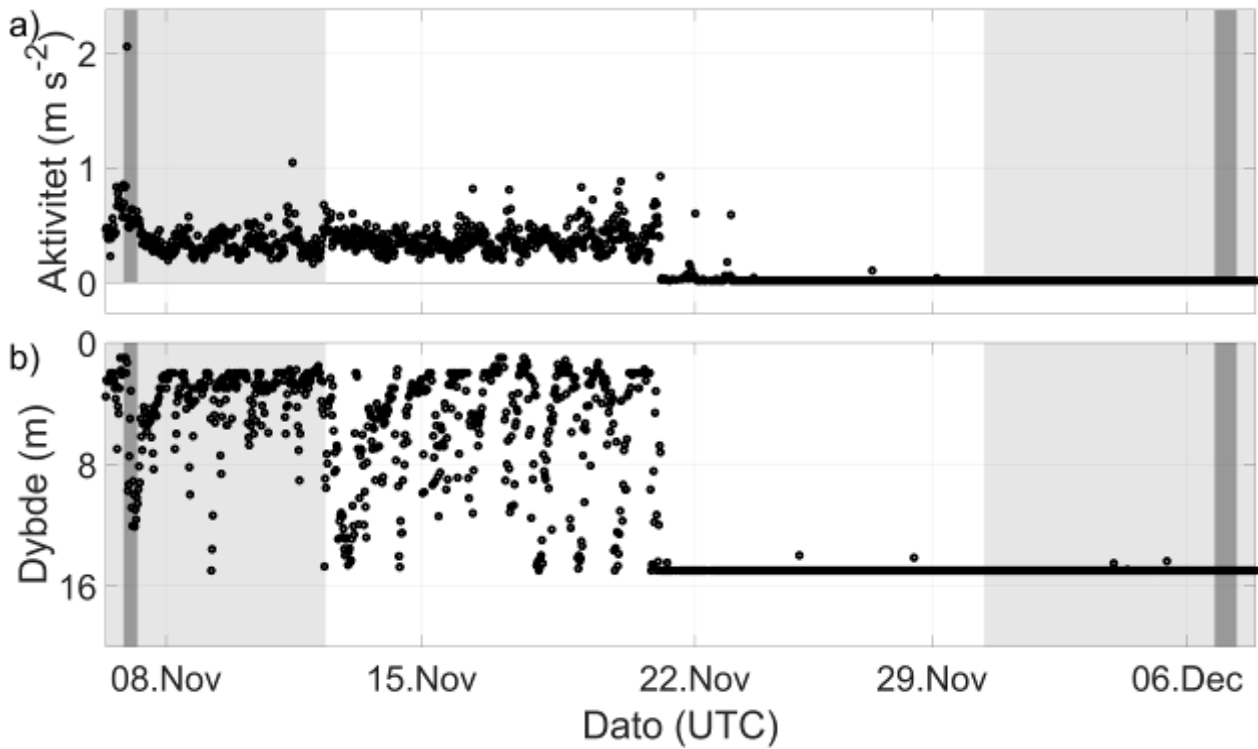
Figur 124: individfisk 216



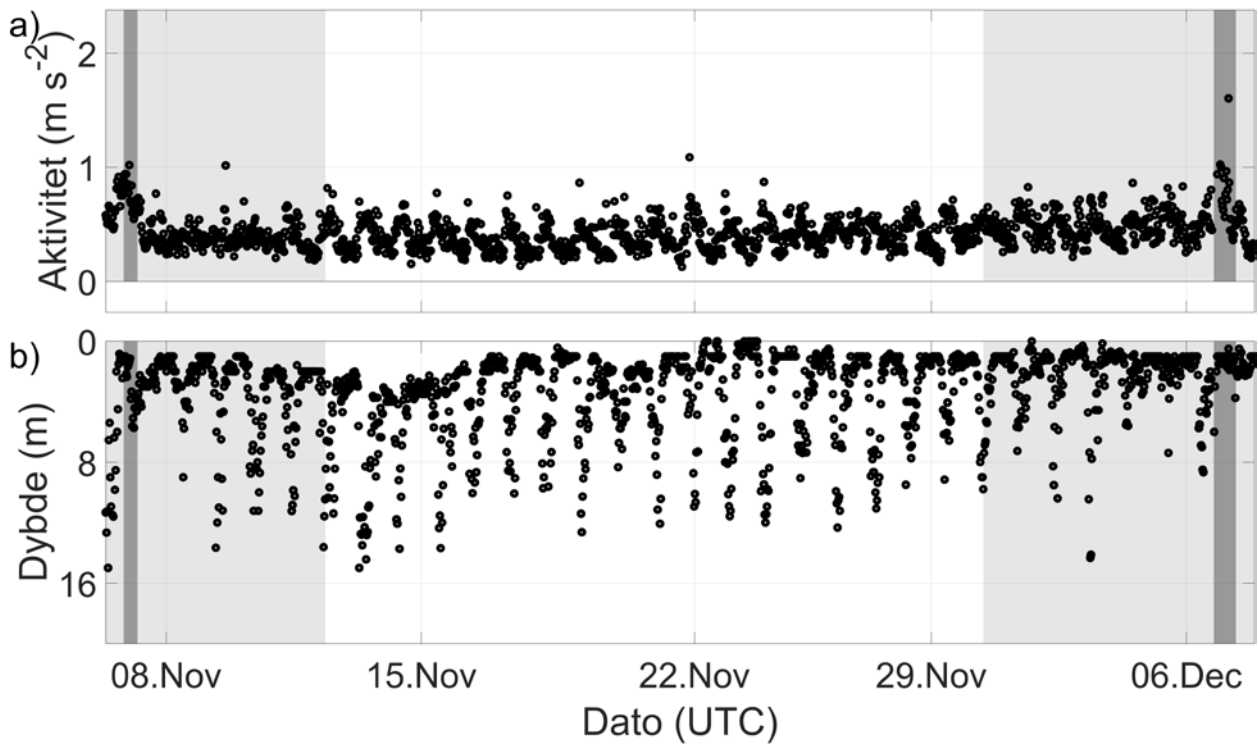
Figur 125: individfisk 222



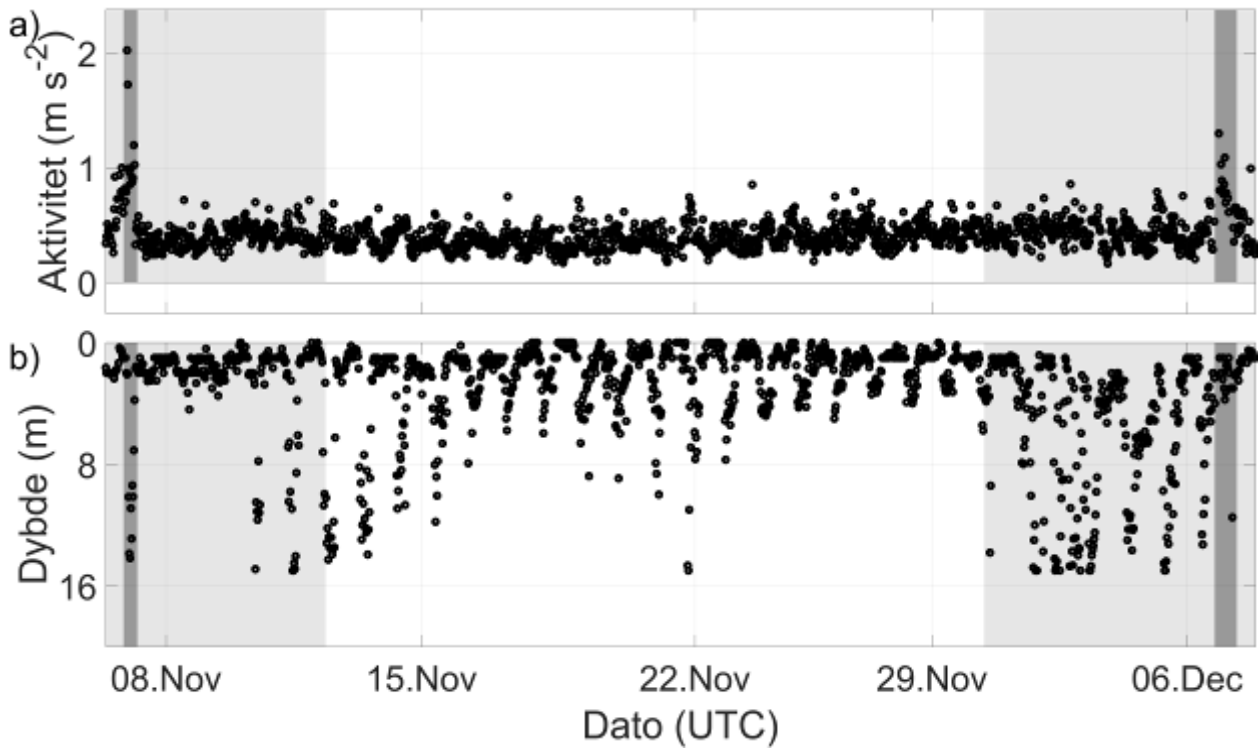
Figur 126: individfisk 225



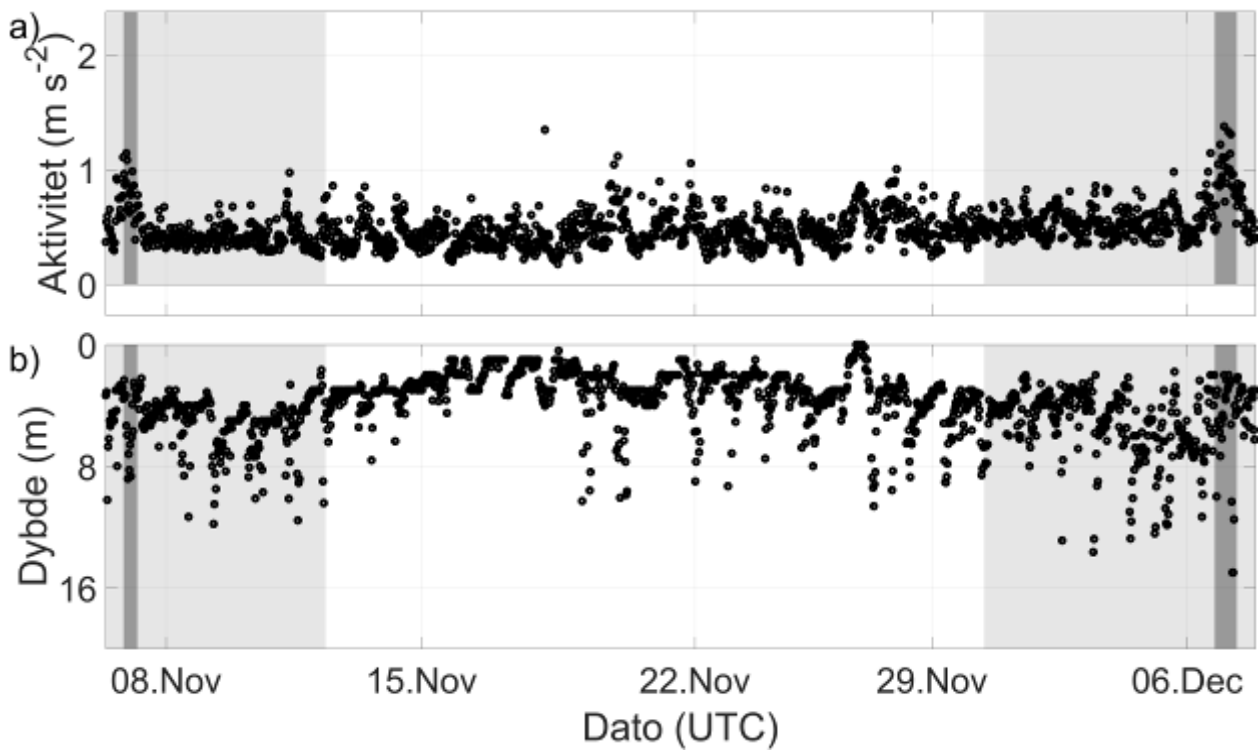
Figur 127: individfisk 228. Signalform (aktivitet = 0, dybde >15 m) antyder enten at fisken døde eller at merket ble utstøtt den 21. november.



Figur 128: individfisk 234



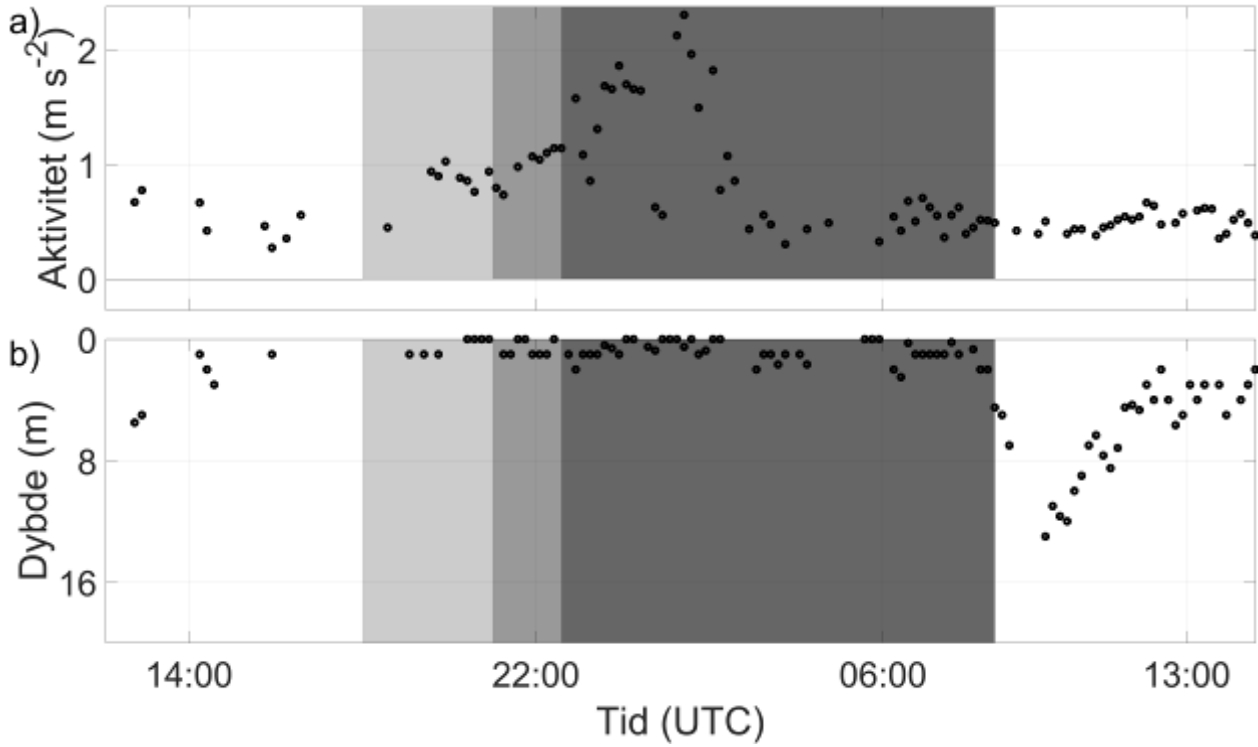
Figur 129: individfisk 240



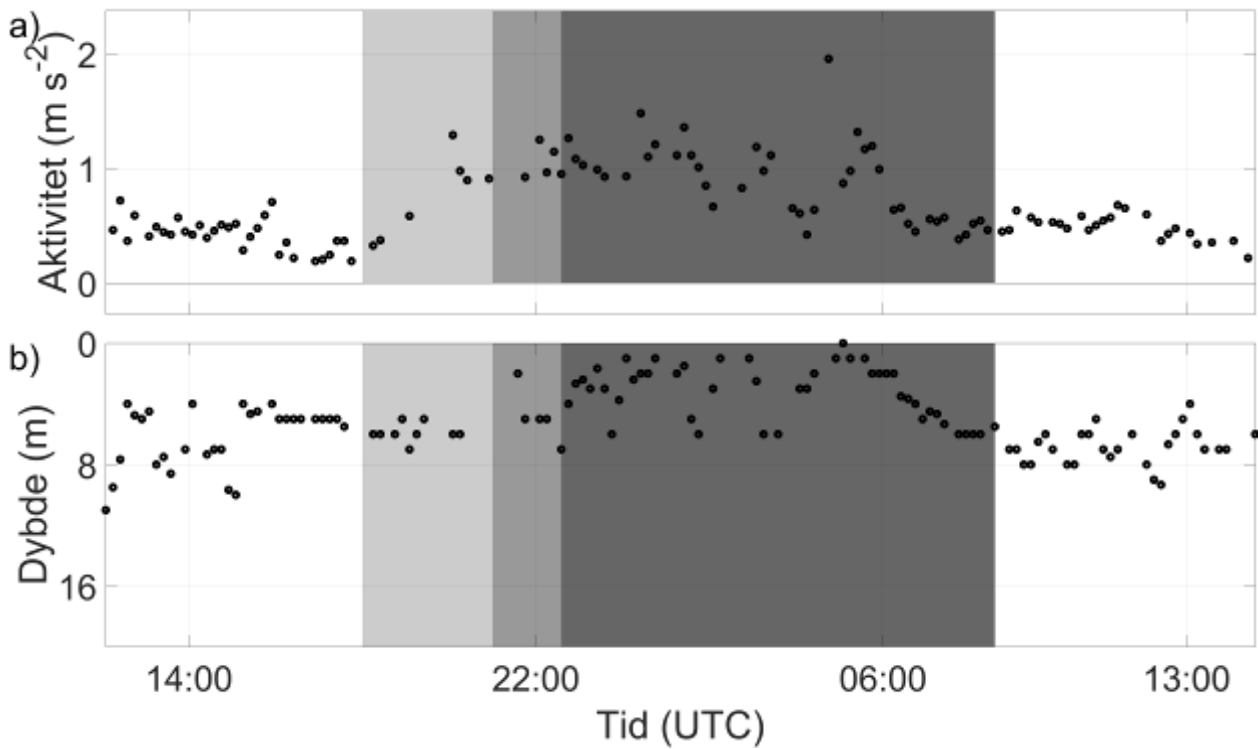
Figur 130: individfisk 243

A 6: under tredje avlusning

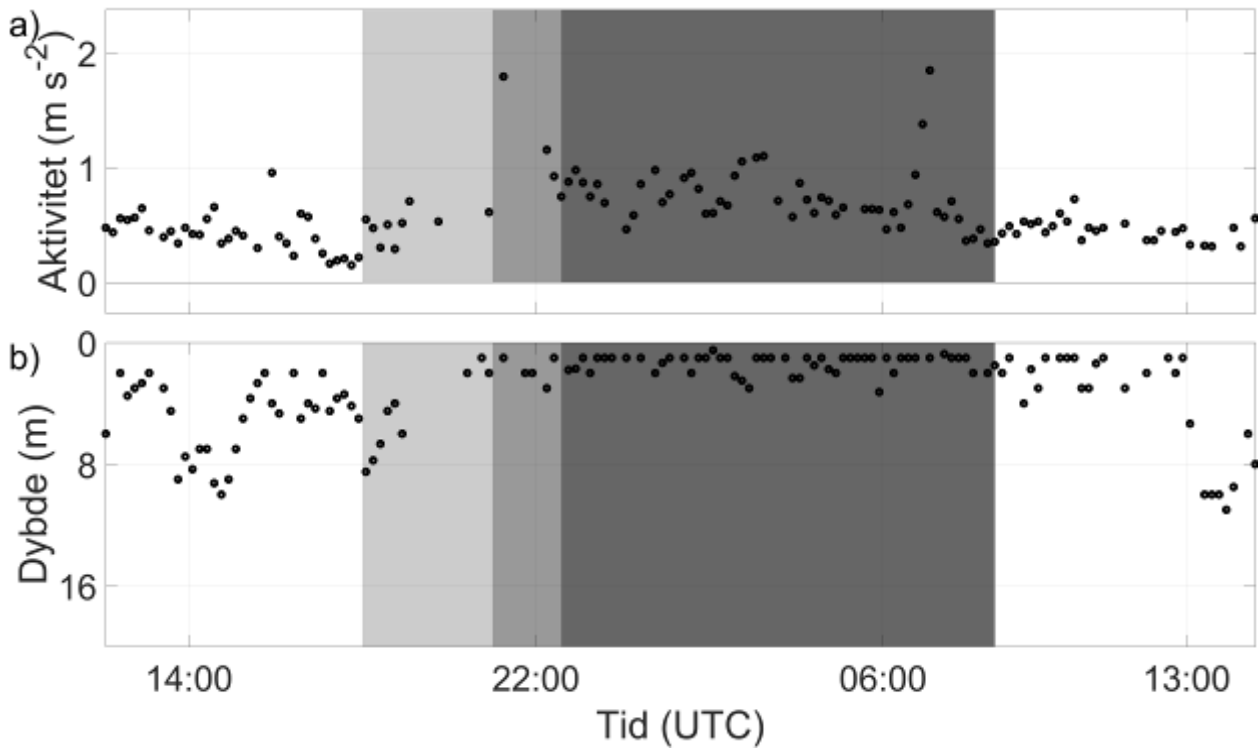
I figurene i denne seksjonen markerer lys grå opplining til 7 m, middels mørk grå opplining til 1 m, og mørk grå perioden der fisken utsettes for avlusningsoperasjonen og overføres til ny merd.



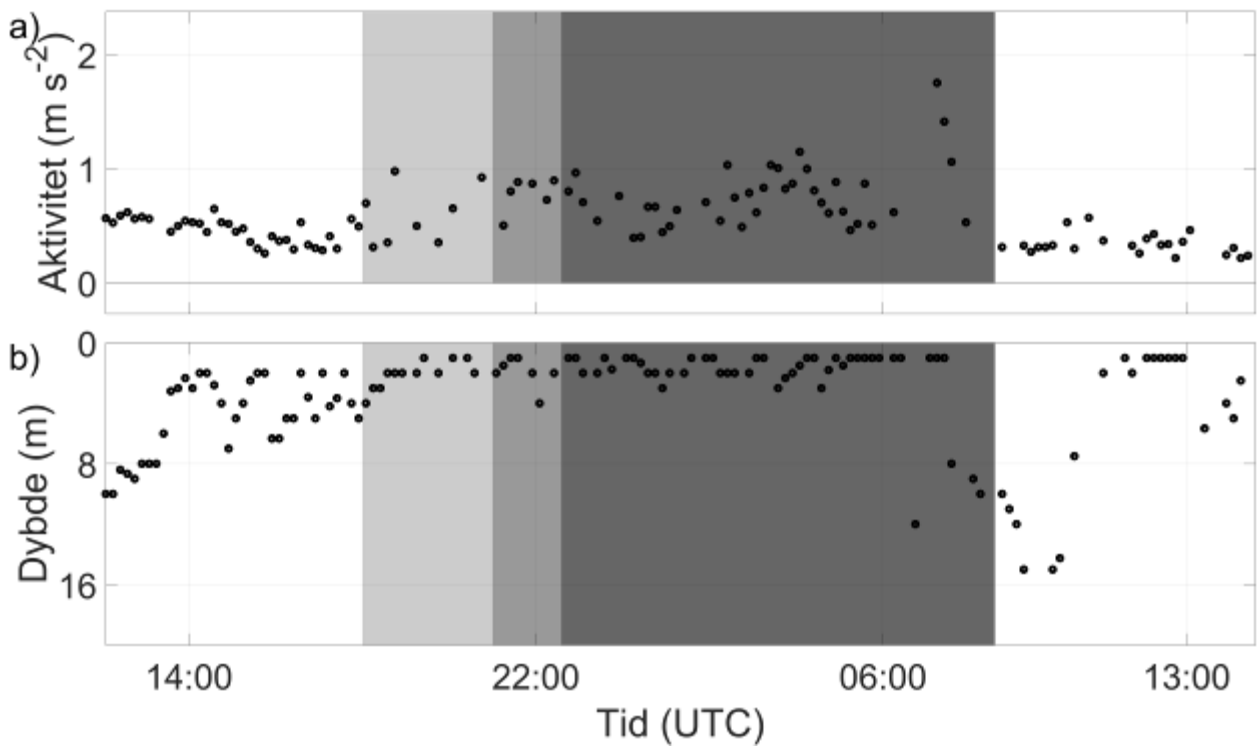
Figur 131: individfisk 180



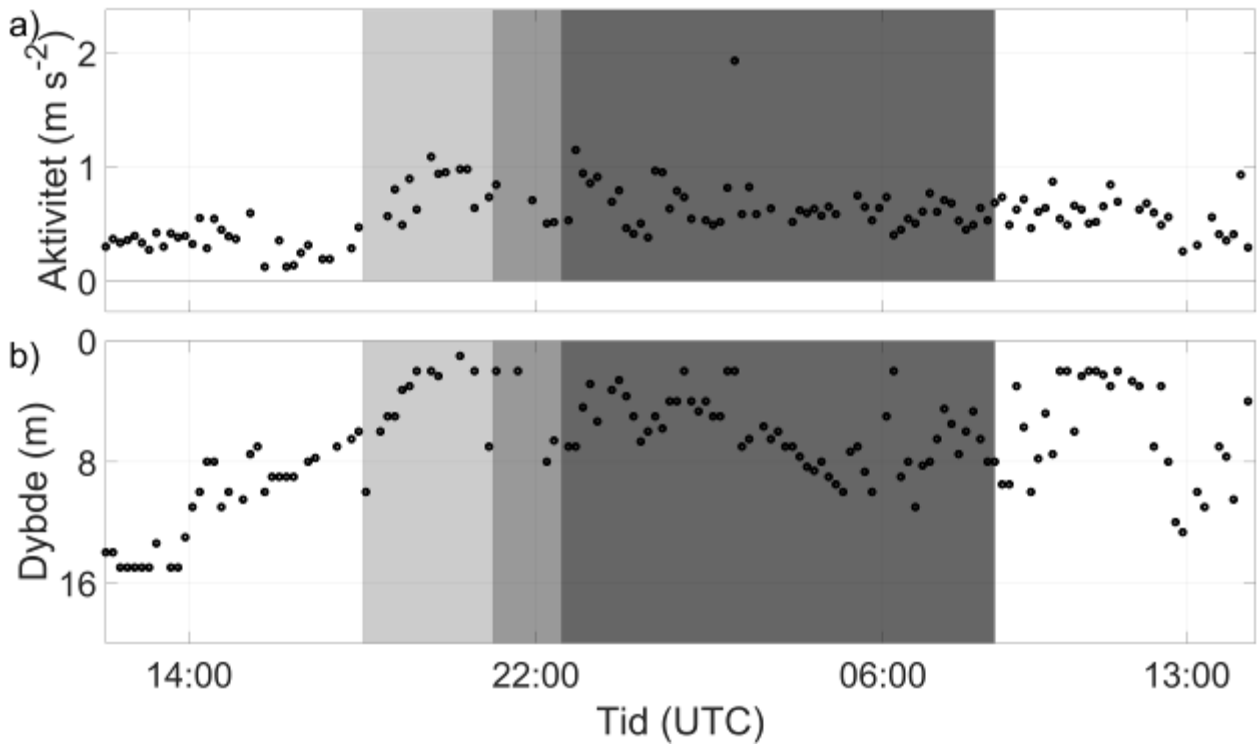
Figur 132: individfisk 183



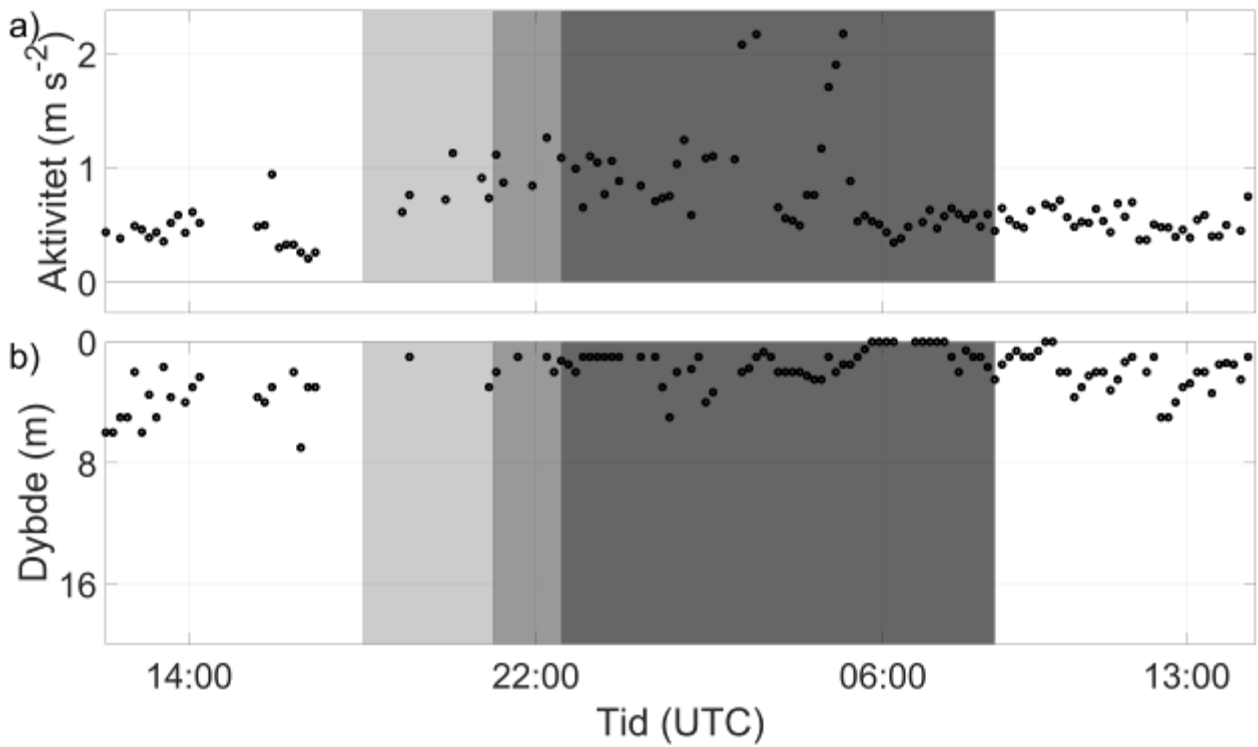
Figur 133: individfisk 186



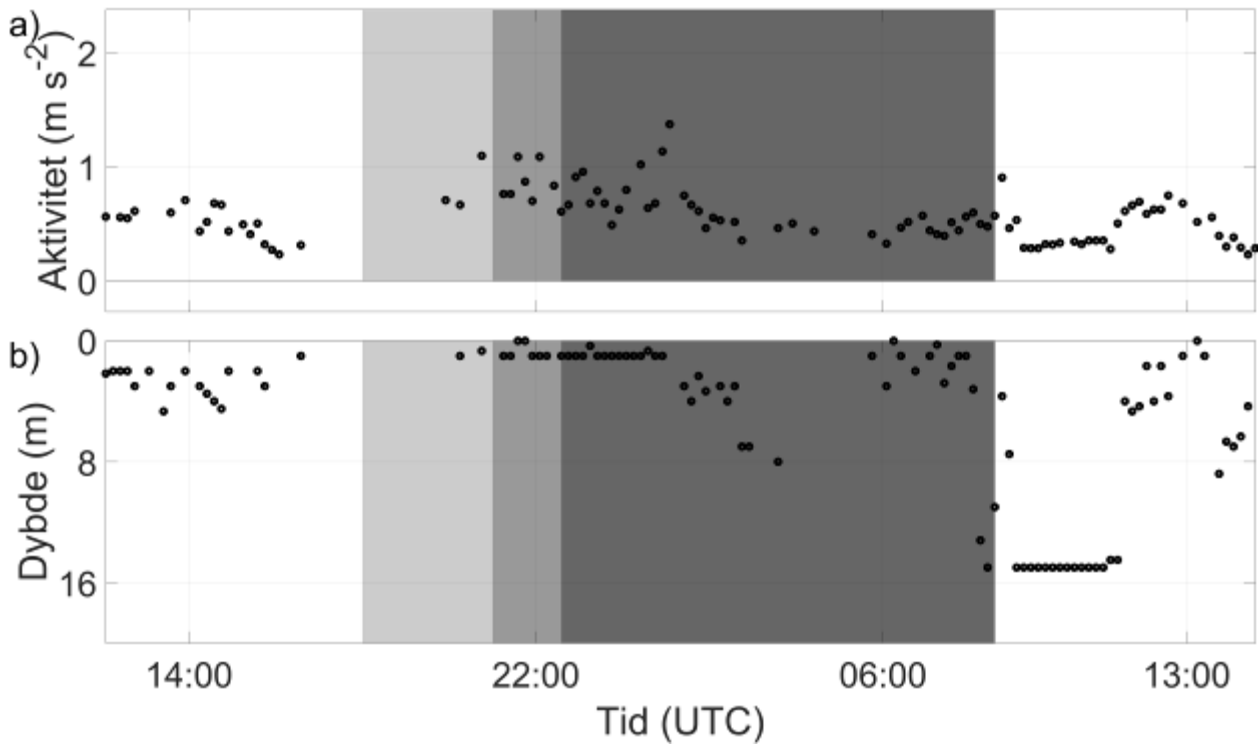
Figur 134: individfisk 192



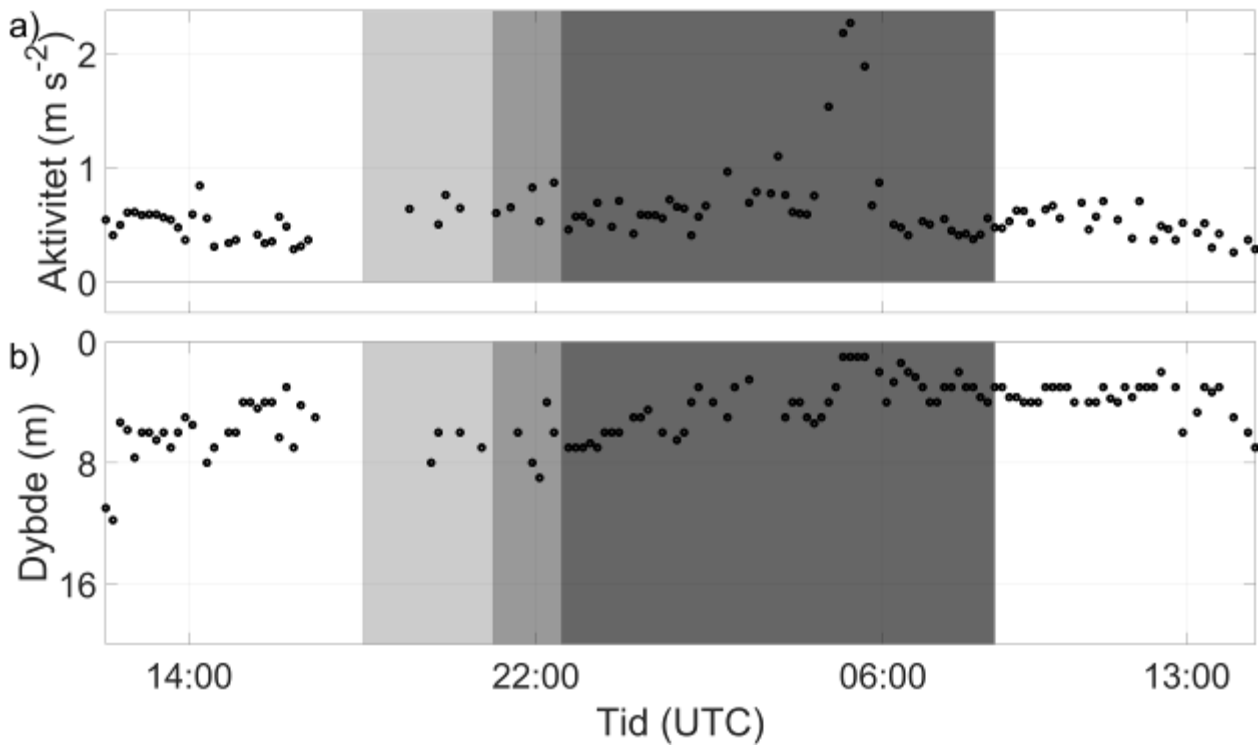
Figur 135: individfisk 198



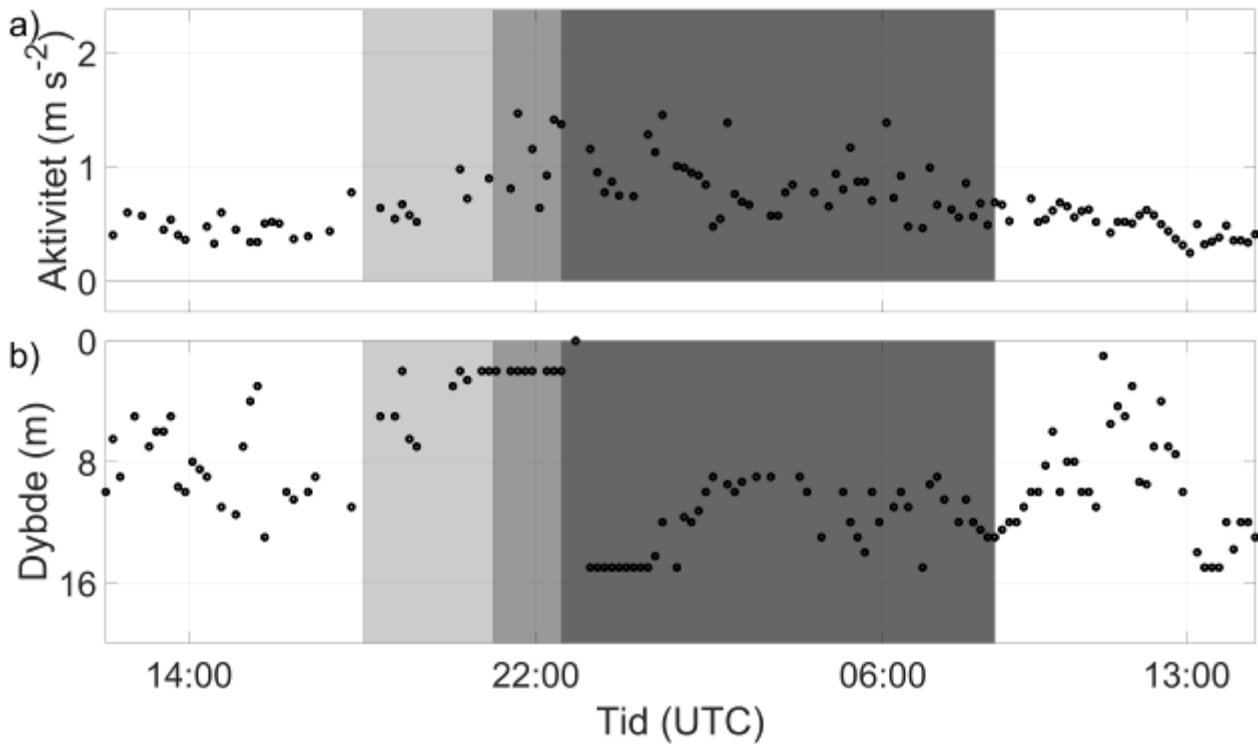
Figur 136: individfisk 201



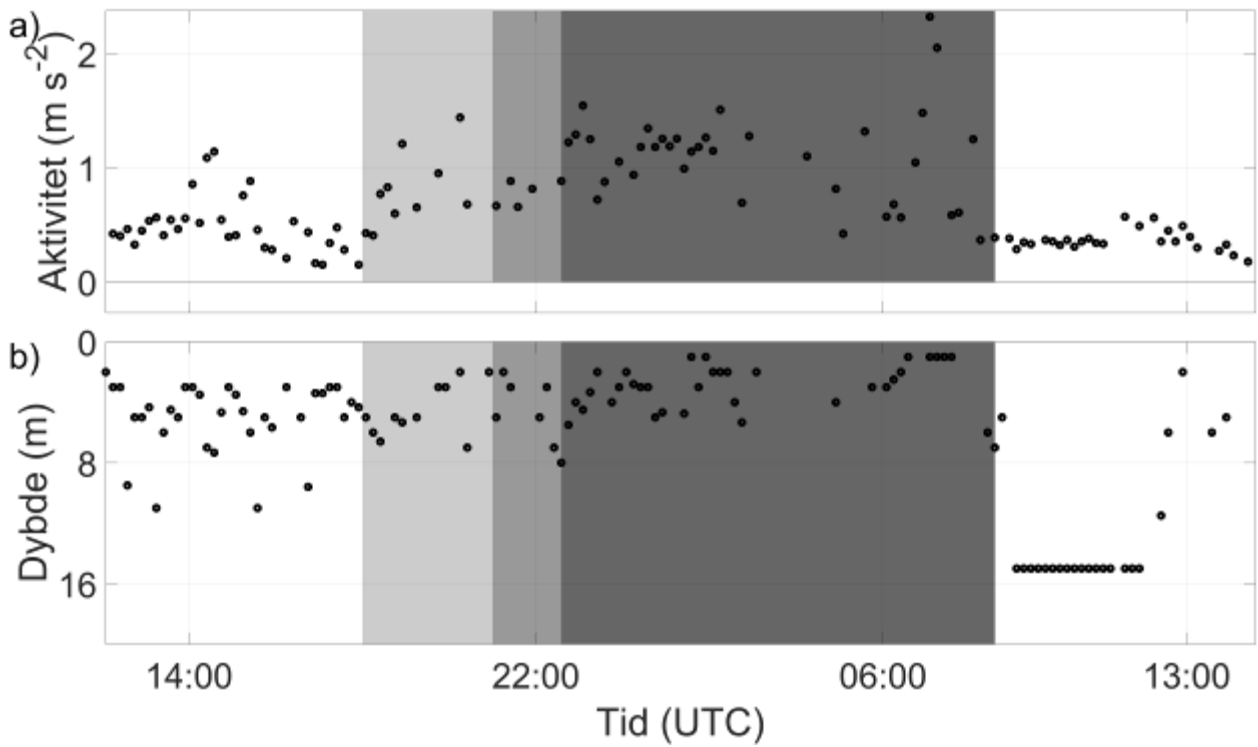
Figur 137: individfisk 204



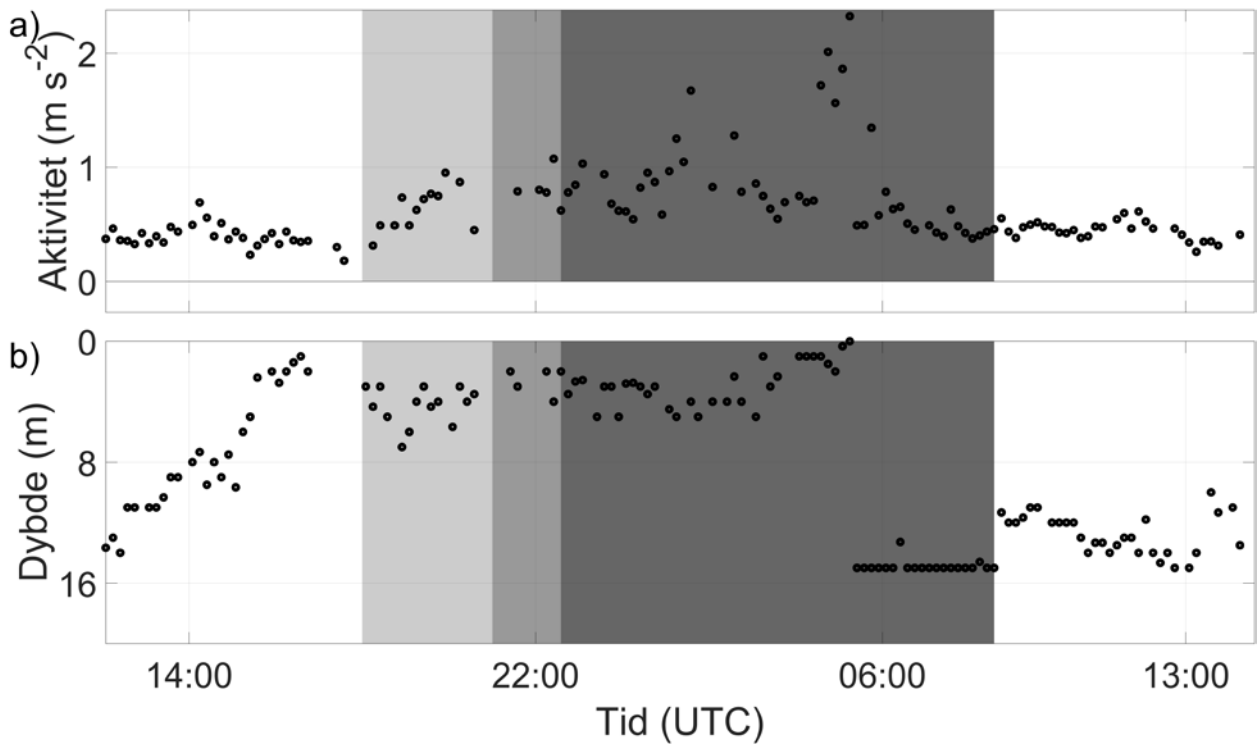
Figur 138: individfisk 207



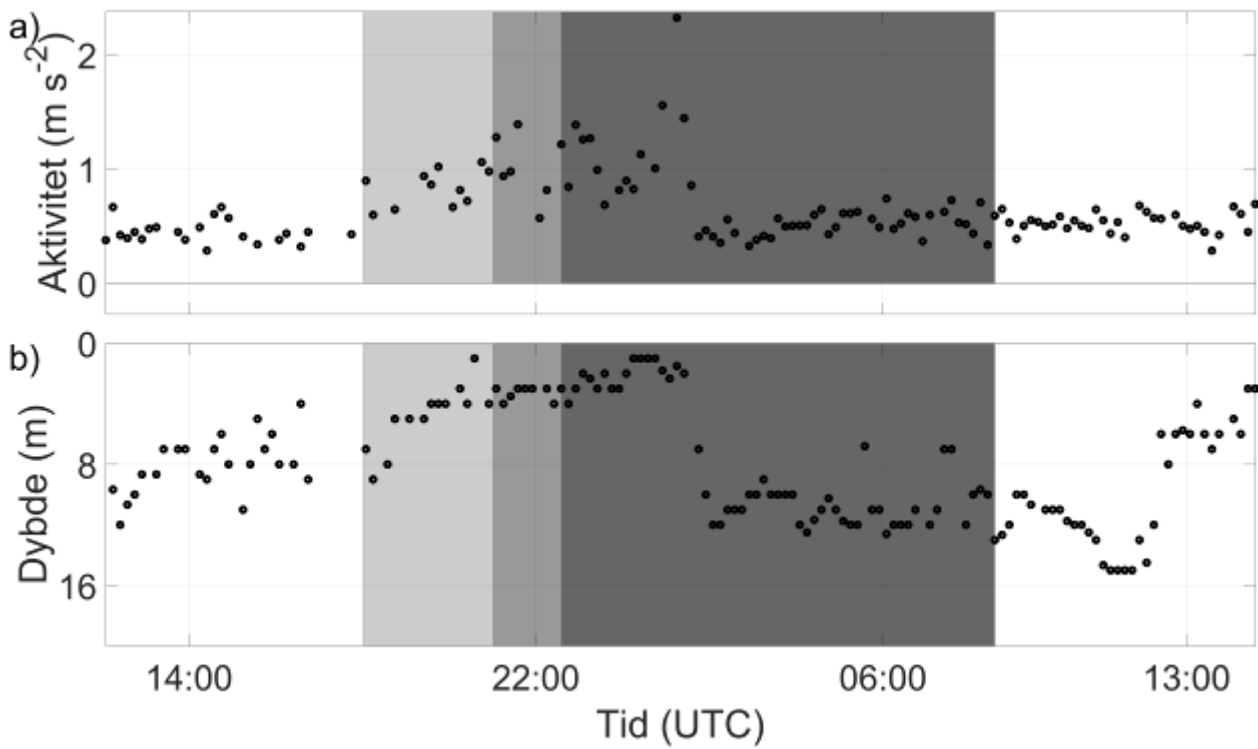
Figur 139: individfisk 213



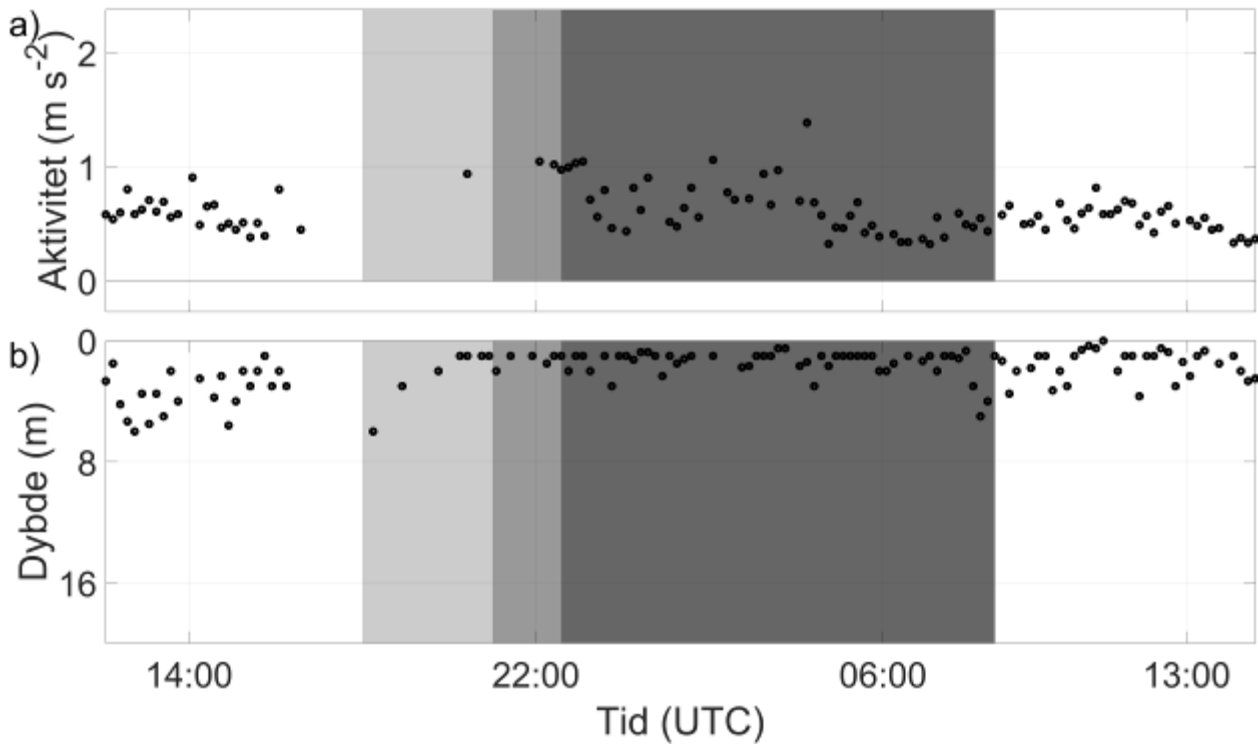
Figur 140: individfisk 216



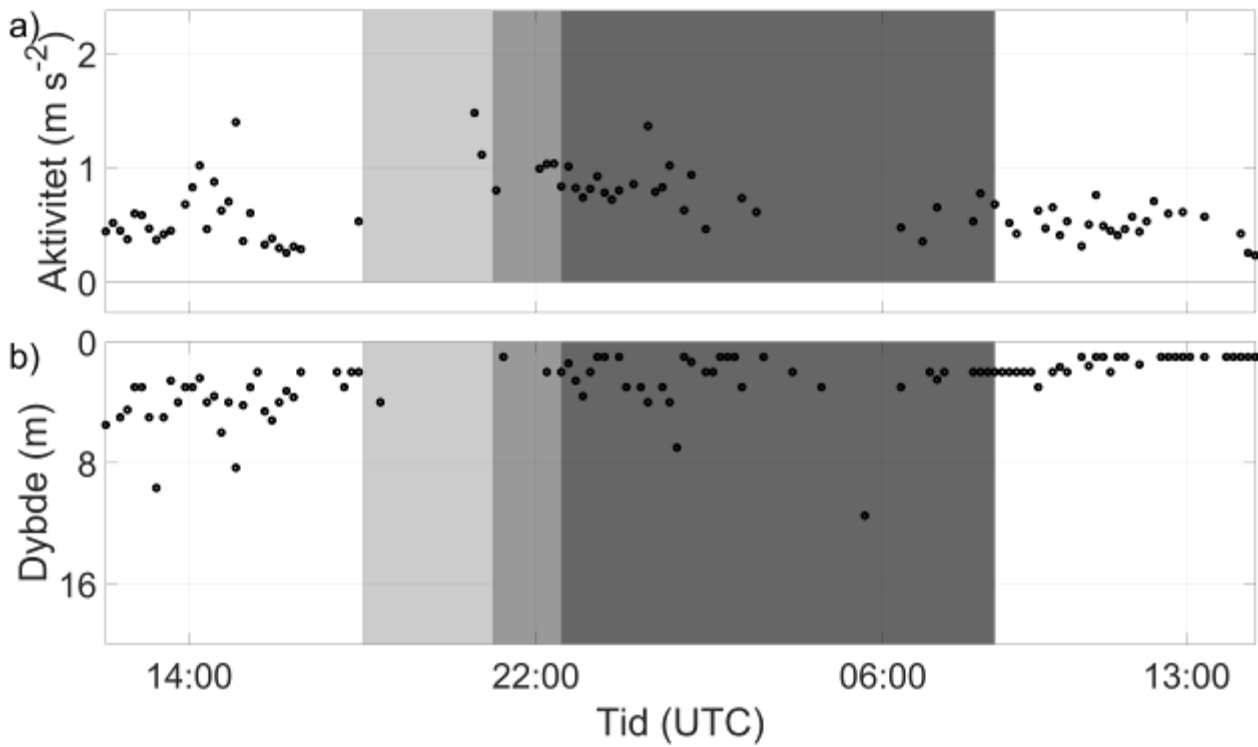
Figur 141: individfisk 222



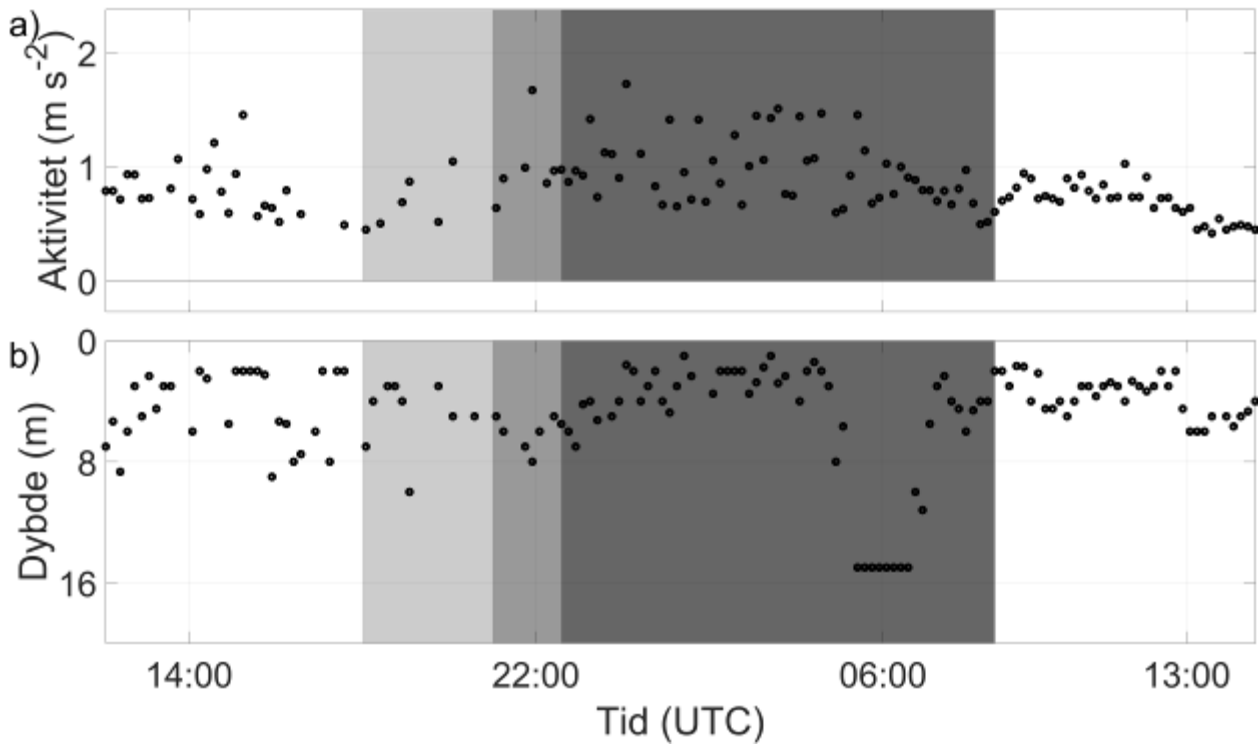
Figur 142: individfisk 225



Figur 143: individfisk 234



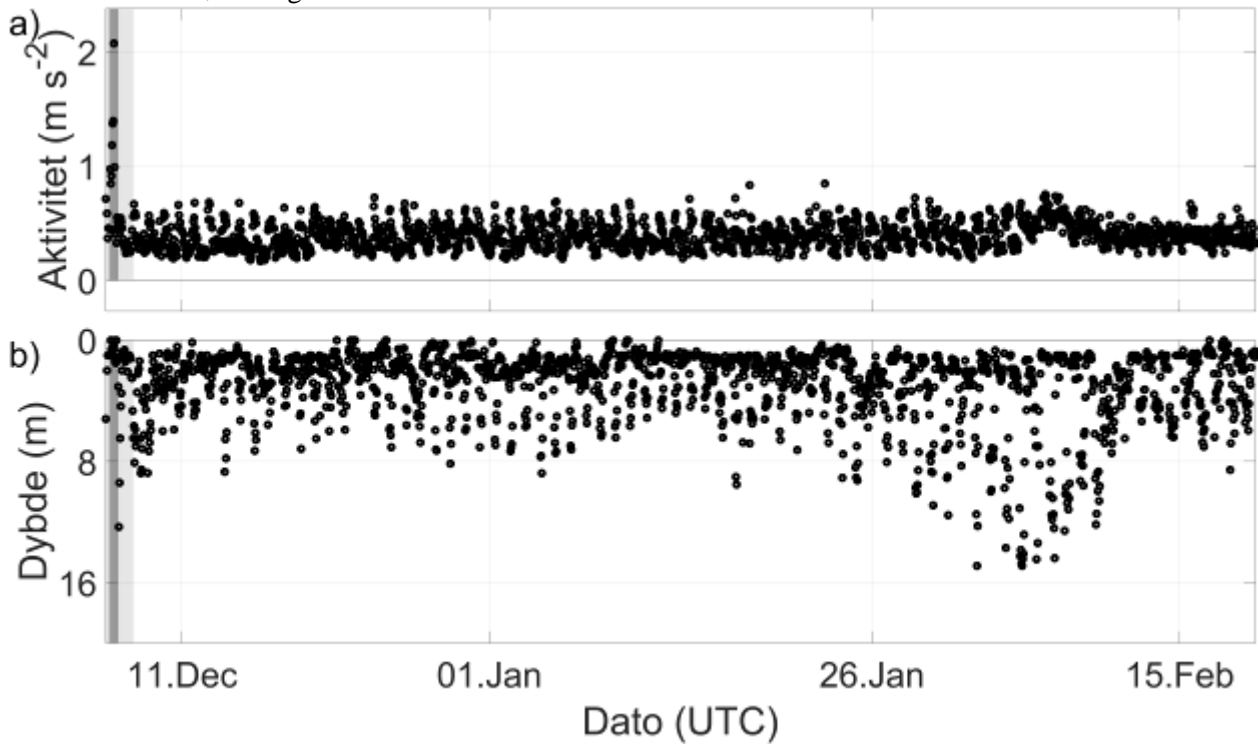
Figur 144: individfisk 240



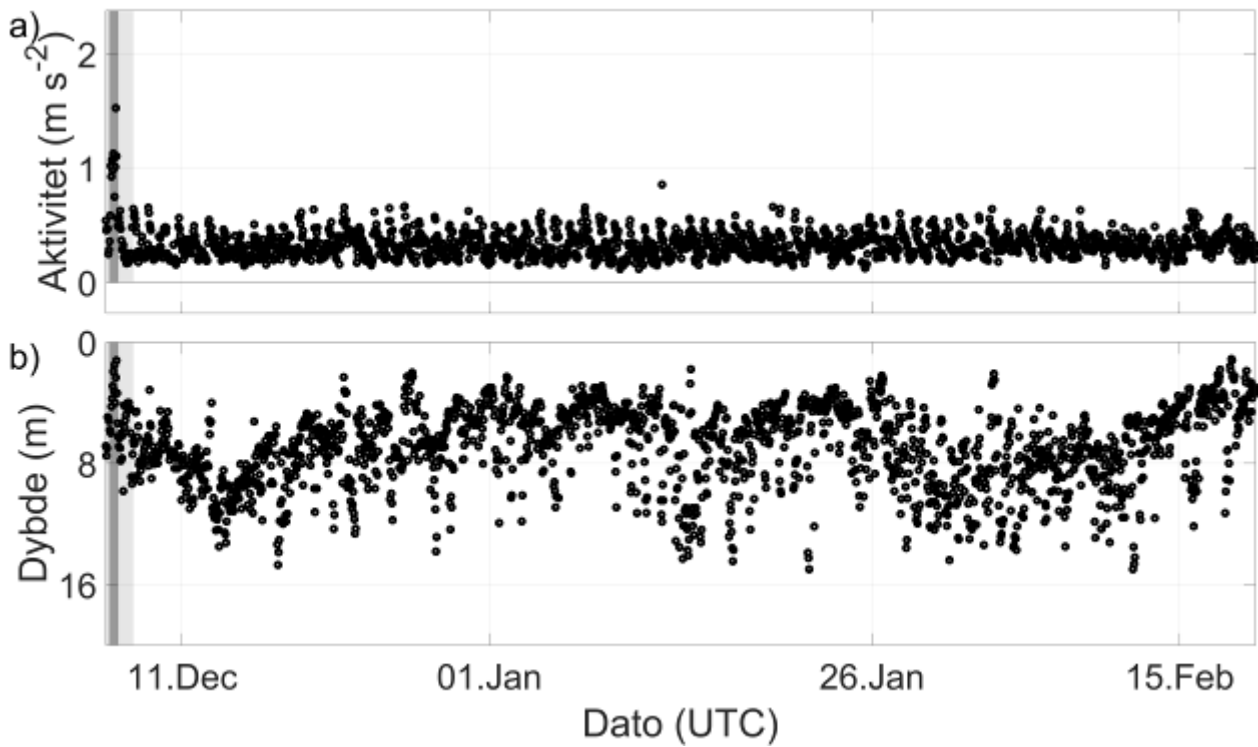
Figur 145: individfisk 243

A 7: etter siste avlusning

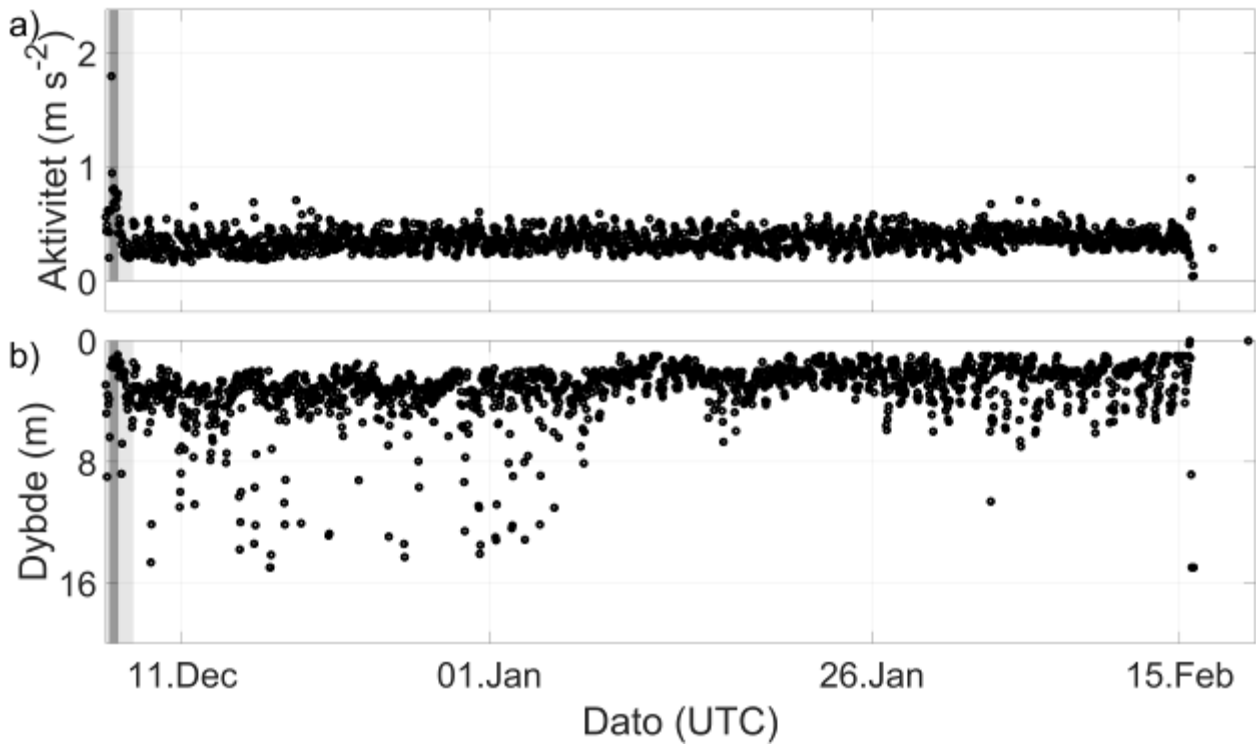
I figurene i denne seksjonen er sulteperioden markert med lys grå farge, mens selve avlusningsoperasjonen er markert med mørkere grå.



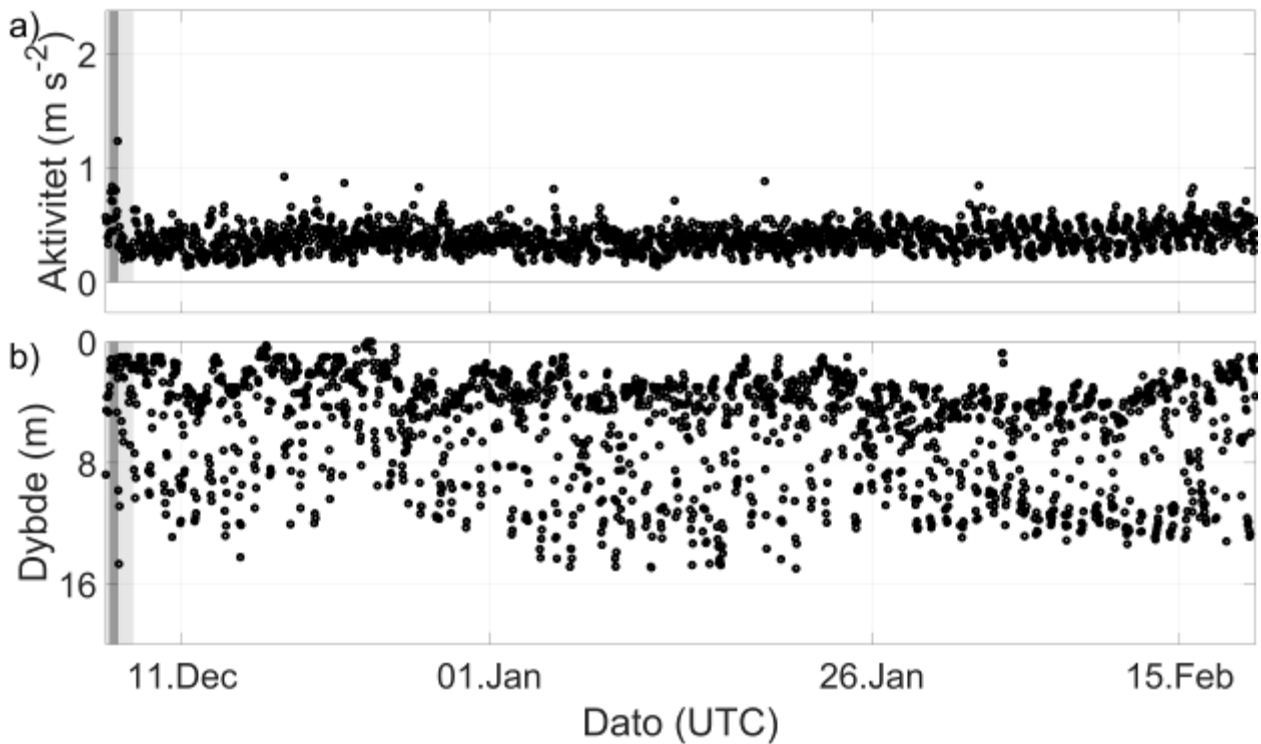
Figur 146: individfisk 180



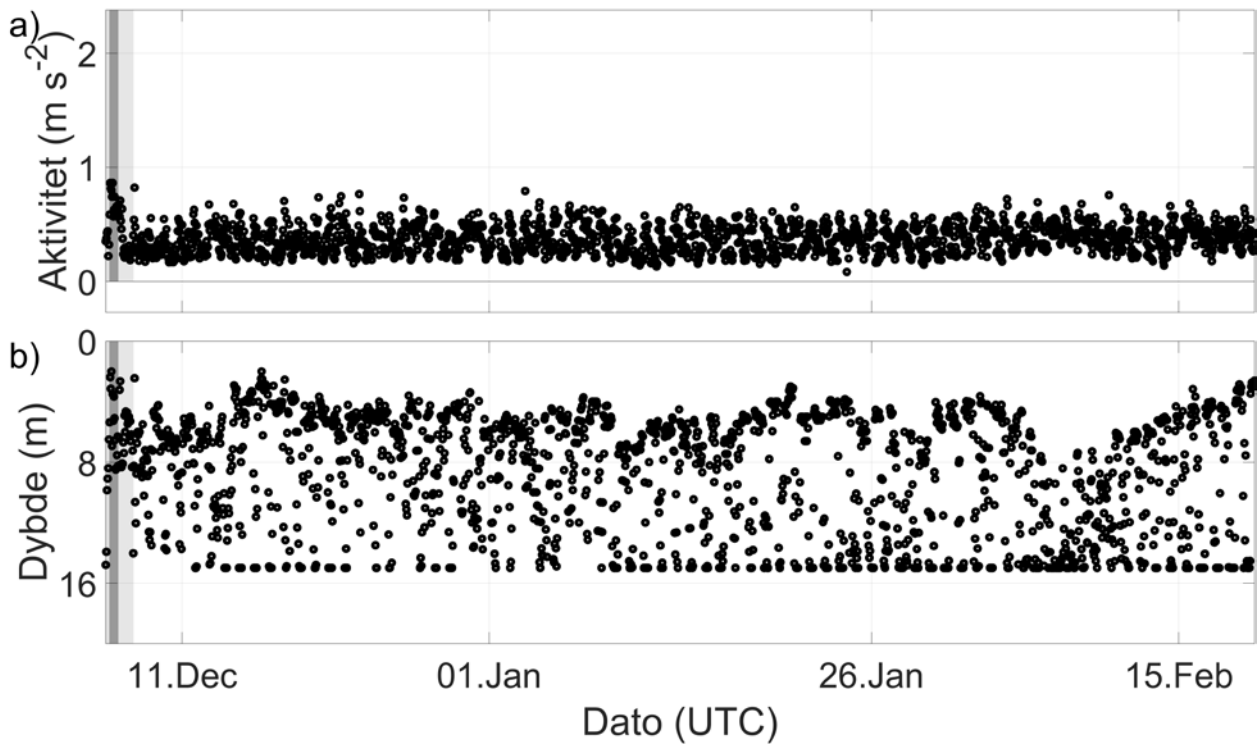
Figur 147: individfisk 183



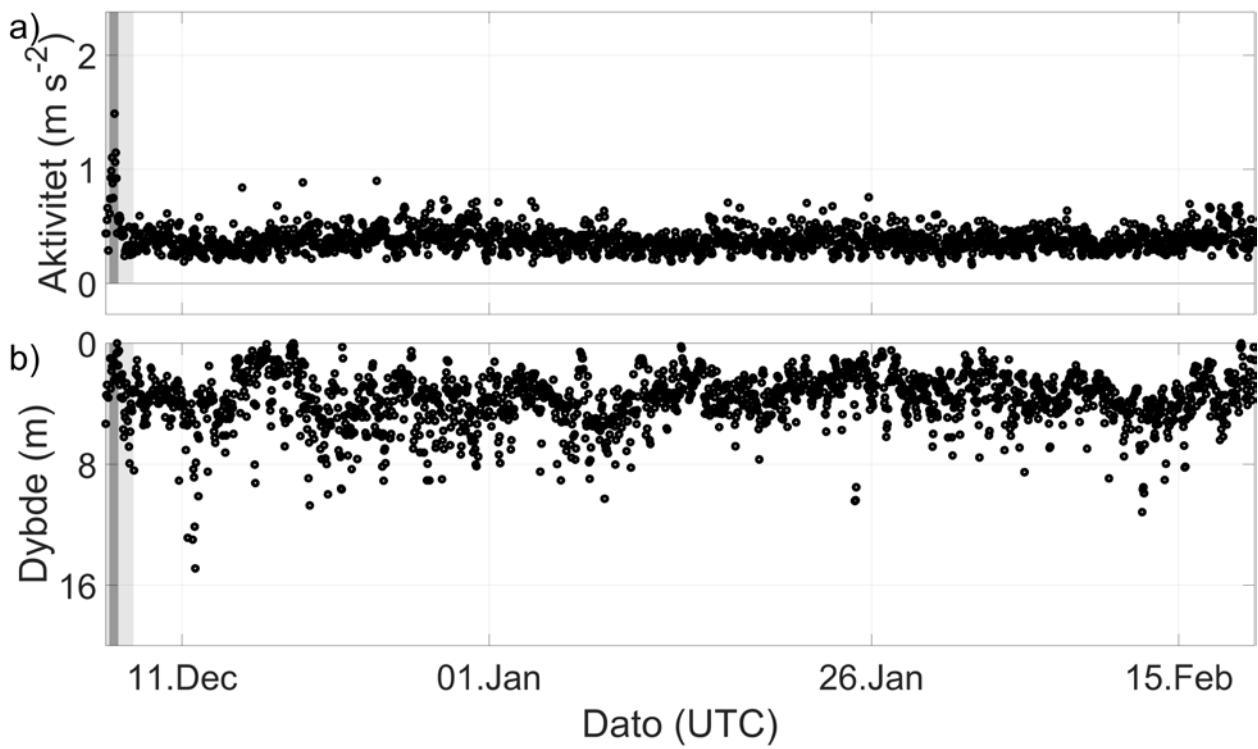
Figur 148: individfisk 186. Bortfall av signal 16. februar antyder at merket har forsvunnet fra systemet, enten grunnet fiskens død eller at merket har blitt støtt ut fra fiskens kropp



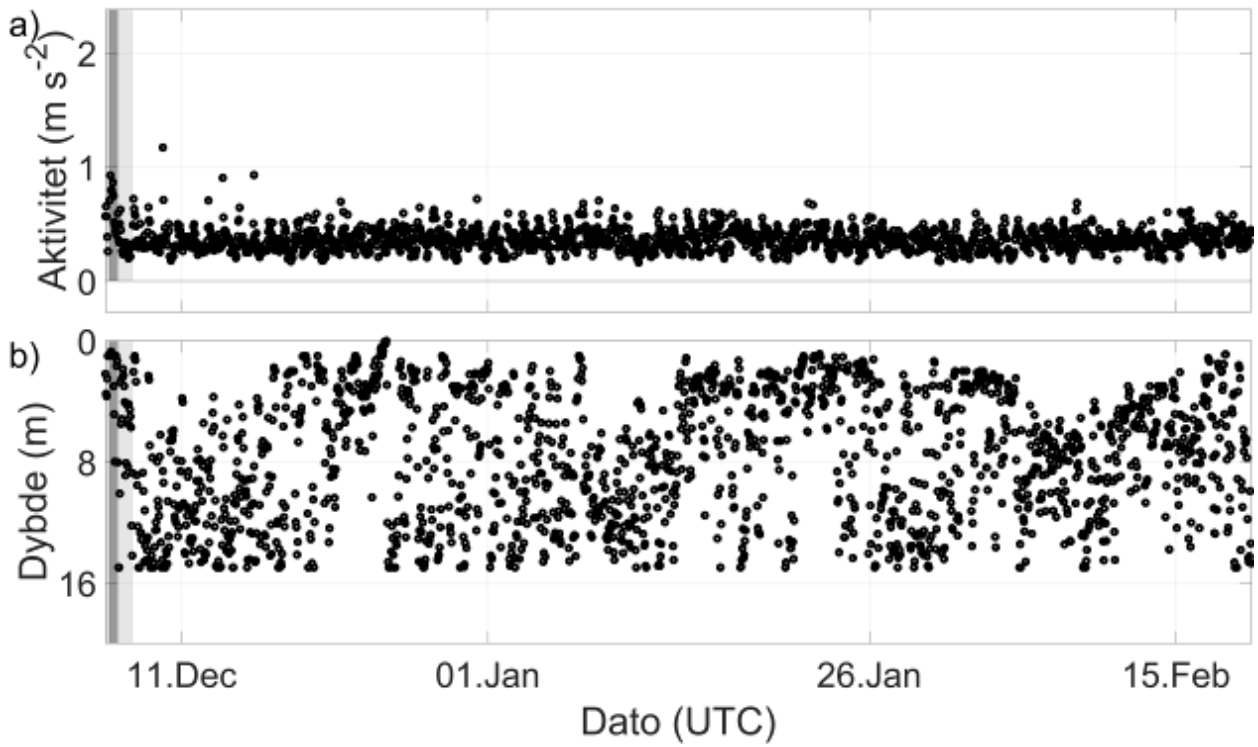
Figur 149: individfisk 192



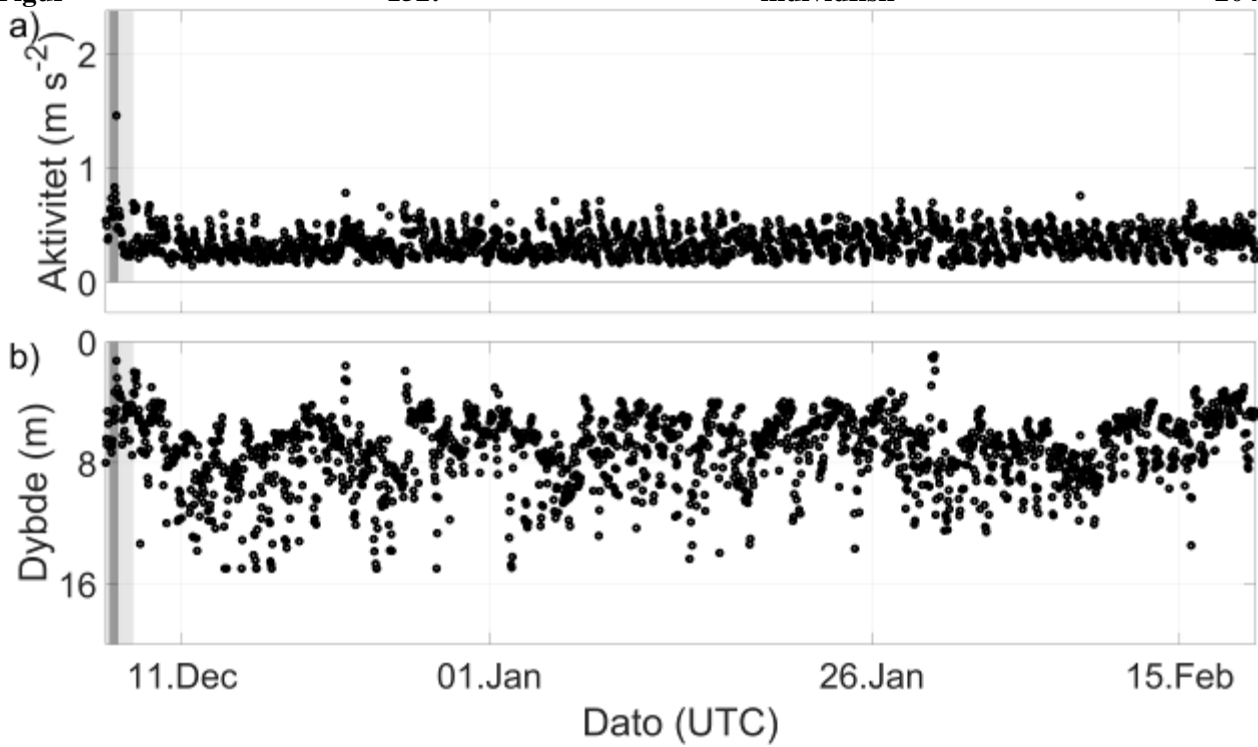
Figur 150: individfisk 198



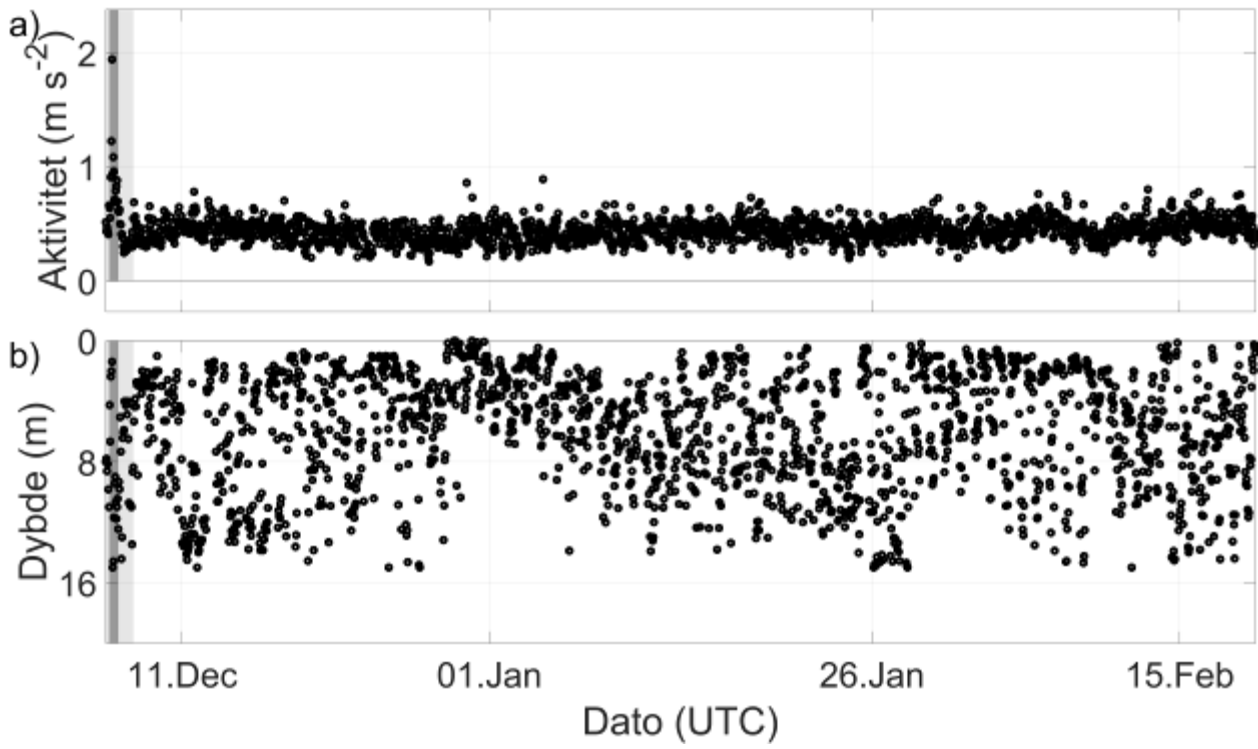
Figur 151: individfisk 201



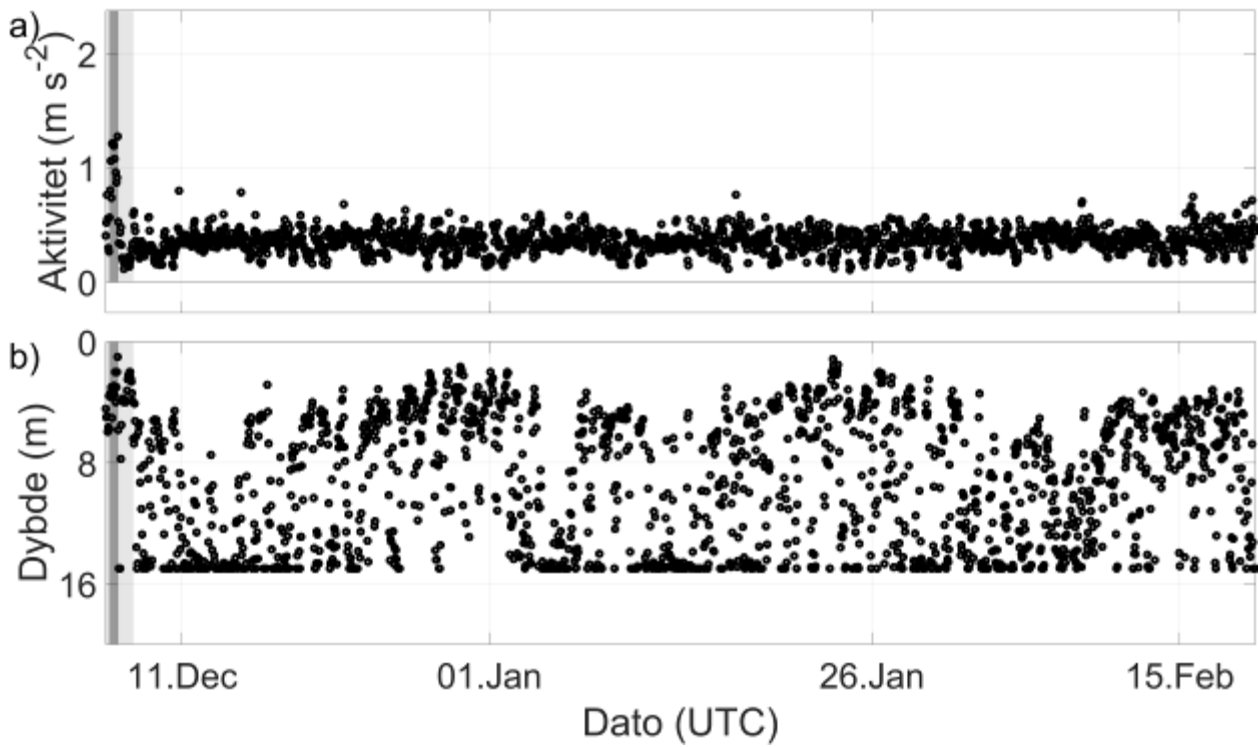
Figur 152: individfisk 204



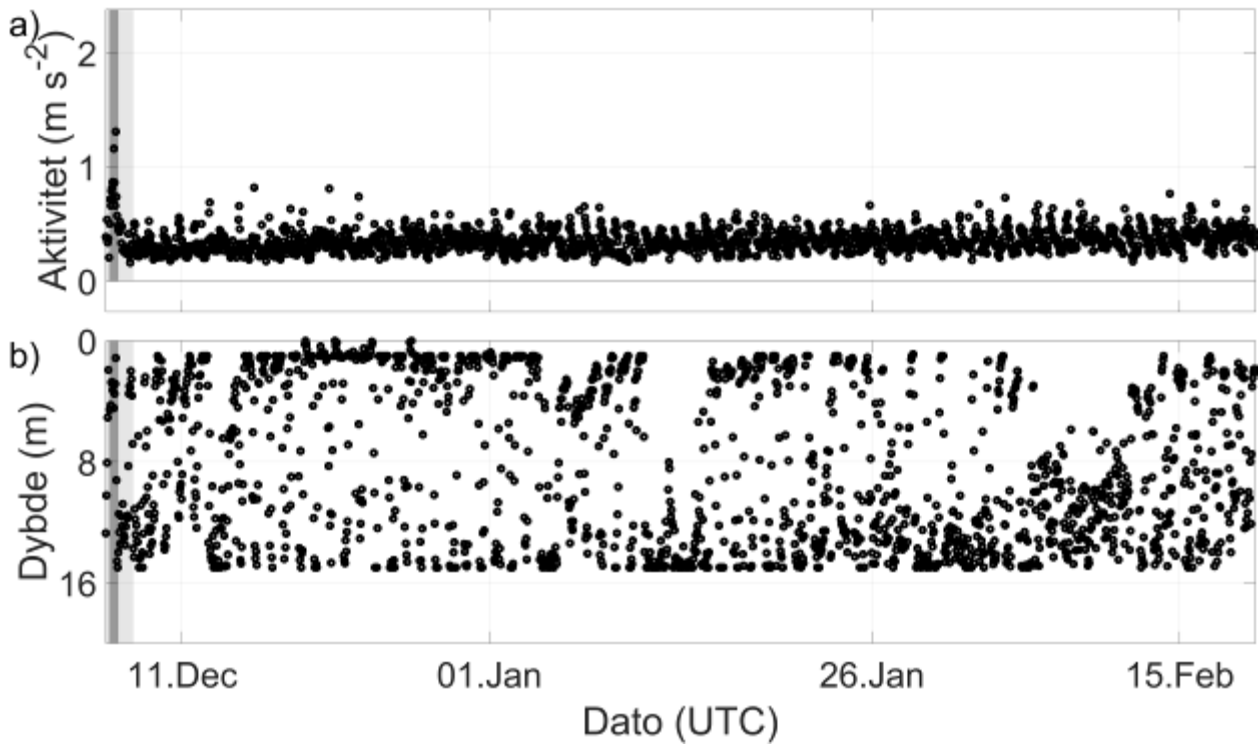
Figur 153: individfisk 207



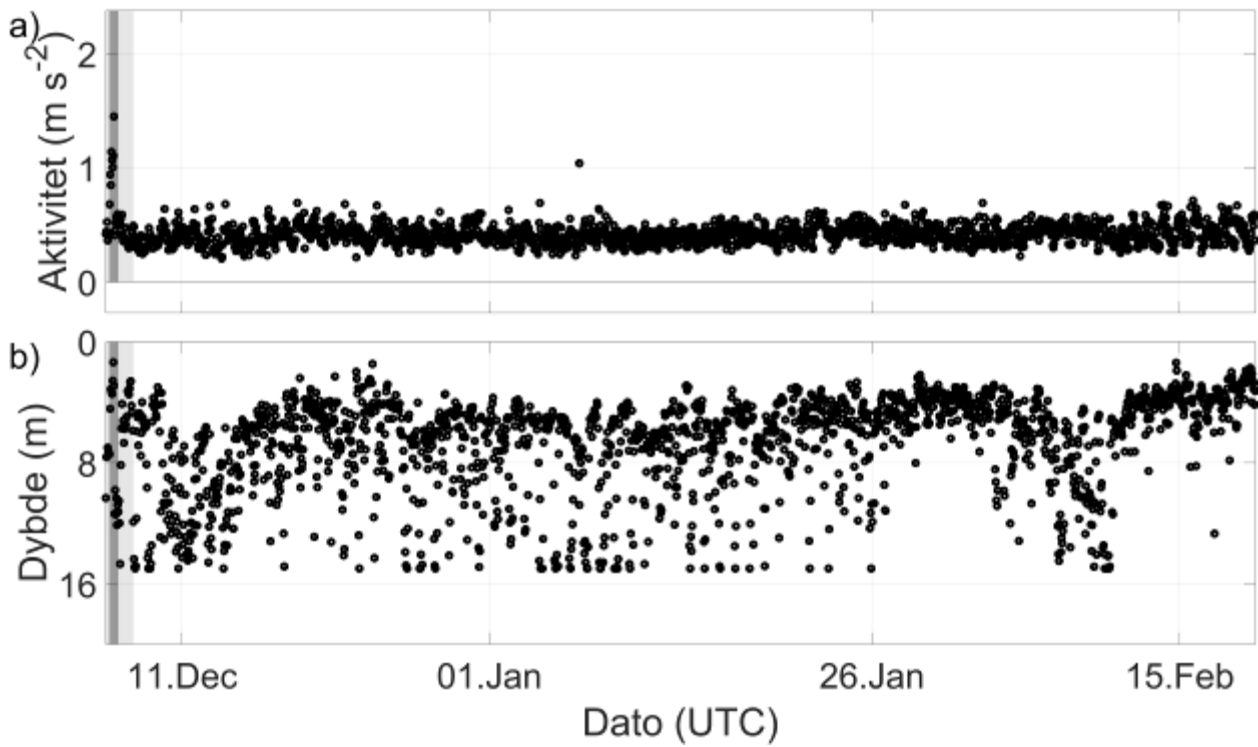
Figur 154: individfisk 213



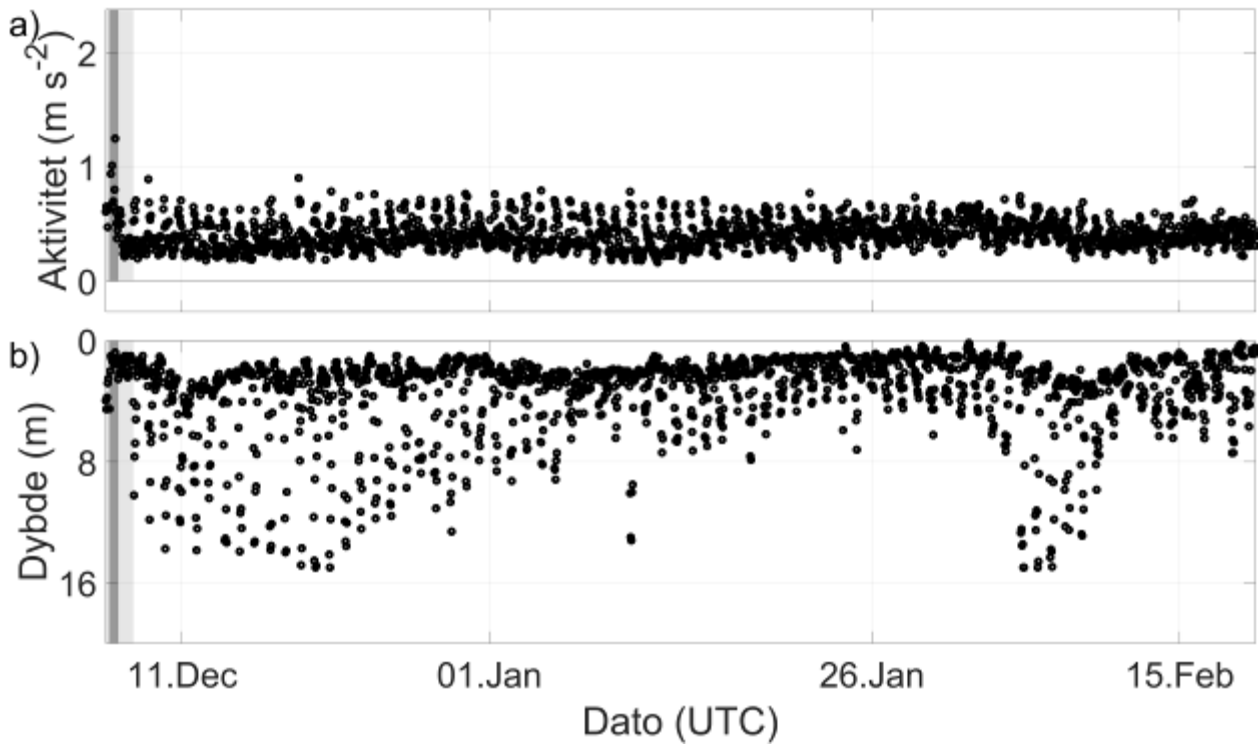
Figur 155: individfisk 216



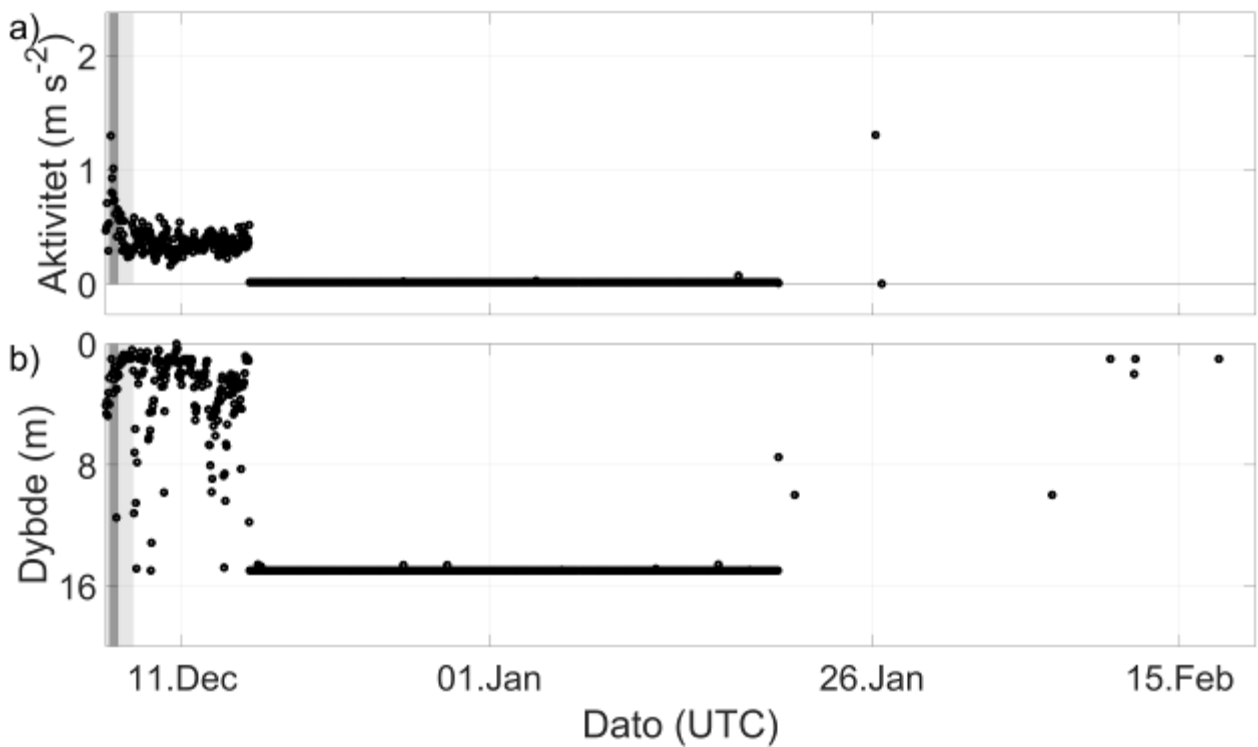
Figur 156: individfisk 222



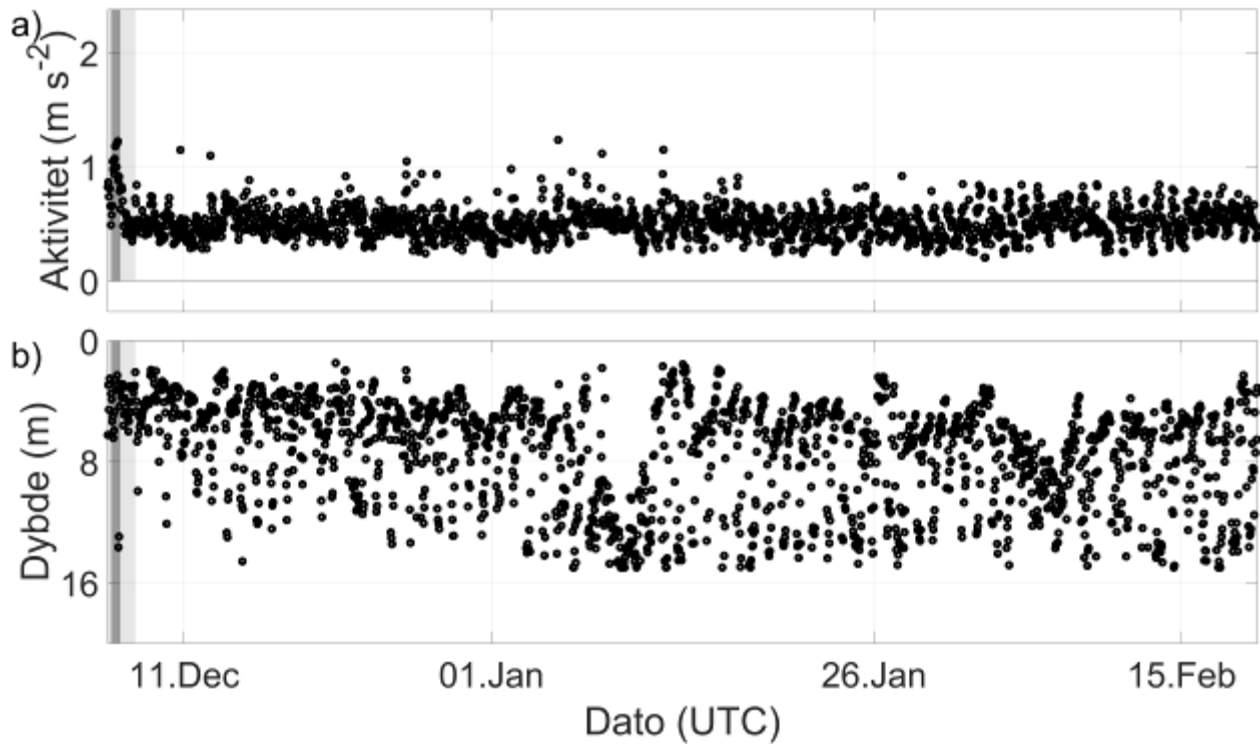
Figur 157: individfisk 225



Figur 158: individfisk 234



Figur 159: individfisk 240. Signalform (aktivitet = 0, dybde >15 m) antyder enten at fisken døde eller at merket ble utstøtt den 16. desember.



Figur 160: individfisk 243