

MAI 2014

FHF

# DIESELELEKTRISK FREMDRIFTSSYSTEM I FISKEFARTØY

DELRAPPORT

AV JOHN INGAR JENSSEN

**COWI**



MAI 2014

FHF

# DIESELELEKTRISK FREMDRIFTSSYSTEM I FISKEFARTØY

DELRAPPORT

PROJEKTNR. 136001  
DOKUMENTNR. 3.2  
VERSJON 2  
UTGIVELSESDATO 20.05.2014  
UDARBEIDET JIJE  
KONTROLLERT KRRO  
GODKJENDT ODE



# INNHold

Begrepsliste	5
Sammendrag	6
Innledning	6
Metode 7	
Fartøydata	7
Dieselektrisk fremdrift	8
Trinnløst variabelt turtall	13
Fast turtall	19
Hybrid framdrift	26
Konklusjon	38

## Begrepsliste

Flytende frekvens – teknologi som lar hovedmotor regulere turtallet samtidig som den produserer elektrisitet. Systemet har en nedre grense betinget av hovedmotors nedre grense for turtall.

DM-drift/Dieselmekanisk drift – konvensjonelt fremdriftssystem hvor hovedmotor driver en propell via en aksling (og et gir)

DE-drift/ Dieselektrisk fremdriftssystem – forbrenningsmotorer produserer elektrisitet via generatorer. Fremdriften besørages av elektromotorer

Hybriddrift - mulighet til å enten kjøre rent dieselmekanisk, rent dieselektrisk, eller en hybrid av disse

Økonomisk hastighet – driftspunktet/hastigheten der en får lavest oljeforbruk pr nautisk mil

Pitch tap – tap som følge av at propellen ikke klarer å nyttiggjøre seg tilført energi og den "spinner". Mye energi går dermed med til å rotere propellene uten at det gir fremdrift.

HSG – Hybrid Shaft Generator – System der akselgenerator kan fungere både som elektromotor og generator og som tillater store variasjoner i hovedmotors turtall samtidig som hovedmotor produserer strøm

Blackout – Dersom elektrisk forbruk oversteg generatorenes kapasitet til el-produksjon var det vanlig at motorene stoppet og hele skipet mistet elkraft

SFOC - spesifikk forbrenningseffektivitet – en verdi som angir i hvor stor grad motoren klarer å utnytte brennstoffet i gram olje/ kWh. Denne er best ved omkring 80 % last for de fleste dieselmotorer.

## Sammendrag

Av de undersøkelser og loggninger vi har gjort i dette delprosjektet i FHF-prosjektet EFFEKT, har vi funnet følgende:

- › Energiproduksjonen i DE- eller hybridrevne fartøy må ha et godt styringssystem for at teknologiene skal bli lønnsomme.
- › DE-fremdrift med faste turtall på propeller på kystnotfartøy synes å gi høyere energiforbruk enn konvensjonelle kystnotfartøy.
- › DE fremdrift på autolinefartøy med variabelt turtall på propeller synes å gi energireduksjoner i størrelsesorden 11-18 %
- › DE fremdrift på trålere er under uttesting i skrivende stund, men foreløpige beregninger gir ikke sikre holdepunkter for reduksjoner.
- › DE fremdrift på ringnotfartøy er alt godt dokumentert og har gitt mellom 8 og 22 % energireduksjon over året.
- › Hybride fremdriftssystem med mulighet for elproduksjon via akselgenerator under variable turtall og mulighet for fremdrift med variabelt propellerturtall, også i DE-modus synes å kunne gi enda større energireduksjon enn hybride systemer med fast turtall akselgenerator og rene DE systemer.
- › Hybride fremdriftssystemer synes å kunne gi store besparelser for autoline , ringnot og kystnotfartøy, og moderate besparelser for trålfartøy sammenlignet med konvensjonelle dieselmekaniske systemer.

## Innledning

FHF-Prosjektet EFFEKT har som mål å kartlegge utslipps- og energireduserende tiltak i den norske fiskeflåten 2012-2013. Da det forelå lite informasjon om hvordan fartøy med dieselelektrisk fremdrift (DE) og hybrid fremdriftssystem fungerer med tanke på utslipps- og energireduksjon ble det besluttet at prosjektet skulle forsøke å belyse dette temaet også.

Ved å gjøre en rekke loggninger og studier av de eksisterende fiskefartøy ble en stor mengde data innhentet. Da det fortsatt er få fartøy med disse teknologiene er datagrunnlaget for lite til å kunne fastslå generelle konklusjoner. Imidlertid kan observasjonene være til nytte ved valg av fremdriftssystem i nybygg.

Det finnes flere ulike kategorier innenfor dieselelektrisk fremdriftssystemer, hver med ulike konfigurasjoner.

Vi har delt disse inn i 2 hovedgrupper med respektive undergrupper:

- › Ren dieselelektrisk fremdrift (DE)
  - › Fartøy med variabelt propellerturtall
  - › Fartøy med et eller flere faste propellerturtall
- › Hybrid fremdrift

1.1 Fartøy med fast propellerturtall under DE framdrift, variabelt propellerturtall under dieselmekanisk propellerturtall

1.2 Fartøy med variabelt propellerturtall under både DE fremdrift og DM fremdrift

Under disse gruppene finnes det flere spesialtilfeller som kan utgjøre store forskjeller i gitte driftstilstander.

## Metode

Logginger av effektproduksjon og effektforbruk ble gjort ved å installere mobilt loggeustyr av typen Chauvin Arnoux, Simple logger II model AL 834. Valg av utstyr ble gjort på grunnlag av følgende kriterier

- › Utstyret måtte kunne måle opp til 3000 Ampere
- › Det skulle være lett å flytte fra fartøy til fartøy.
- › Det skulle være mulig å reise ut til fartøyet og installere det på kort varsel.
- › Mannskapet om bord skulle være i stand til å demontere utstyret.
- › Utstyret skulle kunne drives av egen intern strømforsyning.
- › Utstyret skulle kunne måle *true RMS*-verdier.

Brukervennligheten til utstyret måtte gå på bekostning av nøyaktigheten i målinger da vi ikke kunne kreve at vi skulle måle spenningen samtidig. Dette ville krevd at en elektriker måtte være tilstede for å gjøre en sikker installasjon/ avinstallasjon, noe som ville gått på bekostning av antall fartøy prosjektet ville vært i stand til å logge. Dette betyr at det er tatt utgangspunkt i at generatorene leverer den nominelle spenning i alle situasjoner. Lignende undersøkelser har vist at spenningen kan variere med 10 % der generatorer benyttes som energiforsyning.

For å oppveie usikkerheten grunnet manglende spenningsmåling er antallet observasjoner økt slik at et snitt av disse vil kunne gi et mer nøyaktig resultat.

For fartøy med fast turtall hvor strømtrekket til motorene er målt vil det tilkomme en usikkerhet som øker med minkende last. Dette skyldes at elektromotorens  $\cos \Phi$  blir lavere ved lavere last. Som utgangspunkt har  $\cos \Phi$  en verdi på 0,85-0,9 ved merkeeffekt, men gjerne 0,65 ved 1/3 last, altså inngår det et tap i overføringen av energi til elektromotoren (reaktiv energi). Dette innebærer at elektromotoren leverer noe mindre effekt ved lavere last enn det som fremkommer i figurene til loggingene, men aggregatene som produserer energi til elektromotorene må likevel motvirke dette tapet ved å produsere mer energi. Siden fokuset i denne rapporten er oljeforbruk til fremdrift, tas dette tapet med som *energi til fremdrift*.

Som sammenligningsgrunnlag brukes en rekke fartøy av samme slag som utvalget, men med konvensjonell fremdriftsløsning. I disse fartøyene er det ikke mulig å måle det totale energiforbruket som elektrisk produksjon, men som en kombinasjon av olje og elektrisk forbruk.

## Fartøydata

Når fartøyene skal sammenlignes er det noen faktorer som spiller en større rolle enn andre:

- › Skroglengde, dypgang og bredde
- › Energiprodusenter (dieselmotorer)
- › Evne til fri regulering av propellers rotasjonshastighet

### › Fangstmengde under loggeperiodene

Skal energibruk under forflytning for ulike fremdriftssystem sammenlignes må fartøyene være like. Det er også mulig å sammenligne forbrukstall under DE-fremdrift og under dieselmekanisk fremdrift i et og samme fartøy dersom dette har en hybridløsning. For fartøy som ikke har noe søsterskip har vi sammenlignet energiforbruket med årsforbruk for fartøy med samme størrelse og kvote.

I tilfeller hvor vi har simulert oljeforbruk har vi benyttet motoriseringer som har vært tilnærmet ideelle for konvensjonelle fartøy for så å simulere det samme fartøyet med DE eller hybrid fremdriftskonfigurasjon. I loggingene som har vært gjort i dette prosjektet har vi i en rekke tilfeller oppdaget generatorsett som går ved lav last og dermed dårlig effektivitet i store deler av tiden. Dette viser at det er sterkt behov for gode systemer for styring og fordeling av motorlasten på de ulike generatorsettene. Det viser også viktigheten av at systemet er korrekt dimensjonert for de laster som det elektriske systemet vil bli utsatt for i driftstiden.

Reduksjonene i oljeforbruk for DE og hybrid fremdriftssystem henger i stor grad sammen med om en har effektiv utnyttelse av propeller. For enkelte fartøygrupper spiller dette en større rolle enn for andre, alt avhengig av hvor store variasjoner de har i driftsprofilen.

Energiforbruket kan svinge ganske mye mellom små fangster og store fangster, godt fiske og dårlig fiske. Dette gjør at oljeforbruk på enkeltturer ikke nødvendigvis er sammenlignbare. Forbruk over året gir et bedre sammenligningsgrunnlag.

## Dieselelektrisk fremdrift

### Energiproduksjon DE

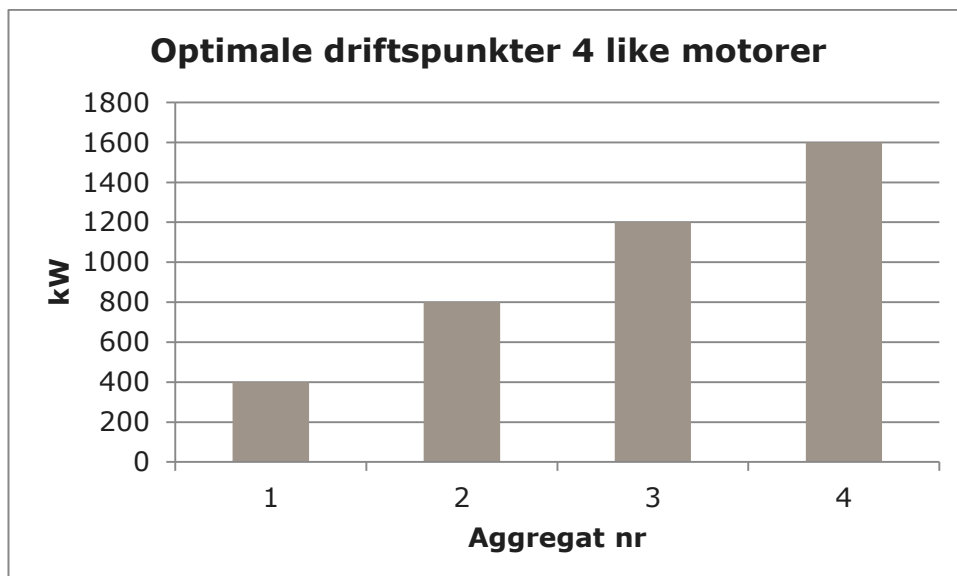
Denne formen for fremdrift kjennetegnes ved at fremdriften besørges av en eller flere elektromotorer. Energiproduksjonen besørges av gass- eller dieselmotorer som er koblet til elektriske generatorer. Som regel er det to eller flere dieselmotorer av lik eller ulik størrelse. Hvordan maskinparken er satt sammen avhenger som regel av hvilke modi fartøyet har og energibehovet ved disse. Disse modi bestemmes av den forventede driftsprofilen til fartøyet. Motorene blir så beregnet slik at de ved ulike modi skal kunne ha god energieffektivitet, enten de går alene eller ved en kombinasjon av flere motorer. Dette innebærer at de bør ha en størrelse som gjør at de i ulike modi ligger på høy last eller er helt utkoblet. Motorer på lav last vil gi dårlig energieffektivitet og trekke uforholdsmessig mange driftstimer og økte servicekostnader i forhold til energibehovet.

I mange tilfeller kan det være fordelaktig at motorene er like i størrelse og fabrikant med tanke på service- og delekostnader. På den annen side er installasjonskostnadene lavere med færrest antall motorer. Det er med andre ord grunnlag for beregninger av kost-nytteverdi for ulike varianter av motorpark.

Eksempel med et fartøy med 4 like motorer á 500 kW.

Motorene har best energieffektivitet ved ca 80 % last, tilsvarende 400 kW. Satt sammen som gruppe vil dermed disse motorene ha best energieffektivitet ved energibehov tilsvarende 400, 800, 1200 og 1600 kW:





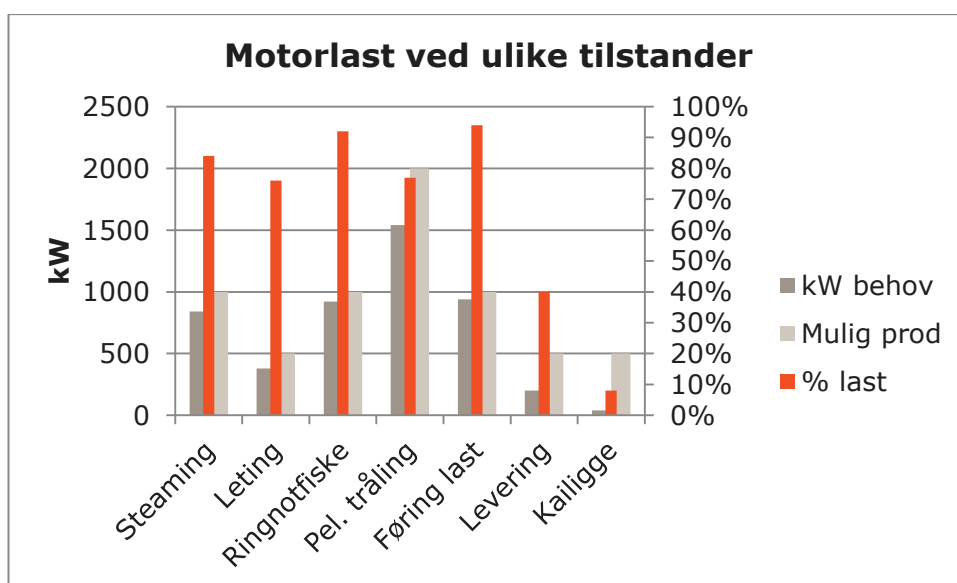
Figur 1: Optimale driftspunkter DE

Fartøyets driftsprofil er som følger:

Driftsprofil	kW behov	Mulig proc	% last
Steaming	840	1000	84 %
Leting	380	500	76 %
Ringnotfiske	920	1000	92 %
Pel. tråling	1540	2000	77 %
Føring last	940	1000	94 %
Levering	200	500	40 %
Kailigge	40	500	8 %

Tabell 1: Driftsprofil

Satt inn i et søylediagram ser dette slik ut:



Figur 2: Motorlaster ved ulike tilstander

Effektproduksjonen for dette fartøyet er i enkelte modi i overkant av hva systemet kan drive effektivt med den motorparken vi har sett på. Dette gjelder *Ringnotfiske* og *Føring med last*.

I modus *Føring last* er behovet 940 kW med 1000 kW tilgjengelig. Behovet tilsvarer 94 % av produksjonen. Det ligger dermed farlig nær en overbelastning av dieselmotoren med påfølgende *blackout* i dieselmekaniske anlegg. I dieselelektriske systemer vil dette imidlertid føre til umiddelbar reduksjon i fremdriftseffekt ved lastutkobling. Dersom en større komponent startes opp, eksempelvis et større hydraulikkanlegg, vil belastningen fort komme over 100 % og for å unngå *blackout* starter automatikken i energiproduksjonssystemet opp et ekstra aggregat og produksjonen kan økes til 1500 kW. Motorlasten faller dermed til 63 % og mindre effektivt energiproduksjon enn i utgangspunktet. Et lignende scenario får vi ved *ringnotfiske*.

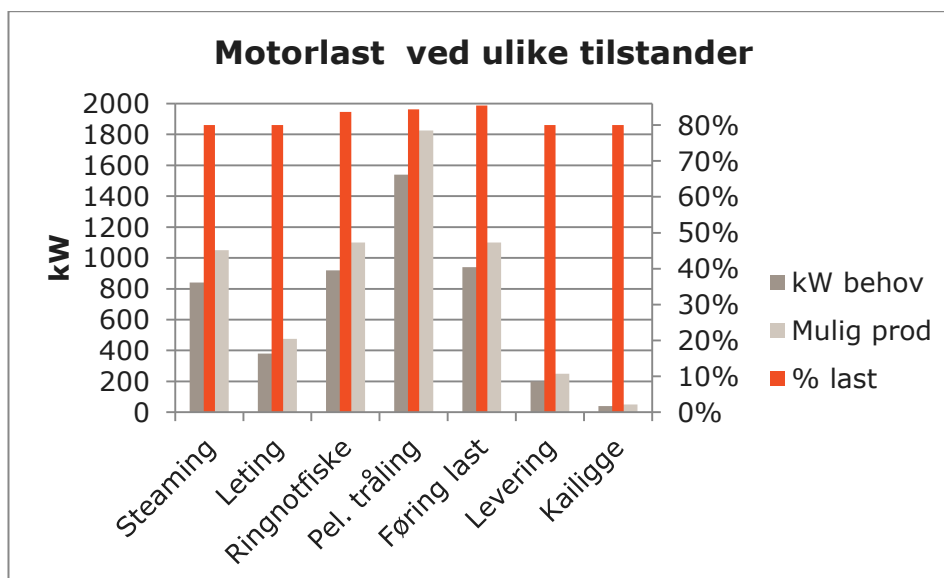
I modus *levering* er utnyttelsen 40 % og en kunne oppnådd en mer effektiv energiproduksjon ved å ha et aggregat som hadde høyere last. I modus *kailigge* vil effektiviteten med den opprinnelige energiparken være svært lav da motorene ville gå på kun 8 % last.

Det er altså rom for forbedringer og en motorpark bestående av følgende motorer vil være et bedre alternativ:

Driftsprofil	kW behov	Gen 1, 250 kW	Gen 2, 1050 kW	Gen 3, 475 kW	Gen 4, 50 kW	SUM	% last
Steaming	840		1050			1050	80 %
Leting	380			475		475	80 %
Ringnotfiske	920		1050		50	1100	84 %
Pel. tråling	1540	250	1050	475	50	1825	84 %
Føring last	940		1050		50	1100	85 %
Levering	200	250				250	80 %
Kailigge	40				50	50	80 %

Tabell 2: Lastskjema for ulike tilstander.

Ny lastprofil blir som følger:



Figur 3: Motorlaster ved forbedret motorkonfigurasjon.

Ny lastfordeling gir en mye mer effektiv energiproduksjon enn den første, men bakkdelene er at en nå har en motorpark der alle enhetene er av forskjellig størrelse, og der tilhørende større behov for reservedeler.

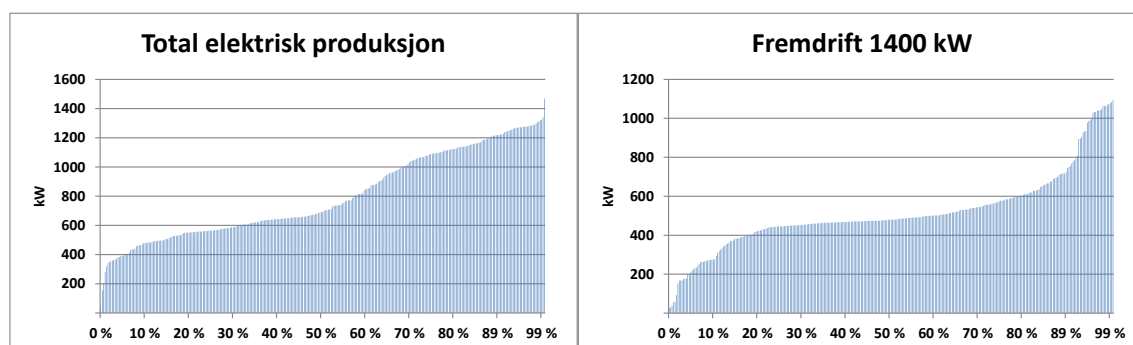
Det er også et tidsaspekt i disse betraktningene. Dersom driftstimene er få og den samlede energibruken liten under en av tilstandene, kan en se bort fra uøkonomisk drift i denne perioden da det vil få liten innflytelse på totalt energibruk. Den økonomiske gevinsten ved å se vekk fra dette tapet kan ofte overskygge den ekstra energikostnaden over flere år. Det hører også med i betraktningen at servicetimer på store motorer koster mer enn servicetimer på små motorer.

Til slutt må det også nevnes at dersom effektbehovet endres vesentlig for fartøyet, vil behov og produksjon ikke lenger stemme overens og i verste fall kan fartøyet ende opp med å være et veldig lite effektivt fartøy.

## Effektvarighet

Effektvarighet sier oss noe om hvor stor makseffekt det elektriske systemet må håndtere og hvor ofte og lenge disse verdiene opptrer. Dette kan avdekke om forbruket er slik at kontrollsystemet til stadighet må starte opp eller holde i gang en generator ekstra for å møte behovet til komponenter som krever store effekter kun i korte perioder. I disse tilfellene vil den ekstra generatoren gi dårligere effektivitet for energiproduksjonen, samt gi flere ekstra driftstimer som gir hyppigere serviceintervaller.

Av figuren under, et eksempel fra et av deltakerfartøyene, ser vi at makseffekten i energiproduksjon på omkring 1500 kW opptrer i en forsvinnende liten del av tiden. I all vesentlighet ligger forbruket på fra 1300 kW og nedover. Her er det altså 100 kW som benyttes i 0,85 % av tiden, altså i 44,5 timer i løpet av et år. Denne belastningen oppstår ikke samlet, over tid, men som korte perioder over driftstiden. Dersom denne effekten gjør at systemet til stadighet har en ekstra generator i drift, bør det undersøkes om denne makseffekten kan unngås ved enten lastutkobling av bestemte komponenter som ikke er vesentlig for driften, eller ved bruk av batteri egnet til formålet.



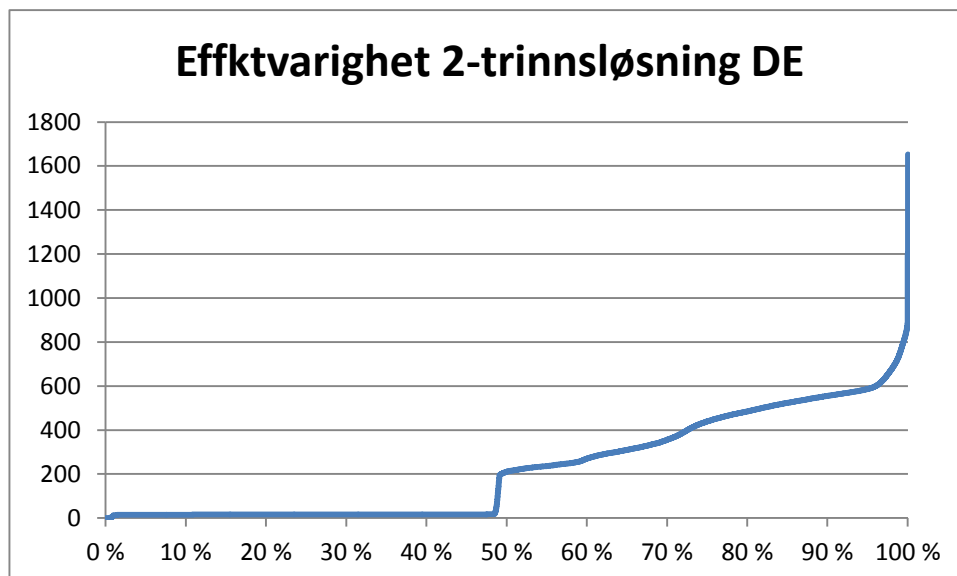
Figur 4: Effektvarighetskjema for el-produksjon og fremdrift.

Ser vi på effektvarighetskurven til fremdriftssystemet, vil dette kunne si oss noe om behovet til fremdriftssystemet i forhold til driftstimer. Det vil være mulig å se indikasjoner på om fartøyet ville kunne dra nytte av et trinnløst system eller om det er tilstrekkelig med et to-trinns system.

I Figur 4 over til venstre viser vi en kurve for effektvarighet for *energiproduksjonen* til et fartøy med tottrinnsløsning for framdrift. Det er tydelige skiller mellom to trinn, hvor skillet går ved 750 kW opp mot maksimalt 1500 kW. *Fremdriftseffekten* ser vi til høyre, og her går det tydelig fram at

effekt til fremdrift i all hovedsak ligger i området 420 – 800 kW. I kun 6-7 % av tiden er effektbehovet mellom 800 og 1100 kW.

I kurven under ser vi en effektvarighetskurve til fremdriftssystemet fra et annet fartøy med to-trinnsløsning.



Figur 5: Effektvarighetsskjema DE-fremdrift med fast propellerturtall

Fartøyet har en hovedmotor på 750 kW i "high mode" og 315 kW i "low mode".

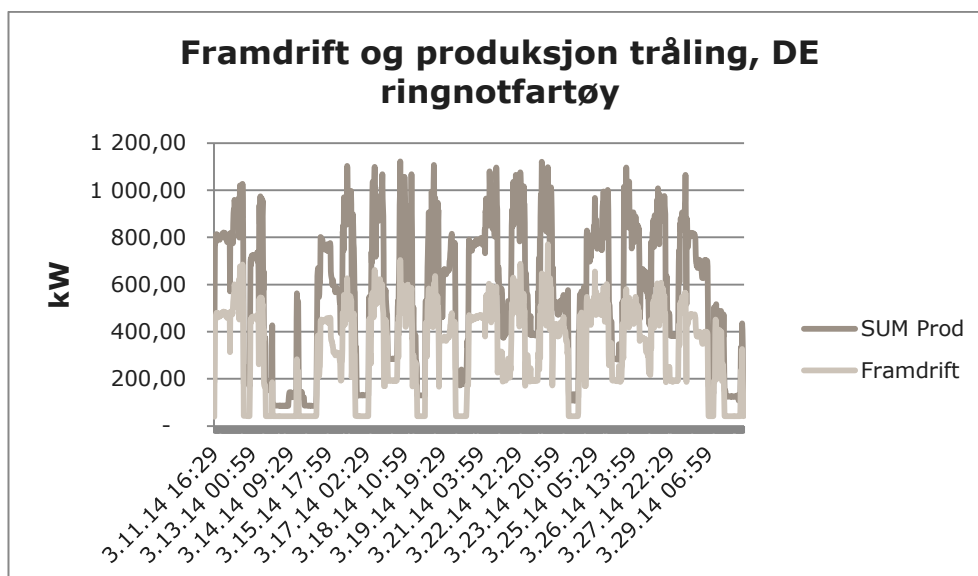
Av figuren ser vi at effekten i 96 % av tiden ligger fra 600 kW og nedover. Kun i 4 % av tiden er forbruket opp mot 750 kW.

## Fartøyenes driftsprofil og utseilt distanse

Alle fartøyene har i utgangspunkt like lange avstander gjennom driftsåret. De må forflytte seg slik at når de er underveis til fiskefeltet er det viktig å finne den mest økonomiske hastigheten. Her spiller flere faktorer inn, som vær, fangstmeldinger, kvoteforhold etc, slik at det i gitte tilfeller vil haste med å komme ut til feltet mer enn i andre. I noen tilfeller vil det kunne være utslagsgivende og økonomisk forsvarlig å ankomme fiskefeltet noen timer tidligere, mens det i andre tilfeller vil kunne lønne seg å ha en lavere fart for å spare drivstoff.

Disse faktorene kan også spille inn ved forflytning til land for levering, men ofte er fartøyene tildelt en tidsluke hos mottak hvor de kan levere fangsten, slik at seilassen kan planlegges slik at høy fart kan unngås.

Driftsprofilen til de ulike fartøygruppene har vesentlig innvirkning på effekten av dieselelektrisk fremdriftssystem. Handelsskip som er i frifart i størstedelen av tiden vil ha mindre nytte av dieselelektrisk fremdriftssystem enn et fiskefartøy med stadige endringer i hastighet og kjøring på dellast i store deler av tiden. Et ringnotfartøy som stimer til felt, leter, fisker og går til mottaksanlegg har også større endringer i effektbehov til fremdrift enn trålere og autolinefartøy som i hovedsak har 2 driftsmodi; *forflytning til/fra felt* og *fiske*. Av den samme grunn er potensialet til energireduksjoner under framdrift større for ringnot/kystnotfartøy enn for trålere eller autolinefartøy. Det er likevel muligheter for reduksjoner i energi til framdrift også for trålere og autolinefartøy med dieselelektrisk fremdriftssystem som er tilpasset dette driftsmønsteret. Våre loggninger av autolinefartøy viser at effektbehovet under fiske varierer kraftig, mens vi ikke har hatt mulighet til å gjøre tilsvarende loggninger for bunntrålere. Imidlertid viser loggninger av trålinger med ringnotfartøy og flytetrål etter pelagisk fisk at det er store svingninger i fremdriftseffekt også her:

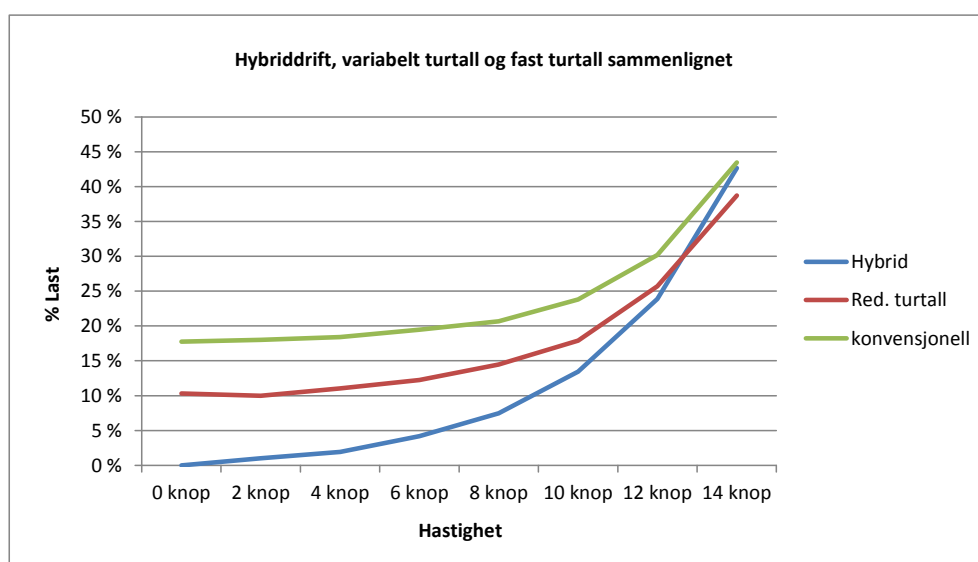


Figur 6: Tråling etter stavsild, DE ringnotfartøy.

## Trinnløst variabelt turtall

Variabel, trinnløs regulering av hastigheten er en mer kostnadskrevenne installasjon enn *Fast turtall*, men som gir mye større mulighet til å variere hastighet etter forhold. Dette fant vi kun blant de større fartøyene.

En sammenligning av trinnløst variabelt turtall, flytende frekvens og konvensjonelt anlegg med akselgenerator gjort av Scana Volda/Pon-Power viser differansen mellom disse systemene tydelig:



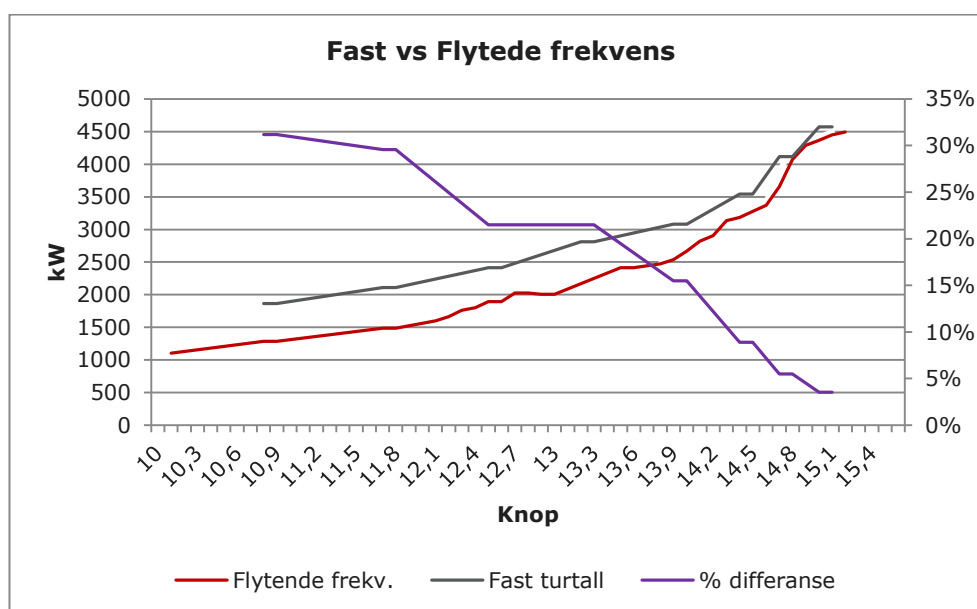
Figur 7: På ovenstående oppsett er ikke tap i elektrisk aksel (ca 10-15 %) tatt med på hybrid løsning, og heller ikke mekanisk tap i gir-aksling på ca. 3,5 %. Differanse effektforbruk hybriddrift, variabelt turtall og fast turtall.

Figuren viser at et fartøy med konvensjonelt dieselmekanisk fremdriftssystem med fast turtall som kan regulere fremdriftshastigheten ved endring av stigning på propellerbladene har et høyt effektbehov ved de fleste hastigheter foruten ved 14 knop. Ved redusert turtall som følge av

*flytende frekvens*, reduseres effektbehovet under fremdrift betraktelig ved lave hastigheter. Dette som følge av muligheten til å redusere hovedmotorens turtall og følgelig propellerturtallet samtidig med produksjon av elektrisk energi ved hjelp av akselgenerator. Systemet har en nedre grense for propellerturtall begrenset av hovedmotors nedre turtallsgrense. Under denne grensen må hastigheten reguleres ved å endre propellerstigning, noe som gir pitch-tap og dårligere effektivitet. Ved å benytte elektrisk framdrift med trinnløs regulering av propellerturtall i dette hastighetsområde kan dette pitch-tapet i stor grad reduseres. Denne funksjonen finnes i flere av de hybride løsningene som har kommet på markedet nylig og er en av grunnene til at hybride fremdriftsløsninger gir mer effektiv fremdrift i fiskefartøy.

### Ringnotfartøy med flytende frekvens

Vi gjorde også undersøkelser på et fartøy som hadde installert flytende frekvens. Fartøyet, en ringnotsnurper med trålkonsesjon på 75 meters lengde har etterinstallert flytende frekvens for å senke energiforbruket. Ved å sammenligne fartøyet med fast turtall og akselgenerator med flytende frekvens og akselgenerator fikk vi følgende kurve:



Figur 8: Differanse mellom flytende frekvens og fast turtall for et ringnotfartøy. Målingene er basert på faktisk forbruk målt om bord og med akselgenerator utkoblet slik at differansen kun representerer forskjellen mellom framdrift med fast og flytende frekvens.

I fartsområdet som er aktuelt for båten i de fleste tilfeller (12 knop) er differansen om lag 27 % og vi ser at kurven nærmer seg 30 % i de lavere hastigheter, helt i tråd med resultatene til Scana/Volda i forrige figur. Det er all grunn til å forutsette at et fartøy med hybrid fremdriftsløsning vil forbedre fremdriftseffektiviteten ytterligere i lavere hastigheter (eksempelvis under tilstanden *leting*). Vi har ikke hatt mulighet til å logge ringnotfartøy under fiske med DE-fremdrift med variabelt propellerturtall i prosjektperioden.

### Ringnotfartøy med DE-fremdrift og trinnløst turtall

Ringnotfartøyet Teigenes ble i 2005 bygget med dieselelektrisk fremdrift med trinnløst propellerturtall. Effektiviteten ved framdriften hevdes å være bedre for konvensjonelt drevne skip all den tid det er noe tap i DE-systemet på grunn av overføring av energi fra mekanisk til elektrisk energi. Sintefs rapport Logging om bord på MS "Teigenes" og MS "Gardar" av Morten Lønseth og Tord Hanssen fra 2005 konkluderer imidlertid med at Teigenes har mer effektiv fremdrift, mest

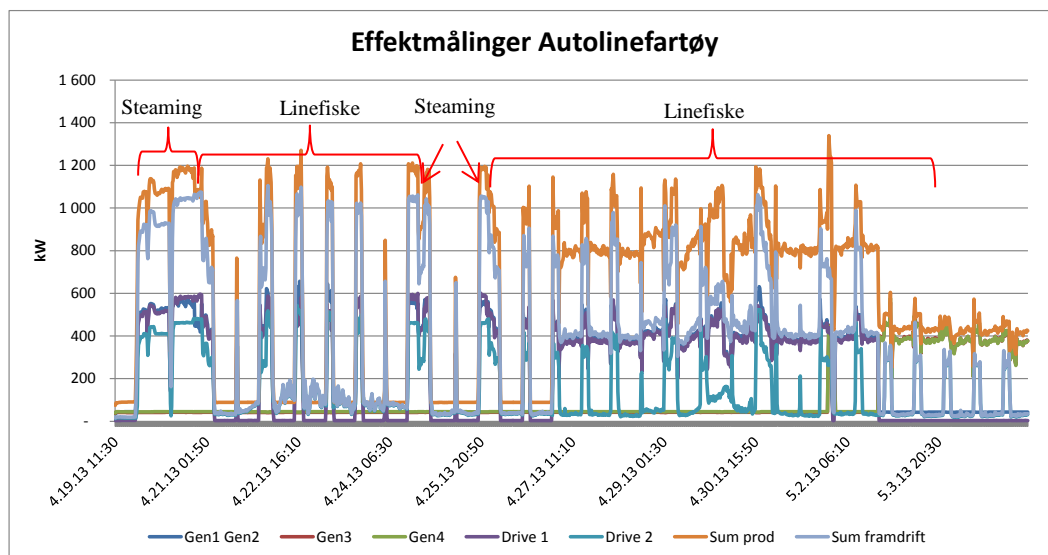
som følge av at det dieselelektriske fartøyet har muligheten til å tilpasse propellhastigheten slik at den er mest mulig effektiv under alle hastigheter, mens Gardar manglet denne muligheten. Tapet skyldes da pitch-tap.

Erfaringer med MS Teigenes tilsier en meget lav driftstid på hovedmotor. Fartøyets årlige driftstid er omkring 4080 timer. Av dette går hovedmotor kun omlag 670 timer årlig i snitt, mens de to store hjelpemotorene har omkring 2000 timer hver årlig. Tilsammen har fartøyet 7430 kW tilgjengelig kraft som kan fordeles mellom driftstøttefunksjoner og framdrift.

Sammenlignet med 10 fartøy i samme størrelsesorden med samme kvotegrunnlagfant vi at Teigenes har 22 % lavere energiforbruk under ringnotfiske og 3 % lavere energiforbruk under tråling etter pelagisk fisk.

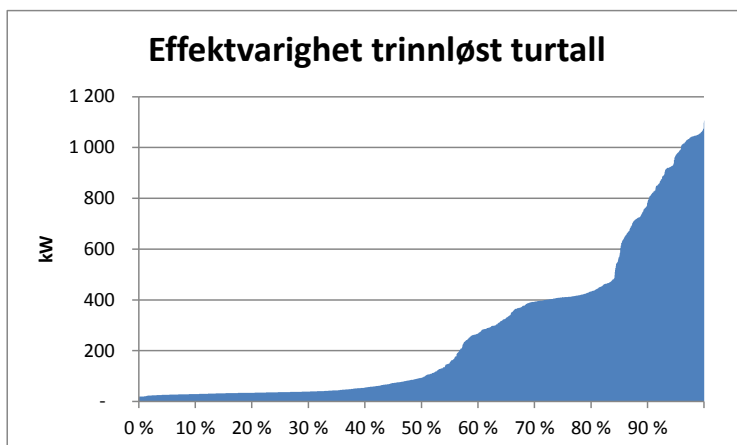
## Autolinefartøy med DE-fremdrift og trinnløst propellerturtall

Vi gjorde logger av en fiskesyklus (en tur på feltet) til et autolinefartøy med dieselelektrisk fremdriftssystem med variabelt turtall på propeller. Loggeren gav oss følgende bilde av elektrisk forbruk:



Figur 9: Effektmålinger autolinefartøy under fiske.

Vi ser av målingene over at det er meget store sprang i effektforbruket til autolinefartøyet. Høyt forbruk under forflytning og setting av line, lavt forbruk under haling av bruk. Hver periode representerer rytmen i linefiske: *setting*, *venting*, *haling*, *flytting*. Vi ser også tydelig at det er energi til framdrift som dominerer effekttoppene og det totale energiforbruket over tid.



Figur 10: Effektvarighetsskjema for DE-drevet fartøy med variabelt turtall.

Vi ser av kurven for effektvarighet for framdriftsmotorer for trinnløst turtall at også her finner vi "trinn" i effektvarighetskurven. Dette fartøyet har to elektromotorer på 800 kW som er trinnløst styrt og hvor det i perioder kun benyttes kun en motor. Fartøyet driftsform som autolinefartøy gjør at det ligger i en stor del av tiden med meget lavt forbruk til fremdrift (40-50 % av tiden) i forhold til fremdriftsmotorenes kapasitet. I 15 % av tiden benytter fartøyet begge fremdriftsmotorene, da under forflytning til/fra eller mellom fiskefelt. I perioder med godt vær ligger forbruk til fremdrift på det nederste trinnet fra 0 til ca 100 kW, mens fartøyet i perioder med dårlig vær har forbruk på mellom 100 til 450 kW til framdrift under fiske.

Vi sammenligner effektforbruket fra det loggede fartøyet mot et snitt av 13 andre fartøyer i samme fartøygruppe, dog ingen i samme størrelse som DE-fartøyet:

Effektbehov	Steaming	Setting	Haling	Ilandføring	Levering
Konv. kW	669	424	279	614	86
DE kW	942	795	445	942	86

Tabell 3: Effektbehov for gjennomsnittlig autolinefartøy sammenlignet med effektbehovet for det aktuelle fartøyet.

Ser vi på det årlige oljeforbruket til fartøyet ligger denne på 0,49 l/kg fisk mot gjennomsnittlig 0,259 l/kg fisk i denne fartøygruppen. Et annet DE fartøy i samme fartøygruppe, men noe mindre, har et oljeforbruk på omkring 0,324 l/kg fisk.

Av andre autolinefartøy i norske farvann finner vi to fartøy på samme størrelse, men hvor det ene fartøyet driver med DE-fremdriftssystem. Her viser målinger av fangst og oljemengde at fartøyet med DE-fremdriftssystem har 11 % lavere energiforbruk over året:

Fartøy	2011	2012	Snitt
	Effektivitet	Effektivitet	Effektivitet
Fartøy 67	0,380	0,366	0,373
Fartøy 103	0,342	0,324	0,333

Tabell 4: Sammenligning av oljeforbruk for to like store fartøy der det ene er DE-drevet og det andre DM drevet.

Vi har i samarbeid med Ervik Havfiske sammenlignet båten Argos Frøyanes med tilsvarende fartøy i tilsvarende fiske, Argos Helena. I korte trekk er erfaringen at det dieselelektriske drevne fartøyet er mer effektivt enn det konvensjonelle fartøyet under normale omstendigheter. Fartøyet har også fungert bedre og vært mer energibesparende enn hva som lå til grunn før anskaffelsen. I dårlig vær øker forbruket til det dieselelektriske fartøyet til samme nivå som det konvensjonelt drevne fartøyet. Vi har sammenlignet energiforbruket til de to fartøyene under fiske på samme felt, i samme periode, med omtrentlig samme fangst og hjemmehavn og funnet følgende:



Oljeforbruk ved fiske etter patagonisk tannfisk i Sørishavet			
Dieselegtrisk drift [L/døgn]	Konvensjonell drift [L/døgn]	Differanse [L/døgn]	Differanse [%]
3 316	4 045	729	18 %

Tabell 5 Differanse i oljeforbruk for fiske i samme tidsperiode og område.

Det er altså en gevinst på 18 % ved bruk av dieselegtrisk fremdrift under fiske etter patagonisk tannfisk, dette til tross for at dette fisket innebærer lange transportetapper, noe som i utgangspunktet ansees å være i dieselegtrisk ugunst.

For å kunne sammenligne driften med norske forhold har vi tatt med et fartøy som er lik i størrelse og som er søsterskipet til Argos Helena som drifter i Sørishavet. Dette skipet eies og driftes av et annet rederi. Energiforbruket i det norske linefisket antas å være lavere enn energiforbruket i det norske linefisket. Sammenligner vi Argos Helena og søsterskipet finner følgende differanse i forbruk:

	Fartøy 1 dieselegtrisk drift i Sørishavet	Fartøy 2 konvensjonell drift i Sørishavet	Fartøy 3 konvensjonell drift i norske farvann
Installert motoreffekt	1 658	2 570	2 570
Bruttotonnasje	1 425	1 500	1 500
Energiforbruk per døgn	3 316	3 970	3 338

Tabell 6: Sammenlignbare autolinefartøy med ulik drift og motorisering.

Av tabellen over kan vi se at fartøy nr 1 som drifter i Sørishavet har marginalt lavere energiforbruk enn et tilsvarende konvensjonelt fartøy, fartøy 3, som drifter i det mindre energikrevende fisket utenfor norskekysten.

Dette støtter opp om utsagn fra Ervik Havfiske om at fiske etter patagonisk tannfisk er mer energikrevende enn fiske på arter i norske farvann. Differansen er på omlag 19 %. Korrigerer vi oljeforbruket i henhold til denne differansen ville forbruket til Argos Frøyanes vært som følger i norsk linefiske:

	Fartøy 1 dieselegtrisk drift i Sørishavet	Fartøy 2 konvensjonell drift i Sørishavet	Fartøy 3 konvensjonell drift i norske farvann
Installert motoreffekt	1 658	2 570	2 570
Bruttotonnasje	1 425	1 500	1 500
Energiforbruk per døgn	2 686	3 216	3 338
Årlig forbruk 331 døgn	887 710	1 062 789	1 103 209
Årlig NOx-utslipp	27 997	30 721	25 816
Årlig energikostnad	4 882 404	5 845 339	6 067 650
Årlig NOx-kostnad	476 224	522 560	439 126
Sum Nox-og drift	5 358 628	6 367 899	6 506 776
Differanse Nox	15,8 %		
Differanse drivstoff	16,5 %		

Tabell 7: Her er fartøyene som drifter i sørishavet korrigerte for norske forhold med hensyn til energiforbruk og driftstype

Av Tabell 7 ser vi at fartøyet teoretisk sett kunne hatt ca 16,5 % lavere kostnader enn sammenlignbare fartøy i fiske i norsk farvann.

## Bunntålfiske med dielelelektrisk fremdriftssystem med variabelt propellerturtall

I skrivende stund har trålere med ren DE fremdrift nylig blitt satt i drift fra Havfisk ASA. Vi har ikke fått samlet inn noen konkret informasjon om disse fartøyene, men at de rapporteres velfungerende. Beregninger av DE-fremdriftssystem for bunntålere med *en* propeller og variabelt turtall basert på de data vi har i dag gir oss imidlertid følgende energibetraktning i forhold til konvensjonelle trålere med variabelt turtall og hjelpemotorer:

konv. oppsett		DE oppsett	
Oppsett	kW	Oppsett	kW
HVM	2538	HJM 1&2	2450
HJM 1&2	1200	HJM 3&4	550 x 2
HJM 3	450	HJM 2	1800
Akselgen	1459	Akselgen	2300

### Driftsprofil

Effektbehov	Steaming	Tråling	Ilandføringslevering	
Total kW	1480	2090	1480	200
El kW	291	590	291	200
Fremdrift kW	1189	1500	1189	

### SFOC konvensjonell fremdrift

Last HVM	58 %	59 %	58 %	0 %
HVM g/kWh	188	190	188	0
Last HJM	0 %	49 %	0 %	44 %
HJM g/kWh	0	225		250
Fordeling HVM	91 %	57 %	83 %	0 %
<b>Result. g/kWh</b>	<b>188</b>	<b>200</b>	<b>188</b>	<b>250</b>

### SFOC DE fremdrift

Last HVM				
g/kWh				
Last HJM	82 %	72 %	82 %	36 %
g/kWh	185	0	185	236
Fordeling HVM	0 %	100 %	0 %	0 %
<b>Result. g/kWh</b>	<b>183</b>	<b>193</b>	<b>183</b>	<b>236</b>

### Besparelse 1, forbedret SFOC ved DE

					SUM årlig
Forbedret SFOC	2 %	3 %	3 %	6 %	
Dager	18	290	18	11	336
Olje konv. Kg	116 550	2 907 540	116 861	13 200	3 154 151
Olje DE. kg	113 753	2 807 455	113 753	12 461	3 047 422
Red 1 i kg olje	2 797	100 085	3 108	739	106 729
Red 1 i %	2 %	3 %	3 %	6 %	3 %

### Besparelse 2, forbedret propellvirkningsgrad

					SUM årlig
Last	58 %	59 %	58 %	0 %	
Besparelse 2 i %	5,5 %	5 %	5,5 %	0 %	5,0 %
Besp. 2 i Kg olje	6 410	145 377	6 427	-	158 215
Tap virkningsgrad		10 %			-304 742
<b>Sum alle besparelser</b>					
Besp. 1 og 2 i kg	9 207 Kg	245 462 Kg	9 535 Kg	739 Kg	-39 798 Kg
Besp. totalt i %	8 %	8 %	8 %	6 %	-1 %

Tabell 8: Beregninger av trålfartøy med DE fremdrift. SFOC er spesifikt energibruk, g/kWh produsert energi.

Reduksjonen som følge av DE fremdriftssystem er i utgangspunktet beregnet til 9 %, men tap i omforming til og distribusjon av elektrisk energi utgjør omlag 10 %. Den totale reduksjonen blir dermed negativ med 1 %. Dette er imidlertid beregnet forbruk og kun reelle målinger vil kunne avsløre det faktiske reduksjonspotensialet.

Ut fra de innsamlede data ser besparelsene i praksis ut til å være som følger for hybriddrift med variabelt turtall:

Fartøygruppe	Reduksjon	Besparelser l/olje
Bunntåler	IG	IG
Ringnot	22 %	245 124 Kg
Kystnot	22 %	47 586 Kg
Autoline	17 %	117 920 Kg

Tabell 9: Reduksjon ved bruk av DE-fremdriftssystem i praksis. *Fartøygruppen bunntåler er ikke tatt med grunnet manglende datagrunnlag fra faktisk drift.*

## Fast turtall

Systemet med fast turtall er en rimeligere installasjon enn systemet med variabelt turtall på propeller og kan fungere effektivt dersom fartøyet forflytter seg med hastigheter som korresponderer med fremdriftssystemets optimale driftspunkter. Vi fant systemet i 4 kystnot/ringnotfartøy.

Felles for fartøyene under not eller snurrevadfiske er at de benytter en stor del av tiden til leting. I denne tilstanden benyttes sonarutstyr for å finne fisken og hastigheten ligger fra 8 knop og ned. I denne fasen virker det som om fartøyet med konvensjonell fremdrift har en stor fordel i forhold til fartøy med DE-fremdrift og fast turtall. DE-systemer med variabelt turtall ville derimot kunne være mer effektive enn konvensjonelle dieselmekaniske anlegg i denne fasen grunnet lavere pitch-tap. Under beregninger har vi brukt en driftsprofil basert på gjennomsnittlige tall for kystnotfiske:

Tilstand	døgn	% tid
Steaming	47	21 %
Leting	29	13 %
Fiske	15	7 %
Steaming m last	47	21 %
Levering	15	7 %
Kailigge	67	31 %
Sum	219	100 %

Tabell 10: Driftsprofil Kystnotfartøy

I våre undersøkelser fant vi tre fartøy med samme skrogdesign, hvorav to fartøy hadde fast turtall med 2 driftsmodi og et fartøy med konvensjonelt dieselmekanisk fremdriftssystem.

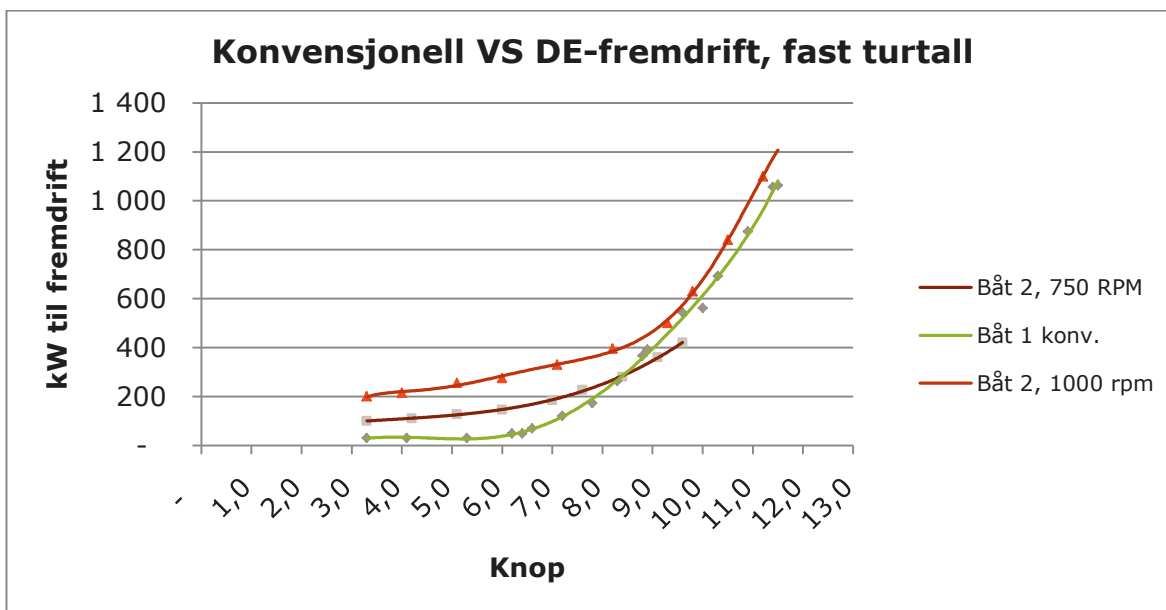
Som regel har disse fartøyene en *high mode* og en *low mode* hvor den første modusen er forbeholdt forflytning i frifart og den andre forbeholdt leting og fiske.

Vi har logget energiforbruket ved ulike hastigheter og har sett på hvordan fartøyenes energibruk til framdrift endrer seg med hastigheten. Vi har valgt ut 2 fartøy med samme skrog og utrustning:

Fartøy nr 1 har 750 kW konvensjonell dieselmekanisk framdrift.

Fartøy nr 2 har 1400 kW dieselelektrisk fremdrift med 2 modi: 750 RPM og 1000 RPM

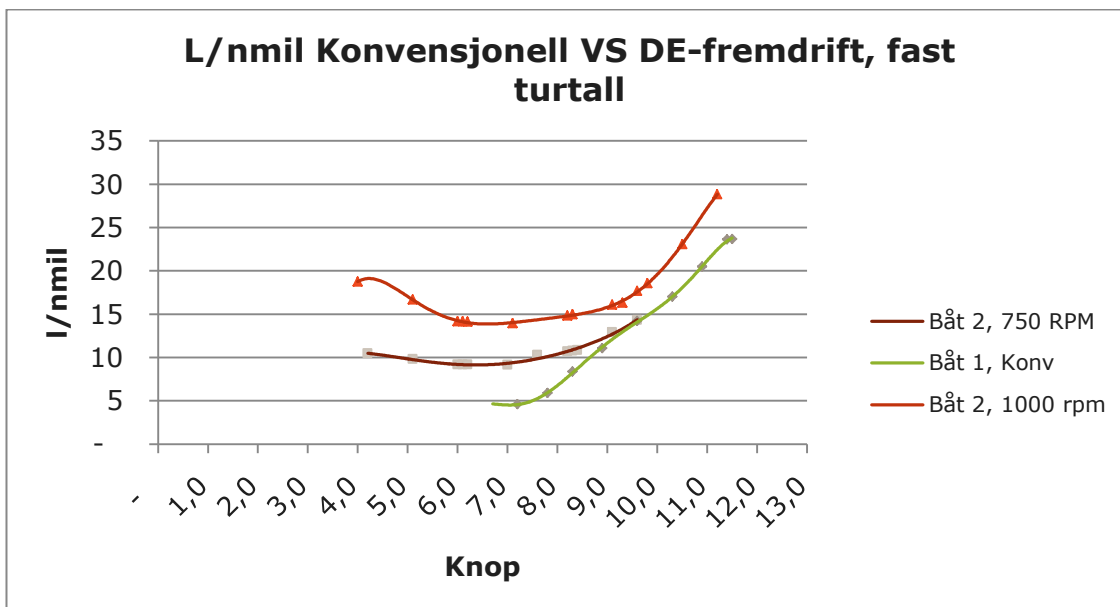
Fartøyene har tatt inn vann til kjøling og bunkers og er dermed delvis lastet, hvilket er normalttilstanden for disse fartøyene ved forflytning til fiskefelt under not/ snurrevadfiske.



Figur 11: Effektforbruk ved ulike hastigheter for 2 kystnotfartøy uten last.

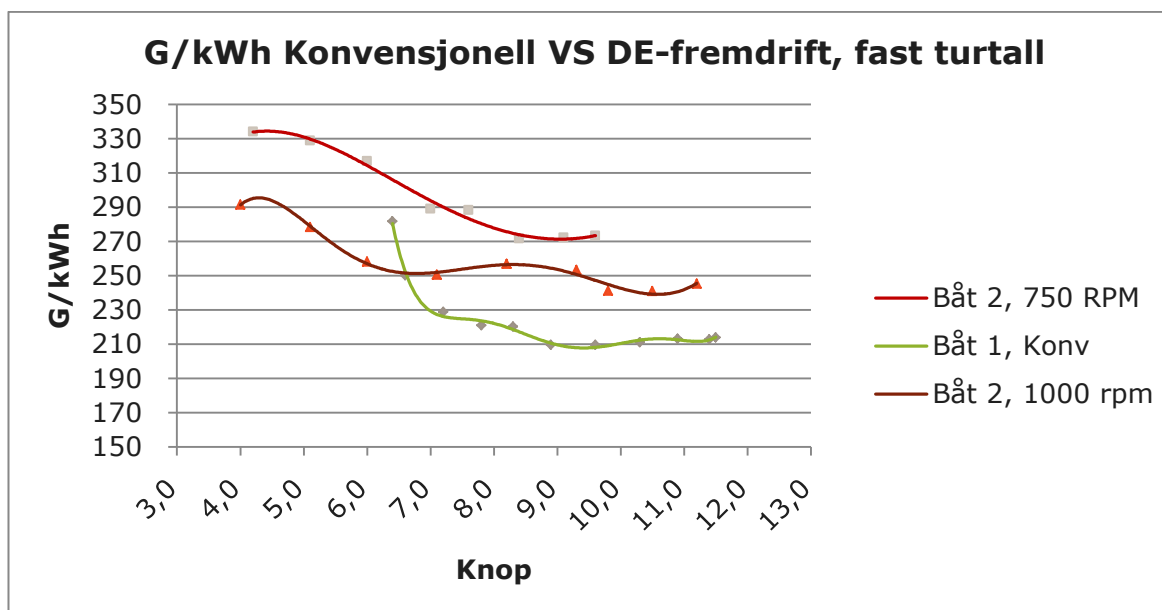
Kurven til fartøyet med konvensjonell fremdrift (båt 1 graf i ) er som forventet, mens det mest slående er forskjellen på modus 1,750 RPM og modus 2, 1000 RPM til fartøyet med 1400 kW fremdriftsmotor (båt 2 i ). Ved lave hastigheter er effektdifferansen på over 40 %, gradvis minkende mot 19 % ved 9,5 knop (maksimal hastighet for den laveste modus 750 RPM).

Men ser vi på fremdriftseffektiviteten, l/nmil, er bildet noe annerledes:



Figur 12: Sammenligning liter olje per nmil, konvensjonelt fartøy og DE-drevet fartøy

Nå ser vi at det er det konvensjonelle fartøyet som kommer best ut av sammenligningen med lavest forbruk over hele fartsregisteret. Det dieselelektrisk drevne fartøyet tangerer det konvensjonelt drevne fartøyet i modus 1, 750 RPM ved 9,5 knop. Dette henger sammen med effektiviteten i produksjonen av fremdriftsenergi for de to systemene:



Figur 13: Sammenligning energiproduksjon gram olje per kWh ved ulike hastigheter for konvensjonelt drevet og DE-drevet fartøy

Av Figur 13 ser vi at den store dieselmotoren i det konvensjonelt drevne fartøyet har lite effektiv energiproduksjon ved lave hastigheter, men desto bedre effektivitet ved større last/høyere hastighet. Det dieselelektrisk drevne fartøyet har mindre motorer som trinnvis startes ved økende last. Ved lav hastighet kan eksempelvis fartøyet drives av en motor som yter høy last og dermed oppnå en energiproduksjon som er bedre enn det konvensjonelt drevne fartøyet. De mindre motorene har likevel generelt sett en dårligere energiproduksjon enn den større hovedmotoren til fartøy 1 med omkring 2 % mellom 50 og 100 % last.

Pitch-tap utgjør en stor tapspost for alle fartøy med fast turtall og stor variasjon i fremdriftshastighet. Dette tapet gir seg større utslag ved lave hastigheter og mindre ved høye hastigheter og ved dimensjonerende hastighet for systemet utgjør tapet 0. I tillegg er det i DE-systemer alltid et tap ved omforming av energi fra mekanisk til elektrisk til mekanisk igjen som i de fleste tilfeller utgjør omkring 10 % fra generator til propell. Disse tapene sammen med tap som følge av dårligere energiproduksjon utgjør differansen mellom fartøyet med konvensjonelt fremdriftssystem og fartøyet med dieselelektrisk fremdriftssystem. Dermed kommer det konvensjonelle fartøyet bedre ut også ved lavere hastigheter enn det DE-drevne fartøyet.

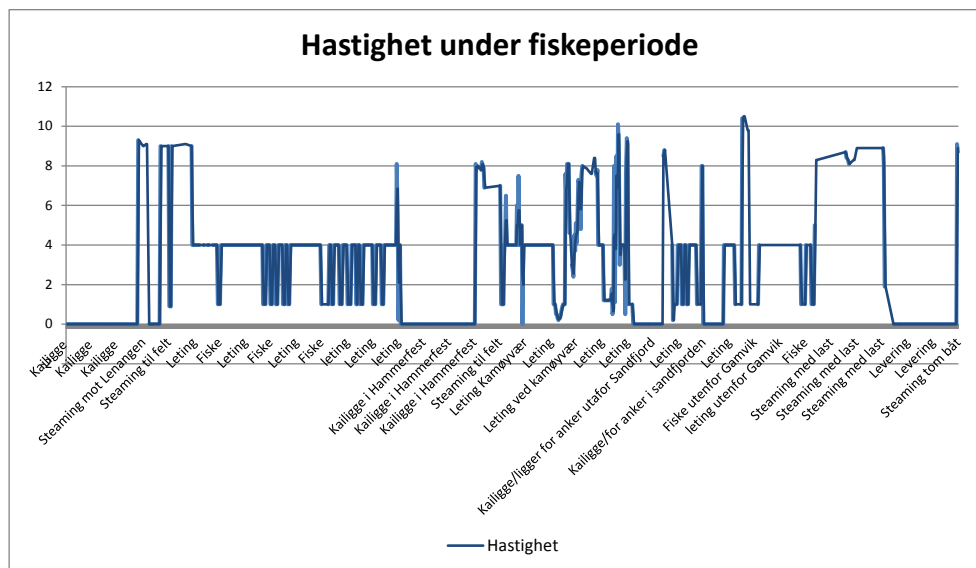
Ser vi nærmere på tapene i energiproduksjonen i båt 2 ser vi at energiproduksjonen er dårligere ved modus 1, 750 RPM enn ved modus 2, 1000 RPM (Figur 13). Likevel, grunnet mindre pitch-tap har båt 2 mer effektiv framdrift ved modus 1 enn ved modus 2 fram til 9,5 knop (Figur 12).

Det er altså mulig å oppnå store besparelser ved å benytte den laveste modus. Forskjellen i oljeforbruk pr utseilt distanse er 3,4 l/nmil eller 32 liter pr time. Sammenlignet med det konvensjonelt drevne fartøyet ser vi at ved om lag 9,5 knop har det dieselelektriske fartøyet i modus 1, 750 RPM, en like god framdriftseffektivitet som det konvensjonelt drevne fartøyet. Imidlertid er dette maksimal hastighet for modus 1. I modus 2, 1000 RPM, har det dieselelektrisk drevne fartøyet en høyere effekt til framdrift ved alle hastigheter. Ved lave hastigheter fra 9 knop og ned er differansen meget stor og vil representere en stor ekstraavgift i form av økt oljeforbruk for det DE-drevne fartøyet.

I lastet tilstand endrer kurvene seg ved at vannmotstanden får en økning ved en lavere hastighet. Dette har vi ikke loggede data på, men det er grunn til å tro at vi ser en tilnærmet lik utvikling i fremdriftseffektivitet (l/nmil).

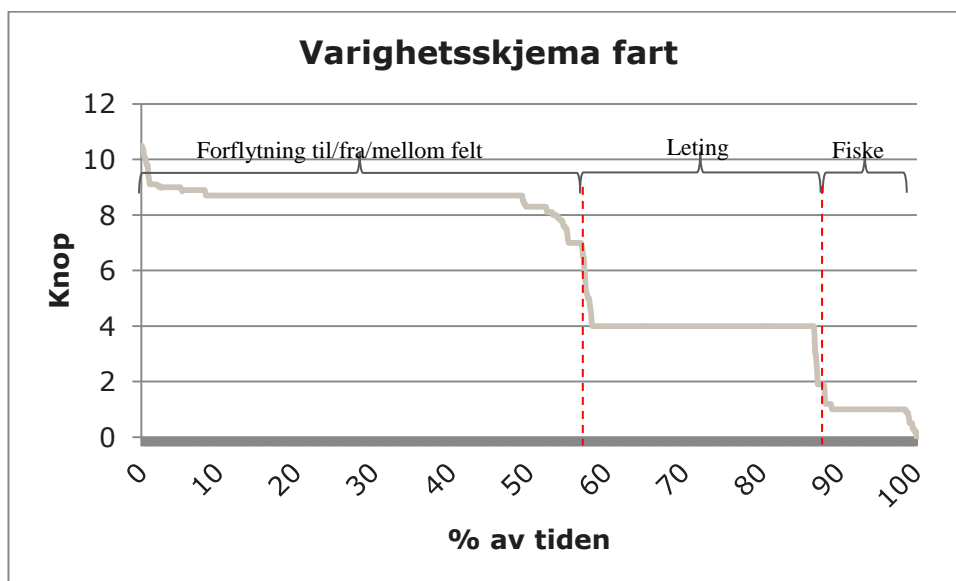
Disse resultatene må sees i lys av driftsprofilen for fartøyene for å kunne avgjøre differansen over året.

Ser vi på fartøyenes forflytning har de følgende hastighetsmønster i en 3 ukers periode under snurrevadfiske:



Figur 14: Hastighet under snurrevadfiske

Som vi ser har fartøyet lave hastigheter i store deler av tiden. Ser vi litt nærmere på dette kan vi med stor sikkerhet avdekke hvordan fordelingen mellom forflytning, leting og fiske er:



Figur 15: Varighetsskjema for fart under en fiskesyklus.

Et varighetsdiagram for fart i en fiskesyklus viser oss at fartøyet i 57-58 % av tiden er under forflytning til, fra eller mellom fiskefelt, mens 30 % av tiden går med til leting etter fisk. Selve fisket foregår i ca. 10 % av tiden.

Med utgangspunkt i denne fremdriftsprofilen går fartøyene med redusert fart i 30 % av tiden, mens de for øvrig enten fisker eller forflytter seg.

For å ha en formening om fartøyenes hastighet under forflytning har vi brukt ais-data over en periode for å finne en gjennomsnittlig fart.

Fartøy	Fartøy 1	Fartøy 2	Fartøy 3
Periode	20/9-27/11	5/10-29/10	14/5-26/11
	knop	knop	knop
Snitt	8,32	8,36	8,66

Tabell 11: Gjennomsnittshastigheter i en periode hvor fartøyene var aktive.

Ved å la de to fartøyene operere under samme hastighet kan vi sammenligne direkte hvor stor differansen i oljeforbruk blir over året:

Fartøy	Forflytning til/fra felt			Leting			Sum energi til Forflytning (l)
	Knop	l/t	Forbruk 94 døgn (l)	Knop	l/t	Forbruk 29 døgn (l)	
<b>Fartøy 2 750 RPM</b>	8,3	90	203 040	6,2	56,8	39 533	242 573
<b>Fartøy 2 1000 RPM</b>	8,3	126	283 128	6,2	87,6	60 940	344 068
<b>Fartøy 1 Konv.</b>	8,3	81	182 736	6,2	16,0	11 136	193 872

Tabell 12: Beregning av energi til forflytning for tre like fartøy

Differansen mellom konvensjonelt anlegg og DE anlegg med fast turtall er i denne sammenligningen 25 % (DE modus 1) og 43,7 % (DE modus 2) i favør konvensjonelt fremdriftssystem.

Av kurvene i Figur 12 ser vi at den mest energieffektive hastigheten for disse fartøyene er i området rundt 7 knop.

Konklusjonen ut fra disse funnene er at det tilsynelatende er et mer energieffektivt valg å bygge fartøy med konvensjonell fremdriftsløsning kontra dieselelektrisk med fast turtall i denne fartøygruppen.

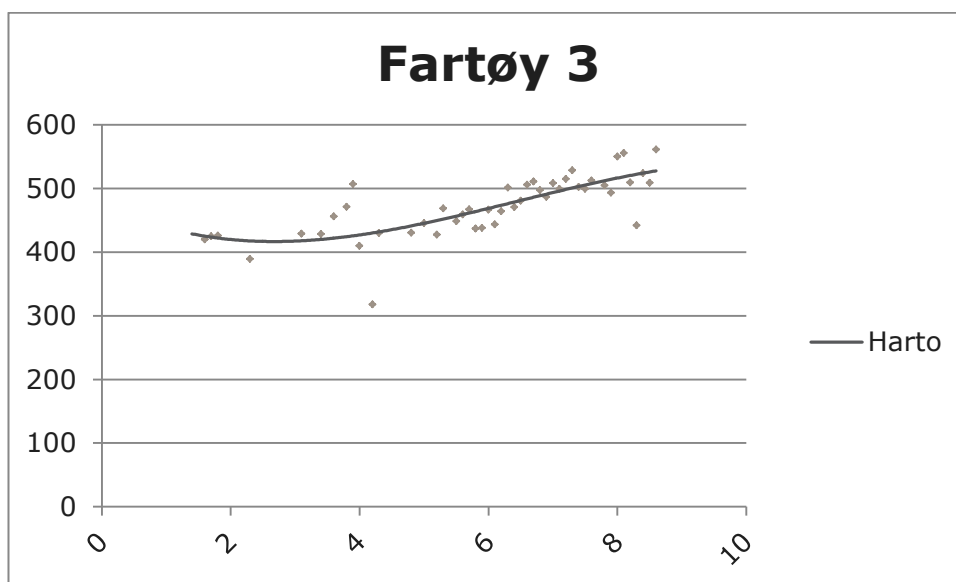
Som utgangspunkt er hastighet gjennom sjø brukt for beregningene

Det vil i praksis være påvirkning av vær og bølger som gjør at en ikke kan regne med å kunne holde den økte hastigheten, men dette vil være felles for alle fartøyene, også det konvensjonelle fartøyet.

## Logging av kystnotfartøy, 27 m. med fast turtall

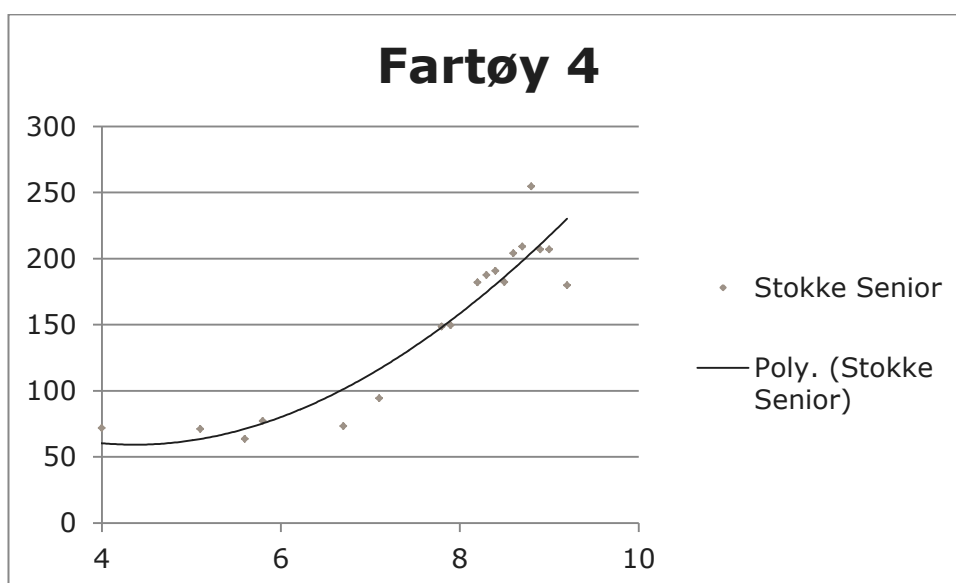
I dette prosjektet logget vi 4 fartøy med fast DE-fremdrift og fast turtall. 2 fartøy på 34 meter, som beskrevet tidligere, og 2 fartøy på 27 meter som vi omtaler under:

Fartøy 3, 27 m. Elektrisk fremdriftsmaskineri 2 trinn: 550 og 1100 kW



Figur 16: Logget effekt ved ulike hastigheter fartøy 3, 27 m.

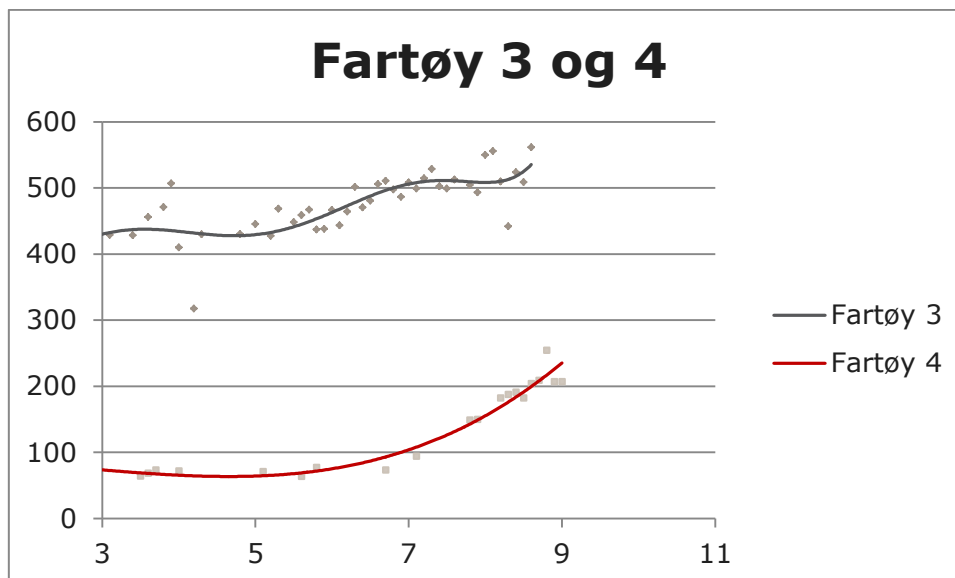
Fartøy 4, 27 m. Elektrisk fremdriftsmaskineri: 315 og 1100 kW



Figur 17: Logget effekt ved ulike hastigheter fartøy 4, 27 m.

Vi fant vi ut at det var store ulikheter i energi til fremdrift for de 2 fartøyene på 27 meter:

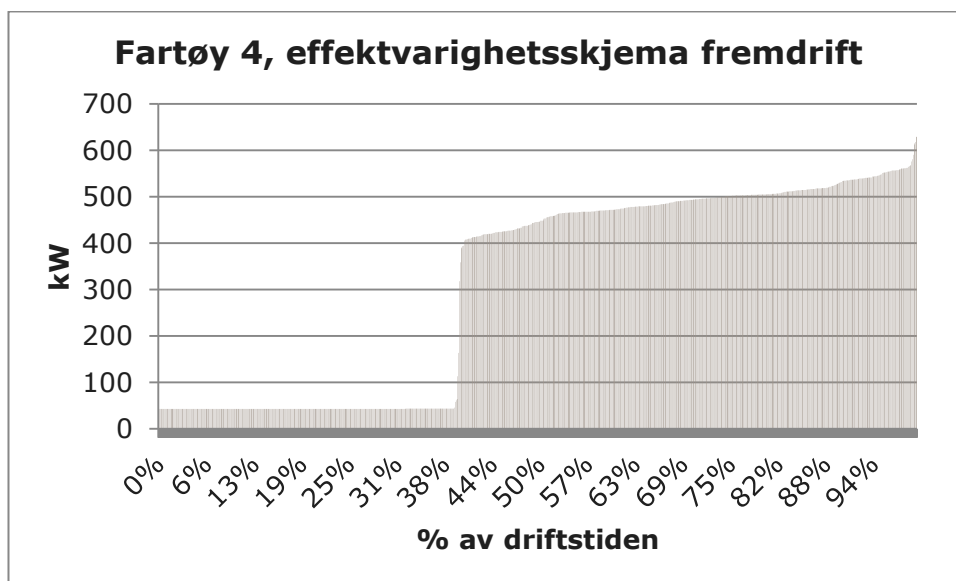




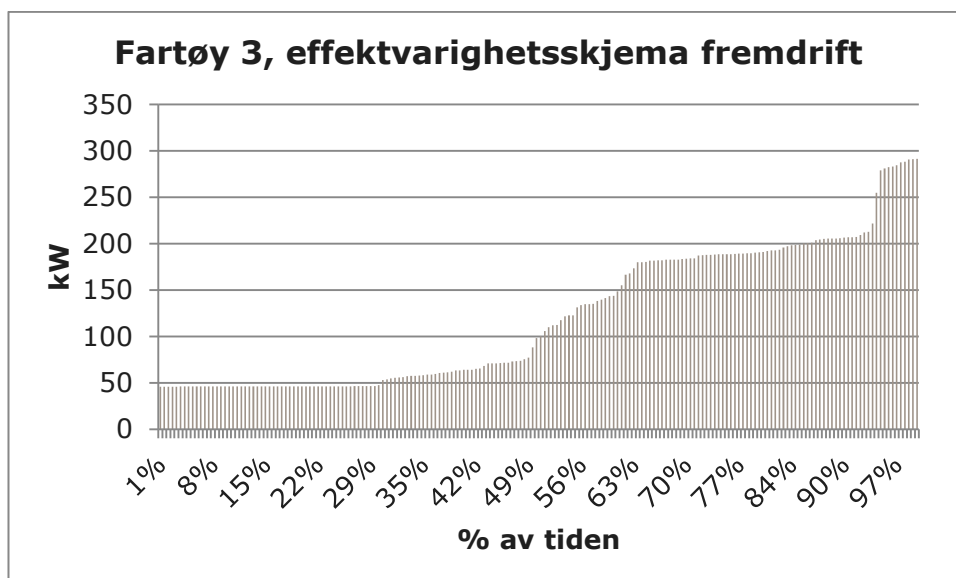
Figur 18: Sammenligning av fartøy 4 og fartøy 5, effekt til fremdrift.

Uten noen nøyere undersøkelser kunne vi ikke slå fast hva som forårsaket denne differansen. Imidlertid rapporterer eier av fartøy 3 et problem med kontrollanlegget til energiproduksjonen. Dette problemet forårsaket at generatorer som har vært i bruk i en energiintensiv periode ikke ble slått av igjen når det ikke var bruk for dem lenger. Dette forklarer imidlertid ikke det ekstra forbruket til fremdrift.

Effektvarighetsskjemaet viser at fartøy 3 bruker over 400 kW til fremdrift jevnt over:



Figur 19: Effektvarighetsskjema framdrift fartøy 4



Figur 20: Effektvarighetsskjema framdrift fartøy 4

I samtale med leverandør av fremdriftsanlegg bekrefter denne at dersom en ikke veksler mellom "high" og "low" modus, kan slike differanser oppstå. I dette tilfellet ved at det ene fartøyet bruker "high" modus i hele loggeperioden og det andre fartøyet benytter "low" modus under hele loggeperioden. Det er midlertid behov for nøyere undersøkelser av forbruket til disse fartøyene for å kunne si med sikkerhet hva som gir disse variasjonene.

## Hybrid framdrift

Ved hybrid framdriftsanlegg har fartøyet både en hovedmotor og flere generatorsett, ikke ulikt konvensjonelt utrustede fartøy.

Fartøy med hybrid fremdriftsanlegg har mulighet til å enten kjøre rent dieselmekanisk, rent dielelektrisk, eller en hybrid av disse. Tanken bak et slikt system er i utgangspunktet at fartøyet skal kunne kjøre dielelektrisk i perioder hvor krav til framdriftseffekt er lav. I tillegg skaper systemet økt sikkerhet ved at det er mulig å kjøre enten dielelektrisk eller dielelektrisk dersom det skulle oppstå feil. Etter hvert så man muligheten for å bruke en mindre hovedmotor, underdimensjonert i forhold til maksimalt behov for fremdrift for fartøyet under tråling. Men ved å benytte seg av elektrisk kraft fra generatoranlegget, kan hovedmotoren sammen med en elektromotor produsere nok framdriftseffekt for fartøyets maksimale behov.

Tidligere ble mange ringnotsnurpere bygget med meget stor motorkraft for å dekke behovet for framdriftseffekt under tråling med pelagisk trål. Dette fiskeriet driver fartøyene med i deler av året, noe som resulterte i at disse fartøyene i resterende deler av året drev fiske med hovedmotorer med stor overkapasitet. Disse motorene vil på lav last har en dårlig utnyttelse av den tilførte oljen. Ved å velge en hovedmotor som er mer tilpasset ringnotfiske er det mulig å oppnå en bedre utnyttelse av tilført brennolje.

Som regel er disse fartøyene dimensjonert slik at en kan kjørre dielelektrisk opp til en viss hastighet eller effekt før fartøyet må benytte hovedmotor til framdrift for å oppnå større hastighet.

En sammenligning av et fartøy med hybrid fremdriftssystem med konvensjonelt fremdriftssystem viser oss teorien bak hvordan et slikt system kan gi lavere energiforbruk:

Det er i utgangspunktet 3 momenter som utgjør reduksjonene.

## 1 Forbedret SFOC ved variabelt turtall:

Sammenligninger fast og variabelt turtall forbrenningseffektivitet Warsila 8L362						
Last	0 %	25 %	50 %	75 %	85 %	100 %
Fast turtall		224	193	183	182	185
Variabelt turtall		215	191	182	181	185
Differanse i %		4,02	1,04	0,55	0,55	0,00
Tap fast	18 %	10 %	1 %	0 %	0 %	0 %

Tabell 13: Forskjeller i SFOC ved variabelt og fast turtall.

Besparelsene ved variabelt turtall er størst ved lave laster og minker ved til null ved økende last.

- 2 Forbedret SFOC ved å fordele last på motorer slik at de hele tiden ligger i et gunstig lastområde for høy forbrenningseffektivitet.
- 3 Forbedret propellvirkningsgrad ved redusert propellerturtall ved lave hastigheter.

Ved å integrere disse forskjellene i en beregning av den totale SFOC (summen av både hjelpemotorer og hovedmotoren) finner vi at differansen blir betydelig:

konv. oppsett	Oppsett	kW	Hybrid oppsett	Oppsett	kW
	HVM	4810		HVM	4000
	HJM1&2	1200 x 2		HJM123	940 x 3
	Nødgen	500		Akselgen	2700

**Driftsprofil**

Effektbehov	Steaming	Leting	Ringnot	Tråling	Ilandføring levering		
Total kW	2134	696	1400	3200	2334	200	
El kW	200	300	1200	400	400	200	
Fremdrift kW	1934	396	200	2800	1934		
<b>SFOC konvensjonell fremdrift</b>							
Last HVM	40 %	8 %	4 %	58 %	40 %	0 %	
HVM g/kWh	200,00	250	350	188,00	200,00	0	
Last HJM	17 %	25 %	50 %	17 %	33 %	17 %	
HJM g/kWh	250	240	225	250	235	250	
<b>Result. g/kWh</b>	<b>205</b>	<b>246</b>	<b>243</b>	<b>196</b>	<b>206</b>	<b>250</b>	
<b>SFOC hybrid fremdrift</b>							
Last HVM	53 %	0 %	0 %	70 %	58 %	0 %	
g/kWh	190,00	-	0	181,00	188,00	0	
Last HJM	0 %	74 %	74 %	43 %	0 %	11 %	
g/kWh	0	182	182	183	0	193	
<b>Result. g/kWh</b>	<b>190</b>	<b>182</b>	<b>182</b>	<b>182</b>	<b>188</b>	<b>193</b>	
<b>Besparelse 1, forbedret SFOC ved hybriddrift</b>							Sum årlig
Forbedret SFOC	9 %	5 %	3 %	7 %	5 %	4 %	
Dager	31	19	10	26	19	16	105
Olje konv. Kg	327 236	76 482	83 638	392 233	215 045	19 568	1 114 202
Olje hyb. kg	303 757	56 656	62 680	364 681	196 256	15 106	999 136
Red 1 i kg olje	23 479	19 826	20 959	27 551	18 789	4 461	115 066
Red 1 i %	7 %	26 %	25 %	7 %	9 %	23 %	10 %
<b>Besparelse 2, forbedret propellvirkningsgrad</b>							Sum årlig
Tap virkningsgrad DE		9 %	9 %				
Last	40 %	8 %	4 %	58 %	40 %	0 %	
Besparelse 2 i %	23,5 %	50 %	90 %	0 %	23,5 %	0 %	17,2 %
Besp. 2 i Kg olje	71 383	23 229	50 770	-	46 120	-	191 502
<b>Sum alle besparelser</b>							
Besp.1 og 2 i kg	94 862 Kg	43 055 Kg	71 729 Kg	27 551 Kg	64 909 Kg	4 461 Kg	306 568 Kg
Besp. totalt i %	29 %	56 %	86 %	7 %	30 %	23 %	28 %

Tabell 14: Beregning av energireduksjoner med hybrid framdrift på ringnotfartøy.

Det er en teoretisk mulig besparelse på 28 % for et typisk ringnotfartøy med hybriddrift kontra et fartøy med variabelt turtall og hjelpemotorer. Systemet har i stor grad likheter med flytende frekvens, med den forskjell at en ytterligere besparelse kan oppnås ved reduksjon av propellerturtall under tilstanden *Leting* og *Steaming* med lave hastigheter.

De samme beregninger gjort på bunntål, kystnot og autoline gir også mulige besparelser alt etter driftstider og fartøystørrelser.

Fartøygruppe	Reduksjon	Besparelser
Bunntål	2 %	46 478 Kg
Ringnot	29 %	318 698 Kg
Kystnot	24 %	53 600 Kg
Autoline	31 %	214 905 Kg

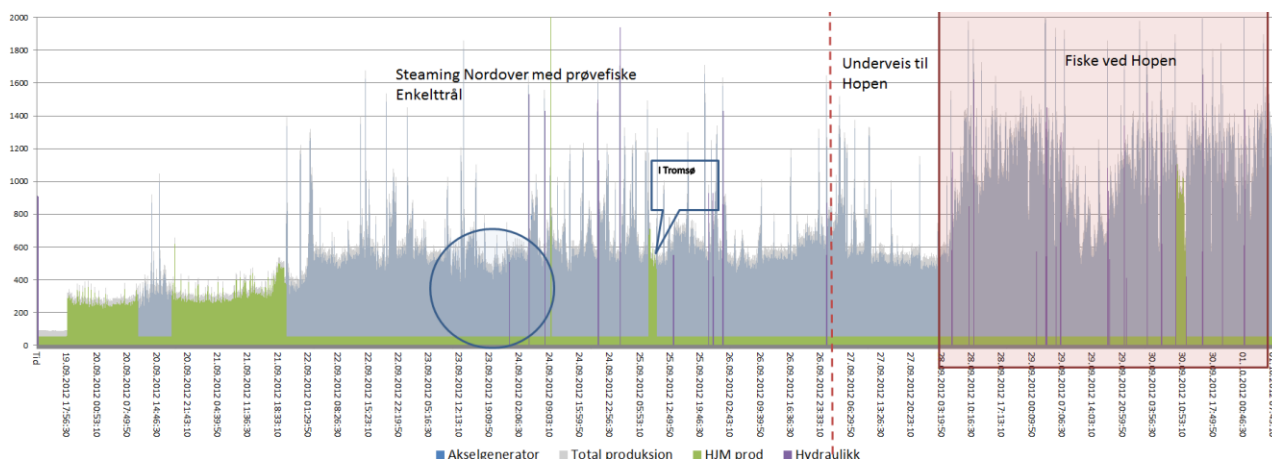
Tabell 15: Reduksjoner for ulike fartøygrupper som følge av hybrid fremdriftssystem.

Ut fra de *innsamlede* data ser besparelsene i praksis ut til å være 27 % for ringnotfartøy. Det er ikke fartøy i de andre fartøygruppene med disse tiltakene ennå.

Vi fikk logget tre fartøy med hybrid framdriftsanlegg i dette prosjektet. Fartøyene har mulighet til å kjøre med DE-fremdrift opp til en viss hastighet. Ved høyere hastigheter må disse bruke dieselmekanisk framdrift og hovedmotor. Det ene fartøyet var en bunntåler, mens de to andre fartøyene var ringnotfartøy. Fartøyet med bunntåler benyttet seg av DE-løsning ved forflytning over kortere avstander, i perioder hvor fartøyet måtte produsere unna fisk før det igjen kunne starte fiske og underveis til land for levering av fangst.

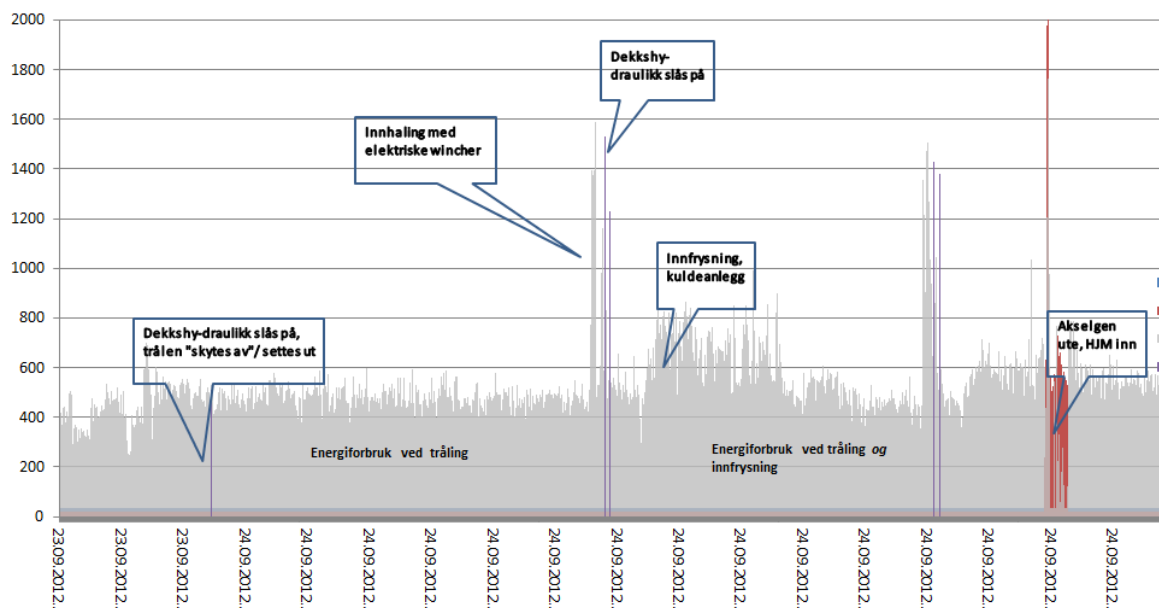
## Logging av en bunntåler med hybrid fremdriftssystem

Det elektriske forbruket ble målt ved hjelp av loggere.



Figur 21: Elektrisk effektforbruk (KW) under fiske for fartøyet i september 2012. Grønne felter markerer bruk av hjelpemotor, mens grå felter markerer bruk av akselgenerator. Lilla streker markerer innslag av hydraulikkanlegg, -avskyting og haling.

Som kurven med loggedata viser var fartøyet i flere energitilstander under den aktuelle perioden. For å avklare hvorvidt fartøyet fisket ble det installert en logger på hydraulikkanlegget. Denne loggeren fungerer kun som en indikator på når fartøyet fisket og skal ikke ses på som reelle verdier for energibruken til hydraulikkanlegget.



Figur 22: Energiforbruk under magert fiske utenfor kysten av Nordland. Målt i kW.

Muligheten for å gjøre logginger av framdrift var begrenset til de perioder fartøyets krav til framdrift var så lave at denne kunne besørges av hjelpemotorene. Dette inntraff i kun meget begrensede perioder.

Under første del av turen (grønn kurve til venstre på x-aksen i Figur 22) går fartøyet på hjelpemotorer og altså dieselelektrisk, slår over på hovedmotor og akselgenerator og så tilbake til hjelpemotor. Dette er testing av systemet mens fartøyet er på vei nordover.

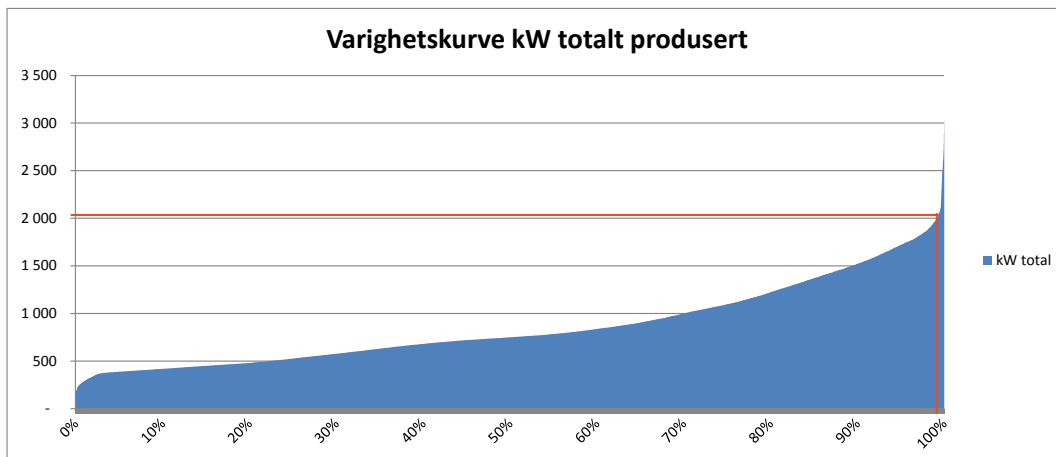
På kvelden den 21/9. slås det over på kun akselgenerator drift, hovedmotor høyere hastighet for rask forflytning.

Fartøyet starter prøvofiske 23/9. kl 23:53 (der hvor det er en ring i Figur 22). Dette fortsetter underveis nordover, også etter fartøyet var innom Tromsø en uke etter.

Under fiske ved Hopen har det meste foregått mens hovedmotor og akselgenerator har stått for energiforsyningen bortsett fra en kort periode hvor hjelpemotoren har vært inne.

Dette er altså det totale elektriske energibruket til båten i perioden og en ser tydelig at det er skiller mellom energibehov for ulike tilstander. Snittforbruket under steaming uten last ser ut til å være 254 kW, selv om det er en del effektopper innimellom. Snittforbruket under steaming med last viste seg å være 415 kW (steaming mellom Bjørnøya og Hopen)

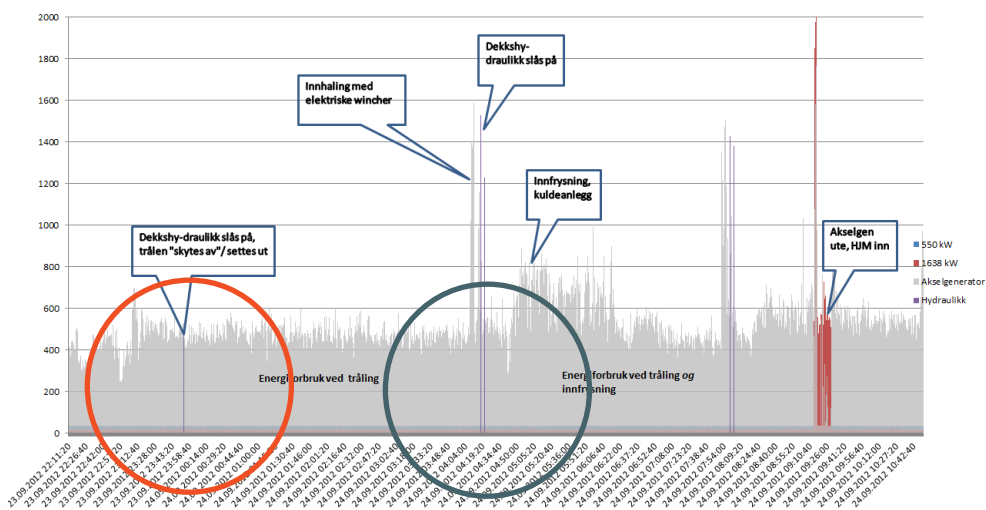
Under fiske ved Hopen er det et klart høyere energibehov og snittforbruket her er 615 kW. Ser vi på varighetskurven for effekt ser vi at effekten ligger under 2000 kW i 98 % av tiden.



Figur 23: Varighetskurve for bunntråder. Målt i kW.

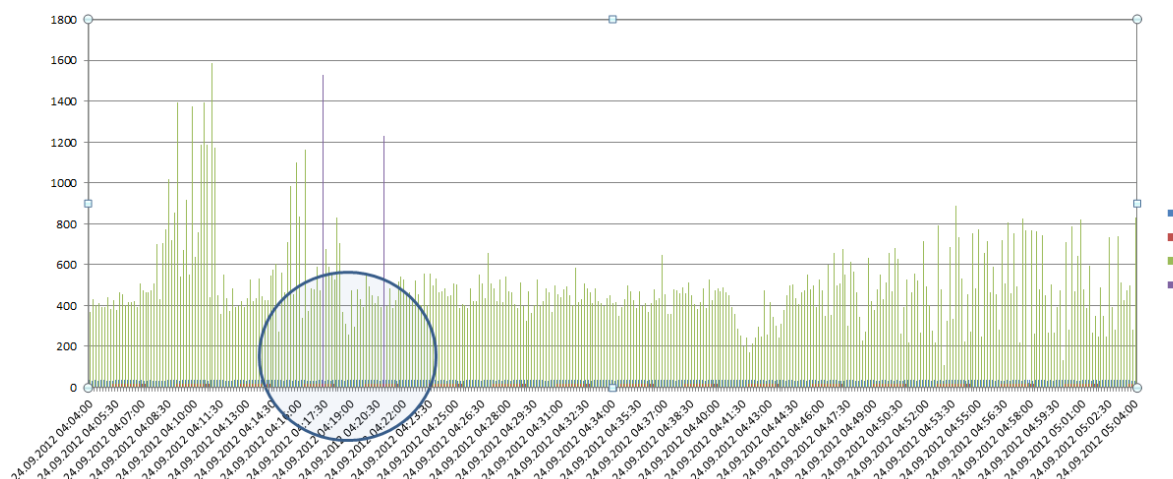
Varighetskurven tilsier at høye effekter inntre i relativt korte perioder. Dekning av denne høye effekten tas opp i generatorsystem, mulig med den følge at generatorer går unødig. En løsning med kondensatorbatterier eller batteri kan kanskje avhjelpe dette.

Dersom vi forstørrer opp et lite område av driftskurven kan vi se nærmere på enkeltregistreringene:



Figur 24: Detaljert utsnitt av et trålhal. Målt i kW.

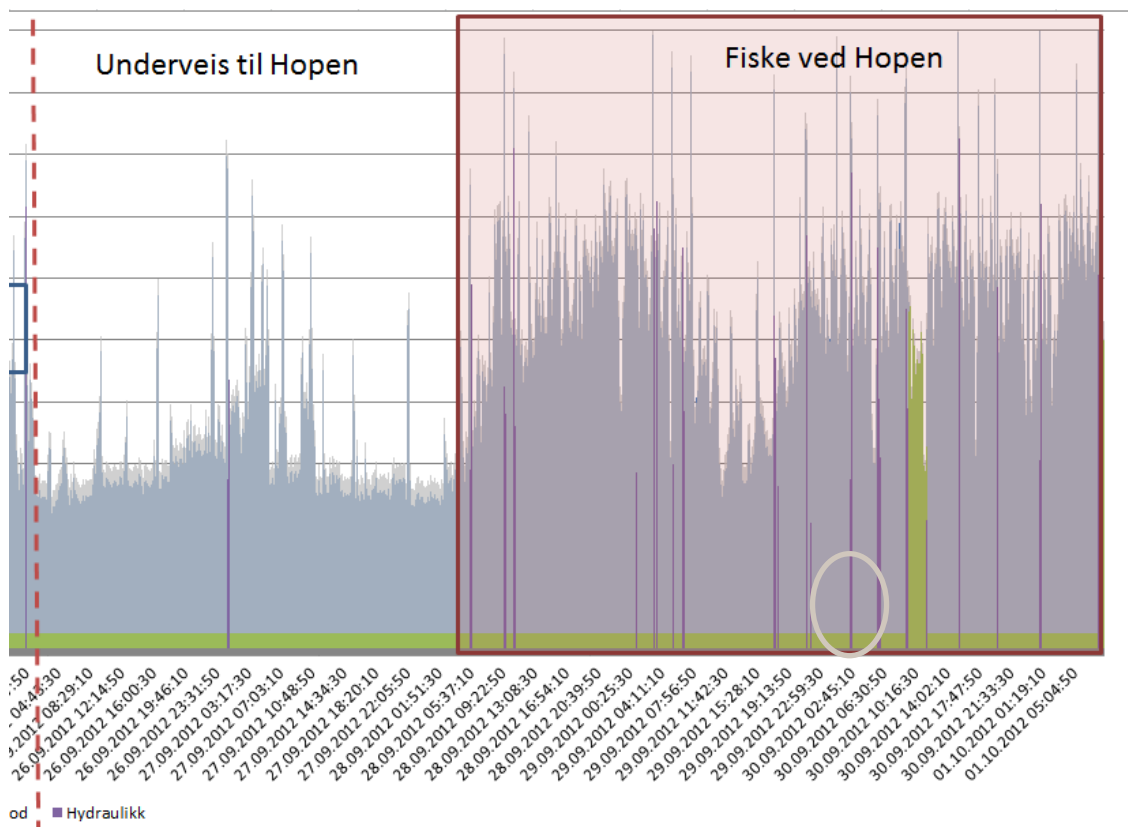
Av Figur 24 ser vi at trålen settes ut rundt kl 23:30 (rød ring) og innhal foregår omlag 4-5 timer etterpå (blå ring). Deretter starter kuldeanlegget innfrysning av fangsten og tråling til det hele gjentar seg om lag 4 timer senere.



Figur 25: Detaljert utsnitt av trålhal. Målt i kW.

Forstørrer vi målingene enda mer ser vi at totaleffekten ligger jevnt over rundt 4-500 kW med enkelte islett av registreringer helt opp til 2000 kW. At disse høye registreringene skjer like før trålhal er en klar indikasjon på at det er innhalervinsjer som forårsaker toppene. Innhalervinsjene på dette fartøyet er elektriske.

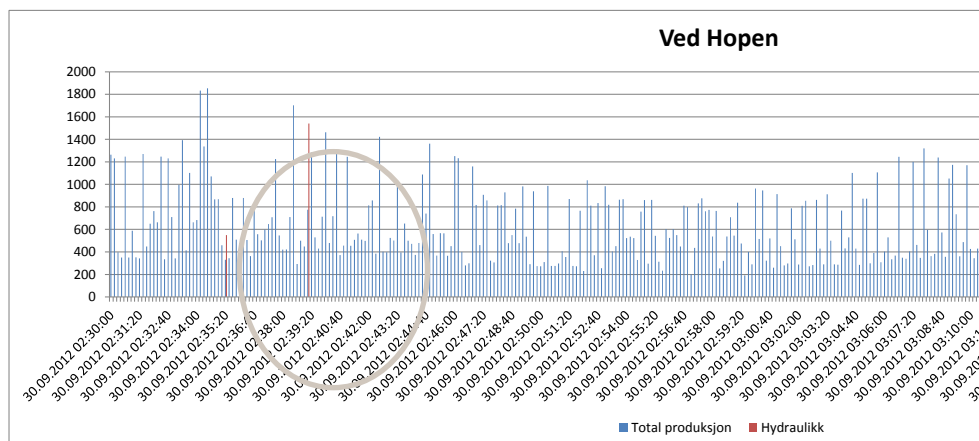
Tar vi for oss registreringene gjort når fartøyet fisket rundt Hopen, ser vi at energiforbruket blir mye høyere (Figur 26).



Figur 26: Effektforbruk under fiske ved Hopen.

Går vi inn i dataene ser vi at grunnlasten er som før, rundt 400 kW, men de høye effekttoppene kommer oftere, men er fortsatt av kort varighet.





Figur 27. Effektforbruk under fiske ved hopen. Målt i kW.

Dette skyldes et mer intensivt fiske hvor vinsjer og kuldeanlegg slår inn og ut og er de store energibrukerne.

## Totalt forbruk

Total forbrukt oljemengde i perioden var 267 m<sup>3</sup>. Av dette gikk 80 m<sup>3</sup> til elektrisk forbruk, altså 30 % av total energi. Uten å kunne si eksakt hvor mye olje som har gått til fremdrift ved ulike tilstander, men basert på Chiefens forklaringer har vi fått følgende fordeling av energi for fartøyet i perioden:

	Steaming	Tråling1	Tråling2	Steaming m.l. Levering	SUM	
El effekt [kW]	254 kW	506 kW	615 kW	415 kW	300 kW	
El oljeforbruk [l/time]	56 L	112 L	127 L	92 L	97 L	
Tot. oljeforbruk [l/time]	250 L	487 L	537 L	250 L	97 L	
Tot. oljeforbruk [l/døgn]	6 000 L	11 688 L	12 888 L	6 000 L	2 339 L	
Olje til fremdrift [l/time]	194 L	375 L	410 L	158 L	0 L	
Olje til fremdrift [l/døgn]	4 647 L	8 995 L	9 834 L	3 794 L	0 L	
Mekanisk effekt [kW]	874 kW	1 691 kW	1 980 kW	713 kW	0 kW	
Σmek. og el. effekt [kW]	1 128 kW	2 198 kW	2 594 kW	1 128 kW	300 kW	
Antall døgn	5	10	7	5	6	33
Energi [kWh]	135 376 kWh	527 424 kWh	435 822 kWh	135 376 kWh	43 200 kWh	1 277 197 kWh
Olje til el. prod./tilst. [l]	6 765 L	26 927 L	21 375 L	11 029 L	14 033 L	80 129 L
% last motor	25 %	49 %	58 %	25 %	18 %	35 %
Olje totalt	30 000 L	116 880 L	90 216 L	30 000 L	0 L	267 096
<b>Olje til el. prod.</b>	<b>23 %</b>	<b>23 %</b>	<b>24 %</b>	<b>37 %</b>	<b>100 %</b>	<b>30 %</b>

Tabell 16: Oversikt over energi-og oljeforbruk for hele loggeperioden.

Da store deler av turen var prøvefiske har vi isolert verdiene for perioden der fartøyet drev normalt fiske og fått følgende energifordeling for normalt fiske:

	Steaming	Tråling1	Tråling2	Steaming m.l. Levering	SUM	
El effekt [kW]	358 kW	637 kW	864 kW	583 kW	300 kW	
El oljeforbruk [l/time]	79 L	141 L	179 L	129 L	97 L	
Tot. oljeforbruk [l/time]	273 L	516 L	589 L	287 L	97 L	
Tot. oljeforbruk [l/døgn]	6 552 L	12 384 L	14 136 L	6 888 L	2 339 L	
Olje til fremdrift [l/time]	194 L	375 L	410 L	158 L	0 L	
Olje til fremdrift [l/døgn]	4 650 L	8 997 L	9 843 L	3 787 L	0 L	
Mekanisk effekt [kW]	874 kW	1 692 kW	1 981 kW	712 kW	0 kW	
Σmek. og el. effekt [kW]	1 232 kW	2 328 kW	2 845 kW	1 295 kW	300 kW	
Antall døgn	5	10	7	5	6	
Energi [kWh]	147 830 kWh	558 831 kWh	478 024 kWh	155 411 kWh	43 200 kWh	1 383 297 kWh
Olje til el. prod./tilst. [l]	9 512 L	33 866 L	30 053 L	15 507 L	14 033 L	102 972 L
% last motor	27 %	52 %	63 %	29 %	18 %	38 %
Olje totalt	32 760 L	123 840 L	98 952 L	34 440 L	14 033 L	304 025 L
<b>Olje til el. prod.</b>	<b>29 %</b>	<b>27 %</b>	<b>30 %</b>	<b>45 %</b>	<b>100 %</b>	<b>34 %</b>

Tabell 17: Oversikt over energi- og oljeforbruk for normalt fiske.

Energiforbruket over året med 330 fiskedøgn kan på bakgrunn av dette beregnes til:

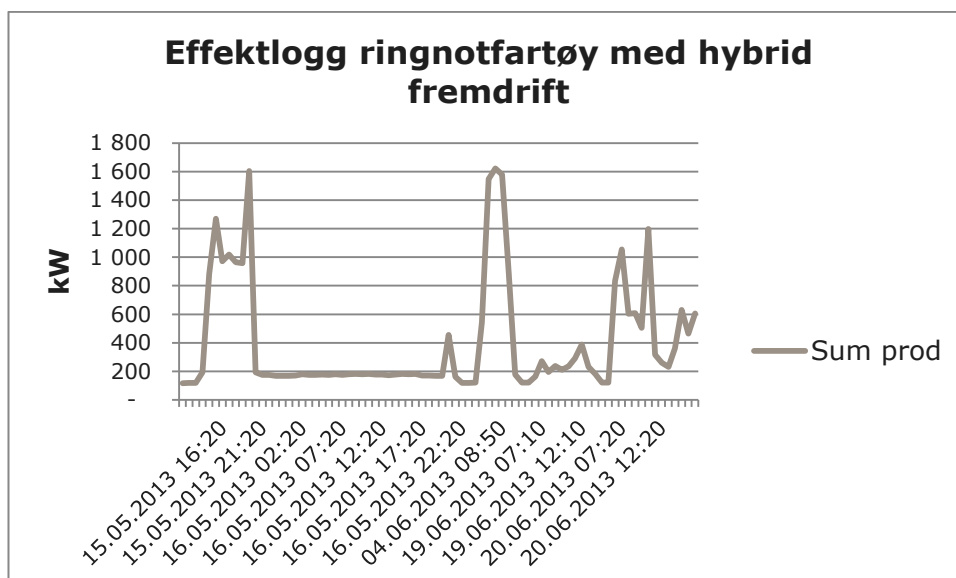
	Steaming	Tråling1	Tråling2	Steaming m.l. Levering	SUM	
El effekt [kW]	254 kW	637 kW	864 kW	583 kW	300 kW	
El oljeforbruk [l/time]	56 L	141 L	192 L	129 L	66 L	
Tot. oljeforbruk [l/time]	273 L	516 L	589 L	287 L	97 L	
Tot. oljeforbruk [l/døgn]	6 552 L	12 384 L	14 136 L	6 888 L	2 339 L	
Olje til fremdrift [l/time]	217 L	375 L	410 L	158 L	0 L	
Olje til fremdrift [l/døgn]	5 199 L	8 997 L	9 843 L	3 787 L	0 L	
Mekanisk effekt [kW]	978 kW	1 692 kW	1 981 kW	712 kW	0 kW	
Σmek. og el. effekt [kW]	1 232 kW	2 328 kW	2 845 kW	1 295 kW	300 kW	
Antall døgn	50	100	70	50	60	
Energi [kWh]	1,48E+06	5,59E+06	4,78E+06	1,55E+06	4,32E+05	1,38E+07
Olje til el. prod./tilst. [l]	67 652 L	338 658 L	321 735 L	155 074 L	95 734 L	978 852 L
% last motor	27 %	52 %	63 %	29 %	18 %	38 %
Olje totalt	327 600 L	1 238 400 L	1 059 329 L	344 400 L	95 734 L	3 065 462 L
<b>Olje til el. prod.</b>	<b>21 %</b>	<b>27 %</b>	<b>30 %</b>	<b>45 %</b>	<b>100 %</b>	<b>33 %</b>

Tabell 18: Beregnet oljeforbruk for fartøyet årlig.

Sammenlignet med andre bunntrålere som i 2012 i snitt brukte 0,268 liter olje/ kg fisk i snitt bruker dette fartøyet i 2013 0,338 liter olje pr kg fisk og altså 26 % over snittet for tilsvarende konvensjonelt drevne fartøy.

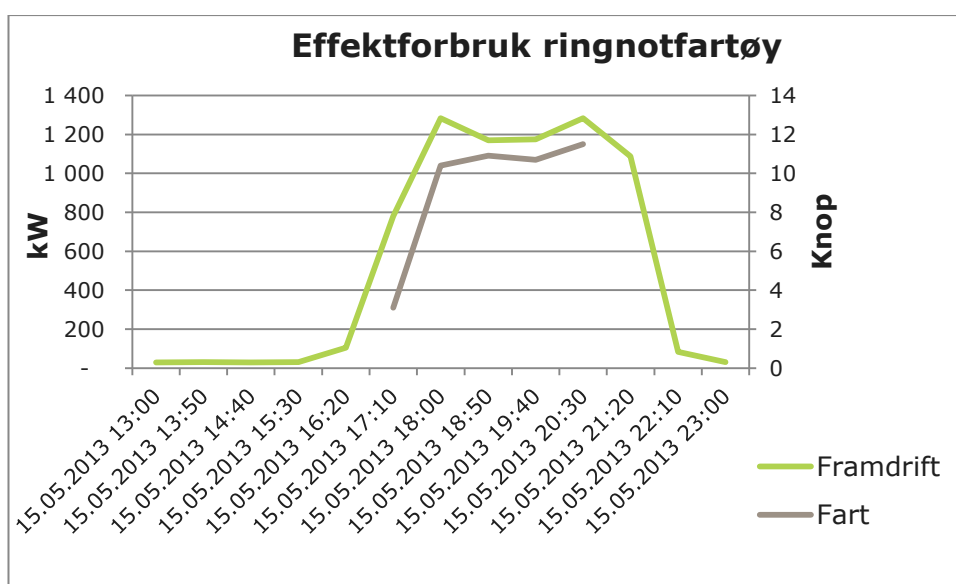
## Logging av et større ringnotfartøy

Vi satte loggere om bord et større ringnotfartøy på om lag 80 m som av ulike grunner ikke kom i fiske under loggeperioden. Loggedataene viser dermed bare oppstart med DE-fremdrift inntil fartøyet oppnår høyere hastighet enn 11 knop, hvor fartøyet går over til å kjøre dieselmekanisk. Loggedataene viser også generelt forbruk i fartøyet under forflytning, altså 200 kW.



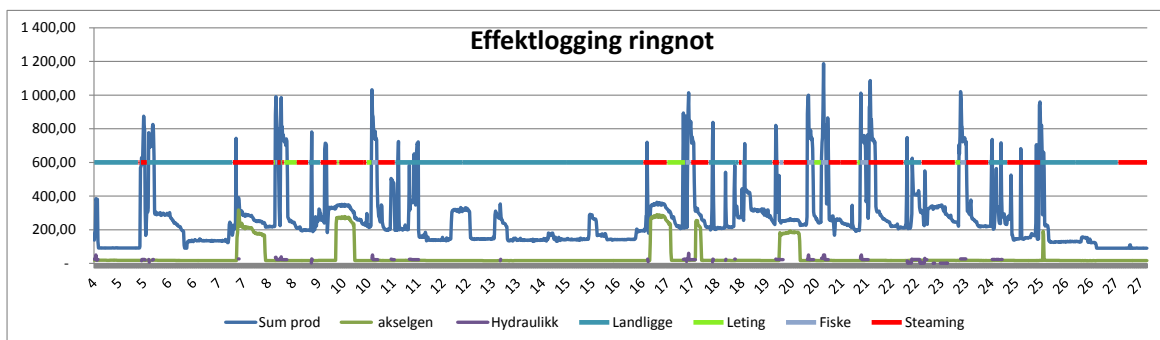
Figur 28: Logget elektrisk forbruk for et ringnotfartøy under forflytning mellom to havner.

Ved 11 knop ligger forbruket til elektrisk framdrift på 1100-1200 kW



## Logging av et mindre ringnotfartøy med hybrid fremdriftsløsning

Vi gjorde logger av et mindre ringnotfartøy under fiske etter makrell. Fartøyet har en hybridløsning som tillater DE-drift kun ved fast turtall.



Figur 29: Fartøy med hybrid fremdrift under makrellfiske

Vi oppdaget at fartøyet ikke benyttet seg av DE-løsningen under fisket etter makrell, men at fartøyet under steaming konsekvent benyttet seg av akselgenerator. Under leting og fiske benytter fartøyet imidlertid generatorer til produksjon av elektrisitet.

En analyse av loggen viser følgende effekter, laster og oljeforbruk over en 15-dagers periode:

Tilst.	kW	døgn	kWh el	Last gen1	Last gen2	Last a.gen	Olje til EL	Olje til frai	Sum Olje
Steaming	300	1,9	13 795	34 %	41 %	122 kW	3 338	10 571	13 910
Leting	337	1,5	12 415	35 %	40 %	92 kW	3 455	4 235	7 690
Fiske	769	0,3	5 751	57 %	66 %		1 461	543	2 004
St.m.last	349	1,3	10 827	34 %	44 %	38 kW	3 013	8 259	11 272
Levering	220	2,1	10 969	32 %	34 %		3 053	0	3 053
Landligge	91	7,9	17 342	19 %	23 %		4 451	0	4 451
<b>SUM</b>		<b>15,1</b>	<b>71 100</b>				<b>18 772</b>	<b>23 608</b>	<b>42 380</b>

Tabell 19:fordeling av energi for et hybrid ringnotfartøy under en 15-dagers periode med makrellfiske

Oljeforbruket i perioden ble målt og var på 42 m<sup>3</sup>. Loggen viser at generatorene går med lav last i store deler av tiden og det ville vært mulig å gjøre noen besparelser ved å la akselgenerator ta større last i flere av tilstandene. Et overslag over mulig besparelse over disse 15 dagene viser oss at besparelsene kan bli som følger:

Tilst.	kW	Last gen1	Last gen2	Last a.gen	Olje til EL	Olje til frai	Sum Olje	Reduksjon
Steaming	300	0 %	0 %	300	3 171	10 571	13 743	-167
Leting	337	0 %	0 %	337	3 005	4 235	7 239	-451
Fiske	769	36 %	56 %		1 461	543	2 004	-
St.m.last	349	0 %	0 %	349	2 489	8 259	10 748	-524
Levering	220	32 %	33 %		3 053	-	3 053	-
Landligge	91	21 %	22 %		4 451	-	4 451	-
<b>SUM</b>	-				<b>17 631</b>	<b>23 608</b>	<b>41 238</b>	<b>-1 142</b>

Tabell 20: Reduksjon av oljeforbruk ved mer effektiv energiproduksjon.

Det vil være mulig å redusere det totale oljeforbruket med om lag 2,8 % eller olje til elproduksjon med 6,4 % ved å overføre mer av det elektriske energiforbruket til akselgenerator. Fartøyet vil kunne oppnå enda større reduksjon dersom akselgenerator kunne forsyne båten med elektrisk kraft under variabelt turtall og dersom fartøyet benyttet muligheten til å kjøre DE i perioder med lav last på hovedmotor, eks. under leting.

Oljeforbruket var 0,14 l olje/kg fisk. Mot benchmarktall for kombinert not- og trålfiske på 0,089 l/kg ligger båten 57 % over snittet hva gjelder oljeforbruk.

## Ringnotfartøy med hybrid fremdriftssystem

Vi har også innhentet data for et fartøy som vi ikke har logget med effektloggere. Fartøyet er et ringnotfartøy med hybrid fremdriftssystem og har mulighet til å kjøre ren DE, eller produsere elektrisk kraft med akselgenerator ved variabelt turtall.

Forbruket under pelagisk tråling lå på 0,043 l/kg fangst. Benchmarktall for 2013 for pelagisk trål var 0,108 l/kg fangst. Differansen er på hele 60 %. En stor del av denne besparelsen skyldes ny trålteknologi hvor trålen trekkes med lavere motstand gjennom vannet.

Forbruket under notfiske lå på 0,067 l/kg mot benchmark på 0,084 l/kg, en differanse på 21 %.

I sum lå dette fartøyet med et forbruk på 36 % lavere enn gjennomsnittet for 10 andre fartøy i samme størrelse og med samme kvotegrunnlag.

Eierne legger vekt på at besparelsene kan oppnås ved at fartøyet har et godt *Power Management-system* som overvåker maskinparken og som setter fartøyet i ulike modi etter valg fra båtføreren.

## Konklusjon

Av de undersøkelser og logger vi har gjort i dette delprosjektet i FHF-prosjektet EFFEKT, har vi trukket følgende konklusjoner:

- › Energiproduksjonen i DE- eller hybridrevne fartøy må ha et godt styringssystem for at teknologiene skal bli lønnsomme.
- › DE-fremdrift med faste turtall på propeller på kystnotfartøy synes å kunne gi høyere energiforbruk enn konvensjonelle kystnotfartøy, men også et mer fleksibelt fartøy.
- › DE fremdrift på autolinefartøy med variabelt turtall på propeller synes å gi energireduksjoner i størrelsesorden 11-18 %
- › DE fremdrift på trålere er under uttesting i skrivende stund, men foreløpige beregninger tilsier ikke reduksjoner i energi til fremdrift.
- › DE fremdrift på ringnotfartøy er alt godt dokumentert og har gitt mellom 8 og 22 % energireduksjon over året.
- › Hybride fremdriftssystem synes å kunne gi store energireduksjoner dersom systemet gir mulighet for elproduksjon via akselgenerator under variable turtall (HSG-løsning) og mulighet for fremdrift med variabelt propellerturtall, også i DE-modus.
- › Hybride fremdriftssystemer med HSG-løsning synes å kunne gi store besparelser for autoline, ringnot og kystnotfartøy, og moderate besparelser for trålfartøy. Dokumenterte reduksjoner er til nå omkring opp mot 27 %.
- › Det er behov for å innhente mer data i et tettere samarbeid med rederiene for å avklare mer presist differansene ved de ulike fremdriftssystemene.