

Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

## TNO-rapport

**TNO 2012 R10478**

**Het Zwevende Bord**

Datum	23 augustus 2012
Auteur(s)	Hans van Vugt Tesse Pronk
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	23 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	
Projectnaam	Het Zwevende Bord
Projectnummer	052.03557
Postdossier	TNO-060-DTM-2012-02565

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Scheepsmodel GY-57 .....</b>	<b>4</b>
2.1	Hoofdmotor .....	4
2.2	Tandwielkast.....	4
2.3	Schroef .....	5
2.4	Weerstand .....	8
<b>3</b>	<b>Simulatie met het model .....</b>	<b>10</b>
3.1	Simulatie met grond bord .....	10
3.2	Simulatie met zwevend bord .....	10
<b>4</b>	<b>Analyse van het brandstofverbruik .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Simulatie met operationeel profiel.....</b>	<b>12</b>
5.1	Resultaat simulatie met grondbord.....	14
5.2	Resultaat simulatie met zwevend bord.....	16
<b>6</b>	<b>Conclusie.....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Bijlage A Referentie metingen aan het schip GY-57 .....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Bijlage B: Meetgegevens borden GY-57.....</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>23</b>

# 1 Inleiding

Om tijdens het vissen met de GY-57 brandstof te besparen wordt er gekeken naar de toepassing van zwevende borden. Om het effect van deze borden in kaart te brengen is er naast metingen ook een energieverbruiksanalyse van de toepassing van zwevende borden op de GY-57 uitgevoerd. Deze verbruiksanalyse wordt opgebouwd uit vier delen:

- Het maken van het simulatie model voor de GY-57
- Verifiëren van de meetdata zonder zwevende borden
- Verifiëren van de meetdata met zwevende borden
- Analyse van het verschil in brandstofverbruik met zwevende borden en zonder zwevende borden

Deze stappen worden hierna per stuk besproken.

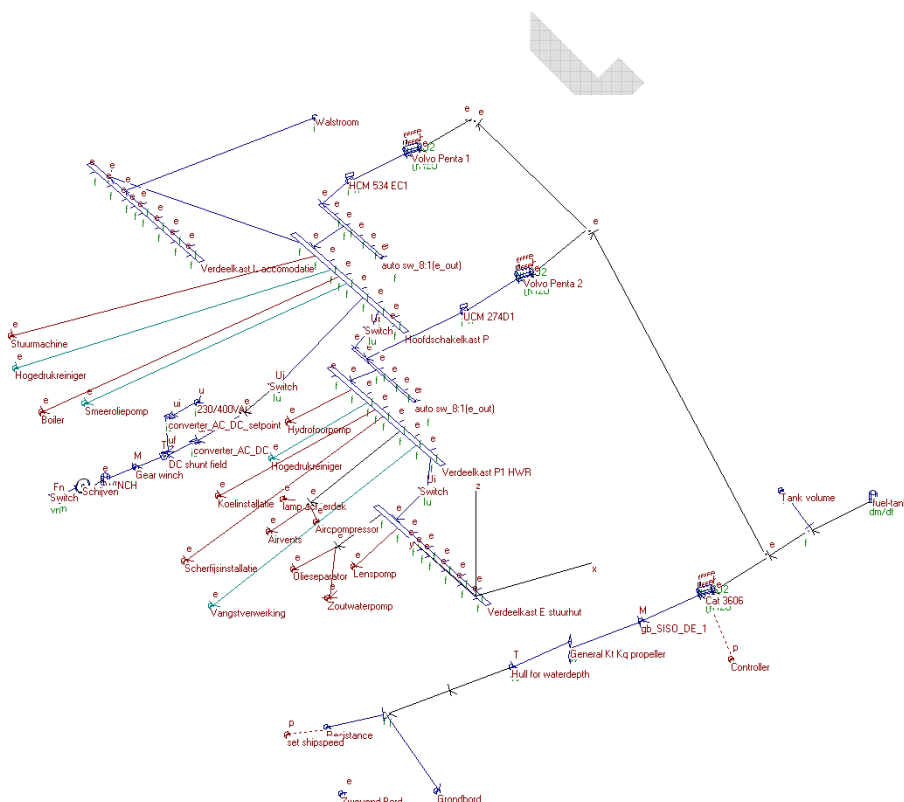
Concept

## 2 Scheepsmodel GY-57

Voor het verifiëren van de meetdata zonder de zwevende borden en de meetdata met de zwevende borden moet eerst een model van het schip worden gemaakt.

Met dit model worden de twee verschillende situaties gesimuleerd. Voor het simuleren wordt gebruik gemaakt van het programma GES.

Het model wordt opgebouwd uit de onderdelen die in het schip aanwezig zijn. In dit geval gaat het om de voortstuwing en daarom zijn de onderdelen die daarmee te maken hebben van belang. Dit zijn de motor, tandwielkast, schroef en romp. Voor de elektrische installatie is een standaard model structuur gebruikt waar de verschillende verbruikers aan gekoppeld zijn.



Figuur 1 GES model van de GY57

### 2.1 Hoofdmotor

De hoofdmotor die de schroef van vermogen moet voorzien is de Caterpillar 3606 met een vermogen van 1471 kW met een toerental van 880 omwentelingen per minuut.

### 2.2 Tandwielkast

Er is een Reintjes WAF 1961 snelheidsreductie tandwielkast met overbrenging van 5,56 : 1 aanwezig.

## 2.3 Schroef

De GY57 heeft een schroef van 3 meter met een straalbuis. De gegevens van de schroef zijn door de fabrikant gegeven in 3 tabellen. Elke tabel geeft voor een bepaalde snelheid de werkpunten van de schroef door bij het toerental de geleverde trust en het gevraagde vermogen te geven. De drie snelheden waarvoor de tabellen gegeven zijn zijn drie, tien en veertien knoop.

Snelheid 3 knopen:

N_schroef (RPM)	N_Motor (RPM)	Vermogen (kW)	Thrust (incl. straalbuis) (N)
54	300	59.63	24972
63	350	96.73	36241
72	400	146.34	49551
81	450	210.31	64912
90	500	290.48	82327
99	550	388.69	101800
108	600	506.77	123332
117	650	646.57	146923
126	700	809.93	172573
135	750	998.66	200283
144	800	1214.63	230053
153	850	1459.64	261883
162	900	1735.56	295772
171	950	2044.2	331721

Tabel 1 werkpunten van de schroef bij 3 knopen

Snelheid 10 knopen:

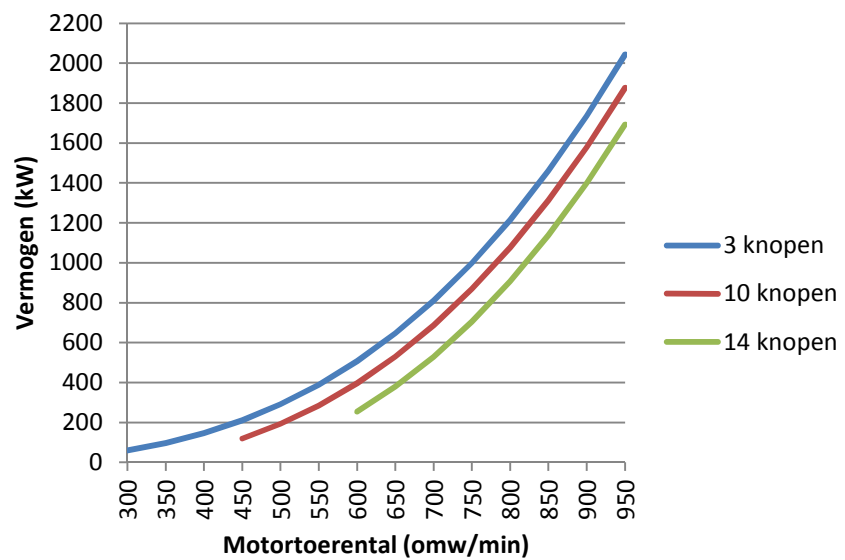
N_schroef (RPM)	N_Motor (RPM)	Vermogen (kW)	Thrust (incl. straalbuis) (N)
81	450	119.03	18100
90	500	192.71	32974
99	550	284.93	49209
108	600	397.03	67136
117	650	530.53	86776
126	700	687.08	108223
135	750	868.39	131542
144	800	1076.22	156778
153	850	1312.35	183967
162	900	1578.59	213133
171	950	1876.76	244296

Tabel 2 werkpunten van de schroef bij 3 knopen

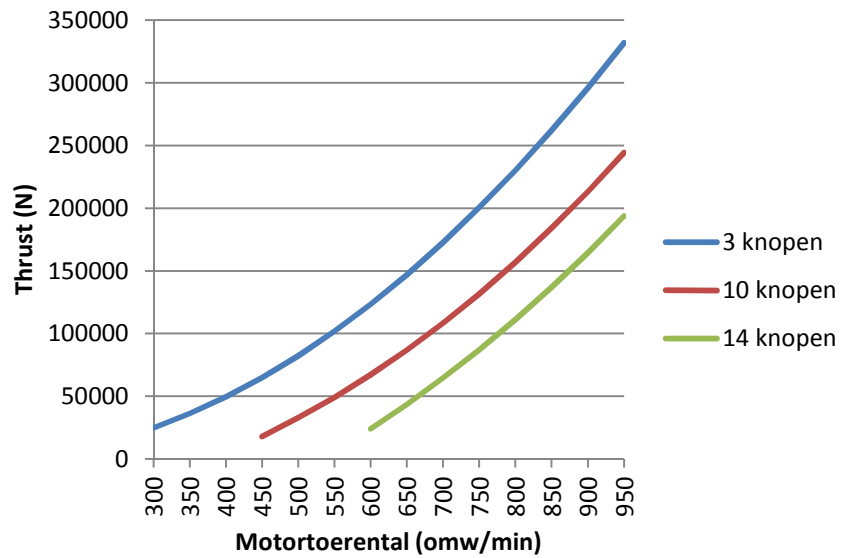
Snelheid 14 knopen:

N_schroef (RPM)	N_Motor (RPM)	Vermogen (kW)	Thrust (incl. straalbuis) (N)
108	600	254.77	24046
117	650	379.38	43479
126	700	528.8	64629
135	750	704.16	86988
144	800	906.76	111111
153	850	1138.08	136875
162	900	1399.68	164369
171	950	1693.21	193660

Tabel 3 werkpunten van de schroef bij 3 knopen



Figuur 2 het door de schroef gevraagde vermogen bij verschillende toerentallen



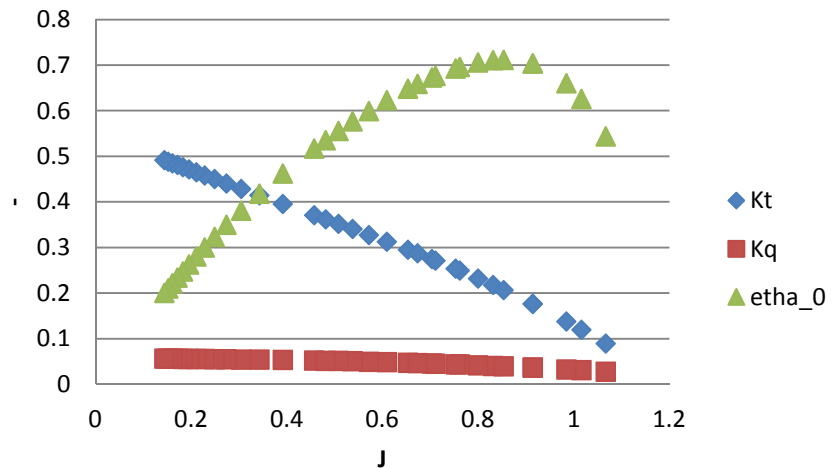
Figuur 3 de door de schroef geleverde trust bij verschillende toerentallen

De trust en het gevraagde vermogen van de schroef zijn dus voor 3 scheepssnelheden bekend. Voor de simulaties is dat niet genoeg, zodra de snelheid niet meer overeenkomt met een van deze drie snelheden is het werkpunt van de schroef onbekend. Daarom is met deze gegevens het openwaterschroefdiagram voor deze schroef berekend. Hiervoor is voor elk punt uit de bovenstaande tabellen de  $J$  waarde, de  $K_T$ , de  $K_Q$  en het openwaterschroef rendement uitgerekend. Daarvoor is gebruik gemaakt van de volgende vergelijkingen:

- $J = \frac{V_A}{nD}$
- $P = 2\pi Qn$
- $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$
- $K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$
- $\eta_0 = \frac{JK_T}{2\pi K_Q}$

Al deze werkpunten van de schroef weergegeven in één diagram geeft het openwaterdiagram van de schroef:

## Openwaterdiagram



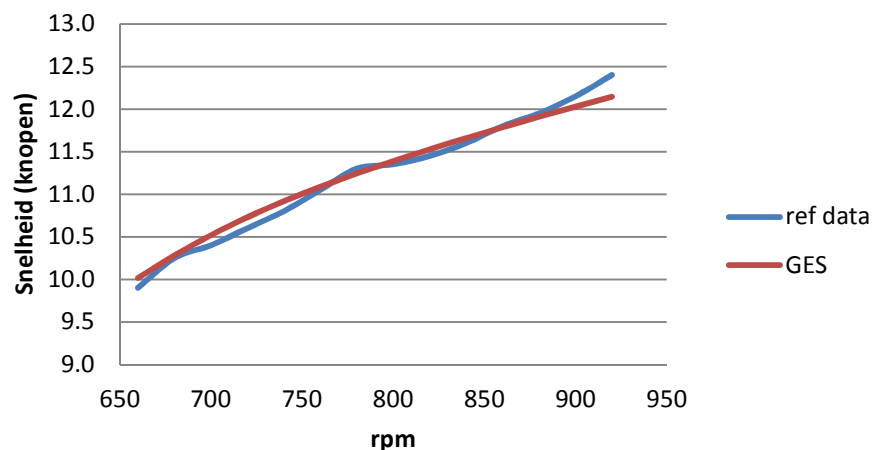
Figuur 4 het openwaterschroefdiagram van de gebruikte schroef

Met deze gegevens kan er voor elke combinatie van scheepssnelheid en toerental bepaald worden wat de geleverde trust en het gevraagde vermogen van de schroef is.

### 2.4 Weerstand

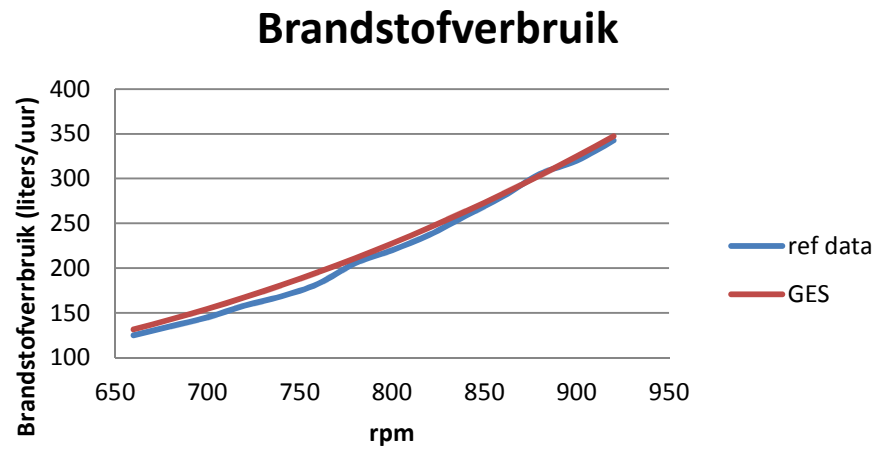
Voor de weerstand van de romp wordt met behulp van de methode van Holtrop en Mennen een schatting gemaakt van de weerstand voor verschillende snelheden. De weerstand in het model wordt met behulp van de gemeten karakteristiek tussen het motortoerental en de scheepssnelheid zo aangepast dat die overeenkomt met de werkelijke weerstand van de romp. Figuur 5 en Figuur 6 geven respectievelijk de vergelijking tussen het toerental en de scheepssnelheid en tussen het toerental en het brandstofverbruik aan voor de gemeten waarden (zie bijlage A) en de waarden die het model gebruikt.

## Snelheid





Figuur 5 vergelijking tussen de gemeten waarden en de waarden die het model gebruikt voor de verhouding tussen toerental en snelheid



Figuur 6 vergelijking tussen de gemeten waarden en de waarden die het model gebruikt voor de verhouding tussen toerental en brandstofverbruik

Concept

## 3 Simulatie met het model

Het model dat hierboven beschreven is worden voor zowel met grond borden als met zwevende borden de condities van de gemeten data gesimuleerd. De input voor de simulaties is de omgevingsfactoren die ook gelogd zijn bij de metingen en het operationele profiel. De output is het uiteindelijke brandstofverbruik voor de verschillende typen borden.

De meetdata waarmee de simulaties vergeleken worden bestaat uit de logging van een aantal parameters die van belang zijn voor de performance van het schip. De belangrijkste daarvan zijn:

- diepte
- snelheid
- lijnlengte
- spreiding
- toeren van de motor
- getijderichting
- windrichting
- windsnelheid

Helaas is de stroomsnelheid van het getij niet gelogd en is de gemeten snelheid de snelheid over de grond. Daardoor zijn alleen de metingen waarbij de richting van het tij dwars op het schip staat te gebruiken voor de vergelijking met de simulatie. De omgevingsparameters zoals windsnelheid, windrichting, lijnlengte en spreiding worden samen met de snelheid van het schip als input voor het model gebruikt. Het toerental van de motor en het brandstofverbruik is dan de output van de simulatie.

### 3.1 Simulatie met grond bord

Voor de simulatie zonder zwevend bord wordt van de beschikbare meetdata alleen de data gebruikt waarbij de stroming dwars op het schip is. Hierdoor blijven er van de 62 nog 21 verschillende situaties over. Van deze overgebleven metingen worden simulaties gedaan waarbij de trekkracht berekend wordt die nodig is om het vistuig voort te slepen.

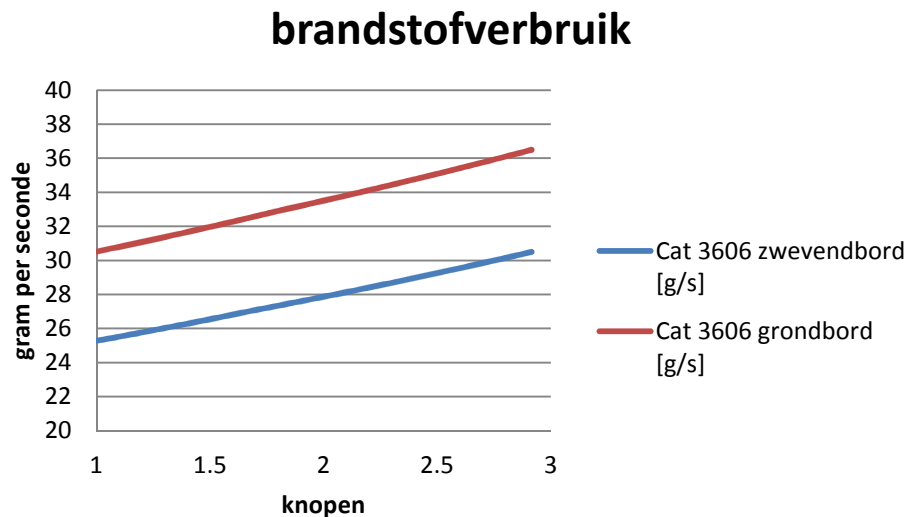
### 3.2 Simulatie met zwevend bord

Voor de simulatie zonder zwevend bord wordt, net als bij de simulatie zonder zwevend bord, van de beschikbare meetdata alleen de data gebruikt waarbij de stroming dwars op het schip is. Hierdoor blijven er van de 41 nog 7 verschillende situaties over. Tevens wordt er, net als bij de simulatie zonder het zwevend bord, de trekkracht berekend die nodig is om het vistuig voort te slepen.

## 4 Analyse van het brandstofverbruik

Voor de analyse van het brandstofverbruik wordt er een vergelijking gemaakt tussen het verbruik met en zonder zwevende borden. Voor beide situaties wordt er voor een beperkte snelheidsrange van het schip het brandstofverbruik uitgerekend. Dit brandstofverbruik wordt daarna in een grafiek uitgezet tegen de snelheid van het schip zodat in één oogopslag te zien is wat de reductie van het brandstofverbruik bij een bepaalde snelheid zal zijn indien er gebruik gemaakt wordt van zwevende borden.

De resultaten van de analyse worden weergegeven in Figuur 7. De blauwe lijn geeft het verband tussen de snelheid en het brandstofverbruik voor het vissen met zwevende borden aan. De zwarte lijn geeft het verband tussen de snelheid en het brandstofverbruik voor het vissen zonder zwevende borden aan.



Figuur 7 brandstof verbruik in gram per seconde uitgezet tegen de scheepssnelheid in knopen voor grondborden en zwevend borden

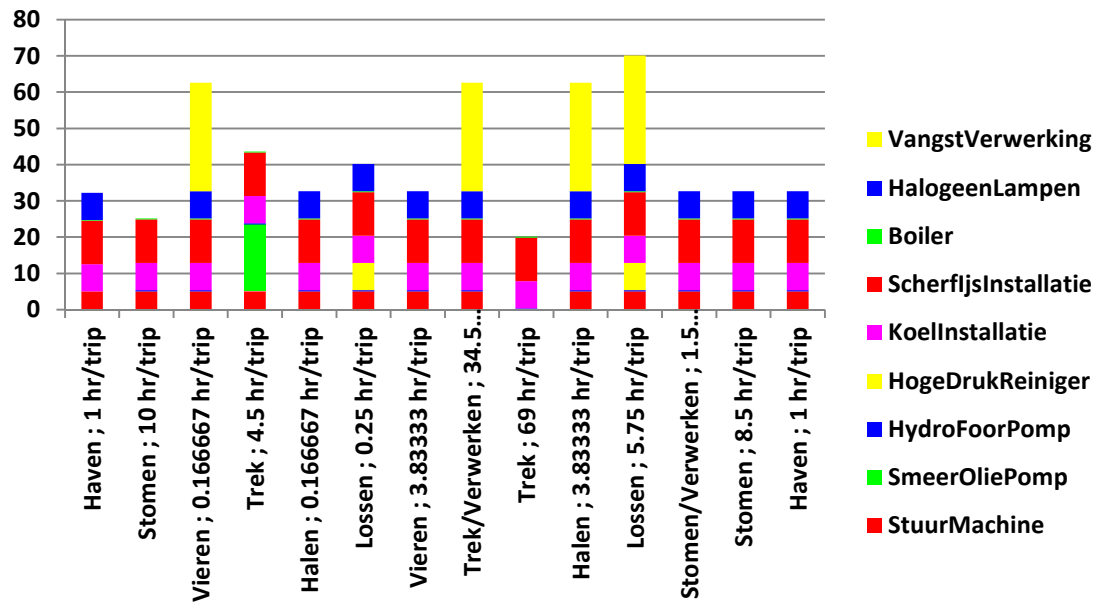
Bij een snelheid van 3 knoop is het verschil in brandstofverbruik met en zonder zwevende borden ongeveer 15%.

## 5 Simulatie met operationeel profiel

Om de besparing op brandstofverbruik bij het gebruik van zwevende borden in plaats van grond borden concreet te maken is er een simulatie uitgevoerd waarbij een volledige visreis gesimuleerd is. Deze reis wordt beschreven in het operationele profiel voor 1 week vissen.

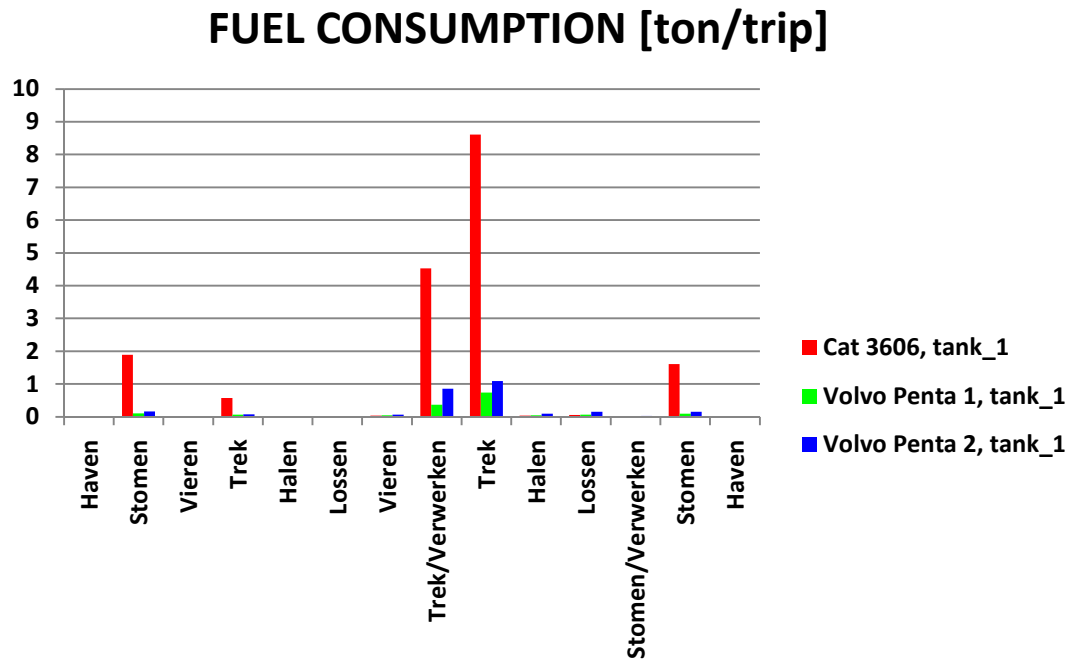
No	Name	Description	Duration	Distance	Velocity
[-]	[-]	[-]	[hrs]	[nm]	[kn]
1	Haven		1	2.00	2.00
2	Stomen		10.00	115.00	11.50
3	Vieren		0.17	0.58	3.50
4	Trek		4.50	13.95	3.10
5	Halen		0.17	0.52	3.10
6	Lossen		0.25	0.75	3.00
7	Vieren		3.83	11.50	3.00
8	Trek/Verwerken		34.50	120.75	3.50
9	Trek		69.00	207.00	3.00
10	Halen		3.83	11.50	3.00
11	Lossen		5.75	17.25	3.00
12	Stomen/Verwerken		1.50	5.25	3.50
13	Stomen		8.50	97.75	11.50
14	Haven		1.00	2.00	2.00

## Operational Profile, Required Power [kW]

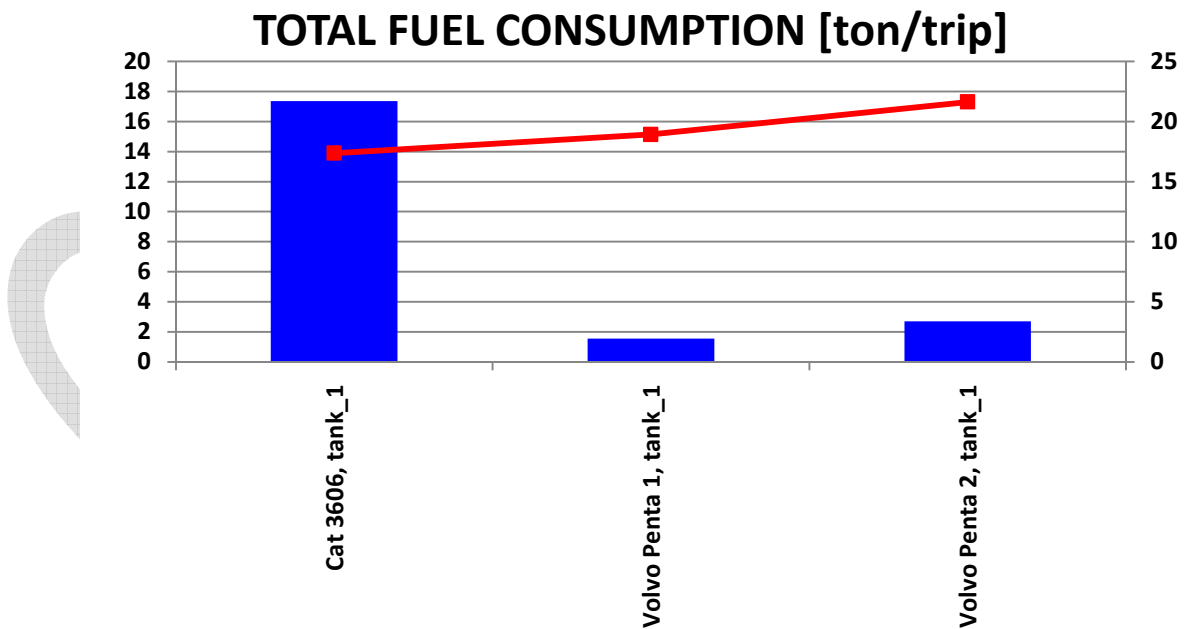


Figuur 8 Operationeel profiel van de hoofdverbruikers

5.1 Resultaat simulatie met grondbord

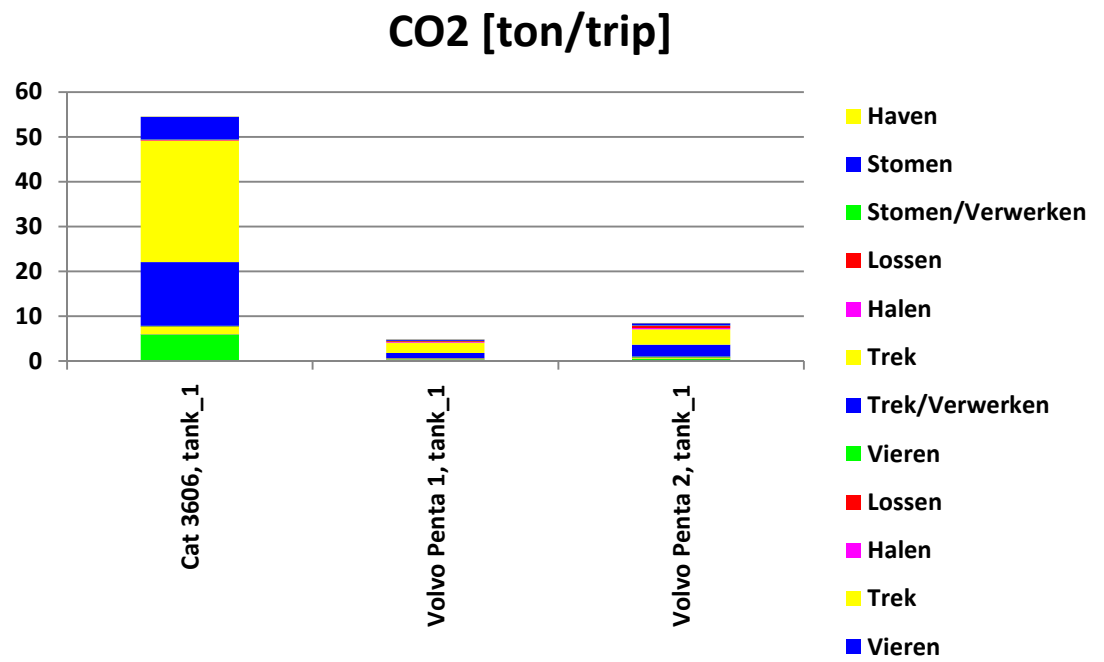


Figuur 9 Brandstofverbruik uitgesplitst naar operationele condities



Figuur 10 totale brandstofverbruik van de diesel motoren

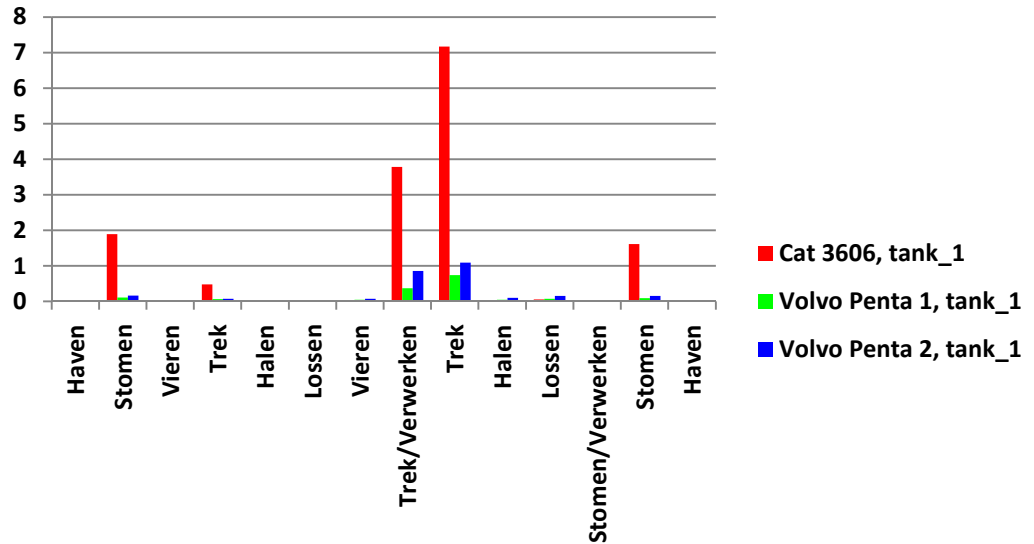
Het totale brandstofverbruik voor een week vissen met grondborden is voor dit operationele profiel 21,6 ton.



Figuur 11 CO2 emissies uitgesplitst naar operationele condities

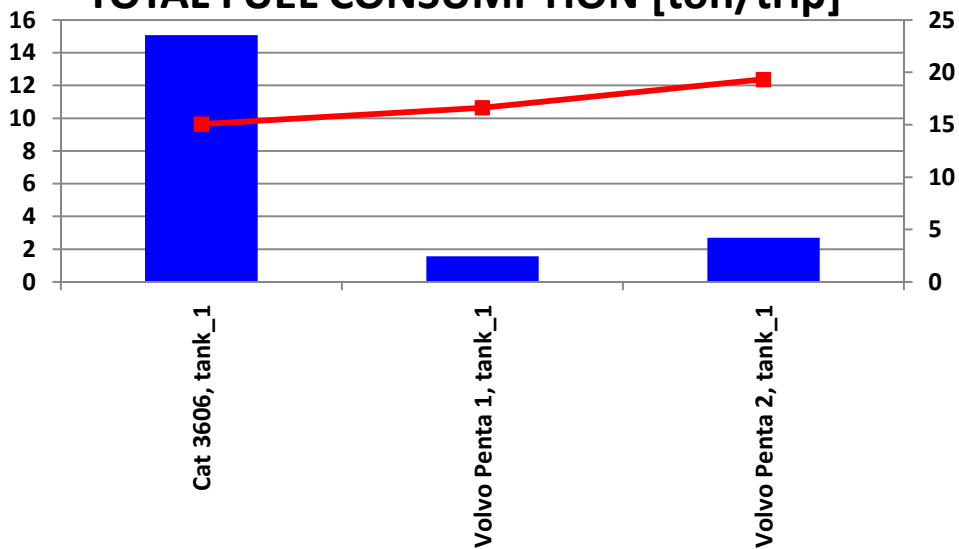
5.2 Resultaat simulatie met zwevend bord

**FUEL CONSUMPTION [ton/trip]**



Figuur 12 Brandstofverbruik uitgesplitst naar operationele condities

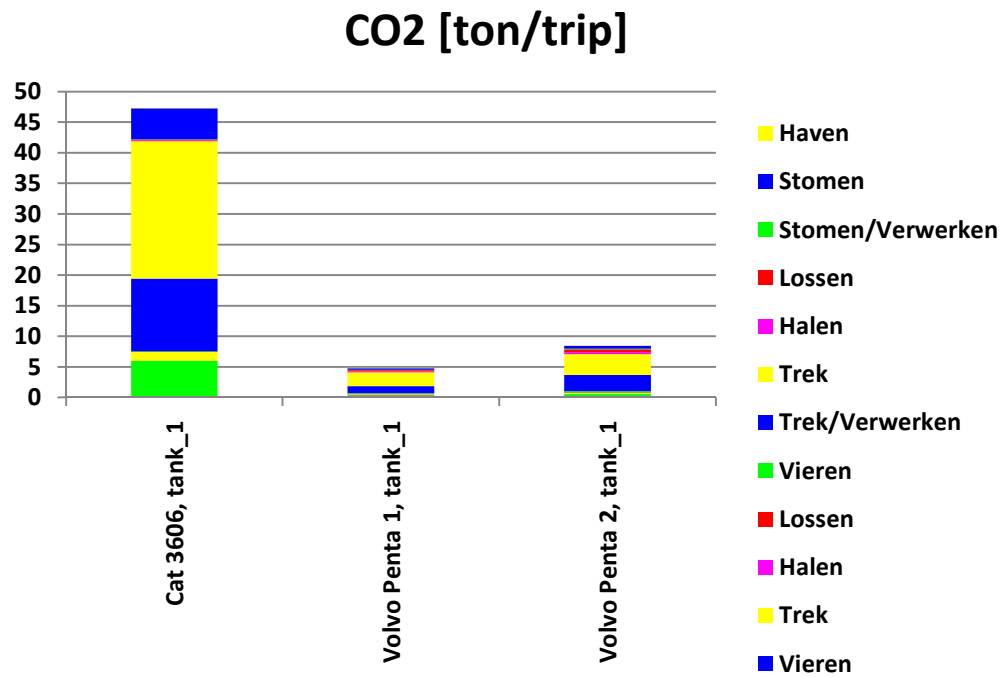
**TOTAL FUEL CONSUMPTION [ton/trip]**



Figuur 13 totale brandstofverbruik van de diesel motoren

Het totale brandstofverbruik voor een week vissen met zwevende bord is voor dit operationele profiel 19,3 ton.





Figuur 14 CO2 emissies uitgesplitst naar operationele condities

## 6 Conclusie

De toepassing van zwevende borden in plaats van grond borden geeft besparing van ongeveer 15% brandstofverbruik. Tijdens een gesimuleerde visreis van een week gebaseerd op een operationeel profiel waarbij grond borden gebruikt wordt 21,6 ton brandstof verbruikt. Voor eenzelfde reis maar dan met zwevende borden in plaats van grond borden is 19,3 ton brandstof nodig. Het gebruik van zwevende borden in plaats van grond borden levert dus een besparing op van 2,3 ton brandstof voor deze gesimuleerde reis. De CO<sub>2</sub> emissie voor deze reis is ongeveer 67,8 ton voor het gebruik van grondborden en 60,6 ton voor het gebruik van zwevende borden. Dat is dus een beperking van 7,2 ton CO<sub>2</sub>.

Concept

## 7 Bijlage A Referentie metingen aan het schip GY-57

TOEREN L/UUR	SNELHEID	OLIEVERBRUIK IN
660	10.....9,8	.....125
680	10,3.....10,2	.....135
700	10,4.....10,4	.....145
720	10,6.....10,6	.....158
740	10,8.....10,8	165.....172
760	11,1.....11	180.....185
780	11,4.....11,2	206.....205
800	11,4.....11,3	220.....220
820	11,5.....11,4	239.....235
840	11,6.....11,6	262.....255
860	11,8.....11,8	285.....275
880	12.....11,9	310.....300
900	12,1.....12,2	320.....320
920	12,4.....12,4	345.....340

## 8 Bijlage B: Meetgegevens borden GY-57

Concept

ZWEVEND E BORD PROJECT GY-57							Data 0-meting			
DIEPTE	SNELHEID	SNELHEID	LIJNLENGTE	SPREIDING	TOEREN	UITLAAT	BRANDS	GETY	WIND	WIND
meters	SCHIP / KN	NET / KN	meters	meters	Cat per min	graden C	liters	tovschip	tovschip	Bit
46	3		264	198	670	502	---	dood	90 gr	4
49	3.1		264	207	680	517	---	270 gr	40 gr	5
51	3.2		264	204	660	500	---	180 gr	90 gr	3
49	3		264	206	640	491	---	120 gr	blak	0
36	3.2		264	212	650	500		10 gr	30 gr	3
34	3.4		264	201	620	492	---	180 gr	blak	0
32	2.8		264	208	640	503		20 gr	180 gr	4
37	3.1		264	210	635	515	---	90 gr	45 gr	4
44	3.4		264	211	650	512	---	200 gr	120 gr	3
45	3.3		264	208	670	521		300 gr	340 gr	5
43	2.9		264	211	635	502		260 gr	310 gr	4
46	3.1		264	211	620	502		80 gr	120 gr	3
45	3.1		264	203	640	500		90 gr	300 gr	2
45	3.2		264	210	650	520		250 gr	330 gr	3
38	3.2		264	202	670	507		320 gr	270 gr	3
29	3.2		264	204	680	502		225 gr	350 gr	4
23	2.8		264	209	680	511		20 gr	340 gr	2
25	3.2		264	207	640	495		280 gr	45 gr	2
27	3.1		264	210	650	486		230 gr	180 gr	3
29	3		264	205	650	495		360 gr	80 gr	4
27	3.1		264	204	660	495		340 gr	250 gr	6
30	3.2		264	208	690	520		350 GR	20 gr	6
26	2.9		264	210	650	510		360 gr	80 gr	6
26	3.3		264	207	630	495		30 gr	110 gr	5
37	3.1		264	205	680	514		270 gr	20 gr	6
29	3.6		264	202	630	506		120 gr	180 gr	3
25	3.4		264	203	630	509		90 gr	170 gr	3
35	3.5		264	206	620	501		180 GR	160 gr	6
40	3.3		264	204	610	499		180 GR	160 gr	5
39	3		264	204	640	513		230 gr	300 gr	3
37	3		264	203	640	516		200 gr	290 gr	3
35	3.4		270	202	610	497		180 gr	100 gr	3
42	3.1		270	204	630	520		90 gr	360 gr	3
37	3.1		270	205	635	519		260 gr	180 gr	2
52	3.1		270	200	630	518		90 gr	270 gr	2
51	3.1		270	202	630	518		270 gr	180 gr	1
59	3		270	202	620	508		270 gr	0 gr	1
52	3.1		270	205	610	502		340 GR	30 gr	4
38	3		264	202	660	534		250 gr	0 gr	5
29	3.2		270	206	610	511		180 GR	90 GR	5
40	3.2		270	199	650	527		90 GR	120 GR	5
43	3		270	206	650	524		280 gr	140 gr	6
35	2.8		270	199	620	513		30 GR	90 GR	4
38	2.8		275	203	640	526		10 GR	90 gr	3
34	2.8		275	200	660	528		20 gr	270 gr	2
21	3		274	203	640	520		270 gr	25 gr	2
18	3.2		274	202	640	516		130 gr	120 gr	2
20	3.4		275	199	650	516		200 gr	300 gr	2
22	3.3		274	198	640	512		220 gr	270 gr	1
22	2.9		274	205	640	507		270 GR	270 gr	1
46	3.3		278	205	645	515		180 gr	350 gr	3
26	3.1		274	209	635	512	147	360 gr	60 gr	3
24	3.2		274	208	650	520	162	340 gr	90 gr	3
26	3.2		274	208	640	524	151	350 gr	90 gr	3
15	3.4		298	204	620	511	144	180 gr	20 gr	2
32	3		287	199	650	518	151	300 gr	300 gr	3
36	3.2		290	201	635	520	151	120 gr	270 gr	2
56	3.4		290	207	620	522	151	90 gr	320 gr	1
38	3.6		300	200	590	500	130	180 gr	360 GR	1
30	3.1		275	202	630	522	154	90 gr	320 gr	2
41	3.3		275	205	650	525	154	270 gr	230 gr	4
42	3.2		276	204	660	521				

MET ZWEVENDE BORDEN										
31	3.1	273	210	595	494	...	270 gr	80 gr	3	
32	3	273	200	595	491	...	90 gr	90 gr	3	
38	3	271	210	590	485	115	20 gr	140 gr	4	
33	3.2	290	207	595	478	...	360 gr	160 gr	5	
33	3.2	271	209	610	510	136	160 gr	350 gr	4	
42	3	273	212	600	497	126	120 gr	270 gr	2	
41	3.1	270	202	600	495	124	140 gr	270 gr	2	
51	3.2	270	209	605	465	126	0 gr	80 gr	4	
54	2.9	270	199	610	460	122	40 gr	80 gr	3	
16	3.2	258	207	615	465	129	300 gr	80 gr	2	
15	3.3	270	196	620	481	129	200 gr	90 gr	2	
15	3.4	270	202	610	470	126	220 gr	20 gr	2	
19	2.9	270	215	610	465	126	340 gr	220 gr	2	
17	2.9	275	220	615	461	122	320 gr	270 gr	2	
19	3.3	272	199	605	466	122	230 gr	220 gr	3	
13	2.7	274	205	605	?	140	10 gr	40 gr	3	
25	3.3	274	207	590	? M	122	200 gr	80 gr	3	
26	3	260	206	600	? E	118	270 gr	270 gr	3	
45	3.1	274	204	610	? T	129	90 gr	180 gr	5	
39	3.2	275	200	615	? E	122	220 gr	40 gr	4	
25	3	268	205	605	? R	126	140 gr	90 gr	3	
24	2.9	273	208	600	? -	129	300 gr	100 gr	4	
30	3.1	275	200	595	? S	122	140 gr	120 gr	4	
36	2.9	275	208	600	? T	126	20 gr	140 gr	3	
36	3	256	205	600	? U	122	80 gr	160 gr	3	
34	3.2	256	204	605	? K	129	90 gr	20 gr	3	
28	2.7	256	215	605	? .	133	340 gr	360 gr	4	
32	3	256	217	600	?	129	90 gr	290 gr	4	
27	2.8	245	207	595	?	129	10 gr	30 gr	4	
53	3.1	264	207	605	496	126	290 gr	220 gr	3	
51	3.3	245	204	600	491	129	180 gr	270 gr	2	
49	3.2	251	205	600	495	129	160 gr	100 gr	2	
54	2.9	251	200	590	480	122	010 gr	290 gr	2	
59	3.2	265	210	600	485	126	230 gr	270 gr	0	
56	3.3	265	209	595	487	126	180 gr	270 gr	1	
32	3	253	202	595	490	129	290 gr	160 gr	2	
42	3.1	235	203	600	498	133	300 gr	20 gr	2	
43	2.9	236	202	595	497	129	50 gr	90 gr	2	
39	2.7	235	207	605	503	136	350 gr	30 gr	2	
15	3.4	235	198	600	500	136	220 gr	20 gr	3	
14	3.2	240	192	600	494	126	180 gr	120 gr	3	

## 9 Ondertekening

Delft, <datum>

Placeholder

<naam afdelingshoofd>

Afdelingshoofd

Hans van Vugt  
Tesse Pronk  
Auteur

Concept