

MAI 2013/MARS 2014  
FHF

# Vurdering av energi- og utslippsreduserende tiltak i Fiskeflåten

HOVEDRAPPORT

AV JOHN INGAR JENSSEN OG GAUTE HEIMSTAD-LARSEN

**COWI**



MAI 2013  
FHF

# Vurdering av energi- og utslippsreduserende tiltak i Fiskeflåten

HOVEDRAPPORT

PROSJEKTNR. 136001  
DOKUMENTNR. 3.1  
VERSJON 3  
UDGIVELSESDATO Mai 2013  
UDARBEIDET JIJE, GAHE  
KONTROLLERT SJJO, VIHMM  
GODKJENDT ODE



## Innhold

Begrepsliste	6
Sammendrag	7
Innledning	8
Metode	9
Teknologiene	11
SCR-anlegg	12
Lav NOx-ombygging av motorer	19
Vanntilsetning	23
EGR	28
Kombinasjon vanntilsetning & EGR	31
LNG	33
Flytende frekvens	39
Dieselektrisk Fremdriftssystem	43
Utskifting av propeller og propellerdyse	53
Flytetrål til torskefiske	57
Sammenligninger av teknologiene	61
Endringer i driftstid og innvirkning på tiltakenes lønnsomhet	65
Miljøaspektet	68
Oppsummering	71

## Begrepsliste

SCR –Selective Catalytic Reduction –fjerning av NO<sub>x</sub> ved bruk av katalysator og tilsetningsstoff

EGR –Exhaust Gas Recycling –reduksjon av NO<sub>x</sub> ved eksosgassresirkulering

Lav NO<sub>x</sub>-ombygging – ombygging av motor med lavere NO<sub>x</sub>-utslipp som resultat

Vanntilsetning – tilsetning av vann i forbrenningsprosessen som gir lavere NO<sub>x</sub>-utslipp

LNG – Liquified Natural Gas –flytende naturgass

Flytende frekvens – teknologi som lar hovedmotor regulere turtallet samtidig som den produserer elektrisitet

Dieselelektrisk fremdriftssystem – forbrenningsmotorer produserer elektrisitet via generatorer. Fremdriften besørges av elektromotorer

MSD – Marin Spesial Destillat – drivstoff med høyere innhold av svovel enn diesel

MGO – Marin Gass Olje – drivstoff med lavt innhold av svovel

RSW – Refrigerated Sea Water - nedkjølt sjøvann ved hjelp av kuldeanlegg

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

## Sammendrag

I denne rapporten er 10 ulike NO<sub>x</sub>- og utslippsreducerende metoder analysert med fokus på rensegrad, installasjonskostnader, levetidskostnader, energireduksjonsgrad og nåverdi. Noen av tiltakene, LNG og dieselelektrisk drift, har på grunn av høye ombyggingskostnader, kun blitt vurdert for nybygg.

Analysene viser at det er en rekke tiltak som gir større lønnsomhet for rederiene enn de som er mest utbredt til nå. På den annen side har noen av de mest utbredte tiltakene størst NO<sub>x</sub>-reducerende effekt.

For alle flåtegrupper vil det være mer lønnsomt for rederiene å ta i bruk tiltakene *hybriddrift*, *dieselelektrisk drift*, *flytende frekvens* eller å oppgradere *propeller/ dyse* enn å investere i NO<sub>x</sub>-rensende tiltak.

Imidlertid vil det gi størst renseseffekt å benytte SCR-rensing, EGR kombinert med emulsjon, EGR eller tilsetning av vann i forbrenningen enten via emulsjon, direkte innsprøytning eller fukting av ladeluft. Det knyttes en del usikkerhet til anvendeligheten av disse, foruten SCR-rensing, som er velprøvd. Det finnes en del fartøy som har utprøvd disse teknologiene med gode resultater.

Det er også gjort rede for bruk av LNG i fiskefartøy, noe som ville kunne gi meget høy NO<sub>x</sub>-reduksjon, lavere energiforbruk, lavere energikostnader og redusert CO<sub>2</sub>-utslipp til atmosfæren, dersom utfordringene omkring plasshensyn og bunkringsmuligheter blir løst.

For bunntålfåten fant vi at å benytte seg av flytetral til fangst av hvitfisk kan gi 20-30 % energi- og utslippsbesparelser dersom restriksjonene omkring fiske nord for 64. breddegrad oppheves. Dette krever imidlertid at utseleksjon av undermåls fisk og problematikken omkring for store hal, blir løst på en tilfredsstillende måte. Forskningsresultater fra forsøksfiske de siste årene har vist at dette nå er mulig.

Lønnsomheten til tiltakene endres med endret oljeforbruk. Ved å gjøre beregninger for fartøy som har energiforbruk +/- 30 % av gjennomsnittet har vi avdekket at noen tiltak blir ulønnsomme for fartøy med lavt energiforbruk.

De beregnede nåverdiene gjelder bare dersom NO<sub>x</sub>-fondet innfrir reduksjonsforpliktelsene. Dersom forpliktelsene ikke innfris vil alle virksomheter måtte betale med statens satser, for fiskal avgift for den NO<sub>x</sub>-reduksjon som ikke er oppfylt, også før utløpet av 2017. Nåverdiene av alle tiltak vil da endre seg noe i negativ retning, spesielt nåverdiene for de tiltak som ikke gir reduksjon i oljeforbruk.

## Innledning

De senere års investeringer i ny, utslippsreducerende og energisparende teknologi i fiskeflåten har vært formidabel, blant annet som følge av støtteordninger som delfinansierer tiltakene. Tiltakene har blitt utført i en rekke fartøyer og flere ulike fartøygrupper med ulikt resultat. I forløperen til dette prosjektet, *Energinettverk Fiskeflåte 2006-2010* opplevde vi at det var stor etterspørsel etter kunnskap om hvilke tiltak som passer for ulike typer drift og fartøygruppe, hvilke typer tiltak som finnes og hva investeringskostnadene er. Dette ønsket FHF (Fiskeri- og Havbruksnæringas Forskningsfond) å greie ut i ved å samle inn data for fiskefartøyer som har gjort slike tiltak. Ved å sammenligne NO<sub>x</sub>-reduksjonstiltak og energireduksjonstiltak for de ulike fartøygruppene med hverandre kan vi se hvilke tiltak som er best egnet til de ulike driftsformene. Sammenligningene baserer seg på gjennomsnittsverdier fra fartøy i de ulike flåtegruppene som har framkommet i prosjektet *Energinettverk Fiskeflåte* (FHF nr. 200800075-/423).

Vi har benyttet oss av statistikk fra NO<sub>x</sub>-fondet, utarbeidet av DNV (Det Norske Veritas) og innkomne data i forbindelse med søknad og verifisering av tiltak. Dette har gitt en solid statistisk bakgrunn for vurderingene. I de tilfeller der det ikke har vært gjort tiltak for en bestemt fartøygruppe, har det vært nødvendig å lage en teoretisk modell for fartøygruppen for å kunne gjøre en sammenligning. Vi har da benyttet driftstid, motorstørrelse og oljeforbruk som er gjennomsnittlig for disse fartøygruppene. I noen tilfeller har vi ikke hatt tilstrekkelig informasjon til å vurdere tiltak for alle fartøygrupper.

Ved sammenligning av tiltakene finnes det flere vinklinger som gir informasjon som er aktuell for ulike beslutningstakere. Eksempelvis vil reduksjon i kilo NO<sub>x</sub> og kostnad per redusert kilo NO<sub>x</sub> være interessant for NO<sub>x</sub>-fondet og myndighetene, mens det for rederiet vil være mest interessant hvor lønnsom investeringen er, og da er nåverdien av investeringen mer aktuelt.

En rekke av de vurderte tiltakene går på bekostning av motorgarantien fra motorleverandør. Det er da spesielt ved de minst dokumenterte tiltakene viktig å vurdere om en skal utføre tiltaket eller benytte seg av en annen teknologi som ikke får konsekvenser for garantitiden til motoren.

En tilsvarende undersøkelse<sup>1</sup>, men med et annet fokus, utført av Sintefs Marintek, har sett på tiltakenes tekniske funksjon. Denne kan være et godt supplement til denne rapporten.

---

<sup>1</sup> *NO<sub>x</sub>-fund supported NO<sub>x</sub>-abatement from 2008-2011, User experience*, 2012, Eric Hennie.

<http://www.nho.no/getfile.php/bilder/RootNY/NOX-fondet/MARINTEK%20brukererfaringer%20med%20NOx-tiltak%202012.pdf>,



## Metode

### Driftsprofiler

Ved beregninger har vi benyttet driftsprofiler som har blitt etablert som et resultat av FHF-prosjektet *Energi-nettverk Fiskeflåte* hvor det ble gjort analyser av 62 fartøy innenfor 5 flåtegrupper. Disse vil naturligvis endre seg i takt med kvoteendringer i flåten, slik at tallene etter noen år vil være i noe i uoverensstemmelse med den faktiske flåten. Vi har imidlertid oversikt over de siste års endringer siden vi i dette prosjektet også samler inn og utgir benchmarktall for fiskeflåten og har derfor vært i stand til å ta høyde for denne faktoren. De brukte profilene er som følger:

Fartøy-gruppe	Motorstørrelse [kW]	Oljeforbruk i snitt [kg]	Nox-utslipp årlig [kg]
Ringnot	4 038	1 021 164	71 482
Trål	3 136	2 594 136	181 590
Autoline	950	834 298	50 058
Kystnot	1 070	335 500	20 130

Tabell 1: *Fartøygruppeprofiler*

### Renseteknologi og effekt

Det finnes en rekke teknologier som kan redusere NOx-utslipp fra fartøy. Noen av disse krever mer plass i fartøyet men har høyere rensegrad, mens andre teknologier krever mindre plass, men har lavere rensegrad. Felles for alle disse teknologiene er at de er energikrevende og tilfører fartøyene økt energiforbruk samtidig som de renser ut NOx.

I tillegg er det mulig å redusere NOx-utslipp fra fartøy ved simpelthen å redusere energiforbruket. Det er en rekke muligheter for dette i eldre skip, mens andre tiltak egner seg best for nybygg.

### Måleparametre

Årlig NOx-reduksjon i mengde er interessant sett fra myndighetenes perspektiv, hvor mengde fjernet NOx totalt bestemmer om Norge oppfyller de klimamål som er satt.

Sett fra NOx-fondets synspunkt, hvor målet er å redusere så mye NOx som mulig for de midlene som er tilgjengelig, vil mengde NOx fjernet per tilskuddskrone være en like interessant måleparameter.

LCC kostnader (levetidskostnader) gir innblikk i hvor store kostnader som er forbundet med tiltaket i installasjonens levetid. Men tiltakenes levetid strekker seg langt utover NOx-fondets planlagte eksistens slik at

beregningene av renseeffekt må ta hensyn til at besparelsene for tiltaket er forskjellig under og etter NOx-fondets eksistens. For å finne den reelle besparelsen må derfor beregningen gjøres i to trinn, *besparelse under NOx-fondet* og *etter NOx-fondet*. Tiltakenes levetid har vi satt til 15 år for alle tiltak da det er stor sannsynlighet for at fartøyene byttes ut med nye/ andre i denne perioden. LCC kostnadene tar utgangspunkt i tiltak gjort med NOx-fondets støttesats for det aktuelle tiltaket. Ved tiltak uten støtte fra NOx-fondet vil LCC kostnaden være betydelig større.

For rederiet, som skal ha det største *økonomiske* utbytte av investeringen vil *Nåverdien* av investeringen være det mest interessante. Her vil ofte tiltak som også medfører en energireduksjon komme best ut i en sammenligning over tiltakets levetid. Sammenligningene er gjort opp mot å ikke være tilsluttet NOx-fondet.

Under beregninger av nåverdi har vi benyttet en rentesats på 4 % en inflasjonssats på 2,5 % i henhold til tilsvarende beregninger i industrien. Videre har vi brukt en drivstoffkostnad på Kr. 5,50 per liter olje, en NOx-kostnad på Kr 17, 01 pr kg NOx-utslipp.

Kravet fra NOx-fondet til investeringene er at restkostnadene for tiltaket med full fiskal avgift skal kunne nedbetales på tre år når det er tatt hensyn til støtten fra fondet.

Logging av energibruk i fartøy med dielelektrisk-fremdriftssystemer har blitt utført ved å måle energiproduksjonen i fartøyet ved hjelp av portable strømloggere. Samtidig har forbruket til framdrift og det totale oljeforbruket i perioden, oljeforbruk under steaming og leting blitt målt. For å være sikre på å kunne skille mellom fiske og forflytning ble hydrauliske nøkkelkomponenter målt som indikatorer på fiske. Kuldeanleggenes forbruk ble i en del tilfeller også målt siden disse har et betydelig forbruk før (RSW) og etter at fisken er tatt om bord (RSW og innfrysning av fangst). Energiforbruket kan dermed skilles ut slik at fartøyene kan sammenlignes uten at fangstmengden har større betydning.

Støttesatser som har vært benyttet for beregningene er har vært ifølge NOx-fondets satser i 2012-2013:

Type tiltak	Støttesats pr. kg NOx	Maksimal støtte av investering i %
Nybygg som skal drives på gass og ombygging til gassdrift	350	80
SCR-anlegg med bruk av urea på skip	100	60
Lav-NOx motorombygging	225	80
EGR- og vannbaserte anlegg	225	80
Øvrige NOx-tiltak (for eksempel energieffektivisering)	225	80
Driftsstøtte til urea på skip	2,50	

Tabell 2: Støttesatser

## Teknologiene

Vi tar i denne rapporten for oss 10 ulike tiltak for å redusere NO<sub>x</sub>-utslipp og oljeforbruk.

Noen av disse har stor renseeffekt, men ingen energireduksjon, mens andre har stor energireduksjon, men lavere renseeffekt. Disse vil bli behandlet i kapitler i følgende rekkefølge:

### **SCR-rensing**

- › Meget høy rensesgrad, høy investeringskostnad, plasskrevende, høye løpende kostnader

### **Lav NO<sub>x</sub>-ombygging av motor**

- › Middels rensesgrad som varierer fra motor til motor, høy investeringskostnad, ingen løpende kostnader

### **Vanntilsetning**

- › Middels rensesgrad, ny teknologi, lav investeringskostnad, middels løpende kostnader

### **EGR**

- › Middels til høy rensesgrad, høy investeringskostnad, middels løpende kostnader

### **EGR og vanntilsetning**

- › Høy rensesgrad, høy investeringskostnad, høye løpende kostnader

### **LNG**

- › Meget høy rensesgrad, høy investeringskostnad, energisparende, ikke utprøvd på fiskefartøy

### **Dieselelektrisk fremdriftssystem**

- › Middels rensesgrad, høy investeringskostnad, energisparende, ingen løpende kostnader

### **Flytende frekvens**

- › Middels rensesgrad, lav investeringskostnad, energisparende, ingen løpende kostnader

### **Utskiftning av propeller/ dyse**

- › Lav til middels rensesgrad, middels investeringskostnad, energisparende, ingen løpende kostnader

### **Flytetrål til torskefiske**

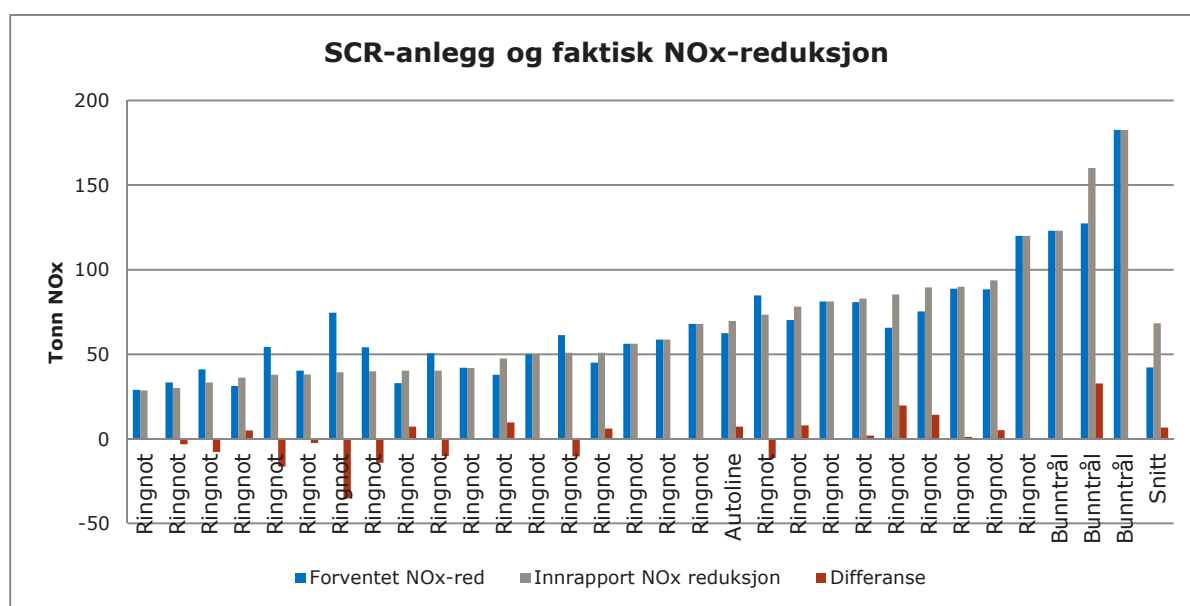
- › Middels rensesgrad, høy investeringskostnad, energisparende, kun for bunnetrålere

## SCR-anlegg

*SCR-rensing* (Selective Catalytic Reduction) er en teknologi hvor eksosgassene tilsettes ammoniakk i form av stoffet *urea* som leveres med enten 32 eller 40 % urea løst i vann. Ved å bruke en katalysatorenheter i eksosanlegget hvor det befinner seg utskiftbare katalysatorelementer, blir store deler av NO<sub>x</sub>-utslippene renses ut av eksosgassene. Teknologien er velprøvd og patentert alt i 1957. Installasjonen er plasskrevende både som følge av katalysatorenhetens volum, men også da den store mengden urea må oppbevares i en tank i skipet. teknologien kan ved ideelle driftsforhold rense ut 95-97 % av NO<sub>x</sub>-utslippene fra fartøyet. Erfaringer viser at det for fiskeflåten kan forventes en rensegrad på 80 % da anlegget stanses når eksosgasstemperaturene befinner seg utenfor katalysatorelementenes virkeområde.

I forbindelse med undersøkelsene har vi intervjuet og innhentet tall fra leverandørene, Yarwil, Frydenbøe, Mecmar, Dansk teknologi, Canopus Marine og Wärsilä. Det er også gjort intervju med en lang rekke redere med SCR-installasjon i sine fartøy.

48 fiskefartøy har søkt om tilskudd til SCR-anlegg fra NO<sub>x</sub>-fondet pr 20 mars 2012. Av disse har 34 fartøy gjennomført og innrapportert NO<sub>x</sub>-utslipp ved måling etter tiltaket. Den faktiske effekten av tiltaket kontra omsøkt reduksjon av NO<sub>x</sub> har variert en del, men stort sett vært som beregnet:



Figur 1: Forventet og faktisk NO<sub>x</sub>-reduksjon som følge av installasjon av SCR-anlegg. Verdiene er sortert etter innrapportert reduksjon i stigende rekkefølge

Som figuren viser har innrapportert besparelse blitt større enn forventet besparelse, noe som tyder på at tiltakene har lyktes. De fleste fartøyene er ringnotfartøyer ispedd ett autolinefartøy og 4 bunntålfartøy.

Som forventet har trålfartøyene størst reduksjon som følge av det større energiforbruket (trål: 2 594 136 liter olje årlig i snitt mot ringnot: 1 015 963 liter årlig i snitt for 2011)<sup>2</sup>. For bunntål med 3 fartøy (det 4. er ikke verifisert enda) er reduksjonen i snitt 155,2 tonn årlig, noe som tilsvarer 72,4 kg NOx/tonn olje.

Ser vi på ringnotflåtens del av NOx-utslipp er utslippsreduksjonen i snitt 58,6 tonn NOx årlig. Dette tilsvarer 69,8 kg NOx/tonn olje.

For autolinefartøy er gjennomsnittlig forbruk i 2011 på 834 298 liter olje årlig. Ved en reduksjon på 69,7 tonn NOx årlig tilsvarer den relative reduksjonen 98,2 kg NOx/ tonn olje som er noe høyere/ mer effektivt enn de to andre flåtegruppene.

En generell forventning omkring SCR-anlegg har vært at rensegraden ville være størst for de fartøygrupper som har høyest motorlast over lengre tid slik som for trålere, men tallene over tyder på at rensegraden er like stor for de andre fartøygruppene.

Renseeffektiviteten til SCR-anlegg sier oss hvor effektiv renseteknologien er for de ulike driftsformene og er interessant i en rein miljømessig sammenheng.

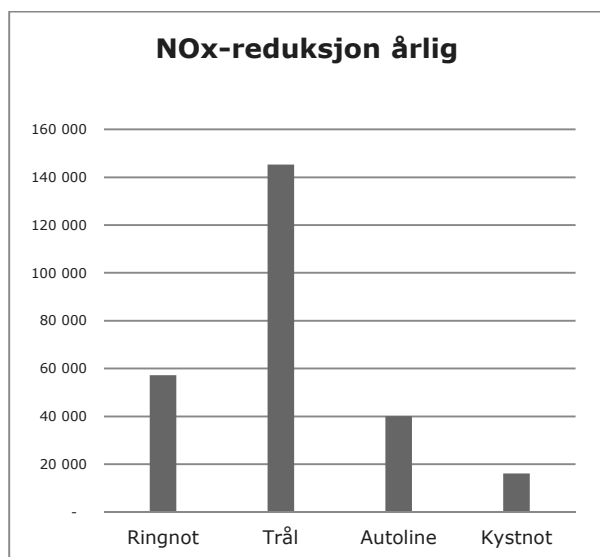
I beregningene under er det tatt utgangspunkt i en rensegrad på om lag 80 % i hele driftstiden for alle fartøyene.

Drift av SCR-anlegg krever en rekke innsatsfaktorer. Det benyttes katalysatorelementer som over tid mister sin effekt og må skiftes for å opprettholde rensegraden, det går med en stor mengde av stoffet urea og anlegget krever en viss mengde elektrisk energi.

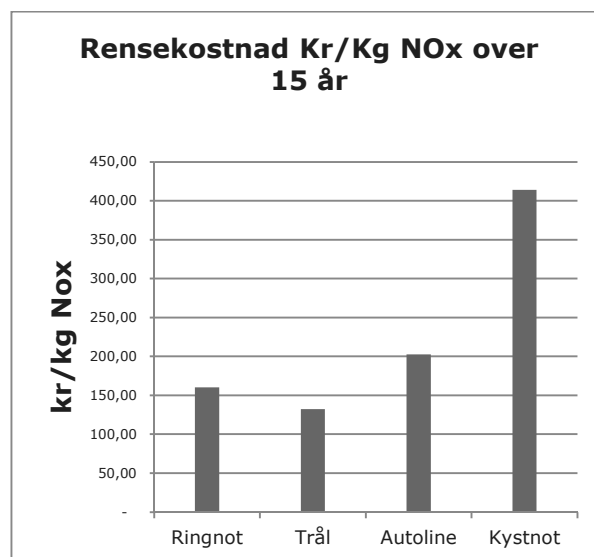
---

<sup>2</sup> Tall fra Benchmarking Energinettverk Fiskeflåte 2011

## NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi



Figur 2: Mengde NOx fjernet årlig ved bruk av SCR-anlegg for ulike typer drift



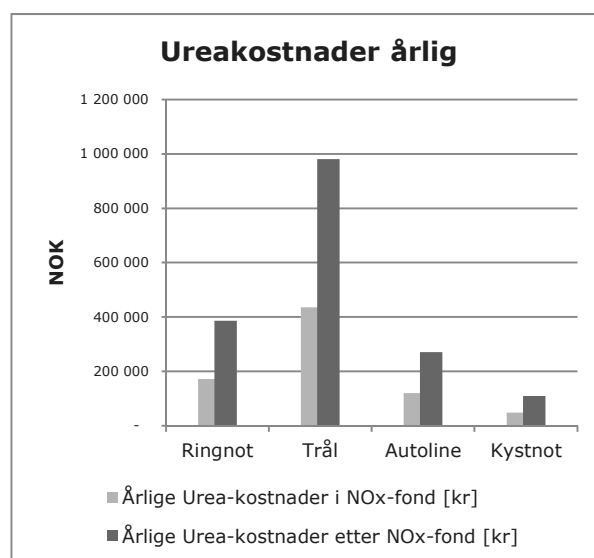
Figur 3: Renskostnad for de ulike fartøygruppene ved bruk av SCR-anlegg

### Anskaffelseskostnader

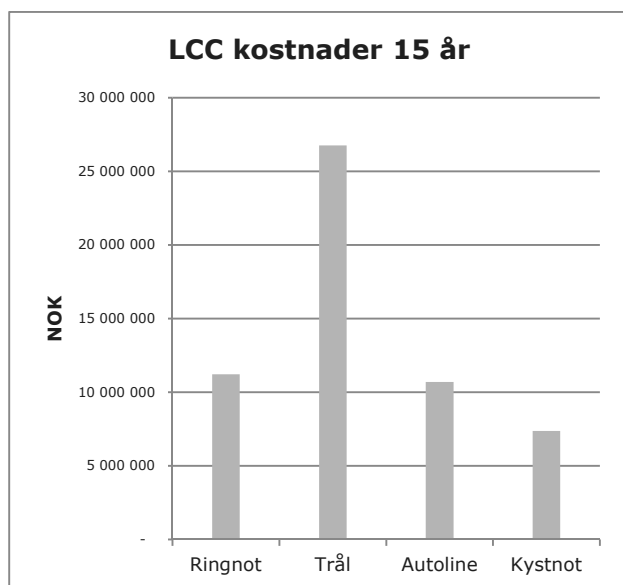
Fra en rekke leverandører viser kostnadsbildet seg å være ganske entydig for Innkjøp av SCR-anlegg. Imidlertid blir sluttsummen en ganske annen. Ifølge NOx-fondets oversikt over NOx-tilskudd er totalkostnadene grovt sett 10 ganger høyere enn innkjøpskostnadene til SCR anlegget uansett motor- og anleggsstørrelse.



Figur 4: Innkjøpskostnader og installasjonskostnader per KW installert motoreffekt for SCR-anlegg basert på flere leverandører.



Figur 5: Årlige ureakostnader ved bruk av SCR-anlegg med og uten støtte på kr 2,50 fra NOx-fondet.



Figur 6: Livsløpskostnader inkludert støtte fra NOx-fondet for SCR-anlegg i ulike fartøygrupper

Store deler av de overskytende kostnadene skyldes ombygging i fartøy siden tiltaket er relativt plasskrevende. Dertil kommer installasjons og igangsettingskostnader. De løpende kostnadene for SCR-anlegg spiller også inn på det totale kostnadsbildet.

#### Kostnader knyttet til ureaforbruk

For SCR anlegg tilkommer jevnlig innkjøp av urea og periodisk skifte av filterinnsatser. Ureakostnadene ligger mellom kr 4,- og 4,50 per kg, men aktører tilsluttet NOx-fondet vil få refundert kr 2,50 pr kilo forbrukt urea. I beregningene har vi benyttet en ureakostnad på kr 4,50 da det ofte tilkommer transportkostnader ved kjøp av urea, i noen rapporterte tilfeller så høye som kr 5,60 pr kg.

Ureaforbruket i SCR-anlegg tilsvarer omlag 1,5 kg per kg redusert NOx. De årlige kostnadene for de fire fartøytypene er beregnet i Tabell 4 lenger ut i kapittelet.

#### Kostnader knyttet til Katalysatorelementer

Katalysator-elementer har best virkningsgrad i 16 000-24 000 timer før effektiviteten faller under minimumskravet. Dermed avhenger de årlige kostnadene av årlig driftstid for fartøyet. Lengst levetid oppnås for fartøy som benytter MGO da det lave svovelinnholdet gir en renere eksos.

For en rekke trålere og autolinefartøy vil en ha nådd 16 000 timer i løpet av drøye to år, mens ringnotfartøy med 2000-4000 driftstimer i året vil ha dobbelt så lange intervaller mellom skifte av katalysatorinnsatser.

Kostnadene vedrørende innsatser oppgis i kr pr m<sup>3</sup>. Priser fra ulike leverandører og kostnadene pr. mai 2012 varierer mellom kr 60 000 og 90 000 pr m<sup>3</sup>.

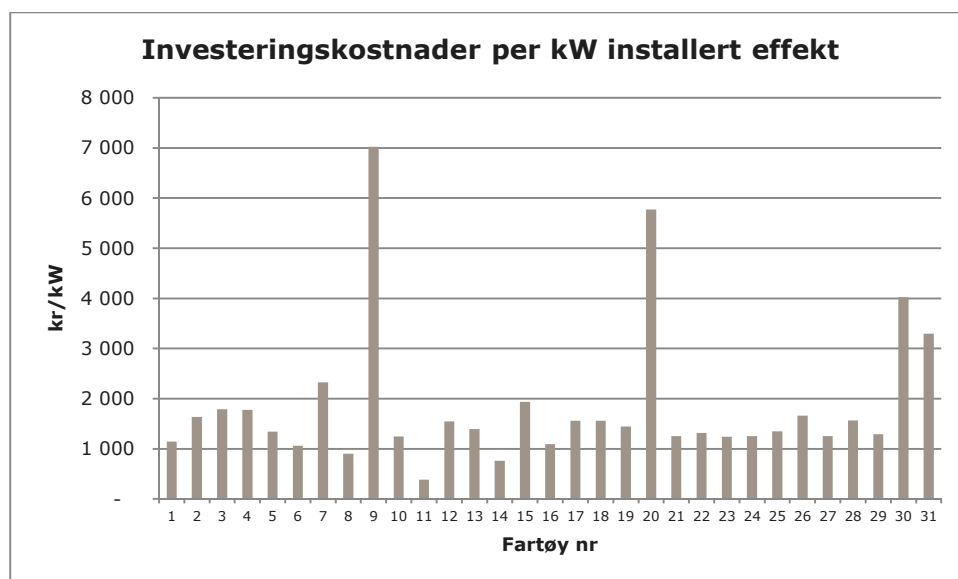
Størrelse på katalysatorelementene avhenger av motorstørrelse, utslippsnivå, ønsket rensesgrad, men også av eksostemperaturene katalysatorsystemet skal operere under. Ved lavere temperaturer må kontakttiden mellom eksos og katalysatorelement økes for å oppnå tilfredsstillende rensing, dermed må også volumet til katalysatorelement økes. Vi har imidlertid lyktes i å oppdrive noen gjennomsnittstall for ulike motorstørrelser:

	Motorstørrelse [kW]	Volum katalysatorelementer [m³]	Årlig elementkostnad [NOK]	Årlig driftstid [t]
Ringnot	4038	2,42	20 935	2880
Trål	3150	1,89	44 701	7920
Autoline	944	0,66	13 458	7920
Kystnot	1070	0,66	20 843	6552

Tabell 3: Eksempler på nødvendig størrelse på katalysatorelementkostnad og årlig driftstid for ulike fartøygrupper.

### Tiltakskostnader

De totale tiltakskostnadene for SCR installasjoner viser seg i snitt å være kr 2 029 pr kW installert effekt. Det er imidlertid store variasjoner fra kr 764 – 7021 per kW installert motoreffekt:



Figur 7: Oversikt over investeringskostnader per kW motoreffekt.

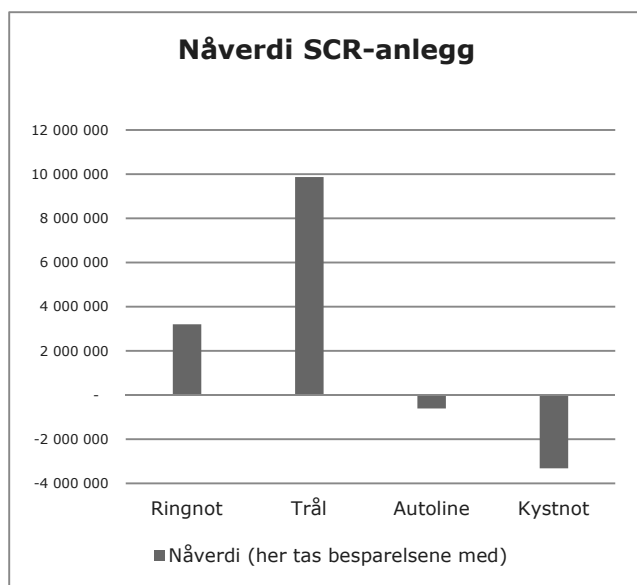
De løpende kostnadene varierer fra driftsform til driftsform, men er i snitt som følger pr. ultimo 2012:

Årlige driftskostnader SCR-anlegg							
Fartøy-gruppe	Årlige urea-kostnader - 2017 [kr]	Årlige urea-kostnader 2017 -[kr]	Årlig kat. element kostn. [kr]	Årlige energikostnader [kr]	Årlige kapital-kostnader [kr]	Tot. årlige kostnader før 2017 [Kkr]	Tot. årlige kostnader etter 2017 [Kkr]
Ringnot	175 783	395 513	20 935	191 664	55 177	443 560	663 289
Trål	465 600	1 047 600	44 701	527 076	100 805	1 138 182	1 720 182
Autoline	209 070	470 408	13 458	263 538	55 177	541 243	802 580
Kystnot	44 918	101 066	13 799	218 018	16 229	292 963	349 111



Tabell 4: Årlige driftskostnader ved drift av SCR-anlegg. Det er lagt til grunn en varighet på 16 000 timer for katalysatorelementer og et NO<sub>x</sub>-utslipp fra motorer fra faktiske målinger ifm. verifiseringer ovenfor NO<sub>x</sub>-fondet. Rente på investering 4 % og inflasjonsrate 2,5 %. Under årlige ureakostnader -2017 er det iberegnet støtte fra NO<sub>x</sub>-fondet på kr 2,50 pr kg NO<sub>x</sub>, mens kolonnen Årlige ureakostnader 2017- er denne støtten fjernet. Energi til drift er en beregning av energiforbruket til ureaanlegget under drift.

Imidlertid er det mest interessante målet for rederiet tiltakets nåverdi:



Tabell 5: Nåverdi for SCR-anlegg i ulike fartøygrupper

## Driftserfaringer

En rekke rederi har blitt kontaktet angående SCR-anlegg de har i egne fartøy.

Tilbakemeldingene har i stor grad vært positive, men noen spørsmål stilles omkring installasjonen.

Positive	Negative
Større renseseffekt enn antatt og ved lavere last enn forventet	Rust i pipe, redd for langtidskonsekvensene
Problemfri drift	Uavklart omkring avfallshåndtering ved bytte av katalysatorinnsats. Hvem vil ta imot dette "spesialavfallet"?
Urea-tanker ser bra ut, ikke korrosjon	Bestilling av tankbil til utkantsteder er dyrt og noen ganger vanskelig.

Tabell 6: Tilbakemeldinger SCR-anlegg

Med de tallene vi baserer undersøkelsene på<sup>3</sup>, er SCR-anlegg helt klart mest lønnsomt for bunntålere.

For ringnotflåten som har relativt kort driftstid i forhold til oljeforbruket er også tiltaket lønnsomt, mens det for autolinefartøy, som har oljeforbruk ikke langt fra ringnotflåten, men en mye lengre driftstid, vil driftskostnadene for anlegget bli langt større og, i et 15-årsperspektiv ikke lønnsomt. Den samme effekten i kombinasjon med lavt årlig energibruk gjør at tiltaket heller ikke er lønnsomt for kystnotflåten. Vi gjør oppmerksom på at vi kun har analysert tiltaket for gjennomsnittlige fartøy og at tiltakenes lønnsomhet endrer seg med driftstid og oljeforbruk.

---

<sup>3</sup> Tall fra NO<sub>x</sub>-fondets oversikt over tildelt støtte og oppnådd reduksjon.

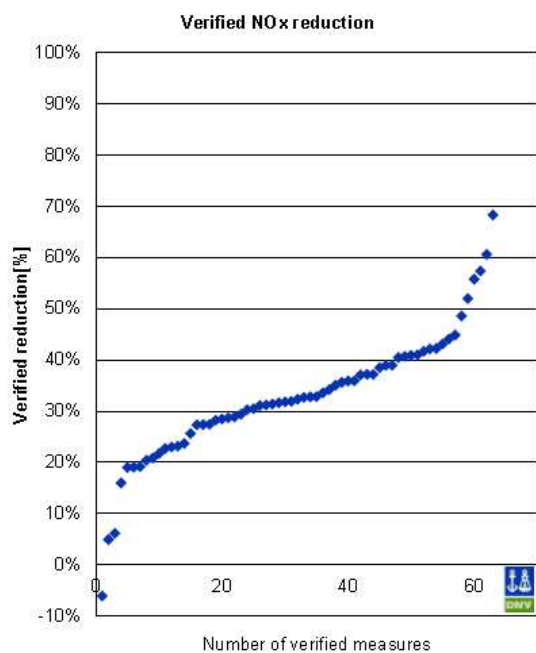
## Lav NOx-ombygging av motorer

En rekke fartøy har fått bygget om eldre motorer slik at de produserer mindre NOx. Prinsippet en følger er å øke kompresjonen i sylindrene samtidig som en endrer tenningstidspunkt og dermed oppnås forbrenning ved lavere temperatur.

40 fiskefartøy har gjort eller søkt om støttemidler til å gjøre denne ombyggingen. Av disse har 34 gjennomført tiltaket, 21 ringnotfartøy og 13 bunntålere. Snittkostnadene vedrørende tiltaket er ifølge NOx-fondets liste over innvilgede tiltak kr 1.070,- per kW motoreffekt.

Imidlertid viser listen at det er store variasjoner for ulike motorer, hvor enkelte motorer har lave ombyggingskostnader, mens andre har høye. Eksempelvis er kostnadene for en Wichmann 8V28B kun kr 363,- per kW, mens tilsvarende tall for Wärtsilä Wichmann 12V28B er på hele kr 1.650,-per kW selv om motoreffekten er omtrent tilsvarende (se Tabell 7).

Forventet andel fjernet NOx ved dette tiltaket vil være ca 32 % i snitt. I virkeligheten varierer imidlertid dette mellom 5 – 67 % (se Figur 8). Det kan derfor lønne seg å undersøke hvilke måleresultater som tidligere er oppnådd for den aktuelle motortypen før en gjør tiltaket.



Figur 8: Verifisert reduksjonsgrad for ulike Lav-NOx ombygginger. Kilde: DNV "931 planlagte og 468 gjennomførte tiltak" 2. okt 2012.

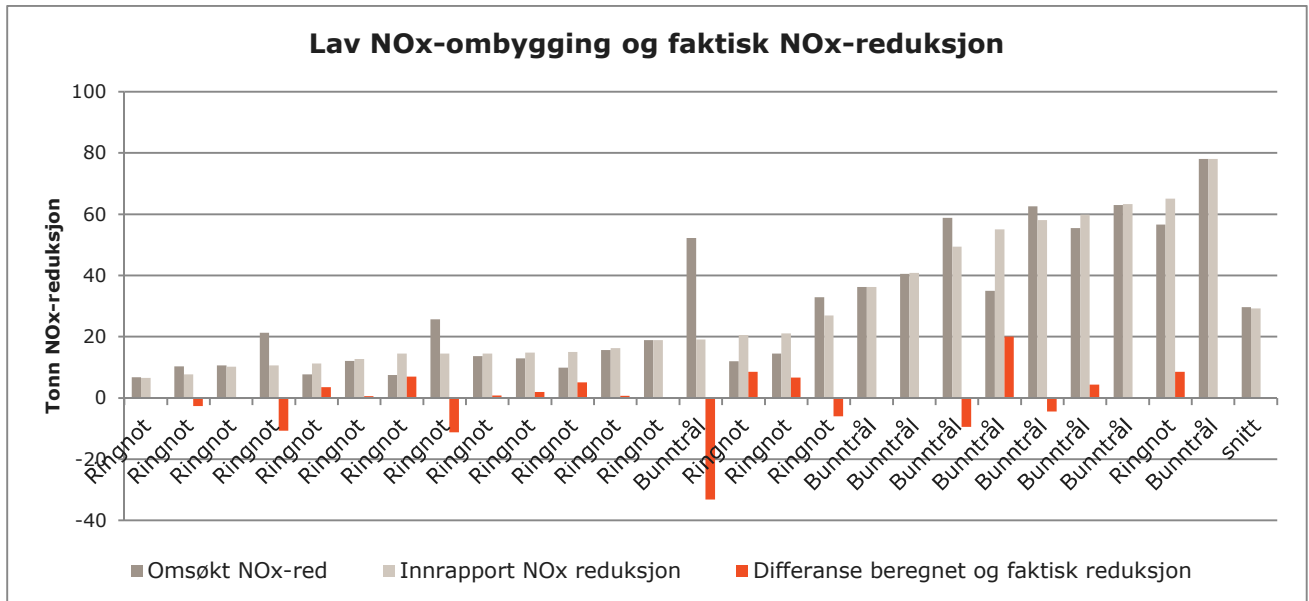
## NOx-reduksjon, tiltakskostnader, rensekostnader, LCC og nåverdi

For Lav-NOx-ombygging er tiltakskostnadene for fiskefartøy som i tabellen under:

Effekt HVM [kW]	Omsøkt NOx-red [tonn]	Leverandør	Kostnad [kr/kW]	NOx støtte [kr/kg noX]	Innrapport NOx [tonn]	Type HVM
1 946	10,3	MAN	1 043	158	7,66	Man Alpha 12V/23/30A
1 939	15,6	MAN	915	91	16,27	MAN B&W Alpha
3 580	25,7	Pon-Power	723	76	14,47	Caterpillar 3612TA
3 505	9,9	Pon-Power	1 112	100	15	Caterpillar 3612TA
3 856	52,2	Pon-Power	1 562	104	19,04	Caterpillar 3612TA
3 505	12	Pon-Power	787,2	225	20,5	Caterpillar 3616TA
1 700	32,9	Pon-Power	2 142	100	26,9	Caterpillar
3 043	12,9	Pon-Power	921	174	14,8	Caterpillar 3616TA
3 102	36,2	Rolls Royce	1 295	81	36,2	Bergen KVMB-12
4 564	10,6	Rolls Royce	671	224	10,2	RRM Bergen B32 40L9P
2 237	56,6	Rolls Royce	586	21	65,1	Bergen BRM-6
1 491	6,8	Wartsila	1 543	304	6,53	Wichmann
6 652	21,3	Wartsila	919	225	10,57	Wärtsilä Vasa 16V32E
2 685	7,7	Wartsila	516	162	11,2	Wärtsilä Wichmann 8V28B
3 005	12,1	Wartsila	513	115	12,7	Wärtsilä Wichmann 10V28B
1 217	13,7	Wartsila	1 777	126	14,5	Wärtsilä Wichmann 4L28B
3 505	18,9	Wartsila	360	53	18,9	Wichmann 8V28B
2 431	14,5	Wartsila	647	98	21,1	Wichmann WX28V8
2 676	40,5	Wartsila	1 205	60	40,8	Wärtsilä Wichmann 8V28B
3 423	58,8	Wartsila	893	47	49,4	Wärtsilä Vasa 9R32
3 356	35	Wartsila	816	63	55	Wärtsilä Vasa 9R32D
2 685	62,6	Wartsila	529	20	58,12	Wärtsilä Wichmann 8V28B
2 797	55,5	Wartsila	1 063	43	59,9	Wärtsilä Vasa 8R32B/C
2 282	63	Wartsila	1 299	38	63,3	Wärtsilä Vasa 6R32
2 434	78	Wartsila	928	23	78	Wärtsilä Wichmann 8V28

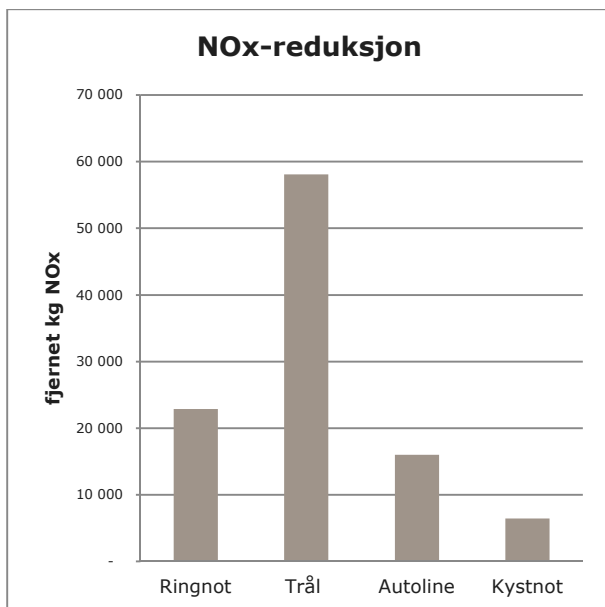
Tabell 7: Oversikt over Lav-NOx-ombygginger med støtte fra NOx-fondet. Tiltakene er sortert etter effekt for de ulike produsentene. De ulike fargene representerer ulike motorleverandører.

Faktisk NOx-reduksjon sett i forhold til beregnet NOx-reduksjon i søknad viser i hvor stor grad NOx-tiltaket har lyktes:

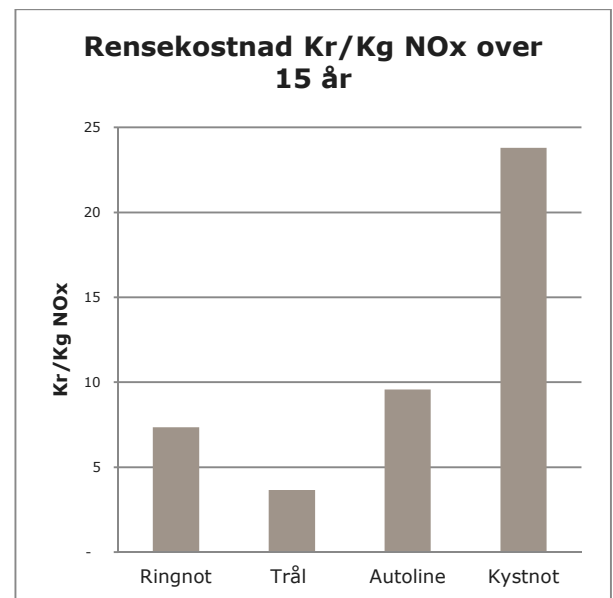


Figur 9: Effekten av tiltaket Lav-NOx-ombygging. Rangering etter mengde faktisk reduksjon.

Av figuren over ser vi at gjennomsnittet for faktisk reduksjon ligger høyere enn for omsøkt reduksjon. Dette tyder på at tiltaket har lyktes i større grad enn forventet og at søknadene om støtte har vært av det mer nøkterne slaget. Dette har nok sitt opphav i at NOx-fondet og DNV har fått en bedre erfaringsbakgrunn ettersom fondet har høstet flere erfaringer slikt at de har vært i stand til å gi bedre rådgivning til søkerne i senere fase av tilskuddsordningen. Men også søkerne og den generelle kunnskapen om NO<sub>x</sub>-tiltakene har blitt bedre.

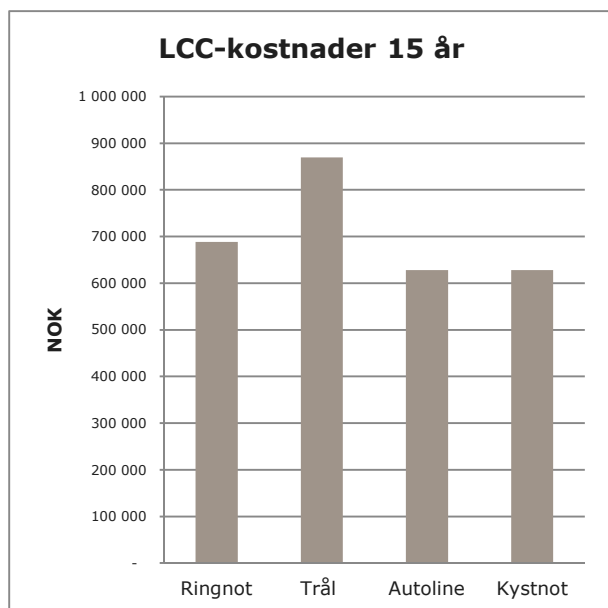


Figur 10: Fjernet mengde NOx per fartøy ved LAV-NOx-ombygging av hovedmotor

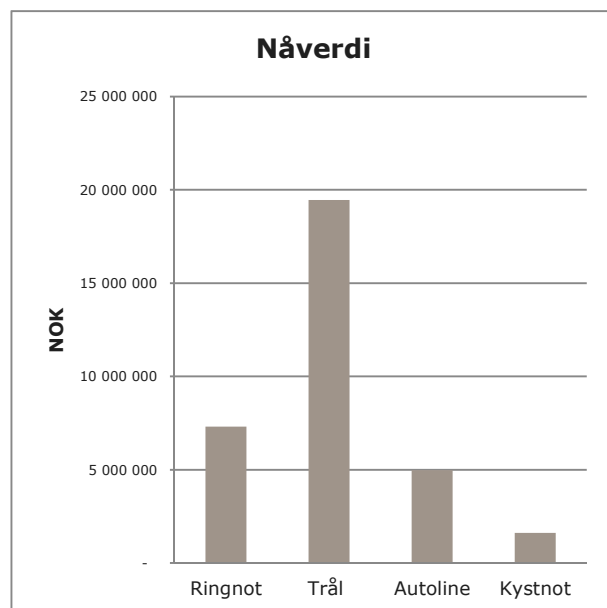


Figur 11: Faktisk renseseffektivitet for Lav-NOx-ombygging. Tallene for autoline og kystnot er beregnede tall basert på en gjennomsnittlig driftsprofil for disse fartøyene.

Kostnadene for tiltaket består av kapitalkostnadene og over en 15-årsperiode blir de som følger:



Figur 12: LCC-kostnad inkludert støtte fra NOx-fondet for Lav-NOx-motorombygging



Figur 13: Resultatene av en nåverdianalyse for Lav-NOx-ombygging av hovedmotor.

### Driftserfaringer

De fleste som har uttalt seg om dette har ikke hatt noen negative anmerkninger foruten de som har opplevd at reduksjonen av NOx har blitt mindre enn forventet. Det har imidlertid kommet noen signaler om at det har vært en del problemer med installasjoner som har blitt demontert etter en tids drift.

Årsaken til at trålerne har bedre utbytte av dette tiltaket er at de i utgangspunktet slipper ut mer NOx enn andre fartøy. Med samme størrelse på investeringen, men med større mengde redusert utslipp vil lønnsomheten i investeringen bli bedre for trålere enn for eksempelvis ringnotfartøy for dette tiltaket.

I noen tilfeller har fartøy fått mer effektiv forbrenning av Lav-NOx-ombygging, i andre ikke. Det er derfor ikke tatt med noen forbedring av drivstofforbruket som følge av dette tiltaket.

Tiltaket passer for alle fartøygrupper og er ikke plasskrevende. Det er imidlertid noe usikkerhet knyttet til hvor stor rensegrad en kan oppnå.

## Vanntilsetning

Alle teknologier som tilfører vann til forbrenningsmotorene i et fartøy behandles under denne overskriften.

Vi har gjort intervjuer med leverandørene MAN, ADB Power ApS, Red-sys, Miljøteknikk AS, Nymo AS, samt rederier/mannskap ved samtlige installasjoner.

Det finnes flere ulike teknologier for å tilsette vann i forbrenningssystemet til motorene. Det kan være fukting av ladeluft, direkte innsprøytning eller innblanding av vann i diesel. Det underliggende prinsippet er at vannet stjeler varmeenergi fra forbrenningsprosessen ved fordampning samtidig som det tilførte vannets hurtige ekspansjon i overgangen fra væske til damp tilfører stempellet kraft. Den lavere forbrenningstemperaturen produserer mindre NOx.

Noen av disse tiltakene har vist seg særdeles effektive i kombinasjon med andre tiltak.

I hovedsak har vi 3 teknologier:

- 1 Direkte innsprøytning
  - 1.1 Krever dyser
  - 1.2 Helt rent vann
  - 1.3 Høytrykkspumpe
  - 1.4 Små ombygginger av motor
  - 1.5 Rensepotensial på 40-50 %
  - 1.6 Drivstoffreduksjon på 1-3 %
  - 1.7 Kan brukes på alle typer motorer
  - 1.8 Kostnad er usikker da det kun er prototyper i drift
- 2 Emulsjon

- 2.1 Vannet blandes inn i diesel og tilsettes et kjemisk stoff som lar vann og olje forbli i en emulsjon.
  - 2.2 Rensegrad 20-30 %
  - 2.3 Krever et additiv/ tilsetningsstoff for å stabilisere emulsjonen
  - 2.4 Investeringskostnad er 300.000 - 400.000 kr. per motor
- 3 Fukting av ladeluft
- 3.1 Rensegrad på 20-30 %
  - 3.2 Trenger helt rent vann
  - 3.3 Ombygging unødvendig
  - 3.4 Drivstoffreduksjon på 1-3 %
  - 3.5 Kan brukes på alle typer motorer
  - 3.6 Kostnad 1 hvm og 2 hvm: Kr 600 000 - 800 000,-

En tommelfingerregel for vanntilsetning er at 1 % vann i drivstoffet gir 1 % NOx-reduksjon. Denne regelen har i tilfeller vist seg å gjelde opp til en blanding på 50/50 olje/vann, men oljeforbruket per produsert kWh øker sterkt ved passering av om lag 25 % vann på grunn innsprøytningssystemets oppbygging.

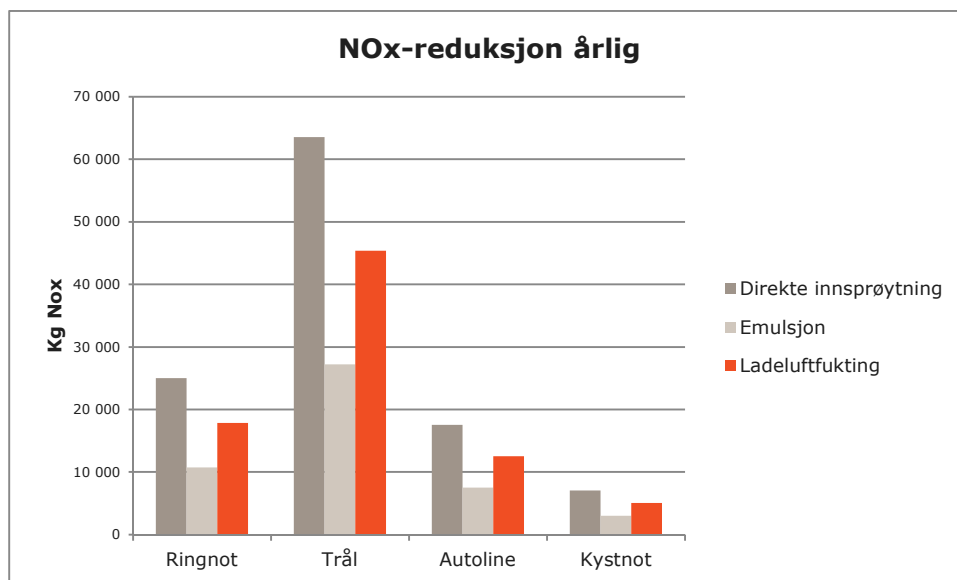
Vi har undersøkt 6 installasjoner i fartøy. Det er 4 autolinefartøy som benytter seg av fukting av ladeluft. Rensegraden er på mellom 22 og 27 % totalt.

Et av de undersøkte fartøyene er et større fraktestartøy som ved direkte innsprøytning av vann i sylindrene oppnår en rensesgrad på hele 50 %.

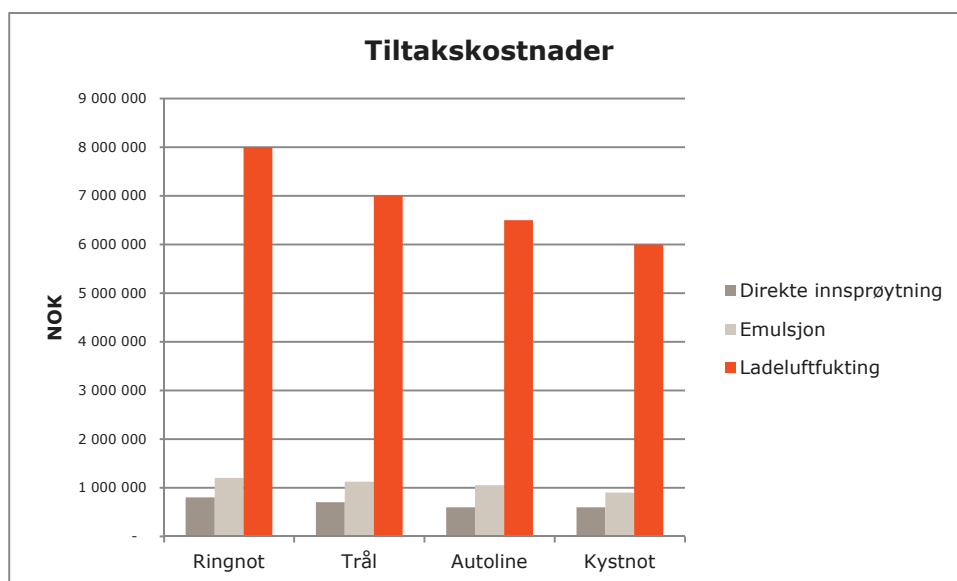
For ringnot, trål, og kystnot er det gjort beregninger basert på driftsprofilene til disse fartøygruppene da det ikke finnes installasjoner i slike fartøy i dag. Det er også tatt utgangspunkt i at tiltakene inkluderer en hovedmotor og to hjelpemotorer:



## NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi

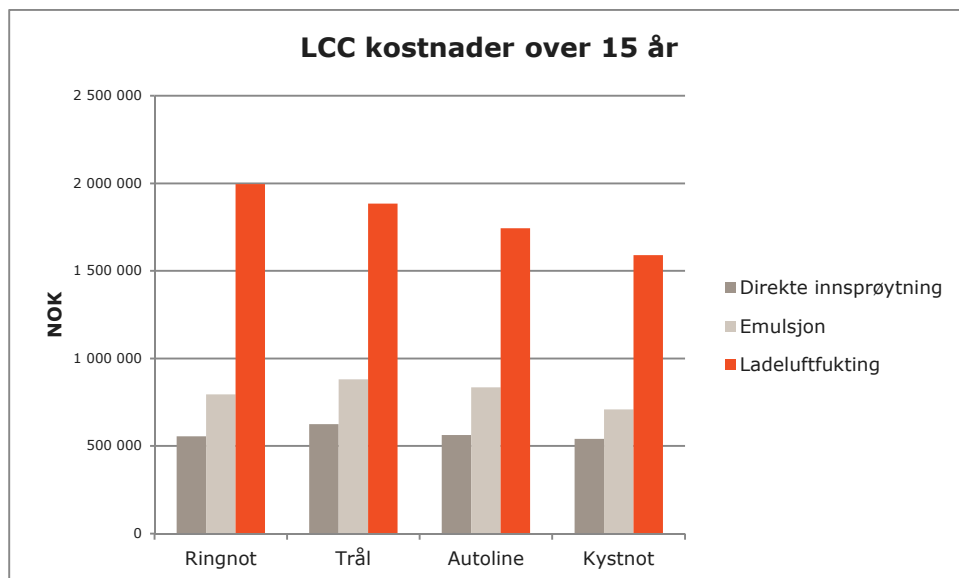


Figur 14: Oppnådde NOx-reduksjoner med de tre teknologiene.

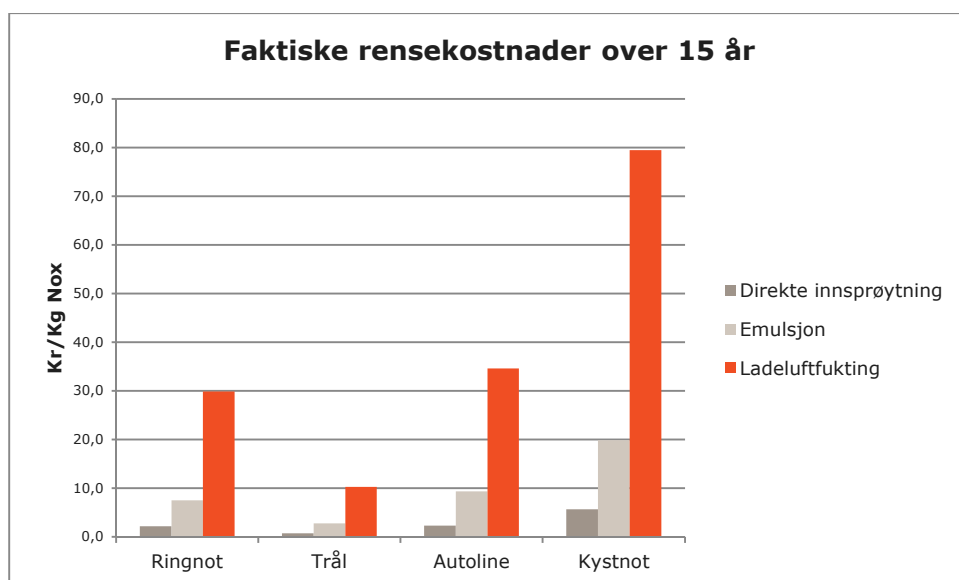


Figur 15: Tiltakskostnader for de tre vanntilsetningsteknologiene.

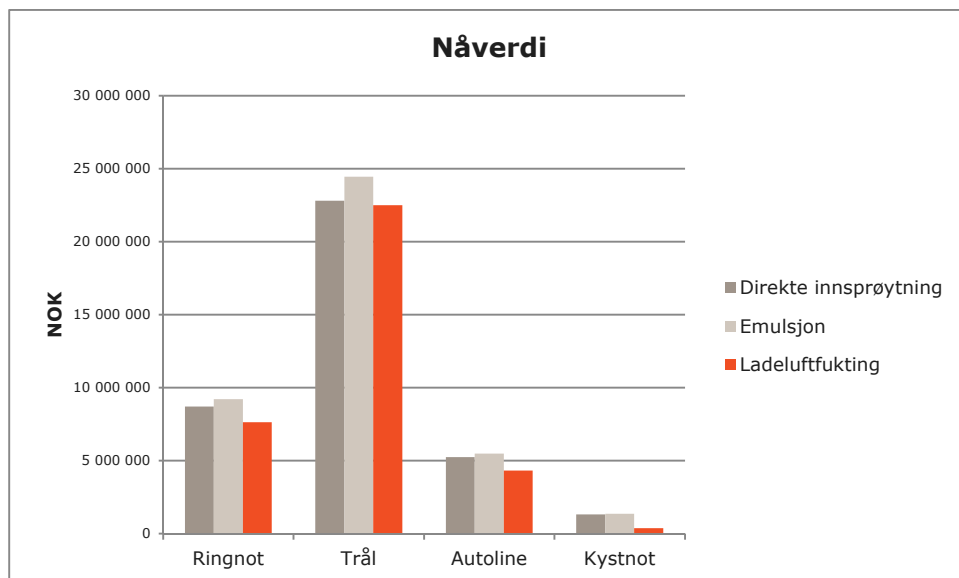
Det er knyttet stor usikkerhet til tiltakskostnadene for ladeluftfukting og vi har kun estimerte kostnader da det ikke har vært gjort tiltak i fiskeflåten.



Figur 16: Levetidskostnader inkludert støtte fra NOx-fondet for de tre teknologiene.



Figur 17: Faktiske renseskostnader over 15 år for Vanntilsetning. Figuren viser at det er direkte innsprøytning som gir de laveste renseskostnadene sett i en 15-årsperiode



Figur 18: Verdien av de ulike tiltakene for rederiet over en 15-årsperiode.

### Driftserfaringer

Det er knyttet en rekke fordeler og ulemper, mer eller mindre velbegrunnede, til disse teknologiene utover de rent kostnadsmessige. De mest uttalte er at vanntilsetning hindrer smøring av sylindervegger og forårsaker korrosjon. Men fra alle de vi har intervjuet angående disse tiltakene er kun en som har tatt fram dette som et problem selv om flere av installasjonene nå har vært i bruk i flere år. Brukerne trekker frem at en av fordelene med tilsetning av vann i sylindere er at en til enhver tid har en rein sylinder uten avleiringer og koksing. Den aktuelle motoren der en har hatt negative erfaringer skal være skadet av korrosjon som følge av salt da det ikke ble benyttet helt rent vann.

Det rapporteres om stabil drift uten ekstra slitasje eller problemer knyttet til motor.

Tiltakene har vært i drift over flere år og med de få eksemplene som finnes ser teknologien ut til å virke tilfredsstillende. Tiltakene er relativt rimelige å installere og er relevante for alle fartøygrupper. Vanntilsetning ser ut til å gi en liten gevinst i energiforbruket i samtlige installasjoner på omkring 1,5-2 %. Denne gevisnten reduseres av at tiltakene er energikrevende i drift. Disse installasjonene kan komme i konflikt med garanti fra motorleverandør, noe som må undersøkes i hvert tilfelle.

Nåverdianalysen av tiltakene viser at det er direkteinnsprøytning av vann som gir best lønnsomhet av de tre metodene. Tiltaket er aktuelt for ringnot, trål og autolinefartøy, mens det for kystnotfartøy med gjennomsnittlig driftstid og motorisering har kun marginal gevinst av tiltakene.

## EGR

NO<sub>x</sub> dannes når nitrogen og oksygen utsettes for høye forbrenningstemperaturer. Eksosgass-resirkulering (EGR) er et tiltak der prinsippet er at en grenstrøm på ca 20 % av eksosgassen hentes ut fra eksosstrømmen, filtreres og sendes inn i motoren igjen for ny forbrenning. Denne eksosgassen fortrenger noe av oksygenmengden i tilluften til motoren som igjen fører til lavere temperatur i forbrenningskammeret ved at gassblandingsens spesifikke varmekapasitet økes og en undermetning av oksygen skapes.

Installasjon av systemet er ikke veldig plasskrevende, men det kreves en filterenhet som renser delstrømmen av eksos som skal tilbake til motoren for partikler. Dette filteret må renses ved gitte intervaller og det benyttes en spesiell type gass generert av en egen generator (ved hjelp av eksosgass og diesel produseres karbonmonoksid og hydrogen som renser filteret). I tillegg benyttes en EGR-kjøler som fjerner varme fra delstrømmen av eksos som er hentet fra motoren før den blandes med luften som skal inn i motoren. Dette krever en egen kjølesløyfe.

Vi har gjort intervju med leverandørene Nymo AS, Motorconsult AS, Cool Flame Technology og Pon-Power i tillegg til rederi/mannskap på de aktuelle fartøyene.

Med 20 % EGR har det i tester blitt oppnådd 60 % NO<sub>x</sub>-reduksjon. Men dette på bekostning av drivstofforbruk da EGR senker effekten og øker produksjonen av sot. Gjennomsnittlig kan en påregne 40-50 % reduksjon ved normal drift<sup>4</sup> og omkring 15 % EGR.

EGR benyttes for å redusere NO<sub>x</sub>-utslipp ved del-laster. Ved fullt pådrag vil EGR senke effekten og således vil en ikke kunne oppnå makseffekten til motoren og samtidig rensing.

Teknologien er kun kommersialisert for bilmotorer og det oppstår problemer straks en tar i bruk drivstoff som inneholder mer svovel og partikler dersom dette ikke renses ut. Dog er det noen prototyper i bruk langs kysten som har vist gode resultater og stabil drift etter at «barnesykdommene» har blitt luket ut. Vi har undersøkt 3 av disse, hvorav ingen var fiskebåter. Men da dette systemet fungerer omtrent likt under alle delaster foruten ved full last kan vi gjøre beregninger på alle fartøygrupper uten å måtte ta hensyn til evt. forskjeller ved ulike driftsprofiler.

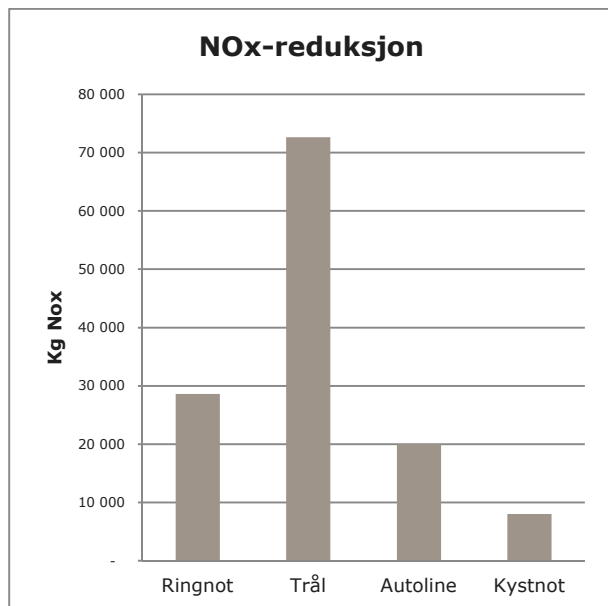
Negative sider ved installasjonen er en viss økning i energiforbruk til drift av prosessen.

---

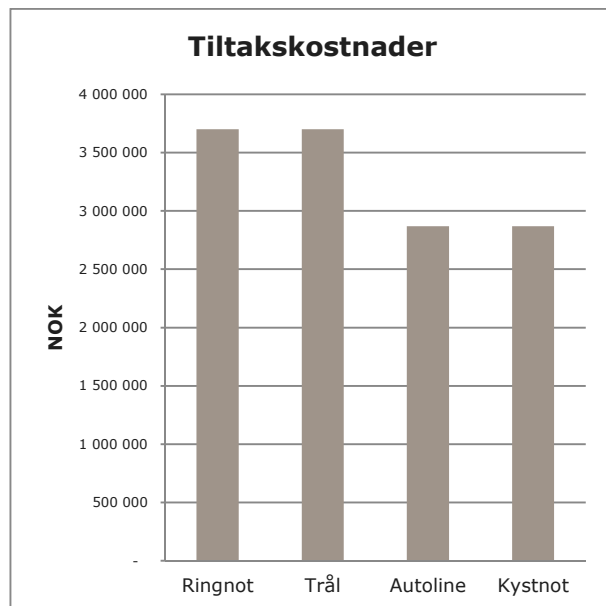
<sup>4</sup> NO<sub>x</sub>-reduction from ship engines with Exhaust Gas Recirculation (EGR) and Cool Flame Reactor, SINTEF 2010, ref. 187312/140

## NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi

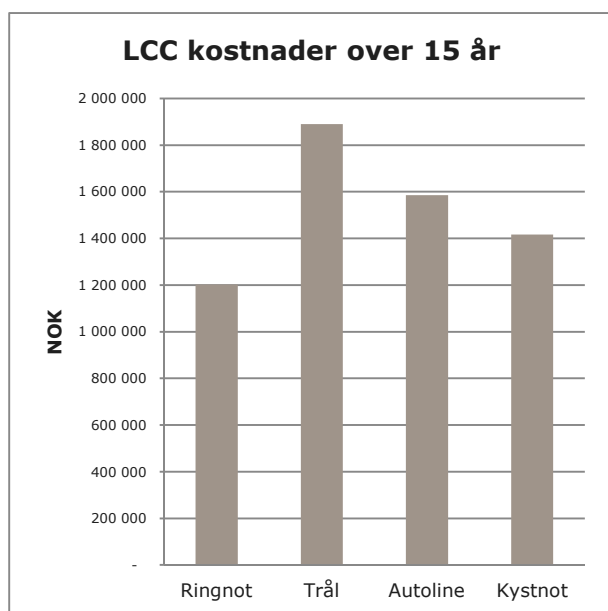
Da de tiltakene som har vært gjort er i norske fartøy er ganske få og på prototypestadiet kan en regne med synkende kostnader i takt med antall installasjoner. Da det heller ikke finnes tall for fiskefartøy har vi basert kostnaden på motorstørrelser som er overførbart til fiskefartøy.



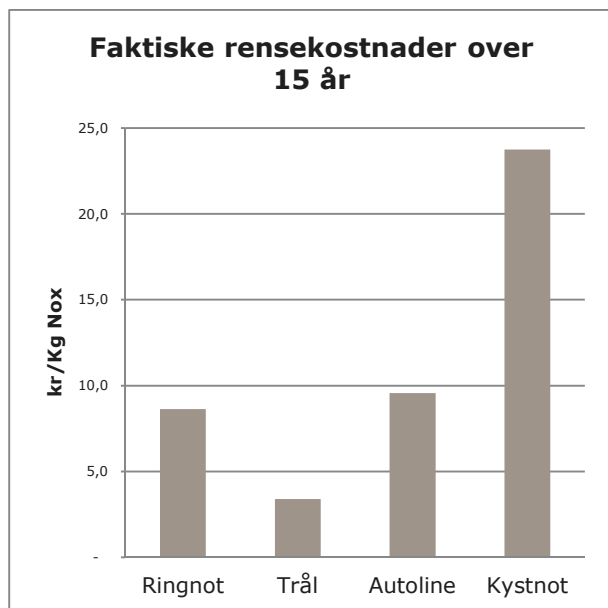
Figur 19: Årlig NOx-reduksjon for EGR i ulike fartøygrupper



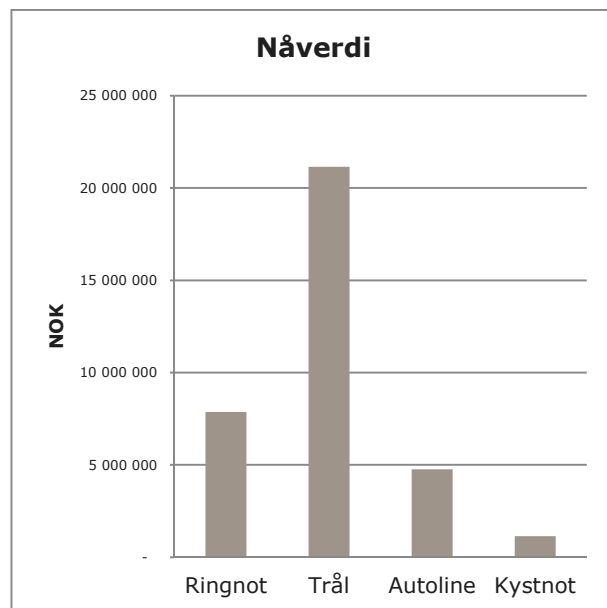
Figur 20: Tiltakskostnader for EGR



Figur 21: Levetidskostnader inklusiv støtte fra NOx-fondet for EGR i de ulike fartøygruppene



Figur 22: Renskostnad ved installasjon av EGR i de ulike fartøygruppene.



Figur 23: Nåverdi ved installasjon av EGR i de ulike fartøygruppene

### Driftserfaringer

De få rederiene som har benyttet systemet har vært fornøyde med tiltakets funksjon. Det har vært noen «barnesykdommer» i starten, men etter dette har det vært stabil drift. Imidlertid har det vært påvist sot og avleiringsproblematikk i forbindelse med tiltaket. Ved bruk av svovelholdig drivstoff må svovel renses ut, vanligvis ved bruk av scrubberteknologi, som er en kostbar investering, men det finnes også systemer som får dette til også uten bruk av scrubber, men ved bruk av vannemulsjon i kombinasjon med EGR. Dette skal vi behandle i neste kapittel.

Tiltaket virker å ha en relevans for fiskeflåten, men er kun i bruk på fraktesfartøy i dag. Anlegget krever en del plass i maskinrommet og er således ikke egnet i en del av fartøyene, spesielt bunntålere på grunn av liten plass i maskinrom. Renseprosessen til den resirkulerte eksosgassen krever energi og tiltaket havner derfor i samme bås som *Vanntilsetning* i nåverdianalysen selv om rensgraden er høyere. Også her er nåverdien størst for trålere, men de andre fartøygruppene vil også kunne oppnå positive resultater med teknologien.

Imidlertid kan også disse installasjonene komme i konflikt med garanti fra motorleverandør, noe som må undersøkes i hvert tilfelle.

## Kombinasjon vanntilsetning & EGR

Ved å kombinere to av teknologiene nevnt i tidligere kapittel kan en oppnå meget gode resultater på både NOx-reduksjon og energiforbruk.

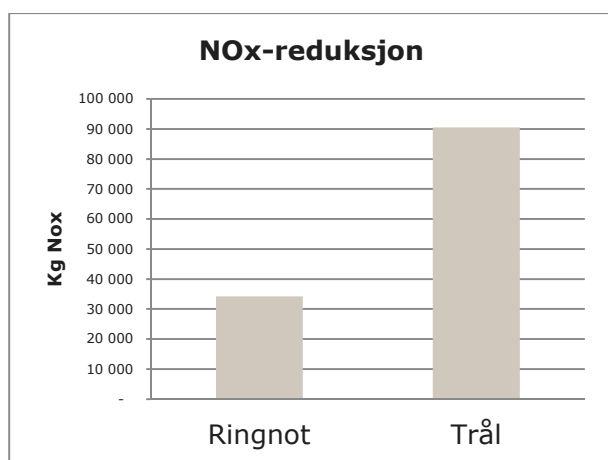
Ved å benytte vannemulsjon samtidig som en resirkulerer en grenstrøm av eksosgassene oppnår en fordelene av begge metodene og fjerner en del av de negative sidene ved begge.

De oppnådde NOx-reduksjonene har vist seg å være på omkring 60 %, men i tilfeller også opp mot 70 %. Vi har gjort intervjuer med leverandørene Nymo AS og Motorconsult AS, samt rederiene til de respektive fartøyene.

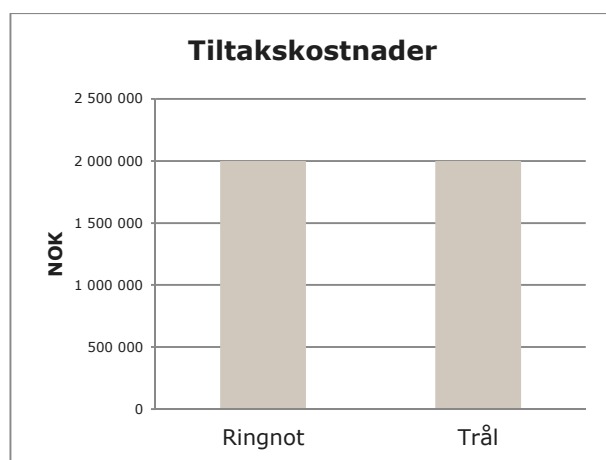
De negative konsekvensene med denne kombinasjonen er en viss økning i partikkelutslipp samt energi til drift av rense- og tilsetningsprosessene.

På grunn av manglende underlagsdata og usikkerhet omkring installasjonen for EGR+ Emulsjon i mindre fartøy har vi ikke gjort beregninger for autolone og kystnot.

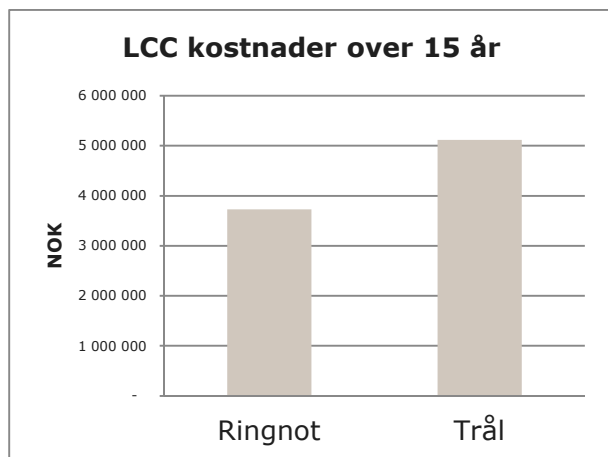
NOx-reduksjon, tiltakskostnader, rensekostnader, LCC og nåverdi



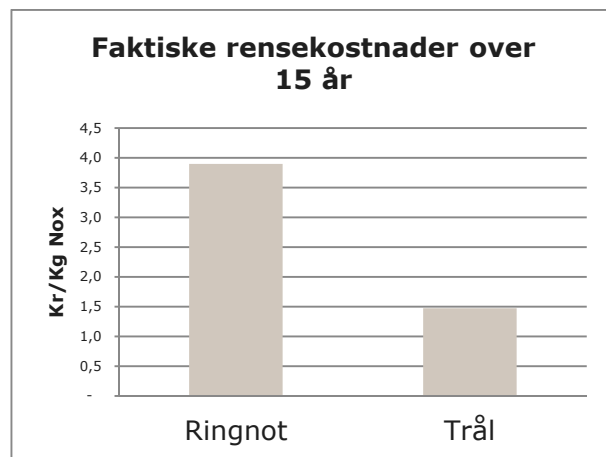
Figur 24: NOx-reduksjon for de to fartøygruppene med EGR+fukting av ladeluft



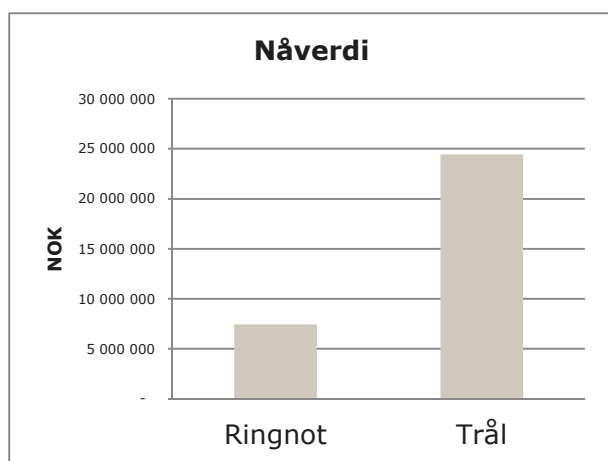
Figur 25: Tiltakskostnader for kombinasjonen emulsjon og EGR.



Figur 26: LCC kostnader inkludert støtte fra NOx-fondet for de to fartøygruppene med emulsjon+ EGR



Figur 27: Faktiske renskostnader for de to fartøygruppene med emulsjon+ EGR



Figur 28: Nåverdi for de to fartøygruppene med emulsjon+ EGR

#### Driftserfaringer:

Også denne teknologien har bare noen få installasjoner i norske fartøy, og ingen av dem er i fiskeflåten. De fartøyene som har hatt installasjonen har i likhet med EGR og Vanntilsetning hatt noen «barnesykdommer» før systemet har virket optimalt. Et av fartøyene har hatt installasjonen i 2 år med sammenhengende drift. Disse rapporterte om stabil funksjon. For motorer som bruker MSD med svovelinhold > 0,1 % vil bruk av vannemulsjon kunne erstatte installasjon av scrubber for rensing av svovel. Dette gjør installasjonen atskillig rimeligere men må imidlertid vurderes for hvert enkelt tilfelle.

Tiltaket virker som et mulig alternativ for fiskeflåten største forbrukere. Anleggene krever en del plass i fartøyene og er derfor ikke aktuell for en del av flåten. Grunnet høyt elektrisk forbruk til drift av prosessene kommer tiltaket dårligere ut for fartøyene med lang driftstid og små hovedmotorer selv om rensgraden er høy. For trålere og ringnotfartøyer er derimot teknologien et godt alternativ til de foregående metodene.



## LNG

LNG (Liquid Natural Gas) som drivstoff reduserer CO<sub>2</sub> utslipp med ca. 25 % og NO<sub>x</sub> utslipp med ca. 90 %, i tillegg elimineres Svoveldioksid og en oppnår sterk reduksjon av partikkelutslipp. Ved store grunnstøtinger/forlis vil LNG fordampe i luften og ikke forurense kysten.

LNG forbrenningsmotorer er i Norge i dag montert på flere ferger, offshorefartøy, kystvakt og foreløpig 1 fiskeförfartøy i tillegg til LNG tankere, som forbrenner fordampet LNG fra lasten under seilas.

Det er i hovedsak 2 forskjellige løsninger for LNG forbrenningsmotorer.

- 1 Løsning ved rene gassinstallasjoner med 1 eller flere gassmotorer montert direkte på propelleraksling via reduksjonsgir eller via rene gasselektriske anlegg med flere mindre gassmotorer. Som nødfremdrift har enkelte montert PTI/PTO ved at en dieselmotor legges inn på propelleraksling ved å bruke akselgenerator som fremdriftsmotor dersom direktdrevet gassmotor skulle havarere. Andre har dieselelektrisk nødfremdrift ved at akselgenerator benyttes som fremdriftsmotor.
- 2 Den andre løsningen er en hybridløsning (dual fuel) der samme forbrenningsmotor kan benytte seg av LNG eller brennolje, eller løsninger der hovedmotor benytter seg av brennolje og hjelpemotorer med LNG-drift. Eventuelt kombinasjon av diesel- og gasselektriske anlegg.

Hvilke løsninger som blir benyttet avhenger av faktorer som regelverk, tilgjengelighet/pålitelighet, investeringskostnader, driftskostnader med tanke på forbruk, reservedelsbeholdning, vedlikeholdskostnader samt tilgjengelighet på bunkring av LNG.

### Motorleverandører

Gassmotorer er noe annerledes bygd opp enn dieselmotorer alt etter leverandørens løsninger.

Under følger en kort beskrivelse av de 3 mest brukte motorleverandørene i maritim næring; Wartsila, Rolls-Royce og Mitsubishi:

- › Wartsila har satsset på gass-diesel-hybrid (dual fuel) motorer der man har mulighet til å både benytte ren dieseldrift eller gassdrift. Wartsila er den eneste av disse leverandørene der man i tillegg benytter en liten mengde diesel under forbrenningen. De leverer motorer fra 1.000 til 17.000 kW og kan benyttes både som gasselektrisk og direkte til propell.

- › RollsRoyce har kun gassmotorer for ren gassdrift etter deres "Lean Burn Combustion" prinsipp. De leverer motorer fra 1400 til 9300 kW og kan benyttes både som gasselektrisk og direkte til propell.
- › Mitsubishi leverer også kun motorer for ren gassdrift etter sitt "Lean Burn" og "Miller Cycle" prinsipp. De leverer motorer fra 372 til 984 kW (60Hz) og er hovedsakelig ment for gasselektrisk drift. Disse motorene bygges stort sett i egne kasser eller egne rom i fartøyene da de blant annet mangler doble gasstilførselsrør.

Det forventes at de fleste leverandører av større motorer vil kunne levere gassmotorer for bruk i fartøy

#### Vedlikeholdsutgifter og driftssikkerhet

Første fartøy med i norske farvann med gassdrift var bilfergen Glutra som fikk sine gassmotorer installert i 2000. Man har derfor begynt å få en viss historikk over vedlikehold og driftsproblemer for gassmotorene. I hovedsak er forskjellen på diesel og gassmotorer at gassmotorene forbrenner renere enn dieselmotoren, noe som reduserer avleiringer, sedimenter og urenheter som igjen gir mindre slitasje på bevegelige motordeler og renere smøreolje. Man ser derfor at overhalingsintervallene og utskifting av enkelte komponenter kan forlenges. Selve motorene og maskinrom vil derfor kunne fremstå som renere enn for dieselmotorer og man reduserer også lensevann og avfallsstoffer etter dieselfiltreringsprosessen.

Til gjengjeld har gassmotorene blant annet tennplugg, reguleringsenhet for gassinnblanding, fordamperehet, gassventiler, gassdetektorer og overvåkningsutstyr som behøver vedlikehold.

På bakgrunn av ovennevnte momenter har teknisk sjef for Fjord 1, Stig Førde<sup>5</sup> uttalt at de foreløpig ikke ser noen spesiell reduksjon i vedlikeholdsutgiftene i forhold til dieseldrift. Fjord 1 er det rederiet i Norge med størst erfaring innen gassdrift av fartøy.

Det kan også nevnes at de rene gassmotorene stopper automatisk om en sylinder ikke skulle tenne, det vil si at ved svikt i en tennplugg vil motoren stoppes og ikke kunne benyttes inntil problemet er løst. Ved bruk av gassmotorer skal også mannskapet kurses spesielt for dette.

Videre er et av hovedproblemene for økt bruk av gass at frekvensen for bunkring må økes, man må i tillegg investere i større fysisk plass for installasjon av bunkerstanker. Per i dag er tilgjengeligheten på gass begrenset og begrenser seg til de forskjellige gassterminalene samt noen mindre tankanlegg i forbindelse med enkelte fergeruter. Mye av gassbunkringen foregår derfor fra gasstankbiler sendt ut fra gassterminalene.

#### Metanutslipp

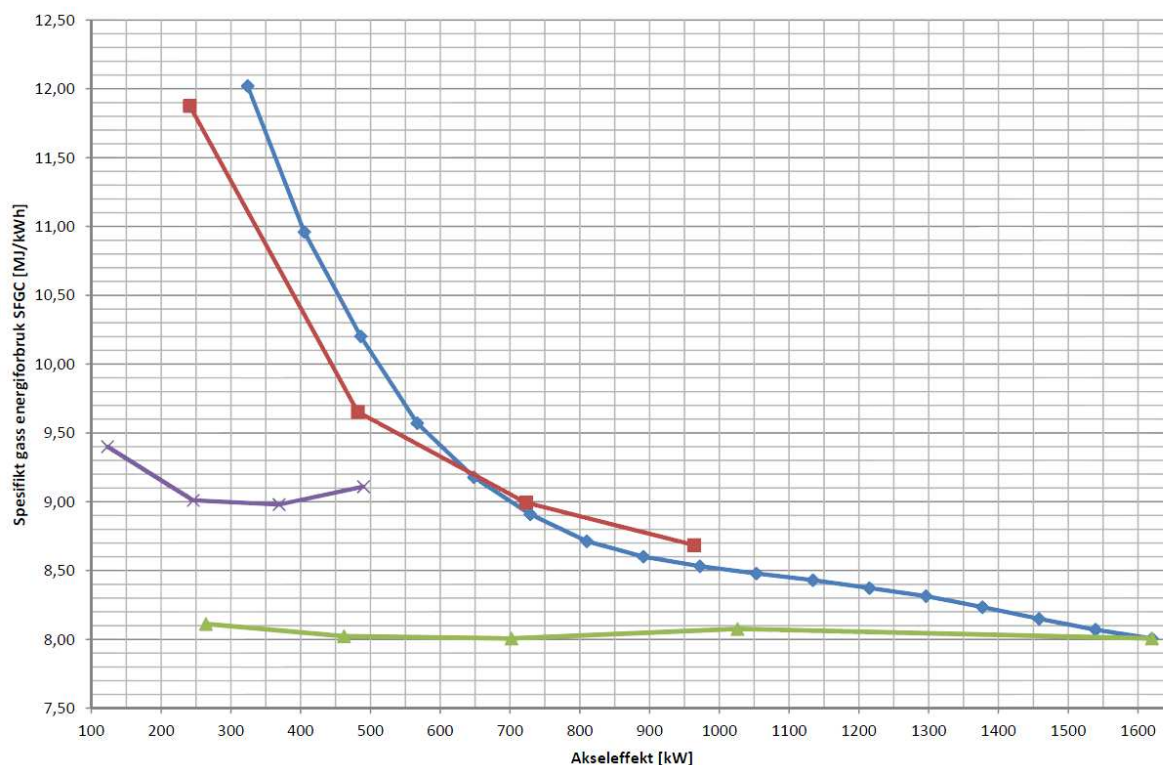
Det forekommer en del metanutslipp som følge av uforbrent gass. Metan bidrar til global oppvarming og 1 gram metanutslipp er ekvivalent til ca 25 gram CO<sub>2</sub>. De forskjellige motorfabrikantene fokuserer på å få metanutslippet ned og det er betydelige reduksjoner på disse motorene i forhold til motorer fra tidligere generasjoner. De rene gassmotorene har noe bedre metanutslipp enn Dual Fuel motorer.

---

<sup>5</sup> Næringslivets NOx-fond og MARINTEK's seminar 2. og 3. oktober 2012 [LNG Lean Burn "Boknafjord"](#), Stig Førde, teknisk sjef Fjord 1

## Virkningsgrad

Generelt har gassmotorene bedre virkningsgrad enn 4 takts dieselmotorer, tester fra motorleverandørene viser termiske virkningsgrader opp mot 50 %.



Figur 29: viser 2 gassmotorer med fast turtall (Rød og Blå kurve) og 2 gassmotorer med variabelt turtall (lilla og grønn).

Som figuren viser har gassmotorene med variabelt turtall en nærmest flat virkningskurve, dette er svært fordelaktig når det er behov for lengre tidsperioder med dellast.

## Beregninger

Per dags dato er det ikke bygget noen fiskefartøy ved bruk av LNG som drivstoff. Foreløpig er LNG benyttet i offshorefartøy, taubåter, ferger, kystvakt, for-fartøy og LNG tankere. Flåten er økende og Norge er verdensledende innen segmentet.

For å estimere bunkersforbruk og bunkringsintervall for et fiskefartøy med LNG har vi gjort en del beregninger der data fra motor og bunkerstankleverandører er benyttet.

Vi har hovedsakelig sett på 2 typer fiskefartøy, ett med hybridmotor og ett rent gasselektrisk.

Volum	m3	75
LCV	kWh	455 349,6
Midlere effektforbruk	kWh	2 000,0
Forbruk	MJ/h	15 420,0
Forbruk	kW/h	4 283,3
Forbruk	m3/h	0,705502
Tank	m3	75
Tid før bunkring	h	106,31

For en hybridmotor på 2 700 KW med LNG tank på 75m<sup>3</sup> vil dette fiskefartøyet måtte bunkre LNG etter 106 timer, eller ca. 4,5 døgn med gjennomsnittlig 75 % last (2 000 KW).

Et annet eksempel viser et tenkt fiskefartøy med gasselektrisk drift der rene gassmotorer benyttes.

Volum	m3	75
LCV	kWh	455 349,6
Midlere effektforbruk	kWh	1 400,0
Forbruk	MJ/h	12 320,0
Forbruk	kW/h	3 422,2
Forbruk	m3/h	0,563669
Tank	m3	75
Tid før bunkring	h	133,06

For 2 gassmotorer på 930 KW med LNG tank på 75 m<sup>3</sup> vil dette fiskefartøyet måtte bunkre LNG etter 89 timer eller ca 5,5 døgn med gjennomsnittlig 75 % last (1400 KW).

Eksempelene over viser et høyt bunkersintervall, spesielt for havgående fartøy. Ved å øke tankkapasiteten til 150 m<sup>3</sup> vil man kunne oppnå et bunkringsintervall på 212,5 timer eller ca. 9 døgn for hybridmotoren og 266 timer eller ca 11 døgn for den gasselektriske.

### Tankutforming og kapasitet

LNG bunkerstanker er typisk sylindrisk utformet. Utfordringen blir dermed at volumet i fartøyet som skal settes av til bunkers blir stort i forhold til selve volumet av LNG. En annen mulighet er å benytte dekksplass slik at tanken kan plasseres der.

I tillegg til selve bunkerstanken vil systemets fordampingsenhet (Cold box) være som en forlengelse av tanken. Litt avhengig av kapasiteten på anlegget vil fordampingsenheten være på i overkant 3x3x3 meter.

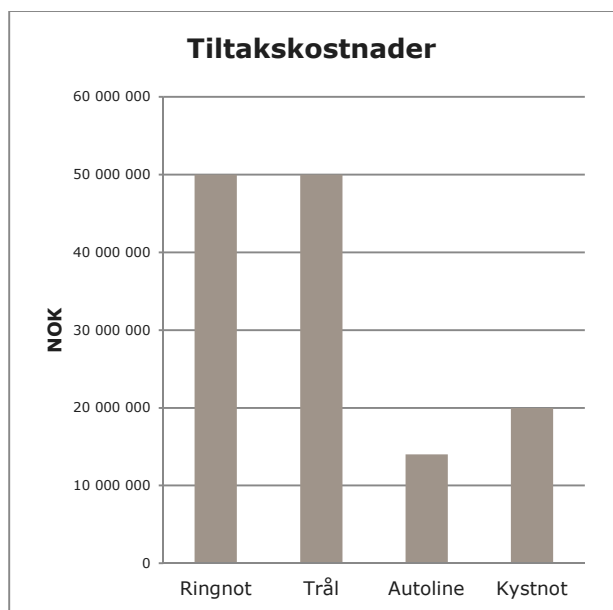
En tank på 150 m<sup>3</sup> inkludert fordampingsenheten vil dermed kunne ha en ytre diameter på ca 3,7 meter og lengde på 23 meter med nettovekt på ca 65 tonn. En tank på 200 m<sup>3</sup> inkludert fordampingsenheten vil kunne ha en ytre diameter på 5,3 meter, lengde på 15,5 meter og vekt på ca 80 tonn.

### NOx-reduksjon, tiltakskostnader, rensekostnader, LCC og nåverdi

Vi har tatt utgangspunkt i et eventuelt nybygg med konvensjonell fremdriftsløsning og sammenlignet investering og drivstoff/NOx avgifts kostnader. For et fiskefartøy må nødvendigvis skroget for et gassdrevet far-

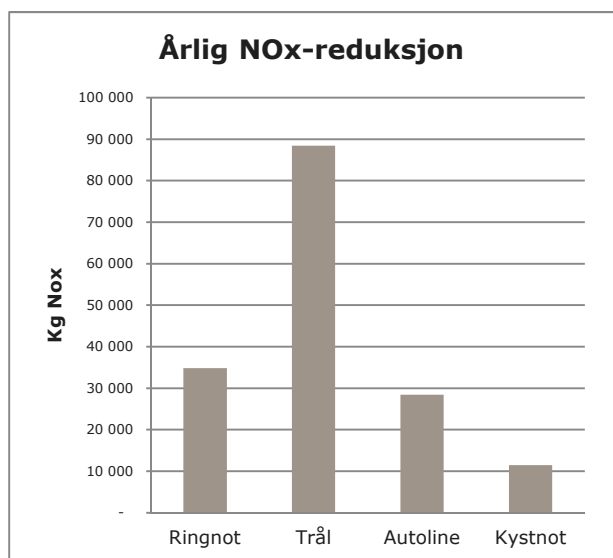
tøy være større enn for et dieseldrevet fartøy grunnet ekstra plass for gasstanken. I tillegg til dette er det en del andre høyere kostnader for gassmotorinstallasjoner, ved hybriddrift må man også ta hensyn til dieseltanker og tilhørende utstyr.

Tiltakskostnaden vil derfor kunne variere noe avhengig av valgt motorarrangement, men besparelse i NO-avgift og bunkerskostnad vil bli omtrent det samme. Vi har videre tatt utgangspunkt i en sammenligning der dieselmotoren har en NOx faktor på 40 kg NOx/tonn bunkersolje og gassmotoren 8 kg NOx/tonn bunkersolje.

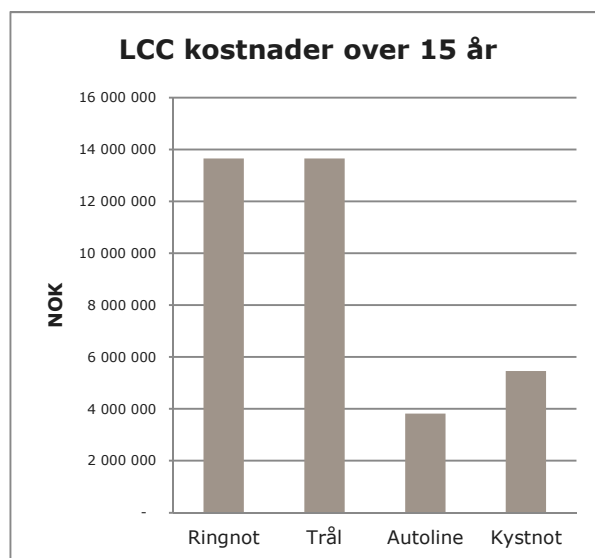


Figur 30: Tiltakskostnad for gassinstallasjon utført i forbindelse med nybygg (Eventuell NOx fond refusjon er ikke hensynstatt)

Som figuren viser vil de større ringnot- og trålerfartøyene ha større kostnader da effektbehovet samt plassbehov og størrelse på LNG tank vil være større. Det er viktig å få frem at disse kostnadene er forskjellskostnader mellom en diesel- og en gassinstallasjon.



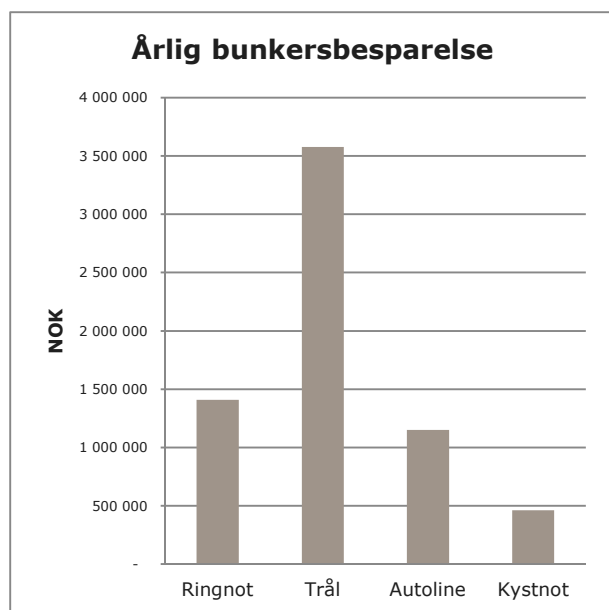
Figur 31: NOx reduksjon for gassinstallasjon over 1 år



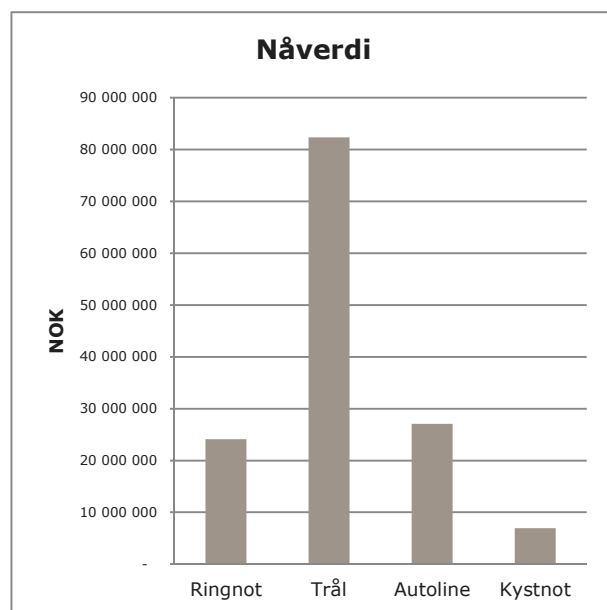
Figur 32: Livstidskostnader med støtte fra NOx-fondet over 15 år for gassinstallasjon

Grunnlagsdata for beregning av NOx reduksjon er erfaringsdata innhentet av COWI. Som vi ser har trålerne klart størst NOx reduksjon på bakgrunn av lengre driftsperiode og dermed forbruk.

Når kapitalkostnader og mulig NOx-fond støtte er inkludert ser man at trålerflåten innhenter klart størst støttesats på bakgrunn av større forbruk. Kapitalkostnadene er også så høye i forhold til NOx reduksjonen at ingen av fartøygruppene klarer å oppnå støttesatser opp mot 80 % av kostnadene, som er NOx fondets øverste grense for investeringsstøtte.



Figur 33: Årlig bunkersbesparelse



Figur 34: Nåverdi ved drift over 15 år

På grunn av lav gasspris og økt virkningsgrad i en gassmotor ser vi at det er en betydelig bunkersbesparelse ved å benytte gass kontra diesel.

Som figuren viser vil en ren gassdrevet tråler oppnå store besparelser på grunn av større forbruk enn for andre fartøygrupper. Ringnot, autoline og kystnot vil også ha store økonomiske fordeler av gassdrift.

### Sammendrag gassdrift

Det er enda ikke bygget fiskefartøy med gassdrift, investeringskostnadene benyttet er derfor omtrentlige verdier og vil variere noe i forhold til valgt løsning. Gassdrift er likevel uten tvil interessant for fiskeflåten, spesielt med investeringsstøtte fra NOx fondet. Som nåverdiberegningene viser vil spesielt en tråler ha store besparelser. Ringnot, autoline og kystnot kommer noe lavere ut på grunn av færre driftsdøgn og dermed mindre besparelse for NOx avgift og bunkers. Et slikt fartøy kan likevel oppnå besparelser om man har annen drift på fartøyet enn tradisjonell notfiske som for eksempel forskningsoppdrag, offshore og andre tjenester. Fremtidige kvoter og tilgjengelighet på fisk vil også være av betydning.

Som eksemplene av forbruk viser vil det være vanskelig å ha tankkapasitet nok for en tråler eller autolinefartøy for drift i en måned om gangen. Et alternativ er at fartøyet har et dieselalternativ ved hybridmotor eller gass-dieselelektrisk der man benytter for eksempel 2 gassgeneratorer og 2 dieselgeneratorer. Ved dette alternativet vil nåverdien reduseres tilsvarende med bruk av diesel kontra gass. Et annet alternativ er at fartøyene går inn til land oftere enn i dag. Dette vil øke driftsutgiftene noe, uten at vi vet om dette vil «spise opp» for-tjenesten ved gassdrift.

## Flytende frekvens

Ved å bruke teknologi som lar hovedmotor gå med variabelt turtall men samtidig produsere elektrisitet, unngår en å bruke hjelpemotorer og utnytter hovedmotorens høye forbrenningseffektivitet. Dette muliggjør et lavere turtall på propell og dermed forbedret propellvirkningsgrad. For ringnotfartøy har denne metoden gitt besparelser på omlag 20 % drivstoff og tilsvarende reduksjon av NO<sub>x</sub>-utslipp. For ringnot er dette spesielt viktig da propellen er dimensjonert for tråling mens størsteparten av driften er ved langt lavere last.

Et alternativ til dette systemet er å benytte gir med 2 trinn som lar hovedmotoren operere enten ved høyt eller lavt turtall. På denne måten kan motorens turtall reguleres ned ved lave laster slik at en oppnår høyere effektivitet (gram olje/kWh). Utfordringen kommer når en i tillegg skal la hovedmotoren dekke elektrisitetsbehovet. Fordelene er at en oppnår bedre propellvirkningsgrad og i stor grad slipper å benytte seg av hjelpemotorer, hvor energiproduksjonen er mindre effektiv enn for den større hovedmotoren. Dette gir både bedre drivstofføkonomi og lavere servicekostnader. I dette systemet vil det likevel være en god del pitch-tap siden det ikke er mulighet til å varierer turtallet fritt.

Det finnes flere utgaver av teknologien, hvor den enkleste lar hovedmotoren variere turtallet innenfor et område som tillater akselgeneratoren å variere rotasjonen innenfor 50-60 Hz. Ved å benytte et gir som gir den nødvendige utvekslingen kan motorturtallet varieres i et relativt stort intervall. I de fleste tilfeller kan en koble produksjonen av el-kraft over på hjelpemotorene og fristille hovedmotoren helt til fremdrift. De fleste 3-fase elektromotorer lar seg forsyne av mellom 50 og 60 Hz slik at drift av vinsjer, pumper, vifter og annet utstyr som drives av en elektromotor kan kobles direkte til denne strømforsyningen. Annet utstyr slik som datamaskiner, skjermer, radar, sonar, lysrør, etc. forsynes fra omformere som stabiliserer spenning og frekvens.

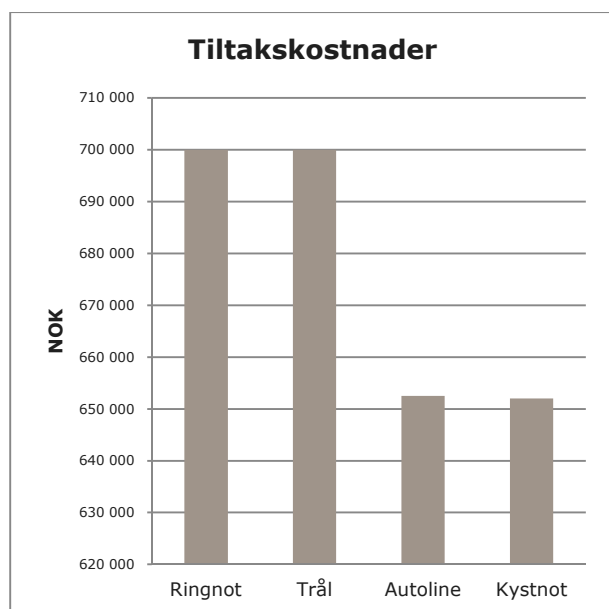
Andre løsninger kombinerer både 2-trinns gir og flytende frekvens som gir enda større fleksibilitet og muligheten til enda større besparelser og NO<sub>x</sub>-reduksjoner.

Vi har gjort intervjuer med en rekke rederier i forbindelse med *flytende frekvens*. Og det finnes flere leverandører som formidler teknologien.

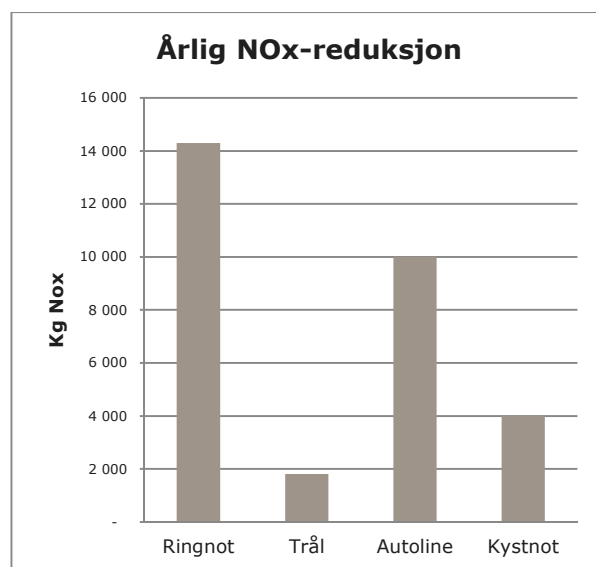
## NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi

Våre beregninger er gjort for fartøy som alt har akselgenerator.

Tiltakskostnadene her er veldokumentert, men det er et markant skille mellom bruk av roterende omformer og statisk omformer hvor sistnevnte er en del mer kostnadskrevene. Vi har gjort beregninger med roterende omformer da dette er den mest utbredte teknologien.



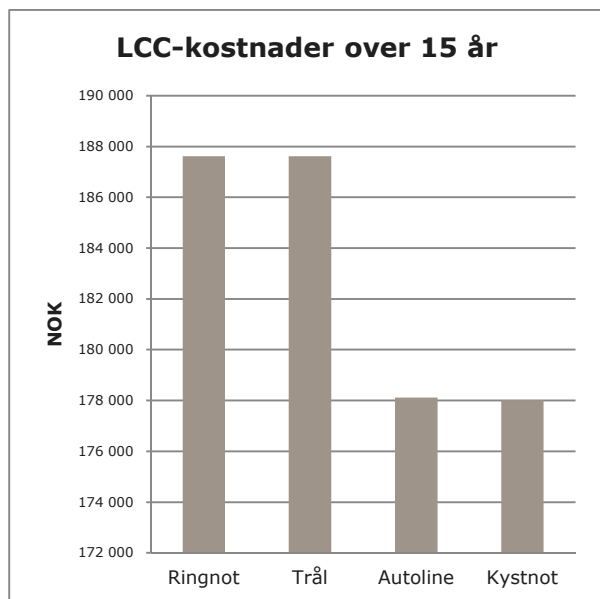
Figur 35: Tiltakskostnad for Flytende frekvens for ulike fartøygrupper. Vi bemerker at det ikke inngår støtte fra NOx-fondet i tiltakskostnadene



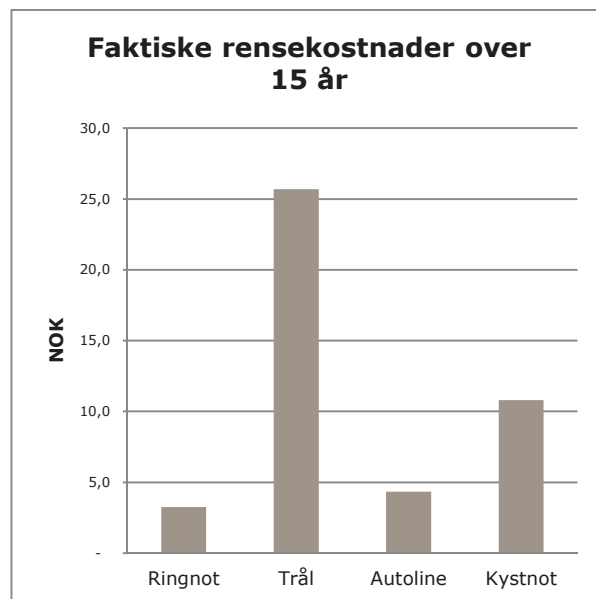
Figur 36: Årlig NOx-reduksjon for tiltaket Flytende frekvens for ulike fartøygrupper.

Tiltakskostnadene er relativt lave for alle fartøygruppene, mellom NOK 650-700 000,- ved bruk av roterende omformer. Alternativt kan statisk omformer benyttes, men til en mye høyere kostnad. Dersom fartøyet ikke har akselgenerator vil kostnader knyttet til installasjon av denne komme i tillegg. I noen fartøy vil muligens denne kostnaden bli urimelig høy, spesielt dersom det omfatter skifte av gir.



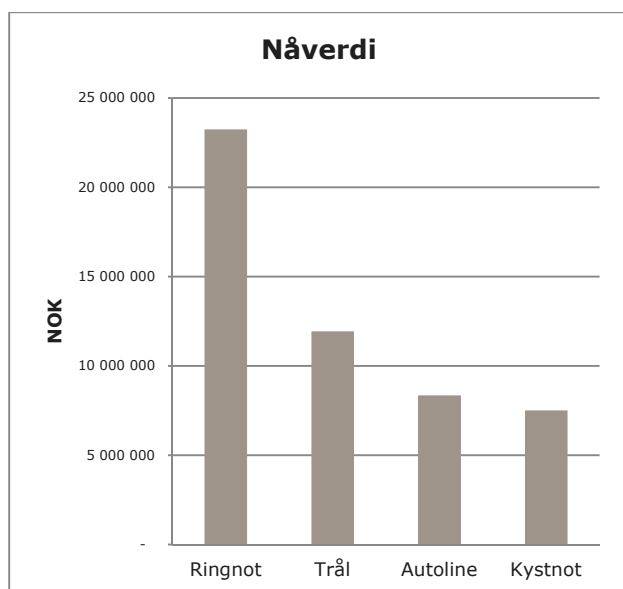


Figur 37: LCC for tiltaket Flytende frekvens inkludert støtte fra NOx-fondet for ulike fartøygrupper.



Figur 38: Faktiske renseskostnader for tiltaket Flytende frekvens for ulike fartøygrupper.

Levetidskostnadene er lavest for kystnot- og autolinefartøy er lavest grunnet mindre investeringsbehov. De faktiske renseskostnadene er høyest for trål grunnet lavere olje- og NO<sub>x</sub>-reduksjon av tiltaket.



Figur 39: Nåverdi for tiltaket Flytende frekvens for ulike fartøygrupper.

### Driftserfaringer

En rekke fartøyer har installert systemet som ansees som velprøvd i fiskefartøy. Reduksjonene vil i stor grad avhenge av at fører av skipet regulerer systemet etter hvilke modus fartøyet opererer i. De rederier vi har snakket med om disse installasjonene har ikke hatt problemer med systemene utover en innkjøringsperiode med justeringer og tilpasninger av systemet. Installasjonen egner seg for alle fartøy hvor akselgenerator benyttes og den store energibesparelsen og den lave investeringskostnaden gjør at teknologien kommer meget

godt ut i nåverdianalysen. Det er heller ingen ekstra løpende driftskostnader ved installasjonen. Det vil forekomme noe tap i den roterende omformeren og overføringer til den, men dette er medtatt i beregningene for energireduksjon.

## Dieselektrisk Fremdriftssystem

Vi behandler både hybriddrift og ren dieselektrisk fremdriftssystem under dette kapittelet.

Hybrid fremdriftssystem er et skritt videre fra det foregående kapittel om flytende frekvens. Ved å gjøre akselgeneratoren til *både* elektromotor og generator, kan fremdriften besørges av hjelpemotorer alene (dieselektrisk drift). Hjelpemotorene kan også benyttes til «boosting» av fremdriften ved at de via akselgeneratoren/elektromotoren tilfører hovedmotoren ekstra kraft. Hovedmotoren er da fortsatt tilkoblet akslingen via giret for direkte mekanisk drift og frakoblet ved dieselektrisk drift. Det finnes flere utgaver av disse installasjonene hvor spesielt HSG (Hybrid Shaft Generator) i enkeltfartøy har gitt store energibesparelser grunnet muligheten til å la hovedmotoren produsere elektrisk energi ved enda lavere turtall enn ved flytende frekvens. Dette tillater et mye lavere propellertall og fjerner størstedelen av *pitch-tapet* til propellene. Denne muligheten fjerner også tapet som oppstår når hovedmotoren går med fast turtall på lav last, et tap som er en følge av at hovedmotoren produserer mer energi enn hva som effektivt kan brukes til framdrift.

Ren dieselektrisk (DE) drift er et skritt videre fra hybriddrift og fjerner bindeleddet mellom aksling og forbrenningsmotor. Det er da kun elektromotorer koblet til akslingen som forsynes av strøm fra en hjelpemotorpark. For at det hele skal være *redundant*, dvs ha en reserveløsning i tilfelle elektromotoren svikter, er det krav til at det er to elektromotorer som kan sørge for fremdriften. Dette kan løses med to akslinger eller med to elektromotorer på samme aksling. I det siste tilfellet finner en ofte at en har to elektromotorer med forskjellig kapasitet slik at en har en liten elektromotor, en "take me home løsning" som gir tilstrekkelig fremdrift til å bringe fartøyet til land, men ikke til å drive aktivt fiske. Den andre, større elektromotoren har som regel trinnløs regulering av turtall eller en «high mode» og en «low mode» som brukes avhengig av energibehov til fremdrift. I "low mode" har en halvert turtall, mens i "high mode" har en fullt turtall på den store elektromotoren. Trinnløs regulering gir mulighet til større variasjon i propellerturtall.

Besparelsene for hybriddrift er i stor grad avhengig av muligheten til å kunne regulere turtallet til hovedmotor for å kunne redusere *pitch-tap* i propeller, som på dellast vil kunne utgjøre store deler av forbruket. Idet en nærmer seg dimensjonerende hastighet vil konvensjonelle fartøy ha like god driftseffektivitet som fartøy med hybriddrift.

I fiskeflåten finnes det for det meste fartøy med hybriddrift, mens det for offshoreflåten er mer vanlig med ren DE-drift.

Siden DE-fremdriftssystem er et tiltak som antas kun relevant ved nybygg, bruker vi et NO<sub>x</sub>-utslipp for motorer som tilfredsstiller Tier II 2 krav som utgangspunkt, til forskjell fra de øvrige tiltakene hvor utgangspunktet er eldre motorer med større NO<sub>x</sub>-utslipp. Hybriddrift har derimot en annen og lavere kostnadsramme

enn DE-fremdriftssystem uten at vi har funnet noen eksempler på fartøy hvor dette er gjort. Hybrid fremdriftssystem kan som sådan være aktuell med tanke på installasjon i eksisterende fartøy.

## Dieselektrisk fremdriftssystem

DE-fremdriftssystem har en fordel ved variable lastforhold hvor både fremdriften og elektrisk energiproduksjon kan besørgeres av dieselgeneratorer som går på høy last og med god forbrenningseffektivitet. Nøkkelen til å ha høy last på dieselgeneratorene er å dimensjonere motorparken slik at effektbehovet til hver enkelt driftstilstand fartøyet skal operere i treffer en kombinasjon av generatorer som går med optimal forbrenning. Dette krever nøye planlegging og at fartøyet blir benyttet til det formål det ble designet for.

Et annet moment for DE-fremdriftssystem er om fremdriften besørgeres med variabelt propellerturtall, eller et fast propellerturtall. Ved variabelt turtall vil en i tillegg oppnå en stor besparelse som følge av at en reduserer *pitch-tapet* til propeller som i tilfeller hvor fartøyet går med redusert hastighet kan bli stort. Dette innebærer at de som bygger et fartøy med dieselektrisk fremdriftssystem med variabelt propellerturtall oppnår betydelig større besparelse enn de som velger fast propellerturtall. To ulike turtall, *high mode* og *low mode* vil representere en mellomting.

Tapet som oppstår i DE-drift er tap fra overføring fra mekanisk energi til elektrisk energi, tap i elektrisk nett, tap i frekvensomformer og tap i elektromotor til framdrift. Dette tapet er ikke statisk, men endrer seg med ulikt pådrag og vil derfor slå ulikt ut for ulike driftsprofiler. Tapene er også redusert merkbart siden de første installasjonene. Eksempelvis var virkningsgraden i frekvensomformere til fremdrift i et fartøy bygget i 1999 på 95,5 %, mens virkningsgraden i erstatningsomformeren var 98 % ved bytte i 2012 (MS Melshorn).

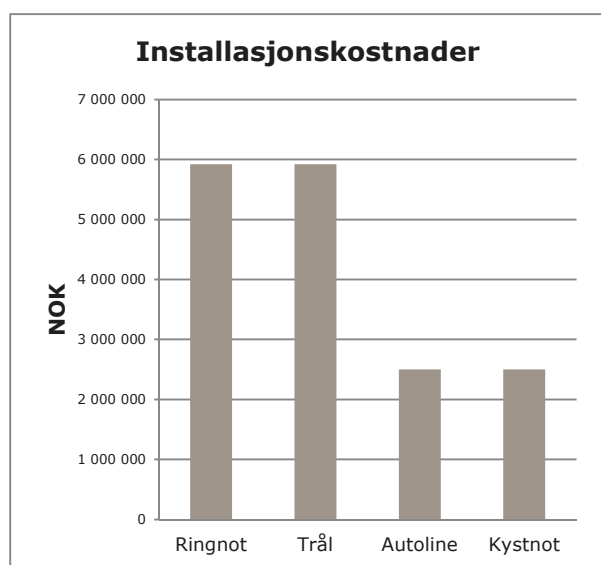
Det vil være en forskjell i servicekostnader for dieselektrisk anlegg kontra konvensjonelt anlegg. Dette vil virke i begges favør/disfavør ved ulike motorkonfigurasjoner og må tas hensyn til ved vurdering.

**NOx-reduksjon, tiltakskostnader, rensekostnader, LCC og nåverdi**

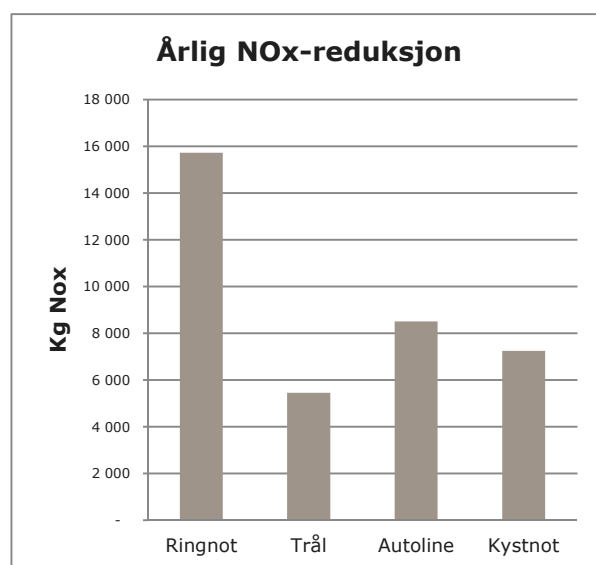
I våre beregninger har vi brukt følgende besparelser for DE-fremdriftssystem med variabelt propellerturtall:

Fartøygruppe	Utg. pkt. NOx-utslipp tonn	Reduksjon ved DE-fremdriftssystem
Ringnot	46	22 %
Trål	104	3 %
Kystnot	12	36 %
Autoline	29	17 %

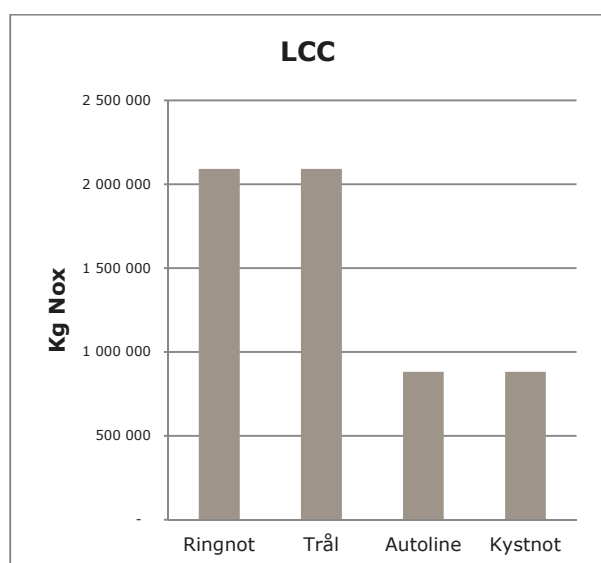
Tabell 8: Utgangspunkt for beregning av besparelser ved DE-fremdriftssystem med variabelt propellerturtall



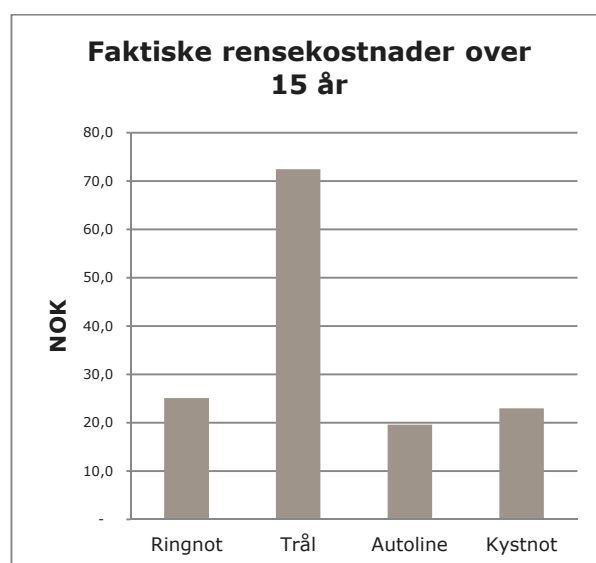
Figur 40: Installasjonskostnader i nybygg



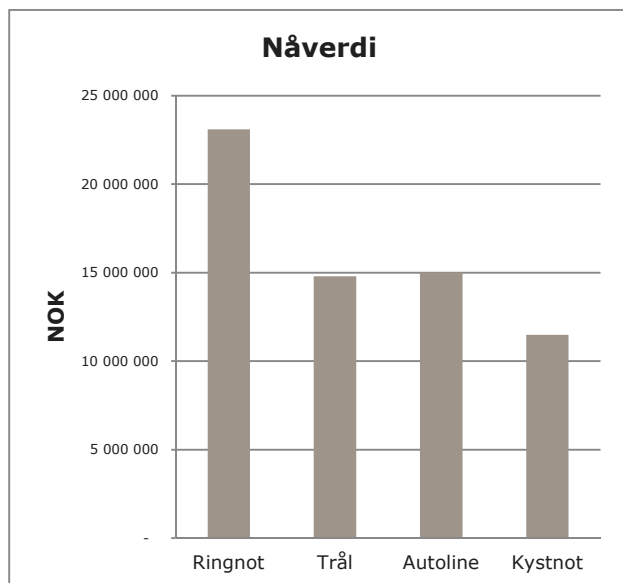
Figur 41: Årlig NOx reduksjon som følge av tiltaket



Figur 42: Livsløpskostnader inkludert NOx-støtte for die-selelektrisk fremdrift



Figur 43: NOx-rensekostnader i tiltakets levetid



Figur 44: Nåverdi for tiltak med støtte fra NOx-fondet

## Hybriddrift

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

Tabell 9: 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	
EI 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	184,00	-	0	181,00	182,00	0	
Last HJM	0 %	74 %	74 %	43 %	0 %	11 %	
g/kWh	0	182	182	183	0	193	
<b>Result. g/kWh</b>	<b>184</b>	<b>182</b>	<b>182</b>	<b>182</b>	<b>182</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	294 165	56 656	62 680	364 681	189 992	15 106	983 280
Red 1 i kg olje	33 071	19 826	20 959	27 551	25 052	4 461	130 921
Red 1 i %	10 %	26 %	25 %	7 %	12 %	23 %	12 %
<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 %	16,9 %
Besp. 2 i Kg olje	69 129	23 229	50 770	-	44 648	-	187 776
<b>Sum alle besparelser</b>							
Besp. 1 og 2 i kg	102 200 Kg	43 055 Kg	71 729 Kg	27 551 Kg	69 700 Kg	4 461 Kg	318 698 Kg
Besp. totalt i %	31 %	56 %	86 %	7 %	32 %	23 %	29 %

Tabell 10: Beregning av energireduksjoner med hybrid framdrift på ringnotfartøy.

Det er i beregningen over en teoretisk mulig besparelse på 29 % for et typisk ringnotfartøy med hybriddrift. Systemet har i stor grad likheter med flytende frekvens, med den forskjell at en ytterligere reduksjon av propellerturtall ved lave hastigheter gjøres mulig. I tillegg gir hybridssystemet mulighet for DE drift 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
Bunntåler	2 %	46 478 Kg
Ringnot	29 %	318 698 Kg
Kystnot	24 %	53 600 Kg
Autoline	31 %	214 905 Kg

Tabell 11: 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 og om lag 3 % for bunntålere.

Vi fikk logget tre fartøy med hybrid framdriftsanlegg i dette prosjektet<sup>6</sup>. 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.

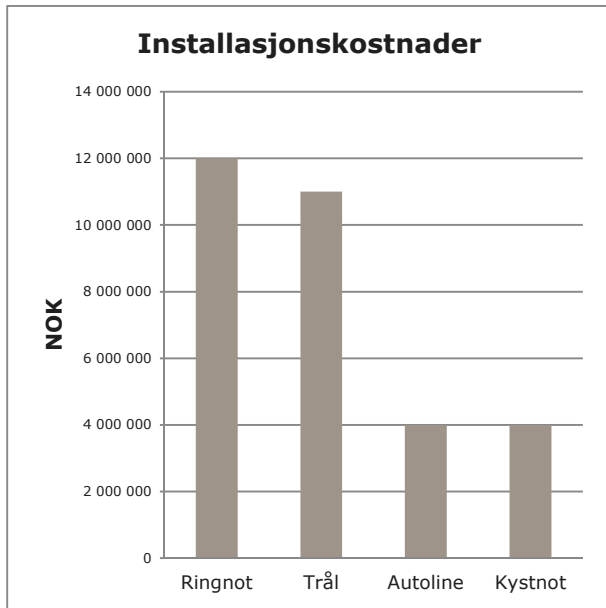
NOx-reduksjon, tiltakskostnader, rensekostnader, LCC og nåverdi

I våre beregninger har vi brukt følgende besparelser for Hybrid fremdriftssystem med variabelt propellerturtall under DE-fremdrift:

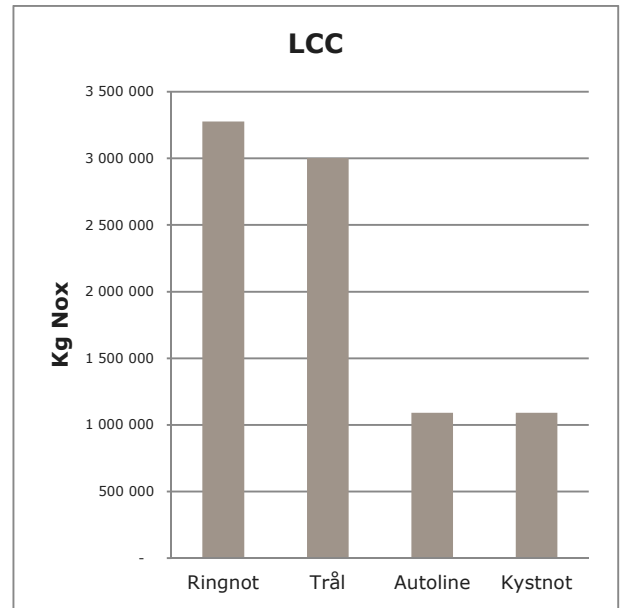
---

<sup>6</sup> "Diselelektrisk fremdriftssystem", delrapport EFFEKT Januar 2014, J. I. Jenssen

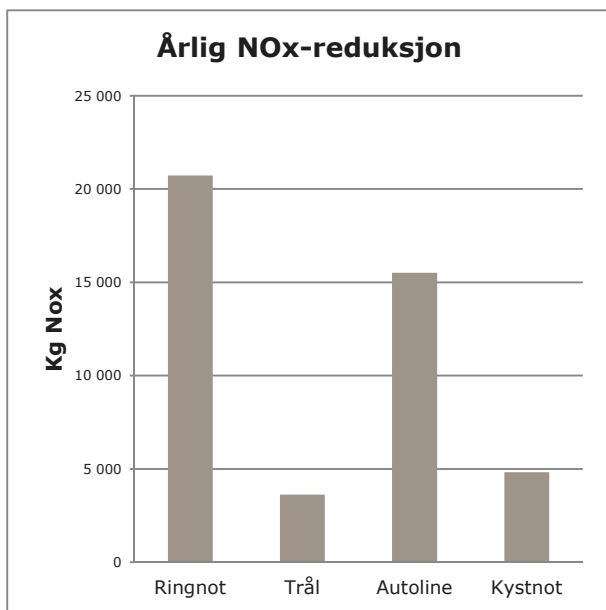




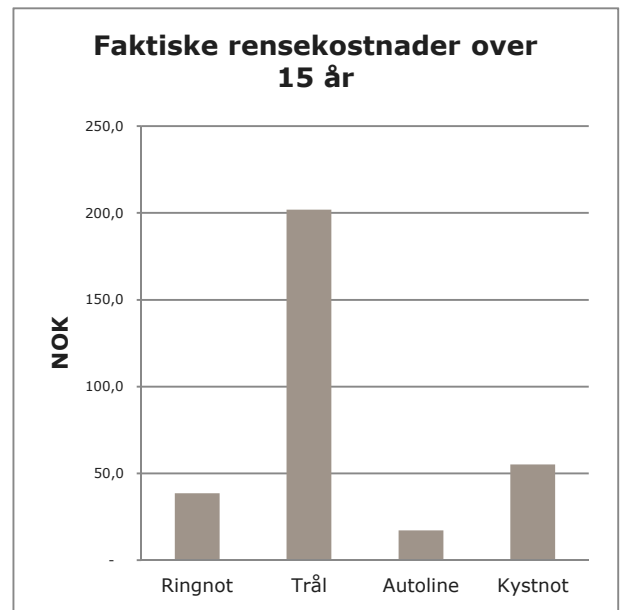
Figur 45: Installasjonskostnader i nybygg



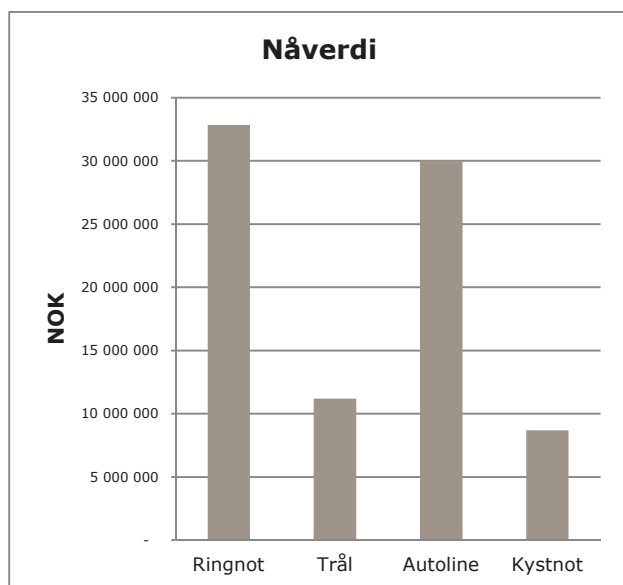
Figur 47: Livsløpskostnader inkludert NOx-støtte for hybrid fremdriftssystem



Figur 46: Årlig NOx reduksjon som følge av tiltaket



Figur 48: NOx-rensekostnader i tiltakets levetid



Figur 49: Nåverdi for tiltak med støtte fra NOx-fondet

### Brukererfaringer

Per i dag er det 8 fiskefartøy med støtte fra NOx-Fondet som er i drift med hybrid eller dieselelektrisk fremdriftssystem. I tillegg er det 5 fartøy som er bygget med denne teknologien utenom støtteordningen til NOx-fondet, mens 14 fartøy er under bygging i skrivende stund. Mens DE-drift er vanlig i handels- og offshoreflåten har fiskeflåten vært relativt konservativ. Argumentene mot DE-drift har vært de selvfølgelig ekstrakostnadene som systemet påfører byggeprosessen, men også kravet til pålitelighet og hvilken nytte fartøyene ville ha av et slikt system. Det har dog vært noen pionerer på området som bygde dieselelektriske fiskebåter før NOx-fondet ble opprettet og som har lang erfaring med denne driften. Den første Autolinebåten med DE-drift ble satt i drift alt i 2001 og den første kombitråleren (ringnot/pelagisk trål) ble satt i drift i 2005. Begge disse fartøyene er fortsatt i drift og eierne har vært fornøyde med investeringene og fremhever fleksibiliteten samt lavere energiforbruk og servicekostnader som de største fordelene. Men der er også andre positive biefekter som mindre støy og større driftssikkerhet.

### Autoline

Autolinefartøyet MS Argos Frøyanes (Ex. Frøyanes), eid av Ervik Havfiske, fisker i dag i farvannene ved Sørishavet. Fartøyet fisker med en type bruk som ikke er vanlig i norske fiskerier slik at sammenligningen med norske linebåter er vanskelig. Rederiet har dog fartøyer som fisker i samme farvann, med samme størrelse og bruk, men med konvensjonelt fremdriftssystem som en kan sammenligne driften mot. Uten å gå inn på detaljene i oljeforbruket, viser det seg at DE-systemet gjør at Argos Frøyanes bruker 18 % mindre drivstoff enn sin konvensjonelle motpart. Rederiet hevder at besparelsene er størst i godt vær, mens det i dårlig vær ikke er noen besparelse. Ved sammenligning mot norske forhold kan besparelsen synes å være omkring 16,5 %.

### Ringnot

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 det som kalles "pitch-tap" som er et resultat av at propellen bruker energi til å spinne rundt, men klarer bare å utnytte en del av dette til framdrift.

Erfaringer med MS Teigenes tilsier en meget lav driftstid på hovedmotor. Fartøyets årlige driftstid er 4 080 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 6000 kW kraft tilgjengelig for enten elektrisk bruk, framdrift eller en kombinasjon.

Sammenlignet med 10 fartøy i samme størrelsesorden med samme kvotegrunnlag fant vi at Teigenes har 22 % lavere energiforbruk under ringnotfiske og 3 % lavere energiforbruk under tråling etter pelagisk fisk. Dette bekrefter i stor grad beregninger som er gjort av ulike skipsdesignere og tallene som danner grunnlag for søknader til NOx-fondet.

### Kystnot

I prosjektperioden har vi logget en rekke fiskefartøy med DE drift. De fleste ganske nye kystnotfartøy, men også noen som har hatt noen års drift og har gjort seg ulike erfaringer.

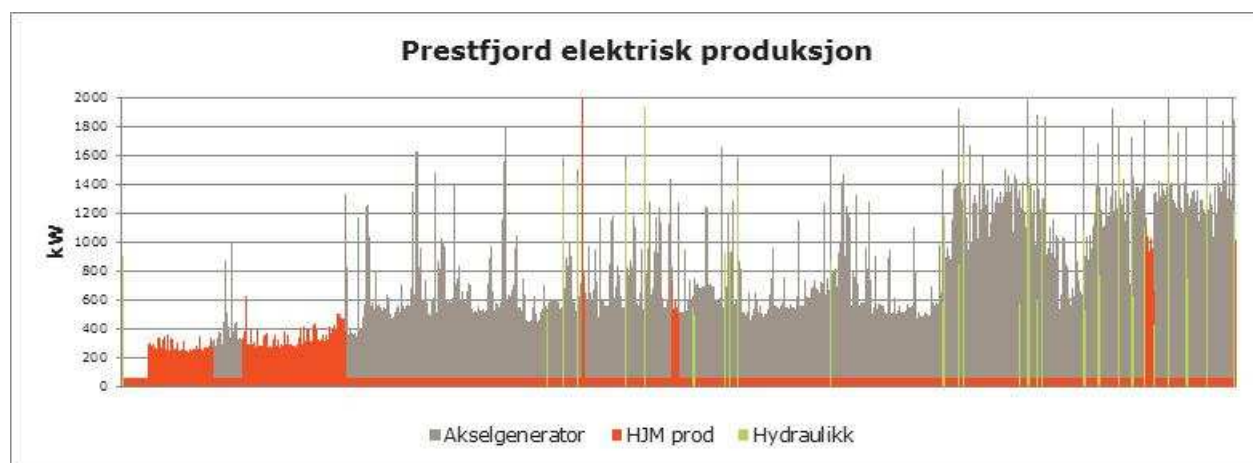
Vi opplevde at det var en del usikkerhet om best mulig bruk av DE/hybridsystemet fordi systemet gav så mange muligheter. Noen av brukerne brukte f.eks. aldri "low mode" på fremdriftsløsningen da denne ikke gav nok kraft til å holde tilfredsstillende fart under steaming, andre ønsket en bedre fordeling av last på motorer da de opplevde at de hadde lav last fordelt på 3 motorer i stedet for høy last på 2 motorer.

### Bunntål

Hvor ringnotfartøyene kun tråler i en begrenset tidsperiode og har tilhørende behov for stor tauekraft, har bunntålere behov for stor tauekraft i størstedelen av driftstiden.

Fartøyet «M/tr Prestfjord» ble levert i 2012 med hybrid fremdriftsløsning. Denne løsningen innebærer at fartøyet i hovedsak benytter en stor hovedmotor på 4500 KW til fremdrift og produksjon av elektrisitet. I tillegg har den to hjelpemotorer. En på 1638 KW og en på 550 KW. Kraften fra disse kan overføres til akselgenerator for å gi hovedmotoren en «boost», ekstra kraft når det måtte være behov for det, eller brukes til fremdrift alene via akselgeneratoren som da fungerer som framdriftsmotor på maksimalt 1200 KW effekt.

Systemet gir stor fleksibilitet og gjør at fartøyet kan gå med full dieselektrisk fremdrift, dog ikke under fiske. Under perioden vi gjorde logginger av fartøyet ble eksempelvis hjelpemotor benyttet under steaming fra Bjørnøya til Tromsø. I perioder med stor fangst gikk fartøyet over til DE-drift i tiden det tok fabrikken om bord å produsere fangsten.



Figur 50: Utsnitt fra logging av elektrisk produksjon i en periode med prøvofiske og steaming fra Myklebust verft til Hopen.

I figuren over ser vi bruk av akselgenerator som grå felter, mens bruk av den største hjelpemotoren på 1638 kW vises som røde felter. Hjelpemotor nr 2 på 550 kW var ikke i gang før båten lå til kai igjen. Gule felter indikerer bruk av hydraulikk til fiske (avskyting av trål).

Loggingen avslørte at med akselgenerator er det veldig lite drift på hjelpemotorer, noe som innebærer at produksjon av elektrisitet blir gjort med hovedmotorens gode virkningsgrad som ofte er mellom 10 og 15 % bedre enn virkningsgraden for de mindre hjelpemotorene. Dette fartøyet har også mulighet til flytende frekvens og følgelig variabelt propellerturtall innenfor et gitt område. Men da disse fartøyene ikke har et like variabelt forbruk som ringnotfartøyene, får ikke dette en like stor effekt på oljeforbruket.

Undersøkelsene viser at tiltaket er meget relevant for nybygg i alle fartøygrupper. Selv om ekstrakostnadene ved installasjon av DE/hybrid-drift er relativt høye, viser nåverdianalysen at tiltaket gir meget god lønnsomhet. Underlagsmaterialet for dette tiltaket er solid og det er ikke knyttet store usikkerhetsmomenter til hverken besparelse eller drift. Sammenlignet med tiltaket *flytende frekvens* avhenger besparelsen ikke i like stor grad av mannskapet da skifte mellom ulike driftsmodus i større grad er automatisert.

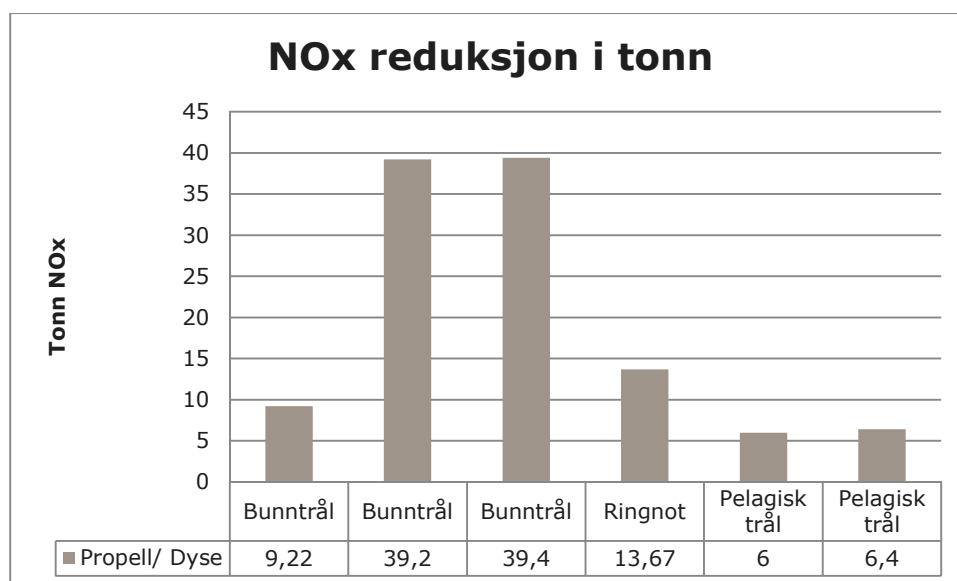
## Utskifting av propeller og propellerdyse

Propellerteknologien har i stor grad utviklet seg de siste 20 årene. Ved hjelp av bedre beregningsprogrammer samt økt fokus på miljø og bunkerskostnader har propellerleverandørene i større grad levert propellene tilpasset fartøyenes skrog, fremdriftsutrustning og motorlast/operasjonsprofil. På denne måten har man klart å redusere bunkersforbruket og dermed miljøskadelige utslipp. En generell forventning ved utskifte er at jo eldre propellen i utgangspunktet er desto større blir besparelsen.

I forbindelse med undersøkelsene har vi sett på leverandørene Wartsila, MAN og Rolls Royce som er typiske for fiskefartøy. I tillegg til konvensjonelle alternativer tilbyr leverandørene spesielle propellere som integrerte propell-rorløsninger der en rorbulb blir en forlengelse av propellernavet. Eksempler på dette er Rolls Royce Promas og MAN-Kappel Rudder-Bulb system.

### Miljømessig gevinst

11 fiskefartøy har søkt om tilskudd for skifte av propeller og eventuelt dyse fra NOx fondet per 31.12.2012. Av disse har 3 bunntåler, 2 pelagiske trålere og 1 ringnotfartøy gjennomført og innrapportert NOx utslipp.



Figur 51: NOx reduksjon i tonn for de forskjellige fartøyene

Ifølge NOx-fondets liste over verifiserte tiltak har 5 av de 6 fartøyene en høyere NOx reduksjon enn den forventede reduksjon benyttet i reders søknad for NOx støtte. Dette tyder på at tiltakene har lyktes og oversteget forventningene uttrykt i søknaden.

Grunnet størst energiforbruk har bunntålerne og ringnotfartøyet også hatt størst reduksjon i NOx utslipp. Samlet har bunntålerne en reduksjon på 87,82 tonn NOx årlig (gjennomsnittlig 27,7 tonn NOx årlig), pelagisk trål 12,4 tonn NOx årlig (gjennomsnittlig 6,2 tonn NOx årlig) og ringnot 13,67 tonn NOx årlig (gjennomsnittlig 13,67 tonn NOx årlig).

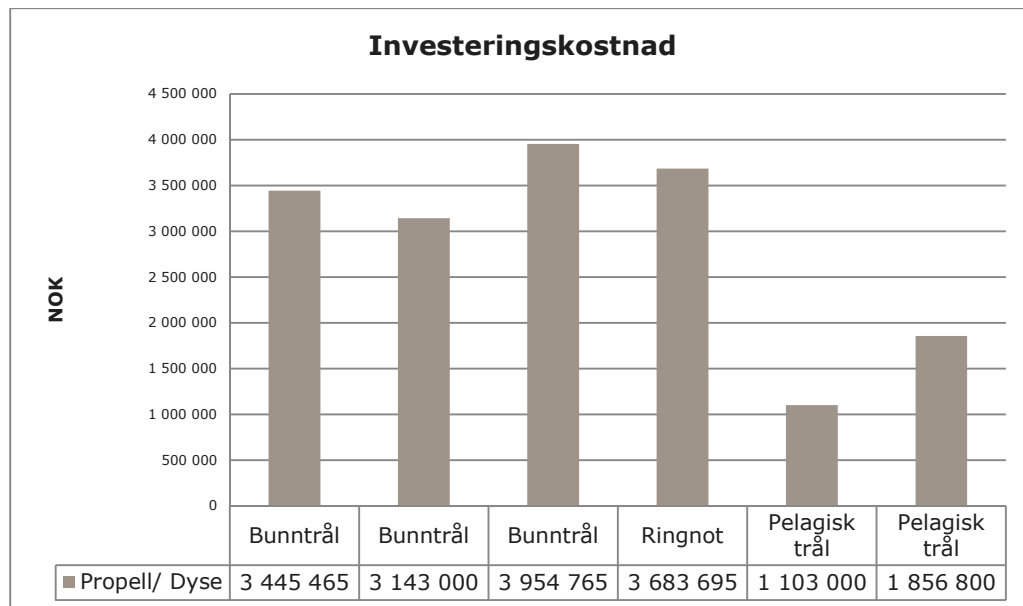
Når man tar for seg kostnadseffektiviteten til tiltaket vil rederiet både tjene inn bunkerskostnader og NOx avgift.

Kostnadene for tiltaket påløper seg til innkjøp av ny propeller samt demontering av gammel og montering av ny. Operasjonen må foretas i tørrdokk/slippanlegg. Kostnadsberegningene er ganske sikre for reder å forholde seg til og det er få usikre kostnadsdrivende elementer i investeringskostnadene. Man kan videre si at kostnaden øker med størrelsen av propeller, i tillegg får man en kostnadsøkning om dyse samtidig skiftes ut.

Etter tallmateriale fra NOx fondet påløper investeringskostnadene seg som følgende:

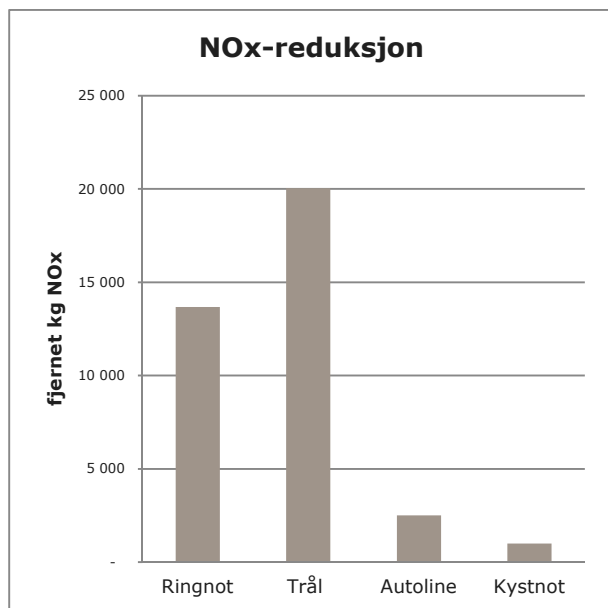
NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi

Som vi ser skiller kostnadene for de 2 pelagiske trålerne seg med de andre fartøyene. Dette grunnes delvis mindre propeller som igjen medførte mindre investeringskostnader og manglende behov for samtidig dyse-skifte.

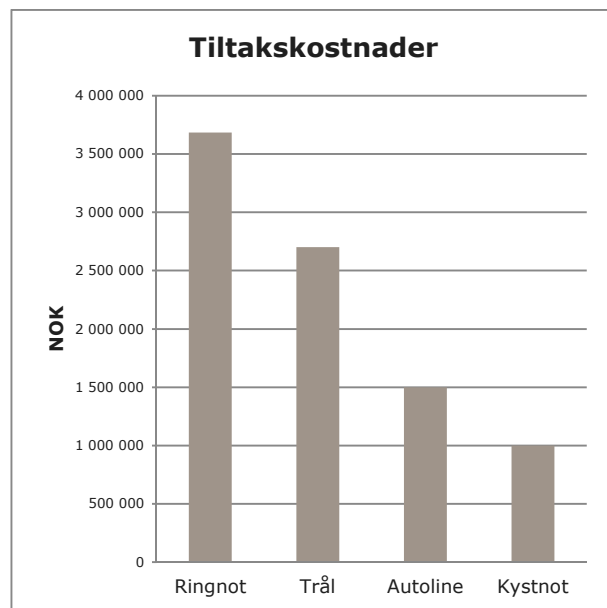


Figur 52: Investeringskostnad for propeller/dyse

Ser vi på reduksjoner for de fire fartøygruppene (der kostnader for autoline og kystnot er estimerte) får vi følgende:

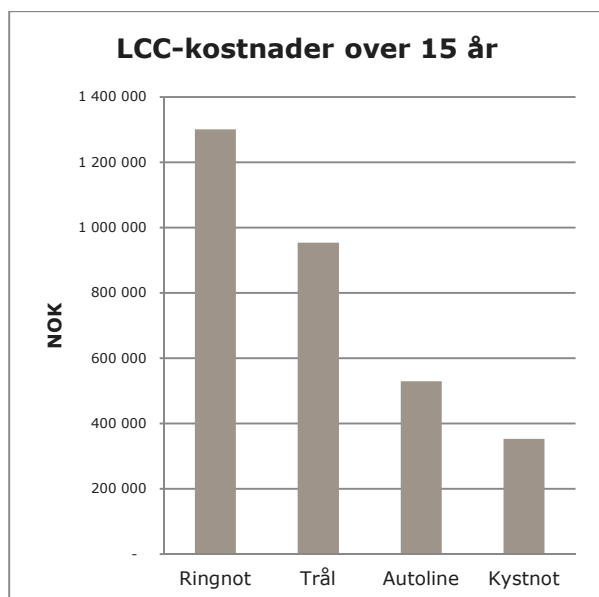


Figur 53: NOx-reduksjon som følge av utskifting av propeller/dyse

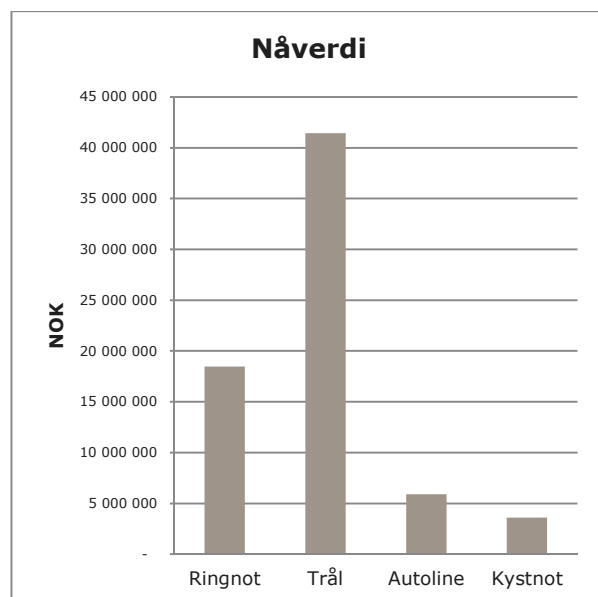


Figur 54: Tiltakskostnader uten NOx-støtte for de fire fartøygruppene

Vi har skissert en direkte sammenheng mellom totalforbruk og NOx-reduksjon for fartøygruppene. Reduksjonen i oljeforbruk for trålerne var på mellom 8 og 19 %. For ringnot var reduksjonen 16 %, for autoline, hvor store deler av driftstiden brukes til haling av bruk, benytter vi oss av leverandørens prosentats på nøkterne 5 %, mens for kystnot, hvor driftsmåten er mer lik ringnot har vi benyttet skjønsmessige 10 % reduksjon. For pelagisk trål var reduksjonen mellom 10 og 19 %.

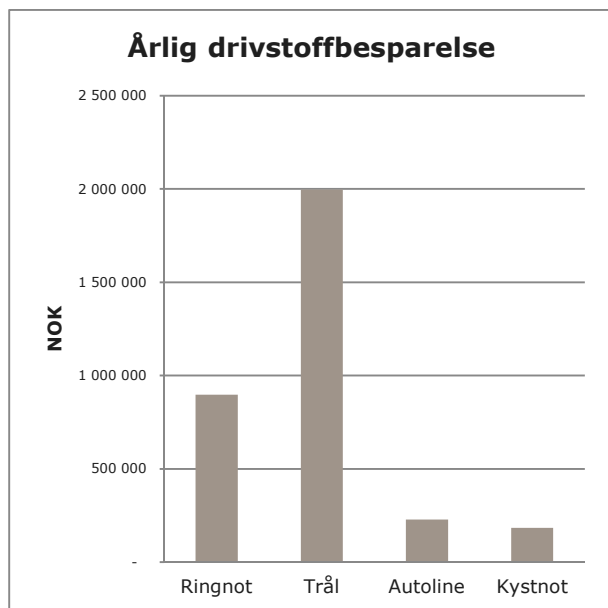


Figur 55: Levetidskostnader inklusiv støtte fra NOx-fondet for skifte av propeller/dyse.



Figur 56: Nåverdi for skifte av propeller/dyse.

Som nåverdifiguren viser skiller trål seg mye ut. Hovedsakelig er dette grunnet lengre driftstid og dermed større besparelse for bunntålerne enn de andre fartøyene.



Figur 57: Årlig drivstoffbesparelse ved skifte av propeller/dyse

### Driftserfaringer

Driftserfaringer fra tiltakene er gode, et propellerbytte medfører heller ikke til nytt utstyr som må kontrolleres og vedlikeholdes, man vil derimot få skiftet ut sin gamle propeller med sine slitasjeskader.

DNV og NOx fondet går normalt ut fra en besparelse på 5 % ved utskifte om reder ikke kan bekrefte besparelsen ved hjelp av andre metoder som for eksempel logging av bunkersforbruk og måling av "Bollard pull" før og etter utskifte.



## Flytetrål til torskefiske

Det har vært et forsøksfiske på torsk nord for 64. breddegrad ved bruk av flytetrål hos flere fartøy i samarbeid med Fiskeridirektoratet, Sintef, Havforskningsinstituttet og FHL. Forsøkene har vist at flytetrålfiske etter torsk kan gi omkring 30 % energi- og NO<sub>x</sub>-besparelser når forholdene ligger til rette for bruk. Tidligere har fangst av torsk med flytetrål vært forbundet med stor innblanding av undermåls fisk og har derfor vært forbudt siden 70-tallet. I dag er det utviklet seleksjonsmetoder som gjør dette fisket mulig uten å ta opp for mye undermåls fisk. Tiltaket kan ikke være et substitutt for bunntråd, men må være et supplement siden det kun kan brukes på hvitfisk som har trukket opp fra bunnen. Ordningen er i skrivende stund suspendert og oppe til vurdering. Det er per i dag tillatt å fiske med flytetrål sør for 64. breddegrad og benyttes av flere fartøy.

Energibesparelsen kommer som et resultat av følgende forhold:

- a) Ved å eliminere kontakt mot bunnen reduserer tauemotstanden
- b) Flytetråls større fiskeareal øker effektiviteten
- c) Flytetråls konstruksjon gjør at selv om den er mye større enn bunntrålen, er energiforbruket tilnærmet likt<sup>7</sup>.

Forutsatt båten har notrull til flytetrål samt vinsj for sondekabel, er det bare de faktiske utgifter til trålbruket som er kostnaden. I beregningene har vi imidlertid brukt de kostnader som fremkommer av NO<sub>x</sub>-fondets liste over verifiserte NO<sub>x</sub>-reduksjoner. Fartøyene kan legges om fra den ene driftsformen til den andre fra en tauting til den neste da også tråldørene kan benyttes.

Ved sammenligning av bunntråd og flytetrål møter en straks på problemer. Flytetrålen er såpass mye større enn bunntrålen, og kan fange såpass mye fisk på kortere tid enn bunntråd, at rent kapasitetsmessig er flytetrålen helt overlegen. På den annen side får ikke denne trålen med seg fisk som står på bunnen siden den ikke har bunngear.

---

<sup>7</sup> «Lengdeseleksjon i flytetrålfisket etter torsk og hyse i Barenshavet», Toktrapport fra forsøk om bord M/Tr Atlantic Star 2010, Havforskningsinstituttet, Terje Jørgensen et. al.

Kapasiteten til flytetrålen er også dens akilleshæl da det lett blir fanget for mye fisk i trålen. Mer enn innfrysningsskapasiteten til fartøyet klarer å ta unna innen rimelig tid, og mer enn fabrikkene til fabrikktrålerne klarer å ta unna før fisken går inn i *Rigor Mortis*, -dødsstivheten. I et enkelt hal under forsøksfiske ble det i løpet av 75 minutter, under ellers labert fiske, tatt så store mengder fisk at trålposen inneholdt 34 tonn torsk selv om hiveoperasjonen begynte få minutter etter at sensorene varslet at store mengder fisk gikk inn i trålen<sup>8</sup>. For å unngå dette ble det gjort noen forsøk i fortsettelsen av dette prosjektet med utløsermekanismer som stengte trålposen når volumet av fanget fisk oversteg en viss grense. Dette viste seg å fungere godt.

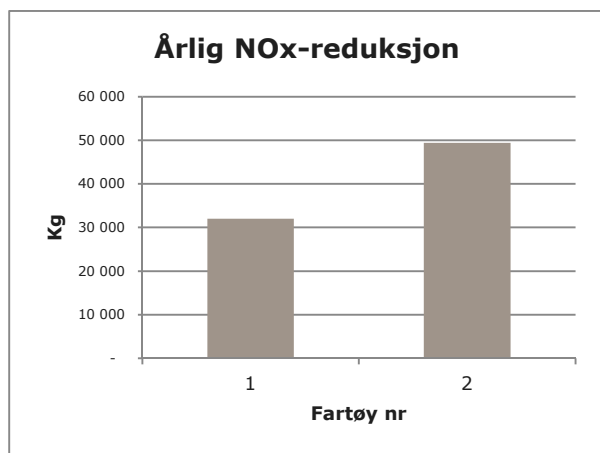
De faktiske besparelsene til de fartøyene som med støtte fra NOx-fondet gjorde tiltaket ble noe mindre enn beregnet, men gevinsten er stor nok til at tiltaket bør vurderes.

Tiltakskostnadene for flytetrål er hentet fra NOx-fondets liste over støtte til tiltak. Deltakerne antar at de faktiske kostnadene kan bli lavere dersom noe av utstyret alt finnes i fartøyet og at tiltaket ikke krever stor grad av ombygging. Vi har valgt å bruke de reelle kostnadene til prosjektene som har fått NOx-støtte.

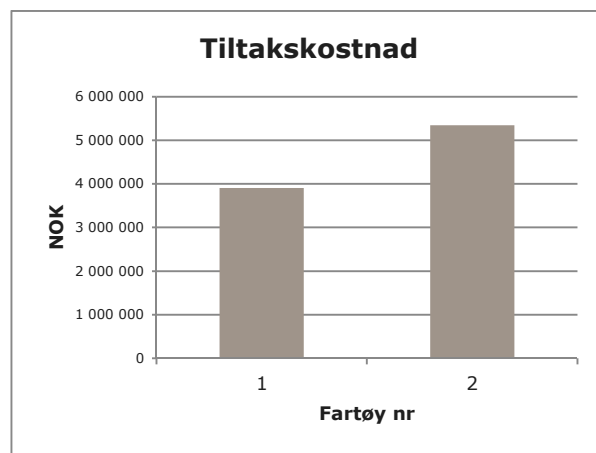
---

<sup>8</sup> «Utvikling av et selksjonssystem til flytetrålfiske etter hvitfisk» Rapport fra tokt med tråleren «Atlantic Star» 28. oktober – 8. november 2010, Sintef Fiskeri og Havbruk, Eduardo Grimaldo og Manu Sistiaga

NOx-reduksjon, tiltakskostnader, renskostnader, LCC og nåverdi

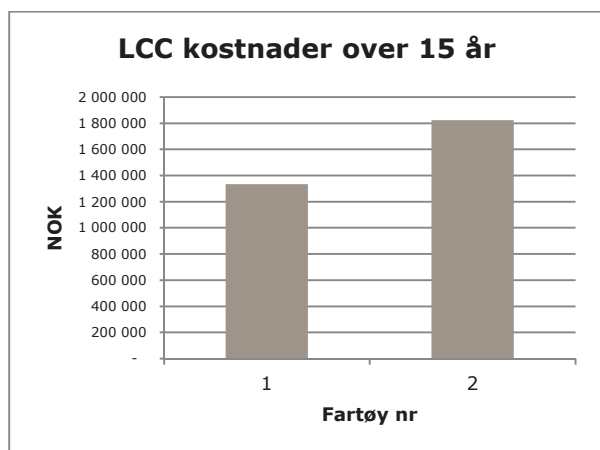


Figur 58: NOx-reduksjon ved flytetral i torskefiske



Figur 59: Tiltakskostnader flytetral for NOx-støtte

Da drivstoffreduksjonen ved bruk av flytetral viste seg å være mellom 20 og 30 % av totalforbruket er dette oppsiktsvekkende gode resultater og et meget godt alternativ for bunnetral sett i et energi- og utslippsperspektiv.

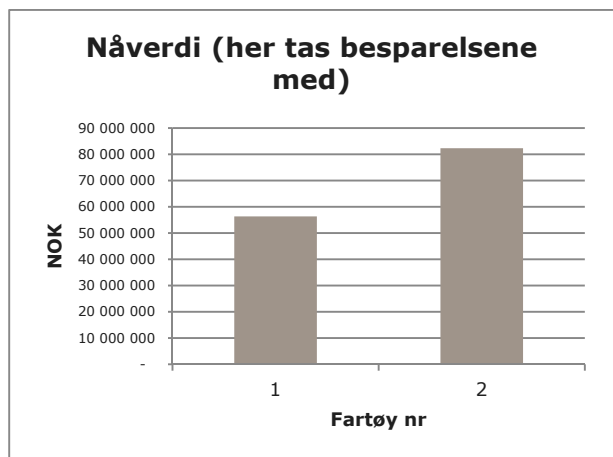


Figur 60: LCC for tiltaket flytetral inkludert støtte fra NOx-fondet



Figur 61: Renseeffektiviteten til flytetral

LCC-verdiene og kostnadene til rensing av NOx er også gode resultater. Dersom tiltaket benyttes i kombinasjon med andre, NOx-rensende tiltak, vil dette kunne bety store reduksjoner i både energiforbruk og NOx-utslipp for bunnetralflåten.



Figur 62: Nåverdi for bruk av flytetrål.

Nåverdien av tiltaket er svært høy. Drivstoffbesparelsen står for om lag 74-78 % av nåverdien.

#### Driftserfaringer

Deltakerne vitner om positive erfaringer ved bruk av flytetrål i fiske etter torsk. Også bruk av flytetråldører i fiske med bunntørål viste seg effektivt og energibesparende og ble tatt i etterkant av et av fartøyene. Det viste seg å være spesielt nyttig at en kunne legge om fra flytetrål til bunntørål fra et hal til et annet.

Fisket nord for 64. breddegrad etter torsk har vist seg å være svært energireduserende for de fartøyene som har deltatt. Energi- og NO<sub>x</sub>-utslippene har vært redusert med ca. 35 % i tiden de fisket med flytetrål kontra bruk av bunntørål. Seleksjonsegenskapene til trålene er dokumentert i rapportene «*Utvikling av et seleksjonssystem til flytetrålfiske etter kvitfisk*», Sintef 2009 og «*Lengdeseleksjon i flytetrålfisket etter torsk og hyse i Barentshavet*», Havforskningsinstituttet 2010 og «*Utvikling av et seleksjonssystem til Flytetrålfiske etter kvitfisk*».

Deltakerne i prøvofisket kunne legge om fra flytetrål til bunntørål fra et hal til et annet ved at de bl. a. benyttet de samme tråldørene til begge redskapene.

Dersom myndighetenes vurdering av ordningen fører til en generell tillatelse til bruk av flytetrål etter hvitfisk nord for 64. breddegrad kan fangstmetoden senke oljeforbruket og NO<sub>x</sub>-utslippet til bunntørålerne formidabelt. Dette forutsetter at problematikken omkring for store hal og selektering av undermåls fisk blir løst slik forsøksfiske har vist.

## Sammenligninger av teknologiene

Vi vil i det følgende kapittel sammenligne de ulike teknologiene basert på de driftsprofilene vi tidligere har benyttet. Rensekostnaden og nåverdien av tiltakene gir informasjon til beslutningstakere i forhold til hva en bør fokusere på fremover.

Vi vil påpeke at de tall som framkommer her er veiledende og vil kunne variere fra fartøy til fartøy, avhengig av driftsprofil, motorisering og ikke minst bruk. For i en viss grad å veie opp for dette har vi tatt med hvordan det hele endrer seg ved +/- 30 % oljeforbruk i neste kapittel.

Ved lesing av grafene er det viktig å ha i bakhodet at beregningen av de fleste tiltakene er gjort med utgangspunkt i eksisterende fartøy. Dersom en bygger et nytt fartøy vil kostnadene for eksempelvis *SCR-anlegg* bli lavere enn for installasjon i eksisterende fartøy.

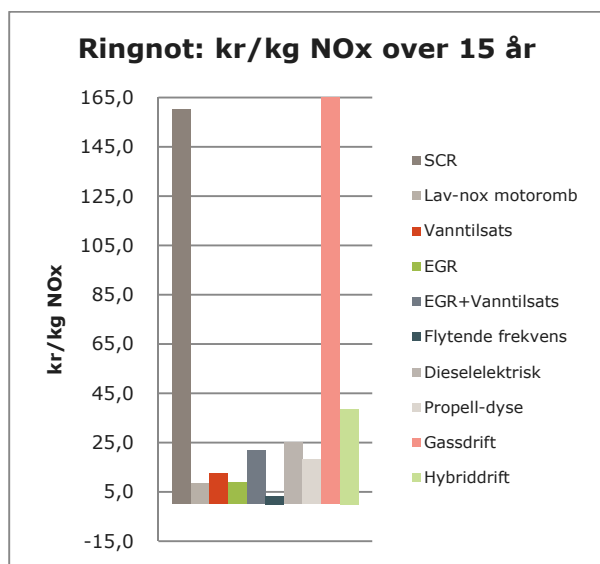
Unntakene er dieselelektrisk fremdriftssystem og gassdrift hvor vi har tatt utgangspunkt i ekstrakostnadene som tilkommer i et nybygg.

Når det er sagt er det ikke investeringskostnaden som i størst grad avgjør om tiltaket kommer godt ut i sammenligningen av nåverdi, men hvor stor innsats som må tilføres for å oppnå rensing i form av tilsetningsstoffer, elektrisk energibruk og ikke minst om tiltaket gir reduksjon eller økning av energiforbruket. Altså er de løpende kostnadene og ikke minst besparelsene i tiltakets levetid avgjørende.

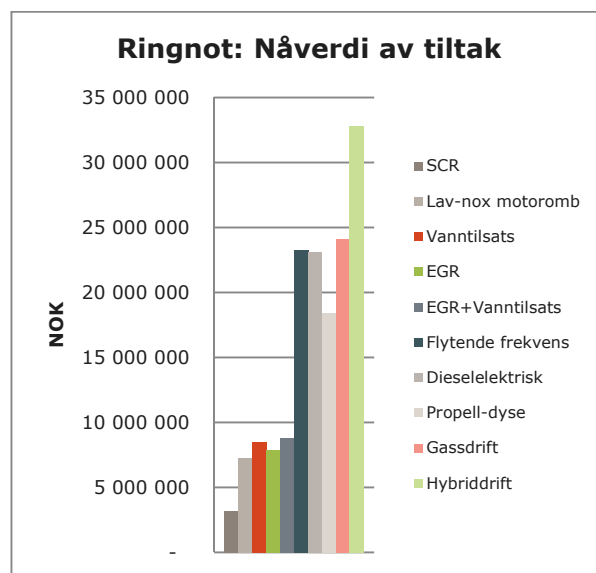
Sett i et NO<sub>x</sub>-perspektiv er renseskostnaden for gass mye høyere enn for de andre teknologiene, men besparelsene som følge av bedre utnyttelse av drivstoffet og lavere energikostnad er så store at tiltaket kommer meget godt ut i nåverdianalyser. Det er så langt ikke bygget noen fiskefartøy med gassdrift, men en rekke fraktefartøyer har i dag gassdrift og vi bygger på erfaringene fra disse. utfordringene for gassdrift er driftstid, hvor det i dag er vanlig at fartøyene er ute i en måned eller mer før de kommer inn til levering og bunkring. Beregninger viser at ved gassdrift må fartøyene oftere inn til bunkring enn dette, og om dette lar seg kombinere med en lønnsom driftsform står ennå ubesvart. For kystnotflåten, som er i havn med kortere intervaller er dette kanskje en overkommelig utfordring, men det krever mulighet for bunkring av gass i stor utstrekning. Det tilkommer også ekstrakostnader vedrørende et større skip for å få plass til gasstankene, men disse ekstrakostnadene er også stipulerte i nåverdianalysen.

## Ringnot

Av de innsamlede data går det fram at for et gjennomsnittlig ringnotfartøy vil renseskostnadene være høyest ved SCR-anlegg i eksisterende skip, mens gunstigst ut kommer *flytende frekvens* og tiltaket *Lav NOx-ombygging*. Årsaken til dette er de løpende kostnadene i forbindelse med SCR-rensing er så høye i forhold til reduksjonen og uten at en oppnår en energibesparelse, mens de to andre tiltakene ikke har noen løpende kostnader. For *flytende frekvens* oppnås en stor energibesparelse i tillegg.



Figur 63: Renseskostnad for ulike tiltak, ringnot. Kostnadene pr fjernet kg NOx for gassdrift er på hele kr 1 437,-.



Figur 64: Nåverdi for ulike tiltak, ringnot.

Nåverdien av tiltakene gir klart mest positivt utslag for *dieselelektrisk drift*, *gassdrift*, *flytende frekvens* og *skifte av propeller/dyse*. Dette skyldes at en oppnår både reduksjon av NOx og energireduksjon. For *gassdrift* har den mye lavere energikostnaden, kr 0,46 /kWh mot diesel kr 0,56 og om lag 10 % bedre virkningsgrad i gassmotorene, stor påvirkning.

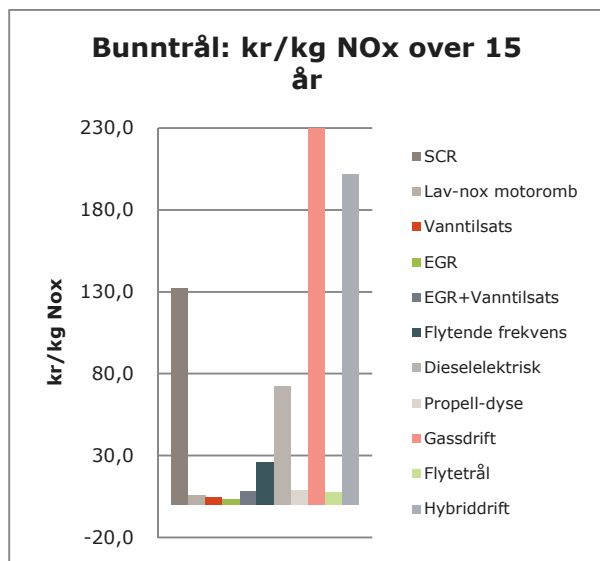
Merkostnadene ved *dieselelektrisk drift* og *gassdrift* tar utgangspunkt i nybygg da vi ikke har noe grunnlag for å vurdere ombygging av fartøy. Det har vært gjort ombygninger for frakteskip til gassdrift, men disse har hatt mulighet til å plassere gasstankene på dekk, noe fiskefartøyer ikke har plass til.

Merkostnaden ved DE-drift ved bygging av nytt skip er om lag 3-7 % av totale kostnader, mens merkostnaden ved installasjon i eksisterende skip er ikke vurdert grunnet manglende datagrunnlag.

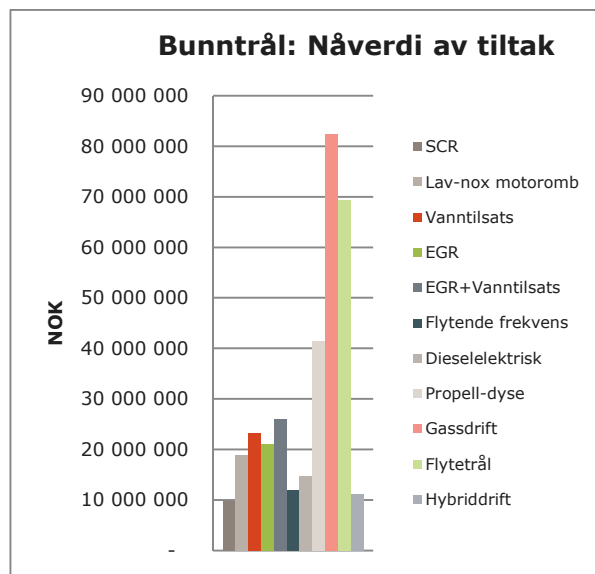
Sett fra en reders øyne er de mest kostnadseffektive teknologiene for eksisterende skip *flytende frekvens*, *bytte av propell/dyse* og *EGR+ vanntilsetning*.

## Bunntål

Bunntål har lengst driftstid og høyest belastning over tid av fartøygruppene. Dette gir også størst grunnlag for NOx-reduksjon. Imidlertid øker kostnadene vedrørende drift av tiltakene med økt driftstid slik at tiltakene med energireduksjon kommer best ut i en nåverdianalyse. For bunntål er det et alternativ som de andre fartøygruppene ikke kan dra nytte av, *flytetål* som kommer overraskende godt ut i sammenligning med andre teknologier.



Figur 65: Rensekostnad for ulike tiltak, bunntår. Kostnadene pr fjernet kg NOx for gassdrift er på hele kr 565,- .



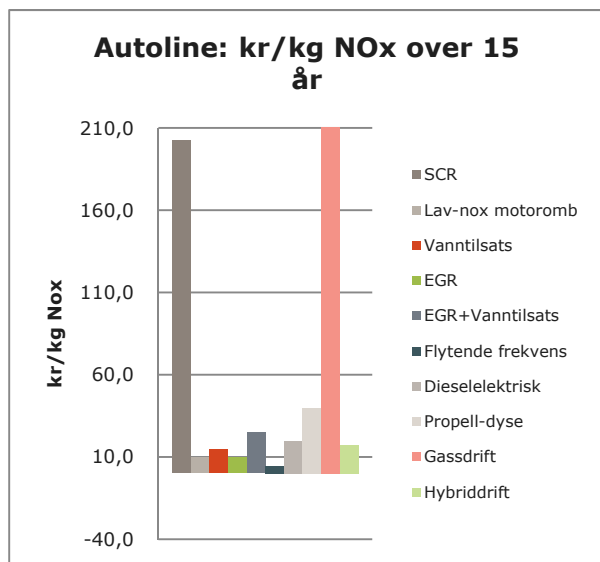
Figur 66: Nåverdi for ulike tiltak, bunntår

Av figurene over fremgår det at for bunntår er renseskostnadene for *flytende frekvens*, *Lav-NOx-ombygging* og *EGR* lavest, mens de mest lønnsomme tiltakene er *gassdrift*, *flytetrål* og *flytende frekvens*.

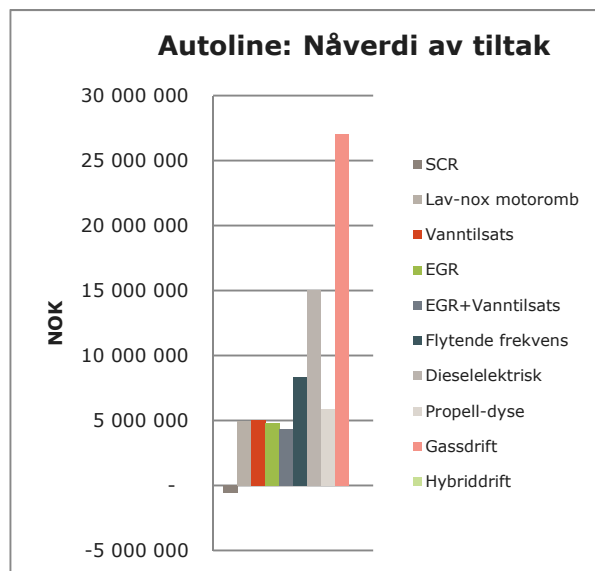
For eksisterende skip er tiltakene *flytetrål*, *flytende frekvens* og *skifte av propeller/dyse* de mest lønnsomme.

### Autoline

Autolinefartøy har i fiskerisammenheng relativt liten fremdriftsmotor sammenlignet med størrelsen til fartøyet og lang driftstid med lav last. Det elektriske forbruket er imidlertid høyt over lang tid, noe som i de fleste tilfeller betyr høy last på hjelpemotorer.



Figur 67: Rensekostnad for ulike tiltak, autoline. Kostnadene pr fjernet kg NOx for gassdrift er på hele kr 492,-.



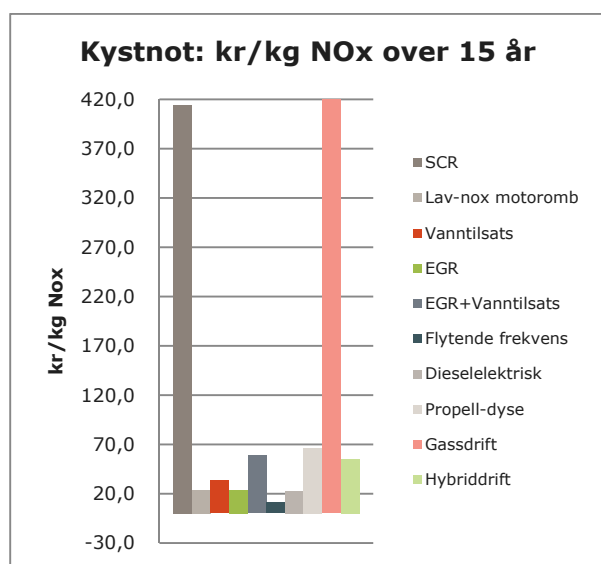
Figur 68: Nåverdi for ulike tiltak autoline

Rensekostnadene i autolineflåten er lavest for *flytende frekvens*, *Lav-NOx-ombygging* og *EGR*. Mest lønnsomt i en nåverdianalyse på nybygg kommer *gassdrift*, *flytende frekvens* og *dieselelektrisk drift*, mens for de

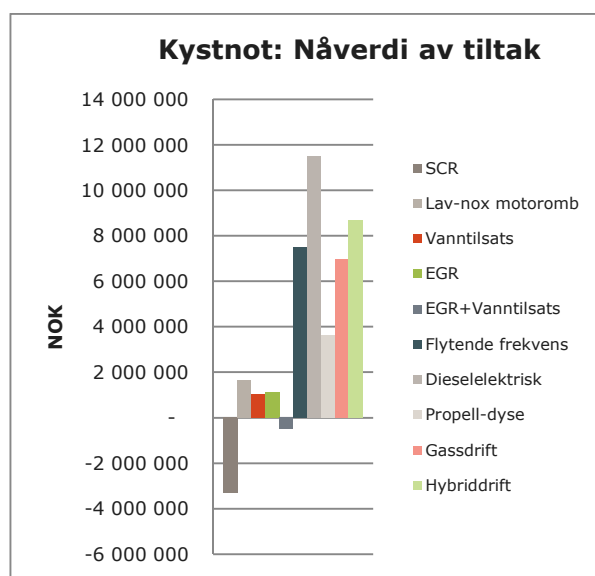
eksisterende fartøyene er det *flytende frekvens* som i særdeleshet er mest lønnsomt i denne fartøygruppen. *SCR-rensing* kommer ut med en negativ nåverdi i denne fartøygruppen.

### Kystnot

Kystnot er preget av middels lang driftstid i denne sammenheng og mye tid går med til forflytning. Energi-forbruket er lavt i forhold til de andre fartøygruppene og det blir dermed lavere dekning for inntjening av tiltak. Likevel er det en rekke teknologier som er lønnsomme.



Figur 69: Rensekostnad for ulike tiltak, kystnot. Rensekostnad for ulike tiltak, autoline. Kostnadene pr fjernet kg NOx for gassdrift er på kr. 1 749,-.



Figur 70: Nåverdi for ulike tiltak kystnot

De tiltak som gir lavest renseskostnad i kystnotflåten er *flytende frekvens*, *Lav-NOx-ombygging* og *EGR*.

Sammenligning av nåverdien for tiltakene viser at for nybygg er *flytende frekvens*, *dieselelektrisk drift* og *gassdrift* er de mest lønnsomme tiltakene for nybygg, mens for eksisterende fartøy viser *flytende frekvens* seg å være mer lønnsomt enn *dieselelektrisk drift* er for nybygg. Deretter følger *skifte av propell/ dyse* og *Lav-NOx motorombygging*.

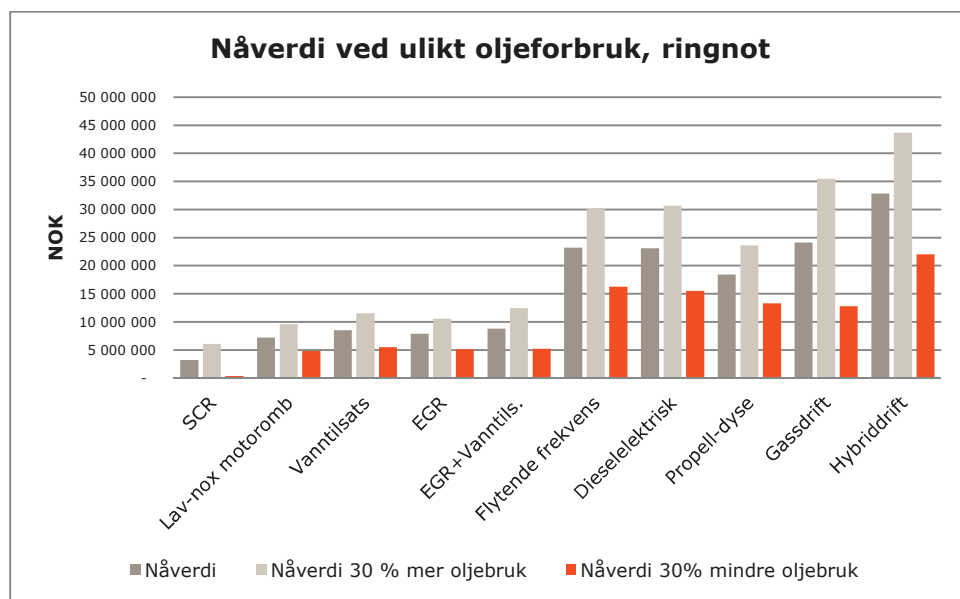
Årsaken til at Lav-NOx motorombygging kommer bedre ut i denne sammenheng enn ellers er at fartøyene har lang driftstid der de tiltakene som krever energi vil trekke lønnsomheten ned. Da totalt energiforbruk er lavt vil disse tiltakene bruke en forholdsvis stor andel av energien.

Nåverdien av tiltakene bestemmes i stor grad av energibesparelsene til de ulike teknologiene. En dobling av oljeprisen vil føre til at de tiltak som ligger best an i figurene over får en enda høyere nåverdi. Dette er bl.a knyttet opp mot at de teknologiene som bruker mye elektrisk energi til rensing av NOx blir stadig mer kostbar å drive ettersom oljeprisen stiger. Dersom SCR skal bli like lønnsomt som dieselelektrisk fremdriftssystem med dagens oljepriser må NOx-avgiften opp mot kr 70,- pr kg NOx, evt. må oljeprisen ned til 20-30 øre literen.



## Endringer i driftstid og innvirkning på tiltakenes lønnsomhet

Under beregninger av tiltakene har vi tidligere gjort vurderinger av fartøy som fremkommer ved å bruke gjennomsnittstall for driftstiden for fartøyene. Men hva med de fartøyene som har driftstid/kostnad som vesentlig avviker fra den gjennomsnittlige driftstiden? Vi undersøker dette ved å endre oljeforbruket med +/- 30 prosent.

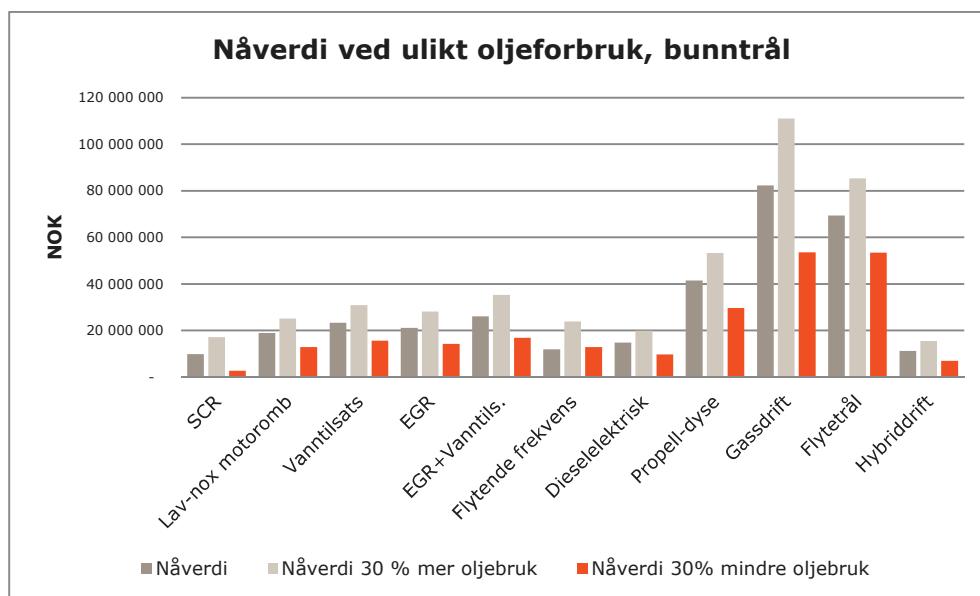


Figur 71: Nåverdi av tiltak for ringnot med +/- 30 % variasjon i oljeforbruket.

Vi ser av nåverdiene i figuren over at fartøy med +/- 30 % høyere oljeforbruk enn gjennomsnittet for fartøygruppene får en annen lønnsomhet for tiltakene.

Eksempelvis vil det for ringnotfartøy med 30 % lavere energiforbruk nesten ikke være lønnsomt med *SCR-rensing*.

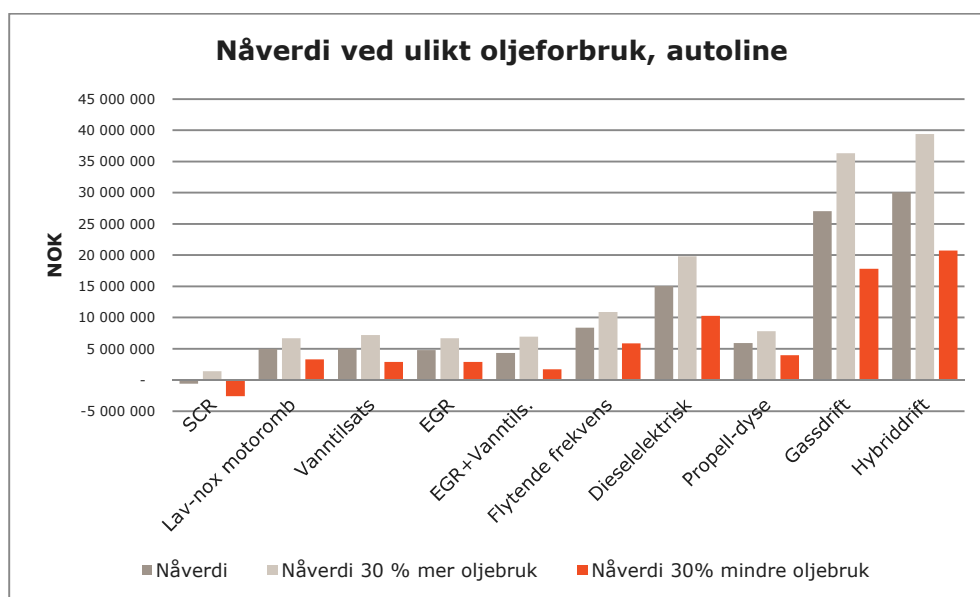
Tiltakene med stor grad av energireduksjon vil være de mest lønnsomme for disse fartøyene uansett forbruksnivå. *Hybriddrift* og *gassdrift* gir best lønnsomhet ved for fartøygruppen.



Figur 72: Nåverdi av tiltak for bunntårl med +/- 30 % variasjon i oljeforbruket

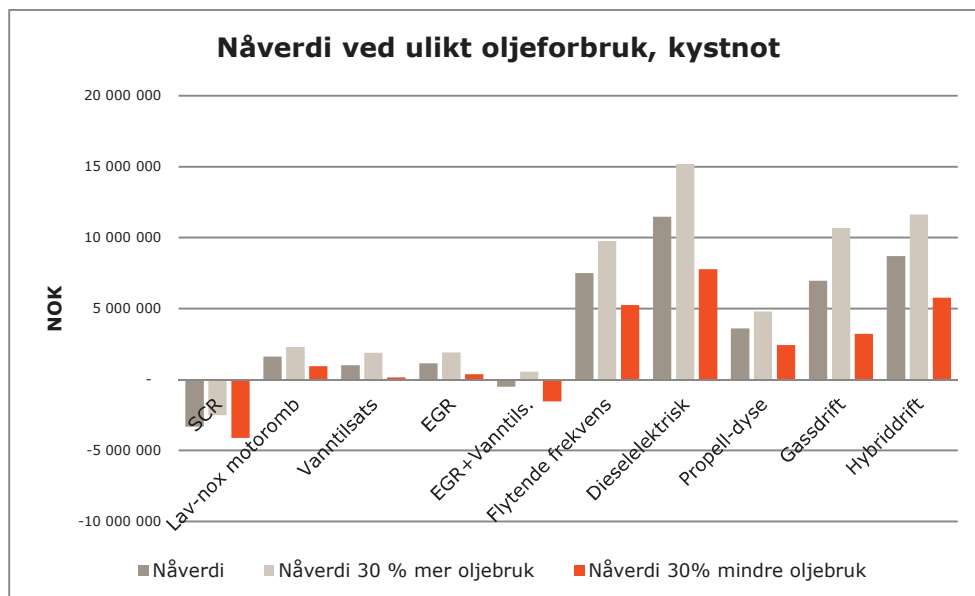
For bunntårlflåten gjør det store forbruket at alle tiltakene er lønnsomme for alle tre forbruksnivåene.

Best lønnsomhet ved energiforbruk 30 % høyere enn gjennomsnittet får *gassdrift*, mens *flytetårl* gir best lønnsomhet for fartøy med 30 % lavere energiforbruk enn snittet.



Figur 73: Nåverdi av tiltak for autoline med +/- 30 % variasjon i oljeforbruket

Autolineflåten med lang driftstid, lav belastning på hovedmotor og forholdsmessig stort elektrisk energiforbruk har også positiv nåverdi for de fleste tiltakene med unntak av *SCR-rensing* som får en negativ nåverdi bortsett fra ved forbruk på 30 % mer enn gjennomsnittet. Også her oppnår Hybriddrift høyest nåverdi ved energiforbruk uansett forbruk ned til -30 % av snittet.

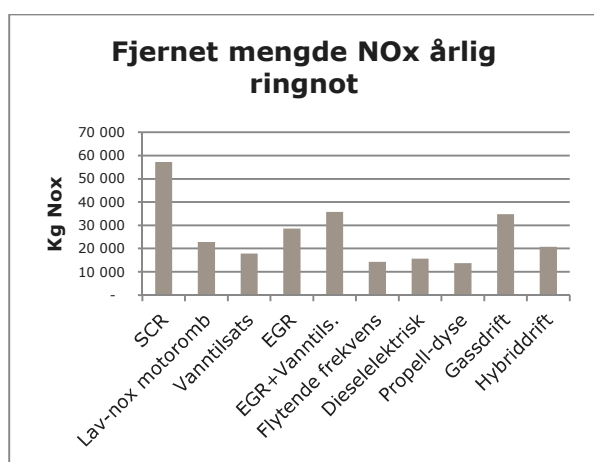


Figur 74: Nåverdi av tiltak for kystnot med +/- 30 % variasjon i oljeforbruket.

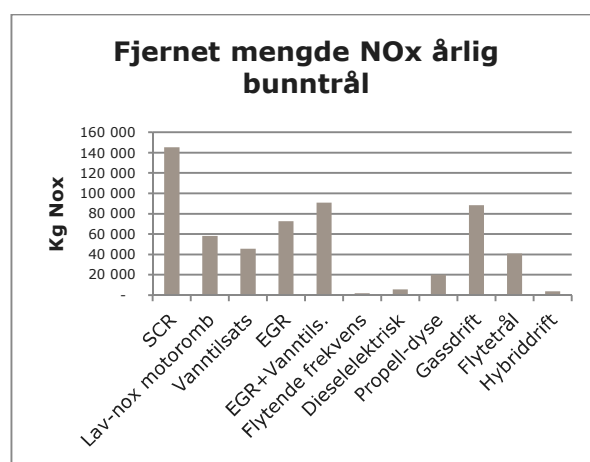
Ved å endre oljeforbruket med +/- 30 % ser vi at flere av tiltakene får en negativ nåverdi ved -30 % oljeforbruk for kystnotflåten. Figuren antyder også at for disse fartøyene vil eksempelvis *EGR+vanntilsetning* gi positiv nåverdi for fartøy med 30 % høyere energiforbruk enn gjennomsnittet. Ved 30 % lavere energiforbruk enn gjennomsnittet for fartøygruppen får *EGR+vanntilsats* negativ nåverdi. *Dieselektrisk drift* troner på toppen av rangeringen for flåtegruppen, men for de alt eksisterende fartøy er det *flytende frekvens* og ny *propell/dyse* som gir best lønnsomhet for alle forbruksnivå. *SCR-rensing* kommer i denne flåtegruppen negativt ut for alle forbruksnivåene.

## Miljøaspektet

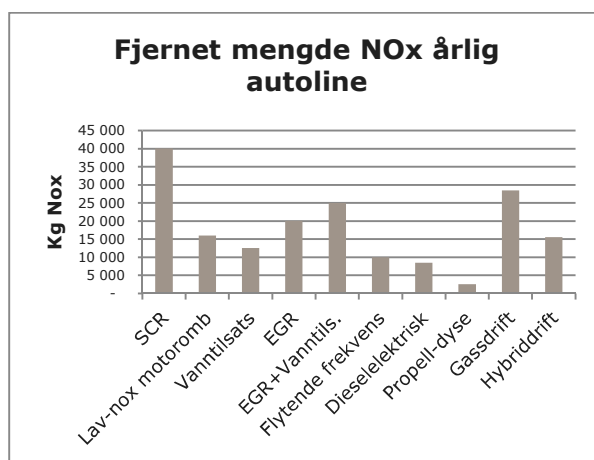
I et miljøperspektiv er ikke nåverdiene for rederiene det viktigste, men fjernet mengde NOx og redusert oljeforbruk. I så måte er det andre tiltak som kommer best ut enn de som ble behandlet i forrige kapittel. Fordeelingen av NOx-reduksjon for de ulike tiltakene er relativt likt for alle fartøygruppene:



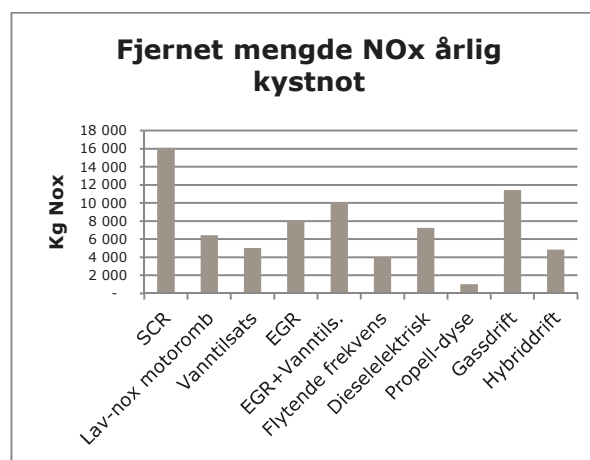
Figur 75: NOx-reduksjon ulike tiltak, ringnot



Figur 76: NOx-reduksjon ulike tiltak, bunntål



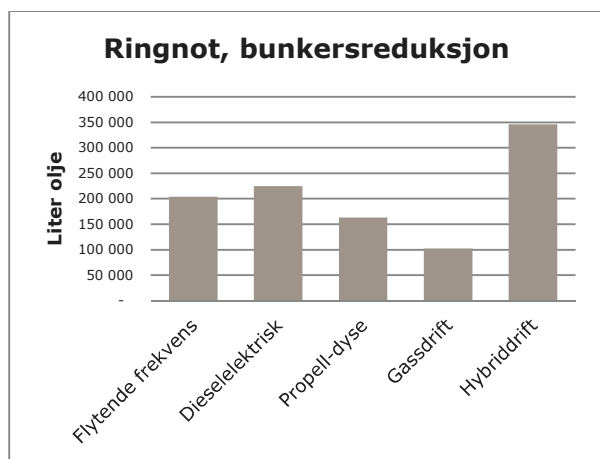
Figur 77: NOx-reduksjon ulike tiltak, autoline



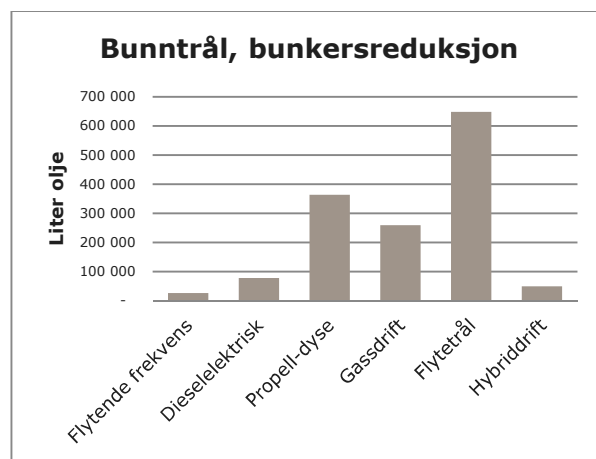
Figur 78: NOx-reduksjon ulike tiltak, kystnot

Figurene over levner liten tvil om at *SCR-rensing* er særdeles effektivt for fjerning av NO<sub>x</sub>-utslipp. Men også de mindre utbredte tiltakene *EGR+ vanntilsats* (emulsjon), og *EGR* gir god rensegrad. *Gassdrift* kommer i en særstilling da det er stor usikkerhet omkring gjennomførbarheten av dette, men rensegraden er meget høy og gir nest best rensing av NO<sub>x</sub>-utslipp etter *SCR-rensing*. Fjerning av NO<sub>x</sub> kan også gjøres ved å redusere oljeforbruket.

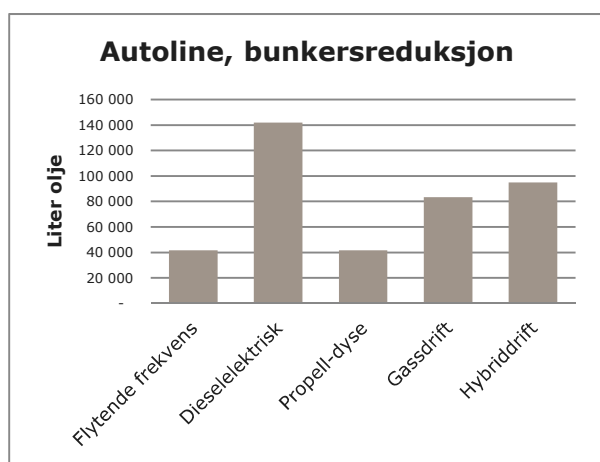
Ser vi på reduksjoner i oljeforbruk for de tiltak som har en energireducerende effekt har vi følgende:



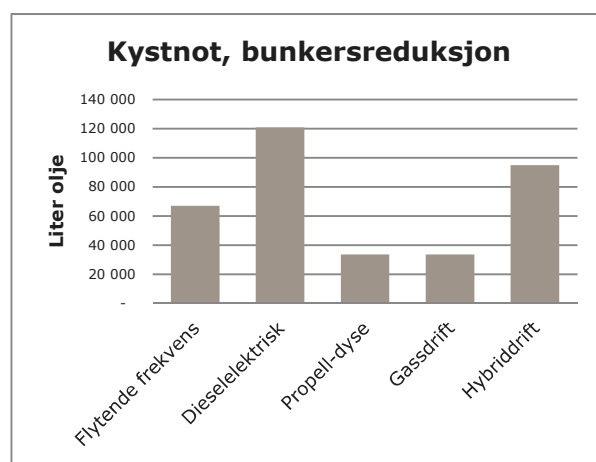
Figur 79: Tiltakenes energireduksjon, ringnot.



Figur 80: Tiltakenes energireduksjon, bunntrål



Figur 81: Tiltakenes energireduksjon, autoline



Figur 82: Tiltakenes energireduksjon, kystnot

I ringnotflåten peker *hybriddrift* seg ut som det mest energireducerende tiltaket, deretter følger *flytende frekvens* og *dieselelektrisk drift*. For eksisterende fartøy er *flytende frekvens* og effektivisering av *propell-dyse* mest aktuell på grunn mindre krav til ombygging av fartøyet. For bunntrål kommer bruk av *flytetral* best ut fulgt av tiltak med *propell-dyse* og *gassdrift*. *Gassdrift* har også en reducerende effekt, omregnet i oljeforbruk. *Dieselelektrisk drift* er det mest drivstoffreducerende tiltaket for autoline og kystnotfartøy, deretter følger *hybriddrift*. På grunn av ulik driftsprofil vil gassdrift være mer lønnsomt for autolinefartøy enn for Kystnotfartøy. I virkeligheten eliminerer *gassdrift* oljeforbruket helt og erstatter det med gassforbruk. Men siden gassmotorer forbrenner mer effektivt enn oljedrevne motorer, velger vi å synliggjøre denne forbedrede effektiviteten ved redusert oljeforbruk. Bruk av LNG har også den positive følge at CO<sub>2</sub>-utslippet reduseres med 25 %. Imidlertid har tidlige versjoner av gassmotorer sluppet ut en god del metangass som. Metangass bidrar om lag 25 ganger mer til global oppvarming enn CO<sub>2</sub> per molekyl. Motorfabrikantene har stort fokus på dette og produserer i dag motorer med langt lavere metanutslipp.

En rekke tiltak som fungerer utelukkende NO<sub>x</sub>-rensende har blitt gjennomgått, og i de fleste tilfeller er dette også lønnsomme tiltak, men mindre lønnsomme enn tiltak med energireducerende effekt.

Men ut fra NO<sub>x</sub>-fondets liste over planlagte og gjennomførte tiltak ser vi at det likevel er disse rensende tiltakene som dominerer. NO<sub>x</sub>-fondet har derfor i stor grad lyktes med sitt forehavende, å redusere NO<sub>x</sub>-utslipp i henhold til Gøteborg-protokollen.

Dette har vært et viktig moment for i det hele tatt å kunne gjennomføre støtteordningen da ensidig satsning på tiltak med lav NO<sub>x</sub>-reduksjon (bl.a. energieffektiviseringstiltak) ville økt sjansen for at NO<sub>x</sub>-fondet ikke ville nå sine forpliktelser. Tilknyttede virksomheter er forpliktet gjennom tilknytningserklæringen til å gjennomføre alle NO<sub>x</sub>-tiltak som viser seg kostnadseffektive med støtte fra fondet.

At fiskeflåten gjennomførte mange tiltak tidlig har vært avgjørende for at NO<sub>x</sub>-forpliktelsen har blitt oppfylt.

Flåten fikk i 2007 et krav på full, fiskal NO<sub>x</sub>-avgift på 15 kroner per kg NO<sub>x</sub>. Ved siden av forpliktelsen i tilknytningserklæringen var det en svært viktig driver for tiltak i fiskeflåten at de i en periode hadde betalt full avgift slik at rederiene var meget motivert for å få redusert sine utslipp av hensyn til fremtidige NO<sub>x</sub>-kostnader.

Om tilsluttede virksomheter ikke gjennomfører nok tiltak til å oppfylle NO<sub>x</sub>-forpliktelsene i Gøteborgprotokollen vil alle virksomheter måtte betale med statens satser for fiskal avgift for det som ikke er oppfylt, også før utløpet av 2017. I tillegg må dette avviket tas igjen senere. Om forpliktelsene ikke oppfylles reduserer dette også muligheten for eventuell videreføring av avtalen utover 2017. Det vil også ha bedriftsøkonomiske negative konsekvenser selv om den enkelte bedrift bare har herredømme over de tiltak den selv kan gjennomføre. NO<sub>x</sub>-fondets inntrykk er at denne kollektive forpliktelsen har vært motiverende også for den enkelte bedrifts vilje til å gjennomføre tiltak.

## Oppsummering

Det går tydelig fram av de data som er forelagt i denne rapporten at i et perspektiv der vi tar utgangspunkt i lønnsomhet for rederiene er det ikke NOx-reduksjonen som spiller hovedrollen, men energibesparelse over tid. Nåverdien til tiltakene er i stor grad avhengig av energibesparelsen som i gitte tilfeller står for 70-80 % av nåverdien. En del av disse teknologiene er velkjente og velprøvde, mens andre har kommet som et mulig valg i den senere tid.

Våre undersøkelser viser med all tydelighet hvilken rolle gassdrift *kan* spille for fiskeflåten i framtiden, da det har vist seg å være både et lønnsomt tiltak for nybygg i alle fartøygrupper, men også et sterkt NOx-reducerende tiltak. Hvorvidt det vil være gjennomførbart å bygge om fartøy til gassdrift vil framtiden vise, men mye tyder på at det *vil* være en lønnsom affære i en rekke tilfeller. Problemene en vil støte på ved gassdrift er manglende infrastruktur, spesielt nord i landet. Fartøyene vil måtte være større/lengre for å ha plass til gasstanker, men ved nybygg vil dette kunne bli lønnsomt likevel såfremt gassterminaler finnes i nærhet til fiskefeltene. Per i dag benytter kystvakten seg av gassleveranser pr. tankbil, noe som fordyrer gassdrift uten at vi har noen kostnadsberegninger på dette. Funnet er så interessant at vi anbefaler videre arbeid med å analysere gassdrift i fiskeflåten og mulige havner for gassterminaler.