



Rolls-Royce

Research & Technology Centre - Marine

Visit address Sjøgata 98
 N-6067 Ulsteinvik
 NORWAY

Telephone +47 815 20 070

Telefax +47 700 14 014

REPORT

Title

Driftsanalyse: Samanlikning av drivstoffforbruk
og fartstap ved passering av Stad og gjennom
tunnel.

Report number

RRM-R&T_11-004.01

Client

Maritimt forum - Nordvest

Author(s) of report

Leif Aarseth, Leif Vartdal

Approved by

Revision No Comprises
01

Date.
24.08.2011

Classification
Restricted

Rolls-Royce order no

Page
1 / 29

Abstract

Denne rapporten omhandlar ei driftsanalyse der passering av Stad er samanlikna med dei to tunnelalternativa som er blitt lansert (Moldefjorden-Kjødepollen, Mannseidtunnelen). Fullskalamålingar frå PSVen "Far Searcher" er mellom anna nytta som grunnlag for analysene. I vurderinga er det sett på dei ulike faktorane som vil vere sentrale for ei slik analyse og følsomheita desse faktorane har for resultatet.

Nytt i denne revisjonen av rapporten (01) er kapittel 7.1 som spesielt omhandler energiforbruk og fartstap for fiskefartøy i sjøgang i forhold til roleg sjø (skjerma farvatn).

I tillegg til fullskalamålingane på "Far Searcher" er resultat frå denne studien basert på modellforsøk med fiskefartøy på 1980 tallet.

Det er elles henvist til generelle forskningsresultat som viser at skipslengda har stor betydning for energiauken i sjøgang. Dessutan har bølgjehøgd og bølgjelengde og stor innverknad.

Effekten av sjøgang i forhold til seilas i skjerma farvatn har økonomiske konsekvensar i form av 1) auka energiforbruk/brennoljeforbruk og 2) fartstap og dermed tidstapet som sjøgangen medfører. Dessuten vil verknaden av 1) også gi ekstra kostnader i form av CO₂/NO_x avgifter.

Med utgangspunkt i tilgjengelige målingar og forskningsresultat nevnt over, er det for fartøygruppa offshore supply skip og fiskefartøy etablert estimat på faktorar for energiforbruk i forhold til tilbakelagt distanse for både roleg sjø (skjerma fartvatn) og for sjøgang. Desse faktorane, som har dimensjon kiloWatt-timar per nautisk mil [kWh/n.m] vil difor ivareta effekten av både 1) og 2). Det er i denne samanheng også vist til statistikk for sesongvariasjon av signifikant bølgjehøgd ved Stad, der det er sannsynliggjort at faktorane for sjøgang er relatert til eit nivå som ligg nær ein representativ årsmiddelverdi av signifikant bølgjehøgd i dette havområdet.

For det vel 90 m lange supplyfartøyet er den relative auken i energiforbruk på ca 44% i kombinasjon og eit fartstap på ca 14%, medan for eit 42m langt fiskefartøy er det relative energiforbruket i sjøgang i forhold til roleg sjø på heile 118% og fartstapet på ca 36%.

Keywords

Group 1: Stad skipstunnel

Group 2: Sjøgang

Group 3: Drivstofforbruk



Contents

1 Føremål	3
2 Introduksjon	3
3 Føresetnader	3
4 Input-data og resultat	4
4.1 Ruter.....	4
4.1.1 Rutealternativ 1	5
4.1.2 Rutealternativ 2	7
4.1.3 Tunnellengder	8
4.2 Skipsfart	8
4.2.1 Fart	8
4.2.2 Fart gjennom tunnel	8
4.2.3 Fartsreduksjon p.g.a ytter forhold	8
4.3 Tidsrekneskap	9
4.3.1 Tunnetid	9
4.3.2 Ventetid p.g.a. tunneltrafikk.....	9
4.3.3 Ventetid p.g.a. dårlig vær	9
4.3.4 Ekstratid p.g.a. fartstap.....	9
4.4 Drivstoff- og miljørekneskap	9
5 Eksempel basert på forsyningsfartøyet "Far Searcher"	10
5.1 Rutealternativ 1	11
5.2 Rutealternativ 2	12
6 Totalt drivstoff og miljørekneskap	15
7 Vurdering av energiauke i sjøgang i forhold til lengde på fartøyet	16
7.1 Energiforbruk og fartstap i sjøgang for fiskefartøy	17
7.1.1 Representativ bølgjehøgd ved Stad	17
7.1.2 Modellforsøk med fiskefartøy i sjøgang.....	19
8 Oppsummering og konklusjon	22
9 Referansar	23
A Appendix: "Far Searcher" – Variasjon av motorytelse og fart ved passeering av Stad 22-23. april 2010	24



1 Føremål

I samband med utgreiingar av Stad skipstunnel har det blitt nemnt at vurderingar rundt eventuelle drivstoffbesparinger er mangelfulle.

I "Notat etter møte om Stad skipstunnel, KS1 med Holte Consulting og Econ Pöyry, Oslo 18. mars" [1] står det:

- **Drivstoffbesparelser (og utsipp):** Det er svært viktig å avklare at – og på hvilke fartøysleider – skipstunnelen vil bety kortere seilingsdistanse og -tid (anslag 9 Nm / 1 time). Drivstoffbesparelser utgjør store verdier (økende med høyere oljepris), og vil være et vesentlig argument for at passerengerer vil foregå gjennom tunnelen – også ved gunstige værforhold.

Eit rekneark er utvikla der føremålet er å gjere enkle overslag på tidsbruk, drivstoffforbruk og miljøutslepp ved dei ulike alternativa. Rapporten vil gå gjennom oppbygginga av dette reknearket.

2 Introduksjon

Reknearket tek utgangspunkt i:

- Distanse
- Fart
- Forventa fartstap
- Forbruk per nautisk mil
- Forventa forbruk per nautisk mil under ulike operasjonsforhold

I tillegg til dette er fart gjennom tunnel også ein inngangsvariabel.

Basert på desse parametrane vil ein kunne estimere tillegg i tid pga. fartstap, drivstoffforbruk, drivstoffkostnader og utslepp av miljøgassar.

For å få eit rettferdig samanlikningsgrunnlag, har det blitt sett på to alternativ. Begge alternativa har utgangspunkt i Raudeberg, men stoppunktet er ulikt. Her kjem det litt an på kva slags farled ein vil bruke vidare. Ein kan velje å gå forbi Herøy og Ulstein eller ein kan gå Rovdefjorden og Vartdalsfjorden.

For kvar av desse alternativa er det tre ruter som må samanliknast:

Raudeberg – Stad - Herøyfjorden

Tunnelalternativ 1: Raudeberg – Moldefjorden – Kjødepollen – Herøyfjorden

Tunnelalternativ 2: Raudeberg – Mannseidtunnelen – Herøyfjorden

Raudeberg – Stad - Haugsholmen

Tunnelalternativ 1: Raudeberg – Moldefjorden – Kjødepollen – Haugsholmen

Tunnelalternativ 2: Raudeberg – Mannseidtunnelen – Haugsholmen

Distansen for kvar av rutene er estimert v.h.a. Kystverket sine karttenester. (<http://kart.kystverket.no/>)

I siste del av rapporten er totalt drivstoffforbruk estimert saman med totale miljøutslepp for dei ulike alternativa.

3 Føresetnader

Ei slik vurdering vil vere avhengig av fartøytype, fartøyet sin lastkondisjon, maskineri- og propellsystem, hastighet samt sjøtilstand og vind. Inngangsparametrane lista over vil med andre ord ikkje vere eintydige, så kompleksiteten av ei slik analyse er høg.

Ideelt sett burde ein beregne gjennomsnittsverdiar for kvar fartøygruppe for trafikkstatistikken ved Stad. Inputparametrane burde basere seg på gjennomsnittleg verforhold og driftsprofil. Ut i frå denne informasjonen må

ein då kunne estimere eit fartstap og effektauke. Eit lite fartøy vil erfare eit anna fartstap og effektauke i sjøgang samanlikna med eit stort fartøy. Eit alternativ er å henta ut farta frå AIS-systemet for å kartleggje korleis den varierer forbi Stad? Med eit slikt sett av parametrar for ulike fartøygrupper vil ein lettare kunne estimere totalt drivstoff- og miljørekneskap ved å summere opp antal fartøy av ein gitt kategori som passerer Stad årleg. Dessutan må ein avklare kva distansar som skal vere utgangspunkt for samanlikninga.

4 Input-data og resultat

4.1 Ruter

I ei slik samanlikning vil distansane vere ein viktig parameter. Rutene som er nytta i evalueringa er skissert i figur 1 og figur 2.



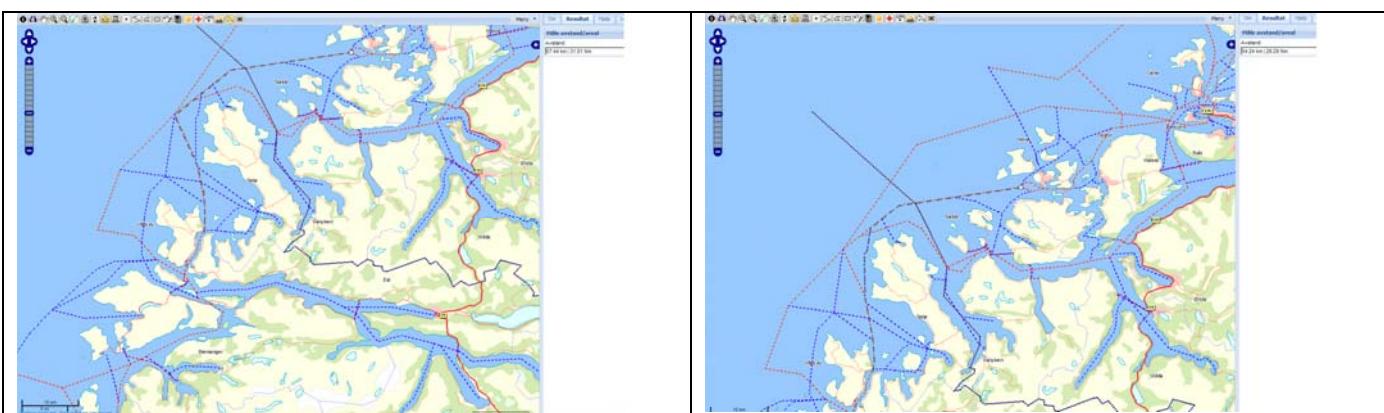
Figur 1 Rutealternativ 1



Figur 2 Rutealternativ 2

For å estimere distansane, er Kystverket sine karttenester [2] nytta. På desse sidene er det ein målefunksjon, og dessutan er farleiene inntekna. Ved måling er desse farleialternativa brukt.
(Det vil kunne vere fleire farleier som kan nyttast.)

4.1.1 Rutealternativ 1



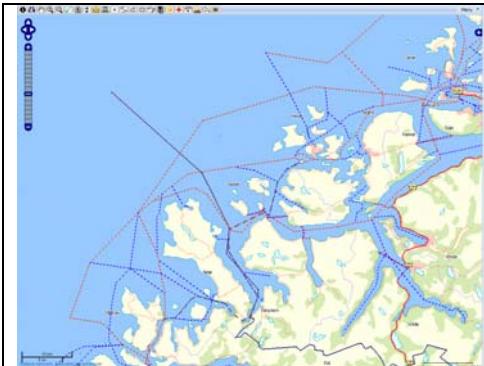
Figur 3: Raudeberg – Stad - Herøyfjorden

Distanse: 31.01 nautiske mil

Middelverdi: 30.15 nautiske mil (nytta i reknearket)

Figur 4: Raudeberg – Stad - Herøyfjorden

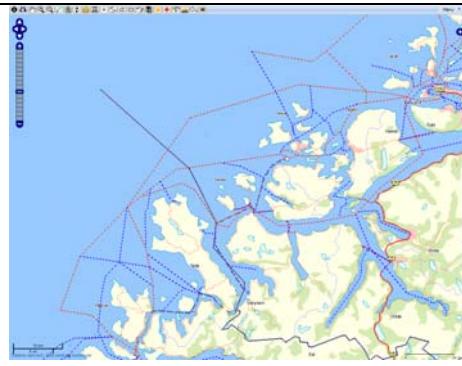
Distanse: 29.29 nautiske mil



Figur 5: Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen-Herøyfjorden

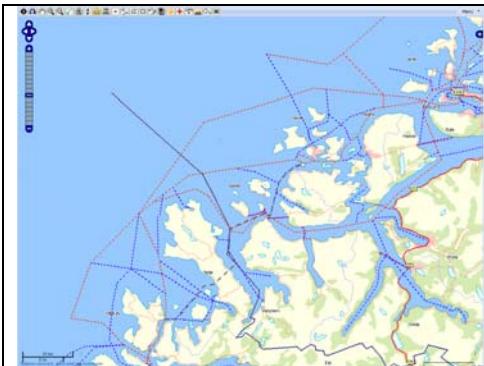
Distanse: 34.63 nautiske mil

Middelverdi: 34.72 nautiske mil (nytta i reknearket)



Figur 6: Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen-Herøyfjorden

Distanse: 34.80 nautiske mil



Figur 7: Raudeberg-Mannseidtunnelen-Herøyfjorden

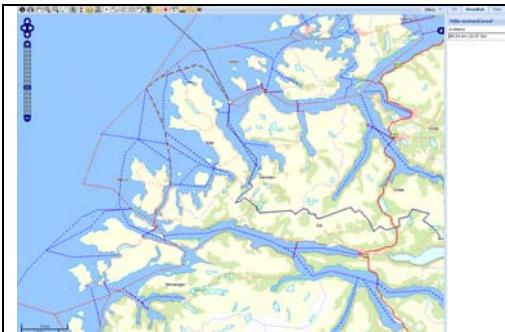
Distanse: 26.67 nautiske mil

Oppsummert får vi:

	Distanse (nautiske mil)
Raudeberg – Stad – Herøyfjorden	~ 30.2
Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen-Herøyfjorden	~ 34.7
Raudeberg-Mannseidtunnelen-Herøyfjorden	~ 26.7

Av desse alternativa er Mannseid-tunnelen kortast. Seilas gjennom tunnelalternativet Moldefjorden-Kjødepollen er lengst.

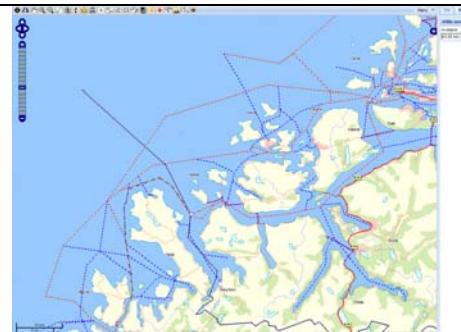
4.1.2 Rutealternativ 2



Figur 8: Raudeberg – Stad - Haugsholmen

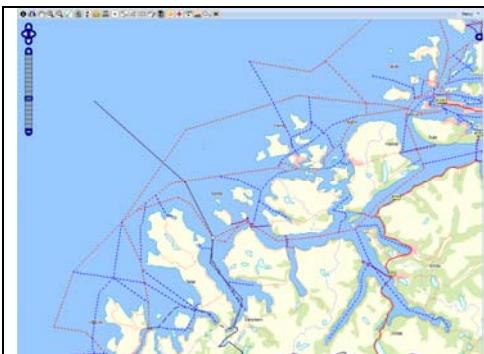
Distanse: 24.97 nautiske mil

Middelverdi: 24.11 nautiske mil (nytta i reknearket)



Figur 9: Raudeberg – Stad - Haugsholmen

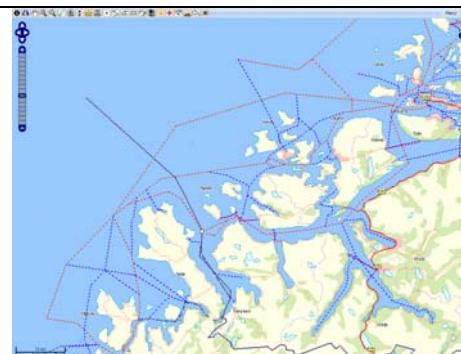
Distanse: 23.24



Figur 10: Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen- Haugsholmen

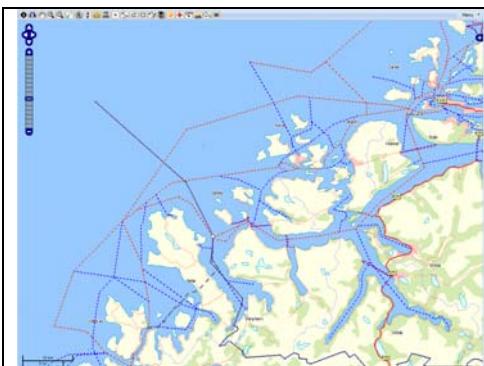
Distanse: 22.17 nautiske mil

Middelverdi: 22.34 nautiske mil (nytta i reknearket)



Figur 11: Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen- Haugsholmen

Distanse: 22.50 nautiske mil



Figur 12: Raudeberg-Mannseidtunnelen- Haugsholmen

Distanse: 14.33 nautiske mil

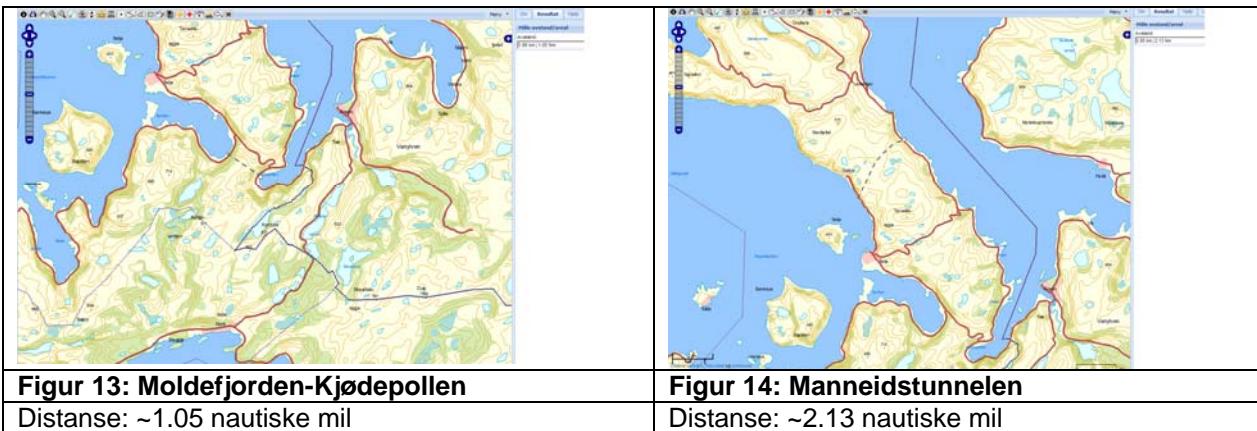
Oppsummert får vi:

	Distanse (nautiske mil)
Raudeberg – Stad – Haugsholmen	~24.1
Raudeberg-Moldefjorden-Kjødepollen- Haugsholmen	~22.3
Raudeberg-Mannseidtunnelen- Haugsholmen	~14.3

Av desse alternativa er Mannseid-tunnelen kortast. Seilas om Stad er lengst.

4.1.3 Tunnellengder

Tida eit fartøy vil bruke gjennom tunnelalternativa er avhengig av distanse og hastigkeit. Tunnellengda er estimert v.h.a. målefunksjonen på Kystverket si heimeside [2]. Mannseidtunnelalternativet er ca dobbelt så langt som alternativet frå Moldefjorden til Kjødpollen.



4.2 Skipsfart

For å vere i stand til å estimere tidsbruk og drivstoffforbruk, må ein ta stilling til kva farter ein skal nytte i analysene.

4.2.1 Fart

Eit fartøy må ha ei referansefart. Det er rimeleg å bruke farta fartøyet har ved eit gitt pådrag under rolege vertilhøve som referanse (effektforbruk tilsvarende "stillevannsmotstand"). Det er vidare antatt at denne farta kan nyttast for heile distansen (minus tunneldistansen) for tunnelalternativa sidan ein slik seilas vil foregå i rolege forhold.

4.2.2 Fart gjennom tunnel

For å estimere tida det tek å passere gjennom tunnelen, er det antatt ein fart på 5 knop.

4.2.3 Fartsreduksjon p.g.a ytre forhold

Eit fartøy som passerer Stad vil i mange tilfelle bli påverka av tilleggskrefter frå bølgjer, straum og vind. Dette vil påverke både fart og forbruk til eit fartøy. Å estimere denne fartsreduksjonen er vanskeleg. Den vil vere avhengig av fartøytipe, storleik og sjølvsagt verforhold. Dessutan vil ein fartsreduksjon kunne vere ei følgje av at skipperen reduserer pådraget p.g.a. store og ubezaglege skipsrørsler (frivillig fartstap).

I denne analysa er det antatt at fartøyet har same pådrag som under referansekondisjonen og fartstapet er i forhold til denne farta. Ved tunnelalternativa er fartsreduksjon neglisjert sidan fartøyet går i lunare farvatn.

4.3 Tidsrekneskap

Den totale tida det tek å gå dei ulike rutene vil vere avhengig av fleire faktorar. Ideelt sett skulle tida det tek å gå frå A til B vere distanse dividert med fart. Men ein bør gjere korrekjonar.

4.3.1 Tunneltid

Eit fartøy som skal passere gjennom tunnelen må gå med sakte fart. Dess lågare fart, dess lengre tid. Passeringstida gjennom Mannseidtunnelen vil altså vere noko lenger enn passeringstida gjennom den halvparten så lange tunnelen frå Moldefjorden til Kjødspollen.

4.3.2 Ventetid p.g.a. tunneltrafikk

Det er sannsynleg at eit fartøy som skal passere tunnelen må pårekne ventetid p.g.a. at andre fartøy er i tunnelen. Kor lang tid dette er snakk om, er vanskeleg å anslå, men dette er ein faktor som bør vere med i rekneskapen. Denne ventinga vil også medføre drivstoffforbruk og utslepp, men med ei låg motorbelastning.

4.3.3 Ventetid p.g.a. därleg ver

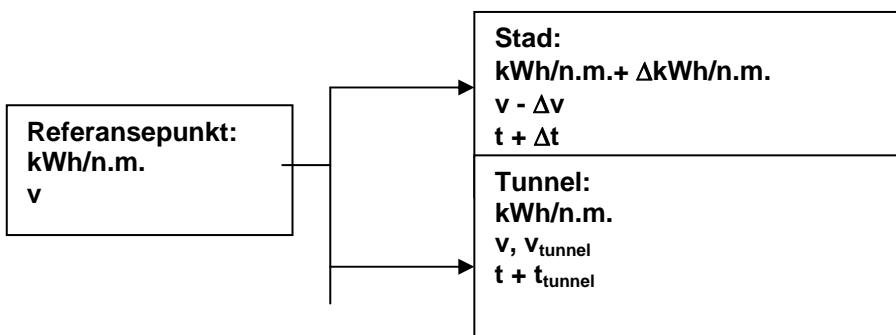
Eit fartøy som skal passere Stad vil i därleg ver måtte vente i t.d. Måløy dersom mannskapet finn det uaktuelt å passere. Denne tidsfaktoren er vanskeleg å estimere. Likevel er det ein faktor som vil kunne vere betydeleg, og som vil favorisere tunnelalternativa sidan ein då kan sjå bort ifrå dette tidstapet.

4.3.4 Ekstratid p.g.a. fartstap

Som følgje av fartstap p.g.a. ytre forhold ved passering av Stad, vil eit fartøy bruke lengre tid. Denne tida må også inn i tidsrekneskapen.

4.4 Drivstoff- og miljørekneskap

I analysa er drivstoffforbruk beregna ut i frå ein faktor $kWh/nautisk\ mil$. Denne faktoren seier noko om kor stort energiforbruket er per tilbaketragt distanse. Denne faktoren vil hovudsakleg vere avhengig av fartøytype, lastkondisjon, fart og vertilhøve. Det er antatt ein referanseverdi. Ved passering av Stad vil denne verdien mest sannsynleg auke (gitt at motorpådraget er det same som ved referansepunktet). Ved tunnelalternativa er det antatt at denne verdien er lik over heile distansen. (Verdien vil nok gå ned p.g.a. farta er lågare i tunnelen og motorytelsen er lågare ved eventuell venting).



Til å rekne ut drivstoffforbruk er det vanleg å bruke ein faktor g/kWh . Drivstoffkostnaden finn ein då lett ved å multiplisere med drivstoffprisen. I analysa er det nytta ein faktor 192 g/kWh.

For å rekne CO₂ og NO_x, multipliserer ein drivstoffforbruket med følgjande faktorar:

	Faktor
CO ₂	3.175
NO _x	0.06

5 Eksempel basert på forsyningsfartøyet "Far Searcher"

For å teste ut reknearket er det tatt utgangspunkt i fullskalamåling frå supplyfartøyet "Far Searcher". Dette fartøyet har følgende hovuddimensjonar:

Lengde, Loa	93.9m
Lengde mellom perpendikulærane, Lpp	80.8m
Breidde, B	21.0m
Brutto tonnasje	4755 tonn



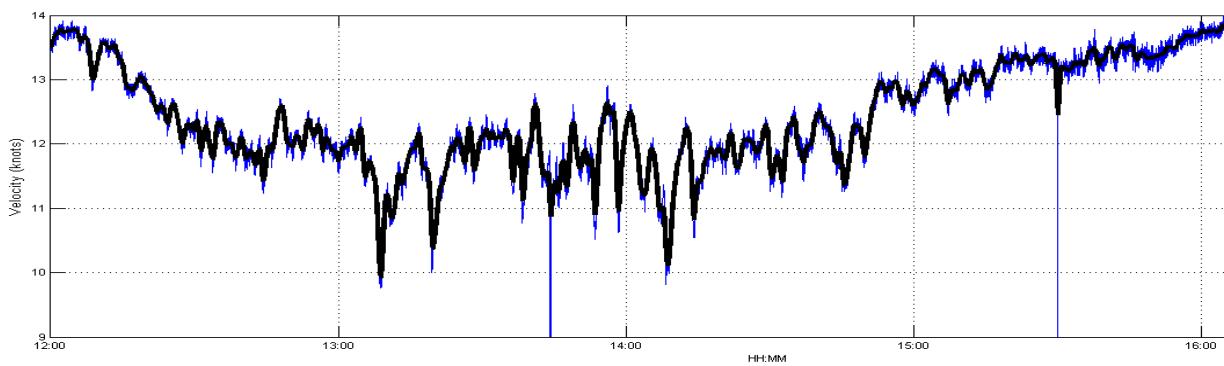
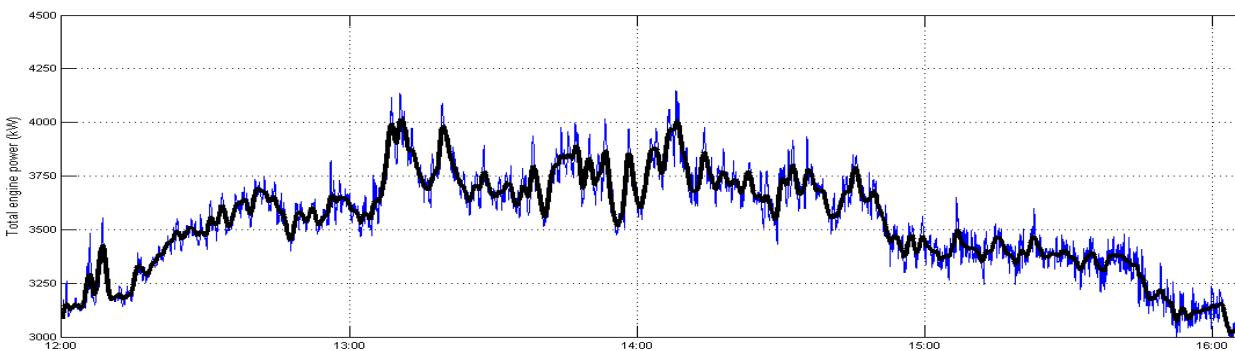
Fullskalamålingane er frå to Stad-passeringar; først 18. april 2010 og deretter 22/23. april 2010.

For å vurdere vertilhøva under seilasane, er det sett på vindregistreringar på Kråkenes og Svinøy i det aktuelle tidsrommet. Som det kjem fram av tabellen under, tilsvarte dei tidsmidla vindforholda maksimalt frisk bris.

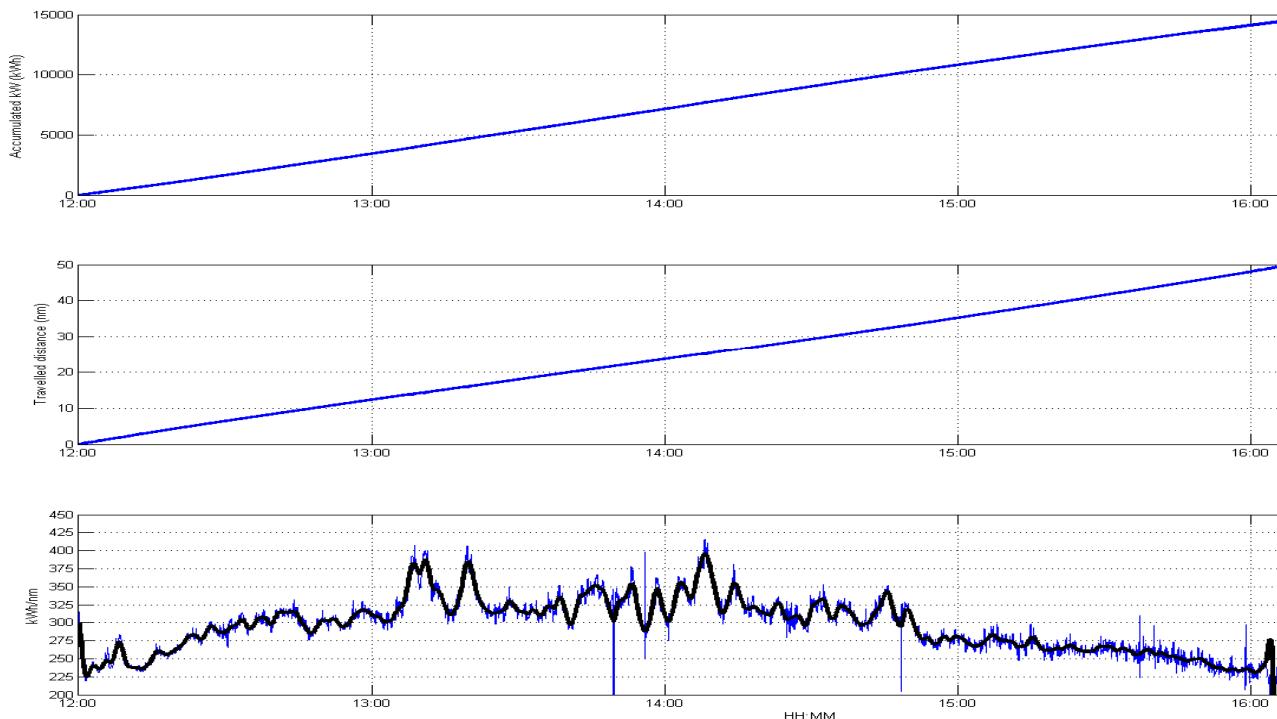
	Kråkenes	Svinøy
18. april 2010	5.6-8.2 m/s	6.8-10.7 m/s
22/23. april 2010	10.8-11.9 m/s	5.7-8.1 m/s

Dei rolege vindforholda indikerer lite vindgenerert sjø lokalt på Stad. Difor er det sannsylegvis dønning som forårsakar responsar i fartøy som forklarer fartstapet og energiauken.

I frå målingane på fartøyet er faktoren kWh/nautisk mil beregna frå total motorytelse. Farta til fartøyet er også logga slik at ein kan sjå korleis denne varierer. Motorpådraget (turtal og propellstigning) var det same.



Figur 15 Total motoreffekt og skipsfart for transitt Måløy-Ålesund 18.april 2010.



Figur 16 Akkumulert kWh, distanse og kWh/nautisk mil for transitt Måløy-Ålesund 18.april 2010.

I figur 15 og figur 16 er det vist korleis effekt, fart og kWh/nautisk mil endrar seg på seilasen frå Måløy til Ålesund 18. april 2010.

I rolege farvatn i Måløy (kl 12.00) og Ålesund (16.00) er farta ca 13.8 knop medan den fell med ca 2 knop over Stad. Faktoren kWh/nautisk mil aukar frå ca 225 til 325 (44%).

Resultata for dei to rutealternativa er presentert i dei to etterfølgjande tabellane. Tunnelalternativa er samanlikna med to tenkte Stad-passeringar:

- 1) Fartøyet går over Stad i kondisjon som er lik referansekondisjonen 18. april 2010, dvs. null fartstap og null ekstra energiforbruk. (Ideelege forhold). ($V = 13.8\text{knop}$, $\text{kWh/nautisk mil} = 225$). (Referert til "Faktor 1" i reknearket).
- 2) Fartøyet går over Stad i kondisjon lik 18. april 2010. ($V = 13.8\text{knop}$, fartstap $\Delta V = 2\text{ knop}$, $\text{kWh/nautisk mil} + \Delta \text{kWh/nautisk mil} = 325$). (Referert til "Faktor 2" i reknearket).

5.1 Rutealternativ 1

Samanliknar vi tunnelresultata med Stad-passering i ideele forhold, (pkt 1), ser vi at Mannseid-alternativet kjem tidsmessig tilnærma likt ut. Det andre tunnelalternativet, Moldefjorden-Kjødepollen, tek ca 0.5 time lenger tid.

Når det gjeld drivstoffforbruk, kjem Mannseidtunnel-alternativet best ut med ca 11% mindre drivstoffforbruk, tunnelalternativet Moldefjorden-Kjødepollen kjem därlegast ut med ca 15% meir forbruk.

Samanliknar vi tunnelresultata med Stad-passering som beskrive under pkt 2), ser vi at Mannseid-alternativet tek kortast tid, medan Moldefjorden-Kjødpollen kjem tilnærma likt ut med å passere Stad.

Når det gjeld drivstoffforbruk, vil Mannseid-alternativet krevje ca 39% mindre drivstoff medan Moldefjorden-Kjødepollen-alternativet vil krevje ca 20% mindre enn ved passering Stad.



5.2 Rutealternativ 2

Samanliknar vi tunnelresultata med Stad-passering i ideele forhold, pkt 1, ser vi at Moldefjorden-Kjødepollen-alternativet kjem tidmessig tilnærma likt ut. Det andre tunnelalternativet, Manneidstunnelen, tek ca 0.4 time mindre tid. Når det gjeld drivstoffforbruk, kjem Mannseidtunnel-alternativet best ut med ca 40% mindre drivstoffforbruk, Moldefjorden-Kjødepollen kjem nestbest ut med ca 7% redusert forbruk.

Samanliknar vi tunnelresultata med Stad-passering som beskrive under pkt 2), ser vi at Mannseid-alternativet tek kortast tid, ca 0.7 time redusert tid, medan Moldefjorden-Kjødspollen kjem nestbest ut med ca 0.4 time redusert tid. Når det gjeld drivstoffforbruk, vil Mannseid-alternativet krevje ca 59% mindre drivstoff medan Moldefjorden-Kjødepollen-alternativet vil krevje ca 36% mindre enn ved passering Stad.



RUTEALTERNATIV 1 Per fartøy	Stad		Stad skipstunnel	
	Faktor 1	Faktor 2	Moldefjorden-Kjødepollen	Mannseid-tunnelen
			Faktor 1	Faktor 1
Distanse (nm)	30.15	30.15	34.72	26.67
Tunnellengde (nm)	X	X	1.05	2.13
kWh/n.m	225	325	225	225
kWh	6784	9799	7812	6001
Fart (knop)	13.8	13.8	13.8	13.8
Fart gjennom tunnel (knop)	X	X	5.0	5.0
Fartsreduksjon pga av ytreforhold (knop)	0.0	2.0	0.0	0.0
Ideell tid (timar)	2.18	2.18	2.44	1.78
Tunnetid (timar)	X	X	0.21	0.43
Ekstratid pga. fartstap (timar)	0.00	0.37	0.00	0.00
Ventetid pga dårleg ver (timar)	0.00	0.00	0.00	0.00
Ventetid pga tunneltrafikk (timar)	X	X	0.00	0.00
Total tid (timar)	2.18	2.56	2.65	2.20
Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 1	X	0.37	0.47	0.02
Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 2	X	X	0.09	-0.35
Fuel forbruk (tonn)	1.3	1.9	1.5	1.2
Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor1	X	44.4	15.2	-11.5
Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor2	X	X	-20.3	-38.8
CO2 (tonn)	4.1	6.0	4.8	3.7
Differanse CO2 (%) REF faktor 1	X	44.4	15.2	-11.5
Differanse CO2 (%) REF faktor 2	X	X	-20.3	-38.8
NOx (tonn)	0.08	0.11	0.09	0.07
Differanse NOx (%) REF faktor 1	X	44.4	15.2	-11.5
Differanse NOx (%) REF faktor 2	X	X	-20.3	-38.8
Drivstoffkostnad (kr)	6968	10065	8024	6164
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 1	X	44.4	15.2	-11.5
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 2	X	X	-20.3	-38.8

Per fartøy	RUTEALTERNATIV 2		Stad skipstunnel		
	Stad		Moldefjorden-Kjødepollen	Mannseid-tunnelen	
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 1	Faktor 1	Faktor 1
Distanse (nm)	24.11	24.11	22.34	14.33	
Tunnellengde (nm)	X	X	1.05	2.13	
kWh/n.m	225	325	225	225	
kWh	5425	7836	5027	3224	
Fart (knop)	13.8	13.8	13.8	13.8	
Fart gjennom tunnel (knop)	X	X	5.0	5.0	
Fartsreduksjon pga av ytreforhold (knop)	0.0	2.0	0.0	0.0	
Ideell tid (timar)	1.75	1.75	1.54	0.88	
Tunnetid (timar)	X	X	0.21	0.43	
Ekstratid pga. fartstap (timar)	0.00	0.30	0.00	0.00	
Ventetid pga därleg ver (timar)	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ventetid pga tunneltrafikk (timar)	X	X	0.00	0.00	
Total tid (timar)	1.75	2.04	1.75	1.31	
Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 1	X	0.30	0.01	-0.44	
Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 2	X	X	-0.29	-0.73	
Fuel forbruk (tonn)	1.0	1.5	1.0	0.6	
Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor1	X	44.4	-7.3	-40.6	
Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor2	X	X	-35.9	-58.9	
CO2 (tonn)	3.31	4.78	3.1	2.0	
Differanse CO2 (%) REF faktor 1	X	44.4	-7.3	-40.6	
Differanse CO2 (%) REF faktor 2	X	X	-35.9	-58.9	
NOx (tonn)	0.06	0.09	0.06	0.04	
Differanse NOx (%) REF faktor 1	X	44.4	-7.3	-40.6	
Differanse NOx (%) REF faktor 2	X	X	-35.9	-58.9	
Drivstoffkostnad (kr)	5572	8049	5163	3312	
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 1	X	44.4	-7.3	-40.6	
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 2	X	X	-35.9	-58.9	

I Appendix A er det laga ei tilsvarende oversikt med utgangspunkt i fullskalamålingane den 22/23. april 2010. "Far Searcher" gjekk då med litt lågare fart, og forbruket var dermed litt lågare. Dessutan var effektauen og fartstapet over Stad ikkje fullt så stort som den 18. april 2010. Dette tyder på at det ikkje var like mykje bølgjer ved denne passeringa (sjølv om vindregistreringane nemnt tidlegare tyder på at det var litt meir vind under denne seilasen) og/eller at bølgjeretninga i forhold til båten sin kurs var annleis. Relativ skilnad i drivstoffforbruk og utslepp blir då litt mindre, men trenden er likevel den same.

Dei to eksempla der "Far Searcher" passerer Stad har vist at ein kan spare både tid, kostnader og redusere miljøutslepp ved å velge tunnel-alternativa. Men distansen som vert nytta i estimata er sentral for konklusjonen. Tunnel-alternativa kjem betre ut med rutealternativ 2 enn rutealternativ 1. Hovudgrunnen til dette er distansen. Det er difor viktig at ein alle parter er einige om kva slags ruter ein skal nytte i ein slik samanlikningsstudie. Den andre viktige faktoren er forbruksfaktoren kWh/n.m.. Denne er følsam for vertilhøve og fart. Matematisk vil skilnaden i drivstoffforbruk (samtid CO₂, NO_x, drivstoffkostnad) mellom alternativa kunne uttrykkjast:

$$\Delta(\%) = \left(\frac{kWh / n.m.}{kWh / n.m._{ref}} \right) \cdot \left(\frac{nautisk.mil.}{nautisk.mil._{ref}} \right) - 1 \cdot 100\%$$

der ref-verdiane er samanlikningsgrunnlaget. (I reknearket er dette dei to Stad-passeringane; jfr. Pkt.1 og Pkt 2.).

6 Totalt drivstoff og miljørekneskap

Til no har ein sett på eitt enkelt fartøy. I eit større perspektiv ønskjer ein å gjere opp den totale drivstoff- og miljørekneskapen. Då må ein ta omsyn til eit relevant antal fartøy som passerer Stad og som ville valt tunnelalternativet. Ein vil måtte gjere overslag på effektforbruk for ulike fartøysgrupper, og basert på statistiske verforhold må ein også gjere anslag på effektauke (og fartstap) ved passering Stad. I rapporten til Raabe og Eilertsen [3] er det gjort ei slik vurdering, og der er nytta ein forbruksfaktor 0.2 liter per hk motoreffekt per time. Dessutan er talet på fartøy som vil nytte tunnelalternativet framfor å passere Stad heilt sentralt for det totale forbruk av drivstoff og utslepp av miljøgassar. DNV har gjennomgått AIS-data i perioden 14. september 2008 til 31. august 2010, og summert fartøypasseringane i området rundt Stad, ref [4]. Raabe og Eilertsen [3] har vidare nytta seg av denne informasjonen, men har i tillegg lagt til ein del fartøy som ikkje blir registrert i AIS-systemet. Basert på dette har dei estimert totalt drivstoffforbruk og utslepp for alle fartøykategoriar.

I denne analysa har ein valt å kikke på kategorien "Større fartøy" (sjå under) og nytte dette talet, dvs. 7029 fartøypasseringar. (Grunnen til at ein berre ser på denne kategorien er at effektfaktorane (kWh/nautisk mil) som er nytta i estimata baserer seg på PSVen "Far Searcher" og dette fartøyet ligg under denne kategorien.)

Fartøystype	KVU (AIS)	Nye passeringer (ikke AIS)	Pess. vurdering	Ny total	Ny total (pessimistisk vurdering)
Større fartøy (tank, bulk, frakt/gods, passasjer, offshore, ...)	5.193 (4.272)	1.836	918	7.029 (6.108)	6.111 (5.190)
Fiskefartøy	2.138 (2.136)	13.175	5.615	15.313 (15.311)	7.753 (7.751)
Fritidsbåter	0 (0)	9.500	5.700	9.500	5.700
TOTALT	7.331 (6.408)	24.511	12.233	31.842 (30.919)	19.564 (18.641)

Tabell 3: Samlet antall fartøypasseringer per år

Ref. Raabe og Eilertsen [3].

Med denne antakinga vil ein få følgjande resultat for hhv. rutealternativ 1 og rutealternativ 2. Tala er relatert til passasje Stad under idelle forhold ("Faktor 1") og passasje Stad med forhold som 18. april 2010 ("Faktor 2")

Rutealternativ 1:

Fartøy-passeringar over Stad per år	7029
Andel passeringar gjennom tunnel (%)	100
Fartøy gjennom tunnel	7029
Fartøy rundt Stad	0

		Moldefjorden-Kjødepollen	Mannseid-tunnelen
Totalt	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 1	1388	-1057
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 1	4406	-3355
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 1	83	-63
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 1	7424159	-5653408
	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 2	-2681	-5126
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 2	-8513	-16274
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 2	-161	-308
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 2	-14344710	-27422277

Eksemplet viser at CO₂-reduksjonen ved å gå tunnel under forhold som beskrive under pkt. 2 vil vere ca 8500-16300 tonn (for fartøykategorien "Større fartøy"). Tilsvarande reduksjon i årlig drivstoffkostnad ligg i området 14 til 27 millioner NOK.

Rutealternativ 2:

Fartøy-passeringar over Stad per år	7029
Andel passeringar gjennom tunnel (%)	100
Fartøy gjennom tunnel	7029
Fartøy rundt Stad	0

		Moldefjorden-Kjødepollen	Mannseid-tunnelen
Totalt	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 1	-537	-2970
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 1	-1706	-9429
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 1	-32	-178
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 1	-2875440	-15888025
	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 2	-3791	-6224
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 2	-12037	-19760
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 2	-227	-373
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 2	-20283315	-33295900

Eksemplet viser at CO₂-reduksjonen ved å gå tunnel under forhold som beskrive under pkt. 2 vil ligge i området 12000-19800 tonn og reduksjon i drivstoffkostnaden mellom 20 og 33 MNOK (for fartøykategorien "Større fartøy").

7 Vurdering av energiauke i sjøgang i forhold til lengde på fartøyet

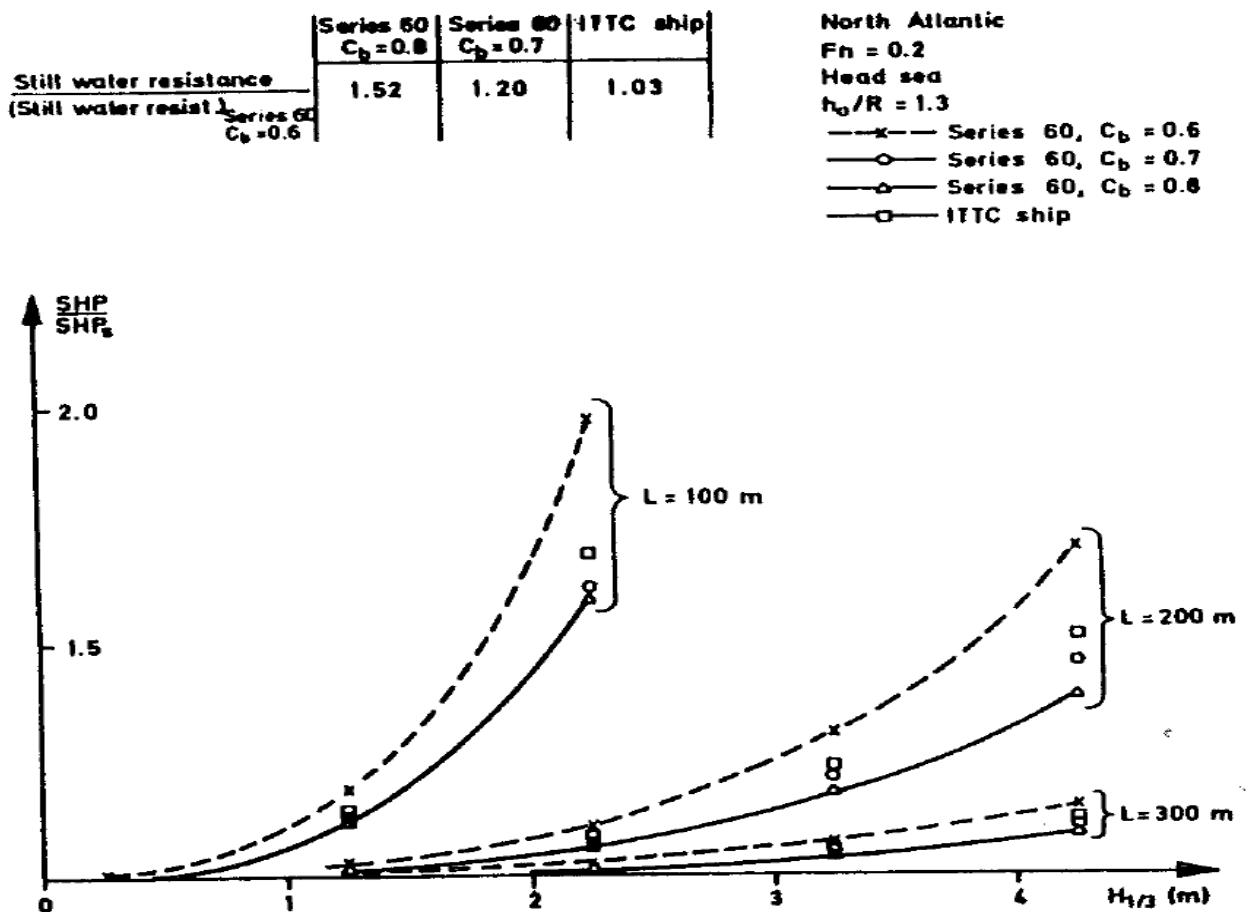
Lengda av skroget er ein av dei viktigaste parametrane som innvirkar på energiforbruket i sjøgang. Når ein skal vurdere totalt drivstoffforbruk og utslepp for andre fartøytyper enn den gruppa som "Far Searcher" representerer, bør ein spesielt studere skipslengda.

Figur 17 (frå ref. [5]) viser at auken i motorytelse i forhold til stille sjø som funksjon av signifikant bølgehøgde for tre ulike skipslengder ; L=100m, 200m og 300m. Vertikalaksen viser forholdstalet mellom motorytelse i bølgjer og

stille vatn (SHP står for Shaft Horse Power). (Cb er blokk-koeffisienten og uttrykker fylde på skroget). Her er det også viktig å merke seg at samanligninga i denne figuren gjeld for ei gitt konstant fart.

Som det går fram av figuren, så vil redusert lengde for dei tre alternativa føre til ein vesentleg auke i motorytelsen for den gitte farta og stigande signifikant bølgjehøgd. Frå figuren kan ein eksempelvis sjå at alternativet L=100m ved 2m signifikant sjø krev omlag 50% større motorytelse. Til samanlikning er "Far Searcher" ca. 90 m. Med utgangspunkt i trenden til grafane i figur 17 for L=300m, 200m, 100m, kan en forvente at skipslengder på 50-60m vil erfare ein relativ auke av motorytelse i sjøgang som er større enn for L=100m.

Ei fartøygruppe som passerer Stad ofte, er fiskefartøy. Det er rimeleg å anta denne fartøygruppa har typisk lengde på maks 50-60m.



Figur 17 – Motorytelse i sjøgang i forhold til stille sjø som funksjon av signifikant bølgjehøgde. Skipslengde L og blokk-koeffisent som parametrar. Figur frå [5].

7.1 Energiforbruk og fartstap i sjøgang for fiskefartøy

Ifølge fartøystatistikken for passasjerer forbi Stad [6] utgjer fiskebåtar ein stor andel av all skipsfart i dette området, og denne fartøygruppa har difor blitt undersøkt nærmare i forhold til energiauke og fartstap i sjøgang. (Stad ligg ellers mellom to av Norges største fiskerihavner; Måløy og Ålesund).

7.1.1 Representativ bølgjehøgd ved Stad.

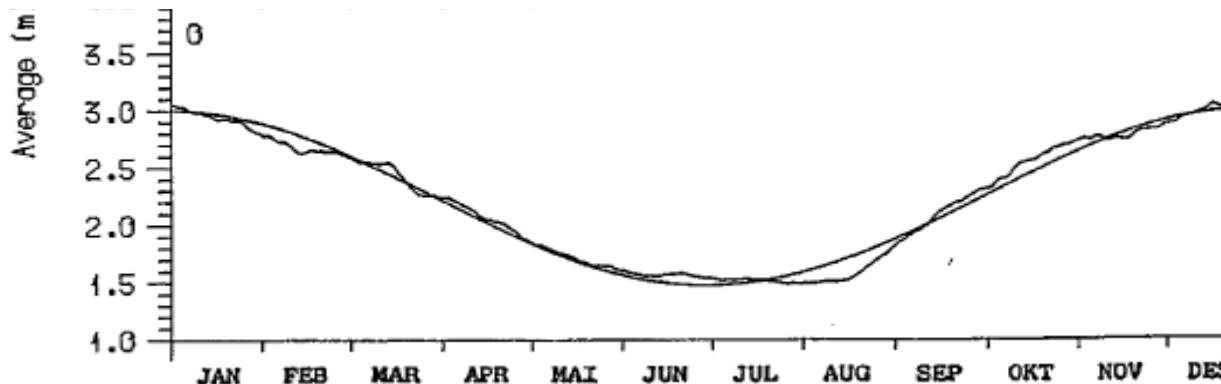
Statistikken for fartøypassasjerer forbi Stad viser store sesongvariasjonar spesielt for fiskefartøy. Den viser at passasjersraten for denne fartøytypen er spesielt stor for januar, februar og september og oktober. Også sjøtilstanden varierer over året. I nokre vintermånader er signifikant bølgjehøgd (Hs) omlag det dobbelte av nivået for sommaren, sjå figur 18.

For å vurdere energiforbruk og fartstap til fiskefartøy i forhold til bølgjetilstanden som vart nytta i modellforsøka som blir presentert i kapittel 7.1.2, vil vi her diskutere nivået for den representative signifikant bølgjehøgd Hs på årsbasis og bruke eit vekta middel av Hs som blir representativt for fiskefartøy.

Denne vektinga baserer seg på bruk av statistikk for månadleg passering av fiskefartøy kombinert med tilsvarende variasjon av Hs ved Stad over året. Sistnemnde bølgjestatistikk er henta frå [7].

Tabellen under (frå [6]) viser månadsfordeling av passeringar forbi Stad for ulike fartøy med breidde mindre enn 21.5m.

<21,5m	Måned											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Andre aktiviteter	94	91	101	97	113	122	152	94	98	118	97	96
Andre offshore service skip	-	1	-	1	1	-	2	2	4	1	-	-
Bulkskip	20	23	16	11	11	12	10	11	13	15	11	17
Fiskefartøy	330	536	218	113	105	101	52	138	261	315	226	103
Gasstankere	15	13	13	13	13	12	14	15	10	12	13	14
Kjemikalie-/produkttankere	17	14	17	15	17	16	21	22	21	32	29	20
Kjøle-/fryseskip	45	40	39	27	28	22	23	21	27	48	42	30
Konteinerskip	8	7	7	6	9	4	8	5	7	11	9	6
Offshore supply skip	16	8	14	14	23	12	13	18	12	17	16	12
Oljetankere	21	18	22	24	19	20	17	18	16	9	15	20
Passasjer	47	51	56	64	69	71	77	70	48	60	55	57
Ro Ro last	18	18	18	18	21	20	17	15	18	18	20	18
Stykkgodsskip	191	180	221	205	214	203	202	231	189	261	249	191
Ukjent	9	10	10	12	10	15	9	22	5	5	4	3
Grand Total	828	1 007	749	618	649	627	613	679	726	919	784	585



Figur 18 Sesongvariasjon for middelverdi av Hs ved Stad, frå [7].

Ved å bruke fiskefartøypasseringer per. måned, får ein faktorar som vektar betydninga av sesongavhengig trafikk og som er kombinert med Hs nivå frå figur 18 til å beregne ein ekvivalent eller representativ Hs.

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
Antall fiskefartøy forbi Stad (ref.[6])	330	536	218	113	105	101	52	138	261	315	226	103
Vektingsfaktor	0.132	0.215	0.087	0.045	0.042	0.040	0.021	0.055	0.104	0.126	0.090	0.041
Variasjon av Hs over ett år (ref.[7])	3.0	2.7	2.4	2.1	1.7	1.5	1.5	1.6	2.0	2.3	2.8	3.0

Desse faktorane pluss Hs fordelt på månad er vist i tabellen over. Dette resulterer i ein representativ middelverdi på Hs for fiskefartøy som blir 2.4 meter. Dersom ein tek i betrakting at grunnlaget frå [7] (figur 18) baserer seg på måledata og hindcast data i perioden 1955 til 1989, så vil klimaendringane medføre ein framtidig representativ Hs som er større enn dette. I eit grunnlagsdokument for regjeringa sitt arbeid med Nasjonal transportplan 2010-2019 [8], som også inkluderer betraktingar om verknaden eit forverra klima får for skipsfarten, så forventar nemleg Meteorologisk Institutt at signifikant bølgjehøgd på Vestlandet vil bli omlag 25 cm større enn før. Dette indikerer at framtidig årsmiddel-nivå for Stad vil ligge i området Hs ~ 2.5 til 3.0 m.

7.1.2 Modellforsøk med fiskefartøy i sjøgang.

På første halvdel av 1980-talet vart det gjort fleire studie av Norges Skipsforskningsinstitutt (NSFI) for bl.a. Norges Fiskeriforskningsråd (NFFR) med føremål å studere ulike fiskefartøy sine sjøgangseigenskapar i ulike sjøtilstandar, sjå Åkre [9]-[12]. Fleire modellforsøk med skipsmodellar tilsvarende fiskefartøy med lengde 32.0 meter – 42.0 meter vart utført ved Norges Hydrodynamiske Laboratorier (NHL) i Trondheim. Resultata frå desse forsøka viser m.a. korleis effekt og fart vert påverka av bølgjer i motsjø.

Som nevnt i kap.7.1.1 er ein stor andel av fartøya som passerer Stad i denne kategorien, og det er difor hensiktsmessig å nyttiggjere seg denne informasjonen.

Sjøgangsforsøka er gjort i sjøtilstandar tilsvarende Beaufort 3 (lett bris, Hs=2.26m), Beaufort 4 (laber bris, Hs=2.74m) og Beaufort 5 (frisk bris, Hs=3.32m). Den representative årsmiddel for Hs som er indikert i 7.1.1 ligg mellom Beaufort 3 og 5. Dette indikerer at bølgetilstanden som dei aktuelle modellforsøka representerer, ligg nær det omtalte Hs-nivået.

Resultata viser at motstanden aukar betydeleg i desse sjøtilstandane samanlikna med stille vatn. Dette kjem tydeleg fram i figur 19 der framdriftseffekten for eit fiskefartøy på 33.53 meter er plotta for hhv. stille vatn (Beaufort 0), lett bris (Beaufort 3), laber bris (Beaufort 4) og frisk bris (Beaufort 5). Effekt stor nok til å gi fartøyet ein fart på 11 knop i stille vatn, gir i desse sjøtilstandane hastigheiter på under 5 knop. Resultata viser også at det ikkje nødvendigvis er den sjøtilstanden som har høgaste bølgjer som vil kreve mest effekt. For dette farøyet viser forsøka at Beaufort 4 er mest effektrevjande. Her må det nemnast at effekten av vind ikkje er tatt hensyn til. Dette bidraget vil kome i tillegg.

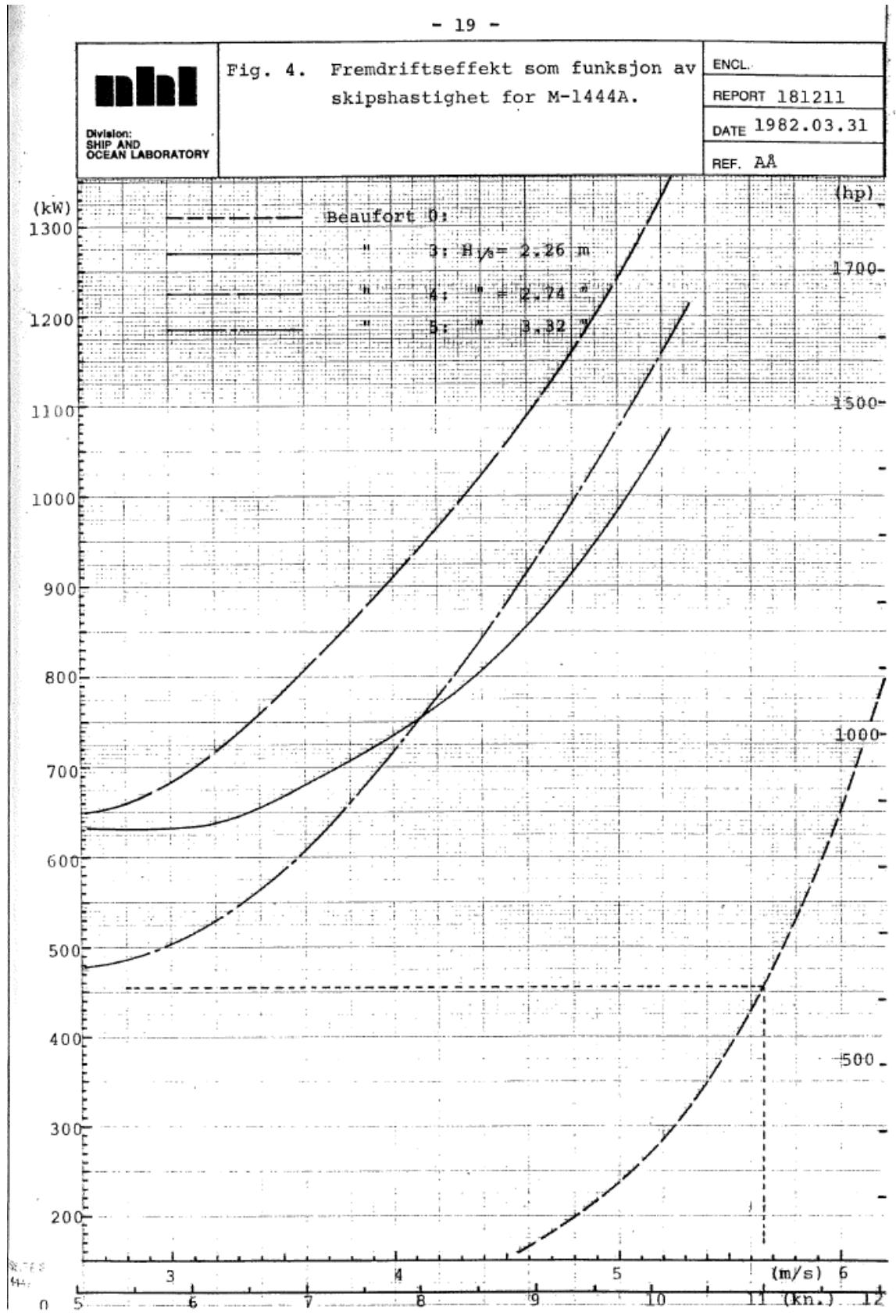
Modellforsøk for eit 41.75 meter langt fiskefartøy er gjennomført i stille vatn og sjøgang i sjøtilstand tilsvarende laber bris (Beaufort 4, signifikant bølgjehøgd 2.74 meter), ref Åkre [9]. Resultata for dette fartøyet viser same trend som resultata for det 33.53 meter lange fartøyet beskrive over. Fartstapet ved overgang frå stille vatn til sjøgang med same motoreffekt varierer frå ca 25% - 50% avhengig av fart i stille vatn.

Resultata frå desse testane er brukt til å gjere eit estimat på fartstap og effektauke. Utgangspunktet for dette estimatet er at turtal er halde konstant. Her er det antatt at fartøyet går med 11.0 knop i stille vatn. Framdriftseffekten er då ca 310 kW. Med same turtal i Beaufort 4-kondisjon vil hastigheita bli ca 7 knop og framdriftseffekten vil bli ca 430 kW. Fartstapet (4 knop) er då ca 36% og effektauken er 39% (sjå figur 20).

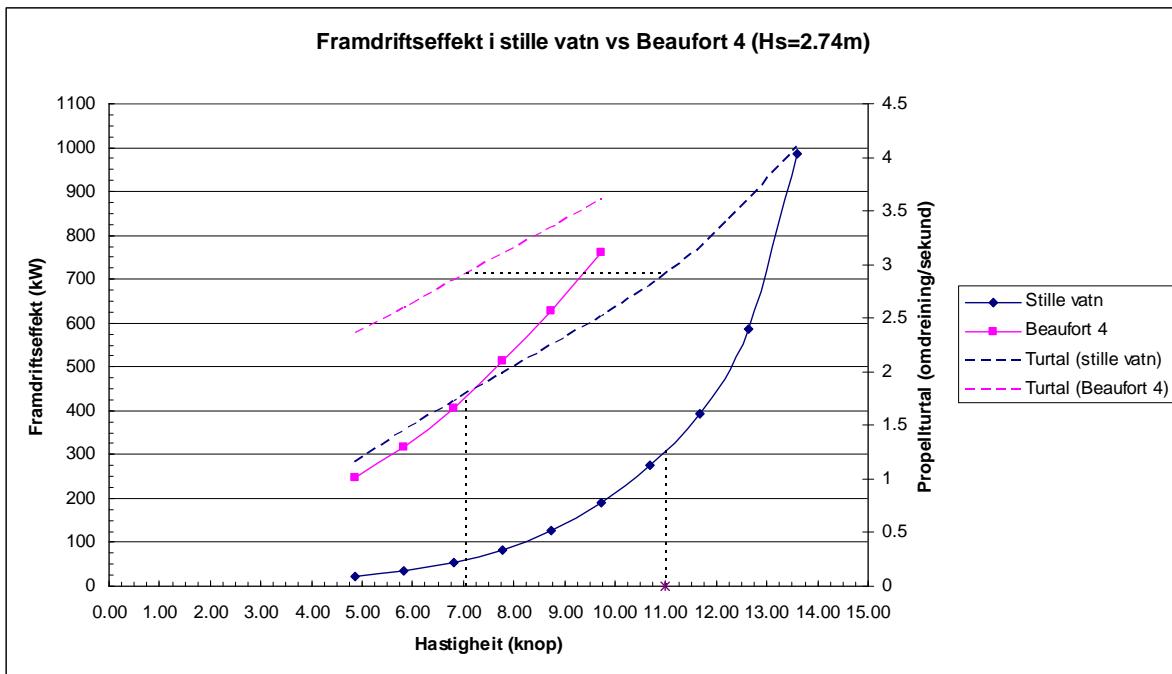
Gjer vi om desse resultata til faktorar (akkumulert effekt per tilbakelagt distanse) som benytta i kapittel 5 for supplyfartøyet, vil vi få 28.2 kWh/n.m (ved 11 knop) ved stille vatn og 61.4 kWh/n.m. (ved 7 knop) i Beaufort 4. Ein ser at dette fartøyet blir hardare straffa både effektmessig (auke på 118%) og tidsmessig pga. større fartstap samanlikna med det over dobbelt så lange supplyfartøyet.

Ein metodikk for estimere driftsmessigmessige kostnader ved dei ulike alternativa vil då kunne vere å dele opp i ulike fartøykategoriar (basert på lengde), bruke ein representativ forbruksfaktor i rolege verforhold samt ein forbruksfaktor i gjennomsnittleg sjøtilstand på Stad. Til slutt må ein bruke gjennomsnittleg fart i roleg sjø og typisk fartstap i gjennomsnittleg sjøtilstand for kvar fartøykategori.

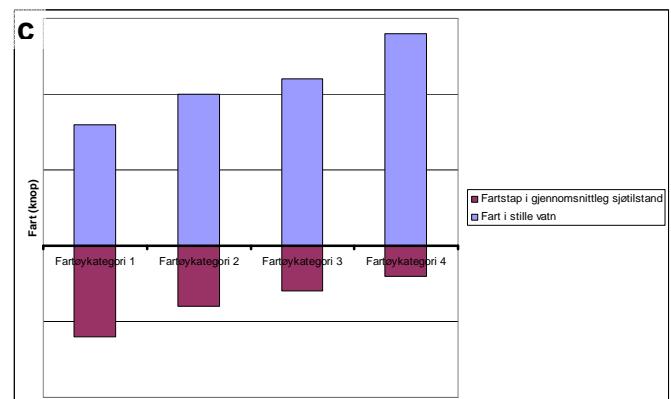
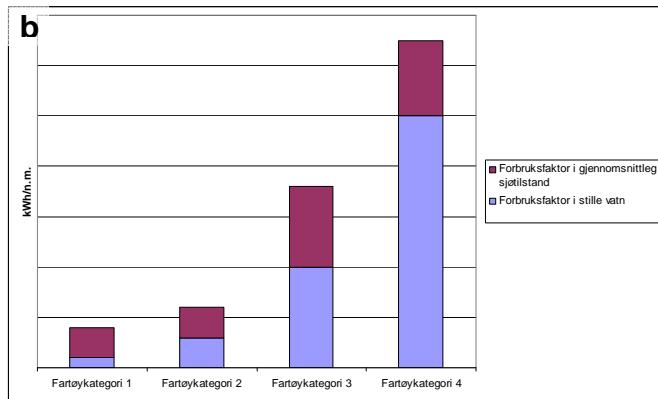
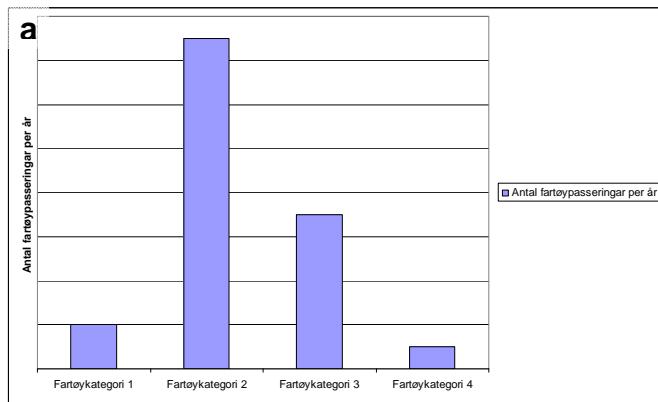
Basert på desse faktorane kan ein estimere totalt drivstoffforbruk for alle rutealternativ ved å multiplisere med forventa antall passering av fartøy i dei ulike kategoriane per år. Ein illustrasjon på denne metodikken er vist i figur 21.



Figur 19 Framdriftseffekt som funksjon av fart for 33.52 meter langt fiskefartøy i ulike sjøtilstandar (Åkre [9]).



Figur 20 Framdriftseffekt i stille vatn og Beaufort 4 for eit 41.75 meter langt fiskefartøy. Resultat henta frå Åkre [10].



Figur 21 a) Antal fartøy, **b)** forbruksfaktor i stille vatn og gjennomsnittlig sjøtilstand, **c)** gjennomsnittleg fart i stille vatn og fartstap i gjennomsnittlig sjøtilstand for ulike fartøykategoriar.



8 Oppsummering og konklusjon

I vurdering av drivstoffforbruk, utslepp av CO₂, NO_x etc. for dei ulike rutealternativa forbi/gjennom Stad, er det viktig at ein ikkje berre tek omsyn til distanse, men også vurderer korleis effektforbruket og fartstapet varierer ved dei ulike alternativa. Ved passering av Stad vil ein normalt få ein betydeleg auke i motorytelse i kombinasjon med redusert fart til samanlikning med seilas i skjerma farvatn. I eit samfunnsøkonomisk perspektiv er det viktig å betrakte både effektauen, som har konsekvenser for brennoljeforbruk og miljøutslepp samt fartstap og tidstapet dette medfører.

Ein overordna konklusjon frå studien, som blant anna baserer seg på ei reell fullskala måling på PSVen "Far Searcher" ved passering av Stad i moderate vindforhold, viser at det vil vere både drivstoffbesparande og tidsbesparende å bruke tunnelalternativa. Rutealternativet Mannseidtunnelen kjem i denne analysa best ut sidan distansen er kortast

Det er også vist til forskning som dokumenterer skroglengda si betydning når det gjeld auken i motorytelse under sjøgang. Når ein skal vurdere drivstoffforbruket for ulike fartøygrupper og summere total reduksjon i brennoljekostnad og utslepp av CO₂/NO_x for all skipstrafikk forbi Stad, bør difor betrekning av lengda til fartøyet vere med. Dette betyr at for mindre fartøy, som vanligvis har mindre motorar og difor lågare forbruk av drivstoff og utslepp, likevel får ein høgare relativ auke i motorytelsen under sjøgang enn lengre/større fartøygrupper.

Fiskebåtar er ein kategori som det passerer mange av forbi Stad. Basert på dokumentasjon av sjøgangsforsøk (modellforsøk) med slike fartøy, som vart utført i 1980-åra på oppdrag av Fiskeriteknologisk Forskningsinstitutt, har denne rapporten gjengitt resultat som er relevante for energiforbruk og fartstap i bølgjer.

Basert på data frå "Far Searcher" og nemnte forskningsresultat med fiskefartøy i sjøgang, har denne rapporten anslått estimat på energiforbruk i forhold til tilbakelagt distanse for både roleg sjø (skjerma fartvatn) og sjøgang (ope hav).

Disse storleikane har dimensjon kiloWatt-timar per nautisk mil [kWh/n.m.] og kan difor brukast til å kvantifisere den økonomiske verknaden av auken i energi- og drivstoff-forbruk på ope hav i forhold til seilas innaskjærers.

For den vel 90 m lange "Far Searcher" er følgjande verdiar estimert : 225 kWh/n.m. i roleg sjø og 325 kWh/n.m i sjøgang. For eit mindre fiskefartøy med lengde ca. 42 m, er tilsvarende verdiar 28 kWh/n.m og 61 kWh/n.m.

Rapporten viser også til bølgeklimastatistikk med sesongvariasjon av bølgjehøgd i havet utanfor Stad. Denne statistikken viser at bølgjedata anvendt i dei refererte modelltestane med fiskefartøy tilsvarer eit nivå som er nær årsmiddelverdien til signifikant bølgjehøgd ved Stad.

Difor er det rimeleg å anta at også kWh/n.m.-nivået for fiskefartøy nevnt ovanfor er ein representativ middelverdi for denne fartøygruppa.

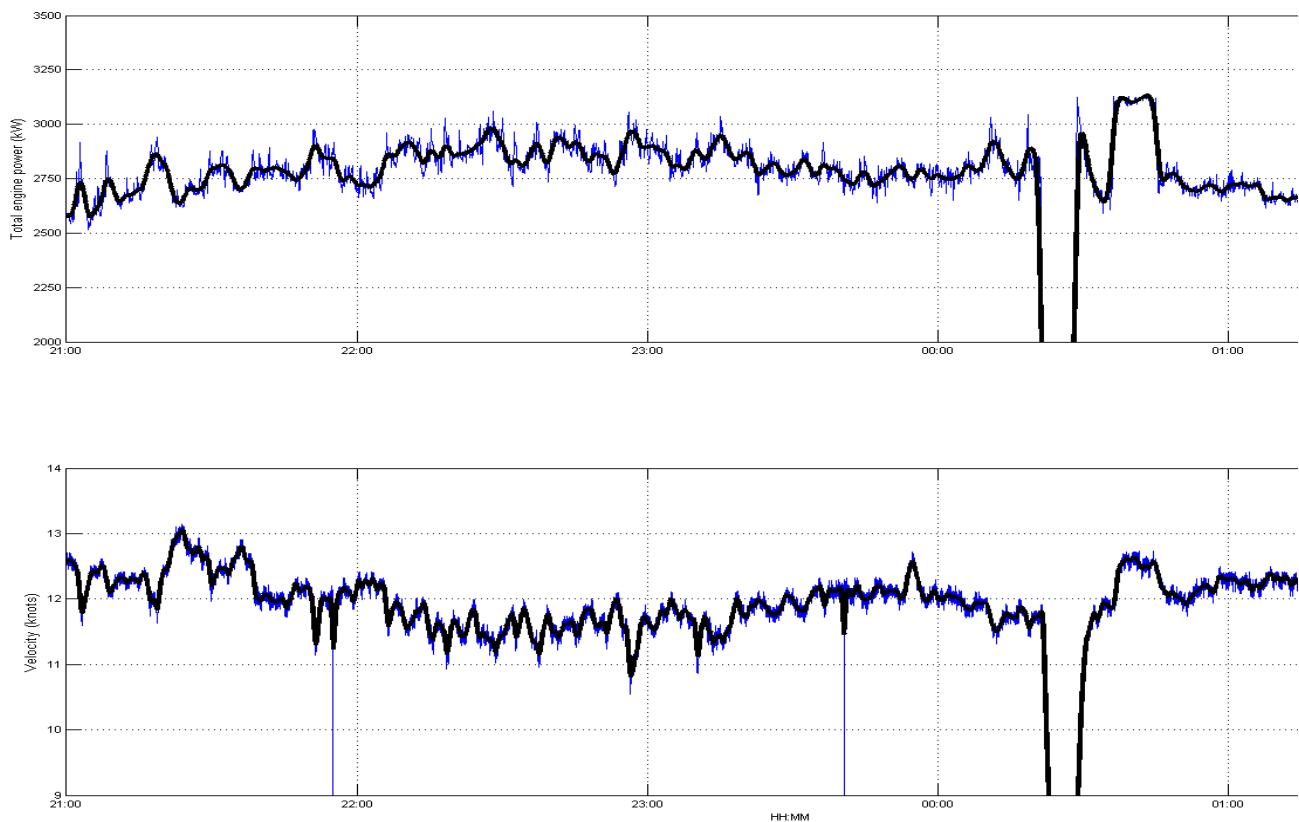
Dersom ein antar at tilsvarande energifaktorar som estimert for "Far Searcher" også er representative for slike fartøy, kan ein også for denne fartøygruppa (offshore service fartøy) estimere forskjell i total drivstoffforbruk, CO₂ utslepp etc. ved å passere utom Stad og ved å gå innaskjærers og gjennom tunnel.



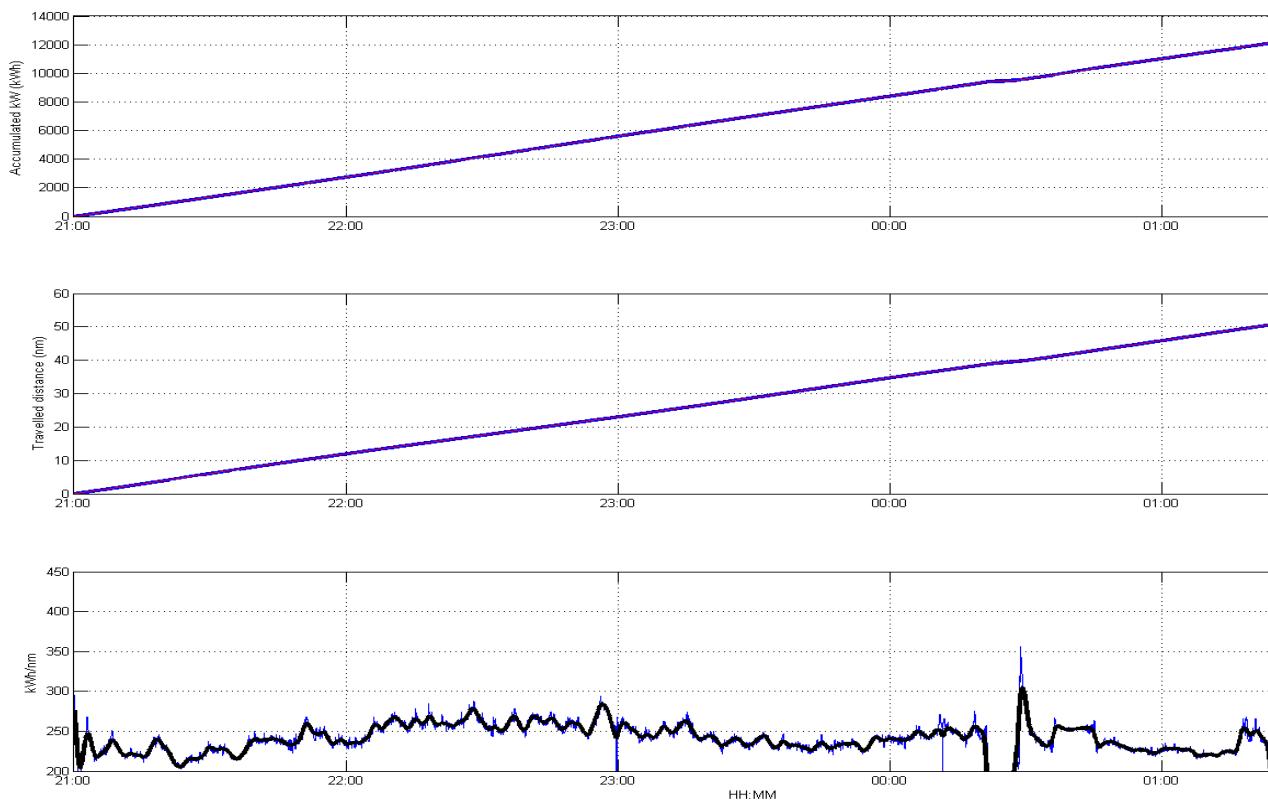
9 Referansar

- [1] "Notat etter møte om Stad skipstunnel mellom KS1 - Holte Consulting og Econ Pöyry, Oslo 18. mars" KS1 med Holte Consulting og Econ Pöyry, Oslo 14 mars 2011, SINTEF Bedriftsutvikling, 15.03.2011.
- [2] <http://kart.kystverket.no/default.aspx?gui=1&lang=2>
- [3] Haakon Raabe og Eldar Eilertsen, KVU *Stad skipstunnel – en kritisk gjennomgang*, SINTEF Bedriftsutvikling, 10. februar 2011.
- [4] Anders Magnus Løken, *Analyse av AIS data og beregning av ventetid*, DnV rapport, 2010.
- [5] Assessment of Ship Performance in a Seaway.
The Nordic Co-operative project:"Seakeeping Performance of Ships". ISBN 87-982637-1-4.
- [6] Anders Magnus Løken, Analyse av AIS data og beregning av ventetid. DNV Rapportnr.2010-1858/ 12S79JQ-2, Rev. 1.0,2010-12-20.
- [7] Martin Mathiesen og Knut Torstethaugen. Modell for seasonal and geographic variations of wave climate along the Norwegian coast. SINTEF publ.Kt-R-609601-12.
- [8] "Virkninger av klimaendringer for transportsektoren", Rapport fra en tverrfaglig arbeidsgruppe (ISBN 978-82-7704-106-3).
- [9] Arne Åkre, *110-fots kombinasjonsfartøy med to typer baugform i sjøgang*, NHL rapport, 1982.
- [10] Arne Åkre, *Resultater fra modellforsøk i stille vann og sjøgang med linebåt, M-1597*, NHL rapport, 1984.
- [11] Arne Åkre, *Innvirkning av propelldyse og skrogets fyldighet på fiskebåtens fremdriftsegenskaper og sjøgangsbevelgelsjer*, NHL rapport, 1984.
- [12] Arne Åkre, *Innvirkningen av fiskefartøyets lengde- breddeforhold og størrelse av langskipets tregheitsradius på sjøegenskapene*, NHL rapport, 1983.

A Appendix: "Far Searcher" – Variasjon av motorytelse og fart ved passeering av Stad 22-23. april 2010.



Figur A1 Variasjon i total motoreffekt og skipsfart for transitt Ålesund - Måløy 22-23.april 2010.



Figur A2 Akkumulert kWh, distanse og kWh/nautisk mil for transitt Ålesund - Måløy 22-23.april 2010.



Rutealternativ 1	Stad skipstunnel				
	Stad		Moldefjorden-Kjødspollen	Mannseid-tunnelen	
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 1	Faktor 1	Faktor 1
Per fartøy	Distanse (nm)	30.15	30.15	34.72	26.67
	Tunnellengde (nm)	X	X	1.05	2.13
	kWh/n.m	210	250	210	210
	kWh	6332	7538	7291	5601
	Fart (knop)	12.7	12.7	12.7	12.7
	Fart gjennom tunnel (knop)	X	X	5.0	5.0
	Fartsreduksjon pga av ytreforhold (knop)	0.0	1.0	0.0	0.0
	Ideell tid (timar)	2.37	2.37	2.65	1.93
	Tunnetid (timar)	X	X	0.21	0.43
	Ekstratid pga. fartstap (timar)	0.00	0.20	0.00	0.00
	Ventetid pga dårleg ver (timar)	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ventetid pga tunneltrafikk (timar)	X	X	0.00	0.00
	Total tid (timar)	2.37	2.58	2.86	2.36
	Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 1	X	0.20	0.49	-0.02
	Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 2	X	X	0.28	-0.22
	Fuel forbruk (tonn)	1.2	1.4	1.4	1.1
	Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor1	X	19.0	15.2	-11.5
	Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor2	X	X	-3.3	-25.7
	CO2 (tonn)	3.9	4.6	4.4	3.4
	Differanse CO2 (%) REF faktor 1	X	19.0	15.2	-11.5
	Differanse CO2 (%) REF faktor 2	X	X	-3.3	-25.7
	NOx (tonn)	0.1	0.1	0.1	0.1
	Differanse NOx (%) REF faktor 1	X	19.0	15.2	-11.5
	Differanse NOx (%) REF faktor 2	X	X	-3.3	-25.7
	Drivstoffkostnad (kr)	6504	7743	7490	5753
	Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 1	X	19.0	15.2	-11.5
	Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 2	X	X	-3.3	-25.7



Rutealternativ 2		Stad		Stad skipstunnel	
		Faktor 1	Faktor 2	Moldefjorden-Kjødspollen	Mannseid-tunnelen
				Faktor 1	Faktor 1
Per fartøy	Distanse (nm)	24.1	24.1	22.3	14.3
	Tunnellengde (nm)	X	X	1.05	2.13
	kWH/n.m	210	250	210	210
	kWh	5063	6028	4691	3009
	Fart (knop)	12.7	12.7	12.7	12.7
	Fart gjennom tunnel (knop)	X	X	5.0	5.0
	Fartsreduksjon pga av ytreforhold (knop)	0.0	1.0	0.0	0.0
	Ideell tid (timar)	1.90	1.90	1.68	0.96
	Tunneltid (timar)	X	X	0.21	0.43
	Ekstratid pga. fartstap (timar)	0.00	0.16	0.00	0.00
	Ventetid pga dårleg ver (timar)	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ventetid pga tunneltrafikk (timar)	X	X	0.00	0.00
	Total tid (timar)	1.90	2.06	1.89	1.39
	Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 1	X	0.16	-0.01	-0.51
	Tidsdifferanse (timar) - REF faktor 2	X	X	-0.17	-0.67
	Fuel forbruk (tonn)	0.97	1.16	0.90	0.58
	Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor1	X	19.05	-7.34	-40.56
	Fuel forbruk differanse (%) - REF faktor2	X	X	-22.17	-50.07
	CO2 (tonn)	3.09	3.67	2.86	1.83
	Differanse CO2 (%) REF faktor 1	X	19.05	-7.34	-40.56
	Differanse CO2 (%) REF faktor 2	X	X	-22.17	-50.07
	NOx (tonn)	0.06	0.07	0.05	0.03



Differanse NOx (%) REF faktor 1	X	19.05	-7.34	-40.56
Differanse NOx (%) REF faktor 2	X	X	-22.17	-50.07
Drivstoffkostnad (kr)	5201	6191	4819	3091
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 1	X	19.05	-7.3	-40.6
Differanse drivstoffkostnad (%) REF faktor 2	X	X	-22.2	-50.1

Rutealternativ 1

Fartøy-passeringar over Stad per år	7029
Andel passeringar gjennom tunnel (%)	100
Fartøy gjennom tunnel	7029
Fartøy rundt Stad	0

Totalt	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 1	1295	-986
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 1	4112	-3131
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 1	78	-59
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 1	6929215	-5276514
	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 2	-332	-2614
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 2	-1055	-8299
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 2	-20	-157
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 2	-1778333	-13984062



Rutealternativ 2

Fartøy-passeringar over Stad per år	7029
Andel passeringar gjennom tunnel (%)	100
Fartøy gjennom tunnel	7029
Fartøy rundt Stad	0

Totalt	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 1		-502	-2772
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 1		-1593	-8800
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 1		-30	-166
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 1		-2683744	-14828824
	Differanse Fuel forbruk (tonn) - REF Faktor 2		-1803	-4073
	Differanse CO2 (tonn) - REF Faktor 2		-5725	-12933
	Differanse NOx (tonn) - REF Faktor 2		-108	-244
	Differanse Drivstoffkostnad (kr) - REF Faktor 2		-9646894	-21791974