

Copyright © 2019 by
Norges Tekniske Vitenskapsakademi
All Rights Reserved
John Grieg Forlag

1. utgave / 1. opplag 2019

ISBN: 978-82-533-0374-1

Grafisk produksjon: John Grieg, Bergen
Grafisk design: Fagbokforlaget
Omslagsdesign: Fagbokforlaget
Omslagsillustrasjon: ©Shutterstock/pzAxe
Skrift: Proxima nova / Garamond 3 LT Std
Papir: 100 gr. Arctic Silk+

Spørsmål om denne boken kan rettes til:
Norges Tekniske Vitenskapsakademi
Lerchendal Gård
Strindvegen 2
7034 Trondheim
e-post: post@ntva.no
www.ntva.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.
Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarfremstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

FORORD

Norges Tekniske Vitenskapsakademi ser det som en av sine hovedoppgaver å belyse hvordan teknologisk utvikling påvirker samfunnet. Teknologi har i hele menneskehetens historie vært en viktig drivkraft for utvikling som har tjent menneskeheten, og den har vært grunnlaget for utvikling av vår velstand og velferd. Vi er i en tid der den teknologiske utviklingen går raskere enn noensinne. Utviklingstrendene griper inn i hverandre og skaper en kompleksitet som gjør det svært krevende å danne seg et bilde av helheten.

Teknologi skaper muligheter, men også potensielle problemer. Det er en viktig oppgave å søke og forstå dette bildet, slik at man kan påvirke utviklingen i retninger som er til nytte for menneskeheten, og forhindre at ikke-ønskede virkninger blir resultatet.

NTVA ga i 2017 ut første bind i det vi planlegger skal bli en serie om temaet «Teknologien endrer samfunnet». Den omhandler en rekke muliggjørende teknologier enkeltvis.

Her foreligger bind II i serien, der vi har bedt mennesker med innsikt i noen utvalgte bransjer og samfunnsområder om å reflektere over hvordan de tror disse områdene samlet sett vil påvirkes av teknologienes endringskrefter. Det er ikke slik at det først og fremst er teknologer som besitter slik innsikt. Temaene krever innsikt fra samfunnsområdene og oftest fra personer med helt annen fagbakgrunn enn teknologi. Dette gjenspeiles i forfatterlisten.

Våre forfattere foregir ikke å ha en krystallkule som gjør at de kan lage en fremskriving i form av et presist varsel om hvordan utviklingen vil gå. Snarere deler de tanker med oss om hvilke muligheter teknologiene gir, og i hvilke retninger drivkreftene i teknologiene vil drive bransjene og samfunnsområdene.

Vi konstaterer at spørsmålet ikke er *om* endringene vil finne sted, men hvor raskt de kommer. Digitaliseringen av samfunnet handler om å bruke muliggjørende teknologier til å skape nye virksomheter og endre gamle.

Samtidig må vi ha et bevisst forhold til hva slags samfunn vi vil ha, og hvem som skal bestemme rammevilkårene. Vi står overfor politiske valg om hvem som skal eie infrastrukturene og styre tilgangen og bruken av data.

Jeg vil gjerne takke alle som har bidratt til at denne boken har blitt til. Først og fremst er det forfatterne som har delt sin innsikt og sine vurderinger med oss. En stor takk går også til redaksjonskomiteen, som har gjort utvalget av samfunnsområder, tatt ansvar for å finne innsiktsfulle forfatterne, jobbet sammen med dem i å utvikle temaene og sydd det hele sammen til den boken du nå har foran deg. Bidragsyterne har nedlagt en betydelig innsats.

NTVA håper at boken gir stoff til ettertanke og også til engasjement i å bidra til å belyse disse spørsmålene videre. Vårt akademi har til intensjon å fortsette arbeidet med å skape innsikt som gjør at vi får en opplyst diskusjon i samfunnet om hvilke muligheter og utfordringer den teknologiske utviklingen gir.

Trondheim, desember 2018

Torbjørn Digernes, president i NTVA

INNHOOLD

1.	DET NYE DIGITALE NORGE	15
	Muliggjørende teknologier	16
	En ny industriell revolusjon	17
	Fremtidens jobber	18
	Digital transformasjon	20
	Den digitale transformasjonen er et lederansvar	20
	Konklusjon	23
2	SMARTERE BYER – SMARTERE LIV	27
	Hvem vil ikke være «smart»?	28
	Smartbyens muligheter	29
	Den skjulte smartbyen	29
	Mot en felles forståelse av «smartbyer»?	30
	Smarterhet avhenger av kontekst	31
	Tre tilnærminger til smartby i EU	32
	Nøkler til et vellykket smartbyprosjekt	34
	Tilpasset teknologi – eller tilpassede mennesker?	34
	Smartby som bærekraftsstrategi	34
	Smartbyen oppsummert: muligheter og farer	35
3.	OPERASJONENE SOM FORSVANT	39
	Magesår	40
	Kikkhullskirurgi	41
	Roboter	42
	Digitaliseringen av helsevesenet	42
	Virtuell virkelighet inn på operasjonsstuen	43
	Genetikk	46
	Kunstig intelligens og stordata	47
	E-helse – helse på internett	48
	Sykehuset hjem til pasienten	48
	Medaljens bakside	48
4.	VELFERDSTEKNOLOGI I FOLKETS	51
	HELSETJENESTE	
	Samfunnsutfordringer og drivkrefter	52
	Velferdsteknologi og e-helse – hva er det, egentlig? ..	53
	Digital samhandling og beslutningstøtte for mer ..	54
	effektive arbeidsprosesser	
	Helsehjelp på nye måter	56
	Trygghetsskapende teknologi	56
	Mestringsteknologier med avstandsoppfølging	58
	Oppsummering og perspektiver for fremtiden	61

5.	DEN BILLIGSTE KILOWATTIMEN.....63	Ingen korrupsjon – ingen risiko95
	Elementer som del av energieffektivisering65	Smarte kontrakter96
	Energieffektiv prosessering66	Energisløsning97
	Utnyttelse av overskuddsvarme67	PSD2 og «Open Banking»97
	Energilagring i et integrert energisystem.....68	IOT og M2M99
	Industriklynger – integrasjon av energikilder68	
	og -sluk på tvers av sektorer	
	Alternative energibærere og karbonfangst70	
	Perspektiver for fremtiden.....71	
6.	KLIMANØYTRALE BYGG OG NABOLAG73	9.
	Hva er et nullutslippsbygg?75	UTEN SJÅFØR.....101
	Varmeisolasjon og tetting76	Elektrifisering og brenselcelleteknologi.....103
	Klimatisering77	Pris og attraktivitet104
	Fra nullutslippsbygg til nullutslippsområder.....78	Automatisering/selvkjørende biler.....105
	Den mest miljøvennlige energien er den man79	Jus og sikkerhet107
	ikke bruker	Digitalisering108
	Gode steder å være79	Handel109
7.	SMARTE HUS SOM SOLCELLEKRAFTVERK 83	Forretningsmodeller109
	Den globale utviklingen.....84	Den oppkoblede bilen110
	Utviklingen i Norge.....85	Begreper.....111
	Solceller i smarte hus.....87	Kilder111
	Konklusjon89	
8.	TRENGER VI BANKEN?91	10.
	Mobilt internett92	TOG SOM TENKER SELV113
	Konkurransesituasjonen endres.....93	Fra gammel til ny teknologi.....114
	Person til person (P2P).....94	Trafikklysene forsvinner.....115
	Bitcoin og blokkjede94	Trafikkstyring115
		Selvkjørende autonome tog.....116
		Automatisering116
		Batteri eller hydrogen?117
		Mobilitetsaktør117
		Kundetjenester.....118
		Jernbanens rolle blir utfordret118

11.**SJØTRANSPORT SLÅR TILBAKE.....121**

Sjøtransportens rolle i den globale økonomien	122
Hva betyr de globale megatrendene for fremtidens sjøtransport?	
Drivkraft 1: miljø- og klimapolitikk	123
Teknologiutviklingen.....	124
Teknologi for redusert utslipp	126
Operasjonelle tiltak for redusert energiforbruk	127
og utslipp	
Drivkraft 2: teknologirevolusjonen	128
– fra Industri 4.0 til Shipping 4.0	
Autonomi og robotikk	129
Internet of Services at Sea	129
Shipping 4.0s påvirkning på sjøtransporten.....	130
Autonomi.....	130
Internet of Services at Sea	132
Trender i forskningen.....	132
Hvor går vi nå?	133

12.**TEKNOLOGI SOM DET MULIGES KUNST...135**

Konkurranse og sikkerhet.....	136
Tradisjonelle fly – komposittmaterialer,	137
digitalisering, og drivstofføkonomi	
Den gjennomkoordinerte luftfarten	140
Fjernstyrte fly, selvkjørende fly, elektriske fly?	141
Trenger vi luftfart i det hele tatt?	143
Revolusjonen uteblir	144

13.**DIGITAL KONKURRANSEKRAFT147**

Hva er produksjonsvirksomhet?	148
Fra «verkstedet nede i gata» til en verdensledende nisjeindustri	
Den neste epoken	150
Norsk vare- og tjenesteproduksjon i 2019	151
«Is this time different?»	152
Data og digitale plattformer.....	154
Teknologier som endringsdrivere.....	154
Betydning for norske produksjonsvirksomheter	155
Arbeidsoppgaver og sysselsetting	157
Betydningen av å forstå det nye i kundebegrepet	157
Innovasjon.....	158
Paradigmeskifte, revolusjon eller evolusjon?	159
Digitalisering innen olje- og gassnæringen,	159
eksempel fra Aker BP	
Hvordan digitale tvillinger endrer industrier	160
– eksempel fra KONGSBERG	
Industribedriften bygger nye tjenester til	162
sluttkunden – eksempel fra Yara	

14.**UBERØRT AV MENNESKEHENDER165**

Bærekraftig utvikling.....	166
Matindustri 4.0.....	167
Smarte sensorer måler maten	168
Bioteknologiske prosesser.....	169
Roboter lager maten.....	170
Små fleksible produksjonslinjer	171
Våre digitale spor styrer produktutviklingen	172
Forsvinner matbutikkene?	173
Utfordringer og barrierer.....	174

15.		
Å LYTTE TIL PLANTENES BEHOV	177	
Teknologi i jordbruket	179	
Jordbruket i Norge i dag, ikke bare fordeler	180	
Sensorsystemer	181	
Sensorer for innsamling av data	182	
Kamerateknologi i jordbruket	183	
Presisjonslandbruk	185	
Automatiserte systemer i matproduksjon.....	185	
Oppsummering/perspektiver for fremtiden.....	187	
16.		
MATPRODUKSJON OG BÆREKRAFT	189	
Lakselus	191	
Fiskevelferd og skånsom håndtering	192	
Rømming.....	194	
Arbeidsmiljø, helse og sikkerhet.....	194	
Utviklingstrekk 1: digitalisering og mer kontroll ..	195	
i operasjoner		
Stordata og maskinsyn.....	196	
Autonomi og fjernstyring	196	
Utviklingstrekk 2: nye anleggskonsepser.....	197	
Mer eksponerte anlegg	198	
Hvor er vi på vei?	198	
17.		
BILLIGERE OG MER MILJØVENNLIG	201	
Dagens situasjon	202	
Bygningsinformasjonsmodeller og parametrisk	203	
design		
Virtuell og utvidet virkelighet.....	204	
Industrialisert bygging og 3D-printing.....	205	
Robotisering	205	
Internet of Things	206	
		Smarte bygg.....
		206
		Droneteknologi.....
		207
		Perspektivene videre.....
		208
18.		
FRA DIGITALE DRØMMER TIL	211	
DIGITALDOMINO?		
Kikke inn i krystallkulen	212	
Situasjonen i Norge.....	213	
Kort om netthandel i Norge i 2017.....	214	
Norske forbrukere og ny teknologi	214	
Norsk handelsnæring – et gullegg eller en	215	
samling Kodak-bedrifter?		
Et sprikende bilde	216	
Nye teknologier	216	
De digitale handelsplattformene utkonkurrerer	218	
tradisjonelle handelsnæringer		
Digitale transformasjoner – sporer ingen av dem av?.....	220	
Hvordan forberede seg på endringene?	220	
Hva norske handelsbedrifter kan gjøre.....	221	
Avslutning	222	
19.		
KAOS OG MULIGHETER	225	
Endringer i mediens teknologi.....	226	
Innovasjon i media	227	
Historisk utvikling for digital publisering	228	
av nyheter		
Kategori 1: Plattformer	229	
Kategori 2: Programvare	231	
Kategori 3: Gjenstander og datahøsting	234	
Kategori 4: Utvidet og virtuell virkelighet.....	236	
Journalistiske medier i fremtiden	238	
Papiravis i 2028?.....	239	

20.**GODE RÅD BLIR DIGITALE.....243**

Hvordan en rådgiver løser et oppdrag	244
Problemerkaffelse – å få et oppdrag	245
Informasjonsinnhentning og analyse.....	246
Diagnose (løsningsforslag).....	248
Tiltak – å faktisk gjennomføre ting	249
Kontroll – problem løst eller ny runde?.....	249
Problemrepresenterende teknologi – fra digitale	250
tegninger til digitale tvillinger	
Ressursmobiliserende teknologi – fra faste linjer	251
til modulbaserte grensesnitt	
En rådgivers langsiktige strategiske utfordring.....	252

21.**SAMSTYRING, GJENBRUK OG DELING.....255**

Digitalisering.....	256
Interoperabilitet	257
Samstyring	258
Muliggjørende teknologier i offentlig sektor	260
Hvor er vi i 2030?.....	262
Samarbeid, gjenbruk og deling.....	263
Avslutning	264

22.**DIGITALE LÆRINGSARENAER269**

Hva trenger vi for å kunne lære?.....	271
Nysgjerrighet som drivkraft for læring.....	271
Skolen bryter med våre naturlige forutsetninger	272
for å lære	
Dataspill – arena for læring	273
Plattformer og stordata som grunnlag for	276
adaptiv læring	
Fra naturlig dumhet til kunstig intelligens	278

Virtuell og blandet virkelighet skaper nye	280
opplevelser og nye betingelser for læring	
Sosial samhandling og læring	281
Universiteter og voksnes læring.....	282
Hva trenger vi å lære?	284
Konklusjon: teknologi, organisasjon eller politikk?	285



Ocean Farm 1 nedsenket. Foto: Salmar.

16.

Teknologi for fremtidens havbruk

MATPRODUKSJON OG BÆREKRAFT

Hans Bjelland

Oppdrett av laks og ørret anvender de samme prinsippene i dag som i næringens spede begynnelse. Det har likevel vært en betydelig utvikling. Drevet av utfordringer og nye teknologiske muligheter ser vi omrisset av en næring med avanserte overvåkingsløsninger og helt nye anleggskonsept.

FOTO: GRY KARIN STIMO

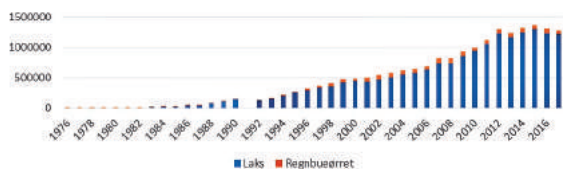


Hans Bjelland er forskningsleder ved SINTEF Ocean. Han og hans kolleger driver forskning og utvikling innen havbruksteknologi gjennom hele produksjonskjeden. Bjelland leder også SFI EXPOSED Aquaculture Operations, et forskningssenter med mål om å utvikle løsninger for robust, sikkert og effektivt

fiskeoppdrett på værharde lokaliteter. I den senere tiden har Bjelland vært involvert i utvikling, testing og verifisering av flere av de nye anleggskonseptene for utviklingstillatelser for et robust.

Havbruk og akvakultur innebærer kulturbetinget produksjon av fisk og andre akvatiske organismer¹. Globalt har dette blitt praktisert i tusenvis av år, i mange ulike former, i sjø, brakkevann og ferskvann. På begynnelsen av 1970-årene ble de første flytende oppdrettsmerdene tatt i bruk, noe som la grunnlaget for dagens norske havbruksnæring, dominert av produksjon av laks og ørret i sjø. Fisken holdes først i landbaserte anlegg fra klekking til de er smolt på om lag 100 gram. Deretter settes de ut i merder i sjøen hvor de føres og vokser til omtrent 4–5 kg, for så å bringes tilbake til land for å slaktes.

Næringen er i dag en av Norges største eksportnæring, med 1 000 000 tonn eksportert fisk til en verdi av 61,4 milliarder kroner i 2017. Produksjonen foregår på rundt 1000 anlegg langs Norskekysten, fra Agder i sør til Finnmark i nord. Tar man med ringvirkningene i tilknyttet næringsliv utgjør dette en sysselsetting på 58 000 årsverk.



Figur 16.1 Salg av slaktet matfisk. Kilde: SSB.

¹ <https://snl.no/havbruk>

Havbruk omfatter i dag følgende teknologi:

- Merder som består av et nett, som holder fisken innhegnet, og med en flyter og forankringssystem som sørger for å holde anlegget flytende, stabilt og utspent.
- Fôrflåter med en rekke viktige funksjoner som siloer for fôr, utføringssystem, generatorer, kontrollrom, boligkvarter, lagringsplass for utstyr og ensilasjesystem.
- Arbeidsbåter for daglig arbeid på anlegget.
- Servicebåter for de tyngre operasjonene, som utsett av anlegg og forankringsoperasjoner.
- Brønnbåter som frakter levende fisk mellom land og anlegg, og fra anlegg til anlegg, og som brukes til å behandle fisken på anlegg.
- Fôrbåter som frakter fôr til anleggene.
- Undervannsfarkoster (ROV) som fjernstyres for å inspisere anlegg og er tatt i bruk som erstatning for dykkere.
- Øvrige produksjonssystem som overvåkingsløsninger, håndtering av dødfisk, undervannsbelysning og skjul for rensefisk.

Selv om det finnes flere leverandører av utstyr og mange tilbydere av tjenester, er dagens produksjon relativt ensartet i hele landet. En aktør fra ett selskap og en region vil i stor grad kjenne seg igjen ved et annet anlegg i en annen region og med deres lokale prosedyrer. Det forventes at dette vil kunne endre seg fremover, med et større mangfold av anleggskonsept og teknologi generelt.

Som andre næringer har også havbruksnæringen et ønske om vekst. Avhengig av hvem du spør vil vekstambisjonene variere fra en svært forsiktig økning av



Figur 16.2 Anlegget Rataran I og II. Foto: SINTEF.

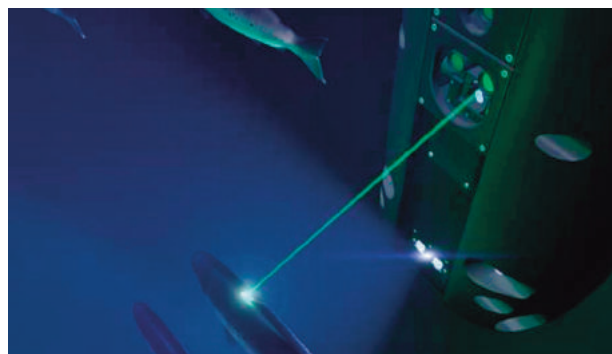
dagens produksjon til opp mot en femdobling innen 2050. Men en økning vil uansett kreve løsninger på grunnleggende utfordringer knyttet til miljømessig bærekraft, lønnsomhet, offentlig omdømme og aksept for vekst. Teknologi spiller en viktig rolle i å løse disse utfordringene. Nedenfor vil dette eksemplifiseres for sentrale problemstillinger som lakselus, fiskevelferd, rømming, arbeidsmiljø, helse og sikkerhet.

Lakselus

Lakselus er en parasitt som bruker både oppdrettsfisk og vill laksefisk som vert, og spiser hud, slim og blod på fisken. Parasitten finnes naturlig i sjøen, men med tilgang til mange verter med store lokale tettheter, som er situasjonen i dagens laksefiske, øker også mengden. For store mengder lakselus er en trussel mot vill laksefisk, spesielt vill laksesmolt når den vandrer ut om våren. Myndighetene har derfor satt krav om at norske oppdrettsanlegg må holde seg under en halv voksen hunnlus i gjennomsnitt per fisk.

En rekke metoder brukes og utvikles for å holde kontroll over lus i oppdrett. Generelt ønsker en å bryte livs-syklusen og reproduksjonen til parasitten. Ulike metoder for å drepe eller fjerne lus fra fisk i anlegget er sentrale tiltak i dette arbeidet. Legemidler har vært den vanligste måten å gjøre dette på, enten som tilsetning til fôr eller som badebehandling. På grunn av resistens og nedsatt effekt av legemidlene benyttes også andre metoder, som å la rensefisk spise lus av oppdrettsfisken og, i de senere årene, ulike former for mekanisk avlusning. Eksempler på dette er børsting, spyling eller korte vannbad med varmtvann eller ferskvann. En annen løsning som har fått mye oppmerksomhet er Stingray, som bruker laser til å skyte lus av laksen. Ved hjelp av stereokamerasyn og målrettet laser fjernes lus automatisk fra fisken. Lus blir truffet av en laserpuls på opptil 150 millisekunder og koagulerer og dør innen millisekunder.

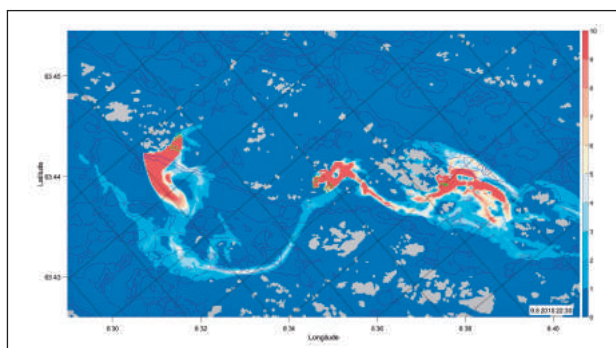
Et annet prinsipp for å bekjempe lus er å holde dem unna laksen. Flere slike metoder utnytter at lus først



Figur 16.3 Stingray og laserskyting av lakselus. Foto: Stingray Marine Solutions AS.

og fremst befinner seg i de øverste meterne i vannet gjennom å enten skjerme eller lede vannet med lus rundt merden ved bruk av «skjørter», eller å få laksen til å svømme dypere frivillig ved hjelp av belysning eller føring under vann, eller tvunget ved hjelp av for eksempel et nottak som spennes over merden, eksempelvis på 10 m dyp. Laksen er avhengig av tilgang på luft for å etterfylle svømmeblæren, men kan klare seg uten dette i flere dager. Ulike løsninger som gir tilgang til atmosfære enten gjennom å heve taket eller anlegget i perioder, ved å tilby en «snorkel» som lar fisken svømme opp til overflaten gjennom et rør, eller ved å konstruere en kunstig atmosfære i et hulrom under vann er under utvikling.

En annen måte å begrense spredning sav lakselus på er å beregne forventet strøm og spredning langs kysten og å bruke dette til å tilpasse plassering av og produksjon i anlegg, og å koordinere behandlinger mellom anlegg.



Figur 16.4 Simulert utbredelse av lus (*nauplii* og *copepodite*) mellom merdene og anleggene på en norsk lokalitet. Illustrasjon: SINMOD/SINTEF.

I tillegg til disse løsningene er lus også en viktig driver for andre teknologiske utviklingstrekk, slik som forkortet produksjonstid i sjø, bruk av lukkede anlegg på land og i sjø, og anlegg som kan plasseres lenger fra kysten. Dessverre virker behandlingen av lus også negativt inn på andre utfordringer, slik som fiskevelferd og rømming.

Fiskevelferd og skånsom håndtering

God fiskevelferd er grunnleggende for fiskeoppdrett og en forutsetning for alt fra god fiskehelse, god kvalitet, god lønnsomhet til etisk forsvarlig produksjon. Velferd får derfor også mye oppmerksomhet hos næring, myndigheter og forbrukere, og styrer i dag fokus og krav i og til næringa. I ytterste konsekvens kan dårlig velferd føre til at fisken dør. I Norge har andelen fisk som dør i løpet av sjøfasen de siste årene variert fra 15 til 20 prosent. Årsakene til denne dødeligheten er sammensatt og omfatter blant annet utsett av smolt som er dårlig forberedt på forholdene på sjø, sykdom og infeksjoner, samt krevende håndtering ved blant annet avlusing. Den siste av disse faktorene har fått økt oppmerksomhet i forbindelse med utprøvingen av ny avlusingsteknologi. Å unngå dødelighet fullstendig er ikke mulig i noen form for husdyrhold. Det er imidlertid bred enighet om at bedre fiskevelferd og redusert dødelighet i laksenæringen er ønskelig.

Igjen spiller teknologi en viktig rolle for hvilket miljø vi tilbyr fisken og hvilken håndtering vi utsetter den for. Ulike lokaliteter kan ha store forskjeller i vannstrøm, og strømforholdene kan også variere kraftig over tid på enkeltlokaliteter, på samme måte som vindforhold

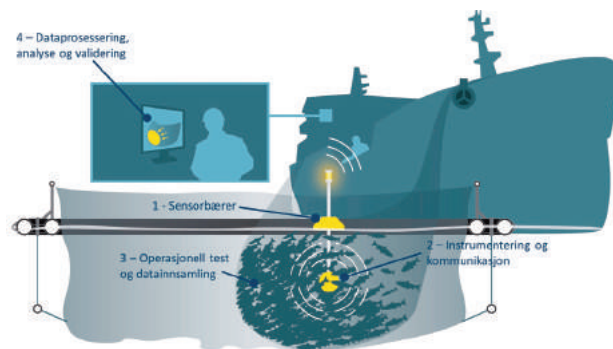
på land. Tilgjengelig oksygen i vannet avhenger blant annet av varierende forhold i kystområdet, fiskens forbruk og vannutskiftingen i anlegget. Fiskens evne til å takle sterk strøm er også avhengig av dens størrelse, temperatur og oksygen i vannet. Oppdrettslokalitetens og merdenes utforming påvirker ikke bare vannmiljøet fisken utsettes for, men også tilgjengelig volum i merden og fiskens mulighet til å velge ønsket dyp.

Mange av utfordringene skyldes stress og hardhendt mekanisk håndtering av fisken. Dette gjelder spesielt ved trengoperasjoner der en reduserer det tilgjengelige volumet i merden for å øke fisketettheten før uthenting av fisk, og ved øvrig håndtering, som for eksempel pumping og når fisken går gjennom ulike behandlingseenheter for mekanisk avlusing. Det er forventet at ny teknologi vil bidra til mer skånsom håndtering i fremtiden gjennom å regulere og automatisere håndteringsprosesser basert på online overvåking av fiskens tilstand. Det har for eksempel blitt utviklet en «sensorfisk» som er en sensorpakke designet for å måle de mekaniske belastninger en laks utsettes for ved pumping og avlusing i nye behandlingseenheter.

Trengoperasjoner er i dag nødvendige for å effektivt hente ut fisk av en merd, og blir typisk utført ved at en først hever bunnen på merden nesten helt til overflaten, og så bruker en kastenot som fanger og treng sammen deler av laksegruppen i merden ytterligere (orkast). Et orkast favner opptil 200 av de 1000 tonnene med fisk som kan være i en merd. Trenging er antatt å stresse fisken betydelig, og kan medføre fysiske skader. Hvor raskt man trenger sammen fisken er en avveining mellom ønsket om å utsette fisken for slik håndtering i en så kort

periode som mulig, og toleransegrensene til fisken ovenfor akutt stress. Det utvikles i dag teknologiske løsninger for å kunne måle fiskens tilstand i trengøyeblikket, noe som er et nødvendig grunnlag for å utvikle metoder for automatisert og mer skånsom trenging.

Flere har drømt om løsninger som i mindre grad er avhengig av både trenging og krevende håndtering av fisken. Selv om behovet til enkeltfisk kan variere stort, håndteres det i dag hele grupper på opptil 200 000 fisk om gangen. Et interessant anleggskonsept som tar tak i dette er iFarm som ønsker å utnytte laksens atferd til å lede enkeltfisk over til spesielle deler av anlegget for enten avlusing eller slaktning basert på observert tilstand.



Figur 16.5 Illustrasjon fra Crowdgaurd-prosjektet som utvikler løsninger for bedre å tilpasse trenging av fisk. Prosjektet er et samarbeid mellom Nærøysund Aquaservice, SINTEF Ocean, SHM Maritime, SHM Enabling Technologies, Aanderaa Data Instruments, SinkabergHansen, Kongsberg Maritime, Botngaard AS, Fugro Norway og NTNU. Illustrasjon: SINTEF.

Rømming

Rømt oppdrettslaks som svømmer opp i elvene kan påvirke ville laksestammer. Man er bekymret for genetisk påvirkning og overførsel av sykdommer og parasitter. Det er bred enighet om å redusere forekomsten av rømt laks til et minimum. Innføring av teknisk standard for flytende oppdrettsanlegg og tilhørende forskrift ga en betydelig reduksjon av rømt laks fra norske anlegg rundt 2007. Myndighetenes nullvisjon er imidlertid ikke nådd, og en ytterligere reduksjon krever en bred tilnærming basert på kunnskap om årsakene til rømming.

Den klart største direkte årsaken til rømming er hull i not. Årsakene til at hull oppstår er sammensatt og omfatter slitasje fra andre anleggskomponenter, operasjoner som innebærer fartøy ved merd og håndtering av not og lodd, og bruk av tilleggsutstyr. Tradisjonelt har spesielt uvær og avlusingsoperasjoner vært forbundet med risiko for rømming.

I tillegg til systematisk sikkerhetsarbeid, med gode prosedyrer og rutiner for design, drift og vedlikehold av anlegg, er det flere mulige teknologiske tilnærminger for å få ned rømmingstallene. Et mulig tiltak er nøter som tåler mer slitasje, tøffere håndtering og som kan brukes på eksponerte lokaliteter. Disse må samtidig fungere godt i drift og operasjon av anlegg, særlig i forbindelse med avlusing. Nye notmaterialer som er fleksible som dagens nylonnot har fordelene av å kunne benyttes uten store tilpasninger til dagens anlegg og prosedyrer. Men det er også interesse for å ta i bruk stivere nøter, slik som kobbernot. Ulike løsninger for dobbeltsikring har også vært foreslått.

Tidlig varsling om svekkelser i konstruksjoner eller hull i nota er også viktig for å raskt sette inn bøtende tiltak. I dag benyttes enten dykkere eller ROV til inspeksjon etter håndtering av anlegget. I fremtiden kan man se for seg mer automatiserte løsninger for både inspeksjonsfarer og sensorer integrert i selve konstruksjonen.

Arbeidsmiljø, helse og sikkerhet

Å jobbe i den sjøbaserte delen av havbruksnæringen innebærer en høyere risiko for ulykker enn i de fleste andre yrker. En spørreundersøkelse rettet mot ansatte ute på anlegg og fartøy, viste at akutte ulykker og belastningsplager er hovedårsaker til selvrapportert arbeidsrelatert fravær². Årsakene til skader er sammensatt og omfatter blant annet et værhardt fysisk miljø, krevende operasjoner (bruk av kran), mangelfull opplæring, mangelfull bemanning, manglende sikkerhetsstyring og ikke tilfredsstillende teknologi. Røkttere kan oppleve at hensyn til produksjonen, slik som krav om avlusing, krav om daglig inspeksjon av anlegg og rømmingshindring, går foran hensynet til personsikkerhet. Det krevende fysiske miljøet henger sammen med lokalitetene som egner seg for fiskeoppdrett. Disse lokalitetene kan være utsatt for sterk vind, bølger og vannstrøm. Om vinteren kan det i tillegg bli utfordringer med mørke, kulde og is på gangbaner og annet utstyr.

Å bedre arbeidsmiljø, helse og sikkerhet i oppdrettsnæringen krever en bred tilnærming, hvor både regule-

² HMS-undersøkelsen i havbruk 2016 (Thorvaldsen, T., Holmen, I.M., Kongsvik, T. (2017). *HMS-undersøkelsen i havbruk 2016*. Rapport. Trondheim: SINTEF Ocean).

ring og organisatoriske forhold spiller inn. Videre spiller teknologi en viktig rolle. For det første er det viktig at utstyr, fartøy og anlegg utformes på en måte som reduserer sannsynligheten for både akutte skader og belastningsskader. For det andre er det behov for å utvikle løsninger som reduserer behovet for menneskelig nærvær under krevende forhold. Dette omfatter bedre overvåkingsystemer og mer automatiserte operasjoner.

UTVIKLINGSTREKK 1: DIGITALISERING OG MER KONTROLL I OPERASJONER

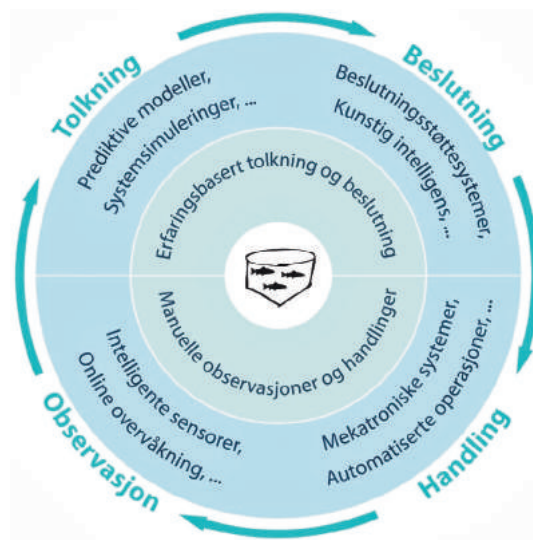
Et viktig forventet teknologisk utviklingstrekk i havbruksnæringen er løsninger som øker røkterens kontroll over fisken og anlegget, og presisjon i operasjonsgjennomføring. Fra å kun bruke direkte observasjon, erfaringsbaserte vurderinger og manuell kraft til å utføre oppgaver på anlegget, har oppdretteren i dag mange ulike teknologiske hjelpemidler.

Sentralt er digitalisering, hvor datatekniske metoder anvendes for å effektivisere manuelle eller fysiske oppgaver. Selv om datamengden og -kvaliteten i dagens oppdrettsnæring er begrenset, med blant annet få sensorer, lav grad av logging og manglende standardisering, er potensialet for å utnytte og kombinere data allerede stort. Det kan være nyttig å se ulike teknologier som samlet skal hjelpe oppdretteren opp mot de fire fasene i gjennomføringen av havbruksoperasjoner:

- Observasjon – sensorteknologi som muliggjør måling av tilstanden til fisken, miljøet og teknologien.
- Tolkning – algoritmer og modeller som setter observasjonene inn i en større sammenheng.
- Beslutning – system som enten på egen hånd eller ved

å gjøre innsikt tilgjengelig for beslutningstaker bidrar til å fatte beslutninger.

- Handling – teknologi som muliggjør mer eller mindre automatiserte tiltak i anlegget.



Figur 16.6 Teknologi kan hjelpe oppdretteren i de fire fasene i gjennomføringen av havbruksoperasjoner: Observasjon, tolkning, beslutning og handling. Illustrasjon fra Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen J.A., Dempster, T.D., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M., Biosystems Engineering (2017), <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014> Schellewald, C., Skøien, K. R., Alver, M., Berckmans, D. (2017). «Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture». Biosystems Engineering (2017), <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>

Økt bruk av ny teknologi kan bidra til mer objektiv og automatisert datainnsamling, kunnskapsbasert tolking av disse, objektiv og automatisert beslutningstaking og automatisert utføring av handlinger. Alt dette vil bidra til økt kontroll og presisjon i gjennomføringen av operasjoner på havbruksanlegg.

Uten at data benyttes, er motivasjonen for å utvikle og investere i datainnsamling liten. Bedre forståelse av hva som skjer i oppdrettsmerden har begrenset nytteverdi om man ikke har mulighet for å fatte relevante beslutninger basert på disse og sette inn nødvendige tiltak. Disse fasene er gjensidig avhengige av hverandre. Med dagens store innovasjonstakt, med nye sensorsystemer og analytiske metoder under utvikling, vil dette trolig skyte fart fremover.

Stordata og maskinsyn

Stordata, eller *Big Data*, er datasett som er så store og/eller komplekse at de er vanskelige å analysere med vanlige dataprosesseringsverktøy. Selv om begrepet også blir benyttet innen havbruk, er det så langt lite som tyder på at dagens datamengder og -hastigheter tilfredsstillende de vanligste definisjonene av begrepet. Likevel er det prinsipper ved denne tilnærmingen som kan være verdifulle også i oppdrettsnæringen. Det er for eksempel behov for å utforske hvordan ulike datakilder med ulikt opphav og eierskap kan utveksles og anvendes til å se og lære av makrotrender i næringen. Alt fra effekten av ulike avlusings-metoder og -prosedyrer, tidlig varsel av sykdommer, optimalisert føring til planlegging av fartøysoperasjoner er potensielle anvendelser av dagens og fremtidens tilgjengelige data.

Maskinsyn, eller *bildegjenkjenning* og *videoanalyse*, innebærer at et system kan tolke og forstå verden rundt seg ved hjelp av bilder og video. Etter hvert som kamerateknologi, prosessorkraft og nye algoritmer utvikles, blir teknologien benyttet innen et stadig økende antall anvendelsesområder. I lakseoppdrett brukes slike metoder i dag til å blant annet identifisere lus på laks. Fremover vil trolig maskinsyn brukes til eksempelvis å anslå størrelse og vektfordeling av fisken i en merd, gjenkjenne enkeltfisk basert på dens unike prikkemønster, observere fiskens helsetilstand, og å måle atferd og stress. Metoder utvikles også for å bruke maskinsyn til å inspisere not og andre deler av konstruksjonen for å kunne automatisk identifisere skader og hull.

Autonomi og fjernstyring

Oppdrettsmiljøet er et krevende miljø som kan utfordre både oppdretterens sikkerhet og dennes mulighet til å utføre oppgavene sine. For å være i stand til å opprettholde drift og gjennomføre operasjoner under alle forhold er det derfor behov for å utvikle teknologi som mer på egenhånd, eller autonomt, kan både inspisere anlegget og fisken, og utføre operasjoner. Best av alt vil det være om denne teknologien kan operere under vann, under den krevende skvalpesonen der en møter blant annet store krefter fra bølger.

En teknologi som næringen allerede har tatt i bruk er fjernstyrte undervannsfarkoster, kalt *Remotely operated vehicles* eller ROV, som i dag benyttes til inspeksjon og vask av nøter og andre deler av konstruksjonen. Disse vil trolig i fremtiden utvikles til å kunne utføre flere oppgaver og bli mindre avhengig av direkte styring fra

en operatør. Kanskje vil en også ha mindre enheter som svømmer rundt i merden på egen hånd sammen med fisken og fortløpende sender informasjon om både fisk, vannmiljø og konstruksjon?

I dag finnes det systemer for automatisk opphenting av dødfisk og merdsystemer med integrerte vinsjer som automatisk hever og senker bunnringen. Med nye anleggskonsepter ser vi allerede fremveksten av flere løsninger som mer automatisert utfører ulike operasjoner, slik som vask av nøter, og trenging og behandling av fisk. Også for fartøy og samhandlingen mellom fartøy og oppdrettsanlegg vil vi trolig se en utvikling mot systemer som mer autonomt styrer operasjoner. Det er blant annet forventet at flere løsninger for hivkompenisering av kraner og gangbaner, kommer til å utvikles og tas i bruk i næringen, slik at relative bevegelser mellom fartøy og anlegg på grunn av bølger dempes ut.

Flere av teknologiene som utvikles, sammen med muligheten for gode nettverksforbindelser til anleggene, muliggjør også at flere beslutninger og operasjoner i fremtiden kan gjøres på avstand, noe som ytterligere kan bidra til at behovet for menneskelig nærvær på anlegget reduseres. Flere oppdrettere har allerede begynt å etablere sentrale fôringsentraler der en samler fagmiljø og fjernstyrer fôringen på flere anlegg. Slike løsninger krever imidlertid gode løsninger og prosedyrer for kommunikasjon med de som fremdeles jobber på anlegget og at de som fôrer får tilstrekkelig innsikt i prosessene på anlegget. Dette innebærer at disse ikke bare blir presentert med mye rådata, men også at slike data blir gjort tilgjengelig og satt i et system og visualisert på en måte som har betydning for de beslutningene røkterne tar.

UTVIKLINGSTREKK 2: NYE ANLEGGSKONSEPTER

Lakseoppdrett foregår i dag i all hovedsak i åpne, fleksible merdkonstruksjoner. I Norge er det fremfor alt merder med nylonbaserte nøter festet til sirkulære flyteelementer, bestående av plastrør, som benyttes. Disse kan ha ulike dimensjoner, men omkretser på 120 og 157 meter er vanlig. Merdene har gjennomgått en rekke utviklingssteg siden de første å dagens lys tidlig i 1970-årene. På grunn av fleksibiliteten og måten de beveger seg med miljøet på, har de vist seg å være robuste, selv under svært krevende miljøforhold. I tillegg er de, relativt til verdien av opp mot 200 000 fisk hver enkelt merd kan holde, kostnadseffektive. På grunn av næringens ønske om vekst og de utfordringene den står ovenfor er det fornyet interesse for alternative anleggskonsepter som kan supplere dagens merdteknologi og bedre utnytte kysten vår. Vi ser to hovedretninger tre frem: konsepter som er lukkede, myntet på de mer skjermede delene av kysten, og konsepter som muliggjør oppdrett på lokaliteter som er mer utsatt for strøm og bølger.

Flere ulike lukkede havbruksanlegg i sjø er allerede utviklet og tatt i bruk. De omfatter gjerne inntak av vann fra dypet, med ulik grad av filtrering og vannbehandling, pumper som sørger for en vannsirkulasjon i konstruksjonen, og ulik behandling av utslippsvannet og oppsamling av sedimenter. Dette gir mulighet for regulering av vannkvaliteten, reduserer faren for lus og reduserer lokale utfordringer med utslipp av lus, næringssalt og sedimentering. Dette er alle utfordringer som er spesielt fremtredende i mer skjermede lokaliteter i fjordsystemer.

Lukkede merder i sjø er vesentlig forskjellig fra tradisjonelle notbaserte merdløsninger fra et hydrodynamisk og konstruksjonsmessig perspektiv. Det finnes i dag flere ulike løsninger som er fleksibel som forskjellige konstruksjonsmessige konsepter, inkludert form og materialbruk. Noen benytter en presenning som er fleksible som en pose, andre benytter ulike komposittløsninger, med en viss elastisitet i konstruksjonen, mens andre igjen er støpt i betong og er langt stivere. Mens vannet strømmer gjennom et tradisjonelt anlegg, vil et slikt lukket volum, uavhengig av materialbruk, ha en langt større masse samtidig som vannet presses rundt denne. Dette innebærer store forskjeller i miljølaster fra bølger og strøm og deres virkning på konstruksjonen. I tillegg vil det på samme måte som en kaffekopp kan skvalpe over om du beveger den i riktig takt, være enkelte bølgeperioder som kan gi store bølgeutslag inne i merden på grunn av resonans. Dette kan være en utfordring for fisken i anlegget, sikkerheten til personell og for selve merdkonstruksjonen. I ytterste konsekvens kan dette føre til skade på konstruksjonen grunnet overlast eller utmatting, om dette ikke er tatt hensyn til ved design av anlegget.

Mer eksponerte anlegg

Fiskeoppdrettere i Norge har gradvis tatt i bruk områder som er lengre fra land, med mindre skjerming for vær og sjø. Slike eksponerte oppdrettslokaliteter kan ha gode biologiske produksjonsvilkår, samtidig som viktige miljøpåvirkninger reduseres. Oppdretterne rapporterer imidlertid om betydelige vanskeligheter med å opprettholde en pålitelig produksjon, spesielt med tanke på operasjo-

ner, konstruksjoner og teknisk utstyr, grunnet kraftige og skiftende vind-, bølge- og strømforhold.

Potensialet for vekst gjennom tilgang til nytt kystareal er derfor stort om man klarer å løse de teknologiske utfordringene og muliggjøre produksjon på enda mer eksponerte lokaliteter. Oppdrett på eksponerte lokaliteter krever imidlertid nye tekniske løsninger kombinert med driftskonsepter for å bevare sikkerheten og sikre pålitelighet. Med sin solide kompetanse innen utvinning av olje og gass til havs og maritim næring stiller Norge sterkt for å utvikle slike løsninger.

Flere av de nye konseptene for eksponerte lokaliteter baserer seg på større og stivere konstruksjoner. Slike anlegg har i tillegg enklere mulighet for å integrere automatiserte løsninger, som beskrevet ovenfor. Andre konsepter tar utgangspunkt i å senke ned anlegget under de kraftigste bølgebevegelsene i overflaten. Laksen har, som beskrevet ovenfor, behov for å fylle svømmeblæren sin med jevne mellomrom, men kan holdes borte fra overflaten i flere dager i strekk.

HVOR ER VI PÅ VEI?

Oppdrett i sjø drives i vår felles allmenning og må forvaltes deretter. Vi må ivareta miljøet i havet og ta hensyn til andre interesser i kystsonen. De naturgitte forutsetningene som blant annet Golfstrømmen gir oss, har vært et viktig utgangspunkt for dagens laksenæring. Når nå næringen ser etter nye teknologiske løsninger for å løse utfordringer og søke vekst blir det viktig å vurdere hvordan disse best kan utnyttes som en helhet for optimal bruk av kysten. Dagens merdteknologi vil nok fremdeles være viktig, også fremover, men denne

vil videreutvikles og støttes av ulike teknologier som de som er beskrevet her. I tillegg vil denne merdteknologien suppleres av andre anleggskonsepser, slik at vi vil se en diversifisering, med ulike konsepser tilpasset ulike deler av kysten og produksjonsfasen.

Også dagens produksjonssyklus, som tar utgangspunkt i at en smolt vokser fra om lag 100 gram til slakteklar laks på 4–5 kilo i samme anlegg, vil trolig utfordres. Det er allerede stor interesse for å produsere større fisk på land eller i lukkede systemer i sjø, før de settes ut i åpne merder. Denne utviklingen vil trolig fortsette, med eksperimentering med ulike teknologier og produksjonskjeder. Kanskje vil vi for eksempel se utsett av spesielt robust fisk tilpasset forholdene den møter på eksponerte lokaliteter? Styrken ved digitalisering vil også for en slik mer diversifisert næring være viktig, både for å følge hver enkelt fisk gjennom hele produksjonssyklusen, men også for å sammenligne og utvikle de enkelte teknologiene videre.

Med miljøforhold som så avgjørende, vil også havbruksnæringen og dens teknologibruk påvirkes av langsiktige klimaendringer. Varmere vann i sør vil for eksempel gjøre produksjon i lukkede merder mer relevant, med mulighet for å kontrollere vanntemperaturen. Mer ekstremvær vil sette større krav til konstruksjonene og de tekniske løsningene.

Nye teknologier og anleggskonsepser endrer kostnadsstrukturen i oppdrettsnæringen. Større og mer komplekse anlegg vil kreve større investeringskostnader enn dagens merdteknologi. Det kan likevel vise seg å kunne forsvares økonomisk, om for eksempel driftskostnadene samtidig kan reduseres, om man kan oppnå en høyere

pris i markedet eller om det muliggjør en lønnsom vekst ut over det dagens teknologi tillater. Om teknologi for å produsere laks frem til slakt i lukkede anlegg på land og/eller på sjø utvikles til å kunne konkurrere på produksjonskostnad, vil det være aktuelt å legge slike anlegg i utlandet, tettere på markedet.

Skal vi produsere mer mat fra havet må vi stadig utvikle metoder for å dyrke det på en bærekraftig måte. Oppdrett av laks og ørret har vært bærebjelken i norsk havbruksnæring. Fisken er ettertraktet i markedet verden over og bevarer kvaliteten godt ved frysing og transport. Globalt utgjør den imidlertid en liten andel av dagens oppdrett, og det vil være mange andre arter som kan ha et vel så stort potensial for vekst fremover. Ikke bare oppdrett av fisk, men også dyrking av skalldyr, tang og tare kan oppskaleres og utvikles til en industri. Teknologien og erfaringene med organisering av havbruksnæringen i Norge vil kunne være viktige bidrag for å realisere dette globale potensialet. Dette er en mulighet for både norske oppdrettere, teknologileverandører og kunnskapsmiljø.