

Sluttrapport

Modellforsøk med dukbasert avlusing.

Beskrivelse av gjennomføringen og resultater fra modellforsøk i Hirtshals, juni 2014 for FHF

Forfattere

Zsolt Volent, Jens Birkevold og Annette Stahl Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sund



SINTEF Fiskeri og havbruk AS

Postadresse:
Postboks 4762 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 40005350
Telefaks: 93270701fish@sintef.no
www.sintef.no/fisk
Foretaksregister:
NO 980 478 270 MVA

Sluttrapport

Modellforsøk med dukbasert avlusing.

Beskrivelse av gjennomføringen og resultater fra modellforsøk i Hirtshals, juni 2014 for FHF

EMNEORD:
modellforsøk,
helduk,
avlusing,
krefter,
settemetoderVERSJON
1.2DATO
2015-02-15

FORFATTER(E)

Zsolt Volent, Jens Birkevold og Annette Stahl, Andreas Myskja Lien, Leif Magne Sunde

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

OPPDRAGSGIVERS REF.

Kjell Maroni

PROSJEKTNR: FHF/SINTEF
901011/6021289ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
21

SAMMENDRAG

Målet for prosjektet var å kartlegge og demonstrere i modellskala hvordan de forskjellige dukfasonger oppførte seg ved utsett ved forskjellige strømhastigheter, og om det var mulig å fylle dukene 100 % ved bruk av forskjellige utsettsmetoder, eller duk-konstruksjoner, uavhengig av strømhastigheten. Fire forskjellige duktyper, flat-, kjegle- ("Kinahatt"), avkortet kjegle- ("muffin") og kuleskalkduk ble undersøkt.

Resultatene fra forsøkene i Hirtshals juni 2014 viste at kreftene på merden med de nevnte avlusingsdukene montert, var mindre enn for en merd med nota og bunnringen i normal posisjon uten duk.

Volumet i duken ble målt ved å pumpe ut vannet gjennom en vannmåler, og ved hjelp av billedanalyse. Selv om resultatene viste at det var stor forskjell mellom pumpet vannvolum og det matematisk beregnede volum, så var metoden likevel lovende.

Den mest robuste duken med hensyn på setting i modellskala var muffinduken. Duken ga minst variasjon i fyllingsgrad i forhold til strøm og var lettest å montere.

Prosjektet ble finansiert av FHF.

UTARBEIDET AV
Zsolt Volent

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Andreas Myskja Lien

SIGNATUR

GODKJENT AV
Arne Fredheim

SIGNATUR

RAPPORTNR
SINTEF A26728ISBN
978-82-14-05870-3GRADERING
ÅpenGRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.1	2015-02-12	Beskrivelse av forsøk i Hirtshals - Sluttrapport
1.2	2015-02-13	Beskrivelse av forsøk i Hirtshals med kvalitetssikring
1.3	2015-02-15	Klargjøring for sending til FHF

Innholdsfortegnelse

1	Summary	5
2	Innledning	5
2.1	Bakgrunn.....	5
2.2	Prosjektets omfang.....	5
2.3	Prosjektorganisering.....	6
3	Formål	6
3.1	Effekt mål.....	6
3.2	Resultat mål.....	7
4	Prosjektgjennomføring	7
4.1	Material og metode.....	7
4.2	Forsøksmatrise.....	9
4.3	Settemetoder og nedlodding.....	9
4.4	Instrumentering.....	10
4.4.1	Krefter.....	12
4.4.2	Billedbehandling.....	12
4.4.3	Volumberegninger.....	12
5	Resultater og diskusjoner	14
5.1	Krefter på merd med duk.....	14
5.2	Matematiske beregninger av volum.....	15
5.3	Utsettstrategier.....	15
5.4	Utsetthastighet.....	15
5.5	Reduksjon og fyllingsgrad.....	16
5.6	Strøm.....	16
5.7	Slipping av duken.....	17
6	Leveranser	18
7	Kvalitetssikring	19
8	Anerkjennelse	20
9	Referanser	20

1 Summary

The aim of this project was to identify and demonstrate in model scale how different tarpaulin shapes behaved during deployment and installation at different flow rates, and whether it was possible to fill the tarpaulin 100% using different deployment methods, or tarpaulin constructions, regardless of flow rate. Four different shapes were investigated; flat-, conical-, truncated cone- and spherical section tarpaulin.

Results from experiments in Hirtshals showed that the forces on a cage with a delousing tarpaulin installed, was less than the measured forces conducted on a full-scale cage without net and sinker tube in normal position.

The volume of the tarpaulin was measured by pumping the water out, through a hydrometer, and also by using image analysis and mathematical calculations. By comparing the results, there was a significant difference between pumped water volume and the mathematically calculated volume, even though the mathematical method is still promising.

The most robust fabric with regard to deployment and installation in model scale was the truncated cone. The tarpaulin gave the least variation in filling level in relation to current speed, and was the easiest tarpaulin to deploy and install.

The project was financed by The Norwegian Seafood Research Fund – FHF.

2 Innledning

Krav om badebehandling mot lakselus i lukket behandlingsenhet ble innført 1. januar 2011. Erfaringene med avlusing i lukket duk viser at det er en rekke utfordringer med denne behandlingsmetoden, der det å kunne bestemme volumet er en av de største. Det er avgjørende å ha god kontroll på volumet for å kunne beregne innblanding av midler, slik at en oppnår ønsket behandlingkonsentrasjon. En for høy konsentrasjon kan skade fisken, og for lav konsentrasjon kan føre til at lusa overlever, og utvikler resistens mot middelet. Med standard merdstørrelse på 157 m i omkrets, og mange tusen m³ vann som skal avgrenses, så er volumkontroll en betydelig operasjonell utfordring.

2.1 Bakgrunn

SINTEF Fiskeri og havbruk har avsluttet vår 2014 prosjektet "Dukbasert avlusingskonsept" sammen med Botngaard AS. Dette prosjektet startet i 2010, med fokus på badebehandling med helduk. Hovedpunktene i prosjektet var: Utsettsmetode, volum i duken, krefter på merdforankring på grunn av duk og strømhastighet, tålegrenser for strømhastighet, oksygen- og lusemiddeltilsetning, samt materialstyrke i duken.

Eksperimentene i prosjektet ble gjennomført med en flat duk. Basert på modell- og fullskala viste det seg at volum i duken kunne variere med så mye som ~20 % med samme duk ved forskjellige strømhastigheter. Fullskala eksperimenter viste også, at dersom man kan fylle duken 100 %, er det mulig å bestemme volumet matematisk. Det eksisterer i dag flere duktyper, som blant annet formsydd Kinahatt- og muffinduk og med reduksjonsbånd som muliggjør reduksjon av volumet etter at duken er satt. Volumvariasjoner og oppførsel ved setting med disse duktypene er tidligere ikke undersøkt i modellskala.

For å utvikle kunnskap om hvordan en ved design av duk og utsettstrategier kan etterstrebe et mer forutsigbart volum, ble det i juni 2014 gjennomført et industrirettet FoU-arbeid, ledet av SINTEF Fiskeri og havbruk og finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond. Hovedaktiviteten i dette arbeidet var modellforsøk i SINTEF Fiskeri og havbruks flumetank i Hirtshals, Danmark.

2.2 Prosjektets omfang

Rammen for prosjektet var å gjennomføre modellforsøk med modellduker for avlusing i SINTEF Fiskeri og havbruk sin flumetank i Hirtshals i 7 dager. Dukene som skulle undersøkes med hensyn til forskjellige

strømhastigheter og settemetoder var modeller av de mest brukte konstruksjonene; flat-, kjegle- (Kinahatt-) og avkortet kjegleduk (muffinduk). I tillegg så skulle man teste en formsydd kuleskalkduk. I løpet av forsøkene ble det gjennomført 2 dagers åpen demonstrasjon der alle dukene ble demonstrert for deltakerne.

2.3 Prosjektorganisering

I prosjektets begynnelse ble det oppnevnt et styre bestående av representanter fra oppdrettsnæringen, ved Roy Strøm (Aqua Pharma), Marius Olsen (Bjørøya Fiskeoppdrett), Harriet Romstad (Aqua Kompetanse), Frank Øren (Marine Harvest), Carl-Erik Arnesen (Firda Seafood), Kjell Maroni (FHF) og Zsolt Volent (SINTEF Fiskeri og havbruk).

Deler av styret for prosjektet deltok både ved design av forsøksoppsettet, valg av dukfasonger og den praktiske gjennomføringen av forsøkene i Hirtshals. Dette for å sikre at de mest relevante metoder og prinsipper med basis i praksis, ble satt i hovedfokus. Den 16. og 17. juni ble det gjennomført åpne demonstrasjonsforsøk for oppdrettere, leverandører og andre interessenter, for visuelt å tilgjengeliggjøre kunnskapen som var opparbeidet i forsøkene i forkant. Næringen fikk komme med innspill som ble tatt til følge (figur 1). Næringen ble invitert gjennom annonser i Norsk Fiskeoppdrett, på FHF og SINTEF sine nettsider, samt via E-post lister.



Figur 1. Demonstrasjon av forskjellig dukdesign ved ulike strømhastigheter, der utsettstrategier studeres og diskuteres av forskere og deltagere fra oppdrettsnæringen.

Prosjektleder i SINTEF Fiskeri og havbruk var seniorforsker Zsolt Volent. Medarbeider fra SINTEF Fiskeri og havbruk var forskerne Jens Birkevold, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien (kvalitetssikrer) og forskningsleder Leif Magne Sunde. I tillegg så har seniorforsker Pål Lader bidratt med skrivearbeider med hensyn til artikkelen som skal publiseres i journalen "Aquacultural Engineering".

Deltakere i Hirtshalstanken under forsøkene var:

- SINTEF Fiskeri og havbruk; Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien, Leif Magen Sunde.
- Styremedlemmene; Roy Strøm, Marius Olsen, Harriet Romstad
- Invitert deltaker; Knut Botngård (Botngaard AS).

3 Formål

3.1 Effektmål

Det å kunne vite hvordan en avlusingsduk oppfører seg under gitte miljøforhold er essensielt for å kunne si noe om volumet i duken. Å bestemme volumet i en avlusingsduk er viktig med hensyn til hvor mye parasitt

middel man skal tilsette, slik at parasitten ikke utvikler resistens, eller fisken skades. Dette er av stor betydning for næringen.

3.2 Resultatmål

Målet for prosjektet var å kartlegge og demonstrere i modellskala hvordan forskjellige dukfasonger oppførte seg ved utsett ved forskjellige strømhastigheter, og om det var mulig å fylle dukene 100 % ved bruk av forskjellige utsettsmetoder, eller duk-konstruksjoner, uavhengig av strømhastigheten.

Delmål:

1. Utarbeide forsøksprotokoll og bemannings- og arbeidsliste for forsøkene i Hirtshals.
2. Gjennomføre forsøk, der krefter på forankring og volum i duken etter utsett er målt, og video er tatt opp i 3 – 5 posisjoner for bruk i beregninger av volum med matematiske modeller.
3. Utarbeide en kort rapport eller PowerPoint presentasjon om gjennomføringen av forsøkene.
4. Beregne forskjell i forankringskrefter for de forskjellige duktypene.
5. Beregne volum med to forskjellige matematiske modeller ut fra videobilder og med regneark (utviklet av Harriet Romstad - Aqua Kompetanse AS), der dette er mulig, og sammenligne resultatene med reelt volum pumpet ut av dukene for de forskjellige duktypene.
6. Forfatte en artikkel til populærvitenskapelig artikkel om resultatene fra forsøkene.
7. Publisere artikkel i et internasjonalt tidsskrift med referee (Aquacultural Engineering).

4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet ble gjennomført i tidsperioden 14.5.2014 til 15.2.2015. Forberedelser til modellforsøk i Hirtshals ble gjennomført 14.5 – 6.6.2014. Under forberedelsene ble dukene syd og invitasjon til næringen annonsert.

Det ble gjennomført et styremøte i prosjektet den 20.5.2014. Deltakerne var Styret med unntak av Carl-Erik Arnesen (Firda Seafood) og deltakere i prosjektet fra SINTEF Fiskeri og havbruk (møtereferat, Vedlegg 1).

Det ble utarbeidet en protokoll for forsøkene i Hirtshals 20.5.2014, som beskrev duktyper, settemetoder, strømhastigheter, instrumentering etc. som skulle benyttes under forsøkene. Det ble planlagt 76 forsøk.

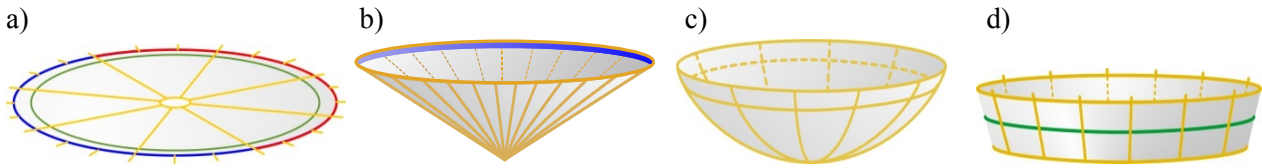
Modellforsøk i SINTEF Fiskeri og havbruk sin flumetank i Hirtshals, Danmark ble gjennomført i perioden 10.-18. juni 2014 (figur 2). Demonstrasjonsforsøkene ble gjennomført i samme periode (som nevnt ovenfor).



Figur 2. Utsetting av modellskala av merd og duker med ulike design i flumetanken i Hirtshals.

4.1 Material og metode

Avlusingsduker med fire ulike design ble testet: a) flat-, b) kjeGLE- ("Kinahatt"), c) avkortet kjeGLE- ("muffin") og d) kuleskalkduk (figur 3).



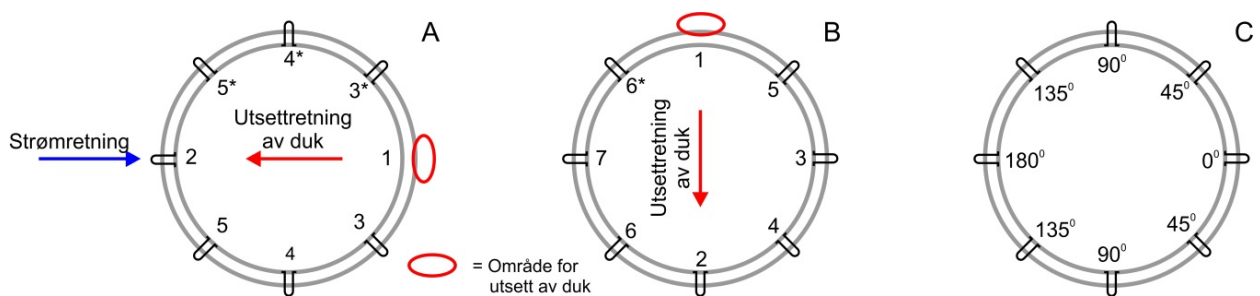
Figur 3: Ulike design for duker brukt til badebehandling, testet i SINTEF Fiskeri og havbruk sin Flumetank; a) flat-, b) kjele- ("Kinahatt"), c) avkortet kjele- ("muffin") og d) kuleskalkduk.

Forsøkene ble utført med modeller i skala 1:17. Modellene ble skalert etter Froudes modellov (tabell 1).

Tabell 1. Forholdet mellom modellskala og fullskala (skaleringsfaktor $s = \text{Fullskala/Modell}$).

Parameter	Symbol	Måleenhet	Skaleringsfaktor (s)	Med $s = 17$
Lengde	S	m	s	17
Areal	A	m^2	s^2	289
Volum	V	m^3	s^3	4913
Masse	m	kg	s^3	4913
Kraft	F	N	s^3	4913
Tid	t	s	\sqrt{s}	4,123
Hastighet	v	m/s	\sqrt{s}	4,123
Akselerasjon	a	m/s^2	s^0	1

De 4 forskjellige duktypene ble testet ved forskjellige utsettsbetingelser og metoder. Forsøkene ble gjennomført med forskjellig strømhastighet, forskjellige utsettstrategier av duken, der duken ble satt dypt, normalt og grunt. To utsettretninger ble benyttet; motstrøms og 90° på strømmen. Forskjellige "symetoder" ble også prøvd ut. Med "symetoder" menes her hvordan og i hvilken rekkefølge man drar i tauene, når man drar in duken, og hvordan man fester duken til merden med tauene. Vanligvis er det 8 eller 12 hovedtau i fullskala rundt periferien av en duk i og ved reduksjonsbåndet, i tillegg til en del tau imellom hovedtauene avhengig av fabrikkat. I disse forsøkene ble alle dukene forsynt med 7 tau i punktene 3, 3*, 4, 4*, 5, 5* og 2 i fronten av duken (figur 4, A). I punkt 1 (figur 4), ved utsettpunktet, ble det sydd en hempe istedenfor tau.



Figur 4. Utsettretning av dukene i forhold til strøm. Nummereringen på figuren refererer til rekkefølgen hovedtauene blir dratt i. Alle lik nummererte punkter med hovedtau dras samtidig (eksempelvis 3 og 3*). A): Strømretning motstrøms, der punkt 1 er utsettpunktet for duken. Hovedtau 2 kalles her for 180° der man starter å dra mot, 3 og 3* kalles for 45° , 4 og 4* kalles 90° , og 5 og 5* for 135° . B): Strømmen 90° på utsettretningen med utsett fra punkt 1, og der 3 er 0° , 4 og 5 er 45° , 6 og 6* er 135° og 7 er 180° . C): Viser vinklene i forhold til strømretning.

Dukene ble sydd av vanntett fallskjermduk med målene vist i tabell 2. Dukene ble sydd til en modellmerd med indre diameter 293,8 cm (tilsvarende diameter i fullskala var 50 m – 157 metring). Modelldukene ble konstruert og sydd av Zsolt Volent.

Tabell 2. Mål for de forskjellige duktypene i modellskala/fullskala. Dybde og volum for Kinahatt- og kuleskalkduken er teoretisk beregnet. Volumet og dybden for den flate duken satt innvendig og utvendig, samt Muffin duken satt utvendig, er beregnet med regneark utviklet av Harriet Romstad (Aqua Kompetanse AS). Flat duk med bunnring, med utvendig setting (markert med rødt) var ikke mulig å få til uten at bunnringen ble dratt delvis eller helt opp.

Metode	Duktype	Utsettsmetode	Modellskala			Fullskala		
			Diameter (cm)	Dyp (cm)	Volum (liter)	Diameter (m)	Dyp (m)	Volum (m ³)
Innvendig	Flat duk	Normal	359	85,3	3327	61	14,5	16346
		Redusert	318	51,8	1914	54	8,8	8965
	Kinahattduk	Normal	318	88,2	2336	54	15,0	11477
		Redusert	287	80	1719	49	13,6	8445
	Kuleskalkduk	Normal	324	76,5	3376	55	13,0	16586
		Redusert	287	58,5	2039	49	9,9	10018
Utvendig	Muffinduk med bunnring	Normal	324	80,0	3950	55	13,6	19406
		Redusert	289	59,4	2602	49	10,1	12955
	Flat duk med bunnring	Normal	359	59,4	3047	61	10,1	14970
		Redusert	318	23,5	915	54	4,0	4495

4.2 Forsøksmatrise

I forsøkene ble det gjennomført 122 kjøring¹ der forskjellige settemetoder og strømhastigheter ble benyttet, i tillegg til forsøk med ekstremstrøm etter at duken var blitt satt (tabell 3).

I det etterfølgende så er alle strømhastigheter omregnet til fullskala.

Tabell 3. Oversikt over forsøkene med antall kjøring fordelt på de forskjellige duktypene, i forhold til strøm omregnet til fullskalaverdier.

Duktype	Strøm (cm/s)									Sum
	0	8,2	20,6	41,2	53,6	61,8	70,1	74,2	82,5	
Flat	2	2	3	2	1	1		1	1	13
Flat med reduksjon	2	2	2							6
Kinahatt	6	6	8	4	2	2	1	1	1	31
Kinahatt med reduksjon	1	2	1							4
Kuleskalk	4	6	4	3						17
Kuleskalk med reduksjon	3	3	1							7
Muffin	5	8	4	7	2	1		1		28
Muffin med reduksjon	5	5	2	2		1			1	16
Totalt	28	34	25	18	5	5	1	3	3	122

4.3 Settemetoder og nedlodning

Forskjellige settemetoder ble benyttet med utgangspunktet i metodene beskrevet under:

- Under et normalt utsett ble det forsøkt flere metoder med å trekke i tauene likt ved 45° og så lukke duken mellom 0° og 45° før man begynte å dra i 90° tauene (figur 4, C). Etter at 90° tauene ble sikret, lukket man mellom 45° og 90°, osv. til duken var lukket helt. Kjøring med å lukke duken ved å dra både i 45° og 90° samtidig, eller i 90° først før man lukket duken på halve ringen, ble også gjennomført for noen av dukene. Forskjellige settehastigheter ble forsøkt fra ca. 5 min til 10 min (tilsvarende 20 min til 41 min i fullskala).

¹ Med kjøring menes det 1 måling, 1 setting av duken eller 1 operasjon: setting av duk er 1 kjøring, reduksjon av samme duken er neste kjøring.

2. Større og større servicefartøy blir brukt under avlusing. De største båtene må da legges med langsiden i strømretningen for at belastningen på forankringene ikke skal bli for stor. Dette medfører at noen må sette duken 90° på strømretningen. Under forsøkene i Hirtshals ble dette tatt hensyn til, og eksperimenter med å sette duken 90° på strømretningen ble også undersøkt, med hensyn til settemetode og fyllingsgrad (se figur 4 ovenfor).

Dukene ble satt ved forskjellige strømhastigheter fra 0 cm/s opp til 41,2 cm/s, samt at dukene etter setting ble utsatt for strømhastigheter fra 41,2 – 82,4 cm/s for å klarlegge når merden dras under på grunn av strømmen, dvs. når strømmen er så sterk at "flyvingeeffekten" til duken overviner flyteegenskapene til flytekragen. I tillegg ble det gjennomført en del slippforsøk, der duken ble utsatt for strøm ≥ 20 cm/s. Formålet var å finne en sikker metode for å slippe duken, uten at duken presses opp av strømmen mot nota, med reduksjon av volum som resultat.

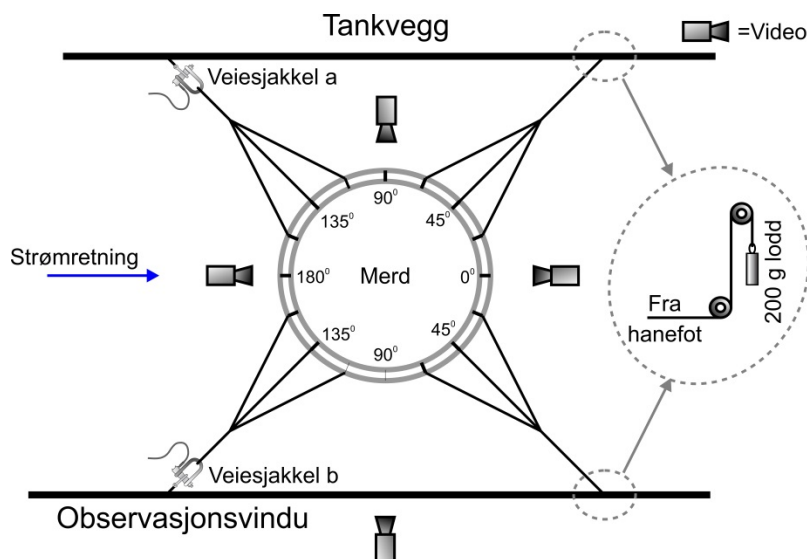
Det ble hengt forskjellige vekter på dukene under forsøkene avhengig av settemetode og posisjon for utsett og mest mulig skalalikk i forhold til fullskala. Det er vanligvis forskjellig praksis på vektens størrelse og plassering. Forskjellige vekter ble derfor utprøvd (Tabell 4).

Tabell 4. Vektkonfigurasjoner benyttet under forsøkene for de forskjellige duktypene. De beregnede verdiene av vektene i fullskala er vist i parentes.

Duktype		Posisjon	Metode 1 (figur 4, A)			Metode 2 (figur 4, B)		
			Posisjon 6	Posisjon 2	Posisjon 6*	Posisjon 2	Posisjon 7	Posisjon 3
Flat	g		138		138	78		
	kg		(678)		(678)	(383)		
Kinahatt	g	25 g	60	25	60	25	25	
	kg	(123 kg)	(295)	(123)	(295)	(123)	(123)	
Kuleskalk	g		218		60	25		
	kg		(107)		(295)	(123)		
Muffin	g		138		138	78		
	kg		(678)		(678)	(383)		

4.4 Instrumentering

Merden ble spent opp i en rammefortøyning med en veiesjakkell på hver av fortøyningslinene på oppstrømssiden, og forspent med 200 grams vekter på nedstrømssiden (figur 5).



Figur 5. Oppsett av merd med veiesjakkell oppstrøms og forspenning av merden nedstrøms, samt videokameraposisjoner.

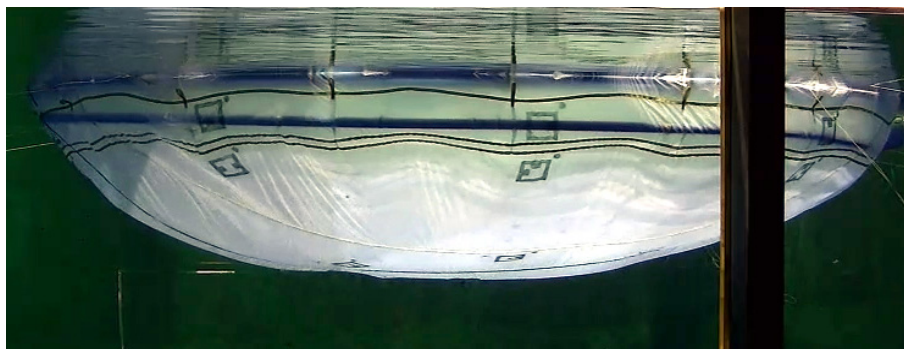
Veiesjakkene som ble benyttet var av typen FUTEK LSB210 med et måleområde på 50 kg med en usikkerhet på $\pm 1\%$ av totalt måleområde. Det analoge signalet fra veiesjakkene ble digitalisert og logget med en HBM Spider8. Dataene ble logget i 90 sek med en loggefrequens på 10 Hz.

"Fasitvaret" for volum i duken ble bestemt ved å pumpe vannet ut av duken gjennom en Sensus "MeiStream 80" vannmåler etter setting (figur 6).



Figur 6. Arrangement for å måle "fasitvolum". Pumpe på bildet til venstre og vannmåler på bildet til høyre.

Merdene ble filmet med video fra 4 forskjellige posisjoner (se figur 5). Rett forfra, fra begge sidene vinkelrett på strømretningen og bakfra. Kameraet ved observasjonsvindu var plassert utenfor glassvinduet i luft. For å kunne beregne volumet matematisk ved hjelp av billedbehandling, ble duken forsynt med lett gjenkjennelige merker (Figur 7). Disse merkene ble plassert i et homogent distribuert system for at man med en videobasert lokasjonsalgoritme kunne bestemme punktenes posisjon i 3D.



Figur 7. Muffinduken med merking. Merkingen er forskjellig fra punkt til punkt for at de skal være lett gjenkjennelige i forhold til posisjon. Merkesystemet bestod av 25 – 33 merker, avhengig av duktype.

Det har vært gjennomført fullskala målinger med trykceller i prosjektet "Dukbasert avlusingskonsept" gjennomført for Botngaard AS, der man plasserte trykksensorer på duken i et regulært kjent mønster. Informasjonen om plasseringen av trykcellene langs duken og dybden som ble målt, ble brukt til volumberegninger matematisk.

Målsettingen med billedbehandlingen har vært å gi posisjonen til merkene i dypet tilsvarende som i fullskala. Ved hjelp av dybden på merkene, og avstandene mellom merkene langs duken, skulle det være mulig å bestemme volumet i duken. I fullskala er det vanskelig å benytte billedbehandling for å måle dypet på markeringene på grunn av størrelsen på duken og siktbarheten i vannet.

4.4.1 Krefter

Kreftene ble målt ca. 2 min etter at duken ble satt. Disse dataene ble kontrollert og midlet. Lastsjaklene målte på haneføttene med 90° vinkel på hverandre og 45° på strømretningen. Resultantkraften ble ut i fra dette beregnet med Pytagoras for å finne kraftvektoren.

Dersom man målte flere serier med samme duk og samme strømhastighet, ble vektorene for hver kjøring midlet.

4.4.2 Billedbehandling

Punktene 3D posisjon ble beregnet ut i fra et enkeltperspektiv (singelbilde fra hvert kamera), der hvert bilde ga geometrisk informasjon om enkeltpunktene. Hjørnene i et kvadrat av bildepikselkoordinatene ble identifisert ved hjelp av "sub-piksel nøyaktighet" for å øke presisjonen av gjenoppbygging av kvadratet (Criminisi et al. 2000).

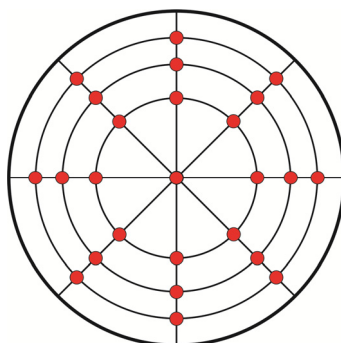
De iboende parameterne og projeksjonsmatrisen ble identifisert ved perspektivprojeksjon (brennvidde); transformasjonen mellom kameraets bildekoordinater, pikselkoordinater og den geometriske forvrengning introdusert av optikken (Hartley og Zisserman, 2004).

Relasjoner mellom et hjørnepunkt i mønsteret og det tilsvarende billedpunktet, hvor begge er angitt i kamerakoordinater, er gitt av perspektivprojeksjonen. Ved å kombinere denne rigide transformasjonsinformasjonen (rotasjon og konvertering) med perspektivparameterne, får vi et sett med ikke-lineære ligninger. For å bestemme 3D-posisjonen på presenningen i absolutte koordinater, ble en algoritme formulert som en anvendelse av Newtons iterativ metode for å løse systemet av lineære ligninger. Ved hver iterasjonsrotasjonsmatrise ble vektorene oppdatert. Ved å bruke den resulterende rotasjon og 3D-translasjonsposisjon i absolutte koordinater, kan man finne dybden til punktene, som igjen kan gå som parametere i den matematiske volumberegningssmodellen.

4.4.3 Volumberegninger

Samme teknikk som i prosjektet "Dukbasert avlusingskonsept" ble benyttet i dette forsøket, men med den forskjell at man benyttet dybdeposisjonen til merkene beregnet med billedbehandling beskrevet over, istedenfor trykkceller. Billedbehandling ble benyttet da trykkceller ikke er presise nok i små dyp, samt at vanntette trykkceller var for tunge og forstyrret fleksibiliteten i duken.

Hver duk ble merket med 25 distinkte merker (den flate duken hadde 33 merker). Disse merkene ble plassert på duken langs 8 linjer fra sentrum av duken på 4 forskjellige konsentriske sirkler (5 for den flate duken) og en i sentrum av duken (figur 8).

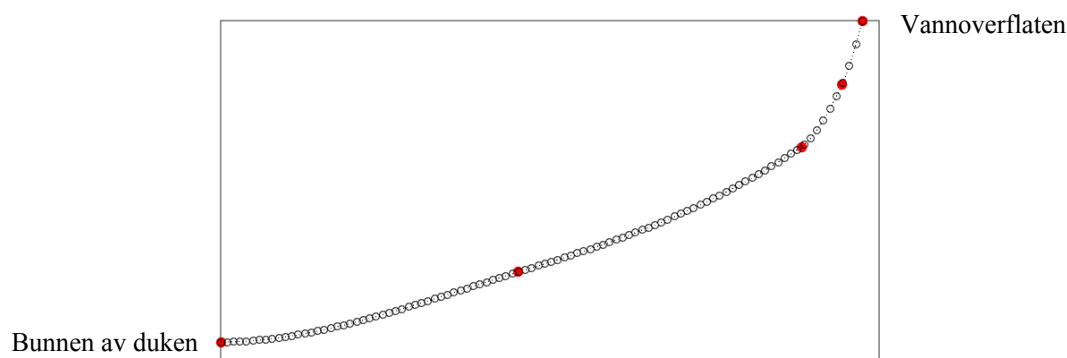


Figur 8. Posisjonene til merkene på duken som ble benyttet for billedanalysen.

Diameterne av sirklene varierte med duktypen, på grunn av dukstørrelsen. For Kinahatt-, kuleskalk- og muffinduken ble merkene plassert med lik avstand fra sentrum radielt til reduksjonsbåndet. For den flate duken ble plasseringen av punktene tettere der man antok at kurvaturen i duken var høyest. Disse

plasseringene for merkene på duken ble valgt skalalikt med fullskalaforsøkene som ble gjennomført i prosjektet "Dukbasert avlusingskonsept".

Volumet ble beregnet ved først å tegne en glattet kurve fra sentrum ut til kanten av duken interpolert gjennom de 3 punktene for Kinahatt-, kuleskalk og muffinduken (4 for den flate duken). I skjøtepunktet mellom hvert enkeltelement av den kubiske glattefunksjonen (spline), ble den deriverte satt til stigningen til den rette linjen gjennom nabopunktene. Dette ble gjort for å unngå de store svingningene som oppstod ved bruk av naturlig kubisk glatting (spline) som sørger for kontinuerlig andrederivert. Dette resulterer i at man ikke får en helt glatt kurve, men for dette formålet er det mye viktigere å unngå store svingninger. Ved bunnen ble den deriverte satt til null for å sikre en flat bunn, bortsett fra Kinahattduken som er spiss i bunnen (figur 9).



Figur 9. De røde merkene er posisjonene til punktene funnet med billedbehandling og merkene plassering på dukene. Disse punktene ble interpolert ved å bruke tvunget kubisk glattefunksjon for å finne flere punkter mellom merkene på duken, for bruk i videre beregninger.

Glattingen av kurven ble brukt til å introdusere punkter mellom de kjente merkene for å gi en glatt-kurve-approximasjon. For beregningene ble det beregnet 100 punkter langs en linje. Volumet innenfor duken ble delt inn i 8 deler mellom de 8 glattede kurvene. Volumet av hver seksjon mellom linjene, ble da beregnet som 1/8 av et omdreiningslegeme. Integrasjonen er gjennomført numerisk ved å bruke sylinderskall integrasjonsmetoden og ved å benytte de beregnede punktene fra glattingen av kurven. Volumet kan da uttrykkes ved:

$$V = \Delta r \Delta \theta \sum_{i=1}^N d_i r_i$$

Der:

- Δr = stepp lengden i radiell retning (fra sentrum til kanten)
- $\Delta \theta$ = vinkel stepp lengde (som her er delt inn i 8 deler og lik $\pi/4$)
- r_i = er posisjon radielt i punktet i
- d_i = dybden i posisjon r_i
- N = antall punkter fra sentrum til kanten av duken (her: $N = 100$)

Dette vil skape et relativt sett glatt volum, men vil gi noe diskontinuitet mellom kontaktflatene til de 8 delene, spesielt der det er stor forskjell mellom kurvaturen til dukens forskjellige sider.

Det er noe usikkerhet i disse beregningene spesielt når duken ikke er 100 % fylt, der det kan forekomme folder med dobbeltkrummede flater, som denne metoden ikke klarer å fange opp. Den deriverte av glattefunksjonen i de reelle målepunktene er også estimert, men måten de er beregnet på vil sikre en glatt kurve uten oscillasjon. Dersom duken er 100 % fylt så vil denne metoden være presis.

5 Resultater og diskusjoner

5.1 Krefter på merd med duk

Dataene for krefter fra hver av lastsjaklene montert på forankringene til merden, ble systematisert. Kreftene ble målt som vist i figur 5.

Resultantkraften fra veiesjakkell a og b (belastninger) ble beregnet med hjelp av Pytagoras.

Kvaliteten på datasettet var noe varierende for de lave strømhastighetene (0 - 20 cm/s i fullskala). Dette skyldes at tanken har problemer med å holde konstant strømhastighet ved lave strømhastigheter. I tillegg kommer usikkerheten i måldataene. Lastsjaklene har en usikkerhet på $\pm 1\%$ av totalt måleområde på 50 kg som tilsvarer en usikkerhet på 0,5 kg, tilsvarende en kraft på 4,9 N.

Kreftene på merden ved de høyere hastighetene var avhengig, i stor grad, av fyllingsgraden. Ved lav fyllingsgrad var kreftene høyere enn for 100 % fyllingsgrad. Dette skyldes en fallskjermeffekt i fronten av duken som fanger opp vannstrømmen (Lader et al. 2014).

Resultatene viste at det var liten forskjell mellom kreftene for de forskjellige duktypene. For eksempel ved en strøm på 20,6 cm/s var gjennomsnittlige krefter, omregnet til fullskala, på 11,2 kN (1,1 tonn) for muffinduken, 10,7 kN (1,1 tonn) for den flate duken, 11,1 kN (1,1 tonn) for Kinahattduken og 9,23 kN (0,9 tonn) for kuleskalk duken. Ved en strømhastighet på 61,8 cm/s var kreftene på 22,9 kN (2,3 tonn) for muffinduken, 27,8 kN (2,8 tonn) for den flate duken og 29,6 kN (3,02 tonn) for Kinahattduk. Det ble ikke kjørt ekstremstrøm med kuleskalkduken (Tabell 5).

Tabell 5. Resultantkreftene på merdkonstruksjonen. Kalkulerte fullskalaverdier er satt i parentes.

Strøm (cm/s)		Normal setting		Installert ved 10 cm/s, økte så hastigheten				
		20,6	41,2	53,6	61,8	70,1	74,2	82,5
Flat	N	2,2	2,5	3,6	6,2		11,5	
	kN	(11)	(12)	(18)	(30)		(56)	
Kinahatt	N	2,3	3,3	4,1	8,9	15,0	19,8	24,1
	kN	(12)	(16)	(20)	(44)	(74)	(97)	(118)
Kuleskalk	N	1,8	2,8					
	kN	(9)	(14)					
Muffin	N	2,3	3,0		7,1			9,0
	kN	(12)	(15)		(35)			(44)

Til sammenligning, i et fullskalaforsøk, ble maksimum krefter målte til 36,3 kN (3,7 tonn) og 10 minutters middel på 17,3 kN (1,76 tonn) med en strømhastighet på 24 cm/s. Målingene ble foretatt på en merd med fisk, bunnring, not med flat bunn og dybde på 20 m (Olsen og Volent, 2009).

For å komme i nærheten av maksimumskreftene med avlusingsdukene montert, måtte man opp i en strømhastighet på $\geq 61,8 \text{ cm s}^{-1}$, avhengig av duktype. Sammenligner man med 10 minutters middelet så må man over en strømhastighet på $> 41 \text{ cm/s}$. Selv i denne strømhastigheten var det ikke mulig å sette modelldukene. Dukene hadde dybder etter montering omregnet til fullskala på 12, 15, 17 og 13 m respektivt for flat-, Kinahatt-, kuleskalk- og muffinduk.

Det må her nevnes at kreftene på merdkonstruksjonen og duken er atskillig høyere ved setting av duken. Disse kreftene ble ikke målt i dette prosjektet.

5.2 Matematiske beregninger av volum

Som nevnt tidligere ble volumet i duken målt ved å pumpe ut vannet gjennom en vannmåler, i tillegg til matematisk beregning.

Volumberegningene for ulike settinger med og uten reduksjon viste seg å gi omtrent tilsvarende nøyaktighet i resultatene. Det ville vært naturlig å anta at beregningsmetoden fungerer like godt både med og uten reduksjon. Mye av grunnen til dette er nok at setting av duk med dårlig fyllingsgrad har et volum som er høyere enn den teoretiske fyllingsgraden etter reduksjon. Derfor var det nødvendig å slippe ut vann under reduksjon. Det var vanskelig, om ikke umulig, å bedømme når duken var 100 % full, slik at man sannsynligvis slapp ut for mye vann under reduksjonen slik at volumet ble < 100 %. Dette er en menneskelig faktor som er personavhengig og umulig å ta høyde for. For at denne metoden skal fungere er det nødvendig at duken er stram slik at man unngår folder og andre irregulariteter i overflaten man vil beregne volumet innenfor. Dette vil alltid være tilfelle for en redusert duk, mens det vil være relativt stor usikkerhet knyttet til dette for en duk uten reduksjon, spesielt ved svak strøm, da det er vanskelig å sette duken perfekt.

5.3 Utsettstrategier

De forskjellige dukene hadde ulik oppførsel både ved setting og fjerning. Generelt for alle dukene var at setting av duken motstrøms ga best fyllingsgrad. Best resultat fikk man også med å dra duken mest mulig samlet dypt under merden helt til loddet festet i duken kunne sees på motsatt side på ca. 8 – 10 m dyp (fullskala) (posisjon 2 på figur 4 A). De nærmeste hovedtauene (45°) fra utsettsiden dras først inn (posisjon 3 og 3*). Disse må sikres, og gapet mellom utsett (posisjon 1) og hovedtauet "sys" før neste hovedtau blir rørt (posisjon 4 og 4*). Prosedyren gjentas frem til man har sikret loddet på oppstrømsiden (posisjon 2 på figur 4, A). Eksempel på muffinduken under utsett er vist i figur 10.



Figur 10. Eksempel på muffinduken under utsett. Merkene på duken er målepunkter benyttet for billedbehandling og databehandling i etterkant for å beregne volumet i duken matematisk.

Andre settemetoder som ikke fungerte like bra var å dra i 90° -tauene først eller samtidig med 45° -tauene. Dette ga en effekt der duken kom opp i midten og forplantet seg som en bølge bakover. Resultatet var at fyllingsgraden ble dårligere.

5.4 Utsetthastighet

Utsetthastigheten ble skalert ned, slik at den var tilpasset skalamodell, noe som innebar at det tok ca. 7 - 8 minutter for å sette ut en duk (tilsvarer 30 – 35 minutter i fullskala). Tiden det tok å redusere duken kom i tillegg. Ved lave strømhastigheter, så det ut til å være viktig at en ikke trekker for raskt i tauene, ettersom dette gjør det vanskeligere å oppnå god fylling av duken under selve settingen. Ved for rask trekking av duken i vann, setter man i gang store vannbevegelser som slår tilbake (turbulens), og presser duken opp i mot overflaten. Duken så ut til å forplante seg som en bølge fremover motstrøms og komprimerte volumet i en bølge. "For å oppnå god fyllingsgrad kan en nesten ikke dra sakte nok".

5.5 Reduksjon og fyllingsgrad

Alle dukene hadde reduksjonsbelte for å kunne redusere volumet til et gitt volum som skulle gi 100 % fyllingsgrad. Med litt instrumentering i fullskala, slik som trykkceller og inklinometer, skal det være mulig å beregne volumet matematisk temmelig nøyaktig. Under disse forsøkene ga muffinduken tilsynelatende det beste resultatet ved lave strømhastigheter, og så ut til å være mer robust i forhold til utsett (figur 11). Robust i forhold til utsett menes at det ved feilhåndtering av duken, like vel ga et brukbart resultat i forhold til volum og oppførsel.



Figur 11. Muffinduk satt under normale forhold, og ytterligere optimalisert volummessig ved at reduksjonsbeltet ble løftet opp.

Den vanskeligste duken å sette i modellskala var Kinahattduken. Denne duken så ut til å gi det dårligste resultatet med hensyn til fyllingsgrad (figur 12).



Figur 12. Kinahatt satt ved 8,2 cm/s strøm før reduksjon. Selv etter reduksjonen ble ikke duken helt fylt.

5.6 Strøm

Lite strøm: Resultatene viser at det er svært vanskelig å få fylt dukene ved de laveste strømhastighetene.

Mye strøm: Alle dukene dro merden ned i bakkant under setting ved strømhastigheter på 41,2 cm/s. Det frarådes å sette ut duk ved strømhastigheter over 35 cm/s, ettersom det i slike tilfeller kan være en fare for rømming. Tidligere undersøkelser med flat duk gav tilsvarende resultat, der merden ble dratt under ved strømhastigheter på over 40 cm/s. Ved strømhastigheter over 41,2 cm/s, var det nesten umulig å sette dukene. Kraftene på tauene fra duken ble for store.

Etter at dukene ble satt ved strømhastigheter på ~ 35 - 41 cm/s, så ble strømmen gradvis økt for å se når duken dro merden under (figur 13). Alle dukene ble dratt under ved ca. 60 cm/s, bortsett fra muffinduken etter reduksjon, som ble dratt under først ved ca. 80 cm/s. Dette er ytterligere indikasjoner på at muffinduken er mer robust med hensyn til eventuelle avvik i settefasen.



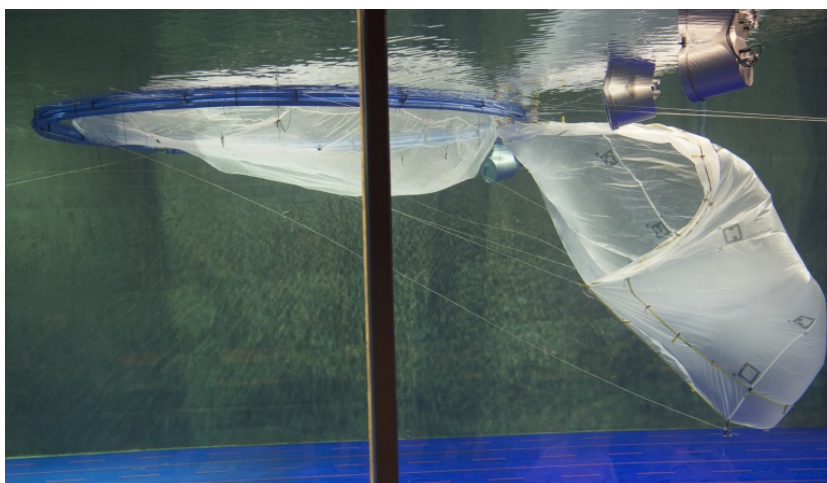
Figur 13. Kinahattduken går ned i bakkant (høyre i bildet). Bildet er tatt ved en strømhastighet på 61,8 cm/s

Strøm generelt: Fyllingsgraden for en avlusingsduk er avhengig av strømhastigheten og settemetode. Lite strøm kan gi dårlig fyllingsgrad, mens mye strøm kan medføre havari, eller at duken ikke er mulig å sette. Å måle strøm i sanntid under en avlusingsoperasjon er derfor essensielt for å kunne ha muligheter for å gjennomføre en vellykket avlusingsoperasjon. Dersom man har kjennskap til strømmen, så er det mulig å korrigere setteteknikken for å kunne oppnå optimal badebehandling.

Budskapet og konklusjon: Kjenn din strøm under avlusingsoperasjonen!

5.7 Slipping av duken

Slipping av duk ved sterk strøm (> 20 cm/s) er en kritisk fase, som kan medføre at duk kan presse notbunnen opp, og på denne måten trenge sammen fisken, noe som kan medføre økt stressnivå, og i verste fall skader og død (figur 14).



Figur 14. Slipping av duk er en kritisk fase, som en bør øke bevisstheten rundt, for å unngå eventuelle skader.

6 Leveranser

20.5.2014 – Gjennomføring av styremøte på SINTEF Fiskeri og havbruk

Agenda for styremøtet:

- Gjennomgang av foreslått forsøksplan
- Diskusjon rundt bordet om forsøksplanen
- Detaljer rundt settemetoder
- Bestemme endelig forsøksplan
- Hvordan organisere åpne dager i Hirtshals
- Hvem skal bli med og når
- Eventuelt

Referat av Zsolt Volent. (Vedlegg 1).

28.5.2014 – Protokoll for modellforsøk i Hirtshals

Beskrivelse:

Protokollen beskrev hvordan forsøkene var tenkt gjennomført med planer for kjøringene, instrumenteringsbeskrivelse, kameraplasseringer og skala forhold. Duktørrelsene i modellskala og fullskala ble beskrevet. Settemetoden tenkt benyttet for de forskjellige dukene ble beskrevet. Planen for gjennomføring av forsøkene ble gitt i to tabeller der den første summerer opp de forskjellige strømhastigheter dukene skulle settes under både uten og med reduksjon. Den andre tabellen beskrev de forskjellige kjøringene man hadde planlagt for spesielle utsett. Tilsammen var det planlagt 76 kjøring. Protokoll av Zsolt Volent (Vedlegg 2).

10. til 18.6.2014 – Gjennomføring av forsøkene i Hirtshals

Beskrivelse:

Det ble gjennomført 122 kjøring under forsøkene med forskjellige strømhastigheter, settemetoder og duktyper. Det ble 46 kjøring mer enn planlagt fordi kveldene i tillegg til helgen i forsøksperioden ut over normal arbeidstid, ble benyttet.

16. og 17.6.2014 – Demonstrasjonsforsøk

Gjennomført for næringen der alle dukene ble demonstrert både i normal strøm og ekstrem strøm. Det ble demonstrert tilsammen 27 kjøring (invitasjon i Vedlegg 3).

September 2014 – Publikasjon

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, Andras Myskja Lien og Leif Magne Sunde (2014), "Badebehandling med duk mot lakselus – jakten på 100 % fyllingsgrad med nye dukdesign", *Norsk Fiskeoppdrett*, nr. 8, side 44 – 47.

25.9.2014 – Publikasjon

Redaktør Christina Benjaminsen, (2014), "*Jakter på den optimale lusebehandling*", Gemini. <http://gemini.no/2014/09/jakter-pa-den-optimale-lusebehandling/>

23.10.2014 – SINTEF Rapport

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Anette Stahl og Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Modellforsøk med dukbasert avlusing - Beskrivelse av modellforsøkene gjennomført i Hirtshals med foreløpige resultater*", (Vedlegg 4).

12.11.2014 – Foredrag

CREATE Day – Rica Hell Hotell:

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Jakten på 100 % fyllingsgrad. Kontroll av vannvolum under badebehandling*", (Vedlegg 5).

25.11.2014 – Seminar

Fosenseminaret 2014 på Botngaard AS:

Jens Birkevold, Zsolt Volent, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Modellforsøk med ulike dukformer*", (Vedlegg 6).

2.12.2014 – Foredrag

TEKMAR – Clarion Hotel & Congress:

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Kjenn din strøm og reduser din risiko. Vannstrøm og avlusingsoppperasjon – på knivseggen mellom suksess og fiasko*", (Vedlegg 7).

29.1.2014 – Seminar

AKVA Group – Kurs i nettbasert online overvåking:

Zsolt Volent, "*Måling av strøm, oksygen og salinitet – hvorfor, hvordan og hva kan det bety for daglig drift i oppdrettsanlegget? Strøm under operasjoner og i daglig drift*" (Vedlegg 8).

3.2.2015

CERMAQ – Fagsamling

Zsolt Volent og Leif Magne Sunde, Case; Avlusing med helduk. Kritiske operasjoner der fartøy er involvert, (Vedlegg 9).

6.2.2015 - Nettsidepublikasjon

Karoline Ski, "*Jakter på den optimale lusebehandling*" - <http://www.sintef.no/forskningsaktuelt/sintef-fiskeri-og-havbruk-as/jakter-pa-den-optimale-lusebehandling/>

15.2.2015 – Denne sluttrapporten

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Modellforsøk med dukbasert avlusing. Beskrivelse av gjennomføringen og resultater fra modellforsøk i Hirtshals*".

15.2.2015 – Manuskript til tidsskrift med referee

Volent, Z., Birkevold, J., Lader, P., Stahl, A., og Lien, A. M. and Leif Magne Sunde, (2015), "*Experimental study of installation procedure for delousing tarpaulin*", *Aquacultural Engineering*, (in preparation), (Vedlegg 10).

15.2.2015 – Faktaark

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, og Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Modellforsøk med dukbasert avlusing - Krefter på merd*", (Vedlegg 11).

15.2.2015 – Faktaark

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, og Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Modellforsøk med dukbasert avlusing - Volum*", (Vedlegg 12).

Vår 2015 – Publikasjon

Zsolt Volent, Jens Birkevold, Annette Stahl, og Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, "*Badebehandling med duk mot lakselus – prosjekt resultater*", *Norsk Fiskeoppdrett*, (sendes inn i uke 9) (Vedlegg 13).

7 Kvalitetssikring

Kvalitetssikringen er gjennomført etter SINTEF sin kvalitetssikringssystem. Kvalitetssikrer i prosjektet er Andreas Myskja Lien.

8 Anerkjennelse

Vi vil rette en takk til Roy Strøm (Aqua Pharma AS), Marius Olsen (Bjørøya Fiskeoppdrett AS), Knut Botngård (Botngaard AS), Harriet Romstad (Aqua Kompetanse AS) og Frank Øren (Marine Harvest Norway AS), som bidrog både i planlegging og gjennomføring av forsøkene. Videre vil vi takke Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (prosjektnummer: 901011) for økonomisk støtte.

Det planlegges å utvikle et kurs for personell og team som gjennomfører avlusingsoperasjoner slik at en kan få tilgang til nyeste kunnskap i Hirtshals flumetank, samt få økt innsikt og etablere en felles forståelse rundt hva som skjer, og hvordan en skal sikre en mest mulig optimal avlusingsoperasjon med henblikk på volumkontroll.

9 Referanser

- Criminisi, A, Reid, I. and Zisserman, A., (2000). "Single View Metrology", *Int. J. Comput. Vision*, **40**, 2, 123148.
- Hartley, R.I. and Zisserman, A., (2004). "*Multiple View Geometry in Computer Vision*", Cambridge University Press.
- Kincaid, D., Cheney, W., (2002). "*Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing*", 3rd edition, American Mathematical Society, 2002.
- Lader, P., Fredriksson, W. F., Volent, Z., DeCew, J., Rosten, T., and Strand, I. M., (2014), "Drag Forces on, and Deformation of, Closed Flexible Bags, in 33rd International Conference on Ocean," *Offshore and Arctic Engineering (OMAE2014)*., ASME: San Francisco, California.
- Olsen A., Volent Z., (2009). "*Utvikling av sikre oppdrettsanlegg Fase 1 – Måleresultat fra feltmålinger ved oppdrettsanlegget Farmannsøya*", SINTEF rapport A25449, ISBN 978-82-14-04917-6.
- Volent, Z., (2014). "*Dukbasert avlusningskonsept – Sluttrapport*", SINTEF rapport F26102.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no