

SHF80 A083006 –Åpen

# RAPPORT

## **Optimalisering av ORC design for plassering om bord på en industritråler Delprosjekt 2**

Nils Harald Bjørshol og Tord Hanssen

**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**

Fiskeriteknologi

Februar 2008

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)

**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse:  
SINTEF Sealab  
Brattørkaia 17B

Telefon: 4000 5350  
Telefaks: 932 70 701

E-post: fish@sintef.no  
Internet: www.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

**SINTEF RAPPORT**

TITTEL

**Optimalisering av ORC design for plassering om bord på en industritråler  
Delprosjekt 2**

FORFATTER(E)

Nils Harald Bjørshol, Tord Hanssen

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond

RAPPORTNR. SFH80 A083006	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Eirik Ulsund, Norges Fiskarlags Teknologiforum	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN 978-82-14-04338-9	PROSJEKTNR. FHF prosj nr 333044	ANTALL SIDER OG BILAG 13
ELEKTRONISK ARKIVKODE Document2		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Nils Harald Bjørshol	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Halvard Aasjord
ARKIVKODE	DATO 2008-02-20	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Håvard Røsvik, forskningssjef	

## SAMMENDRAG

Med utgangspunkt i fartøyets driftsprofil er det beregnet hvor mye ORC anlegget kan returnere i form av innspart oljeforbruk per år. (tilsvarende en million kWh/år)

En mulig framdriftsplan for installasjon og utprøving er skissert og drøfting av en samhandlingsavtale for utprøvingen mellom SINTEF og UTRC er innledet.

Vi har hatt befaring om bord industritråleren MS "Eksempelfartøy" sammen med reder og skipper og maskinist og lokalisert mulig plassering av komponenter.

På grunnlag av dette har vi vurdert å plassere anlegget på babord side istedenfor styrbord fordi der er bedre plass og fordi båten krenger til SB og derfor går med ballast i BB.

Det er gjennomført beregninger for skipets rull og stampe-bevegelser for 4 forskjellige kurser, farter og lastetilstander for bølgespekter tilsvarende Nordsjøen Nord med og uten rulledempingstank. Vi vurderer nå å orientere anlegget langskips istedenfor tverrskips fordi det vil gi mindre risiko for kavitasjon i kondensat pumpene.

"Eksempelfartøy" byr på ekstra utfordringer når det gjelder samkjøring mellom ORC anlegget og skipets akselgenerator fordi de kjører med variabel frekvens. UTRC har nå dette til vurdering.

Vi har gjennomgått nødvendige endringer i kjøleanlegget. Endringer er for øvrig uansett nødvendig fordi kjølingen er for dårlig. ORC anlegget vil bedre denne situasjonen.

Det er foretatt nye beregninger av utbytte og økonomi. Denne rapporten gjengir deler av innholdet i fortrolig rapport SFH80 F073031.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Energisparing i fiskeflåten	Energy efficiency in the fishing fleet
GRUPPE 2	Miljøvennlig fiskefartøy	Environment friendly fishing vessel
EGENVALGTE	ORC i fiskeflåten	ORC in the fishing fleet

## **INNHALDSFORTEGNELSE**

<b>1</b>	<b>Målsetning .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Beregning av ORC ytelse.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Plassering om bord.....</b>	<b>7</b>
	4.1 Kondensator – turbin enhet.....	7
	4.2 Eksoskjele .....	8
	4.3 Forvarming av kondensat.....	10
<b>5</b>	<b>Driftsprofil Eksempelfartøy .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Videre framdrift .....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>13</b>

## 1 Målsetting

### Overordnet mål

Demonstrere og vinne erfaring med ORC- teknologi om bord fiskefartøy

### Målsetting i dette delprosjektet

Finne beste plassering av anlegget om bord

Finne hvilke endringer i motorens eksos og kjølevannsystem som er nødvendig.

## 2 Bakgrunn

For å utnytte de store varmetapene fra fiskefartøyers hoved- og hjelpemotorer på en lønnsom måte har SINTEF Fiskeri og Havbruk fokusert på utnyttelse av varme til oppvarming av oppholdsrom og tappevann, og til produksjon av elektrisk energi ved bruk av ORC teknologi. Etter hvert som prisen på olje har økt har dette blitt stadig mer aktuelt.

I samarbeid med Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) ble det gjennomført et forprosjekt som vurderte 3 ulike ORC anlegg. (Bjørshol 2005)

Arbeidet ble videreført i et nytt prosjekt finansiert av FHF *ORC Pilotprosjekt Oppstart*. Her ble det dannet et konsortium som skulle gjennomføre finansiering og utvikle, spesifisere, installere og teste ut et lønnsomt varmegjenvinnings- og ORC anlegg om bord et fiskefartøy. Prosjektet rapporterte også ORC anleggets forventede ytelse, økonomi og miljøgevinst basert på den innsikt SINTEF da hadde. (Bjørshol 2006<sub>1</sub>) se ref liste.

Prosjektet er delt i 5 delprosjekter der de to første har mest fokus på FOU, mens de neste 3 har fokus på oppfølging, pilotinstallasjon og dokumentasjon. *Delprosjekt 1 "Fastlegge ytelseskriterier for et spesifikt ORC system"* er gjennomført og rapportert.

Delprosjekt 2 "Optimalisering av ORC design for plassering i fiskebåt" rapporteres her.

I dette delprosjektet har vi samarbeidet med UTRC<sup>1</sup>, Rolls Royce Marine AS og et rederi som er kunde hos Rolls Royce Marine. UTRC er potensiell leverandør av ORC anlegg for utprøving om bord.

Da byggingen av det opprinnelige fartøy som var tiltenkt pilotinstallasjon ble lagt på is ble det bestemt å forsøke å få i stand en installasjon om bord et eksisterende fartøy. Industritråleren MS "Eksempelfartøy" ble valgt ut.

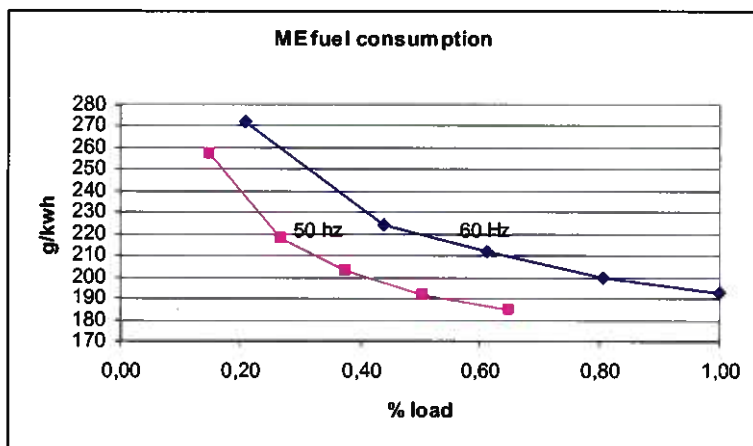
---

<sup>1</sup> UTC - United Technologies, UTRC - United Technologies Research Centre

### 3 Beregning av ORC ytelse

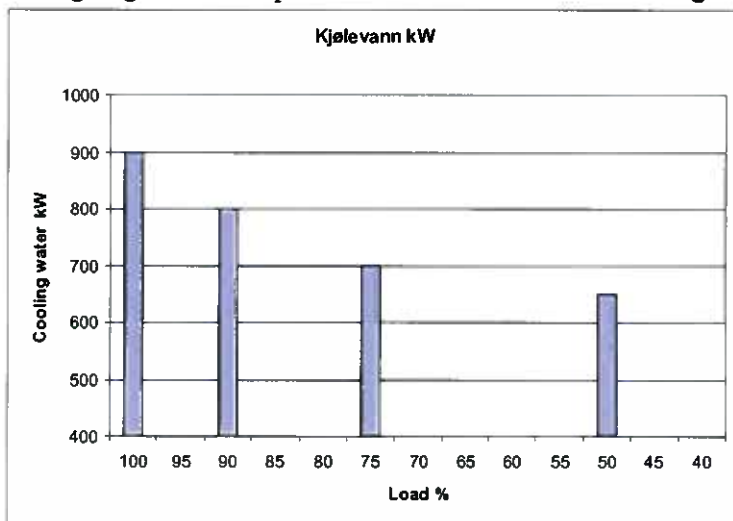
MS "Eksempelfartøy" har 28 turer til feltet per år. Under stiming til og fra feltet kjøres RSW anlegget deler av turen og da er det totale strømforbruket 500 kW og frekvensen er 50 Hz nominelt men kan variere på grunn av at stigning på propellen reguleres av en kombinator.

Under fiske er forbruket 250 kW unntatt under hiving av bruket da det er et forbruk på ca. 500 kW. Hver hiveperiode er kortvarig og anslåes til ca. 2,5 døgn per år. Hovedmotoren har en fullastytelse på 2730 kW og bruker da ca. 630 l/h tilsvarende et spesifikt oljeforbruk på 0,2 kg/kWh. Fordi ytelsen på hovedmotoren spenner over stort område vil det spesifikke forbruket variere noe avhengig av ytelsen. Variasjonene er antatt å være omtrent som gjengitt i figuren nedenfor. Dataene er hentet fra målinger på en lignende hovedmotor kjørt med varierende last på turtallene 630 og 750 o/min.

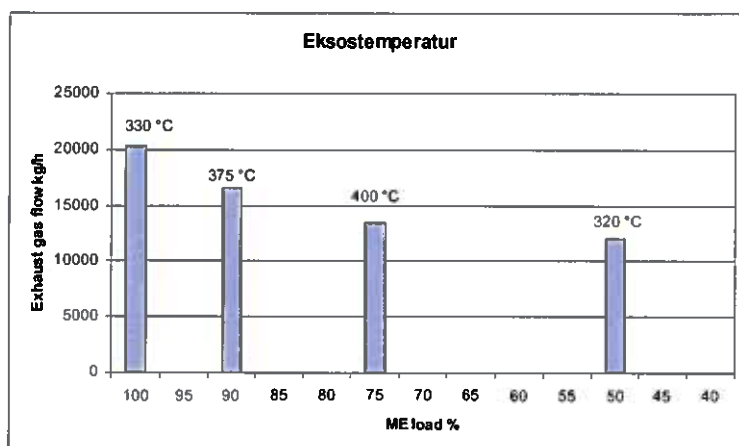


**Figur 1 Hovedmotorens spesifikke forbruk**

I beregningene er det spesifikke forbruk hentet fra denne grafen.



**Figur 2 Varme fra kjølevann ved 80 °C**


**Figur 3 Tilgjengelig eksosvarme**
**Tabell 1 Behov for og energi produsert ved ORC**

Eksostemperatur etter evaporator 180 °C

Aktivitet	ORC kW	Per år MWh	Behov kW	Forbruk l/h	Forbruk M <sup>3</sup> /år	Behov Mwh	Dekning %
På feltet 83 % last	245	412	250	517	868	420	98
På feltet 67 % last	207	228	250	443	489	276	83
Stiming 50 % last	157	225	500	299	430	720	31
<b>Totalt</b>		<b>865</b>			<b>1787</b>	<b>1416</b>	<b>61</b>

Eksostemperatur etter evaporator 130 °C

Aktivitet	ORC kW	Per år MWh	Behov kW	Forbruk l/h	Forbruk M <sup>3</sup> /år	Behov Mwh	Dekning %
På feltet 83 % last	286	481	250	517	868	420	114
På feltet 67 % last	242	267	250	443	489	276	97
Stiming 50 % last	189	272	500	299	430	720	38
<b>Totalt</b>		<b>1020</b>			<b>1787</b>	<b>1416</b>	<b>72</b>

**Tabell 2 Behov for og energi produsert ved redusert last på hovedmotor**

Temperatur ved utløp av evaporator 180 °C

Aktivitet	ORC kW	Per år MWh	Behov kW	Forbruk l/h	Forbruk M <sup>3</sup> /år	Behov Mwh	Dekning %
På feltet 75 % last	232	390	250	481	808	420	93
På feltet 59 % last	203	224	250	395	436	276	81
Stiming 45 % last	140	201	500	277	400	720	28
<b>Totalt</b>		<b>815</b>			<b>1644</b>	<b>1416</b>	<b>57</b>

Temperatur ved utløp av evaporator 130 °C

Aktivitet	ORC kW	Per år MWh	Behov kW	Forbruk l/h	Forbruk M <sup>3</sup> /år	Behov Mwh	Dekning %
På feltet 75 % last	269	452	250	481	808	420	108
På feltet 59 % last	237	261	250	395	436	276	94
Stiming 45 % last	172	247	500	277	400	720	34
<b>Totalt</b>		<b>960</b>			<b>1644</b>	<b>1416</b>	<b>68</b>

Tabellene er beregnet ut fra de opprinnelig oppgitte verdier for aktivitet og belastning. 70 døgn fiske med 83 % last på hovedmotoren og turtall som tilsvarer 60 Hz for akselgeneratoren. 45 døgn fiske med 67 % last på hovedmotoren og turtall som tilsvarer 60 Hz for akselgeneratoren. 60 døgn stiming med 50 % last for hovedmotoren og turtall som tilsvarer 50 Hz for akselgeneratoren.

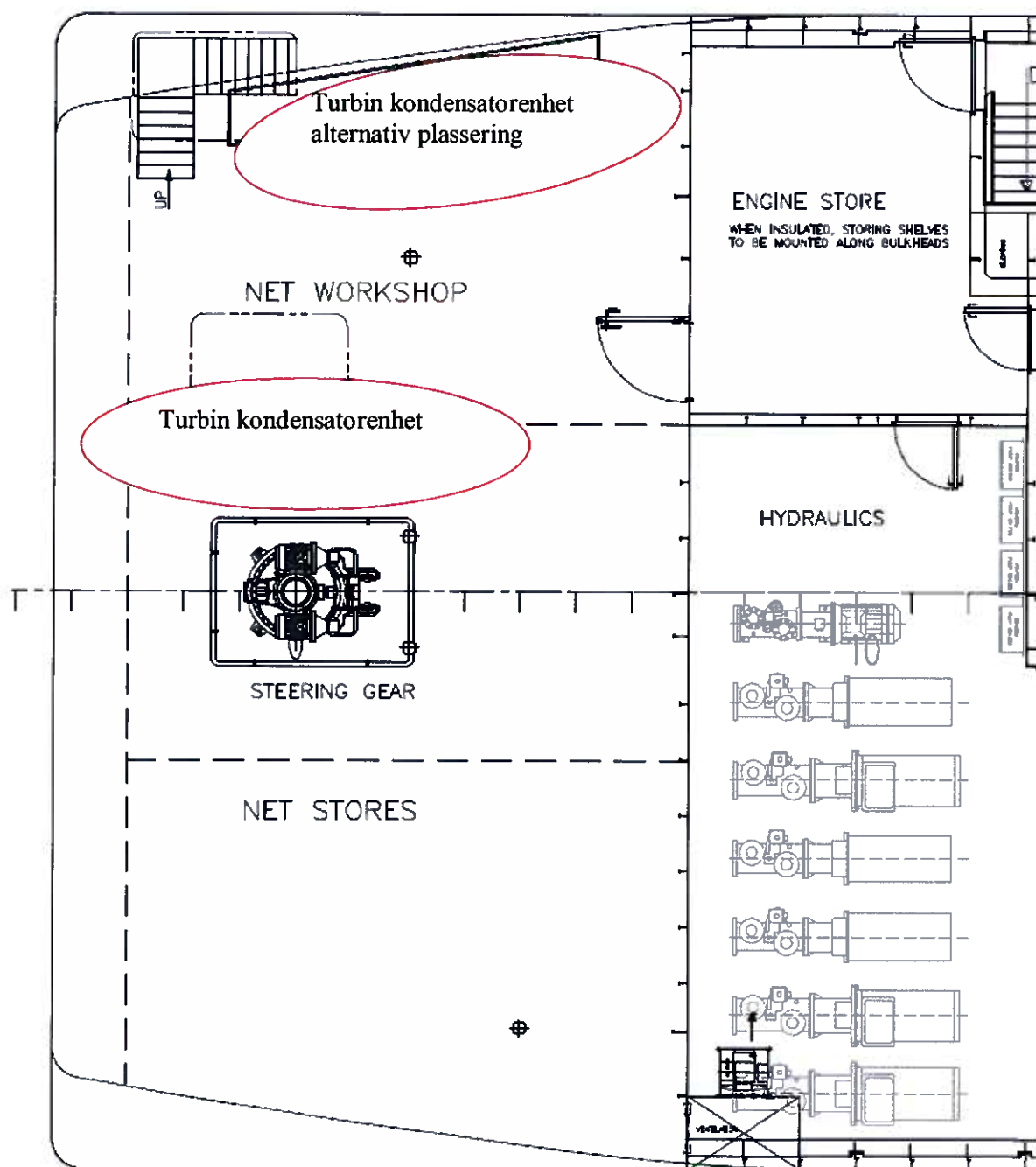
ORC anlegget fører til bedre utnyttelse av energien i brennoljen. Den økte effekten kan nyttes på to forskjellige måter. Tabell 1 viser total mengde elektrisk energi som er mulig å produsere ved ORC når hovedmotoren kjøres som sedvanlig. Dette vil selvsagt ikke føre til noe reduksjon i forbruket men til økt effekt tilgjengelig til propulsjon. I dette tilfelle dekker ORC anlegget 61 % av skipets totale elektriske behov i antall kWh når eksosvarmen over 180 °C utnyttes og 72 % av behovet når eksosvarmen over 130 °C utnyttes. Den økte effekten kan brukes til propulsjon.

I tabell 2 er pådraget på hovedmotoren redusert tilsvarende ORC ytelsen slik at det totale forbruket av brennolje reduseres. Vi ser at ORC anlegget da produserer mellom 58 og 68 % av skipets totale forbruk og at oljeforbruket reduseres fra 1787 m<sup>3</sup>/år til 1644 m<sup>3</sup>/år, 144 m<sup>3</sup> eller 8 %.

I det viste eksemplet vil ORC anlegget produsere mer kW elektrisk energi enn det er behov for og da vil en del av drivmediet ledes forbi turbinen uten å gjøre noe arbeid, i andre situasjoner må deler av behovet dekkes av akselgeneratoren.

Disse beregningene er basert på oppgaver fra brukerne. Lastprofilene kan og vil inneholde feil siden totalforbruket summerer seg til opp til et forbruk over året som ligger 24 % høyere enn det som er registrert. Dette blir forklart av besetningen med at fisket til tider bare foregår deler av døgnet. Konsekvensen for regnestykket er at totaltallene reduseres tilsvarende men prosentene forblir konstante.

## 4 Plassering om bord



**Figur 4 Plassering av turbin kondensator enhet**

### 4.1 Kondensator – turbin enhet

Plassering av ORC anlegget (kondensator turbin) om bord er vurdert av Rolls Royce Marine SINTEF, UTRC og rederiet i samarbeid. Akter på hoveddekket er det et dekket rom brukt til lagring. På BB side har rommet full mellomdekkshøyde på SB side har bare den fremre delen det mens den aktre delen bare har redusert høyde.

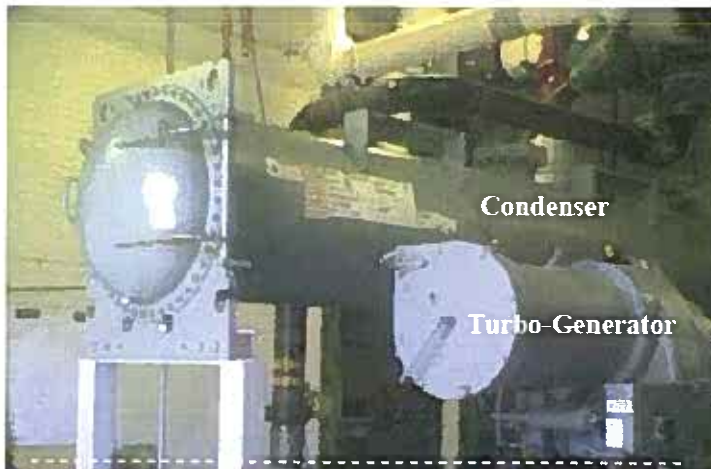


Rolls Royce Marine foreslo å bruke SB side men under befaring om bord kom det fram at båten hadde slagside til SB og derfor gikk med 15 tonn ballast i BB tanker. Plassering av ORC anlegget i BB side vil derfor være å foretrekke fordi det vil redusere behovet for ballast. Plassering i BB side vil også gjøre det mulig å orientere kondensatoren langskips. Dette vil gi en roligere veskeoverflate i kondensatoren og minske faren for kavitasjon i kondensat- pumpene. SINTEF har foretatt beregninger av bevegelser og akselerasjoner for dette området i båten. Disse beregningene er oversendt UTRC.

Kondensatpumpene er foreslått plassert i maskinrommet et par meter lavere enn bunnen av kondensatorene.

For å redusere byggehøyden er turbinen foreslått plassert ved siden av kondensatoren og ikke på toppen av den.

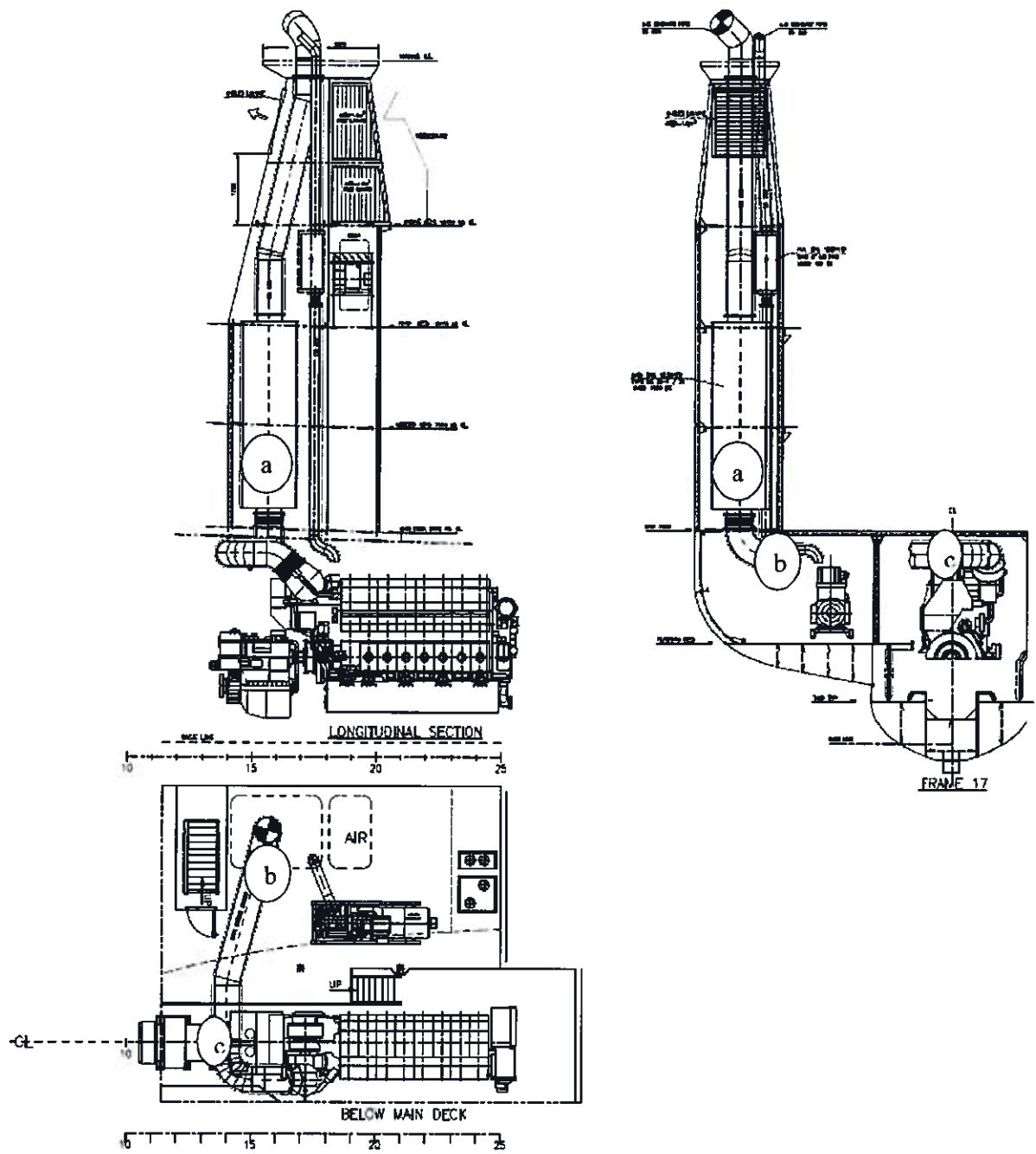
Lengden på kondensatoren er foreslått redusert til mellom 3,6 meter og 4,2 meter og en diameter på 0,9 meter. Høyden på anlegget (kondensator turbin) skulle derfor ikke bli mer enn 2 meter. Figur 5 viser eksempel på et slik arrangement.



**Figur 5 turbin montert ved siden av kondensator**

#### 4.2 Eksoskjele

I Figur 6 er vist eksosanlegget til fartøyet. Eksoskjele er foreslått plassert i under lyddemperen, posisjon (a). Lyddemperen må derfor heves tilsvarende eller gjøres mindre. En alternativ plassering kan være i den horisontale delen av røkrøret umiddelbart i før lyddemperen i posisjon merket (b), eller nærmere turbinen i posisjon merket (c). Endelig plassering av eksoskjele kan ikke bestemmes før dens dimensjoner er endelig bestemt.



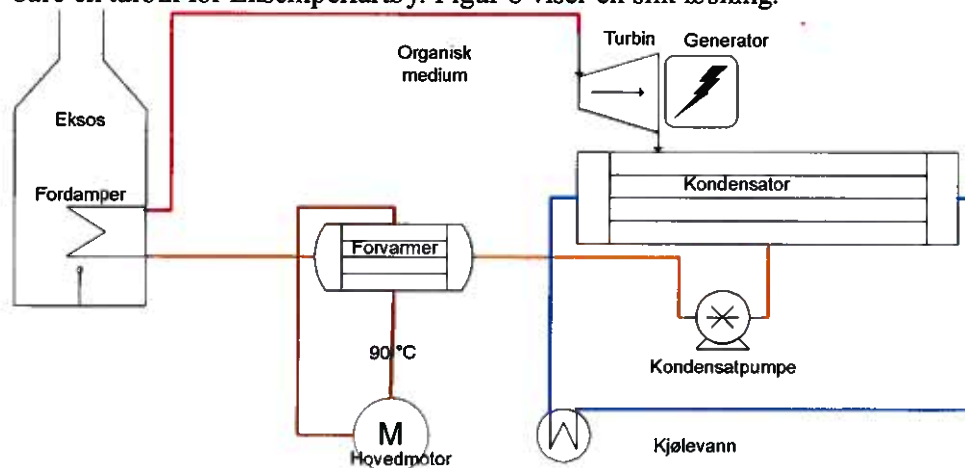
**Figur 6 Eksosanlegg for MS Eksempelfartøy**



**Figur 7** I dette området av maskinrommet kan kondensatpumpene plasseres

### 4.3 Forvarming av kondensat

Om bord MS Eksempelfartøy utnyttes verken varme fra eksos eller kjølevann i dag. HT kjølevann kjøles ved hjelp av LT kjølevann i en platevarmeveksler avbildet i Figur 9. Dette gjøres for å bli kvitt varmen på en billigst mulig måte ved at temperaturen på det vannet som går til kassekjøleren heves. Når vi ønsker å gjøre nytte av denne varmen før den går til sjøs, kan vi bruke den i en LT ORC sirkelprosess eller til forvarming av kondensatet i en HT ORC sirkelprosess. Det siste alternativet vil bli vurdert i neste fase i prosjektet. Det vil føre til et enklere og lettere anlegg, det vil avlaste kassekjøleren for hovedmotoren og redusere monteringsomfanget og vektene. Fra Tabell 1 og Tabell 2 kan vi se at produksjonen av elektrisk energi ved ORC i noen tilfeller er større enn behovet ved bruk av to turbiner. Det vil derfor være riktig å vurdere en enklere løsning med bare en turbin for Eksempelfartøy. Figur 8 viser en slik løsning.



**Figur 8** Prinsippskisse for eksosdrevet ORC med HT kjølevann forvarming



**Figur 9 HT / LT varmeveksler her kan HT varme fra kjølevann hentes**

## 5 Driftsprofil Eksempelfartøy

### FISKERI: PELAGISK TRÅLING

TOTALT ANTALL DRIFTSDØGN 2006 var 216

HERAV ANTALL DØGN PÅ FELTET: 116

- Av dette utgjør kolmuletråling ca 70 døgn,
- sild/makrell 46 døgn

ANTALL DØGN STEAMING TIL/FRA FELTET: 60

ANTALL DØGN I HAVN (LEVERING ETC): 40

BRENNOLJEFORBRUK 2006: 1.350.000 LITER

### OVERSIKT SPILLVARME:

MOTORLAST %	100	90	75	50
EKSOSGASS KG/H	20300	16500	13500	12000
EKSOSTEMP Gr. C	330	375	400	320
KJØLEVANN kW	900	800	700	650
KJØLEVANN Gr. C	80	80	80	80

Oljeforbruk ved 100 % motorlast: Ca 630 l/time

**GJ.SNITTLIG BELASTNING STEAMING:**

Oljeforbruk oppgitt til 300 – 350 l/time => Tilsvarende 50 % motorlast

**GJ.SNITTLIG BELASTNING PÅ FELTET, KOLMULETRÅLING:**

Oljeforbruk oppgitt til 500 – 550 l/time => Tilsvarende 83 % motorlast (70 DØGN)

**GJ.SNITTLIG BELASTNING PÅ FELTET, SILD/MAKRELLTRÅLING:**

Oljeforbruk oppgitt til 400 – 450 l/time => Tilsvarende 67 % motorlast (46 DØGN)

## 6 Oppsummering

MS Eksempelfartøy bruker over året 1.350000 LITER brennolje. Med den driftsprofil som skipet har vil 8 % kunne innspareres ved ORC som tilsvarende 108 000 liter. Deler av driftssyklusen vil ORC anlegget dekke hele skipets behov for elektrisk strøm. Dekningen vil ligge mellom 58 % og 68 % av skipets totale behov avhengig av hvor lavt eksostemperaturen kan senkes.

Plassmessig egner skipet seg bra til testing av ORC anlegg som skissert her. Det er bra plass for kondensator – turbin enheten som sannsynligvis vil bli mellom 3,6 og 4,2 meter lang og ha god plass med en mellomdekkshøyde på 2,2 meter. Vekten vil heller ikke representere noe problem fordi skipet vil kunne redusere noe ballast på grunn av krenkning til SB.

Dimensjonen på eksoskjelen er enda ikke kjent men en størrelse som tidligere antydte 3x3x6 fot vil få plass uten alt for store kostnader. Et ORC anlegg med forvarming av kondensat ved HT kjølevann vil hjelpe på kjølingen av hovedmotoren som er i knappeste laget når sjøkassa er grodd.

## 7 Videre framdrift

Vi har diskutert en demonstrasjon av ORC anlegg om bord Eksempelfartøy. Foreløpig er installasjon satt til Nov 07. Det er avhengig at vi kommer til en avtale mellom partene senest primo september og at det klaffer med alt annet og det skal holde hardt.

Prøvetiden vil strekke seg ut i 2009 og vil bli fulgt tett opp av SINTEF og produsenten.

## 8 Referanser

Bjørshol, N.H. 2005

*ORC forprosjekt*  
Fortrolig SINTEF rapport

Bjørshol, N.H. 2006<sub>1</sub>

*ORC Pilotprosjekt Oppstart*  
Fortrolig SINTEF rapport

Bjørshol, N.H. 2006<sub>2</sub>

*Fastlegge ytelseskriterier for et spesifikt ORCsystem*  
*Delprosjekt 1*  
SINTEF rapport

**Trondheim**

Address: NO-7465 Trondheim, Norway

Phone: +47 73 59 30 00

Fax: +47 73 59 33 50

**Oslo**

Address: P.O. Box 124, Blindern, NO-0314 Oslo, Norway

Phone: +47 22 06 73 00

Fax: +47 22 06 73 50